

HEC MONTRÉAL

Collaboration en réalité augmentée (RA) dans un contexte de co-conception à distance :
effet du contrôle sur la performance de la tâche

par

Emma Roquelaure

Ann-Frances Cameron

HEC Montréal

Codirectrice de recherche

Danilo Correa Dantas

HEC Montréal

Codirecteur de recherche

Sciences de la gestion

(Spécialisation Technologie de l')

Mémoire présenté en vue de l'obtention
du grade de maîtrise ès sciences en gestion

(M. Sc.)

Août 2024

© Emma Roquelaure, 2024

HEC MONTRÉAL

Comité d'éthique de la recherche

CERTIFICAT D'APPROBATION ÉTHIQUE

La présente atteste que le projet de recherche décrit ci-dessous a fait l'objet d'une évaluation en matière d'éthique de la recherche avec des êtres humains et qu'il satisfait aux exigences de notre politique en cette matière.

Projet # : 2024-5891

Titre du projet de recherche : Collaboration en réalité augmentée (RA)

Chercheur principal : Ann-Frances Cameron, Professeure agrégée, Technologies de l'information, HEC Montréal

Cochercheurs : Edward Opoku-Mensah; Emma Roquelaure; Andréa Julia Adrienne Fontana

Directeur/codirecteurs : Ann-Frances Cameron; Danilo Correa Dantas, Professeur - HEC Montréal

Date d'approbation du projet : 05 avril 2024

Date d'entrée en vigueur du certificat : 05 avril 2024

Date d'échéance du certificat : 01 avril 2025



Maurice Lemelin
Président
CER de HEC Montréal

Signé le 2024-04-08 à 11:41

ATTESTATION D'APPROBATION ÉTHIQUE COMPLÉTÉE

La présente atteste que le projet de recherche décrit ci-dessous a fait l'objet des approbations en matière d'éthique de la recherche avec des êtres humains nécessaires selon les exigences de HEC Montréal.

La période de validité du certificat d'approbation éthique émis pour ce projet est maintenant terminée. Si vous devez reprendre contact avec les participants ou reprendre une collecte de données pour ce projet, la certification éthique doit être réactivée préalablement. Vous devez alors prendre contact avec le secrétariat du CER de HEC Montréal.

Nom de l'étudiant(e) : Emma Roquelaure

Titre du projet supervisé/mémoire/thèse : Collaboration en réalité augmentée (RA) dans un contexte de co-conception à distance : effet du contrôle sur la performance de la tâche

Titre du projet sur le certificat : Collaboration en réalité augmentée (RA)

Projet # : 2024-5891

Directrice de recherche : Ann-Frances Cameron

Cochercheurs : Edward Opoku-Mensah; Andréa Julia Adrienne Fontana

Date d'approbation initiale du projet : 05 avril 2024

Date de fermeture de l'approbation éthique pour l'étudiant(e) : 08 juillet 2024



Maurice Lemelin
Président
CER de HEC Montréal

Signé le 2024-07-09 à 12:00

Résumé

Cette étude examine l'impact de la manipulation synchrone d'objets virtuels sur la performance et l'expérience de collaboration dans des tâches de co-conception 3D à distance, en utilisant des visiocasques de réalité augmentée (RA). En nous appuyant sur la théorie de la synchronicité des médias de Dennis et al. (2008), nous avons émis l'hypothèse que la manipulation synchrone améliorerait la performance des tâches et la satisfaction des utilisateurs comparativement à la manipulation asynchrone. Nous avons mené une étude expérimentale avec 56 participants, répartis en deux groupes, chacun réalisant une tâche de conception collaborative sous des conditions de manipulation différentes. Nos résultats confirment que la manipulation synchrone améliore significativement la performance des tâches et la satisfaction des utilisateurs. De plus, la satisfaction du processus et le plaisir accru jouent un rôle médiateur entre la manipulation synchrone et la performance des tâches. La capacité spatiale individuelle montre également des effets modérateurs significatifs sur les relations entre la synchronisation de la manipulation et la performance des tâches, renforçant ces relations pour les personnes ayant une faible capacité spatiale. Cette recherche contribue à la compréhension théorique de la synchronicité des médias dans les environnements collaboratifs améliorés par la RA, et fournit des informations pratiques pour les professionnels du design 3D et les développeurs d'applications RA. Nous terminons en exposant les limites de cette étude et en proposant des pistes pour des recherches futures.

Mots clés : Réalité augmentée, collaboration, performance de la tâche, tâche collaborative, co-conception, créativité, capacité spatiale individuelle, manipulation synchrone, et synchronicité

Méthodes de recherche : Expérience en laboratoire, Questionnaire

Table des matières

Résumé	v
Table des matières	vii
Liste des tableaux et des figures	ix
Remerciements	xi
Chapitre 1 : Introduction	1
Les contributions potentielles	5
Structure du mémoire.....	8
Chapitre 2 : Revue de la littérature	9
2.1. Technologies collaboratives avant la RA, dans les tâches de co-conception	9
2.2 La Réalité Augmentée (RA) : Une technologie émergente pour améliorer la collaboration.....	12
2.3. La co-conception 3D en réalité augmentée	14
2.4. Capacités spatiales individuelles	16
Chapitre 3 : Cadre conceptuel	21
3.1 Modèle de recherche et variables	21
3.2 Hypothèses	23
Chapitre 4 : Méthodologie	30
4.1 Choix du design expérimental.....	30
4.2 Protocole	31
4.3 Participants	34
4.4 Mesures	35
Chapitre 5 : Analyse et résultats	38
5.1 Analyse descriptive	39

5.2 Analyse psychométrique	42
5.3 Analyse du modèle et des hypothèses	47
Chapitre 6 : Discussion	59
6.1 Question de recherche 1	59
6.2 Question de recherche 2	63
6.3 Limites de l'étude.....	66
6.4 Recherches futures	68
6.5 Contributions.....	69
Chapitre 7 : Conclusion.....	71
Bibliographie	73
Annexes	84

Liste des tableaux et des figures

Les figures :

Figure 1 : Modèle de recherche	22
Figure 2 : Procédure expérimentale.....	31
Figure 3 : Photos des conceptions sur Figmin XR.....	33
Figure 4 : Histogramme des notes de TRM	41
Figure 5 : Moyenne des lignes multiples de la performance de la tâche par TRM.....	54

Les tableaux :

Tableau 1 : Données démographiques de l'échantillon final.....	39
Tableau 2 : Statistiques descriptives de l'expérience préalable avec les plateformes de design d'intérieur	40
Tableau 3 : Statistiques descriptives de l'expérience préalable avec les technologies de réalité augmentée/virtuelle/mixte.....	41
Tableau 4 : Coefficients de saturation par facteur	43
Tableau 5 : Coefficient alpha de Cronbach.....	44
Tableau 6 : Statistiques descriptives des construits finaux	45
Tableau 7 : Analyse coefficients de corrélation (avec variables de contrôle)	46
Tableau 8 : Résultats du test Welch (ANCOVA)	49
Tableau 9 : Résultats de la régression linéaire (variables médiatrices).....	51
Tableau 10 : Résultats de la régression linéaire (variables modératrices).....	52
Tableau 11 : Modèle linéaire des prédictions de la performance	53
Tableau 12 : Effets conditionnels de la manipulation synchrone et de la performance de la tâche à différents niveaux de capacités spatiales individuelles	54

Tableau 13 : Modèle linéaire des prédictions de la satisfaction	55
Tableau 14 : Modèle linéaire des prédictions du conflit relationnel	56
Tableau 15 : Modèle linéaire des prédictions du plaisir accru	56
Tableau 16 : Récapitulatif des résultats des hypothèses	57

Remerciements

Ce mémoire conclut la fin de mon parcours à HEC Montréal et également la fin de mes études commencées il y a cinq ans, lorsque je suis arrivé à Montréal pour entamer un baccalauréat en Sciences de la Communication. Le moment est venu pour moi de remercier les personnes qui m'ont permis et aidé à réaliser ce projet.

Tout d'abord, je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance envers mes directeurs de recherche. Ann-Frances Cameron m'a offert l'opportunité de mener à bien ce mémoire au sein du laboratoire de réunions numériques. Danilo Correa Dantas m'a accordé un soutien constant et des conseils avisés, qui ont été inestimables tout au long de ce projet. Je souhaite également remercier Edward, membre de l'équipe du laboratoire, pour son aide précieuse et son accompagnement tout au long du projet.

Je ne peux oublier mes collègues, mais surtout amis, Andréa Fontana et Nico Hélié. J'ai réalisé ce projet de mémoire avec Andréa et notre soutien mutuel nous a permis de surmonter plus aisément les défis d'une collecte de données. Nico a su trouver de nombreuses fois les bons mots pour m'aiguiller et m'encourager, ce qui m'a permis de ne pas abandonner et de surmonter les obstacles.

Enfin, je tiens à exprimer ma gratitude envers ma famille et mes amis, et plus particulièrement envers ma mère, pour leur soutien indéfectible et pour avoir cru en mes capacités à réussir ce mémoire de recherche.

Chapitre 1 : Introduction

Depuis la pandémie de Covid-19, l'organisation du travail, notamment en équipe, a été chamboulée. La transition vers le travail à distance et hybride a contraint de nombreuses entreprises à adopter rapidement des outils de communication et de collaboration basés sur l'infonuagique, ou encore à intensifier leur utilisation de tels outils pour garantir des conditions de travail efficaces (Trueman & Fernandez, 2023). Bien que les restrictions pandémiques soient levées, nombre d'entre elles ont conservé un modèle de travail hybride. La transformation des environnements de travail, exacerbée par la nécessité croissante de collaborer à distance, a stimulé l'intérêt pour les technologies innovantes. Les applications de collaboration visuelle sont devenues cruciales pour les équipes, gagnant en popularité avec l'adoption de modèles de travail hybrides. Gartner a d'ailleurs émis l'hypothèse que ces applications augmentent la créativité et la productivité, qu'elles soient utilisées à distance ou en personne, grâce aux modèles fournis, à la participation qu'elles favorisent et à la traçabilité qu'elles permettent (Upmanyu & Sheth, 2023). Selon une étude menée par Figma (Trotter, 2023), plus de 60% des membres des équipes de design utilisent plus souvent la visioconférence de groupe qu'avant la pandémie.

Les entreprises ont donc massivement investi dans les technologies et solutions commerciales de collaboration pour accroître l'efficacité au travail. Toutefois, bien que cela ait facilité la transition vers le travail à distance, plusieurs défis se présentent, notamment dans les secteurs créatifs nécessitant des processus de conception visuelle. Selon une enquête de McKinsey & Company, des professionnels du design ont signalé une baisse de la créativité et de l'innovation due à l'absence de brainstorming en personne et de discussions informelles (McKinsey & Company, 2020). Un rapport de Nielsen Norman Group a également noté que le manque de retour d'informations instantané et les difficultés à partager des concepts visuels en temps réel constituent des obstacles majeurs pour les designers travaillant à distance (Nielsen Norman Group, 2021). La création de dessins est aussi moins intuitive et compréhensible que celle des objets en 3D, tandis que la modélisation prend du temps et l'échelle est difficile à appréhender (Ye et al., 2022).

Le travail collaboratif doit s'articuler autour d'une compréhension mutuelle des objets physiques, notamment dans les secteurs du design et de l'architecture qui nécessitent la co-conception de produits et d'environnements (Ye et al., 2022; Mitchell, 2021). L'absence d'un espace et d'un monde commun pour les travailleurs (Marques et al., 2022) peut être particulièrement difficile pour les artistes qui doivent montrer la dimensionnalité de leur travail à leurs clients (Herman & Hutka, 2019; Ye et al., 2022). L'utilisation de la parole pour décrire des emplacements spatiaux et des actions peut être sujette à l'ambiguïté, entraînant confusion et erreurs (Belen et al., 2019). La tridimensionnalité (3D) peut également être difficile à visualiser pour ceux qui n'ont pas les mêmes capacités spatiales individuelles. Linn et Peterson (1985) ont soutenu que les capacités spatiales englobent la perception, la rotation et l'imagination spatiale. Cette abstraction du travail, ajoutée à des connaissances inappropriées pour interpréter la représentation, conduit à une mauvaise communication et impacte les performances de collaboration (Hong et al., 2019). De plus, les utilisateurs ressentent toujours le besoin d'expériences physiques qui stimulent leur propre créativité, mais aussi celle des autres.

La collaboration à distance présente donc des problèmes majeurs pour les collaborateurs, et la problématique de la synchronicité de la manipulation d'objets dans un contexte de collaboration à distance se pose alors comme un enjeu crucial. La manipulation synchrone d'objets 3D permet à plusieurs utilisateurs de modifier et d'interagir en temps réel avec des objets virtuels, ce qui peut faciliter une compréhension commune et réduire les ambiguïtés (Dennis et al., 2008). À l'inverse les environnements collaboratifs asynchrones, où les utilisateurs interagissent avec les objets à des moments différents, peuvent engendrer des retards dans la communication et des incohérences dans la perception des modifications, affectant ainsi la fluidité et l'efficacité du travail d'équipe (Stone et al., 2017). De plus, les différences dans les capacités spatiales des individus peuvent exacerber ces défis, les utilisateurs avec une faible capacité spatiale ayant plus de difficultés à suivre et à contribuer efficacement dans un environnement asynchrone que pour les individus avec des grandes capacités spatiales (Barrera Machuca et al., 2019). Par conséquent, comprendre comment la manipulation synchrone et non-synchrone d'objets 3D impactent la collaboration et la performance des équipes à distance est crucial

pour optimiser les outils de travail collaboratif et les résultats des projets créatifs. Pour améliorer et faciliter la communication synchrone entre les personnes qui collaborent à distance, il y aurait tout un intérêt à utiliser de la réalité augmentée (RA) (Marques et al., 2022). D'ailleurs, des spécialistes ont évoqué le besoin avec une technologie voisine qui est définie comme « un outil de réalité virtuelle faciliterait la communication avec les clients, en offrant une représentation plus réaliste du résultat final. » (Herman & Hutka, 2019, p. 615, traduction libre).

L'objectif de ce mémoire est de déterminer si l'utilisation de la RA de manière simultanée par plusieurs individus, favoriserait l'expérience de collaboration et améliorerait la qualité des travaux dans un contexte de co-conception à distance. Bien que la RA soit de plus en plus considérée comme l'une des technologies de pointe du XXI^e siècle et comme l'un des fondements de la nouvelle révolution industrielle envisagée par l'industrie 4.0 (Arena et al., 2022), nous avons pu constater que peu de recherches existent sur ses effets entraînés auprès des individus, dans un contexte de conception collaborative à distance. Actuellement, la majorité des recherches se concentre sur l'étude des systèmes collaboratifs de la technologie en tant que telle (Schäfer et al., 2023). De plus, les recherches qui tentent de comprendre les effets liés à l'utilisation de la RA sur la collaboration et la performance sont assez fragmentées. La maturité croissante des technologies de réalité mixte (MR/AR) soulève des questions cruciales sur leurs rôles dans les lieux de travail, sur la communication, et sur l'expérience de collaboration (Merino et al., 2020). Également, la littérature souligne une lacune théorique dans la caractérisation du processus collaboratif et une inadéquation des cadres d'évaluation actuels pour appréhender efficacement une collaboration soutenue par la RA (Marques et al., 2022). En effet, la caractérisation des processus collaboratif manque de modèles et de concepts clairs pour comprendre comment les individus interagissent et collaborent efficacement avec la RA. Les études existantes se concentrent souvent sur les aspects techniques, comme la qualité de l'affichage ou la précision du suivi des mouvements, mais elles n'explorent pas suffisamment les dynamiques de groupe, la prise de décision collective ou l'engagement des participants (Schmalstieg & Hollerer, 2016). De même, les cadres d'évaluation actuels sont souvent inadéquats parce qu'ils se concentrent

principalement sur la performance technique, négligeant les aspects humains et sociaux de la collaboration (Billinghurst et al., 2015). Par exemple, des mesures quantitatives comme le temps de réalisation d'une tâche ou le taux d'erreur ne fournissent pas une image complète de l'expérience des utilisateurs et des interactions sociales. L'évaluation de la RA collaborative doit évoluer au-delà de la simple performance technologique pour se concentrer sur la collaboration en tant qu'objectif principal, permettant une analyse plus complète de son impact sur l'efficacité du travail (Mayer et al., 2022). Enfin, la coopération en matière de RA reste un domaine de recherche en développement (Osmer et al., 2021) et la plupart des études s'appuient encore sur des méthodes mono-utilisateur, qui ne sont pas adaptées aux solutions collaboratives puisqu'elles évaluent la performance d'un seul collaborateur (Marques et al., 2022). Cette recherche aurait donc pour but d'essayer de combler en partie les différentes lacunes, en tentant d'étudier les effets de la synchronicité de la manipulation d'objets sur la performance, dans le cadre d'une co-conception à distance en RA.

L'intérêt porté par les entreprises pour les modèles de travail hybrides, ainsi que pour les applications de collaboration visuelle, démontre que cette recherche est particulièrement pertinente, dans un contexte où les espaces de travail entièrement virtuels devraient constituer 30 % de l'accroissement des investissements des entreprises dans les technologies immersives d'ici 2027, redéfinissant ainsi l'expérience de bureau (Yin et al., 2024). Les entreprises souhaitant s'engager dans ce virage technologique pour assurer la continuité efficace de leurs activités devront donc investir dans des applications et technologies qui encouragent la collaboration entre les employés, tout en maintenant ou améliorant leur performance.

Par conséquent, tout au long de ce mémoire nous allons tenter de répondre aux deux questions suivantes :

1) Comment la synchronicité des manipulations d'objets influe-t-elle sur l'expérience de collaboration et sur la performance d'une tâche créative au sein

d'une équipe travaillant à distance, engagée dans la co-conception d'un espace 3D en réalité augmentée ?

2) Dans quelle mesure les effets de la manipulation synchrone sur une tâche de co-conception en 3D sont-ils modérés par les capacités spatiales d'un individu ?

En nous appuyant sur les résultats de recherches antérieures et sur la théorie de la synchronicité des médias (Dennis et al., 2008), nous avons formulés des hypothèses concernant nos deux questions de recherche. Pour vérifier nos hypothèses, nous avons suivi un processus d'expérimentation confirmatoire comportant l'examen des travaux antérieurs. Nous avons aussi réalisé : un modèle de recherche, la conception d'une expérience, la réalisation de l'expérience, l'analyse des données, l'interprétation des résultats et la formulation d'implications pour la pratique et la recherche. Pour l'expérience, nous avons recruté 56 participants dans notre laboratoire, ce qui nous a permis d'avoir un meilleur contrôle des conditions expérimentales. Les données ont été collectées pendant et après la tâche expérimentale. La tâche de collaboration consistait à réaliser une conception pour aménager un espace de bureau dans un environnement en RA. Les capacités spatiales individuelles ont été mesurée par un test standard, le test de rotation mentale (MRT), et les données de perception subjective ont été recueillies via des questionnaires auto-administrés. La mesure objective de la performance de groupe sur la tâche de co-conception en 3D, a quant à elle été notée selon une grille de notation que nous avons préalablement établie (annexe E).

Les contributions potentielles

Au niveau de la recherche

La théorie de la synchronicité des médias, introduite par Dennis et Valacich (1999) et approfondie par Dennis et al. (2008), définit la synchronicité comme la capacité d'un moyen de communication à permettre aux individus de coordonner leurs actions et d'interagir en temps réel de manière fluide. Dans ce mémoire, la synchronicité se réfère spécifiquement à la manipulation en temps réel d'objets numériques en 3D, permettant

aux participants de collaborer sur la manipulation des objets. La synchronicité des médias a un effet positif sur la performance de la communication, améliorant ainsi la réalisation des tâches. Les recherches antérieures ont aussi comparé la collaboration synchrone et asynchrone, montrant que la collaboration synchrone conduit généralement à une expérience plus positive (Mabrito, 2006; Rahman et al., 2013; Stone et al., 2017). Toutefois, les résultats sont mitigés quant à l'amélioration des performances, il reste difficile d'établir un lien direct entre la performance de la communication et celle de la tâche (Dennis et al., 2008, Deng et al., 2022; Phadnis et al., 2021). Notre **première contribution** consiste à approfondir cette théorie en examinant comment la manipulation synchrone d'objets virtuels influence la collaboration créative et la performance des tâches en 3D. Nous postulons que certains médias peuvent offrir une synchronicité plus riche, permettant une collaboration efficace lors de tâches impliquant des objets 3D. En effet, nos résultats viennent renforcer l'idée que la manipulation synchrone a un effet positif sur la performance des tâches de conception en 3D.

La deuxième contribution de notre recherche réside dans l'étude de la co-conception créative 3D avec des visiocasques de RA. Comme mentionné précédemment, les études se sont principalement concentrées sur l'évaluation de la performance technique des outils (Schmalstieg & Hollerer, 2016; Billinghurst et al., 2015), des études mono-utilisateur (Marques et al., 2022), ou des scénarios où des experts assistent des utilisateurs à distance (Schäfer et al., 2023; Osmer et al., 2021). Notre recherche quant à elle, met l'accent sur l'aspect humain des systèmes technologiques, offrant une compréhension plus approfondie de l'expérience de collaboration et des performances dans des tâches de co-conception utilisant les visiocasques de RA. Effectivement, nos résultats démontrent que la manipulation synchrone a un effet positif sur l'expérience de collaboration, notamment sur la satisfaction.

La troisième contribution explore l'impact de la capacité spatiale individuelle dans les tâches de groupe en 3D. La variabilité de cette capacité, influencée par différentes stratégies de traitement de l'information spatiale, peut prédire la performance dans des tâches cognitives complexes (Barrera Machuca et al., 2019; Cohen & Hegarty, 2007).

Notre étude intègre la capacité spatiale en tant que modérateur pour comprendre les différences entre les individus ayant des capacités spatiales élevées et faibles lors de la manipulation synchrone en co-conception 3D. Les recherches antérieures montrent que l'entraînement spatial via des environnements VR/AR améliore les performances spatiales, particulièrement chez les individus ayant une faible capacité spatiale (Chang, 2014; Dere & Kalelioglu, 2020; Froese et al., 2013). Nous enrichissons ces connaissances en les appliquant à notre contexte. Nos résultats démontrent que les capacités spatiales individuelles ont un effet modérateur entre la manipulation synchrone et la performance de la tâche, notamment lorsque les individus ont des capacités spatiales faibles.

Au niveau des praticiens

Du point de vue des contributions pratiques, notre objectif est d'informer les entreprises, notamment les concepteurs 3D, sur les effets de l'utilisation des visiocasques dans un contexte de travail collaboratif à distance. Nos résultats offrent des indications précieuses pour relever les défis spécifiques liés à la manipulation synchrone, en particulier pour ceux ayant une faible capacité spatiale (Chang, 2014; Dere & Kalelioglu, 2020; Froese et al., 2013). En identifiant ces défis, les concepteurs peuvent améliorer leur expérience et performance lors de la co-conception sur des visiocasques. Les chefs de projet et propriétaires d'entreprise pourront mieux appréhender comment la manipulation synchrone et la capacité spatiale individuelle peuvent influencer l'expérience de collaboration et la performance du groupe. En intégrant des outils de manipulation synchrone dans leurs flux de travail, les entreprises pourraient favoriser des expériences positives, potentiellement améliorer la contribution des employés et créer plus de valeur organisationnelle. Nos recherches aideront également les fournisseurs de produits/services de conception 3D à mieux comprendre l'importance de la manipulation synchrone, en soulignant les avantages potentiels de son intégration dans leurs systèmes. Ils pourraient ainsi améliorer leurs applications de conception 3D pour mieux répondre aux besoins des concepteurs et des utilisateurs. En résumé, notre recherche vise à combler le fossé entre l'exploration théorique et l'application pratique, fournissant une

compréhension globale de l'impact de la manipulation synchrone et de la capacité spatiale individuelle dans les collaborations de co-conception 3D.

