

[Page de garde]

HEC MONTRÉAL

Impact de la réalité augmentée en contexte 3D sur l'expérience utilisateur : une analyse comparative entre les technologies immersives et non immersives selon l'âge

**Par
Chloé Audy**

**Ann-Frances Cameron
HEC Montréal
Directrice de recherche**

Sciences de la gestion
(Spécialisation – Expérience utilisateur)

Mémoire présenté en vue de l'obtention
du grade de maîtrise ès sciences en gestion
(M.Sc.)

Février 2026

© Chloé Audy, 2026

CERTIFICATE OF ETHICS APPROVAL

This is to confirm that the research project described below has been evaluated in accordance with ethical conduct for research involving human subjects, and that it meets the requirements of our policy on that subject.

Project No.: 2024-5908

Title of research project: USER EXPERIENCE WITH AUGMENTED REALITY AND PERFORMANCE

Principal investigator: Monalisa Mahapatra

Directors: Ann-Frances Cameron, Stefan Tams

Date of project approval: April 09, 2024

Effective date of certificate: April 09, 2024

Expiry date of certificate: April 01, 2025



Maurice Lemelin
Président
CER de HEC Montréal

Signé le 2024-04-12 à 16:16

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 : Chloé Audy

Titre du projet supervisé/mémoire/thèse : Impact de la réalité augmentée en contexte 3D sur l'expérience utilisateur : une analyse comparative entre les technologies immersives et non immersives selon l'âge

Titre du projet sur le certificat : Immersive Technology and Age

Projet # : 2024-5908

Chercheur principal / directeur de recherche : Ann-Frances Cameron

Cochercheurs : Chloé Audy

Date d'approbation initiale du projet : 09 avril 2024

Date de fermeture de l'approbation éthique pour l'étudiant(e) : 10 février 2026



Maurice Lemelin
Président
CER de HEC Montréal

Signé le 2026-02-10 à 14:42

Résumé

Cette étude examine l'impact de la réalité augmentée, comparativement aux technologies immersives, sur l'expérience utilisateur lors de tâches d'évaluation en contexte 3D, en portant une attention particulière aux différences générationnelles entre travailleurs âgés et travailleurs plus jeunes. Une étude expérimentale a été menée avec 20 participants, dont 11 jeunes adultes de 55 ans et moins et 9 adultes de 55 ans et plus. Chaque participant réalisait des tâches d'évaluation d'un espace de bureau dans deux conditions différentes, soit avec un iPad représentant une technologie non immersive et avec le casque HoloLens représentant la réalité augmentée. Les résultats révèlent que la réalité augmentée améliore significativement la perception spatiale et la visualisation 3D pour tous les groupes d'âge, réduisant l'effort mental nécessaire à la compréhension de l'espace. Cependant, les différences générationnelles se manifestent principalement dans la qualité de l'expérience vécue plutôt que dans la performance objective. Pour les travailleurs âgés, la réalité augmentée élimine l'anxiété liée à la visualisation spatiale et renforce considérablement la confiance professionnelle, bien que les contraintes ergonomiques du casque telles que le poids, la chaleur et la fatigue oculaire soient vécues de manière plus préoccupante. Les jeunes travailleurs adoptent quant à eux une perspective principalement fonctionnelle, sans transformation identitaire ou effets émotionnels notables. Cette recherche contribue à la compréhension théorique de l'expérience utilisateur intergénérationnelle face aux technologies immersives, en identifiant la confiance en soi comme dimension centrale et différenciatrice pour les travailleurs âgés. Elle fournit également des recommandations pratiques pour les concepteurs et les organisations afin de maximiser l'inclusion numérique des travailleurs vieillissants. L'étude se termine en exposant ses limites, notamment la taille limitée de l'échantillon et le contexte spécifique des tâches, et en proposant des pistes pour des recherches futures, incluant l'intégration de mesures objectives et l'exploration d'autres types de tâches professionnelles.

Mots clés : réalité augmentée, expérience utilisateur, tâches d'évaluation 3D, différences générationnelles, travailleurs âgés, confiance professionnelle, charge cognitive, ergonomie, HoloLens, technologies non immersives

Méthode de recherche : Expérience en laboratoire, entrevues qualitatives

Table des matières

Chapitre 1 : Introduction.....	1
1.1 Mise en contexte et problématique	1
1.2 Question de recherche et objectifs	5
1.3 Contributions de la recherche.....	5
1.4 Structure du mémoire.....	6
Chapitre 2 : Revue littéraire	8
2.1 Stratégie de recherche	9
2.2 Définition de l'expérience utilisateur et son importance	9
2.3 Revue de la littérature sur les technologies - Réalité augmentée vs non immersives.....	10
2.3.1 Caractérisation des technologies.....	11
2.3.2 Spécificités des tâches en contexte 3D.....	11
2.3.3 Analyse comparative de l'expérience utilisateur pour les tâches d'évaluation 3D .	12
2.4 L'expérience utilisateur et les caractéristiques individuelles	26
2.4.1 Différences intergénérationnelles dans les préférences d'interfaces.....	26
2.4.2 Obstacles spécifiques aux travailleurs âgés dans l'utilisation de la réalité augmentée	27
2.4.3 Opportunités et défis de la réalité augmentée pour les travailleurs âgés.....	28
2.5 Synthèse des lacunes de la littérature et justification de la recherche.....	29
2.5.1 Connaissances établies et contributions de la littérature actuelle	29
2.5.2 Lacunes identifiées dans la littérature	31
2.5.2.1 Absence de comparaison directe et systématique	32
2.5.2.2 Le manque d'une lentille intergénérationnelle explicite dans la comparaison .	33
2.5.3 Justification de la recherche.....	35
Chapitre 3 - Méthodologie	37
3.1 Choix du design expérimental	37
3.2 Participants	38
3.3 Protocole.....	38
3.3.1 Accueil, information et consentement.....	41
3.3.2 Configuration des salles et matériel	41
3.3.3 Pré-questionnaire et formation.....	42
3.3.4 Structure des tâches expérimentales et consignes communes	42
3.3.5 Condition non immersive - iPad	42

3.3.6 Condition immersive - HoloLens.....	42
3.3.7 Contrôle des biais expérimentaux.....	43
3.3.8 Entrevue post-tâche.....	44
3.4 Mesures.....	44
Chapitre 4 : Analyse et résultats.....	46
4.1 Approche d'analyse des données qualitatives	46
4.2 Codage thématique.....	46
4.3 Portrait global de l'expérience utilisateur comparative.....	47
4.4 Analyse thématique par dimension de l'expérience utilisateur	48
4.4.1 Perception spatiale et visualisation 3D.....	48
4.4.1.1 Avantage évident et unanime du HoloLens pour la compréhension spatiale	52
4.4.1.2 Différences générationnelles dans l'articulation de l'avantage spatial.....	52
4.4.2 Charge cognitive et effort mental	54
4.4.2.1 Charge cognitive réduite avec le HoloLens.....	57
4.4.2.2 Charge cognitive accrue avec l'iPad	58
4.4.2.3 Différences générationnelles dans la conscience et la tolérance à la charge cognitive	59
4.4.3 Ergonomie, confort physique et engagement sensoriel.....	60
4.4.3.1 Inconfort physique du HoloLens : une préoccupation générationnelle	63
4.4.3.2 Limitations du champ de vision : une frustration partagée.....	64
4.4.3.3 Qualité visuelle et réalisme : un écart avec les attentes.....	65
4.4.3.4 L'iPad comme référence de confort optimal.....	65
4.4.4 Confiance, crédibilité et aide à la décision	66
4.4.4.1 Une dimension invisible pour les jeunes, centrale pour les âgés	70
4.4.4.2 Le HoloLens comme amplificateur de confiance pour les participants âgés.....	70
4.4.4.3 L'iPad comme déclencheur d'insécurité pour les participants âgés	71
4.4.4.4 Confiance et aide à la décision : l'évidence perceptuelle	73
4.4.5 Facilité d'utilisation et courbe d'apprentissage.....	74
4.4.5.1 Familiarité universelle avec l'iPad : une technologie naturalisée	77
4.4.5.2 Le HoloLens : une découverte bien accueillie	77
4.4.5.3 Appréhension initiale et résolution rapide chez les participants âgés	78
4.4.5.4 Intuitivité spatiale : un facteur d'adoption rapide	79
4.4.5.5 Remise en question des stéréotypes sur le vieillissement et la technologie	79

4.4.6 Acceptation et intention d'usage futur.....	80
4.4.6.1 Rejet convergent de l'usage quotidien : motivations différenciées.....	83
4.4.6.2 Projections d'usage : professionnel institutionnel versus personnel ponctuel...	84
4.4.6.3 Permanence de l'iPad comme technologie de référence	85
4.4.6.4 Implications pour la compréhension de l'adoption technologique.....	86
4.5 Synthèse des résultats majeurs	86
Chapitre 5 : Discussion et conclusion.....	89
5.1 Discussion des résultats principaux	89
5.1.1 Charge cognitive et effort mental	90
5.1.2 Ergonomie et confort physique.....	91
5.1.3 Confiance dans l'évaluation.....	92
5.1.4 Synthèse intégrative des résultats	93
5.2 Contributions de la recherche.....	93
5.2.1 Contributions théoriques	93
5.2.2 Contributions pratiques	95
5.3 Les limitations de l'étude	95
5.4 Recherches futures.....	96
5.5 Conclusion.....	97
Annexes	103
Annexe A - Liste des énoncés de la tâche d'évaluation	103
Annexe B - Instructions et description de la tâche	105
Annexe C - Images mises à disposition pour la réalisation de la tâche (iPad).....	107
Annexe D - Représentation visuelle des pièces et des éléments observables (HoloLens) .	109
Annexe E - Guide d'entretien	111
Annexe F - Schéma de codage utilisé pour l'analyse qualitative.....	112

Liste des tableaux et des figures

Les figures :

Figure 1 - Procédure expérimentale.....	40
Figure 2 - Plan du laboratoire.....	41

Les tableaux :

Tableau 1 - Analyse de l'expérience utilisateur des technologies immersives.....	13
Tableau 2 - Analyse de l'expérience utilisateur des technologies non immersives	20
Tableau 3 - Tableau des sessions	43
Tableau 4 - Perception spatiale et visualisation 3D selon la technologie et l'âge	49
Tableau 5 - Charge cognitive et effort mental selon la technologie et l'âge	55
Tableau 6 - Ergonomie et confort physique selon la technologie et l'âge	61
Tableau 7 - Confiance dans l'évaluation et aide à la décision selon la technologie et l'âge.....	67
Tableau 8 - Facilité d'utilisation et courbe d'apprentissage selon la technologie et l'âge.....	75
Tableau 9 - Acceptation et intention d'usage futur selon la technologie et l'âge.....	81

Remerciements

Ce mémoire marque la fin de ma maîtrise en expérience utilisateur à HEC Montréal, un parcours de 2 ans et demi qui fait suite à mon baccalauréat en gestion complété à l'Université de Sherbrooke. Ce mémoire représente l'aboutissement de mes études, mais également le fruit d'un travail collectif rendu possible grâce au soutien de nombreuses personnes. Le moment est venu pour moi de remercier les personnes qui m'ont accompagnée dans la réalisation de ce projet.

Tout d'abord, je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance envers ma directrice de recherche, Dr. Ann-Frances Cameron. Elle m'a offert l'opportunité de mener ce projet au sein de son laboratoire et m'a guidée avec une expertise et une approche qui ont été déterminantes. Son soutien constant, ses conseils et sa confiance en mon travail m'ont permis de naviguer les défis de ce mémoire avec confiance. Je souhaite également remercier Edward Opoku-Mensah pour son aide inestimable, particulièrement lors de la mise en place de la collecte de données. Sa disponibilité et son accompagnement ont été essentiels à la réussite de ce projet. Je tiens aussi à souligner ma collaboration avec Monalisa Mahapatra en début de recherche, ce fut un réel plaisir de travailler à ses côtés.

Enfin, je tiens à exprimer ma gratitude envers ma famille, mes amis et mon amoureux. Leur soutien inconditionnel, leurs encouragements et leur confiance en mes capacités m'ont donné la force et la motivation nécessaires pour persévérer dans les moments difficiles et de mener ce projet à terme. Ils ont été mon pilier tout au long de cette aventure.

Chapitre 1 : Introduction

1.1 Mise en contexte et problématique

La réalité augmentée se définit comme une technologie qui enrichit l'environnement réel en superposant des informations virtuelles, rendant ainsi perceptibles des informations qui seraient autrement imperceptibles aux sens humains, créant ainsi une expérience immersive (Lynn et al., 2023). Faisant partie des technologies immersives, généralement définies comme des dispositifs qui brouillent les frontières entre l'environnement physique et l'espace virtuel afin de permettre une expérience d'immersion (Suh et Prophet, 2018), la réalité augmentée occupe une place stratégique et s'intègre progressivement dans plusieurs secteurs professionnels. Elle est mobilisée pour améliorer l'efficacité des opérations, accroître la précision des tâches et renforcer la sécurité des environnements de travail. Son développement s'accompagne d'applications concrètes dans des domaines variés tels que le commerce de détail, la santé, la fabrication industrielle et la formation professionnelle (Market Research Future, 2024). Par exemple, dans le secteur manufacturier, les systèmes de guidage permettent de visualiser les étapes d'assemblage directement sur les pièces, ce qui réduit les erreurs (Kim et al., 2020). Dans le secteur de la santé, la réalité augmentée est utilisée dans le cadre de chirurgies assistées et la réadaptation (Margrett et al., 2022), tandis que dans la formation, elle favorise l'apprentissage immersif et la simulation (Büttner et al., 2020). Cette technologie est largement adoptée dans divers secteurs grâce à des dispositifs variés tels que des lunettes intelligentes, des téléphones intelligents et les tablettes. Parmi ces dispositifs, les lunettes intelligentes, notamment les HoloLens de Microsoft, méritent une attention particulière en raison de leurs caractéristiques techniques et leurs usages professionnels (Rossi et al., 2021 ; Ogunseiju et al., 2022). Cet appareil superpose des repères visuels et des instructions au champ de vision de l'utilisateur, lui permettant d'interagir avec des informations numériques tout en gardant les mains libres pour effectuer des tâches physiques (Kim et al., 2020).

L'adoption de la réalité augmentée dans les environnements professionnels prend une importance stratégique dans le contexte de transformation numérique. Le marché mondial des technologies immersives devrait atteindre plus de 144 milliards de dollars d'ici 2032, avec une croissance de 23 % (Market Research Future, 2024). Le nombre d'utilisateurs de réalité augmentée et virtuelle pourrait atteindre 3,7 milliards d'ici 2029, soit un taux de pénétration de 56 % comparé à 54 % prévu en 2025 (Statista, 2024). La réalité augmentée montre un potentiel particulier pour les tâches en contexte 3D, notamment la manipulation d'objets tridimensionnels, la visualisation spatiale et l'évaluation de structures complexes. Au-delà de ces applications techniques, elle transforme la collaboration numérique à distance. L'assistance à distance par réalité augmentée minimise les coûts de déplacement et les temps d'arrêt en permettant le dépannage et la collaboration à distance, réduisant ainsi le besoin d'intervention d'experts sur site (PTC, 2025). Les travailleurs peuvent désormais collaborer avec des spécialistes situés n'importe où dans le monde, brisant ainsi les barrières géographiques. Cette collaboration à distance s'avère plus efficace, car elle facilite le partage d'informations contextuelles en temps réel, directement dans l'environnement de travail de l'utilisateur. Les experts peuvent guider les employés sur le terrain en visualisant exactement ce qu'ils voient et en superposant des instructions précises dans leur champ de vision, permettant ainsi une résolution de problèmes 50 % plus rapide (CGS, 2020). Dans le secteur manufacturier, la réalité augmentée se présente comme une solution concrète pour pallier la pénurie de main-d'œuvre et accélérer la montée en compétences des employés. Face à l'augmentation des coûts de main-d'œuvre, au ralentissement de l'adoption technologique et à la baisse des investissements en innovation, elle permet de former rapidement les travailleurs via des instructions visuelles et interactives en temps réel (The Guardian, 2025). Par exemple, la plateforme *Frontline* de *TeamViewer* fournit un guidage immersif directement dans le champ de vision des techniciens. *GE Aerospace* a remplacé un manuel de 600 pages par un flux de travail numérique interactif, améliorant la transmission de connaissances et permettant une amélioration notable de la productivité (The Guardian, 2025). Au-delà de l'efficacité opérationnelle, la réalité augmentée contribue à la compétitivité des entreprises en facilitant l'intégration et la formation continue.

Ces technologies sont désormais utilisées par des employés évoluant dans une main-d'œuvre de plus en plus diversifiée, notamment en termes d'âge. L'âge représente un facteur critique dans les milieux de travail actuels. En effet, la population active des travailleurs âgés continue d'augmenter,

notamment en raison d'une meilleure santé et d'une longévité accrue. Aux États-Unis, les travailleurs âgés de 55 ans ou plus représentaient près d'un quart de la main-d'œuvre en 2024 (US BLS, 2025). Ces tendances soulèvent des questions d'accessibilité numérique. Les travailleurs vieillissants sont souvent négligés dans les stratégies de diversité, d'équité et d'inclusion. Ils rencontrent des obstacles techniques, car peu de technologies sont conçues selon leurs besoins. Comparés à leurs collègues plus jeunes, ils éprouvent des difficultés à s'adapter aux nouveaux outils numériques. Les stéréotypes liés à l'âge peuvent aussi dissuader les employeurs d'investir dans leur formation (Tams et Dulipovici, 2022). Cependant, la réalité augmentée pourrait justement faciliter le travail de ces employés en leur offrant un support visuel et contextuel adapté.

L'utilisation de la réalité augmentée pour les tâches en contexte 3D présente des bénéfices et des défis, particulièrement pour les travailleurs âgés. Elle offre de nouvelles façons de percevoir, de travailler et d'apprendre. Elle améliore les résultats d'apprentissage en stimulant l'engagement cognitif et émotionnel (Bacca et al., 2014). Elle favorise l'apprentissage actif, l'autonomie et la collaboration, tout en s'adaptant aux différents styles d'apprentissage via des contenus visuels, auditifs ou kinesthésiques (Bacca et al., 2014). Toutefois, son adoption soulève des questions d'ergonomie, de charge cognitive et d'acceptabilité (Alessa et al., 2023 ; Derby et Chaparro, 2020 ; Mengoni et al., 2015 ; Kortekamp et al., 2019). Cette technologie exige des compétences spécifiques, dont la maîtrise des interfaces immersives, la gestion de l'information en temps réel et l'esprit critique face aux contenus projetés (Bacca et al., 2014). Les tâches en contexte 3D mobilisent fortement les capacités de visualisation spatiale, soit l'aptitude cognitive à se représenter mentalement des objets, à les manipuler et à comprendre leurs relations dans un espace mental tridimensionnel (Medina Herrera et al., 2024). Ces exigences visuo-cognitives peuvent représenter un défi supplémentaire pour les travailleurs âgés ayant des difficultés de traitement visuo-cognitif. Il est également important de souligner que les capacités motrices, les limitations physiques, la vue et l'ouïe des travailleurs âgés sont des facteurs importants à considérer lors de l'adoption de la réalité augmentée.

La recherche qualitative ne permet pas d'adresser adéquatement cette problématique. Bien que la réalité augmentée ait un potentiel transformateur reconnu (Carmigniani et al., 2011), ses effets sur l'expérience utilisateur des travailleurs âgés restent complexes et peu documentés (Kortekamp et

al., 2019). Certaines recherches récentes ont exploré différents aspects. Des études ont examiné l'expérience utilisateur des adultes âgés avec la réalité augmentée, identifiant des défis d'utilisabilité et d'ergonomie. D'autres ont évalué la performance et l'expérience utilisateur pour différents groupes d'âge en contexte industriel, mesurant le temps d'exécution, les erreurs et la charge cognitive. L'utilisation pour des tâches d'inspection et d'évaluation en construction a été analysée en termes d'efficacité, de charge de travail et de conscience situationnelle. Des travaux ont aussi porté sur les tâches d'assemblage 3D et la gestion de tâches spatiales, montrant une réduction de la charge cognitive. Des revues systématiques ont examiné l'évaluation de systèmes de réalité augmentée, incluant le design d'interaction et la manipulation d'objets 3D. Malgré ces avancées, les études quantitatives privilégient des indicateurs objectifs comme le temps d'exécution ou les taux d'erreurs (Alessa et al., 2023), négligeant les dimensions subjectives et expérientielles essentielles pour une adoption durable. La satisfaction des utilisateurs et l'acceptation de la technologie sont souvent mises de côté. Ce qui manque, c'est une exploration qualitative des perceptions des utilisateurs concernant la réalité augmentée comparée aux technologies non immersives pour des tâches d'évaluation en contexte 3D, et ce, pour différents groupes d'âge. La compréhension des besoins, des attentes et des défis des travailleurs âgés reste insuffisante. Les recherches actuelles ne saisissent pas bien les barrières cognitives et perceptuelles liées à l'âge (Park et Festini, 2017), l'influence des préférences individuelles en matière d'apprentissage et d'interaction, ni l'impact des facteurs sociaux et organisationnels sur l'acceptation. Une approche qualitative centrée sur les besoins des utilisateurs est nécessaire pour comprendre comment concevoir et mettre en œuvre la réalité augmentée de manière à répondre aux besoins des différents groupes d'âge, tout en maximisant leur productivité, leur satisfaction et leur bien-être.

1.2 Question de recherche et objectifs

Afin de combler les lacunes identifiées dans la littérature concernant l'expérience utilisateur des technologies de réalité augmentée, cette recherche vise à comprendre en quoi l'utilisation de la réalité augmentée, comparativement aux interfaces non immersives, influence l'expérience des utilisateurs lors de tâches d'évaluation en contexte 3D, et comment cet impact varie chez les travailleurs âgés. Plus précisément, elle explorera les perceptions des utilisateurs, identifiera les avantages et défis de ces interfaces et formulera des recommandations pour des designs inclusifs qui soutiennent le vieillissement actif. Par conséquent, ce mémoire s'articule autour de la question de recherche suivante : ***Comment l'utilisation de la réalité augmentée, comparativement aux technologies non immersives, influence-t-elle l'expérience utilisateur dans le cadre des tâches d'évaluation en contexte 3D, et en quoi cet impact diffère-t-il entre les travailleurs âgés et les travailleurs plus jeunes ?***

1.3 Contributions de la recherche

En s'appuyant sur les limites et les opportunités relevées dans la littérature, cette recherche vise à apporter des contributions significatives tant sur le plan théorique que pratique. Elle cherche à approfondir la compréhension d'un phénomène encore peu exploré et à proposer des pistes concrètes afin d'améliorer les pratiques actuelles.

Au niveau théorique, cette étude enrichira la compréhension des facteurs qui influencent l'expérience utilisateur des technologies de la réalité augmentée comparativement aux technologies non immersives lors de tâches d'évaluation en contexte 3D, un aspect souvent négligé dans les études quantitatives (Alessa et al., 2023). En identifiant les dimensions clés qui déterminent l'expérience utilisateur, l'adoption et la satisfaction, telles que l'intuitivité, la charge cognitive, la pertinence du contenu et les aspects émotionnels, l'étude permettra d'affiner les modèles théoriques existants et de mieux cerner les spécificités liées à l'âge entre les travailleurs âgés et les travailleurs plus jeunes (Peleg-Adler et al., 2018). De plus, cette recherche apportera une perspective novatrice en intégrant une analyse comparative entre les interfaces de réalité augmentée et des technologies non immersives pour des tâches spécifiques en contexte 3D, ce qui permettra d'identifier les forces et les faiblesses relatives de chaque approche selon les groupes d'âge. Elle permettra également d'examiner des dimensions encore peu intégrées dans les modèles

d'acceptation technologique, notamment les aspects liés à la confiance et à l'identité professionnelle chez les travailleurs âgés.

En ce qui concerne les contributions pratiques, l'objectif est de fournir des recommandations concrètes et applicables pour la conception d'interfaces de réalité augmentée plus inclusives et adaptées aux besoins spécifiques des différents groupes d'âge dans le contexte de tâches d'évaluation 3D. Ces recommandations, basées sur une analyse rigoureuse des données qualitatives comparant l'expérience utilisateur entre les deux types de technologies et entre les travailleurs âgés et plus jeunes, viseront à améliorer l'efficacité, le bien-être et l'inclusion numérique en tenant compte des spécificités des tâches en contexte 3D et des environnements de travail. L'identification de principes de conception adaptés permettra aux concepteurs et aux organisations de développer des solutions technologiques qui répondent véritablement aux besoins des différents profils de travailleurs, notamment en abordant les défis posés par le vieillissement de la main-d'œuvre dans les différents secteurs. Ces recommandations incluront également des pistes pour renforcer la confiance des travailleurs âgés, améliorer l'ergonomie des dispositifs immersifs et soutenir un accompagnement organisationnel sensible aux enjeux identitaires.

Au-delà des implications immédiates pour la conception, cette recherche contribuera à la promotion de l'inclusion numérique des travailleurs vieillissants en offrant des perspectives nouvelles sur les opportunités et les défis liés à l'adoption de la réalité augmentée dans divers contextes professionnels. En identifiant des moyens concrets pour atténuer les barrières à l'adoption (Margrett et al., 2022) et améliorer l'accessibilité et la convivialité de ces technologies, cette étude favorisera la participation active des travailleurs âgés et leur autonomie dans des environnements de travail de plus en plus numérisés. Ces contributions auront ainsi un impact positif sur leur qualité de vie au travail et sur leur capacité à demeurer des acteurs productifs et valorisés au sein de leurs organisations.

1.4 Structure du mémoire

Ce mémoire sera structuré en cinq chapitres, permettant d'organiser l'étude de manière cohérente et de fonder l'analyse sur des références théoriques solides et des méthodologies éprouvées. Le premier chapitre a posé les bases en introduisant le contexte, la question de recherche et les

objectifs poursuivis. Le deuxième chapitre sera consacré à une revue de la littérature actuelle, qui offrira une vision globale des thématiques centrales liées à cette recherche, notamment les technologies immersives, l'expérience utilisateur et les spécificités des travailleurs vieillissants, permettant ainsi d'établir les fondations de cette étude. Le troisième chapitre décrira en détail la méthodologie de recherche adoptée, incluant les méthodes de collecte et d'analyse des données qualitatives. Le quatrième chapitre présentera les résultats d'analyse, en mettant en lumière les thèmes clés, les perceptions et les tendances qui émergent des entrevues avec les participants. Enfin, le cinquième chapitre conclura ce mémoire en offrant une synthèse des principaux résultats, en soulignant les contributions théoriques, pratiques et sociales de cette recherche, et en discutant de ses limites et des perspectives pour de futures études.¹

¹ Je déclare avoir utilisé Claude.ai (chat.chatbotapp.ai) entre mai 2025 et février 2026 exclusivement comme outil d'assistance linguistique, afin de corriger la grammaire et d'améliorer la clarté de la rédaction lors de l'élaboration de ce mémoire. Les propositions générées ont fait l'objet d'une relecture critique et ont été retenues ou adaptées de manière sélective, dans le respect de mon style d'écriture académique et de mes intentions intellectuelles.

Chapitre 2 : Revue littéraire

Ce chapitre a pour but d'analyser la littérature scientifique existante afin d'en extraire les principales conclusions concernant l'expérience utilisateur des interfaces de réalité augmentée dans le cadre des tâches d'évaluation en contexte 3D. La comparaison portera notamment sur les technologies non immersives traditionnelles et les technologies immersives, telles que la réalité augmentée, en s'attardant plus particulièrement sur leurs effets différenciés selon le groupe d'âge des utilisateurs. Une analyse approfondie a été menée, englobant des recherches issues des domaines de l'ergonomie, de la psychologie cognitive, de l'informatique, des sciences de l'éducation et des études sur le vieillissement. Ce chapitre présente les conclusions et les lacunes identifiées dans la littérature actuelle, qui serviront à orienter l'élaboration de la méthodologie de recherche, à guider la formulation de la question de recherche et à préciser l'interprétation des données collectées lors de la recherche qualitative.

La question centrale de ce mémoire est d'évaluer l'influence de la réalité augmentée, par rapport aux technologies non immersives, sur l'expérience utilisateur dans le contexte spécifique des tâches d'évaluation en 3D. Ce mémoire explorera si cet impact varie significativement entre les travailleurs âgés et les travailleurs plus jeunes.

Cette revue de littérature s'articulera autour de trois axes principaux. Elle débutera par la définition de l'expérience utilisateur et l'explication de son importance. Ensuite, elle examinera la recherche actuelle sur la réalité augmentée et les interfaces non immersives, en présentant une analyse comparative de leurs impacts sur l'expérience utilisateur, notamment dans le contexte des tâches d'évaluation en 3D. Enfin, elle abordera les différences intergénérationnelles dans l'utilisation des interfaces et les défis spécifiques rencontrés par les travailleurs âgés, avant de conclure par une synthèse des lacunes identifiées dans la littérature et la justification de la présente recherche.

2.1 Stratégie de recherche

Une exploration initiale de la littérature actuelle a été réalisée à l'aide de plateformes telles que *Google Scholar*, dans le but d'identifier les thèmes et les concepts pertinents. Cette démarche a permis de définir les mots-clés et concepts suivants : réalité augmentée, réalité mixte, réalité virtuelle, expérience utilisateur, main-d'œuvre vieillissante, assistance à la tâche, environnement 3D, charge cognitive, utilisabilité, accessibilité, interaction homme-machine, interfaces immersives, technologies d'assistance. Ces termes ont été combinés de manière stratégique pour rechercher des articles dans diverses bases de données, notamment *Web of Science*, *EBSCO* et *Gartner*.

De plus, plusieurs autres articles et documents scientifiques ont été identifiés grâce à une recherche rétrospective (Webster et Watson, 2002), consistant à consulter les références citées dans des publications jugées importantes pour cette étude. Cette analyse des références bibliographiques des études clés a permis de situer ce travail dans le contexte plus large de la littérature existante. Parallèlement, une recherche prospective (Webster et Watson, 2002), fondée sur l'identification des études qui citent ces travaux clés, a permis de repérer les recherches les plus récentes s'appuyant sur les mêmes fondations théoriques de ce domaine.

2.2 Définition de l'expérience utilisateur et son importance

L'expérience utilisateur est un concept central et multidimensionnel dans le domaine de l'interaction humain-ordinateur. L'Organisation des Standards Internationaux définit officiellement l'expérience utilisateur dans sa norme ISO 9241-210:2019. Selon cette norme, l'expérience utilisateur est le cumul des perceptions et réactions d'un utilisateur qui résultent de l'utilisation effective et/ou anticipée d'un système, d'un produit ou d'un service. Cette vaste définition englobe les émotions, les convictions, les préférences, les perceptions, les réactions physiques et psychologiques, ainsi que les comportements et les réalisations de l'utilisateur, et ce, avant, pendant et après l'utilisation.

Cette approche met l'accent sur la qualité globale de l'interaction, cherchant à garantir que le système soit agréable, intuitif et qu'il réponde aux besoins de l'utilisateur. L'expérience utilisateur s'appuie sur plusieurs éléments liés au système interactif lui-même, incluant son image de marque,

sa présentation, ses fonctionnalités, ses performances et son comportement interactif et ses capacités d'assistance. Elle est également influencée par l'état interne et physique de l'utilisateur, comme ses expériences passées, ses attitudes, ses compétences et sa personnalité, ainsi que par le contexte spécifique d'utilisation. Des dimensions clés telles que l'utilité, l'efficacité, la désirabilité et l'accessibilité du système contribuent directement à cette expérience vécue. La norme ISO précise d'ailleurs que l'utilisabilité, lorsqu'elle est interprétée selon les objectifs personnels des utilisateurs, peut comprendre les aspects perceptifs et émotionnels typiquement associés à l'expérience utilisateur, ce qui positionne les critères d'utilisabilité comme des outils pertinents pour en évaluer certains aspects.

L'expérience utilisateur a un impact significatif sur l'adoption à long terme d'un système, la productivité, la fidélisation et la satisfaction des utilisateurs (Gordon, 2018). Une expérience utilisateur positive favorise l'engagement et la fidélité des utilisateurs, ce qui est particulièrement crucial dans des contextes professionnels où l'ergonomie et l'efficacité sont primordiales. Une conception centrée sur l'utilisateur peut entraîner une réduction des erreurs, une augmentation de la productivité, et une diminution du stress lié à l'utilisation de la technologie. Dans des environnements professionnels, une bonne expérience utilisateur contribue à la création d'un environnement de travail plus agréable et plus efficace, ce qui peut avoir un impact positif sur la satisfaction et la rétention des employés.

2.3 Revue de la littérature sur les technologies - Réalité augmentée vs non immersives

Cette section explore les résultats de la littérature concernant l'expérience utilisateur des technologies immersives et non immersives. Les tableaux suivants synthétisent les avantages et inconvénients majeurs de chaque approche, en soulignant leur impact sur les dimensions clés de l'expérience utilisateur dans des contextes industriels de maintenance, d'assemblage et de formation. Cette analyse comparative est fondamentale pour comprendre les fondements théoriques des différences potentielles d'expérience utilisateur que cette étude cherchera à investiguer entre les travailleurs jeunes et âgés.

2.3.1 Caractérisation des technologies

Technologie immersive : réalité augmentée

La réalité augmentée combine le monde réel avec des éléments virtuels en superposant des informations numériques directement sur l'environnement physique, offrant une expérience interactive et enrichie qui permet aux utilisateurs d'interagir avec des environnements hybrides (Carmigniani et al., 2011). Dans le contexte industriel, les technologies immersives, telles que les casques de réalité augmentée (HoloLens, lunettes intelligentes), offrent une perception sensorielle accrue, un engagement plus profond et la possibilité d'interagir avec des environnements complexes de manière intuitive grâce au guidage visuel direct (Kim et al., 2020).

Technologie non immersive : interfaces 2D traditionnelles

Les technologies non immersives incluent les interfaces 2D traditionnelles, telles que les écrans d'ordinateur, les tablettes, les téléphones intelligents, la projection spatiale et les manuels papier. Ces interfaces présentent des informations visuelles sans superposition directe avec le monde réel, nécessitant une consultation séparée de la zone de travail (Blattgerste et al., 2017 ; Yang et al., 2020). Bien que ces technologies varient en termes de sophistication, elles partagent la caractéristique commune de ne pas être portées directement sur la tête de l'utilisateur.

2.3.2 Spécificités des tâches en contexte 3D

Une tâche en contexte 3D est une activité ou un objectif que l'utilisateur cherche à accomplir au sein d'une application ou d'un environnement tridimensionnel (Bowman et al., 2005). Les tâches d'évaluation en contexte 3D impliquent une compréhension directe des volumes, des profondeurs et des relations spatiales complexes, se distinguant des représentations 2D qui exigent un effort mental considérable pour la conceptualisation et la rotation mentale des objets dans l'espace (Mohler, 2008). Cette capacité à visualiser et manipuler mentalement des objets dans l'espace tridimensionnel est cruciale pour de nombreuses tâches industrielles, mais elle peut être affectée par le vieillissement cognitif normal (Park et Festini, 2017). Ainsi, l'interprétation des informations 2D, comme celles présentées sur un plan technique, un manuel papier ou une tablette, peut devenir plus exigeante et susceptible d'erreurs pour les travailleurs âgés (Blattgerste et al., 2017 ; Peleg-Adler et al., 2018), augmentant leur charge cognitive lors de l'exécution de tâches complexes (Alessa et al., 2023).

2.3.3 Analyse comparative de l'expérience utilisateur pour les tâches d'évaluation 3D

Afin de faciliter l'analyse comparative et mettre en lumière les connaissances établies dans la littérature, les tableaux 1 et 2 détaillent les avantages et inconvénients des technologies immersives et non immersives. Cette synthèse s'appuie sur des dimensions clés de l'expérience utilisateur, incluant la performance, la charge cognitive, le confort, l'acceptation et l'accessibilité, dans des contextes de maintenance, d'assemblage et de formation industrielle, avec une attention particulière aux différences liées à l'âge des utilisateurs.

Tableau 1 - Analyse de l'expérience utilisateur des technologies immersives

Dimensions de l'expérience utilisateur	Avantages des technologies immersives	Impact des avantages	Inconvénients des technologies immersives	Impact des inconvénients
Performance et efficacité	Les casques de réalité augmentée réduisent significativement les erreurs d'assemblage grâce au guidage visuel direct, permettant aux opérateurs de mieux localiser les pièces dans l'espace (Blattgerste et al., 2017 ; Chu et Ko, 2021 ; Mengoni et al., 2015).	Cette précision accrue se traduit par une réduction des erreurs de 80 % dans les tâches d'assemblage (Mengoni et al., 2015), un taux d'erreurs presque nul dans les applications industrielles d'Intel (Thomas, 2019), et aucune erreur enregistrée lors de l'utilisation de l'Oculus Rift pour le guidage d'assemblage (Syberfeldt et al., 2015).	Malgré la précision accrue, les dispositifs immersifs nécessitent un temps d'exécution significativement plus long que les instructions papier, varient entre 3 et 10 minutes contre seulement 1 à 1,5 minute avec l'Oculus Rift (Syberfeldt et al., 2015), et le HoloLens génère également des temps plus longs que le papier (Blattgerste et al., 2017).	Cette lenteur d'exécution entraîne une réduction de la productivité à court terme (Syberfeldt et al., 2015) et nécessite une période d'adaptation plus longue pour que les opérateurs maîtrisent la technologie, malgré l'amélioration de la précision obtenue (Blattgerste et al., 2017).
Charge cognitive	Les instructions visuelles affichées directement dans le champ de vision de l'utilisateur réduisent le besoin de mémorisation des étapes d'assemblage (Blattgerste et al., 2017) et facilitent considérablement la localisation des pièces en superposant les informations sur l'environnement réel (Chu et Ko, 2021).	Cette approche visuelle directe améliore la compréhension spatiale des tâches complexes (Chu et Ko, 2021) et réduit la demande physique perçue par les opérateurs, particulièrement lors de l'exécution de tâches d'assemblage complexes (Alessa et al., 2023).	Les mesures neurophysiologiques par EEG et les scores NASA-TLX révèlent une augmentation significative de la charge cognitive avec les instructions en réalité augmentée, particulièrement prononcée pour les tâches d'assemblage complexes (Alessa et al., 2023), avec une charge mentale mesurée comme plus élevée avec le HoloLens comparé aux	Cette charge cognitive accrue se manifeste par une fatigue mentale importante, mesurée par l'augmentation de la puissance des ondes cérébrales theta et alpha (Alessa et al., 2023), une frustration accrue chez les opérateurs (Alessa et al., 2023), et un impact négatif sur l'endurance cognitive durant les quarts de travail