Structure du mémoire

Pour structurer notre étude et fonder ce mémoire sur des connaissances établies et des outils facilitant la compréhension du sujet, nous réaliserons une revue de la littérature pour synthétiser les recherches récentes sur les impacts de la réalité augmentée dans un contexte de conception 3D. Ensuite, pour garantir la pertinence de notre réponse, nous détaillerons la création du cadre conceptuel qui nous guidera tout au long de cette recherche. Puis, nous exposerons la méthodologie et les mesures utilisées pour collecter les données nécessaires à la validation ou non, de nos hypothèses. Après avoir présenté notre approche de collecte de données, nous analyserons et discuterons des résultats obtenus. Nous mettrons en lumière les principales conclusions de notre recherche, soulignant notre contribution théorique, scientifique et pratique. Nous identifierons aussi les limites de notre étude et proposerons des pistes de recherche future. Enfin, nous répondrons aux questions de recherche initiales en tirant des enseignements des résultats obtenus.

Chapitre 2 : Revue de la littérature

L'objectif de ce chapitre est d'analyser la littérature scientifique existante afin d'établir les principales conclusions liées aux effets de la réalité augmentée (RA) dans un contexte de co-conception, et de l'influence des capacités spatiales individuelles. Une analyse approfondie a été effectuée, couvrant des recherches dans les domaines de l'éducation, de l'architecture, de l'ingénierie et du design créatif. Ce chapitre expose les conclusions et les lacunes identifiées dans la littérature qui serviront de base à notre modèle de recherche et à nos hypothèses. Vous pouvez consulter le tableau de l'annexe A pour une analyse approfondie des articles les plus pertinents.

Une recherche préliminaire dans la littérature académique a été menée via *Google Scholar* pour explorer les concepts pertinents. Cette recherche a permis d'identifier les mots-clés et concepts suivants : *augmented reality*, *remote collaboration*, *immersive experience*, *synchronous manipulation*, *co-design*, *spatial ability*. Ces termes ont été combinés pour rechercher des articles dans plusieurs bases de données, dont *Web of Science*, *ACM Digital Library*, *IEEE Xplore*, *SpringerLink* et *Science Direct*. En outre, d'autres articles et documents scientifiques ont été découverts en examinant les références citées dans des publications jugées importantes pour ce travail. L'approche de *forward citation* a été utilisée pour les références sur la synchronicité de manipulation et la capacité spatiale individuelle, tandis que la *backward citation* a aidé à contextualiser le travail actuel dans un cadre plus large de la recherche existante.

2.1. Technologies collaboratives avant la RA, dans les tâches de co-conception

Nous avons débuté notre étude en examinant la littérature, afin de nous familiariser avec les technologies existantes utilisées pour des tâches collaboratives qui implique notamment le partage de visualisations.

2.1.1 Évolution des technologies collaboratives.

Les technologies de collaboration peuvent être segmentées en trois générations progressives, selon leur niveau d'interaction et d'efficacité. La première génération inclut des outils de communication basiques comme le courriel et les conférences téléphoniques, permettant une coordination limitée. La deuxième génération introduit des technologies plus interactives telles que les visioconférences et le partage de fichiers, améliorant ainsi la collaboration en temps réel. Et finalement, la troisième génération, plus avancée, comprend des environnements immersifs comme la réalité virtuelle et augmentée, offrant une expérience collaborative enrichie et une interaction immersive.

Depuis la pandémie de Covid-19, les employés ont dû apprendre à collaborer à distance avec l'aide des technologies, et on constate qu'au fil des années le marché des applications de collaboration visuelle a connu une croissance significative (Fasciani et al., 2023). La collaboration à distance est un processus d'activités conjointes et interdépendantes entre des collaborateurs physiquement éloignés, dans le but d'atteindre un objectif commun (Marques et al., 2022). Les équipes recherchent activement de nouvelles méthodes pour communiquer et partager leurs idées, en utilisant des canevas numériques interactifs et partageables qui sont accessibles à partir de divers appareils, tels que des ordinateurs personnels ou des écrans tactiles comme des tableaux interactifs dans les salles de réunion (Ye et al., 2024). Ces outils de collaboration visuelle favorisent la productivité en offrant une visualisation plus efficace des tâches et concepts complexes, facilitant ainsi la compréhension et la collaboration au sein des équipes (Fasciani et al., 2023). Cela dit, la question de la réalité augmentée et de la dimensionnalité des conceptions demeure cruciale. Il est essentiel d'explorer comment la RA peut améliorer l'efficacité des conceptions et la communication entre les membres de l'équipe pour optimiser son utilisation dans les environnements de co-conception.

2.1.2 Évolution et défis de la co-conception à distance.

Pour mieux comprendre les dynamiques de la co-conception à distance, il est nécessaire d'examiner les évolutions récentes. La co-conception peut se définir comme « la créativité de *designers* et de personnes non formées au design travaillant ensemble dans le processus de développement du design » (Sanders & Stappers, 2008, p.6, traduction libre). Pendant le processus de co-conception, les concepteurs travaillent donc en collaboration, en échangeant leurs connaissances, en apportant des compétences variées, en établissant une vision partagée et en explorant conjointement afin d'accomplir les tâches de conception. Les concepteurs ont tendance à utiliser une approche de « réflexion par prototypage », en utilisant des outils physiques dans le processus de conception tels que des croquis, des prototypes basse fidélité et des modèles (Maudet et al., 2017). Utiliser des maquettes physiques s'est révélé être une méthode efficace pour décrire, explorer et améliorer des solutions de conception, car la tangibilité offre une meilleure expression des aspects de la conception telles que la forme, l'échelle et les proportions spatiales par rapport à leurs équivalents numériques (Hallgrímsson, 2012; Jansen et al., 2013).

Cependant, des recherches ont identifié plusieurs défis qui ont eu un impact négatif sur le processus de conception collaborative à distance, tels que le déficit en outils adéquats pour communiquer des idées d'interaction (Ye et al., 2021), le manque de visibilité sur les activités des collaborateurs distants (Muñoz-Alcántara et al., 2016), et les difficultés à fournir des critiques efficaces sur les prototypes physiques (Mok & Oehlberg, 2017). Dans le domaine de l'architecture, il a été démontré qu'avec le dessin 2D et un modèle réduit comme support de conception, un effort mental supplémentaire est nécessaire pour visualiser et naviguer dans la scène 3D. De même, utiliser du dessin sur papier ou sur tableau blanc comme support de communication demande un effort mental supplémentaire pour associer les informations dessinées à la scène 3D (Hsu et al., 2020). Bien que des solutions virtuelles comme l'utilisation d'une caméra frontale pour partager un point de vue à un partenaire puissent être utilisées pour la communication, cette approche nécessite que les participants transposent leurs expériences locales en une représentation qui peut être abstraite pour eux-mêmes (Mok & Oehlberg, 2017).

Pour répondre à ces défis, la réalité augmentée émerge comme une technologie prometteuse. La section suivante examinera comment la RA peut améliorer la collaboration et la co-conception en offrant des solutions plus intuitives et immersives pour surmonter les limitations des outils traditionnels.

2.2 La Réalité Augmentée (RA) : Une technologie émergente pour améliorer la collaboration

Nous nous familiarisons ici avec la technologie de réalité augmentée. Nous commençons avec un rapide contexte de cette technologie, puis nous l'abordons dans un cadre de collaboration.

2.2.1 Contexte de la réalité augmentée

Le domaine de la réalité augmentée remonte à la fin des années 1960, et le terme a été introduit pour la première fois au début des années 1990 par Caudell et Mizell, d'anciens ingénieurs de Boeing. Leur objectif était d'afficher des informations basiques telles que du texte dans un environnement en 3D, afin d'améliorer les processus de fabrication (Sereno et al., 2022). La RA est un cas particulier de réalité mixte (MR) et est étroitement liée au monde réel. Les systèmes de RA doivent respecter les exigences suivantes : (1) la fusion et l'alignement des informations réelles et virtuelles, (2) un rendu en temps réel via tous les canaux sensoriels, (3) et un environnement interactif en temps réel (Azuma, 1997 ; Azuma & al., 2001). Finalement, nous définissons la RA comme une superposition des informations réactives générées par ordinateur au-dessus du monde réel, combinant à la fois du contenu réel et virtuel, une interaction en temps réel, ainsi qu'un enregistrement 3D avec du contenu réel (Azuma, 1997). Pour nommer plus spécifiquement cette technologie, nous avons choisi le terme de « visiocasque », traduit de « *Head-Mounted Display* » (*HMD*), car la réalité augmentée peut s'utiliser à partir de différents dispositifs, tels que des lunettes, smartphones, tablettes, ordinateurs. La RA a été appliquée dans divers domaines de recherche tels que la médecine, l'éducation, l'archéologie, les jeux, le

guidage d'experts à distance, la gestion des crises et la visualisation de l'information (Serenio et al., 2022).

2.2.2 Évolution de la collaboration synchrone avec les technologies de RA.

Les premières études portant sur la collaboration en réalité augmentée ont principalement exploré la communication synchrone, impliquant le partage en temps réel d'informations ou de commentaires et une interaction entre plusieurs utilisateurs dans le but d'atteindre un objectif commun (Chen et al., 2021). Par exemple, Ben Rajeb et Leclercq (2013) ont développé un outil graphique collaboratif synchrone à distance, permettant le partage de documents et d'annotations en temps réel. Au fil des années, la réalité augmentée utilisant des visiocasques et des dispositifs portables, est devenue un outil précieux pour favoriser la collaboration, en particulier dans des cas de résolution de problèmes spatiaux, de guidage à distance, de réunion ou de conception (Pidel & Ackermann, 2020; Schäfer et al., 2023). Cette technologie permet notamment de fournir les conseils d'un expert à distance, que ce soit pour des consultations chirurgicales (Davis et al., 2016) ou des opérations de maintenance à distance (Palmarini et al., 2018). Une étude menée par Kim et al. (2014) a examiné comment l'utilisation de marqueurs de RA pouvait améliorer l'efficacité des équipes travaillant à distance sur la résolution d'un puzzle. Grâce au suivi basé sur SLAM (*simultaneous localization and mapping*), les utilisateurs distants ont pu fournir des indications spatiales en plus de leurs instructions verbales, ce qui s'est traduit par une augmentation significative de la sensation de connexion et de la co-présence pour les participants, qu'ils soient locaux ou distants.

Finalement, la technologie de réalité augmentée spatiale (RAS ou SAR) facilite la collaboration synchrone. La RA et la RAS sont deux technologies similaires, avec pour objectif d'enrichir l'interaction avec le monde réel par l'ajout de contenu numérique. Néanmoins, la RAS se constitue de l'apparence et de la tangibilité d'un objet physique réel, mais avec une surface pouvant être modifiée par l'affichage d'un contenu numérique. Elle offre aussi une représentation visuelle de grande qualité, à la fois dans les dimensions virtuelle et physique, favorisant ainsi une interaction naturelle entre les parties prenantes

et l'artefact notamment en suivant distinctement le corps de chaque utilisateur (Kent et al., 2021; Porter et al., 2010; Sereno et al., 2022).

La RA et la RAS se sont révélées prometteuses pour améliorer la collaboration grâce à leurs capacités de superposition d'informations virtuelles sur le monde réel. En poursuivant cette voie, il est essentiel d'explorer comment la RA peut être intégrée dans la co-conception 3D pour maximiser ses avantages et relever les défis associés.

2.3. La co-conception 3D en réalité augmentée

La réalité augmentée (RA) joue un rôle crucial dans l'évolution des méthodes de co-conception à distance. Cette section explore les avantages et les défis liés à l'intégration de la RA dans la co-conception 3D à distance, mettant en lumière les bénéfices potentiels pour la créativité et l'efficacité des équipes, tout en examinant les défis à relever pour maximiser l'utilisation de cette technologie.

2.3.1 Avantages de la RA dans la co-conception 3D

La réalité augmentée (RA) a été reconnue comme une technique prometteuse pour développer des produits et faciliter la communication entre les parties prenantes (Li & Fessenden, 2016; Zampelis et al., 2012). La RA permet la visualisation de l'information et la création de représentations virtuelles de produits ou de caractéristiques. Par exemple, Gasques et al. (2019) ont créé un outil de prototypage appelé "PintAR" conçu pour permettre aux utilisateurs de concevoir une expérience interactive en dessinant des croquis dans un environnement de RA. Hong et al. (2019) ont exploré l'environnement virtuel multi-utilisateurs *Second Life*¹ pour encourager la collaboration créative, notamment dans le domaine de la conception architecturale, et ont montré que ce système était plus efficace que les approches bidimensionnelles. Les systèmes de co-conception basés sur la RA ou la réalité mixte (*mixed reality*), fournissent un outil parfait pour les concepteurs, qui

¹ <https://secondlife.com/>

peuvent coopérer et concevoir des produits virtuels innovants dans un environnement de fusion virtuel-réel, bien plus tôt et plus facilement qu'avec un système traditionnel (Wang, 2020). Wang et Dunston (2011) ont montré que les systèmes de RA peuvent améliorer le temps de performance dans les tâches de conception collaborative.

Au cours des dernières années, plusieurs recherches ont été conduites sur l'application de la réalité augmentée spatiale (RAS) dans divers domaines de l'ingénierie de conception, mettant en évidence les avantages de cette technologie pour soutenir les activités de conception. Par exemple, Park et al. (2015) ont utilisé la RAS pour projeter des textures et des couleurs numériques sur des modèles physiques de produits, permettant aux concepteurs de visualiser et de modifier l'apparence des produits en temps réel, facilitant ainsi la prise de décision et améliorant l'efficacité du processus de conception. D'autre part, il a été établi que la RAS pouvait influencer les processus socio-cognitifs au sein des groupes engagés dans des sessions de conception collaborative (Maslet et al., 2020). Elle améliore la compréhension partagée et réduit les barrières de communication et de langue (Verlinden, 2012; Ben Guefrech et al., 2023). O'Hare et al. (2018) ont évalué comment la technologie RAS influençait la nouveauté et la qualité des idées générées par rapport aux méthodes traditionnelles de conception, révélant une amélioration significative pour ces deux aspects. De plus, la RAS favorise une densité accrue des interactions, notamment celles impliquant les utilisateurs finaux, stimulant ainsi la communication (Ben Guefrech et al., 2023).

2.3.2 Défis de la RA dans la co-conception 3D

Bien que les systèmes de RA et de RAS démontrent de nombreux avantages pour la collaboration à distance, ils présentent également plusieurs défis. Les recherches actuelles ont souvent défini le contexte de la collaboration comme une forme d'assistance unidirectionnelle, ce qui a conduit à une dépendance fréquente de la perspective d'un collaborateur sur celle de l'autre. Pour les études futures, il est suggéré de modéliser plus fidèlement le contexte de collaboration réel où les deux parties sont activement engagées

pour atteindre un objectif commun et partagent l'expérience de manière équilibrée, créant ainsi une "expérience parallèle". La recherche existante montre aussi un manque de théories et de cadres d'évaluation pour guider et évaluer la collaboration soutenue par la RA, ce qui empêche de recueillir les données nécessaires pour une analyse détaillée. Marques et al. (2023) recommandent de comprendre explicitement comment la collaboration se déroule via la RA et comment elle contribue à un travail plus efficace, de sorte à progresser vers des solutions utilisables, réalistes et efficaces. La plupart des études se concentrent sur les aspects techniques comme la qualité de l'affichage ou la précision du suivi des mouvements, mais elles n'explorent pas suffisamment les dynamiques de groupe, la prise de décision collective ou l'engagement des participants (Schmalstieg & Hollerer, 2016). L'évaluation de la RA collaborative doit donc évoluer au-delà de la simple performance technologique pour se concentrer sur la collaboration en tant qu'objectif principal, permettant ainsi de juger de la manière dont le système prend en charge la collaboration (Mayer et al., 2022). De plus, il a été constaté que peu de recherches ont étudié l'utilisation de la RAS dans des situations de co-conception où des concepteurs travaillent avec des non-concepteurs (Poulin et al., 2024). Enfin, il est recommandé d'examiner d'autres aspects du design tels que la profondeur et l'étendue des discussions sur le design, le niveau de créativité et de réflexion, ainsi que les résultats du design (Ye et al., 2024).

Alors que la RA et la RAS apportent des avantages significatifs et des défis uniques à la co-conception 3D, il est également important de considérer les capacités spatiales individuelles des utilisateurs. Ces capacités jouent un rôle déterminant dans la manière dont les individus interagissent avec les environnements augmentés et collaboratifs.

2.4. Capacités spatiales individuelles

La capacité spatiale individuelle est définie comme « Les capacités des individus à explorer le champ visuel, à appréhender les formes et les positions des objets tels qu'ils sont perçus visuellement, à former des représentations mentales de ces formes et positions et à manipuler ces représentations "mentalement" » (Carroll, 1993, p.304, traduction

libre). En d'autres termes, il est nécessaire de créer et de maintenir une représentation mentale interne d'une scène perçue afin de permettre des manipulations mentales (Höffler, 2010).

2.4.1 Développement des capacités spatiales individuelles

La capacité spatiale individuelle joue un rôle crucial dans la performance des tâches spatiales qui nécessitent une forte capacité de visualisation et de manipulation mentale de l'espace (Carroll, 1993; Hegarty & Waller, 2005). Ces compétences spatiales sont malléables, les individus peuvent s'améliorer sous réserve de formation (Hawes et al., 2017). Acquérir la capacité de convertir des représentations 2D en 3D, ou vice versa, est fondamental non seulement pour cultiver la compétence à interpréter et à générer des conceptions spatiales qui puissent être communiquées avec les autres, mais aussi pour développer la coordination main-œil nécessaire à l'élaboration des idées (Eggermont, 2008). Par exemple, Rafi et Samsudin (2009) ont démontré qu'un entraîneur interactif de rotation mentale de bureau (iDeMRT) pouvait améliorer la capacité de rotation mentale, et par conséquent les compétences spatiales. Au cours d'une revue systématique, Piri et Cagiltay (2023) ont constaté que toutes les études sauf une (Adams et al., 2016), révélaient que la formation basée sur la visualisation 3D améliore considérablement la capacité de rotation mentale, indépendamment de la technologie utilisée et du groupe cible. Roca-González et al. (2016) ont testé des activités de formation en ingénierie en réalité virtuelle (VR) et en réalité augmentée pour améliorer les composants de la capacité spatiale, dont la rotation mentale, la visualisation spatiale et l'orientation spatiale. Finalement, au travers de leur revue, Di & Zheng (2022) ont constaté que la réalité augmentée s'avère être la technologie la plus propice à l'amélioration des capacités spatiales des apprenants par rapport à d'autres technologies virtuelles.

2.4.2 Capacités spatiales et performance

Les individus présentent des niveaux variés de capacité spatiale, ce qui se traduit par des différences dans la vitesse de traitement et l'utilisation de différentes stratégies pour traiter les informations spatiales (Mohler, 2008). Les personnes qui rencontrent des difficultés ou ont peu d'expérience dans l'utilisation de la visualisation spatiale peuvent éprouver des obstacles lors de l'apprentissage du dessin technique (Erkan Yazici, 2013). À l'inverse, les individus dotés d'une capacité spatiale plus élevée obtiennent généralement de meilleurs résultats. Par exemple, des études ont montré que dans des environnements de conception 3D, les individus avec une capacité spatiale élevée ont tendance à obtenir des scores supérieurs en raison de leur meilleure capacité d'orientation spatiale (Chang, 2014; Barrera et al., 2019). Šafhalter et al. (2022) se sont intéressés à la formation d'enfants de moins de 14 ans à un cours de modélisation 3D, révélant une amélioration de la capacité de visualisation spatiale et des scores plus élevés aux tests spatiaux tels que le test de rotation mentale (MRT) et le test de visualisation spatiale Purdue. Cependant, les effets de la formation aux capacités spatiales 3D peuvent varier en fonction du niveau de capacité spatiale de l'individu. D'autres études ont montré que les individus présentant des niveaux élevés et faibles de capacité spatiale peuvent bénéficier différemment de cette formation. Par exemple, Froese et al. (2013) ont découvert que les programmes de formation à la visualisation étaient plus bénéfiques pour les individus ayant une faible capacité spatiale que pour ceux ayant une grande capacité spatiale. De même, Piri et Cagiltay (2023) ont révélé que les outils de visualisation 3D étaient plus bénéfiques pour les individus ayant des niveaux de capacité spatiale faibles que pour ceux ayant des niveaux élevés. Enfin, Dere et Kalelioglu (2020) ont constaté que leur environnement de conception 3D basé sur le Web améliorait la capacité spatiale des individus, en particulier pour ceux ayant une faible capacité spatiale, en leur offrant une meilleure perspective et en facilitant la résolution des problèmes spatiaux. Des recherches supplémentaires ont exploré l'impact de la capacité spatiale sur les tâches 3D. Par exemple, Lee et Ostwald (2022) ont mené un examen complet des plateformes numériques et ont conclu que les interfaces de dessin 3D peuvent améliorer la cognition spatiale. Froese et al. (2013) ont constaté que permettre aux utilisateurs de contrôler les objets dans les environnements

3D, en leur permettant de les faire pivoter, de modifier leur orientation et de contrôler leur vitesse pouvait être plus engageant. Néanmoins, cela n'entraîne pas nécessairement de meilleures performances pour les individus dotés d'une capacité spatiale élevée et pour ceux ayant une faible capacité spatiale cela peut leur accroître la charge cognitive.

Papakostas et al. (2021) ont mis en évidence le manque d'une revue systématique de la littérature portant spécifiquement sur l'utilisation de la RA dans le développement des capacités spatiales. Bien que notre étude ne se concentre pas sur cet aspect, nous voulons suivre les recommandations de Loureiro et al. (2019), qui ont souligné que peu d'attention est accordée aux modérateurs dans les revues de marketing en réalité virtuelle (RV), en particulier les compétences techniques. Finalement, dans leurs études sur la collaboration 3D colocalisé, Stone et al. (2017) ont déterminé que dans un environnement de conception assistée par ordinateur impliquant plusieurs utilisateurs, la compétence en manipulation spatiale était un élément déterminant qui influence les résultats des équipes dans les activités de modélisation 3D.

Ce chapitre a exploré les différentes dimensions de la co-conception à distance, en mettant l'accent sur les technologies de réalité augmentée (RA). Nous avons examiné les avantages et les défis de ces technologies dans la co-conception 3D, soulignant leur potentiel pour améliorer la collaboration et l'innovation tout en reconnaissant les obstacles techniques et humains. Nous avons également mis en lumière l'importance des capacités spatiales individuelles dans la performance des tâches de conception. Les compétences en visualisation et manipulation spatiale jouent un rôle crucial dans les environnements de conception 3D, influençant l'efficacité des tâches. Cependant, plusieurs lacunes subsistent dans la littérature actuelle. Notamment, il manque des théories et des cadres d'évaluation robustes pour guider et évaluer la co-conception à distance en RA. De plus, l'impact des capacités spatiales individuelles sur la performance des tâches en tant que modérateur reste sous-exploré. Nos recherches visent à combler ces lacunes en explorant deux questions de recherche fondamentales :

- 1. Comment la synchronicité des manipulations d'objets influe-t-elle sur l'expérience de collaboration et sur la performance d'une tâche créative au sein d'une équipe travaillant à distance, engagée dans la co-conception d'un espace 3D en réalité augmentée ?**
- 2. Dans quelle mesure les effets de la manipulation synchrone sur une tâche de co-conception en 3D sont-ils modérés par les capacités spatiales d'un individu ?**

Ces questions cherchent à intégrer à la fois les aspects technologiques et humains de la collaboration en RA, permettant ainsi de développer des modèles de recherche plus complets et pertinents.

Le chapitre suivant présente notre cadre conceptuel, élaboré pour répondre à ces questions, et décrit les hypothèses qui guideront notre étude empirique.