			méthodes traditionnelles (Blattgerstre et al., 2017).	prolongés (Alessa et al., 2023).
Expérience sensorielle et confort	Les casques de réalité augmentée offrent une visualisation 3D naturelle et intuitive des instructions d'assemblage (Blattgerste et al., 2017), avec une superposition directe des informations numériques sur l'environnement réel qui facilite la compréhension des tâches (Kim et al., 2020).	Cette immersion visuelle crée une expérience d'apprentissage perçue comme plus engageante et immersive par les utilisateurs (Ogunseiju et al., 2022) et permet une meilleure compréhension spatiale des instructions complexes grâce à la visualisation tridimensionnelle (Blattgerste et al., 2017).	L'utilisation prolongée du HoloLens génère un inconfort physique significatif, particulièrement au niveau du cou et de la tête (Rossi et al., 2021), et le poids du HoloLens 2 est identifié comme un problème majeur par les utilisateurs (Ogunseiju et al., 2022), tandis que le <i>cybersickness</i> (nausées, vertiges) constitue une barrière importante à l'adoption (Margrett et al., 2022).	Ces désagréments se traduisent par de la fatigue physique et des maux de tête après utilisation (Ogunseiju et al., 2022), limitent considérablement la durée d'utilisation possible (Rossi et al., 2021), et peuvent mener à l'abandon de la technologie, particulièrement chez les travailleurs âgés plus sensibles à ces effets secondaires (Margrett et al., 2022).
Facilité d'utilisation et courbe d'apprentissage	L'interface à interaction mains libres des casques comme le HoloLens libère les mains des opérateurs pour qu'ils puissent se concentrer pleinement sur la tâche d'assemblage (Blattgerste et al., 2017), et les instructions visuelles affichées directement dans le champ de vision éliminent le besoin de consulter des documents	Cette approche mains libres augmente l'autonomie des opérateurs dans l'exécution de leurs tâches (Rossi et al., 2021) et réduit les interruptions nécessitant l'intervention des formateurs de 10 % dans les contextes de formation (Rossi et al., 2021).	Le champ de vision limité des casques actuels, plafonné commercialement à environ 52 degrés (Danielsson et al., 2020), restreint la quantité d'information visible simultanément, et l'interaction avec les interfaces 3D par gestes nécessite une familiarisation importante qui n'est pas intuitive pour tous les	Ces limitations techniques créent une difficulté d'adoption initiale importante (Syberfeldt et al., 2015), génèrent de la frustration chez les utilisateurs novices qui doivent apprendre de nouvelles modalités d'interaction (Danielsson et al., 2020), et constituent une barrière particulièrement importante pour les

	externes (Kim et al., 2020).		utilisateurs (Syberfeldt et al., 2015).	travailleurs âgés moins familiers avec les technologies numériques (Calzavara et al., 2020).
Précision et qualité du travail	Le guidage visuel précis étape par étape fourni par les systèmes de réalité augmentée guide les opérateurs tout au long du processus d'assemblage (Kim et al., 2020), et les retours immédiats sur les erreurs permettent de réduire considérablement les erreurs systématiques avant qu'elles ne se propagent (Büttner et al., 2020).	Cette précision du guidage se traduit par une qualité d'assemblage supérieure nécessitant moins de reprises correctives (Büttner et al., 2020) et contribue à l'amélioration de la sécurité dans les environnements industriels en réduisant les erreurs critiques (Mengoni et al., 2015).	Les déviations spatiales entre les objets réels physiques et leurs représentations virtuelles affectent négativement la coordination œil-main des opérateurs (Chu et Ko, 2021), et les occlusions d'objets réels par les éléments virtuels de la réalité augmentée augmentent paradoxalement les erreurs de positionnement (Blattgerste et al., 2017).	Ces problèmes techniques entraînent des erreurs de placement malgré le guidage visuel censé les prévenir (Blattgerste et al., 2017), nécessitent une calibration précise constante des systèmes pour maintenir l'alignement (Chu et Ko, 2021), et génèrent de la frustration chez les utilisateurs face aux incohérences visuelles entre le réel et le virtuel (Chu et Ko, 2021).
Autonomie de la batterie et contraintes techniques	La nature portable de la technologie permet aux opérateurs de se déplacer librement dans leur environnement de travail sans être contraints par des câbles (Danielsson et al., 2020).	Cette mobilité offre aux travailleurs une liberté de mouvement complète dans l'espace de travail, sans les contraintes de câblage qui limitaient les systèmes précédents (Danielsson et al., 2020).	L'autonomie limitée des batteries des casques actuels est insuffisante pour couvrir une journée complète de travail de 8 heures (Danielsson et al., 2020), et cette limitation est identifiée comme l'un des défis technologiques majeurs à résoudre (Kortekamp et al., 2019).	Cette faible autonomie impose des interruptions fréquentes pour recharger les dispositifs (Danielsson et al., 2020), rend impossible l'utilisation continue durant les quarts de travail complets (Kortekamp et al., 2019), et réduit ainsi la productivité globale des

				opérateurs qui doivent alterner entre travail et recharge (Danielsson et al., 2020).
Collaboration et support à distance	Les systèmes de réalité augmentée permettent le partage en direct de la vue du technicien avec des experts distants (Kim et al., 2020), offrent la possibilité d'annoter en temps réel le flux vidéo pour guider précisément l'opérateur (Kim et al., 2020), et réduisent significativement le besoin de déplacements coûteux des experts techniques (Kim et al., 2020).	Cette capacité de collaboration à distance améliore considérablement la communication avec les experts qui peuvent voir exactement ce que voit le technicien (Kim et al., 2020), accélère la résolution des problèmes techniques complexes (Kim et al., 2020), et génère des économies substantielles sur les frais de déplacement des techniciens spécialisés (Kim et al., 2020).	La communication verbale reste toujours nécessaire en complément des annotations visuelles pour clarifier les intentions et les instructions (Kim et al., 2020), et le système reste entièrement dépendant d'une connexion réseau stable pour fonctionner (Danielsson et al., 2020).	Ces dépendances créent des limitations importantes dans les environnements industriels sans connexion internet stable ou fiable (Danielsson et al., 2020) et rendent impossible le remplacement complet de l'interaction humaine directe, la présence physique restant parfois nécessaire (Kim et al., 2020).
Rétention et apprentissage à long terme	L'apprentissage par visualisation 3D améliore la compréhension spatiale initiale des concepts complexes, particulièrement pour les technologies de capteurs dans le génie de la construction (Ogunseiju et al., 2022).	Cette approche immersive permet une meilleure compréhension initiale des concepts spatiaux complexes difficiles à expliquer verbalement ou en 2D (Ogunseiju et al., 2022).	Les tests de rétention à une semaine ne montrent aucun avantage significatif de la réalité augmentée comparée au manuel papier ou à la formation avec un formateur humain (Büttner et al., 2020), et la formation en réalité virtuelle n'améliore pas significativement l'efficacité pour le contrôle	Ces résultats suggèrent que l'investissement important en temps et en ressources n'est pas justifié pour la formation à long terme (Büttner et al., 2020) et qu'il reste nécessaire de combiner les technologies immersives avec des méthodes traditionnelles pour optimiser

			de robots téléopérés (Grabowski et al., 2021).	l'apprentissage (Büttner et al., 2020).
Acceptation et satisfaction utilisateur	Les technologies immersives sont perçues comme innovantes et motivantes par les utilisateurs qui apprécient leur caractère futuriste (Syberfeldt et al., 2015), le plaisir d'utilisation améliore significativement l'acceptation de la technologie (Loch et al., 2016), et elles sont préférées pour leur intuitivité dans la présentation de l'information spatiale (Peleg-Adler et al., 2018).	Cet attrait technologique génère un engagement accru des utilisateurs malgré les défis techniques rencontrés (Syberfeldt et al., 2015), une volonté exprimée d'adoption quotidienne de ces systèmes dans leur travail (Syberfeldt et al., 2015), et une satisfaction augmentée chez les apprentis durant leur formation (Rossi et al., 2021).	L'exigence physique perçue est évaluée comme élevée avec l'Oculus Rift en raison de son poids et de son encombrement (Syberfeldt et al., 2015), l'interférence lumineuse avec le HoloLens 2 pose des problèmes de visibilité dans certains environnements (Ogunseiju et al., 2022), et le score SUS d'utilisabilité est inférieur au papier avec 68,83 contre 81,25 pour les instructions traditionnelles (Wang et al., 2019).	Ces problèmes d'utilisabilité créent une réticence à l'utilisation prolongée malgré l'intérêt initial (Syberfeldt et al., 2015), maintiennent une préférence pour les méthodes traditionnelles dans de nombreux contextes pratiques (Wang et al., 2019), et limitent l'adoption à grande échelle en production réelle (Danielsson et al., 2020).
Accessibilité pour travailleurs âgés	L'interface visuelle intuitive réduit la dépendance à la mémorisation des procédures complexes (Calzavara et al., 2020) et peut potentiellement compenser le déclin cognitif naturel lié au vieillissement en offrant un support visuel	Ce soutien technologique permet de prolonger la capacité des travailleurs âgés à réaliser des tâches complexes qu'ils ne pourraient plus accomplir sans assistance (Calzavara et al., 2020) et facilite ainsi leur maintien en emploi plus longtemps dans leur	Les travailleurs âgés rapportent une charge mentale et une frustration significativement plus élevée lors de l'utilisation de la réalité virtuelle pour contrôler des robots téléopérés (Grabowski et al., 2021), et leurs limitations physiques et cognitives existantes sont souvent exacerbées par les exigences	Cette difficulté d'utilisation se manifeste par une efficacité 75 % inférieur chez les travailleurs âgés comparés aux jeunes lors du contrôle de robots téléopérés en réalité virtuelle (Grabowski et al., 2021), crée un risque réel d'exclusion numérique de cette

	constant (Calzavara et al., 2020).	carrière (Calzavara et al., 2020).	de la technologie immersive (Seifert et Schlomann, 2021).	population (Seifert et Schlomann, 2021), et génère un stress technologique accru qui peut être contre-productif (Grabowski et al., 2021).
--	------------------------------------	------------------------------------	---	---

Après avoir présenté le premier tableau, qui résume l'analyse de l'expérience utilisateur des technologies immersives, il est essentiel d'explorer également l'expérience utilisateur des technologies non immersives (voir tableau 2). Cette exploration permet d'établir un contraste significatif entre les approches immersives et non immersives. Cette analyse est cruciale pour identifier des points de référence en matière de simplicité d'utilisation, d'accessibilité et de charge cognitive, qui constituent souvent les forces majeures des technologies non immersives. Comprendre ces différences entre les deux approches technologiques peut éclairer le choix des solutions à adopter en fonction des besoins spécifiques des utilisateurs, du contexte d'utilisation et des contraintes organisationnelles.

Tableau 2 - Analyse de l'expérience utilisateur des technologies non immersives

Dimensions de l'expérience utilisateur	Avantages des interfaces non immersive	Impact des avantages	Inconvénients des interfaces non immersives	Impact des inconvénients
Performance et efficacité	Les instructions papier permettent un temps d'exécution plus rapide que la réalité augmentée sur tablette, avec 5 minutes 13 secondes contre 5 minutes 24 secondes (Yang et al., 2020), et la projection spatiale s'avère la plus rapide avec 15 minutes 8 secondes comparé à 20 minutes 46 secondes pour les instructions audio seules (Aschenbrenner et al., 2018).	Cette rapidité d'exécution se traduit par une productivité immédiate supérieure avec les instructions papier traditionnelles (Yang et al., 2020), permet de maintenir une cadence de travail optimale sans période d'apprentissage (Aschenbrenner et al., 2018), et assure une efficacité opérationnelle sans nécessiter de période d'adaptation technologique (Yang et al., 2020).	Les instructions papier génèrent significativement plus d'erreurs que la réalité augmentée sur tablette, avec 1,17 erreurs en moyenne contre 0.5 (Yang et al., 2020), les instructions vidéo produisent 5,4 erreurs contre 0,5 avec la réalité augmentée HoloLens (Loch et al., 2016), et le papier génère 0,28 erreur contre 0,12 avec Google Glass (Wang et al., 2019).	Cette augmentation des erreurs compromet la qualité globale du travail avec les instructions papier (Yang et al., 2020), nécessite des reprises et corrections fréquentes qui annulent les gains de temps initiaux (Loch et al., 2016), et entraîne des coûts cachés importants liés à la gestion des erreurs systématiques (Büttner et al., 2020).
Charge cognitive	Les instructions papier imposent une charge mentale significativement plus faible que les technologies numériques, avec un score moyen de 22.09 au NASA-TLX contre environ 68 pour la réalité augmentée et la vidéo sur Google Glass (Wang et al., 2019), et la demande cognitive est	Cette charge cognitive réduite se traduit par moins de fatigue mentale ressentie par les opérateurs utilisant des instructions papier (Wang et al., 2019), permet une utilisation prolongée sur de longues périodes sans épuisement cognitif (Wang et al., 2019), et assure une meilleure	Les instructions papier imposent une demande physique et génèrent une frustration significativement plus élevée lors de l'exécution de tâches d'assemblage complexes (Alessa et al., 2023), nécessitent la mémorisation des étapes pour une consultation	Cette manipulation constante des documents entraîne une fatigue physique accrue au niveau des bras et du cou (Alessa et al., 2023), provoque des interruptions fréquentes du flux de travail qui brisent la concentration (Blattgerste et al., 2017), et crée une inefficacité particulière pour les

	mesurée comme la plus faible avec les instructions papier comparées à toutes les autres méthodes (Blattgerste et al., 2017).	endurance cognitive durant des quarts de travail complets de 8 heures (Blattgerste et al., 2017).	répétée des documents (Blattgerste et al., 2017).	tâches multi-étapes complexes nécessitant de nombreux allers-retours (Alessa et al., 2023).
Expérience sensorielle et confort	Les méthodes papier et la projection spatiale n'imposent aucun inconfort physique liée au port d'un dispositif sur la tête ou le corps (Wang et al., 2019), et leur utilisation repose sur des modalités naturelles et familières pour tous les travailleurs (Blattgerste et al., 2017).	Cette absence de contrainte physique assure un confort physique optimal durant toute la journée de travail (Wang et al., 2019), élimine complètement les risques de <i>cybersickness</i> (nausées, vertiges) (Wang et al., 2019), et permet une utilisation prolongée sans inconfort ni fatigue liée au dispositif (Blattgerste et al., 2017).	L'utilisation des instructions papier ou sur tablette nécessite une alternance visuelle constante entre les instructions et la zone de travail physique (Blattgerste et al., 2017), les tablettes sont jugées peu pratiques pour les tâches d'assemblage manuel nécessitant l'utilisation des deux mains (Blattgerste et al., 2017), et les téléphones intelligents sont considérés comme inadaptés (Blattgerste et al., 2017).	Cette alternance visuelle répétée provoque une fatigue visuelle significative due aux changements constants de distance de mise au point (Blattgerste et al., 2017), réduit l'efficacité globale de l'opérateur qui doit sans cesse détourner son attention (Wang et al., 2019), et le fait que les mains soient occupées à tenir la tablette limite considérablement la manipulation simultanée des pièces à assembler (Blattgerste et al., 2017).
Facilité d'utilisation et courbe d'apprentissage	Les instructions papier ne nécessitent absolument aucune formation préalable pour être utilisées (Blattgerste et al., 2017), reposent sur une interface familière maîtrisée universellement (Wang et al., 2019), et	Cette familiarité permet une adoption immédiate sans aucune courbe d'apprentissage ni période d'adaptation (Blattgerste et al., 2017), assure une accessibilité universelle indépendamment de l'âge ou des compétences	La projection spatiale nécessite une calibration précise et une configuration environnementale spécifique pour fonctionner correctement (Aschenbrenner et al., 2018), et les tablettes avec	Ces exigences techniques créent des contraintes spatiales et infrastructurelles importantes pour l'utilisation de la projection (Aschenbrenner et al., 2018), l'interruption

	leur simplicité d'utilisation se reflète dans le meilleur score SUS d'utilisabilité avec 81.25 contre 68.83 pour la réalité augmentée (Wang et al., 2019).	technologiques (Wang et al., 2019), et élimine toute barrière technologique pouvant exclure certains travailleurs (Blattgerste et al., 2017).	réalité augmentée requièrent une manipulation constante pour ajuster l'angle et la position de visualisation (Yang et al., 2020).	constante du flux de travail pour manipuler la tablette nuit à la fluidité du travail (Yang et al., 2020), et l'impossibilité de travailler en mode mains libres avec une tablette limite considérablement l'efficacité (Blattgerste et al., 2017).
Précision et qualité du travail	La projection spatiale offre une clarté visuelle supérieure en affichant les instructions directement sur la zone de travail (Aschenbrenner et al., 2018) et permet une intégration parfaite au poste de travail sans occlusion ni ambiguïté (Aschenbrenner et al., 2018), avec une meilleure gestion de la charge cognitive comparée aux instructions audios seules (Aschenbrenner et al., 2018).	Ce guidage visuel direct et précis sans occlusion améliore significativement la qualité de l'assemblage (Aschenbrenner et al., 2018), et réduit considérablement la quantité de dialogue verbal nécessaire pour accomplir les tâches collaboratives (Aschenbrenner et al., 2018).	Les instructions papier conduisent à des erreurs systématiques qui ne sont pas détectées ni corrigées en temps réel (Büttner et al., 2020), souffrent d'un manque critique de rétroaction immédiate sur les actions de l'opérateur (Büttner et al., 2020), et génèrent plus d'erreurs de sélection de pièces et de sauts d'étapes comparées à la réalité augmentée (Yang et al., 2020).	Ces erreurs non détectées immédiatement avec le papier se propagent dans le processus (Büttner et al., 2020), s'accumulent en erreurs systématiques difficiles à corriger a posteriori (Büttner et al., 2020), et l'absence de prévention proactive fait que les problèmes ne sont souvent découverts qu'en fin de processus (Yang et al., 2020).
Accessibilité et portabilité	Les tablettes et téléphones intelligents offrent une mobilité complète sans imposer de contraintes physiques lourdes comme	Cette portabilité assure une flexibilité de déploiement dans tous types d'environnements industriels (Yang et al.,	La projection spatiale est strictement limitée à des environnements fixes et contrôlés où l'équipement peut être installé de façon	Ces limitations rendent impossible l'utilisation nomade ou mobile de la projection spatiale (Aschenbrenner et al.,

	les casques (Yang et al., 2020), et les instructions papier sont universellement accessibles sans dépendre d'aucune infrastructure technologique (Blattgerste et al., 2017).	2020), permet une utilisation dans des environnements variés incluant les zones sans électricité (Wang et al., 2019), et élimine toute dépendance à une infrastructure technologique lourde ou coûteuse avec le papier (Blattgerste et al., 2017).	permanente (Aschenbrenner et al., 2018), et les instructions papier sont non interactives et complètement statiques, ne pouvant s'adapter dynamiquement (Büttner et al., 2020).	2018), empêchent toute adaptation dynamique aux besoins spécifiques de chaque opérateur avec le papier (Büttner et al., 2020), et imposent des limitations contextuelles importantes restreignant les cas d'usage possibles (Aschenbrenner et al., 2018).
Collaboration et communication	Les technologies papier et tablettes standards sont significativement moins coûteuses à acquérir et déployer que les casques de réalité augmentée ou virtuelle spécialisés (Danielsson et al., 2020), et permettent souvent d'utiliser l'infrastructure matérielle existante dans l'entreprise (Danielsson et al., 2020).	Cette accessibilité économique rend l'adoption abordable même pour les petites et moyennes entreprises (Danielsson et al., 2020), permet un retour sur investissement plus rapide grâce aux coûts initiaux réduits (Danielsson et al., 2020), et élimine le besoin d'investissement matériel lourd en équipement spécialisé (Danielsson et al., 2020).	La mise à jour des instructions papier est coûteuse en temps et en main-d'œuvre, nécessitant réimpression et redistribution (Büttner et al., 2020), la multiplication des documents physiques pour différentes variantes de produits crée des coûts de gestion importants (Büttner et al., 2020), et la projection spatiale nécessite un équipement dédié coûteux (projecteur, système de suivi) (Aschenbrenner et al., 2018).	Ces contraintes génèrent des coûts cachés substantiels de gestion documentaire avec le papier (Büttner et al., 2020), l'obsolescence rapide des documents imprimés nécessite des réimpressions fréquentes (Büttner et al., 2020), et l'investissement initial pour un système de projection reste substantiel malgré les bénéfices (Aschenbrenner et al., 2018).
Rétention et apprentissage	Les instructions papier et la formation individuelle avec un formateur humain	Cette efficacité permet un apprentissage à long terme efficace sans nécessiter	Le manque de retours immédiats avec les instructions papier limite	Ces erreurs non corrigées immédiatement deviennent des habitudes

	montrent une rétention des connaissances équivalentes à la réalité augmentée par projection après une semaine (Büttner et al., 2020), et la formation individuelle avec un humain demeure supérieure à court terme pour la rapidité et la qualité de l'apprentissage initial (Büttner et al., 2020).	d'investissement technologique lourd et coûteux (Büttner et al., 2020), et confirme l'efficacité des méthodes traditionnelles qui ont fait leurs preuves (Büttner et al., 2020).	la prévention des erreurs pendant la phase d'apprentissage (Büttner et al., 2020), permettant aux erreurs systématiques de se développer sans être corrigées (Büttner et al., 2020).	ancrées difficiles à modifier par la suite (Büttner et al., 2020), et la qualité de l'apprentissage initial est compromise par l'absence de rétroaction corrective (Büttner et al., 2020).
Fiabilité et dépendance technologique	Les instructions papier sont totalement fiables et fonctionnent sans aucune dépendance à l'électricité ou à une connexion réseau (Blattgerste et al., 2017), avec un fonctionnement garanti en toutes circonstances (Blattgerste et al., 2017).	Cette indépendance totale assure la continuité opérationnelle même lors de pannes électriques ou de réseau (Blattgerste et al., 2017), élimine complètement le risque d'interruption technique (Blattgerste et al., 2017), et offre une résilience maximale dans tous les environnements (Blattgerste et al., 2017).	La projection spatiale et les tablettes dépendent entièrement d'une alimentation électrique stable (Aschenbrenner et al., 2018), nécessitent parfois une connectivité Internet pour accéder aux contenus (Yang et al., 2020), et sont vulnérables aux pannes matérielles ou logicielles (Danielsson et al., 2020).	Ces dépendances créent une vulnérabilité significative aux interruptions techniques qui paralysent le travail (Aschenbrenner et al., 2018), rendent impossible la poursuite du travail lors de pannes d'électricité ou de réseau (Danielsson et al., 2020), et créent une dépendance critique à l'infrastructure technologique (Yang et al., 2020).
Accessibilité pour travailleurs âgés	Les interfaces familières comme le papier ne nécessitent aucun apprentissage technologique et	Cette familiarité maintient la confiance des utilisateurs âgés dans leur capacité à effectuer leur travail efficacement	Les travailleurs âgés éprouvent des difficultés significatives avec les interfaces complexes des tablettes de réalité	Ces difficultés font que les travailleurs âgés nécessitent une assistance fréquente pour utiliser les tablettes efficacement

	s'appuient sur des compétences universelles (Malik et al., 2015), réduisant ainsi considérablement la barrière technologique pour les travailleurs âgés (Malik et al., 2015).	(Malik et al., 2015) et minimise le stress technologique qui peut être particulièrement intense dans cette population (Malik et al., 2015).	augmentée mobile (Malik et al., 2015), la nécessité de maintenir des mains stables pour utiliser la réalité augmentée sur téléphone intelligent pose problème (Malik et al., 2015), et les indicateurs visuels sont souvent peu visibles sur les petits écrans de téléphones intelligents (Malik et al., 2015).	(Malik et al., 2015), créent un risque d'exclusion potentielle si les interfaces ne sont pas spécifiquement adaptées à leurs besoins (Malik et al., 2015), et génèrent une frustration importante face à la complexité technologique perçue (Malik et al., 2015).
--	---	---	---	---

La littérature démontre une avancée significative dans la compréhension des bénéfices potentiels de la réalité augmentée pour l'amélioration de la productivité et la réduction des erreurs, notamment dans des contextes de maintenance industrielle et de formation (Thomas, 2019 ; Kim et al., 2020 ; Mengoni et al., 2015). Elle souligne également les défis inhérents à ces technologies, tels que la charge cognitive mesurée par EEG, la fatigue physique liée au port prolongé des dispositifs, les problèmes de précision causés par les déviations spatiales entre objets réels et virtuels, ainsi que les limitations d'autonomie des batteries (Alessa et al., 2023 ; Chu et Ko, 2021 ; Danielsson et al., 2020 ; Rossi et al., 2021). En contraste, les technologies non immersives sont reconnues pour leur simplicité d'utilisation, leur familiarité universelle ne nécessitant aucune formation, et leur moindre charge physique et cognitive (Wang et al., 2019 ; Blattgerste et al., 2017 ; Yang et al., 2020), bien qu'elles génèrent davantage d'erreurs et manquent de capacités d'immersion pour la compréhension spatiale directe des environnements 3D complexes (Yang et al., 2020 ; Loch et al., 2016).

2.4 L'expérience utilisateur et les caractéristiques individuelles

Cette section examine comment les préférences, les attentes et les obstacles à l'utilisation des technologies immersives et non immersives peuvent différer selon les facteurs individuels, notamment l'âge des utilisateurs. Elle s'appuie sur les études recensées pour fournir une compréhension approfondie des éléments à considérer lors de la conception d'interfaces pour différents groupes d'utilisateurs, particulièrement les travailleurs jeunes et âgés.

2.4.1 Différences intergénérationnelles dans les préférences d'interfaces

Les préférences en matière d'interfaces technologiques varient considérablement selon l'âge et l'expérience numérique des utilisateurs. Les jeunes utilisateurs, souvent des natifs numériques ayant grandi avec les technologies interactives, préfèrent généralement les interfaces dynamiques, les interactions rapides et les fonctionnalités riches (Liu et al., 2020). Ils sont généralement plus à l'aise avec les technologies complexes et apprécient les interfaces riches en fonctionnalités. Leur expérience numérique étendue les rend plus adaptables aux nouvelles technologies, mais ils peuvent être moins tolérants envers les interfaces jugées mal conçues ou peu intuitives. Cependant, comme le démontrent les études comparatives, même les jeunes utilisateurs peuvent préférer des méthodes traditionnelles lorsque celles-ci offrent une meilleure utilisabilité perçue (Wang et al., 2019).

À l'inverse, les utilisateurs âgés privilégient des interfaces simples, familières et faciles à utiliser (Peleg-Adler et al., 2018 ; Malik et al., 2015). Ils préfèrent les interfaces claires, avec des instructions explicites, une navigation intuitive et des retours sensoriels adaptés à leurs besoins perceptuels (Liu et al., 2020). Pour cette population, la simplicité et la facilité d'utilisation sont des facteurs déterminants pour réduire la frustration, minimiser la charge cognitive et favoriser l'adoption technologique (Wang et al., 2019 ; Blattgerste et al., 2017). Les interfaces familières comme le papier ou les écrans traditionnels maintiennent leur confiance et réduisent le stress technologique (Malik et al., 2015), bien qu'elles puissent limiter les bénéfices potentiels des technologies plus avancées.

2.4.2 Obstacles spécifiques aux travailleurs âgés dans l'utilisation de la réalité augmentée

L'utilisation des technologies immersives par les travailleurs âgés peut être entravée par des obstacles liés à leurs caractéristiques physiques, cognitives et sensorielles. Les personnes âgées peuvent rencontrer des limitations physiques telles que la fatigue liée au port prolongé de casques (Rossi et al., 2021 ; Ogunseiju et al., 2022), des problèmes de vision affectant la perception des éléments virtuels (Spandonidis et al., 2023), ainsi que des limitations impactant le traitement des informations complexes superposées (Kortekamp et al., 2019 ; Margrett et al., 2022). Ces limitations peuvent rendre difficile l'utilisation des technologies immersives, en particulier si les interfaces ne sont pas spécifiquement adaptées à leurs besoins.

Les interfaces de réalité augmentée complexes, les commandes gestuelles non intuitives et les exigences physiques liées au port de casques peuvent constituer des barrières majeures à l'adoption (Danielsson et al., 2020 ; Calzavara et al., 2020). La charge mentale significativement plus élevée mesurée chez les travailleurs âgés lors de l'utilisation de technologies immersives (Grabowski et al., 2021) et l'augmentation de la frustration rapportée (Alessa et al., 2023) soulignent l'importance d'une conception adaptée. De plus, les travailleurs âgés sont souvent plus sensibles à l'effort mental et physique requis par l'utilisation de nouvelles technologies, ce qui peut affecter leur performance globale et leur efficacité, avec des études montrant une efficacité jusqu'à 75 % inférieure avec les technologies immersives comparées aux jeunes travailleurs (Grabowski et al., 2021 ; Tams et Dulipovici, 2022).

Une conception centrée sur l'utilisateur âgé doit minimiser cet effort en simplifiant les interactions, en réduisant le poids des dispositifs, en fournissant des instructions claires et contextuelles et en offrant des options de personnalisation adaptées (Mengoni et al., 2015 ; Kim et al., 2020). La perception des retours sensoriels peut varier selon l'âge, avec les personnes âgées montrant une préférence pour les retours auditifs qui réduisent leur frustration (Liu et al., 2020), ce qui nécessite une adaptation des interfaces pour fournir des signaux multisensoriels clairs et compréhensibles.

2.4.3 Opportunités et défis de la réalité augmentée pour les travailleurs âgés

Malgré ces défis importants, la réalité augmentée peut offrir une assistance précieuse pour compenser certaines limitations liées au vieillissement. En fournissant des instructions visuelles étape par étape directement dans le champ de vision, des démonstrations interactives et un accès rapide à l'information contextualisée (Derby et Chaparro, 2020 ; Kim et al., 2020), la réalité augmentée peut potentiellement réduire la dépendance à la mémorisation et faciliter l'exécution de tâches complexes (Calzavara et al., 2020). Elle peut également compenser certaines limitations physiques et cognitives en offrant une assistance à la navigation spatiale, à la reconnaissance d'objets et au guidage de précision (Spandonidis et al., 2023 ; Mengoni et al., 2015), permettant ainsi de prolonger la capacité des travailleurs âgés à effectuer leurs tâches et favorisant leur maintien en emploi (Calzavara et al., 2020).

Cependant, les défis documentés pour cette population restent substantiels et incluent le coût élevé des équipements spécialisés (Danielsson et al., 2020), la complexité d'utilisation nécessitant une courbe d'apprentissage importante (Syberfeldt et al., 2015), la fatigue physique liée au port prolongé des dispositifs (Rossi et al., 2021 ; Ogunseiju et al., 2022) et de manière contre-intuitive, une charge cognitive amplifiée malgré l'intuitivité apparente (Alessa et al., 2023). Une conception inclusive et spécifiquement adaptée aux besoins des travailleurs âgés est donc essentielle pour surmonter ces obstacles et maximiser les bénéfices potentiels (Kim et al., 2020 ; Seifert et Schlomann, 2021). Cela implique de simplifier les interfaces, de réduire le poids et l'encombrement des dispositifs, de fournir des instructions claires avec retours multisensoriels, d'offrir des options de personnalisation selon les capacités individuelles, et de minimiser la fatigue visuelle et cognitive par des sessions d'utilisation adaptées (Mengoni et al., 2015 ; Spandonidis et al., 2023).

Finalement, il est important de reconnaître que si les interfaces immersives peuvent théoriquement améliorer la motivation, l'engagement initial et la satisfaction grâce à leur caractère innovant (Syberfeldt et al., 2015 ; Rossi et al., 2021), elles peuvent également entraîner de la fatigue, de la surcharge cognitive et une réticence à l'utilisation prolongée, particulièrement chez les travailleurs âgés (Alessa et al., 2023 ; Grabowski et al., 2021 ; Segkouli et al., 2023). À l'inverse, les technologies non immersives comme les instructions papier ou la projection spatiale, bien qu'offrant moins d'innovation perçue, maintiennent une charge cognitive significativement plus faible et un confort physique optimal (Wang et al., 2019 ; Blattgerste et al., 2017), mais au prix d'un taux d'erreurs plus élevé (Yang et al., 2020 ; Loch et al., 2016). Une évaluation comparative rigoureuse de l'expérience utilisateur des interfaces immersives et non immersives, prenant explicitement en compte l'âge et les capacités individuelles des utilisateurs, est donc cruciale pour déterminer l'approche la plus adaptée selon les contextes d'utilisation et les profils d'utilisateurs.

2.5 Synthèse des lacunes de la littérature et justification de la recherche

Les sections précédentes ont permis de faire un portrait adéquat de l'état actuel de la littérature sur l'expérience utilisateur des technologies immersives et non immersives. En examinant les avantages, les inconvénients et leurs impacts sur différentes dimensions clés de l'expérience utilisateur dans des contextes de maintenance, d'assemblage et de formation, une cartographie des connaissances établies a été dressée. Cette analyse structurée, illustrée par les tableaux comparatifs, révèle toutefois des lacunes significatives qui limitent la compréhension actuelle et justifient l'orientation de la présente recherche.

2.5.1 Connaissances établies et contributions de la littérature actuelle

La littérature regroupe un ensemble d'études qui explorent les bénéfices et les défis des technologies immersives, notamment la réalité augmentée (HoloLens, lunettes intelligentes). Plusieurs travaux convergent pour démontrer que la réalité augmentée peut améliorer considérablement la performance en réduisant les erreurs, avec des réductions atteignant jusqu'à 80 % dans divers secteurs industriels (Thomas, 2019 ; Mengoni et al., 2015). Des études plus spécifiques confirment son efficacité pour la maintenance industrielle, où elle a permis de réduire les temps d'inspection de 96 % dans le secteur naval (Thomas, 2019) et d'améliorer la précision faisant passer le taux d'erreurs de 5,4 avec la vidéo à 0,5 avec la réalité augmentée (Loch et al.,

2016). Ces gains sont souvent attribués à la capacité de la réalité augmentée à fournir des informations contextuelles en temps réel dans le champ de vision, à superposer des instructions visuelles claires sur les objets physiques et à faciliter l'accès à l'information sans consultation de documents externes (Kim et al., 2020).

Sur le plan de l'expérience utilisateur, la réalité augmentée est souvent perçue comme un outil stimulant et engageant, capable de renforcer la motivation initial grâce à son caractère interactif et innovant (Syberfeldt et al., 2015 ; Rossi et al., 2021). La perception spatiale et la compréhension des environnements 3D devraient théoriquement s'améliorer avec la réalité augmentée, qui permet de visualiser les données directement sur l'objet physique, ce qui pourrait faciliter l'identification de défauts et la prise de décision (Spandonidis et al., 2023 ; Kim et al., 2020).

Toutefois, cette même littérature souligne également plusieurs mises en garde et défis qui viennent nuancer ces bénéfices. La charge cognitive représente une préoccupation majeure et rigoureusement documentée. Contrairement à l'hypothèse selon laquelle la visualisation directe réduirait l'effort mental, l'intégration d'éléments virtuels et réels peut provoquer une surcharge cognitive mesurable par EEG et par les scores NASA-TLX, particulièrement pour les tâches d'assemblage complexes (Alessa et al., 2023). La fatigue physique causée par le port prolongé de casques est aussi fréquemment mentionnée, ce qui limite l'utilisation continue sur des quarts de travail complets (Danielsson et al., 2020 ; Rossi et al., 2021 ; Ogunseiju et al., 2022). De plus, des risques de *cybersickness* et des problèmes de coordination œil-main dus aux écarts entre les positions des objets réels et virtuels sont rapportés (Chu et Ko, 2021 ; Margrett et al., 2022). Les limites techniques, comme l'autonomie restreinte des batteries et le champ de vision limité, constituent des contraintes supplémentaires (Danielsson et al., 2020). Ces éléments, bien documentés, modèrent l'enthousiasme pour une adoption généralisée de la réalité augmentée sans une conception soignée et une réflexion approfondie sur les contextes d'utilisation.

En comparaison, les technologies non immersives se démarquent par leur simplicité, leur familiarité et leur accessibilité (Blattgerste et al., 2017 ; Wang et al., 2019). Elles imposent une charge cognitive et physique nettement plus faible, avec des scores NASA-TLX considérablement inférieurs puisqu'elles demandent moins d'adaptation sensorielle et n'obligent pas à porter un

dispositif encombrant sur la tête. Leur facilité d'apprentissage se reflète également dans les scores d'utilisabilité SUS plus élevés, et leur disponibilité généralisée en fait souvent le choix privilégié lorsque le souhait est d'éviter la complexité technologique (Blattgerste et al., 2017). La projection spatiale offre, par ailleurs, un compromis intéressant avec les temps d'exécution les plus rapides (Aschenbrenner et al., 2018). Néanmoins, leurs limites apparaissent clairement en matière de réduction d'erreurs, avec 1,17 erreurs en moyenne pour le papier contre 0,5 pour la réalité augmentée sur tablette (Yang et al., 2020), et en termes de prévention des erreurs systématiques en l'absence de retours immédiats (Büttner et al., 2020).

En ce qui concerne les facteurs individuels, la littérature met en évidence des préférences et des défis qui varient selon l'âge. Les jeunes utilisateurs ont tendance à préférer les interfaces dynamiques et interactives, bien qu'ils ne soient pas systématiquement plus performants avec celles-ci (Liu et al., 2020 ; Wang et al., 2019), alors que les travailleurs âgés privilégient la simplicité et la familiarité qui maintiennent leur confiance (Peleg-Adler et al., 2018 ; Malik et al., 2015). Les limitations physiques et cognitives des travailleurs âgés sont bien documentées, avec une efficacité pouvant être jusqu'à 75 % inférieure avec les technologies immersives de téléopération (Grabowski et al., 2021), une charge mentale et une frustration considérablement plus élevées (Grabowski et al., 2021 ; Alessa et al., 2023), ainsi que des problèmes de confort physique liés au poids des casques (Ogunseiju et al., 2022 ; Rossi et al., 2021). La réalité augmentée est parfois présentée comme une opportunité pour compenser certaines limites en réduisant la dépendance à la mémorisation (Calzavara et al., 2020 ; Derby et Chaparro, 2020 ; Spandonidis et al., 2023). Cependant, ces mêmes limites rendent les travailleurs âgés plus sensibles à la complexité, à la fatigue et à la charge cognitive des systèmes de réalité augmentée (Alessa et al., 2023 ; Seifert et Schlomann, 2021), ce qui soulève des interrogations quant à l'adoption de ces technologies pour cette population.

2.5.2 Lacunes identifiées dans la littérature

Malgré la richesse des informations présentées, l'analyse approfondie de la littérature, comme le démontrent les tableaux et les sections précédentes, met en évidence deux lacunes fondamentales qui limitent une compréhension approfondie de l'expérience utilisateur des technologies immersives en milieu professionnel. Ces lacunes se manifestent à deux niveaux : d'une part,

l'absence de comparaisons directes pour des tâches spécifiques d'évaluation en contexte 3D et, d'autre part, le manque d'une perspective intergénérationnelle explicite dans ces comparaisons. Ces deux lacunes créent un vide considérable dans la compréhension des conditions optimales d'utilisation de ces technologies selon les profils d'utilisateurs et les contextes de travail.

2.5.2.1 Absence de comparaison directe et systématique

La première lacune majeure réside dans le manque flagrant de recherches qui comparent directement et systématiquement les casques de réalité augmentée et les technologies non immersives pour des tâches professionnelles spécifiques d'évaluation en contexte 3D. Cette lacune est d'autant plus problématique que les tâches d'évaluation présentent des exigences cognitives et perceptuelles fondamentalement différentes des tâches d'exécution guidée qui dominent la littérature actuelle. L'assemblage et la maintenance suivent des procédures prédéfinies étape par étape, tandis que l'évaluation requiert un jugement critique, une analyse spatiale autonome et une prise de décision basée sur l'interprétation d'informations contextuelles complexes. L'absence de données empiriques sur la façon dont les deux types de technologies soutiennent des processus cognitifs distincts limite considérablement la capacité à formuler des recommandations éclairées pour les contextes professionnels d'évaluation.

Les tableaux 1 et 2, bien que détaillés, s'appuient sur des ensembles d'études distincts pour chaque technologie. Ils décrivent les impacts de la réalité augmentée d'une part, et ceux des interfaces non immersives d'autre part, mais rarement dans le cadre d'une même étude comparative contrôlée. La nécessité de présenter ces données dans deux tableaux séparés, en l'absence d'études qui comparent directement la réalité augmentée à des interfaces non immersives pour le même type de tâche avec les mêmes participants, témoigne de cette lacune méthodologique fondamentale.