Chapitre 3 : Cadre conceptuel

Dans ce chapitre, nous présentons notre cadre de recherche. En nous appuyant sur les conclusions de la revue de littérature et en utilisant la théorie de la synchronicité des médias, nous élaborons notre modèle de recherche. Nous formulons et justifions également les hypothèses liées à nos questions de recherche, qui visent à évaluer les effets de l'utilisation de la réalité augmentée dans un contexte de collaboration à distance. Plus spécifiquement, nous examinons l'influence de la manipulation synchrone et de la capacité spatiale individuelle sur l'expérience de collaboration et sur les performances de la tâche lors des sessions de co-conception 3D.

3.1 Modèle de recherche et variables

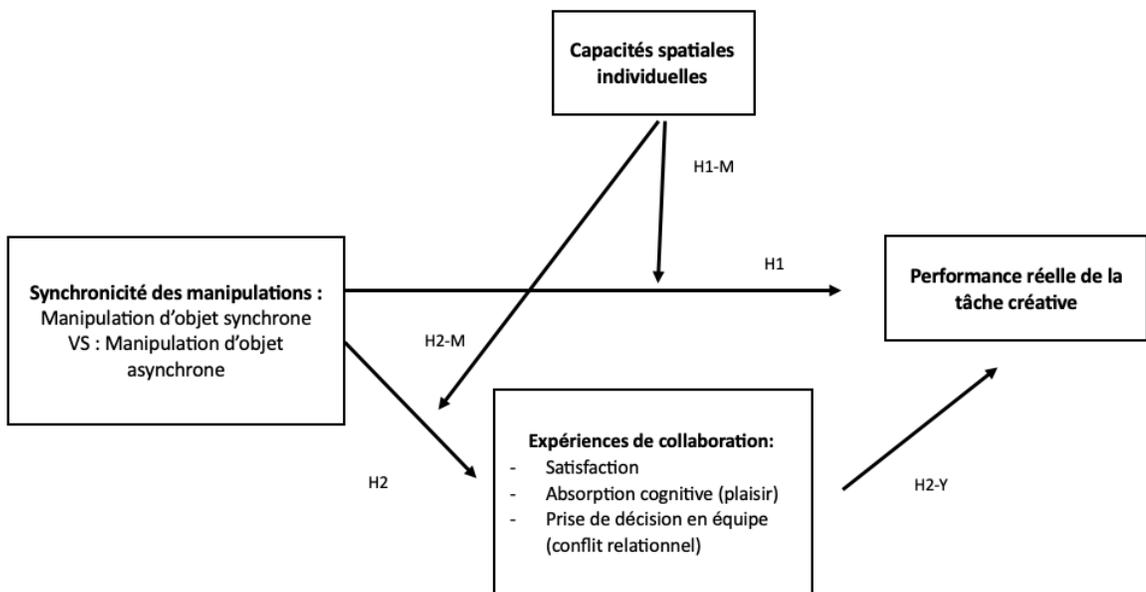
Pour répondre à nos questions de recherche, nous avons examiné les recherches existantes portant sur la collaboration synchrone en RA et les effets de la capacité spatiale individuelle sur les performances dans les tâches de conception 3D. En nous basant sur les résultats pertinents, nous avons élaboré un modèle de recherche et formulé des hypothèses.

Notre modèle postule que l'utilisation de la réalité augmentée influence la performance de la tâche collaborative. La performance de la tâche se réfère à l'efficacité des individus dans l'exécution d'une tâche spécifique et à leur contribution dans les processus techniques d'une entreprise, que ce soit en mettant en œuvre une partie des processus technologiques ou en fournissant les équipements et les services nécessaires à l'entreprise (Borman & Motowidlo, 1997). Nous avançons que cette influence peut être observée selon le degré de synchronicité utilisé dans l'expérience de collaboration et dans les capacités spatiales individuelles. La synchronicité, telle que définie dans la théorie de la synchronicité des médias de Dennis et al. (2008), se réfère à la capacité d'un moyen de communication à permettre aux individus d'atteindre une synchronisation. Dans notre contexte, la

synchronicité se rapporte à la manipulation en temps réel d'objets numériques en trois dimensions (3D) par deux individus. Nous définissons la manipulation synchrone d'objet 3D comme la capacité des individus à ajuster, déplacer et placer des objets numériques 3D de manière logique et cohérente lors d'une collaboration.

Nous proposons deux hypothèses directrices : H1 a été développé pour évaluer l'impact de la synchronicité de la manipulation sur la performance de la tâche créative, et H2 évalue l'impact de la synchronicité sur l'expérience de collaboration. Également, nous avons émis une hypothèse médiatrice : H2-Y représentant la médiation dans la relation entre l'expérience de collaboration et la performance de la tâche. Enfin, afin de comprendre les effets modérateurs des capacités spatiales individuelles, nous avons établis deux principales hypothèses : H1-M et H2-M, évaluant respectivement cet effet modérateur sur la relation entre la synchronicité et la performance, et sur la relation entre la synchronicité et l'expérience de collaboration. Le modèle de recherche illustrant ces principales hypothèses est présenté dans la figure 1. Pour chacune de ces principales hypothèses, nous avons formulés des sous-hypothèses qui illustrent les différents concepts de nos variables. Nous les détaillons dans les sections de ce chapitre.

Figure 1 : Modèle de recherche



3.2 Hypothèses

3.2.1 Hypothèses directes

Influence de la synchronicité des manipulations sur la performance de la tâche

Les recherches existantes sur la performance des tâches nous laissent croire que la manipulation synchrone peut avoir un impact positif sur la performance d'une tâche de conception 3D collaborative. La théorie de la synchronicité des médias suggère que les outils technologiques permettant une communication synchronisée, comme les casques de réalité augmentée, améliorent la performance de la communication en favorisant une compréhension plus rapide et une interaction directe, similaire à une conversation en face à face (Dennis et al., 2008). D'ailleurs, plusieurs études ont démontré que la RA améliore la compréhension partagée, réduit les barrières de communication et de langue (Verlinden, 2012; Ben Guefrech et al., 2023), et facilite la communication entre les parties prenantes (Li & Fessenden, 2016; Zampelis et al., 2012).

Plus spécifiquement, pour les tâches de conception collaborative en 2D, la manipulation synchrone peut contribuer à améliorer la performance des tâches (Rahman et al., 2013 ; Yim et al., 2017). Pour les tâches de conception collaborative en 3D, Grandi et al. (2017) ont mené une expérience pour comparer les performances de groupes de différentes tailles lors de tâches de manipulation synchrone. Les résultats montrent que la taille du groupe influence significativement la précision des tâches de manipulation : plus le groupe est grand, plus la précision est élevée. Les groupes plus grands ont également démontré une meilleure répartition du travail, chaque membre se spécialisant dans une tâche spécifique, ce qui a amélioré la précision globale. D'autres études ont également montré que les systèmes de RA en manipulation synchrone peuvent améliorer le temps de performance et l'effort mental (Wang et Dunston, 2011; Grandi et al., 2018; Grandi et al., 2019). Néanmoins, Deng et al. (2022) ont rapporté des effets négatifs dans un contexte de collaboration à grande échelle, où les utilisateurs étaient distraits par une manipulation excessive d'objets. Dans notre recherche, le nombre de membres de l'équipe est réduit, ce

qui pourrait réduire les distractions potentielles. De plus, la tâche de modélisation 3D dans l'étude de Phadnis et al. (2021) impliquait de se concentrer sur un même objet 3D. En revanche, notre recherche examine des tâches de groupe où les participants peuvent contribuer à différents éléments du projet. Cette flexibilité permet une communication et une collaboration efficaces entre les collaborateurs, ce qui pourrait améliorer la performance de la tâche. Enfin, une étude de O'Hare et al. (2018), a également montré que la manipulation d'objets avec la RA offre une meilleure performance au niveau de la qualité et nouveauté des idées. Par conséquent, nous pensons que l'utilisation de la RA dans un cadre de manipulation d'objets synchrone, lors d'une tâche de conception 3D collaborative, pourrait entraîner une amélioration positive de la performance de la tâche. Nous précisons que dans le contexte de notre recherche, la variable dépendante inclue la performance de groupe des utilisateurs (évaluée à l'aide d'une grille, auquel nous attribuons un score).

H1 : Les individus collaborant sur une tâche avec une manipulation synchrone d'objets obtiendront une **meilleure performance** sur la tâche de co-conception 3D que ceux collaborant avec une manipulation asynchrone.

Influence de la synchronicité des manipulations sur l'expérience de collaboration

Nous pensons que la synchronicité de la manipulation pourrait influencer positivement les perceptions des individus concernant l'expérience de collaboration lors d'une tâche de co-conception 3D. Les processus de groupe englobent divers éléments, tels que la satisfaction à l'égard d'un processus utilisés, l'absorption cognitive des participants dans la tâche et les processus décisionnels en équipe. Nous détaillons ici plus spécifiquement ces éléments.

Premièrement, la manipulation synchrone dans un environnement 3D peut influencer la perception de la satisfaction avec la tâche dans les activités de conception collaborative. Dans le contexte des technologies de l'information, la satisfaction est un facteur favorisant

l'adoption de la technologie et qui joue un rôle crucial dans le succès d'un travail d'équipe (Lowry et al., 2009). La théorie de la synchronicité des médias met en évidence que le choix du processus de communication et du degré de synchronicité du média utilisé, influence positivement la qualité de la communication entre individus. Cette amélioration est attribuable en partie à une meilleure circulation de l'information pendant l'exécution d'une tâche (Dennis et al., 2008). En favorisant un échange plus fluide et accessible d'informations entre les membres d'un même groupe lors de tâches collaboratives, la synchronicité du média vient faciliter les processus de groupe. Des études montrent que la synchronicité d'un média a un impact positif sur la satisfaction des individus, notamment dans un contexte d'apprentissage multilingue (Fleischmann et al., 2019) ou de travail professionnel (Hassell & Limayem, 2010). Ainsi, l'utilisation de la RA avec la manipulation synchrone d'objets devrait augmenter la satisfaction des utilisateurs pour les tâches de conception 3D collaborative.

H2-a : Les individus collaborant sur une tâche avec une manipulation synchrone d'objets percevront une **meilleure satisfaction** du processus de collaboration que ceux collaborant sans manipulation synchrone.

Deuxièmement, la manipulation synchrone dans un environnement 3D peut influencer la perception de prise de décision en équipe au cours d'une tâche de conception collaborative. Nous définissons la prise de décision en équipe comme la capacité collective d'un groupe à prendre des décisions pour accomplir une tâche spécifique, en tenant compte des opinions et des positions de chacun, favorisant ainsi une communication efficace de l'information (Jones & Roelofsma, 2000). Ce concept est composé de deux dimensions : la controverse constructive et le conflit relationnel. Nous nous focaliserons sur le conflit relationnel.

Des études ont révélé que l'utilisation d'un média avec une forte synchronicité peut avoir un impact négatif sur la prise de décision en groupe. Par exemple, un média avec une grande synchronicité dans un cadre virtuel, qui reproduit un environnement similaire à une discussion en face à face, peut ne pas égaler l'efficacité des prises de décision en face

à face (O'Neill et al., 2016). En revanche, Schouten et al. (2016) ont démontré que dans des contextes de design notamment, un média offrant une visualisation 3D des objets favoriserait une meilleure prise de décision en groupe, comparé à une visualisation 2D. Ainsi, les perceptions individuelles de prise de décision pendant une tâche de co-conception pourraient être améliorées. Nous supposons que l'utilisation de la RA dans le cadre d'une manipulation synchrone sur une tâche de co-conception devrait avoir un impact positif sur la perception de gestion des conflits relationnels au sein de l'équipe.

H2-b : Les individus collaborant sur une tâche avec une manipulation synchrone d'objets percevront une **meilleure gestion des conflits relationnels** entre les membres de l'équipe que ceux collaborant sans manipulation synchrone.

Troisièmement, la manipulation synchrone dans un environnement 3D peut influencer la perception d'absorption cognitive quant à la tâche collaborative. Nous caractérisons l'absorption cognitive comme un état d'engagement profond envers un outil technologique. Cette notion est composée de cinq dimensions principales, mais nous nous concentrerons sur le plaisir accru²: Le plaisir concerne le sentiment de satisfaction éprouvés lorsqu'on est engagé dans une activité, caractérisés par des sentiments positifs et une gratification émotionnelle (Agarwal & Karahanna, 2000).

Des études antérieures ont montré que l'interactivité d'un média avec différentes modalités entraînait une évaluation plus favorable de l'interface et une absorption cognitive plus importante (Oh & Sundar, 2015). Également, que l'interaction avec la réalité augmentée est motivante, engageante et immersive (Scholz & Smith, 2016; Shin, 2019). Enfin, il a été démontré qu'un environnement de conception 3D est immersif, amusant et agréable lorsque les utilisateurs peuvent le manipuler (Dere & Kalelioglu, 2020 ; Gu et al., 2011 ; Hong et al., 2016). Pour ces raisons, nous pensons que l'utilisation de la manipulation synchrone influencera positivement les perceptions d'absorption cognitive pour les tâches de co-conception en 3D.

² Traduction libre provenant du terme anglais « Heightened Enjoyment »

H2-c : Les individus collaborant sur une tâche avec une manipulation synchrone d'objets percevront un **plus grand plaisir** que ceux collaborant sans manipulation synchrone.

3.2.2 Hypothèses médiatrices

Influence de l'expérience de collaboration sur la performance des tâches

La perception de l'expérience de collaboration peut être un facteur médiateur de la performance de la tâche. Rappelons que par processus de collaboration, nous faisons référence à la satisfaction, à l'absorption cognitive et la prise de décision en équipe. Selon la théorie de la synchronicité des médias, l'impact de la synchronicité sur l'efficacité de la communication est influencé par le type de processus de communication sélectionné, que ce soit un processus de transmission³ ou de convergence (Dennis et al., 2008). Plusieurs recherches dans le domaine d'affaire démontrent que la performance peut être médiée par des perceptions et comportements individuels. En effet, il a été constaté que l'engagement et la satisfaction au travail peuvent jouer un rôle médiateur dans la performance des employés (Alfes et al., 2013; Chang et al., 2010). Par conséquent, nous présumons que l'influence d'un média offrant une synchronicité de la manipulation comparable aux casques de réalité augmentée, sur la performance de la tâche, pourrait être médiée par les perceptions relatives à l'expérience de collaboration.

H2-Y-a : Les individus percevant une **meilleure satisfaction** du processus de collaboration obtiendront une meilleure performance de la tâche par rapport à ceux qui perçoivent une moins bonne satisfaction.

H2-Y-b : Les individus percevant une **meilleure gestion des conflits** relationnels dans le processus de collaboration obtiendront une meilleure performance de la tâche par rapport à ceux qui perçoivent une moins bonne gestion de ces conflits.

³ Traduction libre provenant du terme anglais « Conveyance »

H2-Y-c : Les individus percevant un **plus grand plaisir** dans le processus de collaboration obtiendront une meilleure performance de la tâche par rapport à ceux qui perçoivent moins de plaisir.

3.2.3 Hypothèses modératrices

Nous souhaitons ici répondre à notre deuxième question de recherche : *Dans quelle mesure les effets de la manipulation synchrone sur une tâche de co-conception en 3D sont-ils modérés par les capacités spatiales d'un individu ?*

Les capacités spatiales individuelles d'un individu peuvent être un facteur modérateur de la relation entre la manipulation d'objets synchrone et la performance de la tâche, mais aussi entre la synchronicité de la manipulation et les perceptions de l'expérience de collaboration. Rappelons que les capacités spatiales individuelles peuvent être définies comme « Les capacités des individus à explorer le champ visuel, à appréhender les formes et les positions des objets tels qu'ils sont perçus visuellement, à former des représentations mentales de ces formes et positions et à manipuler ces représentations "mentalement" » (Carroll, 1993, p.304, traduction libre).

Des recherches antérieures ont démontré que l'utilisation de supports de visualisation externes et la formation aux technologies virtuelles peuvent améliorer les performances des tâches spatiales et l'expérience individuelle dans ces tâches (Cohen et Hegarty, 2007; Froese et al., 2013). Par exemple, une étude de Dere et Kalelioglu (2020) a montré qu'un environnement de conception 3D pouvait améliorer les compétences spatiales en aidant à la visualisation et à la rotation mentale. De plus, Lee et Ostwald (2022) ont constaté que les plateformes de conception numérique renforcent la cognition liée à la conception spatiale. Plus spécifiquement, les recherches ont révélé que les personnes ayant une faible capacité spatiale réagissent différemment de celles ayant une capacité spatiale élevée. Il a été observé que les programmes de formation spatiale, ainsi que les plateformes de conception et de visualisation 3D étaient plus avantageux pour les individus à faible

capacité spatiale que pour ceux à capacité spatiale élevée (Froese et al., 2013; Chang, 2014 ; Dere et Kalelioglu, 2020 ; Piri et Cagiltay, 2023; Hegarty et Waller, 2005). Les utilisateurs ayant une faible capacité spatiale présentent une vitesse et des stratégies de traitement des informations spatiales plus faibles, et une manipulation synchrone pourrait donc les aider à mieux comprendre et manipuler des objets dans un contexte 3D. Il a également été démontré que la compétence en manipulation spatiale était un élément déterminant qui influence les résultats des équipes dans les activités de modélisation 3D collaborative (Stone et al., 2017). Ainsi, nous pensons que dans une tâche de co-conception 3D la capacité spatiale des individus modérera la relation entre la synchronicité de la manipulation et la performance de la tâche, mais aussi entre la synchronicité de la manipulation et l'expérience de collaboration.

H1-M: La capacité spatiale individuelle modère la relation entre la manipulation synchrone et la **performance de la tâche**, de sorte que chez les individus dotés d'une capacité spatiale élevée, la manipulation synchrone aura un effet moindre sur la performance de la tâche, en comparaison aux individus ayant une faible aptitude spatiale.

H2-M-a : La capacité spatiale individuelle modère la relation entre la manipulation synchrone et la **satisfaction**, de sorte que chez les individus dotés d'une capacité spatiale élevée, la manipulation synchrone aura un effet moindre sur la performance de la tâche, en comparaison aux individus ayant une faible aptitude spatiale.

H2-M-b : La capacité spatiale individuelle modère la relation entre la manipulation synchrone et la **gestion des conflits relationnels**, de sorte que chez les individus dotés d'une capacité spatiale élevée, la manipulation synchrone aura un effet moindre sur la performance de la tâche, en comparaison aux individus ayant une faible aptitude spatiale.

H2-M-c : La capacité spatiale individuelle modère la relation entre la manipulation synchrone et le **plaisir accru**, de sorte que chez les individus dotés d'une capacité spatiale élevée, la manipulation synchrone aura un effet moindre sur la performance de la tâche, en comparaison aux individus ayant une faible aptitude spatiale.

Chapitre 4 : Méthodologie

Dans le but de tester le modèle de recherche élaboré précédemment, une expérimentation en laboratoire a été menée pour examiner les effets de l'utilisation des casques de réalité augmentée lors de l'exécution d'une tâche créative en collaboration, dans un environnement de travail à distance selon deux niveaux de synchronicité. Le premier niveau de synchronicité implique la manipulation d'objets numériques de manière asynchrone, ce qui représente la condition de contrôle, tandis que le deuxième niveau implique une manipulation d'objets de manière synchrone, représentant la condition de traitement. L'objectif de cette expérimentation était de mettre en évidence un lien de cause à effet entre le niveau de synchronicité de la manipulation d'objets lorsque deux individus collaborent, et leur performance dans la tâche accomplie.

Il est important de noter que cette recherche a été approuvée par le comité d'éthique et de recherche d'HEC Montréal et menée conformément à ses directives.

4.1 Choix du design expérimental

Pour notre étude nous avons opté pour un design expérimental inter-sujets, c'est-à-dire que chaque participant était assigné de manière aléatoire à l'un des deux niveaux de synchronicité de la manipulation : manipulation d'objets asynchrone ou manipulation d'objets synchrone. Chaque session expérimentale impliquait la participation de deux individus formant un binôme, chacun ayant accès aux casques de RA. Dans le cadre de cette recherche, la manipulation d'objets asynchrone était définie comme une configuration où seulement un des deux participants pouvait manipuler des objets numériques 3D sur le casque. En revanche, la manipulation d'objet synchrone était définie comme une configuration où le binôme pouvait manipuler simultanément des objets numériques 3D sur les casques.

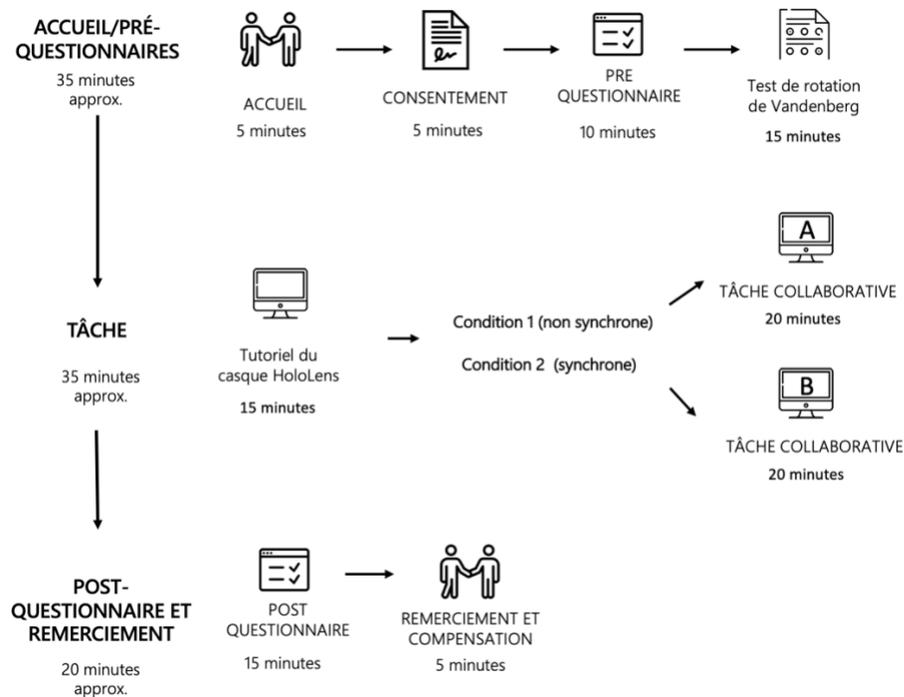
Le choix de design expérimental a été motivé par notre volonté à déduire des relations causales entre la variable indépendante (synchronicité de manipulation) et la variable

dépendante (performance de la tâche créative). Nous souhaitons également prédire les effets médiateurs de l'expérience de collaboration (satisfaction, plaisir accru, conflit relationnel), et les effets modérateurs des capacités spatiales individuelles sur ces variables.

4.2 Protocole

L'ensemble de la procédure expérimentale (figure 2) a duré 1.5 heure, comprenant un pré-questionnaire de 10min avec des questions contextuelles, 15min pour un test d'aptitude spatiale (Peters et al., 1995), 15 minutes pour un tutoriel afin de familiariser les participants avec le casque de RA et l'application de conception 3D Figmin XR⁴, 20 minutes pour la tâche de conception collaborative, et enfin un questionnaire post-tâche de 15 minutes. La tâche de groupe consistait à réaliser une conception pour aménager un espace de bureau dans un environnement 3D.