La majorité des études comparatives impliquant la réalité augmentée se sont concentrées sur des tâches d'assemblage manuel (Yang et al., 2020 ; Loch et al., 2016 ; Blattgerste et al., 2017 ; Chu et Ko, 2021), de formation initiale (Büttner et al., 2020 ; Rossi et al., 2021 ; Ogunseiju et al., 2022) ou de maintenance guidée (Kim et al., 2020 ; Wang et al., 2019). Ces travaux sont essentiels et ont contribué à la compréhension des technologies, mais ils ne capturent pas la complexité et les exigences cognitives spécifiques des tâches d'évaluation. Une tâche d'évaluation en 3D implique

un jugement critique, une identification fine des défauts ou anomalies, un diagnostic ou une prise de décision basée sur l'analyse de données spatiales et contextuelles, souvent dans un environnement dynamique nécessitant une compréhension tridimensionnelle précise. Le soutien offert par la réalité augmentée pour exécuter une tâche d'assemblage étape par étape diffère de son rôle dans l'aide au jugement critique et à l'évaluation spatiale, où l'utilisateur doit analyser, comparer et décider plutôt que simplement suivre des instructions prédéfinies.

Bien que les tableaux détaillent les mécanismes par lesquels la réalité augmentée ou les interfaces non immersives pourraient théoriquement influencer l'expérience utilisateur pour des tâches impliquant une compréhension spatiale 3D, ces mécanismes sont rarement validés de manière comparative et simultanée dans un contexte d'évaluation. La littérature n'établit pas encore de façon empirique comment les avantages de réduction d'erreurs de la réalité augmentée compensent ou non les avantages de charge cognitive réduite des interfaces non immersives dans un scénario d'évaluation 3D réel. Il reste ainsi à déterminer quelle interface optimise réellement la performance et l'expérience utilisateur dans ce contexte précis d'évaluation critique plutôt que d'exécution guidée.

2.5.2.2 Le manque d'une lentille intergénérationnelle explicite dans la comparaison

La seconde lacune cruciale concerne l'absence d'une analyse intergénérationnelle explicite et comparative dans les études qui comparent directement les technologies immersives et non immersives. L'examen des tableaux révèle que les impacts décrits de la réalité augmentée et des interfaces non immersives sont majoritairement présentés de façon généralisée ou analysés séparément pour différentes populations. La littérature aborde les préférences des jeunes pour l'interactivité et les besoins des travailleurs âgés pour la simplicité (Liu et al., 2020 ; Peleg-Adler et al., 2018 ; Malik et al., 2015), et elle documente les défis spécifiques ainsi que les opportunités potentielles de la technologie pour les travailleurs âgés (Margrett et al., 2022 ; Kortekamp et al., 2019 ; Grabowski et al., 2021). Cependant, ces constats sont rarement appuyés par des comparaisons directes et simultanées de l'expérience utilisateur entre les deux groupes d'âge utilisant les deux types d'interfaces pour la même tâche professionnelle.

Les études sur la réalité augmentée sont fréquemment menées auprès d'échantillons jeunes et homogènes, généralement des étudiants universitaires âgés de 20 à 35 ans (Alessa et al., 2023 ; Blattgerste et al., 2017 ; Chu et Ko, 2021 ; Ogunseiju et al., 2022), alors que les recherches sur les populations âgées se concentrent souvent sur l'acceptation générale de la technologie, son utilisation pour la santé, les loisirs ou l'assistance à la vie quotidienne (Margrett et al., 2022 ; Spandonidis et al., 2023 ; Lefebvre, 2021), plutôt que sur une évaluation comparative de l'expérience utilisateur en milieu professionnel avec des interfaces de la réalité augmentée et non immersives pour des tâches complexes d'évaluation. Les quelques études qui incluent des travailleurs âgés en contexte professionnel se concentrent généralement sur une seule technologie à la fois (Mengoni et al., 2015 ; Grabowski et al., 2021) ou comparent des groupes d'âge sans comparer simultanément différentes technologies.

L'absence d'une lentille intergénérationnelle dans les comparaisons directes entre technologie limite la compréhension de l'amplification, de l'atténuation ou de la modification des bénéfices en termes de réduction d'erreurs et des défis en termes de charge cognitive selon l'âge de l'utilisateur. Étant donné que les capacités cognitives et physiques, les attentes, l'expérience technologique antérieure et l'historique d'exposition aux interfaces numériques diffèrent entre les générations, l'impact de ces technologies sur l'expérience utilisateur et la performance peut varier de manière significative. La compréhension de ces nuances intergénérationnelles s'avère essentielle pour concevoir des environnements de travail futurs qui soient réellement universels et inclusifs, particulièrement dans un contexte de vieillissement démographique de la population active.

À ces lacunes s'ajoute une prédominance marquée des approches quantitatives dans les études recensées. La majorité des travaux se concentrent sur des mesures objectives de performance, de charge cognitive et d'utilisabilité, mais offrent une compréhension limitée des expériences vécues, des perceptions subjectives et des nuances contextuelles qui expliquent ces mesures quantitatives. Les quelques études qualitatives existantes se concentrent principalement sur l'acceptation générale des technologies (Malik et al., 2015 ; Derby et Chaparro, 2020) ou sur la conception participative dans des contextes de soins (Lefebvre, 2021), plutôt que sur une exploration approfondie des expériences comparatives entre technologies en milieu professionnel. Cette prédominance des méthodes quantitatives, bien qu'essentielle pour établir des relations et mesurer

des effets, ne permet pas toujours de comprendre les raisons pour lesquelles certaines différences émergent, comment les utilisateurs interprètent et s'adaptent aux contraintes et affordances de chaque technologie, ni quelles sont les préoccupations ou préférences non capturées par les mesures standardisées. Une approche qualitative complémentaire permettrait ainsi de mieux comprendre les mécanismes à l'origine des différences observées entre les technologies et entre les groupes d'âge.

2.5.3 Justification de la recherche

Malgré les avancées significatives dans l'étude des technologies immersives et non immersives, la littérature présente une lacune notable en matière d'études comparatives rigoureuses sur leur impact différentiel sur l'expérience utilisateur selon l'âge. Les recherches antérieures se sont majoritairement concentrées sur l'analyse d'une technologie à la fois ou ont examiné des populations d'utilisateurs homogènes, sans réellement prendre en compte les nuances des différences intergénérationnelles. Les avantages potentiels de la réalité augmentée pour réduire les erreurs et offrir un guidage visuel contextualisé ont été mis en lumière, tout comme ses inconvénients, notamment la charge cognitive, la fatigue physique liée au port prolongé et le risque de *cybersickness*. De leur côté, les interfaces non immersives sont reconnues pour leur familiarité universelle, leur charge mentale considérablement plus faible et leur meilleure utilisabilité perçue, bien que leurs limites pour prévenir les erreurs et pour la visualisation directe d'environnements 3D complexes soient également documentées.

Cependant, aucune étude recensée n'a précisément examiné de manière intégrée et rigoureuse l'influence comparative des casques de réalité augmentée et des technologies non immersives sur la performance objective et la satisfaction subjective des utilisateurs dans le contexte spécifique de tâches d'évaluation en contexte 3D, tout en intégrant une comparaison directe et simultanée entre travailleurs âgés et travailleurs plus jeunes. Ceci représente une lacune fondamentale qui limite la capacité à formuler des recommandations fondées sur des données probantes pour l'adoption technologique en milieu industriel.

Les recherches actuelles n'ont que rarement confronté directement ces deux catégories d'interfaces dans des contextes où la précision, la compréhension spatiale et le traitement d'informations

contextuelles sont critiques. Par ailleurs, la distinction entre les groupes d'âge est devenue un facteur incontournable, compte tenu du vieillissement de la population active et des aptitudes cognitives et physiques distinctes de chaque génération face à l'interaction technologique. L'absence d'une telle investigation comparative et multigénérationnelle limite notre compréhension des compromis entre l'immersion des interfaces augmentées et la familiarité des interfaces traditionnelles. Cela freine le développement de solutions technologiques réellement inclusives et adaptées aux besoins variés des travailleurs d'aujourd'hui et de demain, laissant une lacune significative dans les connaissances nécessaires pour l'optimisation des environnements de travail futurs.

Chapitre 3 - Méthodologie

Ce chapitre présente la méthodologie utilisée dans le cadre de ce projet de recherche. Pour cette étude, le choix d'une expérience en laboratoire a été motivé par la nécessité d'exercer un contrôle rigoureux sur les conditions de collecte de données, afin d'isoler l'effet des modalités d'affichage et d'interaction sur les évaluations de design. Un environnement contrôlé permet d'unifier la luminosité, le niveau de bruit, les interruptions et les paramètres techniques qui pourraient autrement biaiser l'expérience utilisateur des participants. Le laboratoire offre également l'infrastructure nécessaire pour déployer et synchroniser des équipements spécialisés tels que le casque HoloLens, l'application Figmin XR et le système d'enregistrement Noldus Viso, ce qui garantit la réduction des biais possibles et la comparabilité entre les sessions. Enfin, le protocole inclut des phases de formation et de familiarisation avec des interfaces immersives. Ces phases nécessitent une assistance expérimentale standardisée et un espace protégé pour observer et intervenir en cas d'effets indésirables. Ces éléments combinés maximisent la validité interne de l'étude tout en préservant un réalisme suffisant pour produire des conclusions pertinentes sur l'usage des outils. La conformité à ces éléments, ainsi que l'approbation du comité d'éthique d'HEC Montréal, assurent la validité et la conformité de l'étude, qui a été menée conformément à ses recommandations.

3.1 Choix du design expérimental

Pour cette étude, un design intra-sujets a été adopté de manière que chaque participant expérimente l'ensemble des conditions étudiées, la première impliquant l'utilisation d'une technologie non immersive telle que l'iPad, et la seconde utilisant une technologie immersive, en l'occurrence, le casque HoloLens. Lors de chaque session, un seul participant prenait part à l'expérience, en réalisant successivement les tâches dans chacune des modalités.

Ce design est particulièrement pertinent dans le contexte de cette étude, dont l'objectif est d'observer précisément comment la nature immersive ou non immersive d'une technologie influence l'expérience utilisateur, tout en comparant si cette influence varie entre les groupes d'âge. En optant pour un design intra-sujets, il devient possible de contrôler la variabilité interindividuelle en comparant directement les réponses du même participant sous différentes conditions, ce qui permet d'isoler plus efficacement l'effet de la manipulation technologique. Ainsi, la fiabilité des

résultats est renforcée, surtout lorsque le nombre de participants est limité. De plus, il facilite la comparaison de l'impact de la technologie entre les différents groupes d'âge, en assurant que les variations observées soient attribuables aux conditions expérimentales plutôt qu'à des différences individuelles.

3.2 Participants

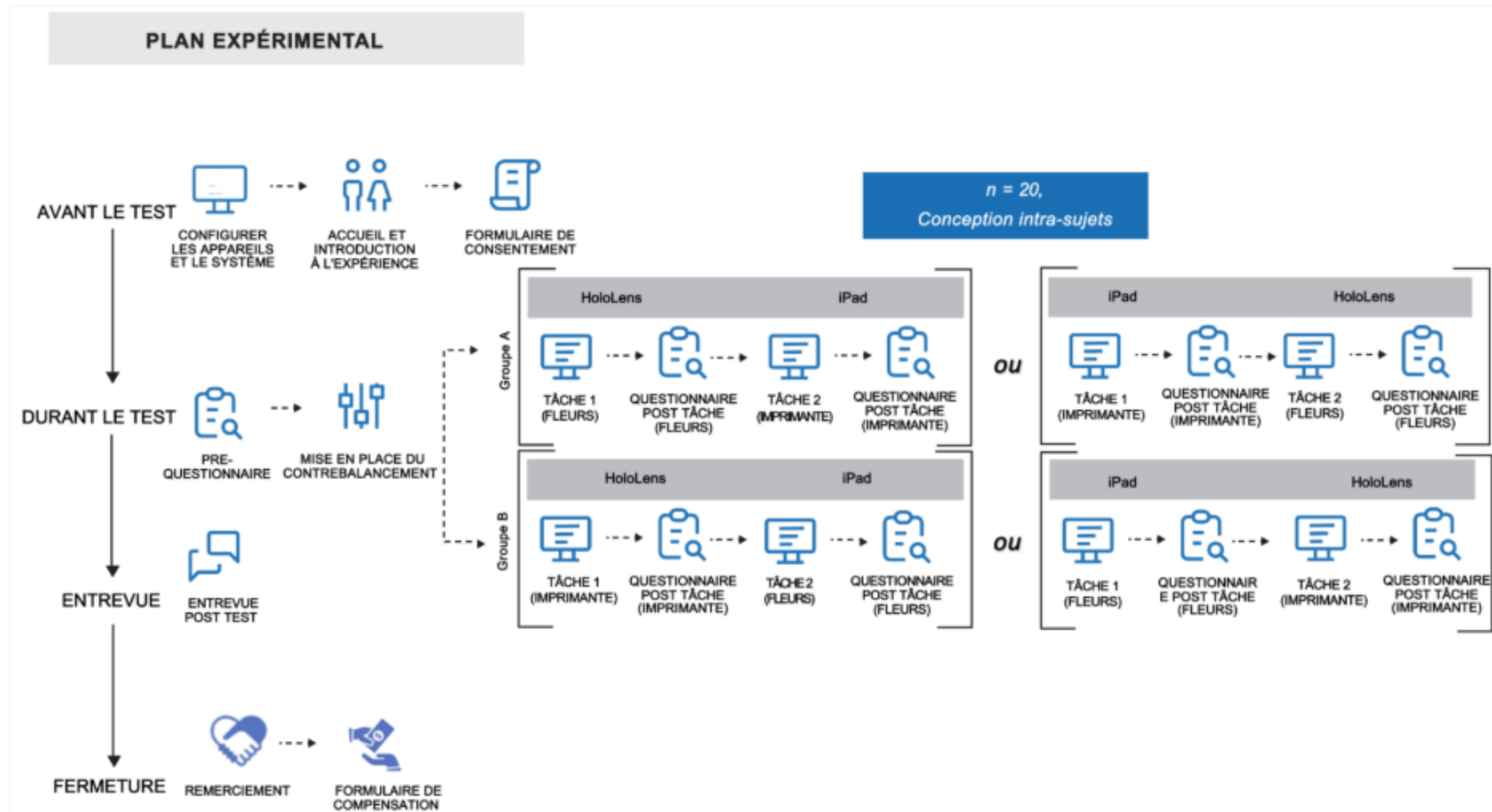
Avant de débiter la collecte de données, des pré-tests en laboratoire ont été réalisés afin d'évaluer la fiabilité et la validité du protocole expérimental. Ces pré-tests ont impliqué la participation de 3 personnes, dont deux personnes âgées de 55 ans et moins et une personne âgée de 55 ans et plus. Par la suite, le recrutement des participants âgés de 55 ans et moins a été effectué par l'intermédiaire du Panel HEC Montréal, un outil de recrutement composé d'étudiants volontaires, tandis que les participants âgés de 55 ans et plus ont été recrutés par des contacts personnels et communautaires. Pour être éligibles, les participants devaient être âgés d'au moins 18 ans et maîtriser le français à un niveau avancé, à l'oral comme à l'écrit. De plus, ils devaient ne présenter aucun problème de santé visuelle autre que la myopie, l'hypermétropie ou l'astigmatisme, ne pas être porteurs d'un dispositif médical implanté tel qu'un pacemaker, et ne pas souffrir de migraines récurrentes, de troubles de l'équilibre ou d'épilepsie. L'échantillon excluait également les femmes enceintes ainsi que toute personne ayant consommé de l'alcool ou des drogues durant les heures précédant l'expérience. Les candidats remplissant ces conditions ont reçu une compensation de 30 dollars sous forme de carte cadeau Amazon. Au total, 20 participants ont été recrutés, 11 participants âgés de 55 ans et moins et 9 participants âgés de 55 ans et plus. L'ensemble des participants a été informé des modalités de l'étude et a donné son consentement éclairé avant le début de l'expérience.

3.3 Protocole

La procédure expérimentale, illustrée dans la figure 1, suivie pour cette étude avait une durée totale d'environ 1 heure et 15 minutes. Elle avait pour objectif d'évaluer l'expérience utilisateur associée à une technologie non immersive, représentée par l'iPad, ainsi qu'à d'une technologie immersive, telle que le casque Microsoft HoloLens, dans le cadre d'une tâche d'évaluation du design d'une pièce. Chaque session était conduite individuellement, débutant par un accueil et la signature du consentement, d'une durée approximative de 15 minutes. Elle comprenait également un pré-questionnaire avec des questions contextuelles de 10 minutes, suivi d'une phase de familiarisation

aux interfaces de 5 minutes. Ensuite, chaque participant réalisait deux tâches expérimentales, chacune suivie d'un questionnaire post-tâche d'une durée totale de 30 minutes, avant de conclure avec une entrevue semi-structurée de 15 minutes. Les plages horaires étaient choisies librement par les participants lors de l'inscription, et l'assignation aux conditions expérimentales s'effectuait de façon aléatoire, afin de contrebalancer les effets liés à l'ordre des conditions.

Figure 1 - Procédure expérimentale



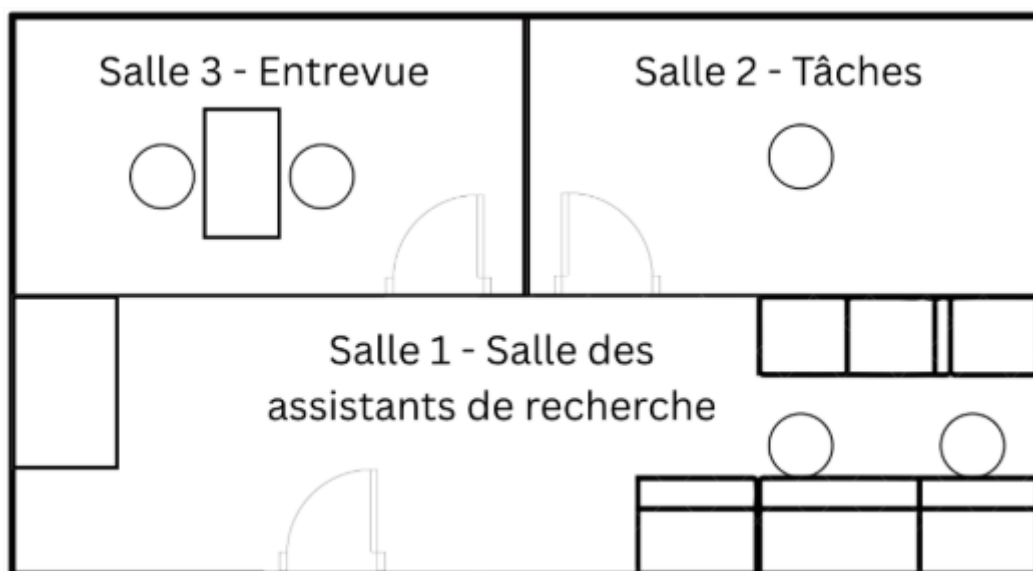
3.3.1 Accueil, information et consentement

À leur arrivée, les participants étaient accueillis par la chercheuse qui présentait le déroulement général de l'étude, la compensation prévue et les modalités d'enregistrement audio et vidéo à des fins de recherche. Les consignes principales étaient fournies à l'oral selon un script standardisé pour assurer l'homogénéité des informations distribuées. Les participants ont signé un formulaire de consentement validé par le comité d'éthique de la recherche d'HEC Montréal.

3.3.2 Configuration des salles et matériel

Les participants réalisaient les tâches individuellement dans une salle dédiée (figure 2). Une seconde salle séparée était réservée pour l'entrevue finale. Dans chaque pièce, les participants avaient accès à un iPad pour répondre aux différents questionnaires et effectuer l'une des deux tâches, et à un casque HoloLens pour réaliser l'autre tâche expérimentale. Afin de garantir une surface uniforme pour la tâche d'évaluation, les écrans de télévision, les prises électriques et la porte étaient couverts avec un drap blanc. L'exécution des questionnaires et des tâches était supervisée à distance par la chercheuse via le système Noldus Viso. Les participants pouvaient garder leurs lunettes et demander des bâtons de marche en cas de déséquilibre avec le casque HoloLens. Une fois installés, les instructions et objectifs expliqués ainsi que le formulaire de consentement signé, l'enregistrement audio et vidéo de la session était lancé jusqu'à la fin de l'entrevue semi-structurée.

Figure 2 - Plan du laboratoire



3.3.3 Pré-questionnaire et formation

Le pré-questionnaire, administré sur iPad via Qualtrics, recueillait des informations démographiques, le niveau d'expérience avec des interfaces 3D et des technologies immersives, ainsi que d'éventuelles variables contextuelles pertinentes. Une session de formation individualisée permettait d'homogénéiser le niveau de familiarité avec les interfaces. La formation durait en moyenne 5 minutes et incluait la navigation et la prise de vue des images sur l'iPad et l'identification des éléments sur le casque HoloLens. Ce temps d'apprentissage garantissait que chaque participant disposait des compétences minimales pour réaliser les tâches comparatives.

3.3.4 Structure des tâches expérimentales et consignes communes

Chaque participant accomplissait deux tâches basées sur la même série d'énoncés décrivant des éléments fonctionnels et esthétiques d'un espace de bureau (annexe A). Les instructions générales des tâches étaient affichées sur le mur (annexe B). La lecture se faisait avant le début de la tâche avec la chercheuse, mais il était également possible de s'y référer pendant la tâche. De plus, deux configurations de pièce distinctes ont été utilisées pour les tâches afin d'éviter qu'une seconde exposition facilite la détection d'indices et n'avantage le participant déjà familiarisé avec l'environnement. L'ordre des tâches était contrebalancé.

3.3.5 Condition non immersive - iPad

Pour la tâche avec l'iPad, les énoncés étaient lus par la chercheuse qui demandait au participant d'indiquer oralement ses observations et d'identifier d'éventuels problèmes de conception. Le participant avait accès aux images présentées à l'annexe C pour la réalisation de la tâche. Le participant pouvait penser à voix haute et la chercheuse répétait les énoncés si nécessaire. À la fin de la tâche, le participant complétait un questionnaire post-tâche sur l'iPad évaluant son expérience et la perception des éléments présentés.

3.3.6 Condition immersive - HoloLens

La tâche effectuée avec le casque HoloLens reprenait les mêmes énoncés mais dans un environnement présenté en réalité augmentée via Figmin XR. Après l'installation et l'ajustement du casque, le participant disposait d'un court temps d'adaptation pour repérer les objets virtuels et tester la perception spatiale. Les éléments réels à ignorer, tels que les draps blancs couvrant les murs étaient précisés par la chercheuse. Les images figurant à l'annexe D représentent les pièces et les éléments que les participants pouvaient observer durant la réalisation de la tâche. Comme

pour cette tâche-ci, les énoncés étaient lus par la chercheuse qui recueillait les réponses orales, puis le participant complétait le questionnaire post-tâche.

3.3.7 Contrôle des biais expérimentaux

Le tableau des sessions, présenté au tableau 3, avec l'indication du contrebalancement systématique, garantit que les conditions s'alternent entre les participants, évitant ainsi les biais d'ordre et d'apprentissage. La randomisation de la séquence des conditions pour chaque participant permet également de répartir uniformément les éventuels effets de séquence. Bien que des risques de fatigue et d'apprentissage lors de la tâche existent, ces effets ont été minimisés par la mise en place de pauses régulières et par la distribution aléatoire des ordres, ce qui contribue à garantir la fiabilité de l'étude.

Tableau 3 - Tableau des sessions

Type de participant	ID Session	ID Participant	Première tâche	Deuxième tâche	Date de la session	Groupe
A	Session01	P01	iPad_Imprimante	Holo_Fleur	P1_25_AVR	GROUPE A
J	Session02	P02	iPad_Imprimante	Holo_Fleur	P1_28_AVR	
A	Session03	P03	Holo_Fleur	iPad_Imprimante	P2_25_AVR	
J	Session04	P04	Holo_Fleur	iPad_Imprimante	P2_28_AVR	
A	Session05	P05	iPad_Fleur	Holo_Imprimante	P2_29_AVR	GROUPE B
J	Session06	P06	iPad_Fleur	Holo_Imprimante	P1_29_AVR	
A	Session07	P07	Holo_Imprimante	iPad_Fleur	P3_29_AVR	
J	Session08	P08	Holo_Imprimante	iPad_Fleur	P1_1_MAI	
A	Session09	P09	Holo_Fleur	iPad_Imprimante	P1_7_JUIN	GROUPE A
J	Session02	P10	Holo_Fleur	iPad_Imprimante	P2_1_MAI	
A	Session03	P11	iPad_Imprimante	Holo_Fleur	P2_7_JUIN	
J	Session04	P12	iPad_Imprimante	Holo_Fleur	P1_2_MAI	
A	Session05	P13	Holo_Imprimante	iPad_Fleur	P3_17_JUIN	GROUPE B
J	Session06	P14	Holo_Imprimante	iPad_Fleur	P2_2_MAI	
A	Session07	P15	iPad_Fleur	Holo_Imprimante	P2_17_JUIN	
J	Session08	P16	iPad_Fleur	Holo_Imprimante	P3_2_MAI	
J	Session17	P17	iPad_Imprimante	Holo_Fleur	P1_9_MAI	GROUPE A
A	Session18	P18	iPad_Fleur	Holo_Imprimante	P1_17_JUIN	GROUPE B
J	Session19	P19	Holo_Fleur	iPad_Imprimante	P2_9_MAI	GROUPE A
A	Session20	P20	Holo_Imprimante	iPad_Fleur		GROUPE B
J	Session21	P21	iPad_Fleur	Holo_Imprimante	P3_9_MAI	GROUPE B
A = Participant âgé de 55 ans et plus						
J = Participant âgé de 55 ans et moins						

3.3.8 Entrevue post-tâche

À la fin des deux tâches, le participant était invité dans une salle séparée pour une entrevue semi-structurée. L'entrevue explorait les impressions générales, les aspects positifs et négatifs de chaque technologie, les difficultés rencontrées, la facilité d'utilisation, les émotions ressenties et l'éventuelle intention d'utiliser des technologies dans un contexte similaire. La séance se terminait par la complétion du formulaire de compensation et les remerciements. Le participant était aussi informé de la nécessité de préserver la confidentialité de l'expérience afin de ne pas influencer de futurs sujets.

Ce protocole a été mis en place afin d'assurer une collecte de données rigoureuse et comparable entre conditions, de favoriser le confort et la sécurité des participants et de permettre d'obtenir des mesures quantitatives et qualitatives complémentaires pour évaluer l'efficacité et l'ergonomie des interfaces testées.

3.4 Mesures

La collecte de données de ce mémoire s'est appuyée sur deux principaux outils, soit des questionnaires et des entretiens semi-structurés. Lors de la collecte, trois questionnaires ont été administrés. Le premier questionnaire, réalisé avant la tâche et administré via l'iPad avec l'outil Qualtrics, a permis de collecter des données sociodémographiques 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 conception ou de réalité augmentée, ainsi qu'avec les casques de réalité augmentée, virtuelle ou mixte.

Les questionnaires post-tâche, remplis immédiatement après chaque tâche, ont permis de mesurer diverses dimensions liées à l'expérience utilisateur. Ces dimensions incluaient la satisfaction, le plaisir ressenti, l'utilisabilité, la charge cognitive perçue, la conscience situationnelle, la performance perçue, ainsi que l'intention de réutiliser l'outil ou la technologie. Ces perceptions ont été évaluées à l'aide d'échelles de Likert à sept points, allant de « très faible » à « très élevé ».²

²Ces informations ont été initialement recueillies dans le cadre des recherches doctorales menées par l'étudiante au doctorat Monalisa Mahapatra, sous la supervision de la professeure Ann-Frances Cameron à HEC Montréal, et ne relèvent pas du périmètre de ce mémoire de maîtrise.

Les entretiens semi-structurés, réalisés après la seconde tâche, constituaient la source principale de données qualitatives. Le guide d'entretien, présenté en annexe E, visait à recueillir des descriptions détaillées et comparatives de l'expérience utilisateur avec les deux technologies testées. Ils étaient structurés pour approfondir les mêmes dimensions que les questionnaires et fournir des descriptions riches et comparatives. Les participants ont d'abord été invités à décrire leurs premières impressions. Ils ont ensuite détaillé les aspects positifs et négatifs rencontrés, les difficultés spécifiques et l'impact de ces difficultés sur la réalisation de la tâche. Les entretiens comprenaient également une comparaison directe entre l'expérience sur l'iPad et le HoloLens, des questions sur les stratégies d'inspection employées, ainsi que des items relatifs aux pensées, aux émotions, à la convivialité perçue et à l'intention d'utilisation future. Les entretiens se terminaient par des questions ouvertes portant sur ce qu'ils avaient le plus apprécié ou trouvé frustrant avec le HoloLens et par des commentaires libres. Tous les entretiens semi-structurés ont été enregistrés en audio avec le consentement des participants, puis transcrits intégralement mot par mot pour l'analyse. Ce mémoire s'appuie principalement sur cette analyse qualitative, qui constitue la base de l'interprétation des résultats, tandis que les données quantitatives seront analysées ultérieurement par une collègue doctorante dans le cadre de la poursuite de ses travaux.

Chapitre 4 : Analyse et résultats

Ce chapitre se consacre à l'analyse des données qualitatives obtenues auprès des participants, en mettant en évidence les résultats significatifs qui émergent de cette étude sur l'expérience utilisateur des technologies immersives et non immersives. L'objectif de cette analyse est d'identifier des thématiques clés et des insights pertinents en lien avec la problématique de recherche, qui vise à comprendre en quoi l'utilisation de la réalité augmentée, comparativement aux interfaces non immersives, influence l'expérience des utilisateurs lors de tâches d'évaluation en contexte 3D. Ce chapitre explore également comment cet impact peut différer entre les travailleurs âgés et les travailleurs plus jeunes, en examinant les perceptions des utilisateurs et en identifiant les avantages et défis associés à ces interfaces. Les sections suivantes présenteront les résultats de cette analyse, offrant un portrait des dynamiques observées.

4.1 Approche d'analyse des données qualitatives

Avant de présenter les résultats, il est important de décrire le processus d'analyse des données qualitatives. Les entretiens menés auprès de 20 participants ont été minutieusement analysés, permettant d'explorer les nuances des réponses et d'identifier les tendances émergentes au sein des données. Les transcriptions ont gardé le langage naturel des participants, y compris les hésitations, les répétitions et les expressions spontanées pour préserver la richesse et l'authenticité de ce qu'ils ont vraiment vécu. Cette fidélité au verbatim s'est révélée particulièrement importante pour capturer les nuances émotionnelles et l'intensité variable des réactions face aux technologies.

4.2 Codage thématique

Les transcriptions ont été codées selon une analyse thématique qui combine des codes établis à l'avance à partir de la littérature et des thèmes qui ont émergé naturellement à la lecture des entrevues (annexe F). Les dimensions définies au départ incluaient : la perception spatiale et visualisation 3D, la charge cognitive et effort mental, l'immersion et engagement, l'ergonomie et confort physique, la confiance dans l'évaluation, la facilité d'utilisation, et l'acceptation et intention d'usage futur.

Le codage s'est fait de manière itérative, ce qui a permis d'affiner progressivement les catégories et de faire émerger des sous-thèmes qui n'étaient pas prévus au départ. Les extraits de verbatim

pertinents ont été conservés pour illustrer chaque thème, en faisant attention à capturer la diversité des expériences tout en repérant ce qui revenait régulièrement dans chaque groupe d'âge.

4.3 Portrait global de l'expérience utilisateur comparative

L'analyse des verbatims recueillis auprès des 20 participants révèle des différences concrètes dans l'expérience utilisateur entre le HoloLens et l'iPad pour des tâches d'évaluation en contexte 3D. Parmi ces 20 participants, 11 sont de jeunes adultes de 55 ans et moins et 9 sont des adultes âgés de 55 ans et plus. Les écarts observés sont particulièrement marqués selon l'âge, même si certaines tendances restent communes à l'ensemble des groupes.

Globalement, le HoloLens est perçu comme plus adapté à la compréhension de l'espace et à l'immersion. Tous âges confondus, les participants soulignent qu'il permet de « se sentir vraiment dans la pièce » et de mieux percevoir les volumes ainsi que les relations spatiales. Cette impression se traduit par une plus grande confiance dans les évaluations produites, surtout chez les participants plus âgés, qui disent se sentir « plus crédibles » et « plus sûrs » de leurs réponses avec le casque. Pour autant, cette technologie immersive présente plusieurs limites : inconfort lié au port du casque, champ de vision restreint et qualité visuelle jugée insatisfaisante. Ces points sont particulièrement critiqués par les participants âgés, pour qui ils constituent de vrais freins à l'usage.

À l'inverse, l'iPad est apprécié pour sa familiarité, sa simplicité et son confort physique. Plusieurs participants le qualifient de plus « naturel » et « agréable » pour un usage quotidien. Cependant, derrière cette apparence de facilité se cache une charge cognitive bien plus importante pour les tâches de visualisation 3D. Les participants expliquent devoir « faire un effort pour se représenter l'image en 3D », « se casser la tête pour comprendre les différentes vues » et avoir l'impression d'avoir « des bugs dans la tête » à force de tenter de reconstruire mentalement l'espace. Cette surcharge mentale est particulièrement marquée chez les plus âgés, qui rapportent davantage de difficultés et un sentiment d'insécurité avec cette technologie.

Un point central ressort de cette analyse. Les deux groupes d'âge reconnaissent l'intérêt du HoloLens pour la visualisation spatiale. Cependant, les participants âgés se montrent plus sensibles à la charge cognitive associée à l'usage de l'iPad et au confort physique lié au port du HoloLens. Leurs commentaires révèlent qu'ils sont plus conscients des efforts qu'ils doivent fournir, qu'il s'agisse d'efforts mentaux ou physiques. Ils adoptent également une attitude plus pragmatique lorsqu'ils évaluent la nécessité réelle d'intégrer ces technologies dans leur vie quotidienne. Les

jeunes participants partagent en partie ces constats. Néanmoins, ils se montrent généralement plus tolérants envers les inconvénients techniques et expriment une curiosité plus marquée pour la nouveauté que représente le HoloLens.

4.4 Analyse thématique par dimension de l'expérience utilisateur

4.4.1 Perception spatiale et visualisation 3D

La perception spatiale et la capacité à visualiser des environnements tridimensionnels constituent la dimension où la distinction entre les deux technologies est la plus nette et la plus unanimement citée par les participants. Cette dimension s'avère également centrale dans l'expérience différentielle selon l'âge, révélant des modèles distincts dans la manière dont les deux groupes abordent leurs difficultés et leurs préférences.

Tableau 4 - Perception spatiale et visualisation 3D selon la technologie et l'âge

Dimension	HoloLens - Jeunes (n=11)	HoloLens - Âgés (n=9)	iPad - Jeunes (n=11)	iPad - Âgés (n=9)
Compréhension spatiale globale	La compréhension de l'espace est décrite comme excellente, intuitive et permettant une confirmation active des perceptions : « On peut se déplacer et confirmer des perceptions qu'on voit sur papier, notamment les espaces entre chaises et bureau » (P3). « Vraiment comme spatial, j'arrivais à me rappeler où les éléments étaient » (P11). « J'avais l'impression de pouvoir m'imaginer vraiment dans l'espace, et cela change tout » (P5).	La compréhension spatiale est décrite comme excellente, avec un soulagement explicite face à la facilité de visualisation : « Comme si j'étais réellement dans la pièce, ce qui facilite la visualisation et la compréhension globale » (P6). « Plus concret, donc plus facile pour moi d'identifier les problèmes » (P19). « On voyait plus la situation, on était plus axés solutions » (P18). « On était dans un environnement réel simulé. Cela donne l'impression de vivre dans son propre espace de travail » (P1).	L'effort mental nécessaire pour construire une représentation 3D à partir de vues 2D est décrit comme significatif : « Il fallait faire un effort pour créer une image mentale en 3D à partir des différentes photos » (P4). « Plus d'efforts cognitifs pour m'imaginer les éléments de la pièce selon les perspectives » (P11). « Fallait regarder plusieurs images en même temps [...] c'était moins intuitif et naturel » (P12).	La difficulté de compréhension spatiale est marquée et génère de l'anxiété et de l'incertitude : « Fallait que je me casse la tête à comprendre les différentes vues. Je n'étais pas sûre que c'était la même image parfois » (P19). « J'avais l'impression d'avoir des bugs dans ma tête, à force de scroller et d'essayer de visualiser la scène. C'est plus compliqué » (P20). « J'avais l'impression d'avoir des bugs dans ma tête, à force de scroller et d'essayer de visualiser la scène. C'est plus compliqué » (P20).
Perception des volumes	La perception des volumes est intuitive et permet une évaluation réaliste des tailles et proportions : « On ressent mieux les tailles et l'espace, ce qui est pratique pour mieux	La perception des volumes est naturelle et ancrée dans une expérience corporelle directe : « Vue d'ensemble plus naturelle, ce qui change la façon dont on perçoit l'espace »	La perception des volumes demeure abstraite et nécessite un effort de calcul mental : « On n'arrive pas vraiment à se rendre compte de la taille d'une table dans le bureau »	La perception des volumes est très limitée et source de confusion : « On a une vue plus limitée, ça reste de la représentation, pas la vraie taille » (P6). « J'avais de la difficulté à

	comprendre la circulation et la taille des objets » (P3). « Je pouvais voir tout en 3D et cela facilitait la visualisation » (P4). « Le volume des meubles était adéquats » (P11).	(P6). « J'étais dans la pièce donc je pouvais évaluer la hauteur des choses par rapport à ma hauteur à moi » (P18). « Les meubles semblaient réels, comme si je pouvais les toucher » (P6).	(P8). « Cela nécessite un calcul d'échelle, une extrapolation mentale » (P3).	comprendre la perspective des objets » (P18).
Identification et localisation des éléments	L'identification des éléments est rapide, systématique et permet une vérification complète de l'espace : « Beaucoup plus rapide de localiser les objets dans la pièce, surtout ceux que je ne voyais pas clairement sur la tablette » (P4). « Une fois que j'avais vérifié les quatre murs, je savais qu'il ne manquait rien » (P3). « Quand j'entendais les énoncés, je savais ce que je devais chercher » (P11).	L'identification des éléments est évidente et les erreurs deviennent immédiatement remarquables : « Les erreurs me sautaient aux yeux » (P19). « Je n'avais pas l'impression que je pouvais me tromper » (P19). « Je n'ai pas à me demander où sont les objets, je dois seulement regarder pour voir » (P18). « Le bureau était à l'envers avec le casque, ce qui est évident dans la réalité augmentée, mais pas en vue de dessus avec l'iPad » (P1).	L'identification comporte un risque d'omission d'éléments qui peuvent passer inaperçus : « Certains petits éléments peuvent passer inaperçus » (P3). « Fallait regarder plusieurs images en même temps pour savoir... pour avoir le bon agencement du meuble » (P12).	L'identification est marquée par une incertitude importante quant à ce qui est réellement perçu : « J'étais moins sûre de mes réponses, étant donné que je n'étais pas sûre de ce que je voyais » (P19). « Difficile de voir tous les petits objets ou détails, car il fallait faire défiler ou zoomer » (P6). « Même pas sûre que c'était la même image » (P19).
Vérification et confirmation	La vérification est active et bénéficie de la mobilité physique dans l'espace virtuel : « Je pouvais vérifier l'espace en mouvement » (P3). «	La vérification est rassurante, méthodique et élimine les doutes : « Je pouvais me placer dans l'espace pour évaluer les objets, je pouvais voir les	La vérification est statique et fragmentée entre différentes vues : « Je restais plus dans une visualisation statique » (P5). « Il fallait faire un	La vérification est source d'insécurité et d'incertitude persistante : « Je ne voyais pas bien les détails » (P19). « Il fallait

	Je pouvais me déplacer dans l'espace » (P5). Possibilité de « faire le tour des meubles, voir et analyser les détails sur beaucoup d'angles » (P14).	détails regarder en dessous, de côté, devant, derrière » (P18). « Tu te poses moins de questions sur la perspective des objets » (P19).	effort pour créer une image mentale en 3D à partir des différentes photos » (P4).	vraiment un effort pour comprendre même si c'était simple à la base » (P18).
Confiance dans la perception	Le niveau de confiance dans la justesse de la perception est élevé et permet un sentiment de contrôle : « J'étais plus sûr de ma réponse car je pouvais vérifier l'espace en mouvement » (P3). « J'étais un peu plus en contrôle, je vois tout ce qui se passe, tu vois mieux les volumes » (P10).	Le niveau de confiance est très élevé et s'accompagne d'un impact émotionnel positif marqué : « Plus crédible dans mes réponses plus confiant » (P16). « C'était évident comme tâche et simple » (P19).	Non mentionné explicitement par les jeunes participants.	La confiance est faible et génère de l'anxiété liée aux capacités spatiales perçues : « Moins de confiance avec l'iPad » (P19). « Ça a fait remonter mes insécurités, mon manque de confiance en moi par rapport à l'orientation et la perception de l'espace » (P20). « J'étais très mélangé » (P20).