Figure 2 : Procédure expérimentale



⁴ <https://overlaymr.com>

4.2.1 Aperçu des activités préalables aux tâches

Durant la collecte de données, chaque participant a été jumelé de manière aléatoire avec un autre participant. Chaque binôme a été assigné aléatoirement à l'une des deux conditions : manipulation d'objets asynchrone ou synchrone. À leur arrivée au laboratoire, les binômes ont été séparés et placés dans des pièces distinctes (une pièce par participant). Dans chaque pièce, les participants avaient accès à un iPad pour répondre aux différents questionnaires, et à un casque de RA HoloLens pour réaliser l'activité de tutoriel et la tâche expérimentale. Ils disposaient également d'un écran de télévision connecté à un logiciel de communication en temps réel (Teams) pour communiquer. Afin de garantir une surface uniforme et dégagée pour la tâche de conception, nous avons couvert les écrans de télévision avec un drap blanc. Une fois installés, un modérateur du laboratoire a fourni les instructions verbales aux participants, en expliquant les procédures expérimentales et les objectifs des tests. Ensuite, ils ont signé un formulaire de consentement validé par le comité d'éthique de la recherche d'HEC Montréal. Après avoir donné leur consentement, les participants ont complété un premier questionnaire contextuel incluant des questions démographiques et des questions sur leur expérience préalable avec des logiciels/platformes 3D, ainsi qu'avec les outils de réalité virtuelle/augmentée/mixte.

4.2.2 Formation avec le casque HoloLens et Figmin XR

Le tutoriel a été réalisé individuellement dans la salle d'étude pour chaque participant. Les sessions de formation avaient pour objectif de s'assurer que tous les participants aient une connaissance équivalente de l'application. La formation durait en moyenne 15 minutes et incluait la familiarisation avec l'interface, notamment la sélection d'un bouton, le déplacement du menu, la recherche, l'ajout et le placement d'un objet, l'ajustement de la taille et la suppression d'objet.

4.2.3 Tâche créative en collaboration

Avant de commencer la tâche, les outils d'enregistrement ont été lancés et l'expérience a débuté. Les enregistrements vidéo et audio ont été effectués à l'aide de l'outil de capture

vidéo et sonore *Visio*. Ces enregistrements visaient uniquement à vérifier toute information manquante ou erronée pouvant être nécessaire pour le traitement ultérieur des données. Les participants ont pris quelques minutes pour prendre connaissance des instructions pour la tâche de conception collaborative, qui consistait à aménager un espace de bureau pour une entreprise fictive : « L'entreprise Ikeo souhaite faire appel à vos compétences pour concevoir un nouvel espace de bureau qui figurera dans leur prochain magazine. Ils désirent un environnement fonctionnel, esthétique et inspirant, favorisant la productivité et le bien-être des clients. ».

Indépendamment de la condition assignée, chaque membre du groupe était placé dans une salle séparée avec le casque de RA (doté de l'application) et pouvait communiquer oralement via une réunion Teams. Le modérateur a brièvement expliqué le rôle des participants dans la tâche. Dans les groupes avec manipulation synchrone, les deux membres pouvaient manipuler les objets dans l'application, tandis que dans le groupe sans manipulation synchrone, un seul membre pouvait le faire, l'autre pouvant seulement voir le projet et rechercher des objets dans la bibliothèque de l'application. Pour accomplir la tâche, chaque groupe disposait de 20 minutes et d'une feuille aide-mémoire avec toutes les instructions. Celles-ci comprenaient deux sections : le mandat de conception de l'entreprise, les directives et exigences de la tâche, les outils et directives de collaboration, et enfin une liste des noms d'objets en anglais qu'ils pouvaient rechercher dans l'application. Les participants devaient discuter entre eux pour concevoir et ajuster l'emplacement des objets afin de répondre à toutes les exigences. La figure 3 présente une photo d'un exemple de conception et une photo du système de l'application. Les sections concernant le mandat de conception de l'entreprise ainsi que les directives et exigences de la tâche demeurent identiques pour les deux conditions expérimentales. Toutefois, la section relative aux outils et directives de collaboration peut présenter des variations mineures en fonction du rôle des participants au sein de chaque groupe (annexes A, B, C).

Figure 3 : Photos des conceptions sur Figmin XR



4.3 Participants

Avant de commencer la collecte de données, nous avons réalisé des pré-tests en laboratoire pour tester l'efficacité et la validité de notre expérimentation, recevant ainsi 4 binômes, soit 8 participants. Une fois les pré-tests achevés, nous avons recruté des participants via le panel de recherche et de recrutement HEC Montréal, composé de 6000 étudiants et anciens étudiants. Chaque participant devait répondre à deux critères d'inclusion : être âgé d'au moins 18 ans et comprendre le français à l'oral et à l'écrit à un niveau avancé. Les participants ne devaient pas avoir de problème de santé visuelle (autre que des problèmes de vue type myopie, hypermétropie, astigmatisme, etc.), ne pas être porteur d'un pacemaker ou d'un autre dispositif médical implanté, ne pas souffrir de migraines récurrentes, de troubles d'équilibre, d'épilepsie, ne pas être enceinte, et ne pas consommer d'alcool ou de drogue avant l'expérience. Les participants éligibles ont reçu

une compensation de 45 \$ sous forme de carte cadeau Amazon. Nous avons recruté 58 participants, mais pour préserver l'intégrité des résultats nous avons exclu les données d'un binôme en raison de la difficulté d'un des participants à comprendre le français, bien qu'il ait affirmé répondre à tous les critères de sélection. La taille de l'échantillon est donc de 56 participants, soit 28 groupes. Chaque groupe a été assigné de manière aléatoire à l'une des conditions expérimentales (avec manipulation synchrone vs. sans manipulation synchrone). Les caractéristiques des participants sont présentées dans le chapitre 5 d'analyse des résultats.

4.4 Mesures

Dans le cadre de ce mémoire, nous avons administré deux questionnaires et un test de rotation mentale. Le premier questionnaire, réalisé avant la tâche, visait à collecter des données démographiques telles que le genre, l'âge, le parcours académique, le domaine de spécialisation, l'expérience et le confort d'utilisation avec des logiciels/plateformes de design d'intérieur, ainsi qu'avec les casques de réalité augmentée/virtuelle/mixte (tableau 1, 2, 3). Ensuite, le test de rotation mentale (Peters et al., 1995) a été distribué pour mesurer la capacité spatiale individuelle des participants. Enfin, le second questionnaire, effectué après la tâche, visait à évaluer les concepts présentés dans notre modèle de recherche. Il mesurait les perceptions individuelles concernant l'expérience de collaboration, telles que la satisfaction (Lowry et al., 2009), le plaisir accru (Agarwal et Karahanna, 2000), et le conflit relationnel (O'Neill et al., 2016) (annexe F). Les participants devaient évaluer ces concepts sur une échelle de Likert en 7 points allant de 1 (fortement en désaccord) à 7 (fortement d'accord). Cette échelle, largement reconnue et utilisée dans la recherche académique, permettrait de comparer nos résultats avec ceux d'études antérieures. Pour mesurer la performance des participants, nous avons évalué leur conception finale à partir d'une grille d'évaluation que nous avons conçue (annexe E).

4.4.1 Satisfaction

Pour évaluer la satisfaction nous avons opté pour un outil développé par Lowry et al. (2009). Il constitue en réalité un sous-ensemble de la satisfaction globale, abordée dans le

cadre d'un modèle interactif de communication assistée par ordinateur. Ce modèle analyse l'impact de l'interactivité sur la qualité de la communication, et son effet est examiné pour déterminer son influence sur la satisfaction concernant les processus. Les cinq éléments de ce construit ont été intégrés dans le questionnaire post-tâche (annexe F) et sont présentés à l'aide d'une échelle de Likert à sept points. L'utilisation de ce construit est pertinent pour notre étude car il a été élaboré pour une recherche ayant un contexte similaire, celui de la communication assistée par ordinateur.

4.4.2 Absorption cognitive

Toujours présentés sous forme d'échelle de Likert, nous avons utilisé la mesure d'Agarwal et Karahanna (2000) afin d'évaluer l'absorption cognitive, une forme de motivation intrinsèque. La mesure compte cinq sous-catégories (dissociation temporelle, plaisir accru, capacité d'immersion, contrôle et curiosité), mais nous avons décidé de nous concentrer sur le **plaisir accru**. L'objectif sera de comprendre comment cette motivation intrinsèque impacte la performance des participants lors de l'utilisation d'outils technologiques nouveaux ou peu familiers.

4.4.3 Prise de décision en équipe

L'évaluation de ce concept a été réalisée en utilisant l'outil développé par O'Neill et al. (2016) afin d'évaluer la prise de décision en équipe. Cet outil est subdivisé en deux sous-mesures mais pour notre contexte nous avons décidé d'exclure une d'entre elles, car elle se révélait moins pertinente pour notre projet. Nous avons donc retenu: **conflit relationnel** (annexe F). Cette évaluation des comportements collaboratifs, autrement dit, de prise de décision en équipe, est particulièrement pertinente dans notre contexte puisqu'elle explore la collaboration en binôme et permet de déterminer si le niveau de synchronicité utilisé a un impact sur la prise de décision en équipe.

4.4.4 Performance

Comme mentionné précédemment, pour mesurer la performance des participants nous avons évalué leur conception finale à partir d'une grille de correction (annexe E), que

nous avons élaborée pour évaluer la capacité des participants à faire preuve de créativité et d'efficacité pour la conception d'un espace. Pour cela, nous nous sommes appuyés sur les principes fondamentaux de l'évaluation des produits créatifs, autrement dit : l'efficacité⁵, la nouveauté⁶ et l'intégrité⁷ (Henriksen et al., 2015). Notre grille, sur 35 points maximum, est structurée en deux grandes catégories : l'efficacité et l'originalité; qui sont ensuite subdivisées en sous-catégories, incluant notamment le principe de l'intégrité qui dans notre contexte, fait référence à la disposition spatiale.

4.4.5 Capacité spatiale individuelle

Le test a été développé par Peters et ses collègues en se basant sur un test initialement créé par Vandenberg et Kuse (1978), qui est désormais largement utilisé pour évaluer la rotation mentale, un aspect de la capacité spatiale, nécessaire pour notre tâche collaborative en 3D. Chaque session de test comprenait une introduction suivie d'exercices pratiques, puis du test formel d'une durée de 8 minutes qui comportait 24 questions de rotation spatiale, avec un point attribué pour chaque bonne réponse.

4.4.6 Variables de contrôle

Lorsque nous effectuons des analyses statistiques en plus des concepts mesurés, d'autres variables liées à la démographie ou à l'expérience avec une tâche ou une technologie peuvent également influencer les résultats, appelées variables de contrôle. Dans nos analyses statistiques, nous avons inclus une variable de contrôle, soit le niveau de confort des participants avec les casques de réalité augmentée/virtuelle/mixte, évalué de 1 à 7, où 1 indique un faible niveau de confort et 7 indique un haut niveau de confort. Cette mesure est tout à fait pertinente dans le cadre de notre étude car elle met en avant la familiarité des participants avec les casques de réalité augmentée/virtuelle/mixte.

⁵ Traduction libre provenant du terme anglais « effectiveness »

⁶ Traduction libre provenant du terme anglais « novelty »

⁷ Traduction libre provenant du terme anglais « wholeness »

Chapitre 5 : Analyse et résultats

Ce chapitre décrit le processus d'analyse des données, structuré en trois volets principaux. Tout d'abord, nous procédons à l'analyse descriptive, notamment en examinant les données démographiques des participants. Ensuite, nous évaluons la fiabilité et la validité des mesures collectées à l'aide du questionnaire sur l'expérience de collaboration. Enfin, nous testons les hypothèses formulées dans le chapitre 3. Cette section inclut les résultats des tests t pour échantillons indépendants (groupe avec manipulation synchrone vs. groupe avec manipulation asynchrone), qui comparent les moyennes de toutes les variables dépendantes. De plus, nous présentons les résultats de l'analyse médiatrice avec les variables de l'expérience de collaboration et l'analyse modératrice avec la variable des capacités spatiales individuelles.

Pour cette analyse, nous avons utilisé un total de 56 ensembles de données provenant de 28 sessions d'expérimentation. Deux groupes indépendants ont été étudiés dans deux conditions de synchronisation de la manipulation : le groupe 1 avec manipulation synchrone et le groupe 2 avec manipulation asynchrone. Les données obtenues à travers les deux questionnaires et les modélisations effectuées par les binômes durant l'expérimentation ont été transcrites sous format Excel. Elles ont ensuite été exportées pour réaliser les analyses dans SAS Studio.

Nous tenons à préciser que durant les sessions expérimentales, certains groupes ont rencontré des problèmes de déconnexion avec l'application de conception Figmin XR. Pour ces groupes, nous avons chronométré le temps écoulé entre la déconnexion et la reconnexion. Afin d'assurer l'équité, nous avons prolongé la durée de la tâche collaborative, veillant à ce que chaque groupe dispose de 20 minutes complètes pour réaliser leur conception.

5.1 Analyse descriptive

Comme nous pouvons le voir dans le tableau 1, les participants étaient composés de 31 hommes et 25 femmes. Parmi eux, 60,7% avaient entre 18 et 24 ans, 25% entre 25 et 34 ans, 12,5% entre 35 et 44 ans, et 1,8% entre 45 et 54 ans. Plus de 55,4% avaient terminé leurs études de 1er cycle, 39,3% leur 2ème cycle, 3,6% le CEGEP, et 1,8% ont indiqué « Autre ». La majorité des panélistes étaient spécialisés en technologies de l'information (21,4%), marketing (14,3%), et ingénierie (14,3%). Il y avait également des participants spécialisés en ressources humaines (8,9%), culture (7,1%), communication (7,1%), économie (5,4%), intelligence d'affaire (5,4%), affaires internationales (3,6%), et comptabilité (1,8%). 12,5% étaient spécialisés dans des disciplines non liées à la gestion (psychologie, droit, service client).

Tableau 1 : Données démographiques de l'échantillon final

VALEURS	FRÉQUENCE (N=56)	POURCENTAGE
GENRE		
Homme	31	55,4%
Femme	25	44,6%
ÂGE		
Entre 18-24 ans	34	60,7%
Entre 25-34 ans	14	25%
Entre 35-44 ans	7	12,5
Entre 45-54 ans	1	1,8
NIVEAU D'ÉTUDE COMPLÉTÉ		
CEGEP ET MOINS	3	5,4%
1 ^{er} CYCLE (BACCALAURÉAT, CERTIFICAT)	31	55,4%
2 ^{ème} CYCLE (DESS, MAÎTRISE, MBA)	22	39,3%
SPÉCIALISATION		
TECHNOLOGIE DE L'INFORMATION	12	21,4%
MARKETING	8	14,3%
INGÉNIEURIE	8	14,3%
RESSOURCES HUMAINES	5	8,9%
CULTURE	4	7,1%
COMMUNICATION	4	7,1%
ÉCONOMIE	3	5,4%
INTELLIGENCE D'AFFAIRE	3	5,4%

AFFAIRES INTERNATIONALES	2	3,6%
COMPTABILITÉ	1	1,8%
AUTRE (PSYCHOLOGIE, DROIT, SERVICE CLIENT, AUCUNE)	6	10,7%

Les participants présentaient une expérience plutôt faible avec les logiciels/plateformes de design d'intérieur (tableau 2). Parmi les 56 participants, 37,5% n'ont jamais utilisé ces plateformes, 48,2% les ont utilisées quelques fois dans leur vie, 8,9% quelques fois par an, et 5,4% quelques fois par semaine. Le niveau de confort moyen des participants avec ces plateformes est de 2,3 sur 7, avec une variation allant de 1 (minimum) à 6 (maximum), et un écart-type de 1,4, indiquant un niveau de confort général plutôt faible.

Tableau 2 : Statistiques descriptives de l'expérience préalable avec les plateformes de design d'intérieur

FRÉQUENCE D'UTILISATION	N (N=56)	POURCENTAGE
JAMAIS	21	37,5%
QUEQUES FOIS DANS MA VIE	27	48,2%
QUELQUES FOIS PAR AN	5	8,9%
QUELQUES FOIS PAR SEMAINE	3	5,4%

	MOYENNE	MINIMUM	MAXIMUM	ÉCART-TYPE
Niveau de confort	2,3	1	6	1,4

Enfin, la majorité des participants avaient une expérience préalable avec des technologies de réalité augmentée/virtuelle/mixte (tableau 3). Sur 56 participants, 64,3 % les avaient déjà utilisées, 33,9 % ne les avaient jamais utilisées, et 1,8 % ne savaient pas. Le niveau de confort moyen des participants avec ces technologies est de 3,8, avec une variation allant de 1 (minimum) à 7 (maximum), et un écart-type de 1,9, indiquant une diversité dans le niveau de confort.

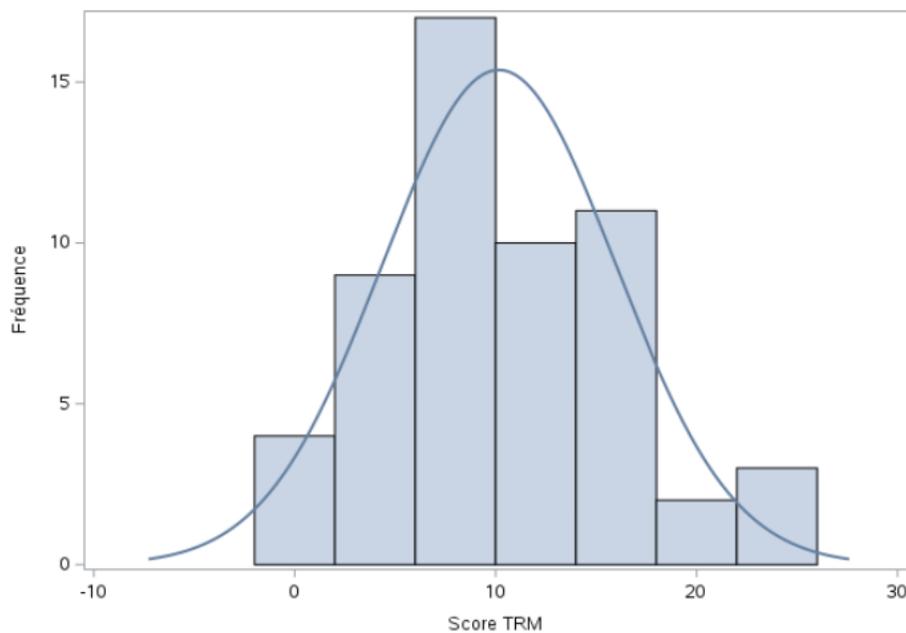
Tableau 3 : Statistiques descriptives de l'expérience préalable avec les technologies de réalité augmentée/virtuelle/mixte

UTILISATION	N (N=56)	POURCENTAGE
OUI	36	64,3%
NON	19	33,9%
JE NE SAIS PAS	1	1,8%

Niveau de confort	MOYENNE	MINIMUM	MAXIMUM	ÉCART-TYPE
	3,8	1	7	1,9

Concernant les scores du test de rotation mentale (TRM), on constate que la distribution suit une distribution normale (figure 4). Aucune norme ne spécifie quel score indique une aptitude spatiale élevée ou faible chez les participants. Nous utilisons cet échantillon pour représenter la distribution des aptitudes spatiales au sein de la population.

Figure 4 : Histogramme des notes de TRM



5.2 Analyse psychométrique

Avant de tester les hypothèses, nous devons vérifier la fiabilité et la validité des variables et des items mesurés par les questionnaires. Cette analyse permet de s'assurer que les items d'un même construit se regroupent ensemble (Fabrigar & Wegener, 2011). Pour évaluer la validité de nos mesures et vérifier la fiabilité des items listés dans la définition des mesures et dans l'annexe F, nous avons effectué une analyse factorielle exploratoire, une analyse des alphas de Cronbach, puis une analyse des coefficients de corrélation.

5.2.1 Analyse factorielle exploratoire

L'analyse factorielle exploratoire a été réalisée pour évaluer la validité des construits en identifiant le nombre de facteurs regroupant les items en fonction de leur charge factorielle. Les résultats de cette analyse nous permettent de déterminer la validité convergente et discriminante des construits mesurés. La validité convergente indique qu'il y a une forte corrélation entre les items de construits théoriquement similaires, tandis que la validité discriminante montre qu'il y a une faible corrélation entre les items de construits théoriquement différents (Fabrigar & Wegener, 2011). Nous avons utilisé le tableau des rotations orthogonales ("varimax rotation") fourni par SAS Studio pour interpréter les résultats. Afin d'identifier les facteurs, nous avons pris en compte les coefficients de saturation supérieurs à 0,4 et inférieurs à -0,4.

Selon les résultats de l'analyse factorielle exploratoire des construits (tableau 4), plusieurs items montrent une saturation croisée sur différents facteurs. Certains de ces items ont un coefficient de saturation supérieur à 0,4 sur un facteur, tandis que d'autres ont des coefficients de saturation inférieurs à -0,4. Plus spécifiquement, pour le facteur 1 (Plaisir accru), les items Plais3, Plais1, Plais2 et Plais4 montrent des saturations élevées, indiquant qu'ils sont fortement associés à ce facteur, bien que Plais4 ait également une saturation négative sur le facteur 4, ce qui pourrait suggérer une complexité dans son interprétation. On peut également remarquer que le construit « Conflit relationnel » s'est subdivisé entre les facteurs 3 et 4. En effet, Conf5 et Conf1 montrent des saturations croisées. Le facteur 4 regroupe donc Plais4, Conf5, Conf2 et Conf1. Les participants peuvent avoir interprété

les items de manière subjective, percevant des liens entre le conflit relationnel et le plaisir accru qui n'étaient pas explicitement envisagés dans la conception initiale du questionnaire. Par exemple, certains participants peuvent avoir associé la réduction des conflits à une augmentation du plaisir dans la collaboration, ce qui expliquerait pourquoi ces items se regroupent dans le même facteur.

Tableau 4 : Coefficients de saturation par facteur

	1	2	3	4
Plais3	,96068			
Plais1	,93975			
Plais2	,90122			
Plais4	,73138			-,42937
Sat5		,88109		
Sat1		,80773		
Sat2		,73775		
Sat4		,68411		
Sat3		,65053		
Conf4			,90223	
Conf5			,78775	,41134
Conf3			,55139	
Conf2				,91781
Conf1			,47064	,74604

1) Plaisir accru ; 2) Satisfaction des processus ; 3) Conflit relationnel

L'analyse de validité des items mesurés dans les questionnaires durant l'expérimentation nous a permis d'identifier des items qui pourraient potentiellement affecter les résultats des analyses futures et qui nécessitent une investigation plus approfondie concernant leur validité et fiabilité. Nous allons maintenant analyser la fiabilité des items mesurés à l'aide des alphas de Cronbach, en portant une attention particulière aux items présentant des saturations croisées.

5.2.2 Analyse des alphas de Cronbach

Toujours dans le but de démontrer la fiabilité et la validité des mesures utilisées, nous avons effectué une analyse des alphas de Cronbach pour chaque construit mesuré dans le post-questionnaire. Bien que l'analyse factorielle et l'analyse des alphas de Cronbach soient présentées séparément, elles ont été réalisées conjointement à plusieurs reprises pour déterminer de manière scientifique quels items étaient fiables et valides, et lesquels devaient être retirés si nécessaire.

L'alpha de Cronbach est considéré comme « la mesure objective de la fiabilité la plus utilisée » (Tavakol & Dennick, 2011, p.53, traduction libre). Cette étape est cruciale pour s'assurer de la fiabilité des items constituant les construits, étant donné que chaque construit est composé de plusieurs items. Concrètement, un construit est jugé fiable lorsque l'alpha de Cronbach est compris entre 0,70 et 0,95. Une valeur inférieure à 0,70 indiquerait une faible relation entre les items d'un même construit, tandis qu'une valeur supérieure à 0,9 suggérerait une certaine redondance des items (Tavakol & Dennick, 2011). Lorsque l'alpha de Cronbach était inférieur au seuil minimal acceptable, nous avons utilisé l'onglet « Alpha de Cronbach en cas de suppression » pour identifier et supprimer l'item le plus hétérogène afin d'améliorer la fiabilité du construit. En examinant les résultats de l'analyse des alphas de Cronbach présentés dans le tableau 5, nous constatons que toutes les valeurs alpha sont supérieures à 0,7.