4.4.1.1 Avantage évident et unanime du HoloLens pour la compréhension spatiale

Les participants de tous âges reconnaissent unanimement la supériorité du HoloLens pour la compréhension spatiale et la visualisation 3D. Cette reconnaissance transcende les groupes générationnels et constitue le point de consensus le plus fort de toute l'étude. La technologie permet une appréhension immédiate et intuitive de l'espace qui contraste fortement avec l'effort mental considérable requis par l'iPad.

Le participant 3 affirme particulièrement bien cet avantage : « le HoloLens est plus amusant et plus immersif : on peut se déplacer et confirmer des perceptions qu'on voit sur papier, notamment les espaces entre les chaises et le bureau... Avec le casque, on ressent mieux les tailles et l'espace, ce qui est pratique pour mieux comprendre la circulation et la taille des objets ». Cette capacité à « confirmer des perceptions » suggère que le HoloLens permet non seulement de visualiser, mais également de valider activement les hypothèses spatiales en se déplaçant physiquement dans l'environnement virtuel.

La réduction de l'effort de conceptualisation mentale est soulignée par plusieurs participants. Le participant 11 mentionne que « c'était vraiment comme spatial, c'était comme une perspective, j'arrivais à me rappeler où les éléments étaient donc quand j'entendais les énoncés, je savais ce que je devais chercher ». Cette mémorisation spatiale naturelle ne se limite pas à la visualisation immédiate, mais facilite également le rappel et l'orientation lors de l'évaluation des différents aspects de l'aménagement. L'espace devient une référence stable et navigable plutôt qu'une construction mentale fragile à maintenir en mémoire de travail. Le participant 4 indique que : « avec les lunettes 3D, je pouvais voir tout en 3D et cela facilitait la visualisation ». Cette simplicité apparente de l'expérience contraste fortement avec la complexité décrite pour l'iPad, telle que discuté ultérieurement.

4.4.1.2 Différences générationnelles dans l'articulation de l'avantage spatial

Bien que l'avantage du HoloLens pour la perception spatiale soit reconnu par les deux groupes d'âge, la manière dont cet avantage est énoncé, valorisé et émotionnellement vécu diffère de manière révélatrice entre travailleurs jeunes et âgés. Chez les jeunes participants, l'expérience spatiale du HoloLens est souvent décrite en termes d'immersion ludique et de capacité exploratoire. Les commentaires mettent l'accent sur l'aspect expérientiel et l'engagement avec l'environnement virtuel. Le participant 5 évoque : « j'avais l'impression de pouvoir m'imaginer vraiment dans

l'espace, et cela change tout ». Le participant 13 souligne simplement : « ce que j'ai préféré c'est d'être réellement dans la pièce et de voir les objets ». Le participant 14 décrit : « ce qui m'a le plus intéressé et surpris, c'est que les meubles étaient très visibles une fois qu'on s'y approchait puis j'ai aimé pouvoir faire le tour des meubles, voir et analyser les détails sur beaucoup d'angles. Je sentais que je pouvais analyser chaque objet de près donc ça a été agréable de pouvoir faire ça ». Ces descriptions mettent l'accent sur le plaisir de la découverte et la liberté d'exploration, avec un vocabulaire affectif positif. L'avantage spatial est décrit comme une opportunité d'engagement enrichi plutôt que comme un soulagement d'une difficulté.

Chez les participants âgés, l'articulation de l'avantage spatial du HoloLens est systématiquement ancrée dans la facilitation de la tâche, la réduction d'effort et l'élimination de l'incertitude. Le vocabulaire utilisé révèle que l'expérience spatiale améliorée est vécue comme un soulagement plutôt que comme un enrichissement ludique. Le participant 6 explique : « le casque était plus pratique, comme si j'étais réellement dans la pièce, ce qui facilite la visualisation et la compréhension globale ». Le terme « pratique » et le focus sur la « facilitation » indiquent une évaluation utilitaire. De manière encore plus révélatrice, le participant 19 souligne de manière répétée : « avec le casque c'était plus concret, donc plus facile pour moi d'identifier les problèmes » et « tu te poses moins de questions sur la perspective des objets dans la pièce ». L'élimination du questionnement et du doute constitue clairement un bénéfice majeur pour ce participant. Le participant 18 articule l'avantage en termes de focus libéré pour la tâche d'évaluation elle-même : « tandis qu'avec le casque on voyait plus la situation, on était plus axés solutions ou comment améliorer, comment est-ce qu'on préfère différemment. Puis des fois c'est en regardant quelque chose qu'on voit quelque chose qui ne marche pas, exemple la plate est trop haute. Avec le casque on peut voir les liens entre les éléments puis apporter des réponses comparativement aux images c'est plus difficile ». Ce commentaire suggère que lorsque l'effort de visualisation spatiale est réduit, les ressources cognitives peuvent être redirigées vers l'analyse critique et l'amélioration, qui constituent le véritable objectif de la tâche d'évaluation.

Cette distinction générationnelle dans l'articulation suggère que les participants âgés sont plus conscients et plus affectés par la charge cognitive imposée par les représentations 2D, et perçoivent donc le HoloLens comme un outil de réduction de charge plutôt que comme une expérience immersive enrichie en soi. Les jeunes participants semblent aborder la technologie avec une

curiosité exploratoire, valorisant l'expérience sensorielle et la liberté de mouvement pour elles-mêmes. D'un autre côté, les participants âgés évaluent la technologie principalement à travers le prisme de son utilité pour accomplir la tâche avec moins d'effort et plus de certitude. Cette différence ne reflète pas une incapacité des participants âgés à apprécier les dimensions ludiques ou immersives de l'expérience. Elle renvoie plutôt à une hiérarchisation différente des besoins. Lorsqu'une tâche est susceptible de faire émerger des doutes quant à leurs capacités spatiales, la diminution de la charge cognitive et le renforcement du sentiment de confiance deviennent prioritaires par rapport aux aspects strictement expérientiels.

4.4.2 Charge cognitive et effort mental

La charge cognitive constitue l'une des dimensions les plus sensibles aux différences intergénérationnelles observées dans cette étude. Alors que la section précédente a abordé l'effort mental spécifiquement lié à la visualisation spatiale, cette section examine de manière plus large la charge cognitive globale et l'effort mental perçu lors de l'utilisation des deux technologies.

Tableau 5 - Charge cognitive et effort mental selon la technologie et l'âge

Dimension	HoloLens – Jeunes (n=11)	HoloLens - Âgés (n=9)	IPad – Jeunes (n=11)	IPad - Âgés (n=9)
Effort mental perçu	L'effort mental pour accomplir la tâche d'évaluation est décrit comme minimal et naturel : « Je n'ai pas besoin de faire d'efforts supplémentaires » (P3). « L'imagination était déjà là et bien stimulée » (P15). « C'était vraiment plus facile » (P11).	L'effort mental est également minimal, mais les participants expriment un avec soulagement explicite face à cette réduction : « Avec le casque je n'avais pas cet effort là à déployer donc je voulais me concentrer simplement sur les améliorations à apporter » (P18). « Je n'avais pas d'efforts à faire pour comprendre la situation » (P18). « L'adaptation n'a pas été très longue » (P2).	Les participants reconnaissent qu'un effort mental significatif est nécessaire pour se projeter dans l'espace : « Un effort d'imagination, de se projeter dans la pièce » (P15). « Plus d'efforts cognitifs pour m'imaginer les éléments de la pièce selon les perspectives » (P11).	L'effort mental est décrit comme considérable et épuisant, avec un vocabulaire émotionnellement chargé : « Fallait que je me casse la tête » (P19). « C'était plus compliqué » (P20). « Ça demande plus de charge mentale » (P6).
Nature de l'effort	L'effort se manifeste principalement par un déplacement physique dans l'espace plutôt qu'une construction mentale : « Le casque m'a demandé plus de réflexion, dans le sens où on ne voit pas la pièce directement, on est obligé de bouger » (P9).	L'effort se situe au niveau de l'attention visuelle soutenue nécessaire pour maintenir le focus sur les hologrammes : « C'est un peu lourd à porter à la longue, ça peut devenir un peu fatigant à cause de l'attention visuelle aussi » (P16).	L'effort consiste à construire mentalement une représentation 3D cohérente à partir d'informations 2D fragmentées : « Il fallait faire un calcul d'échelle, une extrapolation mentale » (P3). « Créer une image mentale en 3D » (P4).	L'effort de projection mentale est vécu comme particulièrement complexe et difficile à maintenir : « Je dois me projeter ce qui est difficile pour moi » (P20). « Ça demandait vraiment un effort pour comprendre » (P18).
Demande attentionnelle	L'attention peut être sélective et concentrée	Les participants expriment une	L'attention doit être distribuée entre la	La demande attentionnelle est décrite comme

	sur l'évaluation elle-même plutôt que sur la compréhension spatiale : « La tâche avec le casque était vraiment plus facile, vu que c'était vraiment spatial [...] quand j'entendais les énoncés, je savais ce que je devais chercher » (P11).	préoccupation concernant la fatigue visuelle liée à l'impossibilité de détourner le regard : « C'est toujours dans notre visage, on n'a pas de pause au niveau visuel comparativement à un ordinateur ou à la tablette » (P16).	navigation dans les différentes vues et la construction d'une représentation mentale unifiée : « Je pense que la capacité d'imagination et de représentation mentale est plus sollicitée sur l'iPad [...] je pense que la charge cognitive est plus importante sur l'iPad, où il faut faire l'effort d'imagination plus conséquent » (P3).	soutenue, exigeante et mentalement épuisante : « Sur l'iPad, ce qui est petit demande de faire défiler pour voir chaque côté, donc cela demande plus de charge mentale » (P6).
Ressources disponibles pour l'évaluation	Les ressources cognitives sont optimales et peuvent être entièrement consacrées à la tâche d'évaluation critique : « Je pouvais mieux élaborer avec le casque [...] j'avais l'impression que la pièce progressait » (P5).	Les ressources cognitives sont libérées de la tâche de visualisation et peuvent se concentrer sur l'amélioration : « Je voulais me concentrer simplement sur les améliorations à apporter [...] je n'avais pas d'efforts à faire pour comprendre la situation, puis là j'ai essayé de réfléchir avec les objets » (P18).	Les ressources cognitives disponibles pour l'évaluation sont réduites car une partie importante est consacrée à la construction de la visualisation : « Sur la tablette, c'était plus difficile, parce qu'il fallait faire un effort pour créer une image mentale en 3D à partir des différentes images » (P4).	Les ressources cognitives sont sérieusement compromises par l'effort de projection mentale : « Avec l'iPad, c'était plus compliqué, car il fallait comprendre les différentes vues et se projeter mentalement dans l'espace » (P19). « J'avais l'impression d'avoir des bugs dans ma tête, à force de scroller et d'essayer de visualiser » (P20).

4.4.2.1 Charge cognitive réduite avec le HoloLens

L'un des avantages les plus significatifs du HoloLens, particulièrement pour les participants âgés, réside dans la réduction de la charge cognitive nécessaire pour effectuer la tâche d'évaluation. Cette réduction ne signifie pas une absence totale d'effort, mais plutôt une redistribution des ressources cognitives. En effet, au lieu d'être mobilisées pour la construction mentale de l'espace 3D, ces ressources peuvent être consacrées à l'évaluation critique et à la génération de solutions d'amélioration. Le participant 3, qui offre tout au long de son entrevue des observations particulièrement réfléchies et introspectives, explique : « je pense qu'on fait moins d'efforts d'imagination avec le HoloLens, car il ressemble beaucoup plus à la vie réelle avec du vrai 3D. On voit les espaces, les volumes et le chemin à suivre dans l'espace, ce qui est moins le cas avec des représentations planes... Avec le casque, c'est comme si j'étais dedans, je n'ai pas besoin de faire d'efforts supplémentaires ». Cette observation fait ressortir un point essentiel, indiquant que le HoloLens externalise la création de la représentation spatiale. Au lieu de devoir construire et maintenir en mémoire de travail une représentation mentale de l'espace, l'utilisateur peut simplement percevoir directement l'espace qui est « là », présent devant lui, de manière stable et cohérente.

Le participant 18 articule bien la manière dont cette réduction de charge cognitive libère des ressources pour la tâche d'évaluation : « avec le casque je n'avais pas cet effort là à déployer donc je voulais me concentrer simplement sur les améliorations à apporter... Tandis qu'avec le casque on voyait plus la situation, on était plus axés solutions ou comment améliorer, comment est-ce qu'on préfère différemment ». Ce témoignage révèle que lorsque l'effort de visualisation spatiale est éliminé, l'attention peut se focaliser sur l'analyse critique et la génération des solutions, qui constituent le véritable objectif cognitif de la tâche d'évaluation. Le participant 18 mentionne également : « j'ai trouvé que l'utilisation du casque était hyper *smooth*, rapidement j'ai focalisé sur le fait que je comprenais la situation, je n'ai pas d'efforts à faire pour comprendre la situation, puis là j'ai essayé de réfléchir avec les objets et les composantes de la situation mais c'était facile ». Cette facilité décrite par ce participant contraste fortement avec la difficulté et la frustration exprimées lors de l'utilisation de l'iPad. Le participant 5 mentionne également cette capacité d'élaboration : « je ne pensais pas qu'il y aurait une grande différence au début, mais j'ai constaté que je pouvais mieux élaborer avec le casque. J'avais plus envie d'expliquer ce que je faisais, j'avais l'impression que la pièce progressait, alors qu'avec l'iPad, je voyais chaque scénario

comme indépendant ». Cette observation suggère que la réduction de la charge cognitive ne se manifeste pas seulement par une facilité accrue, mais également par une capacité améliorée à développer une pensée plus complexe et intégrée sur la tâche.

4.4.2.2 Charge cognitive accrue avec l'iPad

À l'inverse, l'iPad impose une charge cognitive considérable pour les tâches d'évaluation en contexte 3D. Cette charge est parfois sous-estimée parce qu'une partie du traitement mental se fait de manière automatique ou implicite. Le participant 3 évoque précisément ce phénomène : « la capacité d'imagination et de représentation mentale est plus sollicitée sur l'iPad. Je ne sais pas si je ressens cela consciemment, mais je pense que la charge cognitive est plus importante sur l'iPad, où il faut faire un effort d'imagination plus conséquent...Ce processus se fait automatiquement dans la tête, sans que l'on ait besoin d'y réfléchir consciemment. Mais en fait, il y a quand même un effort mental ». Cette observation suggère que même lorsque les utilisateurs ne sont pas pleinement conscients de l'effort mental déployé, celui-ci mobilise néanmoins des ressources cognitives et peut générer de la fatigue ou réduire les capacités disponibles pour d'autres aspects de la tâche.

Le participant 4 décrit concrètement la nature de cet effort en mentionnant que « sur la tablette, il fallait faire un effort pour créer une image mentale en 3D à partir des différentes photos ». Cette création d'une représentation mentale à partir de multiples vues 2D nécessite des opérations cognitives complexes incluant la rotation mentale, l'intégration d'informations fragmentées et le maintien actif d'une représentation cohérente en mémoire de travail. Le participant 11 ajoute qu'il devait mobiliser « plus d'efforts cognitifs pour m'imaginer les éléments de la pièce selon les perspectives ». Cette nécessité de gérer simultanément plusieurs perspectives et de les intégrer en une compréhension unifiée illustre la nature multidimensionnelle de la charge imposée par l'iPad. Le participant 12 souligne une difficulté supplémentaire en mentionnant qu'il « fallait regarder plusieurs images en même temps pour savoir, pour avoir le bon agencement du meuble ». Cette coordination entre plusieurs sources d'information visuelles ajoute une couche de complexité, exigeant non seulement de comprendre chaque vue individuellement, mais également de maintenir en mémoire les relations spatiales entre les éléments observés dans des images différentes.

4.4.2.3 Différences générationnelles dans la conscience et la tolérance à la charge cognitive

Une différence notable émerge entre les deux groupes d'âge dans la manière dont la charge cognitive est consciemment perçue, articulée et tolérée. En effet, les participants jeunes ont tendance à décrire l'effort mental requis pour l'iPad de manière relativement neutre et factuelle, comme une propriété naturelle de la technologie plutôt que comme un problème majeur. Le participant 4 mentionne : « sur la tablette, il fallait faire un effort pour créer une image mentale en 3D à partir des différentes photos ». Le participant 11 utilise un vocabulaire technique en parlant d' « efforts cognitifs » pour s'imaginer les éléments selon les perspectives. Ces descriptions, bien qu'elles reconnaissent l'effort, ne sont pas accompagnées d'une charge émotionnelle négative particulière ni d'expressions de frustration ou d'anxiété. Les jeunes participants semblent généralement tolérer cet effort comme un aspect normal de la tâche, l'associant au fonctionnement habituel du travail à partir de représentations 2D dans le cadre d'évaluations spatiales en 3D.

Les participants âgés, en revanche, articulent la charge cognitive de manière beaucoup plus explicite et émotionnellement chargée. Leurs descriptions incluent fréquemment des termes indiquant la fatigue, la difficulté et la frustration. Le participant 19 évoque de manière répétée : « fallait que je me casse la tête à comprendre les différentes vues ». L'expression « se casser la tête » connote un effort pénible et frustrant plutôt qu'un simple travail mental. Cette formulation suggère que l'effort n'est pas seulement reconnu objectivement, mais vécu comme désagréable et épuisant. Le participant 20 utilise une métaphore particulièrement évocatrice en mentionnant qu'il avait « l'impression d'avoir des bugs dans ma tête, à force de scroller et d'essayer de visualiser la scène ». Cette image de dysfonctionnements cognitifs révèle un vécu d'incapacité temporaire, une sensation que les processus mentaux habituels ne fonctionnent plus correctement face à la demande imposée par la tâche.

Le participant 18 décrit également cet effort en termes de difficulté marquée : « ça demandait vraiment un effort pour comprendre même si c'était simple à la base ». Cette remarque est révélatrice, puisque malgré la reconnaissance que la tâche elle-même est simple, l'interface technologique la rend difficile, créant un décalage entre la simplicité conceptuelle de ce qui doit être évalué et la complexité cognitive imposée par la modalité de présentation. Pour ce participant, cette difficulté est vécue comme inappropriée, comme un obstacle artificiel qui ne devrait pas exister. Le participant 16 introduit une dimension supplémentaire en décrivant la charge en termes

de fatigue visuelle et attentionnelle : « c'est un peu lourd...ça peut devenir un peu fatiguant à cause de l'attention visuelle aussi ». Bien que ce commentaire concerne le HoloLens, il révèle une sensibilité particulière aux demandes attentionnelles soutenues. Le participant 16 offre une observation perspicace sur la nécessité de pauses attentionnelles : « étant donné aussi que c'est toujours dans notre visage, on n'a pas de pause au niveau visuel comparativement à un ordinateur ou une tablette, où notre corps peut regarder quelques secondes ailleurs que directement sur la tablette ce qui nous donne une mini pause visuellement ». Cette préoccupation concernant l'absence de pauses visuelles révèle une sensibilité accrue aux demandes attentionnelles chez les travailleurs âgés et suggère une capacité réduite à maintenir une attention soutenue sans périodes de récupération.