Tableau 5 : Coefficient alpha de Cronbach

Variables	N	Alpha de Cronbach
Satisfaction processus (Sat)	56	,796
Conflit (Conf)	56	,750
Plaisir accru (Plais)	56	,912

Tableau 6 : Statistiques descriptives des construits finaux

Variables	Toutes conditions					Groupe 1 (SYNC)			Groupe 2 (NSYNC)		
	N	Min	Max	Moy	E-T*	N	Moy	E-T	N	Moy	E-T
Satisfaction processus (Sat)	56	3,20	7,00	5,44	1,16	28	5,75	1,04	28	5,13	1,21
Conflit (Conf)	56	1,00	3,20	1,17	,43	28	1,08	,18	28	1,26	,57
Performance de la tâche (Perf)	56	6,00	35,00	26,34	5,82	28	27,54	7,18	28	25,14	3,81
Plaisir accru (Plais)	56	3,00	7,00	6,00	1,07	28	6,14	1,04	28	5,85	1,10
TRM	56	0,00	24,00	10,16	5,81	28	9,04	4,54	28	11,29	6,75

*E-T : Écart-type

Maintenant que nous avons un portrait global des variables expérimentales (tableau 6), nous pouvons tester et analyser les corrélations des construits.

5.2.3 Analyse des coefficients de corrélation

En examinant les corrélations, nous pouvons déterminer la force et la direction des relations entre les construits, ce qui nous permet de mieux comprendre les dynamiques sous-jacentes de notre modèle de recherche. En outre, l'analyse des corrélations nous aide à identifier les construits qui sont fortement liés, suggérant ainsi des zones d'intérêt pour des analyses plus approfondies. Nous avons ici inclus une variables de contrôle, recueillies durant le pré-questionnaire de notre expérimentation : le niveau de confort avec les casques de réalité augmentée/virtuelle/mixte. En intégrant cette variable de contrôle, nous pouvons mieux isoler les effets spécifiques des construits et comprendre l'influence de facteur contextuel. Cette approche renforce la robustesse de nos conclusions et nous aide à dessiner un tableau plus précis des relations complexes entre les différentes variables de notre étude.

Les résultats présentés dans le tableau 7, montrent que la condition de synchronicité est négativement corrélée avec la satisfaction du processus ($r = -0.270$, $p < 0.05$), suggérant qu'une condition de synchronicité réduit la satisfaction. Ensuite, on constate que la variable de performance présente des corrélations significatives avec plusieurs autres variables. En effet, la satisfaction du processus est positivement corrélée ($r = 0.478$, $p < 0.05$), indiquant qu'une plus grande satisfaction est associée à une meilleure performance. Le plaisir accru est également positivement corrélé ($r = 0.285$, $p < 0.05$), ce qui signifie qu'un plaisir accru est lié à une meilleure performance. Enfin, le test de rotation mentale (TRM) montre une corrélation positive significative à un niveau de signification de 10% ($r = 0.238$), suggérant une relation modérée entre la capacité spatiale et la performance. En revanche, le conflit relationnel ne présente pas de corrélation significative avec les autres variables. Ces résultats mettent en évidence les relations clés entre la condition de synchronicité, la satisfaction du processus, le plaisir accru et la performance.

Tableau 7 : Analyse coefficients de corrélation (avec variables de contrôle)

Variables	Moy	E-T	1	2	3	4	5	6
1 Condition synchronicité (Cond)			--					
2 Satisfaction processus (Sat)	5,44	1,16	-,270 *	(,796)				
3 Conflit relationnel (Conf)	1,17	,43	,211	-,168	(,750)			
4 Plaisir accru (Plais)	6,00	1,07	-,139	,146	-,046	(,912)		
5 Performance (Perf)	26,34	5,82	-,207	,478*	-,098	,285*	--	
6 Test rotation mentale (TRM)	10,16	5,81	,195	-,072	,128	-,034	.238 ⁺	--

$p < .05$ *

$p < .10$ ⁺

Nous avons complété l'analyse descriptive, ainsi que l'analyse psychométrique qui comprenait l'analyse factorielle exploratoire, les alphas de Cronbach et les coefficients de corrélation. À présent, nous allons passer à l'analyse de notre modèle de recherche et tester

nos hypothèses. Cette section nous permettra d'examiner les relations entre les variables et de valider notre cadre conceptuel dans le contexte de la co-conception en réalité augmentée.

5.3 Analyse du modèle et des hypothèses

Nous allons maintenant présenter l'analyse des hypothèses qui sera divisée en trois parties. La première partie concerne le test des hypothèses directrices H1 et de H2-a à H2-d, la deuxième partie portera sur le test des hypothèses médiatrices H2-Y-a à H2-Y-d, et enfin la troisième partie se concentrera sur les hypothèses modératrices H1-M et H2-M-a à H2-M-d. Il est important de noter que pour toute valeur p inférieure au seuil de signification de 5 % (0,05), nous avons conclu que l'hypothèse testée était statistiquement significative. Pour toute hypothèse ayant une valeur p supérieure à 5 %, nous avons conclu que l'hypothèse testée n'était pas statistiquement significative. En revanche, si une hypothèse obtient une valeur p comprise entre 0,05 et 0,1, nous avons conclu que cette hypothèse était marginalement significative.

5.3.1 Hypothèses directrices

Pour tester les hypothèses H1 et H2-a à H2-d, nous avons réalisé des tests t de Welch (ANCOVA) à un facteur pour échantillons indépendants, puisque chaque binôme de participants était soumis à une condition spécifique. Nous avons opté pour l'ANCOVA plutôt que l'ANOVA car cela nous a permis d'intégrer des variables de contrôle aux tests d'hypothèse, notamment le niveau de confort avec les casques de réalité augmentée/virtuelle/mixte. Notre objectif était de confirmer que la manipulation synchrone (n2) a un impact plus positif que l'absence de manipulation synchrone (n1) sur chacune de nos variables dépendantes. Avant de réaliser chaque test, nous nous sommes assurés que les conditions nécessaires à la validité d'un test t de Welch soient remplies. Ces conditions incluent des échantillons suffisamment grands pour n1 et n2. La deuxième condition requise est que les données des construits testés suivent une distribution normale.

Chaque test d'hypothèse a été réalisé avec les mêmes hypothèses sous-jacentes, où l'hypothèse nulle représente l'absence de supériorité des mesures du groupe avec manipulation synchrone par rapport au groupe en manipulation asynchrone. Plus précisément :

$$H_0 : \mu_1 \geq \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 < \mu_2$$

Où μ_1 est la moyenne d'un construit X mesuré dans le cadre de cette expérience pour la condition A (Manipulation d'objet asynchrone) et où μ_2 est la moyenne d'un construit X mesurés dans le cadre de cette expérience pour la condition B (Manipulation d'objet synchrone). Nous allons à présent détailler les résultats des tests ANCOVA effectués pour évaluer l'impact de la manipulation synchrone sur la performance de la tâche et l'expérience de collaboration (satisfaction du processus, conflit relationnel et plaisir accru), en nous appuyant sur les données du tableau 8.

Pour l'hypothèse H1, nous avons formulé que les utilisateurs collaborant avec une manipulation synchrone performeront mieux sur la tâche créative. Les résultats montrent que les notes moyennes pour les groupes avec manipulation synchrone ($M_2 = 27,54$, E-T = 7,18) sont meilleures que les groupes en manipulation asynchrone ($M_1 = 25,14$, E-T = 3,81). Au niveau de signification de 5 %, les résultats sont significatifs ($F = 6,37$; Sig = 0,0033 ; $p < 0,05$). Par conséquent, l'hypothèse H1 est confirmée.

Pour l'hypothèse H2-a, nous avons postulé que les utilisateurs collaborant avec une manipulation synchrone percevront une meilleure satisfaction du processus de collaboration mieux sur la tâche créative. Les résultats montrent que les groupes avec manipulation synchrone ($M_2 = 5,75$, E-T = 1,04) ont des moyennes plus élevées que les groupes en manipulation asynchrone ($M_1 = 5,13$, E-T = 1,21). Au niveau de signification de 10 %, les résultats sont significatifs ($F = 2,59$; Sig = 0,0846 ; $p < 0,05$). Par conséquent, l'hypothèse H2-a est confirmée.

Pour l'hypothèse H2-b, nous avons postulé que les utilisateurs collaborant avec une manipulation synchrone percevraient moins de conflit lors de la tâche créative. Les résultats montrent que les groupes avec manipulation synchrone (M2 = 1,08, E-T = 0,18) ont des moyennes plus faibles que les groupes en manipulation asynchrone (M1 = 1,26, E-T = 0,57), ce qui indiquerait une meilleure gestion des conflits relationnels pour le groupe 1. Toutefois, au niveau de signification de 5 %, les résultats ne sont pas significatifs (F = 1,45 ; Sig = 0,2446 ; p > 0,05). Par conséquent, l'hypothèse H2-b n'est pas confirmée.

Pour l'hypothèse H2-c, nous avons postulé que les utilisateurs collaborant avec une manipulation synchrone percevraient plus de plaisir lors de la tâche créative. Les résultats montrent que les groupes avec manipulation synchrone (M2 = 6,14, E-T = 1,04) ont des moyennes plus élevées que les groupes en manipulation asynchrone (M1 = 5,85, E-T = 1,10), ce qui démontrerait plus de plaisir perçu le groupe 1. Cependant, au niveau de signification de 5 %, les résultats ne sont pas significatifs (F = 0,70 ; Sig = 0,5017 ; p > 0,05). Par conséquent, l'hypothèse H2-b n'est pas confirmée.

Tableau 8 : Résultats du test Welch (ANCOVA)

Variables	Groupe 1 (NSYNC)		Groupe 2 (SYNC)		f	p	H	Hypothèse supportée ?
	Moy	E-T	Moy	E-T				
Performance (Perf)	25,14	3,81	27,54	7,18	6,37	,0033*	H1	Oui
Satisfaction processus (Sat)	5,13	1,21	5,75	1,04	2,59	,0846 ⁺	H2-a	Oui à p < .10
Conflit relationnel (Conf)	1,26	,57	1,08	,18	1,45	,2446	H2-b	Non
Plaisir accru (Plais)	5,85	1,10	6,14	1,04	,70	,5017	H2-c	Non

5.3.2 Hypothèses médiatrices

Après avoir testé les hypothèses directrices, nous allons maintenant tester les hypothèses médiatrices. Par conséquent, le but de ces analyses est de démontrer que les construits

mesurés précédemment ont un effet médiateur sur la performance de la tâche, notamment quand les utilisateurs collaborent en manipulation synchrone.

Pour tester les hypothèses de H2-Y-a à H2-Y-c, nous avons réalisé une régression linéaire multiple, une technique statistique couramment utilisée pour étudier la relation entre une variable dépendante (dans notre cas, la performance de la tâche) et plusieurs variables indépendantes (telles que la satisfaction, le conflit relationnel et le plaisir accru). Elle permet d'estimer les coefficients de régression qui quantifient l'impact de chaque variable indépendante sur la variable dépendante. Dans notre contexte, nous souhaitons évaluer comment ces variables influencent la performance des utilisateurs lors de la manipulation synchrone. Nous avons également pris en compte la variable de contrôle du niveau de confort avec les casques de réalité augmentée/virtuelle/mixte dans notre modèle pour contrôler tout effet potentiel de cette variable sur nos résultats. Les résultats sont présentés dans le tableau 9.

Avant d'en apprendre davantage sur le fonctionnement de cette analyse, il est important d'énoncer les différentes variables qui entrent en jeu dans cette analyse :

- Variable indépendante (X) : Condition de synchronicité
- Variable dépendante (Y) : La performance à la tâche
- Variables médiatrices (M) : Satisfaction du processus, conflit relationnel, plaisir accru
- Variables de contrôle : niveau de confort avec les casques de réalité augmentée/virtuelle/mixte

Pour l'hypothèse H2-Y-a, qui teste le rôle médiateur de la satisfaction sur la performance de la tâche, les résultats sont significatifs et supportent l'hypothèse (Est. = 1,96, SE = 0,59, $t = 3,32$, 95 % IC [0,77 ; 3,14], $p < 0,05$). Nous pouvons donc conclure que l'effet de la manipulation synchrone sur la performance de la tâche est médié par la perception de satisfaction du processus de collaboration.

Pour l'hypothèse H2-Y-b, qui teste le rôle médiateur de la gestion des conflits relationnels sur la performance de la tâche, les résultats ne sont pas significatifs et ne supportent donc

pas l'hypothèse (Est. = 0,28, SE = 1,57, t = 0,18, 95 % IC [-2,87 ; 3,43], p > 0,05). Nous pouvons conclure que l'effet de la manipulation synchrone sur la performance de la tâche n'est pas médié par la perception du conflit relationnel.

Pour l'hypothèse H2-Y-c, qui teste le rôle médiateur du plaisir accru sur la performance de la tâche, les résultats sont significatifs à un niveau de 10 % et supportent donc l'hypothèse (Est. = 1,04, SE = 0,62, t = 1,69, 95 % IC [-0,19 ; 2,28], p < 0,10). Nous pouvons en conclure que l'effet de la manipulation synchrone sur la performance de la tâche est médié par la perception du plaisir accru.

Les résultats des analyses confirment que dans un contexte de collaboration, la satisfaction du processus (H2-Y-a) et le plaisir accru (H2-Y-c) jouent un rôle significatif en tant que médiateurs, amplifiant l'effet positif de la manipulation synchrone sur la performance de la tâche. Autrement dit, la condition de manipulation synchrone a un effet direct sur la performance de la tâche, et cet effet est renforcé par des effets indirects, médiés par la satisfaction du processus et le plaisir accru. En revanche, le conflit relationnel (H2-Y-b) ne joue pas de rôle significatif en tant que médiateur.

Tableau 9 : Résultats de la régression linéaire (variables médiatrices)

Variable dépendante	Variable dépendante	H	Est*	Erreur	t	Intervalle de confiance		p	H supportées ?
						Niveau inférieur	Niveau supérieur		
Performance	Satisfaction du processus	H2-Y-a	1,96	,59	3,32	,77	3,14	,0017*	Oui
	Conflit relationnel	H2-Y-b	,28	1,57	,18	-2,87	3,43	,8601	Non
	Plaisir accru	H2-Y-c	1,04	,62	1,69	-,19	2,28	,0968 ⁺	Oui à p < .10

*Est = Estimation

5.3.3 Hypothèses modératrices

Nous allons terminer en testant les hypothèses modératrices. L'objectif est de démontrer que les capacités spatiales individuelles modèrent la relation entre la synchronicité de manipulation et la performance de la tâche, ainsi que la relation entre la synchronicité de manipulation et l'expérience de collaboration. Pour tester nos dernières hypothèses H1-M et H2-M-a à H2-M-c, nous avons choisi d'utiliser une régression linéaire multiple avec produit croisé (*cross product*). Cette méthode nous permet de capturer les interactions potentielles entre les capacités spatiales individuelles et la manipulation synchrone, et de déterminer comment ces interactions influencent les résultats de performance et l'expérience de collaboration. L'utilisation du produit croisé est essentielle pour isoler l'effet modérateur des capacités spatiales, en permettant une analyse plus précise des variations dans les relations entre les variables. Les résultats des hypothèses sont présentés dans le tableau 10.

Nous énonçons à nouveau les différentes variables qui entrent en jeu dans cette analyse :

- Variable indépendante (X) : Condition de synchronicité
- Variables dépendantes (Y) : Performance à la tâche, satisfaction du processus, conflit relationnel, plaisir accru
- Variable modératrice (M) : Capacités spatiales individuelles
- Variables de contrôle : Niveau de confort avec les casques de réalité augmentée/virtuelle/mixte

Tableau 10 : Résultats de la régression linéaire (variables modératrices)

Variable indépendante	Variable dépendante	H	f	p	Hypothèses supportées ?
	Performance de la tâche	H1-M	6,34	,0003*	Oui
	Satisfaction du processus	H2-M-a	1,91	,1222	Non

Manipulation synchrone	Conflit relationnel	H2-M-b	,94	,4493	Non
	Plaisir accru	H2-M-c	,59	,6713	Non

Pour l'hypothèse H1-M, qui teste le rôle modérateur des capacités spatiales individuelles sur la relation entre manipulation synchrone et performance de la tâche, les résultats sont significatifs et supportent l'hypothèse ($p=0,0340 < 0,05$). Nous pouvons donc conclure que l'effet de la manipulation synchrone sur la performance de la tâche est modéré par les capacités spatiales individuelles. Le modèle linéaire des prédictions de la performance est présenté dans le tableau 11.

Tableau 11 : Modèle linéaire des prédictions de la performance (H1-M)

Variable	Est	Erreur	t	p
Constante	17,09	2,46	6,96	<,0001
Manipulation synchrone	2,82	2,80	1,01	,3191
Score TRM	,11	,14	,79	,4357
Manipulation synchrone * Score TRM	,55	,25	2,18	,0340*
Niveau de confort avec les casques	1,11	,35	3,15	,0027

L'impact de la manipulation synchrone sur la performance varie en fonction du niveau des capacités spatiales des individus. En d'autres termes, les utilisateurs ayant de meilleures capacités spatiales bénéficient davantage de la manipulation synchrone, ce qui améliore leur performance par rapport à ceux ayant des capacités spatiales plus faibles. Nos interprétations de l'effet de modulation des capacités spatiales individuelles sur la relation entre la manipulation synchrone et la performance de la tâche sont les suivantes (tableau 12, figure 5) :

- Lorsque les notes du TRM sont faibles, il existe une relation négative significative entre la manipulation synchrone et la performance de la tâche, à un niveau de signification de 5% (Est= -7,33 %, SE= 2,21, IC à 95 % [-11,78, -2,90], $t = -3,32$, $p = 0,0017 < 0,05$).

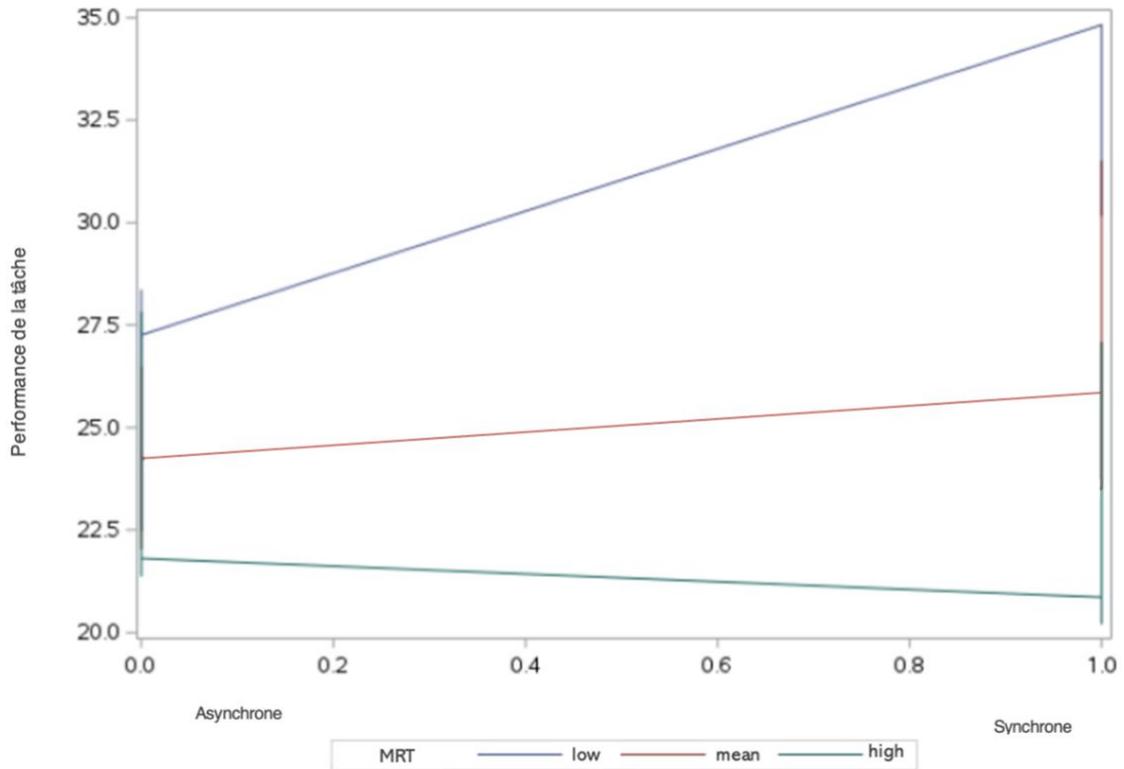
- À la valeur moyenne de la note du TRM, à un niveau de signification de 10 %, la manipulation synchrone a un impact significatif sur la performance de la tâche, (Est= -4,14 %, SE= 2,20, IC à 95 % [-8,56, 0,28], t = -1,88, p= 0,0659 < 0,05).
- Lorsque les notes du TRM sont élevées, à un niveau de signification de 5 %, la manipulation synchrone n'a pas d'impact significatif sur la performance de la tâche, (Est= 1,08 %, SE= 2,27, IC à 95 % [-3,48, 5,64], t = 0,48, p= 0,6359 > 0,05).

Ces résultats montrent que la relation entre manipulation synchrone et la performance de la tâche apparaît particulièrement significative chez les personnes ayant de faibles capacités spatiales, et marginalement chez les personnes avec un niveau plus moyen. En outre, la figure 5 révèle que pour les personnes ayant des capacités spatiales élevées, la relation entre la manipulation synchrone et la performance de la tâche tend à être plus faible que pour les personnes ayant de faibles capacités spatiales. Par conséquent, l'hypothèse H1-M est confirmée.

Tableau 12 : Effets conditionnels de la manipulation synchrone et de la performance de la tâche à différents niveaux de capacités spatiales individuelles (H1-M)

TRM	Est	Erreur	LCL	UCL	t	p
Low	-7,33	2,21	-11,78	-2,90	-3,32	,0017*
Mean	-4,14	2,20	-8,56	,28	-1,88	,0659 ⁺
High	1,08	2,27	-3,48	5,64	,48	,6359

Figure 5 : Moyenne des lignes multiples de la performance de la tâche par TRM (H1-M)



Pour l'hypothèse H2-M-a, qui teste le rôle modérateur des capacités spatiales individuelles sur la relation entre manipulation synchrone et satisfaction, les résultats ne sont pas significatifs et ne supportent donc pas l'hypothèse ($p=0,1268 > 0,05$). Nous ne pouvons pas conclure que l'effet de la manipulation synchrone sur la satisfaction est modéré par les capacités spatiales individuelles. Le modèle linéaire des prédictions de la satisfaction est présenté dans le tableau 13.

Tableau 13 : Modèle linéaire des prédictions de la satisfaction (H2-M-a)

Variable	Est	Erreur	t	p
Intercept	5,25	,51	10,19	<,0001
Manipulation synchrone	,30	,64	-,45	,6526
Score TRM	,06	,48	1,20	,2376
Manipulation synchrone * Score TRM	-,09	,06	-1,55	,1268
Niveau de confort avec les casques	,07	,08	,84	,4052

Pour l'hypothèse H2-M-b, qui teste le rôle modérateur des capacités spatiales individuelles sur la relation entre manipulation synchrone et les conflits relationnels, les résultats ne sont pas significatifs et ne supportent donc pas l'hypothèse ($p=0,4949 > 0,05$). Nous ne pouvons pas conclure que l'effet de la manipulation synchrone sur les conflits relationnels est modéré par les capacités spatiales individuelles. Le modèle linéaire des prédictions de la satisfaction est présenté dans le tableau 14.

Tableau 14 : Modèle linéaire des prédictions des conflits relationnels (H2-M-b)

Variable	Est	Erreur	t	p
Constante	1,19	,20	6,09	<,0001
Manipulation synchrone	-,01	,24	-,04	,9692
Score TRM	-,01	,02	-,20	,8434
Manipulation synchrone * Score TRM	,01	,02	,69	,4949
Niveau de confort avec les casques	-,02	,03	-,57	,5700

Pour l'hypothèse H2-M-c, qui teste le rôle modérateur des capacités spatiales individuelles sur la relation entre manipulation synchrone et le plaisir accru, les résultats ne sont pas significatifs et ne supportent donc pas l'hypothèse ($p=0,3256 > 0,05$). Nous ne pouvons pas conclure que l'effet de la manipulation synchrone sur le plaisir accru est modéré par les capacités spatiales individuelles. Le modèle linéaire des prédictions de la satisfaction est présenté dans le tableau 15.

Tableau 15 : Modèle linéaire des prédictions du plaisir accru (pour H2-M-c)

Variable	Est	Erreur	t	p
Constante	5,92	,50	11,89	<,0001

Manipulation synchrone	-,26	,62	-,43	,6701
Score TRM	,04	,05	,79	,4338
Manipulation synchrone * Score TRM	-,05	,06	-,99	,3256
Niveau de confort avec les casques	,04	,08	,50	,6195

Nous avons réalisé une régression linéaire multiple avec produits croisés pour tester l'effet modérateur des capacités spatiales individuelles sur les relations entre la manipulation synchrone et les variables dépendantes (performance de la tâche, conflit relationnel et plaisir accru). Les résultats montrent que seule l'hypothèse H1-M est supportée, indiquant que les capacités spatiales modèrent la relation entre la manipulation synchrone et la performance de la tâche, en particulier pour les personnes ayant des faibles capacités spatiales. Les autres hypothèses modératrices n'ont pas été confirmées. Pour conclure, l'analyse de données nous a permis de comprendre le profil de nos participants et de démontrer la validité et la fiabilité des construits mesurés. Nous avons testé nos hypothèses directrices avec l'ANCOVA, nos hypothèses médiatrices avec la régression linéaire multiple, et nos hypothèses modératrices avec la régression linéaire en produits croisés. Ces tests nous ont permis de valider ou d'invalider les hypothèses afin de valider notre modèle de recherche (tableau 16). En fin de compte, nous avons pu confirmer cinq des onze hypothèses formulées précédemment. Dans le prochain chapitre, nous discuterons plus en détail des résultats de nos hypothèses, des contributions de cette étude, ainsi que des limites rencontrées. Nous fournirons également des recommandations pour les recherches futures.

Tableau 16 : Récapitulatif des résultats des hypothèses

Hypothèse	f	p	Décision
<i>Hypothèses directrices</i>			
H1 (performance)	6,37	,0033*	Hypothèse supportée
H2-a (satisfaction)	2,59	,0846+	Hypothèse supportée à $p < .10$

H2-b (conflit relationnel)	1,45	,2446	Hypothèse non supportée
H2-c (plaisir accru)	,70	,5017	Hypothèse non supportée
<i>Hypothèses médiatrices</i>			
H2-Y-a (satisfaction)	10,99	,0017*	Hypothèse supportée
H2-Y-b (conflit relationnel)	0,03	,8601	Hypothèse non supportée
H2-Y-c (plaisir accru)	2,86	,0968 ⁺	Hypothèse supportée à p < .10
<i>Hypothèses modératrices</i>			
H1-M (performance)	4,74	,0340*	Hypothèse supportée
H2-M-a (satisfaction)	2,41	,1268	Hypothèse non supportée
H2-M-b (conflit relationnel)	,47	,4949	Hypothèse non supportée
H2-M-c (plaisir accru)	,99	,3256	Hypothèse non supportée

Chapitre 6 : Discussion

Dans ce chapitre, nous examinons les résultats de l'analyse des données en réponse aux deux questions de recherche formulées dans cette étude. Nous mettons ensuite en évidence les contributions théoriques et pratiques de notre recherche. Enfin, nous discutons des limites inhérentes à cette étude et suggérons des pistes de recherche potentielles pour l'avenir.

6.1 Question de recherche 1

La réalisation de ce mémoire avait pour but de répondre à la question de recherche suivante :

Comment la synchronicité des manipulations d'objets influe-t-elle sur l'expérience de collaboration et sur la performance d'une tâche créative au sein d'une équipe travaillant à distance, engagée dans la co-conception d'un espace 3D en réalité augmentée ?

6.1.1 Hypothèses directrices

La première hypothèse (H1), qui visait à tester les effets de la manipulation synchrone d'objets par rapport à la manipulation asynchrone sur la performance de la tâche, a été confirmée. Nos résultats montrent que l'utilisation de la réalité augmentée lors d'une tâche de co-conception à distance est donc plus efficace lorsque les utilisateurs collaborent de manière synchrone qu'en manipulation asynchrone. Cette hypothèse est supportée par plusieurs études antérieures. Par exemple, l'étude de Grandi et al. (2017) a révélé que la manipulation synchrone d'objets dans un environnement collaboratif 3D améliore la performance des tâches en raison de la coordination et de la communication plus efficace entre les membres du groupe. De plus, Wang et Dunston (2011) ont démontré que les systèmes de réalité augmentée (RA) en manipulation synchrone améliorent le temps de

performance et l'effort mental, ce qui contribue à une meilleure performance des utilisateurs. Nos résultats sont aussi cohérents avec la théorie de la synchronicité des médias de Dennis et al. (2008), qui suggère que les outils technologiques permettant une communication synchronisée améliorent la performance de la communication et, par conséquent, la performance des tâches collaboratives.

Pour l'**hypothèse H2-a**, qui postulait que les individus collaborant sur une tâche avec une manipulation synchrone d'objets percevraient une meilleure satisfaction du processus de collaboration que ceux collaborant en manipulation asynchrone, a été confirmée. Les participants ayant collaboré avec une manipulation synchrone ont rapporté des niveaux de satisfaction du processus de collaboration significativement plus élevés, comparés à ceux collaborant en manipulation asynchrone, avec une signification au niveau de 10 %. Ces résultats sont cohérents avec les travaux précédents sur la synchronicité des médias. En effet, Dennis et al. (2008) ont démontré que la synchronicité améliore la qualité de la communication, en facilitant un échange d'informations plus fluide et plus accessible, ce qui, à son tour augmente la satisfaction des utilisateurs dans un contexte de collaboration. D'autres études, telles que celles de Hassell et Limayem (2010), ont également montré que la synchronicité des médias a un impact positif sur la satisfaction des individus dans des environnements de travail collaboratif. Fleischmann et al. (2019) ont confirmé ces résultats dans des contextes d'apprentissage multilingue, soulignant l'importance de la synchronicité pour améliorer la satisfaction et l'efficacité de la communication.

L'**hypothèse H2-b** stipulait que les individus collaborant sur une tâche avec une manipulation synchrone d'objets percevraient une meilleure gestion des conflits relationnels entre les membres de l'équipe que ceux collaborant en manipulation asynchrone. Cependant, les résultats de notre étude n'ont pas confirmé cette hypothèse. Les données montrent que, bien que les groupes avec manipulation synchrone aient des moyennes plus faibles pour la perception de conflits, la différence n'est que de 0,18 et n'est donc pas statistiquement significative. Ces résultats sont en lien avec certaines études antérieures, mais en contradiction avec d'autres. Par exemple, Schouten et al. (2016) ont démontré que dans des contextes de design l'utilisation de la manipulation

synchrone pouvait faciliter la prise de décision de groupe en offrant une meilleure visualisation 3D des objets, ce qui pourrait réduire les malentendus et les conflits. Cependant, cette étude ne s'est pas spécifiquement concentrée sur la gestion des conflits relationnels mais plutôt sur l'efficacité des décisions. À l'inverse, O'Neill et al., (2016) ont montré que dans des environnements collaboratifs très interactifs qui reproduisent un environnement similaire à une discussion en face à face, le média utilisé peut ne pas égaler l'efficacité des prises de décision en face à face. Finalement, il est aussi possible que notre résultat non-significatif soit attribuable aux différences de compétences ou de confort avec la technologie parmi les participants de notre étude.

L'hypothèse H2-c, qui suggérait que les individus collaborant sur une tâche avec une manipulation synchrone d'objets percevraient un plus grand plaisir que ceux collaborant en manipulation asynchrone, n'a pas été confirmée. Bien que les groupes avec manipulation synchrone aient montré des moyennes légèrement plus élevées que les groupes en manipulation asynchrone, la différence est de 0,29 et n'est donc pas statistiquement significative. Ce résultat peut s'expliquer par plusieurs facteurs. Tout d'abord, il est possible que la manipulation synchrone n'ait pas eu un effet suffisamment puissant pour augmenter de manière significative le plaisir perçu des participants. Des études antérieures, telles que celles de Shin (2019) et Scholz & Smith (2016), ont montré que l'interaction avec la réalité augmentée peut être motivante et engageante, mais ces effets ne sont pas universels et peuvent dépendre du contexte et des tâches réalisées. De plus, les différences individuelles en termes de familiarité et de confort avec la technologie peuvent avoir joué un rôle. Les participants ayant des niveaux variés de confort et d'expérience avec la réalité augmentée peuvent avoir réagi différemment à la manipulation synchrone, ce qui pourrait expliquer pourquoi une augmentation significative du plaisir perçu n'a pas été observée. Enfin, des facteurs contextuels et environnementaux peuvent également avoir influencé la perception du plaisir. Par exemple, des éléments comme la fatigue, la complexité de la technologie, ou même les dynamiques de groupe peuvent avoir modéré l'impact de la manipulation synchrone sur la perception du plaisir des utilisateurs.

En résumé, la manipulation synchrone d'objets améliore la performance et la satisfaction du processus de collaboration (H2-a), mais n'a pas d'effet significatif sur la perception des conflits relationnels (H2-b) ni sur le plaisir accru (H2-c). Ces résultats mettent en lumière des variations dans les effets de la technologie selon les contextes spécifiques.

6.1.1 Hypothèses médiatrices

L'hypothèse H2-Y-a suggérait que les individus percevant une meilleure satisfaction du processus de collaboration réaliseraient une meilleure performance de la tâche par rapport à ceux qui percevraient une moins bonne. Les résultats de notre étude supportent cette hypothèse. La littérature existante soutient également cette relation positive entre satisfaction et performance. Par exemple, Lowry et al. (2009) ont indiqué que dans le contexte des technologies de l'information, la satisfaction est un facteur favorisant l'adoption de la technologie et qui joue un rôle crucial dans le succès d'un travail d'équipe. Alfes et al. (2013) et Chang et al. (2010) ont aussi montré que l'engagement et la satisfaction au travail peuvent jouer un rôle médiateur dans la performance des employés.

L'hypothèse H2-Y-b, proposait que les individus percevant une meilleure gestion des conflits relationnels dans le processus de collaboration obtiendraient une meilleure performance de la tâche par rapport à ceux qui en percevraient une moins bonne. Les résultats ne sont pas significatifs et ne supportent donc pas l'hypothèse. Ce résultat indique que dans le contexte de cette étude, le conflit relationnel perçu n'a pas d'impact médiateur significatif sur la performance de la tâche. Cela pourrait être attribuée à plusieurs facteurs. Premièrement, la nature de la tâche collaborative pourrait ne pas avoir suffisamment stimulé des niveaux de conflit nécessitant une gestion significative pour affecter la performance. En effet, la tâche pourrait ne pas avoir été perçue comme suffisamment complexe ou stressante pour que le conflit relationnel joue un rôle crucial. Deuxièmement, il est possible que les participants n'aient pas eu suffisamment de temps ou d'opportunités pour développer des conflits interpersonnels significatifs qui auraient nécessité une gestion proactive. Dans des environnements où les interactions sont plus prolongées et les

objectifs plus compétitifs, une meilleure gestion des conflits relationnel tend à jouer un rôle plus important dans la performance de l'équipe (Alper et al., 2000).

L'hypothèse H2-Y-c qui stipule que les individus percevant plus de plaisir dans le processus de collaboration obtiendront une meilleure performance de la tâche par rapport à ceux qui en perçoivent moins, est confirmée. Cela signifie que les participants qui ont trouvé le processus de collaboration plus plaisant ont été plus efficaces et productifs dans leurs tâches de conception 3D. Cette conclusion rejoint les résultats de l'étude de Alfes et al. (2013) qui soulignent l'importance du plaisir dans les environnements de travail collaboratif. En effet, ils ont montré que l'engagement des employés, souvent associé à des sentiments de plaisir et de satisfaction, est fortement corrélé à de meilleures performances au travail.

En conclusion, notre étude confirme que la satisfaction perçue et le plaisir dans la collaboration améliorent la performance des individus dans les tâches de conception 3D. La perception des conflits relationnels n'a cependant pas montré d'impact significatif. Nous pouvons d'ailleurs noter que la faiblesse de ce construis dans l'analyse psychométrique pourrait expliquer l'absence de soutien pour nos différentes hypothèses (H2-b, H2-Y-b).

6.2 Question de recherche 2

La réalisation de ce mémoire avait également pour but de répondre à la question de recherche suivante :

Dans quelle mesure les effets de la manipulation synchrone sur une tâche de co-conception en 3D sont-ils modérés par les capacités spatiales d'un individu ?

Pour cela nous avons testé quatre hypothèses modératrices.

L'hypothèse H1-M suggérait que la capacité spatiale individuelle modèrerait la relation entre la manipulation synchrone et la performance de la tâche. Plus précisément, elle spécifiait que chez les individus dotés d'une capacité spatiale élevée, la manipulation synchrone aurait un effet moindre sur la performance, en comparaison aux individus ayant une faible capacité spatiale. Les résultats de notre étude supportent cette hypothèse. Nous avons observé que l'effet de la manipulation synchrone sur la performance de la tâche est significativement modéré par les capacités spatiales individuelles. Plus particulièrement, la manipulation synchrone améliore la performance des individus ayant de faibles capacités spatiales, tandis que son effet est moindre chez ceux ayant des capacités spatiales élevées. Pour ceux avec des capacités spatiales moyennes, la manipulation synchrone améliore également la performance de la tâche, mais à un niveau significatif de 10 %. Ces résultats s'alignent avec des travaux antérieurs qui ont montré que les programmes de formation spatiale, ainsi que les plateformes de conception et de visualisation 3D bénéficient davantage aux individus ayant des capacités spatiales plus faibles (Froese et al., 2013; Chang, 2014 ; Dere et Kalelioglu, 2020 ; Piri et Cagiltay, 2023; Hegarty et Waller, 2005). En effet, pour ces individus les vitesses et stratégies de traitement des informations spatiales sont améliorées grâce à ces environnements 3D. Lors d'une manipulation synchrone, les personnes avec une faible capacité spatiale peuvent utiliser le logiciel 3D pour faire tourner les objets virtuels car elles ne peuvent pas le faire aussi bien dans leur tête. Sans cette manipulation, elles ne peuvent pas utiliser l'écran pour le faire et ont plus de mal à traiter mentalement les informations spatiales.

L'hypothèse H2-M-a proposait que la capacité spatiale individuelle modère la relation entre la manipulation synchrone et la satisfaction, de sorte que chez les individus dotés d'une capacité spatiale élevée, la manipulation synchrone aura un effet moindre sur la satisfaction, en comparaison aux individus ayant une faible capacité spatiale. Cependant, nos résultats n'ont pas supporté cette hypothèse. Les analyses effectuées montrent que l'effet modérateur des capacités spatiales sur la relation entre la manipulation synchrone et la satisfaction n'est pas significatif. Autrement dit, la capacité spatiale des individus n'a pas modifié de manière significative l'effet de la manipulation synchrone sur leur satisfaction, que ce soit pour les individus ayant des capacités spatiales élevées ou faibles.

Il est possible que des facteurs tel que les différences individuelles comme l'âge ou le sexe, aient influencé les résultats. Par exemple, des études ont montré que les différences d'âge peuvent affecter la manière dont les technologies de réalité augmentée sont perçues et utilisées, les utilisateurs plus jeunes étant souvent plus à l'aise avec ces technologies que les utilisateurs plus âgés (Charness & Boot, 2009). De même, les différences de genre peuvent jouer un rôle dans la perception et l'utilisation des outils technologiques, avec notamment des variations potentielles dans l'utilité perçue (Padilla-Meléndez et al., 2013).

Pour l'**hypothèse H2-M-b**, nous avons testé si la capacité spatiale individuelle modère la relation entre la manipulation synchrone et les conflits relationnels, de sorte que chez les individus dotés d'une capacité spatiale élevée, la manipulation synchrone aurait un effet moindre sur la performance de la tâche, en comparaison aux individus ayant une faible capacité spatiale. Cependant, les résultats de notre étude n'ont pas confirmé cette hypothèse. Bien que les capacités spatiales soient souvent considérées comme un facteur influençant la performance dans les environnements virtuels et collaboratifs, nos résultats indiquent que dans le contexte spécifique de notre étude, elles ne modèrent pas la relation entre la manipulation synchrone et les conflits relationnels. Ceci peut être dû à plusieurs raisons. Premièrement, la complexité de la tâche peut ne pas être suffisamment influencée par les capacités spatiales individuelles pour montrer un effet modérateur significatif. Deuxièmement, il est possible que d'autres variables non mesurées dans cette étude, telles que les compétences en communication ou les dynamiques de groupe, aient joué un rôle plus important sur les conflits relationnels que les capacités spatiales.

Pour l'**hypothèse H2-M-c**, qui stipulait que la capacité spatiale individuelle modère la relation entre la manipulation synchrone et le plaisir accru, de sorte que chez les individus dotés d'une capacité spatiale élevée, la manipulation synchrone aura un effet moindre sur le plaisir perçu en comparaison aux individus ayant une faible aptitude spatiale, nos résultats n'ont pas confirmé cette hypothèse. Nous n'avons pas observé d'effet modérateur significatif des capacités spatiales sur la relation entre la manipulation synchrone et le plaisir perçu. Une explication pourrait être que les capacités spatiales individuelles n'ont pas un impact suffisamment fort pour modérer la relation entre la manipulation synchrone

et le plaisir accru. Le plaisir perçu lors de la manipulation synchrone pourrait être davantage influencé par l'engagement intrinsèque et la motivation personnelle des participants plutôt que par leurs capacités spatiales. De plus, il est possible que les différences individuelles en termes de capacités spatiales soient moins déterminantes dans un environnement collaboratif où les tâches sont partagées et où les compétences peuvent se compléter. En effet, une étude de Kozlowski et Ilgen (2006) suggèrent que dans les équipes collaboratives, la diversité des compétences peut favoriser des performances globales améliorées, même si les capacités individuelles varient considérablement.

En conclusion, nos résultats montrent que la capacité spatiale individuelle modère la relation entre la manipulation synchrone et la performance de la tâche, surtout pour les individus avec de faibles capacités spatiales. Toutefois, les hypothèses concernant la satisfaction, le conflit relationnel et le plaisir accru n'ont pas été confirmées.

6.3 Limites de l'étude

6.3.1 Participants et environnement

Notre recherche présente certaines limites qui peuvent également être perçues comme des opportunités pour des travaux futurs. Premièrement, concernant nos participants, bien que la taille de l'échantillon soit suffisante pour certaines analyses statistiques, elle pourrait limiter la généralisation des conclusions. Avec seulement 56 participants répartis en deux groupes de conditions expérimentales, la représentativité des résultats pour une population plus large reste incertaine. La taille de l'échantillon influence également la puissance statistique pour détecter certaines relations complexes, telles que les effets de médiation et de modération, ce qui pourrait limiter notre capacité à identifier ces effets de manière précise. De plus, nous n'avons examiné la collaboration qu'entre deux personnes. Plusieurs auteurs ont mentionné que la taille de l'équipe pourrait être un facteur influençant les collaborations en 3D (Deng et al., 2022; Stone et al., 2017). Deuxièmement, l'expérience s'est déroulée dans un environnement contrôlé de laboratoire, ce qui pourrait ne pas refléter les conditions réelles de travail des équipes de

conception 3D en entreprise. Plus particulièrement, les participants ne se connaissaient généralement pas, ce qui peut différer d'un contexte d'entreprise où les employés se connaissent généralement et ont l'habitude de travailler ensemble. Cette familiarité peut influencer la dynamique de collaboration et la performance dans des tâches communes.

6.3.2 Analyse et mesures

Troisièmement, nous avons collecté des données à deux niveaux : individuel (satisfaction, plaisir accru, conflit relationnel) et collectif (performance du binôme lors de la tâche de co-conception en RA). Cependant, nos analyses se sont concentrées uniquement sur le niveau individuel. Par conséquent, notre analyse et les résultats pourraient ne pas refléter toutes les nuances qu'une analyse multi-niveaux (*multi-level*) aurait pu apporter, en raison de la variance entre les données individuelles au sein de chaque groupe. De plus, la performance de groupe a été comptabilisée deux fois, une pour chaque participant, ce qui pourrait introduire un biais dans nos conclusions. Une analyse multi-niveaux permettrait de mieux prendre en compte la complexité de nos données et d'offrir des conclusions plus précises sur les effets de la manipulation synchrone dans un contexte de co-conception à distance en réalité augmentée. Quatrièmement, pour les mesures, nous n'avons recueilli que des données quantitatives avant et après la tâche expérimentale. Nous n'avons pas inclus de données qualitatives via des entretiens après l'expérience, ni codé les enregistrements de données comportementales.

6.3.3 Problèmes techniques

Enfin, la dernière limitation concerne des problèmes techniques. D'abord, le champ de vision de l'écran Hololens AR ne dépasse pas 30°. Cela ne permet d'afficher qu'une très petite partie de l'espace de collaboration, obligeant alors les utilisateurs à constamment incliner la tête pour capturer différentes parties de l'espace de collaboration virtuel. Ye et al. (2022), avaient déjà remarqué ce point dans leur étude. Ensuite, l'outil Figmin XR, est une application de conception 3D en ligne (basée sur le web) avec un problème technique inhérent à sa collaboration en temps réel. Certains groupes, en particulier ceux sous

conditions de manipulation synchrone, se retrouvaient éjectés de la pièce virtuelle collaborative, ce qui pouvait interrompre le flux de collaboration pendant quelques minutes. La manipulation synchrone a pu rendre le processus de collaboration moins satisfaisant et moins plaisant. Pour ceux en manipulation asynchrone, une seule personne dans un groupe avait le contrôle des objets sur l'application, et dans ce cas le système éjectait moins souvent les participants de la pièce virtuelle. Malgré ce problème technique, nous avons trouvé des effets bénéfiques significatifs de la manipulation synchrone.

6.4 Recherches futures

Notre recherche ouvre de nombreuses perspectives pour des études futures. Étant donné les limites identifiées, plusieurs axes d'approfondissement peuvent être explorés. Tout d'abord, une étude impliquant un échantillon plus large et concentré exclusivement sur des participants dans le domaine du design permettrait de généraliser davantage les résultats obtenus. De plus, la collaboration entre plus de deux personnes pourrait être examinée car la dynamique de groupe diffère lorsqu'il s'agit de petites équipes ou de grands groupes, comme le suggèrent Deng et al. (2022) et Stone et al. (2017). De même, la collaboration entre groupes internes et groupes externe peut varier. Lassen & Laugen (2017) ont constaté que la collaboration interne aide à l'innovation incrémentale en améliorant et en élargissant les produits existants, tandis que la collaboration externe est plus importante pour l'innovation radicale, qui implique la création de nouveaux produits et technologies. Ensuite, l'extension des études d'observation à des environnements de travail réels, en dehors des conditions de laboratoire contrôlées, pourrait offrir une meilleure compréhension de l'impact des visiocasques de réalité augmentée (RA) sur la performance et l'expérience de collaboration des équipes de conception 3D dans des contextes professionnels. En outre, l'intégration de données qualitatives via des entretiens et l'analyse des enregistrements de données comportementales fournirait des perspectives plus nuancées sur l'expérience utilisateur et sur les interactions collaboratives. Enfin, des améliorations techniques comme l'augmentation du champ de vision des visiocasques RA au-delà des 30° actuels et la résolution des problèmes de déconnexion dans l'application Figmin XR, pourraient rendre l'expérience de collaboration plus fluide et efficace. Par

exemple, les casques Meta 3 offrent un champs de vision de 110 degrés à l'horizontale et 96 degrés à la verticale (Meta, n.d). Nous suggérons donc de répéter l'expérience avec ce type de casque de RA. De plus, une approche plus systématique pourrait être adoptée en codant et en créant une variable de contrôle pour les groupes ayant rencontré des problèmes de déconnexion, ce qui permettrait d'isoler et de mieux comprendre l'impact de ces interruptions sur la collaboration.

6.5 Contributions

6.5.1 Contributions théoriques

Notre recherche apporte plusieurs contributions théoriques significatives. En approfondissant la théorie de la synchronicité des médias, introduite par Dennis et Valacich (1999) et développée par Dennis et al. (2008), nous avons examiné comment la manipulation synchrone d'objets virtuels influence la collaboration créative et la performance des tâches en 3D. Nos résultats renforcent l'idée que la manipulation synchrone a un effet positif sur la performance des tâches de conception en 3D, ce qui confirme et étend les travaux antérieurs sur la collaboration synchrone et asynchrone (Mabrito 2006; Rahman et al. 2013; Stone et al. 2017). Également, notre recherche contribue à la littérature sur la réalité augmentée (RA), en démontrant comment les visiocasques peuvent être utilisés pour améliorer la collaboration et la co-conception à distance. Cela renforce l'idée que la RA, en enrichissant l'interaction avec le monde réel par l'ajout de contenu numérique, peut significativement améliorer la qualité de la collaboration à distance. De plus, notre étude intègre la capacité spatiale individuelle en tant que modérateur, offrant ainsi une compréhension plus approfondie des différences de performance entre les individus ayant des capacités spatiales élevées et faibles lors de la manipulation synchrone en co-conception 3D.

6.5.2 Contributions pratiques

Du point de vue pratique, notre recherche offre des indications pour les entreprises et les concepteurs 3D sur l'utilisation des visiocasques dans un contexte de travail collaboratif à distance. En identifiant les défis spécifiques liés à la manipulation synchrone, notamment pour les individus ayant une faible capacité spatiale, nous démontrons en partie l'efficacité de la RA pour améliorer l'expérience de travail et la performance lors de co-conception sur des visiocasques. Nos résultats aident également les fournisseurs de produits et services de conception 3D à mieux comprendre l'importance de la manipulation synchrone, soulignant les avantages à mieux l'intégrer dans leurs systèmes. Ils fournissent aussi des indicateurs aux fournisseurs de visiocasque, notamment pour améliorer l'expérience des utilisateurs. En effet, nous montrons que la visualisation des objets est cruciale pour rendre l'expérience de collaboration plus fluide et efficace.

Chapitre 7 : Conclusion

Cette recherche a exploré l'impact de la manipulation synchrone dans des environnements de collaboration en réalité augmentée (RA) sur la performance des tâches de co-conception et l'expérience de collaboration. Après avoir mené 28 sessions expérimentales en laboratoire et procédé à des analyses statistiques, l'étude a démontré que la manipulation synchrone améliore significativement la performance des tâches créatives en 3D et augmente la satisfaction des utilisateurs vis-à-vis du processus de collaboration. Elle a également montré que la satisfaction des processus et le plaisir accru jouent un rôle médiateur entre la manipulation synchrone et la performance de la tâche. Les conflits relationnels n'ont toutefois présenté aucun résultats significatifs. L'ensemble des résultats confirment l'importance de la synchronicité des actions pour optimiser les interactions collaboratives, contribuant ainsi à la littérature sur la collaboration en RA. En intégrant des éléments de la théorie de la synchronicité des médias, cette recherche a fourni des preuves empiriques des avantages de la manipulation synchrone pour la performance des tâches et a enrichi notre compréhension sur les dynamiques de groupe en contexte de co-conception 3D. D'autre part, notre étude montre également le rôle important que joue la capacité spatiale individuelle dans les co-conceptions en RA. Les individus ayant une capacité spatiale faible semblent bénéficier davantage de la fonctionnalité de manipulation synchrone. En leur permettant de faire pivoter et de déplacer des objets 3D, ils peuvent mieux accomplir la tâche et communiquer plus facilement avec les membres de leur équipe.

D'un point de vue pratique, cette recherche offre des recommandations pour les concepteurs et les entreprises en soulignant la nécessité d'améliorer les dispositifs de RA, tels que l'élargissement du champ de vision des visiocasques et la résolution des problèmes techniques pour favoriser une expérience de collaboration plus fluide et efficace. Les limitations de l'étude, telles que la taille de l'échantillon, le contexte de laboratoire, et les mesures utilisées suggèrent des pistes pour des recherches futures, notamment l'intégration de données qualitatives et l'examen des caractéristiques individuelles des participants. En somme, cette recherche met en lumière les avantages

potentiels de la RA pour la co-conception à distance et propose des avenues pour optimiser l'utilisation de ces technologies dans des environnements professionnels.

Bibliographie

- Adams, D. M., Pilegard, C., & Mayer, R. E. (2016). Evaluating the Cognitive Consequences of Playing Portal for a Short Duration. *Journal of Educational Computing Research*, 54(2), 173–195. <https://doi.org/10.1177/0735633115620431>
- Agarwal, R., & Karahanna, E. (2000). Time Flies When You're Having Fun: Cognitive Absorption and Beliefs About Information Technology Usage. *MIS Quarterly*, 24(4), 665–694. <https://doi.org/10.2307/3250951>
- Alfes, K., Truss, C., Soane, E. C., Rees, C., & Gatenby, M. (2013). The relationship between line manager behavior, perceived HRM practices, and individual performance: Examining the mediating role of engagement. *Human Resource Management*, 52(6), 839-859.
- Alper, S., Tjosvold, D., & Law, K. S. (2000). Conflict Management, Efficacy, and Performance in Organizational Teams. *Personnel Psychology*, 53(3), 625-642. <https://doi.org/10.1111/j.1744-6570.2000.tb00216.x>
- Arena, F., Collotta, M., Pau, G., & Termine, F. (2022). An Overview of Augmented Reality. *Computers*, 11(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/computers11020028>
- Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355–385. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
- Azuma, R., Baillot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., & MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21(6), 34–47. <https://doi.org/10.1109/38.963459>
- Barrera Machuca, M. D., Stuerzlinger, W., & Asente, P. (2019). The Effect of Spatial Ability on Immersive 3D Drawing. *Proceedings of the 2019 on Creativity and Cognition*, 173–186. <https://doi.org/10.1145/3325480.3325489>
- Belen, R. A. J. de, Nguyen, H., Filonik, D., Favero, D. D., & Bednarz, T. (2019). A systematic review of the current state of collaborative mixed reality technologies: 2013–2018. *AIMS Electronics and Electrical Engineering*, 3(2), 181–223. <https://doi.org/10.3934/ElectrEng.2019.2.181>
- Ben Guefrech, F., Boujut, J.-F., Dekoninck, E., & Cascini, G. (2023). Studying Interaction density in co-design sessions involving spatial augmented reality. *Research in Engineering Design*, 34(2), 201–220. <https://doi.org/10.1007/s00163-022-00402-2>

- Ben Rajeb, S., & Leclercq, P. (2013). Using Spatial Augmented Reality in Synchronous Collaborative Design. In Y. Luo (Ed.), *Cooperative Design, Visualization, and Engineering* (p. 1–10). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-40840-3_1
- Billinghurst, M., Clark, A., & Lee, G. (2015). A Survey of Augmented Reality. *Foundations and Trends® in Human–Computer Interaction*, 8(2–3), 73–272. <https://doi.org/10.1561/11000000049>
- Borman, W. C., & Motowidlo, S. J. (1997). Task performance and contextual performance: The meaning for personnel selection research. *Human Performance*, 10(2), 99-109.
- Carroll, J. B. (1993). *Human Cognitive Abilities: A Survey of Factor-Analytic Studies*. Cambridge University Press.
- Chang, K., Sheu, T. S., Klein, G., & Jiang, J. J. (2010). User commitment and collaboration: Motivational antecedents and project performance. *Information and Software Technology*, 52(6), 672–679. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2010.02.003>
- Chang, Y. (2014). 3D-CAD effects on creative design performance of different spatial abilities students. *Journal of Computer Assisted Learning*, 30(5), 397–407. <https://doi.org/10.1111/jcal.12051>
- Charness, N., & Boot, W. R. (2009). Aging and Information Technology Use : Potential and Barriers. *Current Directions in Psychological Science*, 18(5), 253-258. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2009.01647.x>
- Chen, W., Shan, Y., Wu, Y., Yan, Z., & Li, X. (2021). Design and Evaluation of a Distance-Driven User Interface for Asynchronous Collaborative Exhibit Browsing in an Augmented Reality Museum. *IEEE Access*, 9, 73948–73962. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3080286>
- Cohen, C. A., & Hegarty, M. (2007). Individual differences in use of external visualisations to perform an internal visualisation task. *Applied Cognitive Psychology*, 21(6), 701–711. <https://doi.org/10.1002/acp.1344>
- Davis, M. C., Can, D. D., Pindrik, J., Rocque, B. G., & Johnston, J. M. (2016). Virtual Interactive Presence in Global Surgical Education: International Collaboration Through Augmented Reality. *World Neurosurgery*, 86, 103–111. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2015.08.053>
- Deng, Y., Marion, T., & Olechowski, A. (2022, November 11). Does Synchronous Collaboration Improve Collaborative Computer-Aided Design Output: Results From a Large-Scale Competition. *ASME 2022 International Design Engineering*

Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. <https://doi.org/10.1115/DETC2022-89731>

- Dennis, A. R., Fuller, R. M., & Valacich, J. S. (2008). Media, Tasks, and Communication Processes: A Theory of Media Synchronicity. *MIS Quarterly*, 32(3), 575–600. <https://doi.org/10.2307/25148857>
- Dennis, A. R., & Valacich, J. S. (1999). Rethinking media richness: Towards a theory of media synchronicity. *Proceedings of the 32nd Annual Hawaii International Conference on Systems Sciences*. 1999. HICSS-32. Abstracts and CD-ROM of Full Papers, Track1, 10 pp.-. <https://doi.org/10.1109/HICSS.1999.772701>
- Dere, H. E., & Kalelioglu, F. (2020). The effects of using web-based 3D design environment on spatial visualisation and mental rotation abilities of secondary school students. *Informatics in Education*, 19(3), 399–424.
- Di, X., & Zheng, X. (2022). A meta-analysis of the impact of virtual technologies on students' spatial ability. *Educational Technology Research and Development*, 70(1), 7398. <https://doi.org/10.1007/s11423-022-10082-3>
- Eggermont, M. J. (2008). Biomimetics as problem-solving, creativity and innovation tool in a first-year engineering design and communication course. In C. A. Brebbia (Ed.), *Design & nature IV: Comparing design in nature with science and engineering*. (pp. 59-67). Southampton, England: WIT Press.
- Erkan Yazici, Y. (2013). Effects of spatial experiences & cognitive styles in the solution process of space-based design problems in the first year of architectural design education. *International Journal of Technology and Design Education*, 23(4), 1005–1015. <https://doi.org/10.1007/s10798-012-9220-x>
- Fabrigar, L. R., & Wegener, D. T. (2011). *Exploratory factor analysis*. Oxford University Press.
- Fasciani, M., Preset, A., Upmanyu, T., & Trueman, C. (2023). Market Guide for Visual Collaboration Applications. *Digital Workplace Infrastructure and IT Operations*, Article G00770000. <https://www.gartner.com/document/4305999?ref=solrAll&refval=382432958>
- Fleischmann, A. C., Aritz, J., & Cardon, P. (2019). Language proficiency and media synchronicity theory: The impact of media capabilities on satisfaction and inclusion in multilingual virtual teams.
- Froese, M.-E., Tory, M., Evans, G.-W., & Shrikhande, K. (2013). Evaluation of Static and Dynamic Visualization Training Approaches for Users with Different Spatial Abilities. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 19(12), 2810–2817. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2013.156>

- Gasques, D., Johnson, J. G., Sharkey, T., & Weibel, N. (2019). What You Sketch Is What You Get: Quick and Easy Augmented Reality Prototyping with PintAR. Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 1-6. <https://doi.org/10.1145/3290607.3312847>
- Grandi, J. G., Debarba, H. G., Nedel, L., & Maciel, A. (2017). Design and Evaluation of a Handheld-based 3D User Interface for Collaborative Object Manipulation. Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 5881-5891. <https://doi.org/10.1145/3025453.3025935>
- Grandi, J. G., Debarba, H. G., Bemdt, I., Nedel, L., & Maciel, A. (2018). Design and Assessment of a Collaborative 3D Interaction Technique for Handheld Augmented Reality. 2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), 49-56. <https://doi.org/10.1109/VR.2018.8446295>
- Grandi, J. G., Debarba, H. G., & Maciel, A. (2019). Characterizing Asymmetric Collaborative Interactions in Virtual and Augmented Realities. 2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), 127-135. <https://doi.org/10.1109/VR.2019.8798080>
- Gu, N., Kim, M. J., & Maher, M. L. (2011). Technological advancements in synchronous collaboration: The effect of 3D virtual worlds and tangible user interfaces on architectural design. *Automation in Construction*, 20(3), 270–278. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.10.004>
- Hallgrimsson, B. (2012). *Prototyping and modelmaking for product design*. Laurence King Publishing London, England.
- Hassell, M., & Limayem, M. (2010). Working In the New Way: A Preliminary Study of Media Synchronicity and Job Satisfaction. <https://aisel.aisnet.org/amcis2010/566>
- Hawes, Z., Moss, J., Caswell, B., Naqvi, S., & MacKinnon, S. (2017). Enhancing Children’s Spatial and Numerical Skills through a Dynamic Spatial Approach to Early Geometry Instruction: Effects of a 32-Week Intervention. *Cognition and Instruction*, 35(3), 236-264. <https://doi.org/10.1080/07370008.2017.1323902>
- Hegarty, M., & Waller, D. A. (2005). Individual Differences in Spatial Abilities. In *The Cambridge Handbook of Visuospatial Thinking* (pp. 121–169). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511610448.005>
- Henriksen, D., Mishra, P., & Mehta, R. (2015). Novel, Effective, Whole: Toward a NEW Framework for Evaluations of Creative Products. *Journal of Technology and Teacher Education*, 23, 455-748.

- Herman, L. M., & Hutka, S. (2019). Virtual Artistry: Virtual Reality Translations of Two-Dimensional Creativity. *Proceedings of the 2019 Conference on Creativity and Cognition*, 612-618. <https://doi.org/10.1145/3325480.3326579>
- Höffler, T. N. (2010). Spatial Ability: Its Influence on Learning with Visualizations—a Meta-Analytic Review. *Educational Psychology Review*, 22(3), 245-269. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9126-7>
- Hong, S. W., El Antably, A., & Kalay, Y. E. (2019). Architectural design creativity in Multi-User Virtual Environment: A comparative analysis between remote collaboration media. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 46(5), 826-844. <https://doi.org/10.1177/2399808317733267>
- Hong, S. W., Jeong, Y., Kalay, Y. E., Jung, S., & Lee, J. (2016). Enablers and barriers of the multi-user virtual environment for exploratory creativity in architectural design collaboration. *CoDesign*, 12(3), 151–170. <https://doi.org/10.1080/15710882.2015.1081239>
- Hsu, T.-W., Tsai, M.-H., Babu, S. V., Hsu, P.-H., Chang, H.-M., Lin, W.-C., & Chuang, J.-H. (2020). Design and Initial Evaluation of a VR based Immersive and Interactive Architectural Design Discussion System. 2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), 363-371. <https://doi.org/10.1109/VR46266.2020.00056>
- Jansen, Y., Dragicevic, P., & Fekete, J.-D. (2013). Evaluating the efficiency of physical visualizations. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2593-2602. <https://doi.org/10.1145/2470654.2481359>
- Jones, P. E., & Roelofsma, P. H. (2000). The potential for social contextual and group biases in team decision-making: Biases, conditions and psychological mechanisms. *Ergonomics*, 43(8), 1129-1152.
- Kent, L., Snider, C., Gopsill, J., & Hicks, B. (2021). Mixed reality in design prototyping: A systematic review. *Design Studies*, 77, 101046. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2021.101046>
- Kim, S., Lee, G., Sakata, N., & Billinghurst, M. (2014). Improving co-presence with augmented visual communication cues for sharing experience through video conference. 2014 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 83-92. <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2014.6948412>
- Kozlowski, S. W. J., & Ilgen, D. R. (2006). Enhancing the Effectiveness of Work Groups and Teams. *Psychological Science in the Public Interest*, 7(3), 77-124. <https://doi.org/10.1111/j.1529-1006.2006.00030.x>

- Lassen, A. H., & Laugen, B. T. (2017). Open innovation : On the influence of internal and external collaboration on degree of newness. *Business Process Management Journal*, 23(6), 1129-1143. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-10-2016-0212>
- Lee, J. H., & Ostwald, M. J. (2022). The impacts of digital design platforms on design cognition during remote collaboration: A systematic review of protocol studies. *Heliyon*, 8(11), e11247. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11247>
- Li, A., & Fessenden, T. (2016, 18 septembre). Augmented reality: What does it mean for UX?. Nielsen Norman Group. <https://www.nngroup.com/articles/augmented-reality-ux/>
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and Characterization of Sex Differences in Spatial Ability: A Meta-Analysis. *Child Development*, 56(6), 1479-1498. <https://doi.org/10.2307/1130467>
- Loureiro, S. M. C., Guerreiro, J., Eloy, S., Langaro, D., & Panchapakesan, P. (2019). Understanding the use of Virtual Reality in Marketing: A text mining-based review. *Journal of Business Research*, 100, 514-530. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.10.055>
- Lowry, P. B., Romano, N. C., Jenkins, J. L., & Guthrie, R. W. (2009). The CMC Interactivity Model: How Interactivity Enhances Communication Quality and Process Satisfaction in Lean-Media Groups. *Journal of Management Information Systems*, 26(1), 155-196. <https://doi.org/10.2753/MIS07421222260107>
- Marques, B., Silva, S., Teixeira, A., Dias, P., & Santos, B. S. (2022). A vision for contextualized evaluation of remote collaboration supported by AR. *Computers & Graphics*, 102, 413-425. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2021.10.009>
- Marques, B., Silva, S., Dias, P., & Santos, B. S. (2023). How to Evaluate If Collaborative Augmented Reality Speaks to Its Users. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 43(5), 107-113. <https://doi.org/10.1109/MCG.2023.3298168>
- Masclat, C., Baldacchino, L., & Boujut, J.-F. (2020, août). An analysis of socio-cognitive activities during co-creative design supported by spatialized augmented reality. *The Sixth International Conference on Design Creativity (ICDC2020)*. <https://doi.org/10.35199/ICDC.2020>
- Maudet, N., Leiva, G., Beaudouin-Lafon, M., & Mackay, W. (2017). Design Breakdowns: Designer-Developer Gaps in Representing and Interpreting Interactive Systems. *Proceedings of the 2017 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work and Social Computing*, 630-641. <https://doi.org/10.1145/2998181.2998190>

- Maynard, D. C., & Hakel, M. D. (1997). Effects of Objective and Subjective Task Complexity on Performance. *Human Performance*, 10(4), 303-330. https://doi.org/10.1207/s15327043hup1004_1
- McKinsey & Company. (2020). COVID-19: Implications for business. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/capabilities/risk-and-resilience/our-insights/covid-19-implications-for-business-2020>
- Merino, L., Schwarzl, M., Kraus, M., Sedlmair, M., Schmalstieg, D., & Weiskopf, D. (2020). Evaluating Mixed and Augmented Reality: A Systematic Literature Review (2009-2019). 2020 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 438-451. <https://doi.org/10.1109/ISMAR50242.2020.00069>
- Meta. (n.d.). *Meta Quest 3*. Meta. <https://www.meta.com/ca/fr/quest/quest-3/>
- Mitchell, A. (2021). Collaboration technology affordances from virtual collaboration in the time of COVID-19 and post-pandemic strategies. *Information Technology & People*, 36(5), 1982-2008. <https://doi.org/10.1108/ITP-01-2021-0003>
- Mohler, J. L. (2008). A Review of Spatial Ability Research. *The Engineering Design Graphics Journal*, 72(2), Article 2. <http://www.edgj.org/index.php/EDGJ/article/view/49>
- Mok, T., & Oehlberg, L. (2017). Critiquing Physical Prototypes for a Remote Audience. *Proceedings of the 2017 Conference on Designing Interactive Systems*, 1295-1307. <https://doi.org/10.1145/3064663.3064722>
- Muñoz-Alcántara, J., Kosnar, P., Funk, M., & Markopoulos, P. (2016). Peepdeck: A dashboard for the distributed design studio. 2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS), 1663-1670. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7733476?casa_token=Sf2Aw74xMbUAAAAA:d8CDX2zmaeO5nIdBYPGDoOV9Sr8C9JAEzYb1uzwT7RAEojAPZNm9X_n-LZ5BHpri4JDARQeR2BHY
- Nielsen Norman Group. (2021). Intranet design annual 2021. Nielsen Norman Group. <https://www.nngroup.com/reports/intranet-design-annual-2021/>
- O'Hare, J. A., Dekoninck, E., Giunta, L., Boujut, J. F., & Becattini, N. (2018). Exploring the performance of augmented reality technologies in co-creative sessions: Initial results from controlled experiments. In *DS 92: Proceedings of the DESIGN 2018 15th International Design Conference*, 15, 405-416. <https://doi.org/10.21278/idc.2018.0391>

- O'Neill, T. A., Hancock, S. E., Zivkov, K., Larson, N. L., & Law, S. J. (2016). Team Decision Making in Virtual and Face-to-Face Environments. *Group Decision and Negotiation*, 25(5), 995-1020. <https://doi.org/10.1007/s10726-015-9465-3>
- Oh, J., & Sundar, S. S. (2015). How Does Interactivity Persuade? An Experimental Test of Interactivity on Cognitive Absorption, Elaboration, and Attitudes. *Journal of Communication*, 65(2), 213-236. <https://doi.org/10.1111/jcom.12147>
- Padilla-Meléndez, A., del Aguila-Obra, A. R., & Garrido-Moreno, A. (2013). Perceived playfulness, gender differences and technology acceptance model in a blended learning scenario. *Computers & Education*, 63, 306-317. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.12.014>
- Palmarini, R., Erkoyuncu, J. A., Roy, R., & Torabmostaedi, H. (2018). A systematic review of augmented reality applications in maintenance. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 49, 215-228. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2017.06.002>
- Papakostas, C., Troussas, C., Krouska, A., & Sgouropoulou, C. (2021). Exploration of Augmented Reality in Spatial Abilities Training: A Systematic Literature Review for the Last Decade. *Informatics in Education*, 20(1), 107-130. <https://doi.org/10.15388/infedu.2021.06>
- Park, M. K., Lim, K. J., Seo, M. K., Jung, S. J., & Lee, K. H. (2015). Spatial augmented reality for product appearance design evaluation. *Journal of Computational Design and Engineering*, 2(1), 38-46. <https://doi.org/10.1016/j.jcde.2014.11.004>
- Peters, M., Laeng, B., Latham, K., Jackson, M., Zaiyouna, R., & Richardson, C. (1995). A Redrawn Vandenberg and Kuse Mental Rotations Test—Different Versions and Factors That Affect Performance. *Brain and Cognition*, 28(1), 39-58. <https://doi.org/10.1006/brcg.1995.1032>
- Phadnis, V., Arshad, H., Wallace, D., & Olechowski, A. (2021). Are Two Heads Better Than One for Computer-Aided Design? *Journal of Mechanical Design*, 143(071401). <https://doi.org/10.1115/1.4050734>
- Pidel, C., & Ackermann, P. (2020). Collaboration in Virtual and Augmented Reality: A Systematic Overview. In L. T. De Paolis & P. Bourdot (Éds.), *Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics* (p. 141-156). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58465-8_10
- Piri, Z., & Cagiltay, K. (2023). Can 3-Dimensional Visualization Enhance Mental Rotation (MR) Ability?: A Systematic Review. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 0(0), 1-16. <https://doi.org/10.1080/10447318.2023.2196161>

- Porter, S. R., Marner, M. R., Smith, R. T., Zucco, J. E., & Thomas, B. H. (2010). Validating Spatial Augmented Reality for interactive rapid prototyping. 2010 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 265-266. <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2010.5643599>
- Poulin, M., Masclet, C., & Boujut, J.-F. (2024). Investigating the effects of spatial augmented reality on user participation in co-design sessions: A case study. *Computers in Industry*, 154, 104023. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2023.104023>
- Rafi, A., & Samsudin, K. (2009). Practising mental rotation using interactive Desktop Mental Rotation Trainer (iDeMRT). *British Journal of Educational Technology*, 40(5), 889-900. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2008.00874.x>
- Rahman, N., Cheng, R., & 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), 406-431. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2012.11.003>
- Roca-González, C., Martin Gutierrez, J., García-Dominguez, M., & Mato Carrodegas, M. del C. (2016). Virtual Technologies to Develop Visual-Spatial Ability in Engineering Students. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(2). <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00625a>
- Šafhalter, A., Glodež, S., Šorgo, A., & Ploj Virtič, M. (2022). Development of spatial thinking abilities in engineering 3D modeling course aimed at lower secondary students. *International Journal of Technology and Design Education*, 32(1), 167-184. <https://doi.org/10.1007/s10798-020-09597-8>
- Sanders, E. B.-N., & Stappers, P. J. (2008). Co-creation and the new landscapes of design. *CoDesign*, 4(1), 5-18. <https://doi.org/10.1080/15710880701875068>
- Schäfer, A., Reis, G., & Stricker, D. (2023). A Survey on Synchronous Augmented, Virtual, and Mixed Reality Remote Collaboration Systems. *ACM Computing Surveys*, 55(6), 1-27. <https://doi.org/10.1145/3533376>
- Schmalstieg, D., & Hollerer, T. (2016). *Augmented Reality: Principles and Practice*. Addison-Wesley Professional.
- Scholz, J., & Smith, A. N. (2016). Augmented reality: Designing immersive experiences that maximize consumer engagement. *Business Horizons*, 59(2), 149-161. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2015.10.003>
- Schouten, A. P., van den Hooff, B., & Feldberg, F. (2016). Virtual team work: Group decision making in 3D virtual environments. *Communication Research*, 43(2), 180-210.

- Sereno, M., Wang, X., Besançon, L., McGuffin, M. J., & Isenberg, T. (2022). Collaborative Work in Augmented Reality: A Survey. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 28(6), 2530-2549. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2020.3032761>
- Shin, D. (2019). How does immersion work in augmented reality games? A user-centric view of immersion and engagement. *Information, Communication & Society*, 22(9), 1212-1229. <https://doi.org/10.1080/1369118X.2017.1411519>
- Stone, B., Salmon, J. L., Hepworth, A. I., Red, E., Killian, M., La, A., Pedersen, A., & Jones, T. (2017). Methods for determining the optimal number of simultaneous contributors for multi-user CAD parts. *Computer-Aided Design and Applications*, 14(5), 610-621.
- Tavakol, M., & Dennick, R. (2011). Making sense of Cronbach's alpha. *International journal of medical education*, 2, 53.
- Trotter, P. (2023). Les mutations du design en France. Figma. <https://www.figma.com/fr/blog/state-of-the-designer-report-23/>
- Trueman, C., & Fernandez, M. (2023). 3 Ways to Reduce Communication and Collaboration Tool Spending. *Digital Workplace Infrastructure and IT Operations and Digital Workplace Applications*, Article G00784496. <https://www.gartner.com/document/4857331?ref=solrAll&refval=399979457&>
- Upmanyu, T., & Sheth, P. (2023). Hype Cycle for Unified Communications and Collaboration, 2023. *Digital Workplace Infrastructure and IT Operations*, Article G00791005. <https://www.gartner.com/document/4559799?ref=solrResearch&refval=382278537&toggle=1&viewType=Full>
- Verlinden, J. C. (2012). Augmented prototyping: Augmented reality to support the design process. *Ar(t), Augmented Reality, Art and Technology*, (1), 2012. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Aadf07ab0a-3d21-435d-8c34-720bb9baec04>
- Wang, P., Zhang, S., Billingham, M., Bai, X., He, W., Wang, S., Sun, M., & Zhang, X. (2020). A comprehensive survey of AR/MR-based co-design in manufacturing. *Engineering with Computers*, 36(4), 1715-1738. <https://doi.org/10.1007/s00366-019-00792-3>
- Wang, X., & Dunston, P. S. (2011). Comparative Effectiveness of Mixed Reality-Based Virtual Environments in Collaborative Design. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 41(3), 284-296. <https://doi.org/10.1109/TSMCC.2010.2093573>

- Ye, H., Janssen, C., Noordman, D., & Liang, R.-H. (2022). Understanding How to Support Remote Co-Design with a Conceptual Modular Shape-Changing Interface Toolkit. Sixteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction, 1-6. <https://doi.org/10.1145/3490149.3505563>
- Ye, X., Frens, J., & Hu, J. (2021). Adjusting to a Distributed Collaborative Design Process During the COVID-19 Pandemic. IEEE Pervasive Computing, 20(4), 9-17. <https://doi.org/10.1109/MPRV.2021.3111448>
- Ye, X., Frens, J., & Hu, J. (2024). Design Tools for Supporting the Remote Collaborative Design Process: A Systematic Review. Proceedings of the Tenth International Symposium of Chinese CHI, 83-95. <https://doi.org/10.1145/3565698.3565772>
- Yim, S., Wang, D., Olson, J., Vu, V., & Warschauer, M. (2017). Synchronous Collaborative Writing in the Classroom: Undergraduates' Collaboration Practices and their Impact on Writing Style, Quality, and Quantity. Proceedings of the 2017 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work and Social Computing, 468-479. <https://doi.org/10.1145/2998181.2998356>
- Yin, H., Gao, H., & Trueman, C. (2024). 3 Ways to Use Immersive Technologies in the Digital Workplace. Digital Workplace Applications, Article G00803478. <https://www.gartner.com/document/5097731?ref=solrAll&refval=400763711&>
- Zampelis, D., Gill, S., Loudon, G., & Walker, D. (2012, septembre 1). Augmented Reality Centered Rapid Prototyping. The 26th BCS Conference on Human Computer Interaction. <https://doi.org/10.14236/ewic/HCI2012.88>

Annexes

Annexe A : Tableau de revue de littérature de la littérature par concept

Article	Concepts								
	Technologies immersive		Perception des processus de collaboration				Capacités spatiales	Performance	Autre
	Réalité virtuelle/mixte	Réalité augmentée	Difficulté de la tâche	Satisfaction du processus	Prise de décision en équipe	Expérience utilisateur			
Ye et al., 2024		x		x					x
Marques et al., 2022b		x	x	x	x		x	x	
Sanders & Stappers, 2008									x
Maudet et al., 2017					x				
Ye et al., 2022							x		x
Ye et al., 2021					x				
Hsu et al., 2020	x		x						
Sereno et al., 2022		x			x	x		x	
Arena et al., 2022		x							
Chen et al., 2021				x		x			x
Pidel & Ackermann, 2020	x	x		x	x	x	x	x	
Schäfer et al., 2023	x	x							x
Davis et al., 2016	x	x			x				
Palmarini et al., 2018		x			x				x
Kim et al., 2014		x						x	
Kent et al., 2021	x							x	
Porter et al., 2010		x				x			x
Park et al., 2015		x							x
Mascllet et al., 2020		x			x	x	x		
Verlinden, 2012		x	x		x				
Ben Guefrech et al., 2022		x		x			x		
O'Hare et al., 2018		x					x		x
Märner et al., 2011		x			x				
Irlitti et von Itzstein		x			x				x
Poulin et al., 2024		x					x		x
Zampelis et al., 2012		x		x					x
Gasques et al., 2019		x	x						
Hong et al., 2019	x					x	x	x	
Kang et al., 2023		x				x			
Berg & Vance, 2017	x				x				
Laing & Apperley, 2020	x			x					
Wang, 2020	x	x	x		x			x	
Wang et Dunston, 2011		x	x					x	
Piri et Cagiltay., 2023							x		x
Lee et Ostwald., 2022							x	x	x
Roca-González et al., 2016	x	x					x	x	
Di & Zheng., 2022	x	x					x		
Froese et al., 2013				x			x	x	
Dere et Kalelioglu., 2020							x	x	
Papakostas et al., 2021		x					x		
Stone et al., 2017				x	x		x	x	
Phadnis et al., 2021							x	x	
Chang, 2014							x	x	
Barrera et al., 2019							x	x	

Annexe B : Instructions participants (condition bi-contrôle)

INSTRUCTIONS:

Vous allez collaborer sur une tâche de co-conception avec un autre collègue à distance afin de répondre au brief de l'entreprise fictive Ikeo.

Voici le brief :

L'entreprise « Ikeo » souhaite faire appel à vos compétences pour concevoir un nouvel espace de bureau qui figurera dans leur prochain magazine.

Ils désirent un environnement fonctionnel, esthétique et inspirant, favorisant la productivité et le bien-être des clients.

Vous devez :

- Placer des éléments virtuels et ajuster leurs tailles de manière réaliste de sorte à ce qu'ils soient positionnés correctement (bonne taille et bon ajustement au sol)
- Comme vous pouvez le voir, la salle dans laquelle vous vous trouvez présentement n'est pas vide car il y a déjà une table et une chaise. Vous devez ainsi concevoir l'espace réelle (la salle dans laquelle vous êtes) en tenant compte de ces 2 objets. Toutefois, vous devez obligatoirement ajouter : **1 armoire de rangement et 1 lampe à la pièce.**
- **Vous devez aussi ajouter de la décoration** (exemple : miroir, plante, poubelle, ordinateur, horloge, ou autre...)
- Votre création sera évaluée en termes de :
 - Respect des instructions (placer le bon nombre d'objets)
 - Disposition spatiale (Utilisation efficace de l'espace dans la pièce et adéquation de l'emplacement des meubles)
 - Accessibilité de l'espace (Facilité de circulation)
 - Échelle spatiale (Les dimensions des meubles sont respectées)
 - Choix des meubles (Tous les meubles obligatoires ont été ajoutés, plus des objets de décoration)
 - Qualité esthétique (Harmonie dans la disposition des meubles et cohérence esthétique)
- Il y a plusieurs pages dans la bibliothèque d'objets. Vous pouvez parcourir **uniquement les 5 premières pages.**

OUTILS ET DIRECTIVES DE COLLABORATION:

- Teams : vous utiliserez Team audio pour communiquer et collaborer avec votre collègue

- Figmin XR : C'est est une application de réalité augmentée qui permet aux utilisateurs de visualiser et de concevoir des espaces en 3D. Elle vous permet de placer et d'ajuster virtuellement des objets dans votre environnement réel.

Vous et votre partenaire manipulerez l'espace en même temps.

Pour rechercher des objets dans l'application vous devrez les écrire en anglais, voici une liste pour vous aider :

- Armoire = Cupboard
- Bureau = Desk
- Chaise = Chair
- Lampe = Lamp
- Miroir = Mirror
- Plante = Plant
- Poubelle = Garbage can
- Ordinateur = Computer
- Horloge = Clock
- Ou tout autre objet que vous souhaitez, n'hésitez pas à nous demander si vous avez besoin d'une traduction pendant la tâche.

Annexe C : Instructions participants (condition uni-contrôle)

INSTRUCTIONS:

Vous allez collaborer sur une tâche de co-conception avec un autre collègue à distance afin de répondre au brief de l'entreprise fictive Ikea.

Voici le brief :

L'entreprise « Ikea » souhaite faire appel à vos compétences pour concevoir un nouvel espace de bureau qui figurera dans leur prochain magazine.

Ils désirent un environnement fonctionnel, esthétique et inspirant, favorisant la productivité et le bien-être des clients.

Vous devez :

- Placer des éléments virtuels et ajuster leurs tailles de manière réaliste de sorte à ce qu'ils soient positionnés correctement (bonne taille et bon ajustement au sol)
- Comme vous pouvez le voir, la salle dans laquelle vous vous trouvez présentement n'est pas vide car il y a déjà une table et une chaise. Vous devez ainsi concevoir l'espace réelle (la salle dans laquelle vous êtes) en tenant compte de ces 2 objets. Toutefois, vous devez obligatoirement ajouter : **1 armoire de rangement et 1 lampe à la pièce.**
- **Vous devez aussi ajouter de la décoration** (exemple : miroir, plante, poubelle, ordinateur, horloge, ou autre...)
- Votre création sera évaluée en termes de :
 - Respect des instructions (placer le bon nombre d'objets)
 - Disposition spatiale (Utilisation efficace de l'espace dans la pièce et adéquation de l'emplacement des meubles)
 - Accessibilité de l'espace (Facilité de circulation)
 - Échelle spatiale (Les dimensions des meubles sont respectées)
 - Choix des meubles (Tous les meubles obligatoires ont été ajoutés, plus des objets de décoration)
 - Qualité esthétique (Harmonie dans la disposition des meubles et cohérence esthétique)
- Il y a plusieurs pages dans la bibliothèque d'objets. Vous pouvez parcourir **uniquement les 5 premières pages.**

OUTILS ET DIRECTIVES DE COLLABORATION:

- Teams : vous utiliserez Team audio pour communiquer et collaborer avec votre collègue
- Figmin XR: C'est est une application de réalité augmentée qui permet aux utilisateurs de visualiser et de concevoir des espaces en 3D. Elle vous permet de placer et d'ajuster virtuellement des objets dans votre environnement réel. **Vous seul pourrez ajouter des éléments, les déplacer et les éditer.** Votre collègue peut participer à la conception en visualisant l'espace dans l'application, en recherchant des objets dans le catalogue, mais **il ne pourra pas ajouter et manipuler les objets.** Il pourra simplement vous faire des commentaires et suggestions orales.

Pour rechercher des objets dans l'application vous devrez les écrire en anglais, voici une liste pour vous aider :

- Armoire = Cupboard
- Bureau = Desk
- Chaise = Chair
- Lampe = Lamp
- Miroir = Mirror
- Plante = plant
- Poubelle = Garbage can
- Ordinateur = Computer
- Horloge = Clock
- Ou tout autre objet que vous souhaitez, n'hésitez pas à nous demander si vous avez besoin d'une traduction pendant la tâche.

Annexe D : Instructions participants (condition uni-observateur)

INSTRUCTIONS:

Vous allez collaborer sur une tâche de co-conception avec un autre collègue à distance afin de répondre au brief de l'entreprise fictive Ikeo.

Voici le brief :

L'entreprise « Ikeo » souhaite faire appel à vos compétences pour concevoir un nouvel espace de bureau qui figurera dans leur prochain magazine.

Ils désirent un environnement fonctionnel, esthétique et inspirant, favorisant la productivité et le bien-être des clients.

Vous devez :

- Placer des éléments virtuels et ajuster leurs tailles de manière réaliste de sorte à ce qu'ils soient positionnés correctement (bonne taille et bon ajustement au sol)
- Comme vous pouvez le voir, la salle dans laquelle vous vous trouvez présentement n'est pas vide car il y a déjà une table et une chaise. Vous devez ainsi concevoir l'espace réelle (la salle dans laquelle vous êtes) en tenant compte de ces 2 objets. Toutefois, vous devez obligatoirement ajouter : **1 armoire de rangement et 1 lampe à la pièce.**
- **Vous devez aussi ajouter de la décoration** (exemple : miroir, plante, poubelle, ordinateur, horloge, ou autre...)
- Votre création sera évaluée en termes de :
 - Respect des instructions (placer le bon nombre d'objets)
 - Disposition spatiale (Utilisation efficace de l'espace dans la pièce et adéquation de l'emplacement des meubles)
 - Accessibilité de l'espace (Facilité de circulation)
 - Échelle spatiale (Les dimensions des meubles sont respectées)
 - Choix des meubles (Tous les meubles obligatoires ont été ajoutés, plus des objets de décoration)
 - Qualité esthétique (Harmonie dans la disposition des meubles et cohérence esthétique)
- Il y a plusieurs pages dans la bibliothèque d'objets. Vous pouvez parcourir **uniquement les 5 premières pages.**

OUTILS ET DIRECTIVES DE COLLABORATION:

- Teams : vous utiliserez Team audio pour communiquer et collaborer avec votre collègue

- Figmin XR : C'est est une application de réalité augmentée qui permet aux utilisateurs de visualiser et de concevoir des espaces en 3D. Elle vous permet de placer et d'ajuster virtuellement des objets dans votre environnement réel. **Seul votre collègue peut aménager la pièce.** Vous pouvez participer aux progrès en temps réel en suivant la réalisation directement dans l'application, mais **vous ne pouvez pas la modifier.** Vous pourrez rechercher des objets dans le catalogue, mais sans ajouter ni manipuler les objets. Vous devrez simplement faire des commentaires et suggestions orales. Aussi nous vous demanderons de **minimiser l'utilisation de vos mains** durant l'expérience, de sorte à ne pas faire d'erreur de manipulation.
- Pour rechercher des objets dans l'application vous devrez les écrire en anglais, voici une liste pour vous aider :
- Armoire = Cupboard
- Bureau = Desk
- Chaise = Chair
- Lampe = Lamp
- Miroir = Mirror
- Plante = Plant
- Poubelle = Garbage can
- Ordinateur = Computer
- Horloge = Clock
- Ou tout autre objet que vous souhaitez, n'hésitez pas à nous demander si vous avez besoin d'une traduction pendant la tâche.

Annexe E : Grille d'évaluation

Total : /35 points maximum

Catégorie	Sous-catégorie	Critères de correction	Points max	Point
Efficacité	Disposition spatiale	Utilisation efficace de l'espace dans la pièce et adéquation de l'emplacement des meubles	5 points	<p>1 point : La disposition des meubles semble chaotique et désorganisée, ne servant à aucune fonction spécifique.</p> <p>2 points : Quelques efforts ont été faits pour équilibrer les meubles dans l'espace, mais la disposition manque encore de cohérence et d'utilité.</p> <p>3 points : La disposition des meubles est relativement équilibrée, mais il subsiste certaines zones où l'espace n'est pas utilisé de façon optimale.</p> <p>4 points : Les meubles sont bien positionnés et équilibrés dans la pièce.</p> <p>5 points : La disposition des meubles est parfaitement optimisée, la pièce est parfaitement fonctionnelle.</p>
	Accessibilité de l'espace	Facilité de circulation dans la pièce	5 points	<p>1 point : La disposition des meubles entrave considérablement la circulation, créant un encombrement et une difficulté évidents pour se déplacer dans la pièce.</p> <p>2 points : Bien qu'il y ait quelques tentatives pour équilibrer les meubles, la disposition manque de cohérence, ce qui peut entraîner une circulation difficile dans certaines zones de la pièce.</p> <p>3 points : La disposition des meubles est relativement équilibrée, mais quelques zones subsistent où la circulation pourrait être améliorée, montrant une certaine cohérence, mais pas de manière uniforme.</p> <p>4 points : Les meubles sont bien disposés et équilibrés, facilitant une circulation fluide dans la pièce avec une certaine harmonie visuelle.</p> <p>5 points : La disposition des meubles est parfaitement équilibrée, permettant une circulation aisée dans toute la pièce.</p>

	Echelle spatiale	Les dimensions des meubles sont respectées	5 points	<p>1 point : Les dimensions des meubles entrave considérablement la circulation et n'est pas du tout représentative de la taille réelle d'objets.</p> <p>2 points : Bien qu'il y ait quelques tentatives pour équilibrer les meubles, les dimensions manquent de cohérence, ce qui peut entraîner une circulation difficile dans certaines zones de la pièce.</p> <p>3 points : Les dimensions des meubles sont relativement équilibrées, mais quelques zones subsistent où la circulation pourrait être améliorée, montrant une certaine cohérence, mais pas de manière uniforme.</p> <p>4 points : Les meubles sont bien proportionnés, facilitant une circulation fluide dans la pièce.</p> <p>5 points : Les dimensions des meubles sont parfaitement équilibrées, permettant une circulation aisée dans toute la pièce.</p>
	Choix des meubles	Tous les meubles ont été placés dans l'espace	1 point	<p>0,5 point : 1/2 des meubles imposés ont été placés dans l'espace.</p> <p>1 point : 2/2 des meubles imposés ont été placés dans l'espace.</p>
		Ajout supplémentaire de décoration	9 points	<p>0 point : Aucune décoration supplémentaire n'est ajoutée.</p> <p>2 points : Des tentatives de décoration supplémentaire sont visibles, mais elles manquent d'originalité ou de pertinence.</p> <p>5 points : Les éléments de décoration supplémentaires sont choisis avec un certain degré de créativité, mais pourraient être mieux adaptés à l'espace.</p> <p>7 points : Les éléments de décoration ajoutés démontrent un bon niveau de créativité.</p> <p>9 points : Les choix de décoration supplémentaires sont exceptionnellement créatifs.</p>
		Harmonie dans la disposition des meubles	5 points	<p>1 point : Les meubles semblent désorganisés et mal placés, sans aucune harmonie visuelle.</p> <p>2 points : Il y a quelques tentatives pour équilibrer les meubles, mais la disposition manque de cohérence et d'harmonie.</p> <p>3 points : La disposition des meubles est relativement équilibrée, mais il y a encore quelques zones où l'harmonie est absente.</p> <p>4 points : Les meubles sont bien disposés et équilibrés dans la pièce, créant une certaine harmonie visuelle.</p>

Originalité	Esthétisme			5 points : La disposition des meubles est parfaitement équilibrée, créant une harmonie visuelle agréable et évidente dans la pièce.
		Style et cohérence des meubles choisis	5 points	<p>1 point : Les meubles choisis sont disparates et ne s'harmonisent pas entre eux, créant un ensemble discordant.</p> <p>2 points : Il y a quelques éléments de cohérence dans le style, mais la plupart des choix semblent discordants.</p> <p>3 points : La plupart des meubles choisis partagent un style similaire, mais il y a quelques incohérences qui persistent.</p> <p>4 points : Les meubles choisis s'harmonisent bien en termes de style et de conception, créant une esthétique globale cohérente.</p> <p>5 points : Les choix de meubles présentent une cohérence exceptionnelle dans le style, créant une esthétique unifiée et harmonieuse.</p>

Annexe F : Items mesurés durant l'expérience

Nom de l'item	Formulation de l'item
Satisfaction du processus : Lowry et al. (2009)	
Sat1	Notre processus de collaboration en tant que groupe était efficace.
Sat2 (r)	Notre processus de collaboration en tant que groupe n'était pas coordonné.
Sat3 (r)	Notre processus de collaboration en tant que groupe était injuste.
Sat4	Notre processus de collaboration en tant que groupe était compréhensible.
Sat5	Notre processus de collaboration en tant que groupe était satisfaisant
Prise de décision en équipe : O'Neil et al. (2016)	
Conflit relationnel (Jehn, 1995)	
Conf1	Il y a eu un conflit émotionnel.
Conf2	Il y avait de la colère.
Conf3	Il y a eu des frictions personnelles.
Conf4	Il y a eu des conflits de personnalités.
Conf5	Il y avait des tensions.
Absorption cognitive : Agarwal et Karahanna (2000)	
Plaisir accru	
Plais1	Je me suis amusé.
Plais2	Cette tâche m'a procuré beaucoup de plaisir.
Plais3	J'ai apprécié cette activité.
Plais4	Cette tâche m'ennuyait.