Cette différence générationnelle dans la manière d'exprimer la charge cognitive est frappante et constante à travers les témoignages. Là où les jeunes participants utilisent un vocabulaire descriptif et relativement neutre, les participants âgés emploient un langage expressif et émotionnel. Cette différence suggère que l'expérience subjective de la charge cognitive diffère qualitativement entre les deux groupes, l'effort étant vécu comme plus pénible, plus déstabilisant et potentiellement plus menaçant pour les participants âgés. Le HoloLens, en réduisant drastiquement cette charge cognitive, semble ainsi répondre à un besoin particulièrement important pour cette population, permettant non seulement d'améliorer la performance objective, mais également de transformer l'expérience subjective de la tâche en quelque chose de fluide, de maîtrisable et de satisfaisant.

4.4.3 Ergonomie, confort physique et engagement sensoriel

L'ergonomie et le confort physique constituent une dimension où le HoloLens révèle ses principales faiblesses, en particulier auprès des participants âgés. Cette dimension contraste fortement avec les avantages cognitifs indéniables de la réalité augmentée et met en lumière des préoccupations corporelles et sensorielles qui affectent différemment les deux groupes d'âge.

Tableau 6 - Ergonomie et confort physique selon la technologie et l'âge

Dimension	HoloLens – Jeunes (n=11)	HoloLens - Âgés (n=9)	IPad – Jeunes (n=11)	IPad - Âgé (n=9)
Confort physique général	Les contraintes physiques sont mentionnées principalement en termes de limitations fonctionnelles : « Le principal inconfort vient de la contrainte visuelle, pas physique » (P3). « L'ergonomie c'est un peu chiant d'avoir le casque sur la tête » (P12).	Le poids et la pression du dispositif sont une source d'inconfort corporel réel et progressif : « Lourd à porter à la longue, ça peut devenir un peu fatigant » (P16). « On le sent sur notre tête beaucoup, ça développe une chaleur » (P16).	Le dispositif est décrit comme physiquement agréable et sans contrainte corporelle : « Plus agréable, je peux m'en servir tous les jours » (P3). « On peut le mettre à la distance qu'on veut, on peut le poser sur une table » (P12).	Le confort physique est valorisé et explicitement comparé favorablement au HoloLens : « Plus facile de tenir l'iPad que d'avoir le casque sur la tête » (P16). « Pour moi l'iPad était plus facile » (P2).
Champ de vision et contraintes visuelles	Le champ de vision restreint est décrit comme une limitation technique gênante : « Le cadre d'image est un peu étroit, le champ visuel est restreint » (P3). « Le champ de vision était peut-être assez réduit » (P8). « Il faut toujours bouger la tête pour voir l'ensemble des objets » (P3).	Le champ de vision limité génère de la frustration et nécessite des ajustements constants : « Je crois que le plus frustrant c'est lorsqu'on ne regarde pas l'objet directement on ne le voit pas [...] j'ai des objets que je ne voyais pas clairement, c'est comme si je ne les voyais presque pas » (P18). « La qualité de l'écran n'était pas exceptionnelle » (P7).	Les contraintes visuelles se limitent à la nécessité de faire défiler les vues pour voir différents angles : « Sur la tablette, c'était plus difficile, car il fallait faire un effort pour créer une image mentale en 3D à partir des différentes images » (P4).	Les manipulations nécessaires pour voir tous les détails sont mentionnées : « Il fallait défiler ou zoomer, ce qui pouvait compliquer la visualisation de certains éléments » (P6).
Fatigue et durabilité d'usage	La fatigue est mentionnée principalement en lien avec les contraintes visuelles : « Moins confortable, surtout à cause du champ de visuel limité et du fait qu'il faut	La fatigue s'accumule progressivement et touche plusieurs dimensions sensorielles : « C'est un peu lourd à porter à la longue, ça peut devenir un peu fatigant à	L'usage quotidien et prolongé est perçu comme naturel et sans contrainte particulière : « Je peux m'en servir tous les jours » (P3).	Aucune préoccupation majeure concernant la fatigue ou la durée d'usage n'est exprimée.

	bouger la tête » (P3). « Après un certain temps le casque peut causer un étourdissement » (P15).	cause de l'attention visuelle aussi » (P16)		
Gestion de l'attention visuelle	La gestion de l'attention visuelle repose principalement sur le maintien du regard dans un champ visuel restreint : « Le principal inconfort vient de la contrainte visuelle » (P3).	L'impossibilité de détourner le regard est identifiée comme problématique pour la gestion de la fatigue : « C'est toujours dans notre visage, on n'a pas de pause au niveau visuel comparativement à un ordinateur ou à la tablette où notre corps peut regarder quelques secondes ailleurs » (P16).	La possibilité de détourner le regard naturellement n'est pas mentionnée car considérée comme évidente.	La flexibilité posturale et la possibilité de pauses visuelles sont valorisées : « Avec la tablette on est toujours dans la même position tandis qu'avec le casque on peut être dans différentes positions » (P16).
Qualité et réalisme de l'affichage	Le manque de couleurs et de réalisme visuel est critiqué comme nuisant à l'expérience : « Tout était en blanc ou en gris, peu coloré, ce qui donnait une impression peu réaliste » (P4). « La couleur des meubles m'a dérangé au début » (P11).	La qualité d'affichage est jugée insuffisante et affecte l'expérience globale : « La qualité de l'écran n'était pas exceptionnelle » (P7). « Il y avait des objets qu'on ne voyait pas clairement » (P18).	La précision et les couleurs de l'affichage sont valorisées positivement : « Sur la tablette, les images étaient plus précises et plus colorées » (P4).	Aucune critique majeure concernant la qualité visuelle n'est formulée.
Flexibilité posturale	La liberté de mouvement dans l'espace physique est valorisée : « On peut se déplacer facilement » (P3). « Je pouvais me déplacer dans l'espace » (P5).	La possibilité de se tenir dans différentes positions est reconnue malgré le poids : « Avec le casque on peut le faire dans différentes positions, debout, assis, tourné » (P16).	La position statique et la manipulation tactile sont décrites comme naturelles : « Ergonomique parce qu'on peut le mettre un peu à la distance qu'on veut. On peut le poser sur la table » (P12).	La stabilité posturale offerte par l'iPad est implicitement préférée : « Toujours dans la même position et plus facile de tenir l'iPad » (P16).

4.4.3.1 Inconfort physique du HoloLens : une préoccupation générationnelle

Les témoignages révèlent une asymétrie frappante dans l'évaluation du confort physique entre les deux technologies. Alors que l'iPad est largement reconnu pour son confort et son ergonomie, le HoloLens fait l'objet de critiques importantes, surtout chez les participants plus âgés. Il ne s'agit pas seulement d'une différence quantitative, mais aussi qualitative, puisque les deux groupes d'âge soulèvent des préoccupations distinctes.

Les jeunes participants, lorsqu'ils critiquent le HoloLens, focalisent principalement sur des limitations fonctionnelles et techniques. Le participant 3 précise que « le principal inconfort vient de la contrainte visuelle, pas physique ». Cette formulation est révélatrice puisqu'elle établit une distinction explicite entre l'inconfort lié au poids ou à la pression du dispositif et l'inconfort lié aux contraintes du champ de vision. Pour ce participant, c'est manifestement la seconde dimension qui constitue le problème principal. Le participant 12 mentionne que « l'ergonomie c'est un peu chiant d'avoir le casque sur la tête », une formulation familière qui suggère une gêne mineure plutôt qu'un véritable inconfort corporel. Le participant 3 ajoute que « le casque est moins confortable, surtout à cause du champ visuel limité et du fait qu'il faut bouger la tête ». Une fois de plus, l'inconfort est attribué aux contraintes d'usage plutôt qu'au poids ou à la pression exercée par le dispositif sur le corps.

Les participants âgés, en revanche, décrivent davantage l'expérience du HoloLens en termes corporels et sensoriels. Le participant 16 offre le témoignage le plus détaillé et le plus révélateur sur cette dimension : « c'est un peu lourd à porter à la longue, ça peut devenir un peu fatigant à cause de l'attention visuelle aussi. Étant donné aussi que c'est toujours dans notre visage, on n'a pas de pause au niveau visuel comparativement à un ordinateur ou à la tablette où notre corps peut regarder quelques secondes ailleurs que directement sur la tablette ce qui nous donne une mini pause visuellement ». Ce commentaire présente une analyse remarquablement sophistiquée et multi-dimensionnelle. Il identifie d'abord le poids comme problématique, suggérant une accumulation progressive de l'inconfort au fil du temps. Il lie ensuite cet inconfort physique à une fatigue attentionnelle, reconnaissant que les deux dimensions s'additionnent plutôt que de se substituer l'une à l'autre. Enfin, il identifie l'absence de pauses visuelles comme une caractéristique problématique du casque. Le participant 16 précise également : « on le sent sur

notre tête beaucoup, ça développe une chaleur ». La mention de la chaleur introduit une dimension sensorielle supplémentaire, suggérant un inconfort qui s'accumule et devient de plus en plus présent à la conscience au fil de l'utilisation.

Certains participants rapportent rapidement des inconforts physiques. Le participant 15 note qu'« après un certain temps, ça peut causer un étourdissement », mettant en lumière un risque de désorientation associé à l'usage prolongé du HoloLens. Cette remarque, unique au sein des participants, suggère une sensibilité particulière aux conflits sensoriels que peut générer la réalité augmentée. Le participant 16 établit également une comparaison directe entre les deux technologies : « avec la tablette on est toujours dans la même position tandis qu'avec le casque on peut le faire dans différentes positions, debout, assis, tourné. C'est beaucoup plus facile de tenir l'iPad que d'avoir le casque sur la tête ». Cette comparaison révèle un compromis intéressant, en effet, bien que le HoloLens offre théoriquement davantage de flexibilité posturale, le simple fait de devoir le porter sur la tête est vécu comme plus contraignant que de tenir ou de poser l'iPad.

4.4.3.2 Limitations du champ de vision : une frustration partagée

Le champ de vision restreint du HoloLens constitue l'une des critiques les plus unanimes et intergénérationnelles. Le participant 3 décrit précisément cette limitation : « le cadre d'image est un peu étroit. Le champ visuel est restreint, il faut toujours bouger la tête pour voir l'ensemble des objets. » Le participant 8 confirme que « le champ de vision était peut-être assez réduit ». Ces observations factuelles chez les jeunes participants contrastent avec l'expression d'une frustration plus marquée chez certains participants âgés. Le participant 18 exprime cette frustration de manière claire : « j'ai des objets qu'on ne voyait pas clairement, c'est comme si on ne les voyait presque pas. Mais je crois que le plus frustrant c'est lorsqu'on ne regarde pas l'objet directement on ne le voit pas ». Cette formulation révèle que la limitation du champ de vision ne constitue pas seulement un inconvénient technique, mais génère une expérience de frustration lorsque des éléments pertinents disparaissent de la vue. Le participant 14 mentionne une conséquence directe de cette limitation : « de ne pas pouvoir voir les meubles d'un seul coup, le fait de devoir me souvenir où était chaque élément, me déplacer pour voir chaque meuble. Ça serait bien d'avoir une vue plus générale de tous les meubles et qu'ils restent à la même place qu'on soit près ou loin. Des fois aussi lorsqu'on s'approchait de certains objets ils pouvaient disparaître quelques secondes ».

Ce témoignage révèle que le champ de vision restreint impose une charge mémorielle supplémentaire et perturbe la fluidité de l'exploration spatiale.

4.4.3.3 Qualité visuelle et réalisme : un écart avec les attentes

Au-delà des contraintes physiques et du champ de vision, les participants des deux groupes d'âge forment également des critiques concernant la qualité visuelle et le réalisme de l'affichage du HoloLens. Le participant 4 mentionne que « tout était en blanc ou gris, peu coloré, ce qui donnait une impression peu réaliste. J'aimerais voir des images plus vivantes, avec des objets animés ou en vrai ». Cette absence de couleurs réalistes et de textures détaillées crée un écart entre l'immersion spatiale, qui est excellente, et le réalisme visuel, qui demeure limité. Le participant 11 confirme : « la couleur des meubles m'a un peu dérangé au début, je me demandais si c'était parce que mon casque était mal ajusté mais ensuite j'ai compris que c'était normal. Le volume des meubles était adéquat mais c'est plus la couleur de ces meubles qui nous indique c'est pas réel ». Le participant 7 offre une évaluation plus globale : « la qualité de l'écran n'était pas exceptionnelle, surtout en comparaison avec ce qu'on peut avoir dans la technologie moderne. La qualité d'affichage a un impact sur l'expérience globale. La qualité de l'écran a fait que l'expérience a été moins favorable qu'elle aurait pu être ». Ce commentaire est particulièrement significatif car il situe explicitement l'évaluation dans le contexte des standards technologiques contemporains. Le HoloLens n'est pas jugé dans l'absolu, mais en comparaison avec d'autres dispositifs d'affichage que les participants utilisent quotidiennement. Dans ce contexte comparatif, la qualité d'affichage du HoloLens apparaît comme décevante et en décalage par rapport aux attentes établies par d'autres technologies. Le participant 4 établit d'ailleurs une comparaison directe avec l'iPad : « sur la tablette, il était plus simple de comprendre ce qu'était chaque objet, car les images étaient plus précises et plus colorées ». Cette observation révèle un paradoxe intéressant, en effet, bien que le HoloLens offre une meilleure compréhension spatiale globale, l'iPad pourrait se révéler supérieur pour l'identification précise d'objets individuels en raison de la qualité supérieure de son affichage.

4.4.3.4 L'iPad comme référence de confort optimal

En contraste marqué avec les multiples critiques adressées au HoloLens, l'iPad bénéficie d'une évaluation ergonomique unanimement positive. Si l'évaluation est brève, c'est parce que le confort de l'iPad ne soulève aucune difficulté particulière pour les participants. Le participant 3 mentionne

simplement que « l' iPad est plus agréable, je peux m'en servir tous les jours ». Cette formulation associe directement le confort à la possibilité d'un usage quotidien et répété, suggérant que le confort physique constitue une condition nécessaire à l'intégration d'une technologie dans les routines quotidiennes. Le participant 12 souligne la flexibilité ergonomique de l'iPad : « c'est ergonomique parce qu'on peut le mettre un peu à la distance qu'on veut, on peut le poser sur la table ». Cette observation met en lumière un avantage souvent invisible de l'iPad, à savoir la liberté offerte à l'utilisateur d'ajuster la distance de vision, l'angle de vue, et même de ne pas tenir le dispositif en le posant sur une surface. Le participant 16 résume cette comparaison de manière directe : « c'est beaucoup plus facile de tenir l'iPad que d'avoir le casque sur la tête ». La simplicité même de cette formulation reflète l'évidence de la supériorité ergonomique de l'iPad sur cette dimension. Cette asymétrie totale dans l'évaluation du confort physique entre les deux technologies mérite attention. L'iPad, développé et amélioré au fil de nombreuses années, possède un design ergonomique qui a largement réglé les principales contraintes physiques. Le HoloLens, en tant que technologie émergente, présente encore un design qui n'est pas entièrement optimisé pour le confort à long terme. Cette différence de maturité technologique se traduit directement dans l'expérience utilisateur, et affecte de manière marquée les populations qui présentent une sensibilité accrue aux contraintes physiques.

4.4.4 Confiance, crédibilité et aide à la décision

La confiance dans l'évaluation constitue la dimension où les différences générationnelles se manifestent de la manière la plus frappante et la plus asymétrique. Alors que les jeunes participants se concentrent sur l'efficacité et la performance objective de leurs évaluations, les participants âgés développent un discours riche et nuancé sur leur niveau de confiance en leurs propres capacités, révélant que la technologie affecte non seulement ce qu'ils peuvent faire, mais également la manière dont ils se perçoivent en tant qu'évaluateurs compétents.

Tableau 7 - Confiance dans l'évaluation et aide à la décision selon la technologie et l'âge

Dimension	HoloLens – Jeunes (n=11)	HoloLens - Âgés (n=9)	IPad – Jeunes (n=11)	IPad - Âgés (n=9)
Niveau de confiance ressenti	Le niveau de confiance est élevé et exprimé en termes de contrôle et de certitude : « Plus sûr de ma réponse car je pouvais vérifier l'espace en mouvement » (P3). « J'étais un peu plus en contrôle, je vois tout ce qui se passe, tu vois mieux les volumes donc j'ai l'impression de mieux performer » (P10). « Le casque, c'était plus professionnel et efficace, je me sentais vraiment dans la pièce » (P13).	Le niveau de confiance est très élevé et s'accompagne d'un impact émotionnel positif marqué : « Plus crédible dans mes réponses, plus confiant » (P16). « Je n'avais pas l'impression que je pouvais me tromper » (P19).	Non mentionné explicitement par les jeunes participants.	La confiance est considérablement réduite et génère de l'anxiété liée aux capacités spatiales perçues : « Moins de confiance avec l'iPad » (P19). « J'avais moins de confiance...j'étais moins sûr de mes réponses, étant donné que je n'étais pas sûr de ce que je voyais » (P19). « Ça a fait remonter mes insécurités, mon manque de confiance en moi par rapport à l'orientation et la perception de l'espace » (P20).
Certitude des réponses	La certitude est élevée et repose sur la vérification systématique et la mémorisation spatiale : « Une fois que j'avais vérifié les quatre murs, je savais qu'il ne manquait rien » (P3). « Quand j'entendais les énoncés, je savais ce que je devais chercher » (P11).	La certitude est absolue et élimine totalement le doute : « Évident comme tâche et simple. Je n'avais pas l'impression que je pouvais me tromper. Facile d'utilisation...tu te poses moins de questions sur la perspective des objets » (P19).	Non mentionné explicitement par les jeunes participants.	L'incertitude est importante, persistante et touche même la perception de base : « J'étais moins sûr de mes réponses, étant donné que je n'étais pas sûr de ce que je voyais » (P19). « Je n'étais même pas sûr que c'était la même image parfois » (P19). « J'étais très mélangé » (P20).

Facilité de prise de décision	La prise de décision est facilitée par la clarté de la visualisation et la capacité d'analyse détaillée : « Mieux performer, mieux répondre à la tâche » (P10). « Vraiment plus facile » (P11). « Je sentais que je pouvais analyser chaque objet de près » (P14).	La prise de décision devient évidente, immédiate et orientée vers les solutions : « Plus facile pour moi d'identifier les problèmes. Les erreurs me sautaient aux yeux » (P19). « On était plus axés solutions, comment améliorer » (P18). « Le bureau était à l'envers, évident dans la réalité augmentée, mais pas en vue de dessus sur l'iPad » (P1).	La coordination de multiples vues complique la prise de décision : « Plus difficile de suivre et de faire collaborer les images » (P4). « Mal à cerner si l'imprimante était devant la porte tandis qu'avec le casque c'était évident » (P14).	La difficulté de visualisation entrave significativement la prise de décision : « Fallait que je me casse la tête à comprendre » (P19). « Plus compliqué » (P20). « Vraiment un effort pour comprendre » (P18). « J'avais de la difficulté à comprendre la perspective des objets » (P18).
Sensation de maîtrise et contrôle	La sensation de contrôle repose sur la capacité de vérification active et la liberté de mouvement : « Plus en contrôle, je vois tout ce qui se passe » (P10). « Je pouvais vérifier l'espace en mouvement » (P3). « Je pouvais me déplacer dans l'espace » (P5).	La sensation de maîtrise s'accompagne d'un sentiment de légitimité professionnelle et d'implication accrue : « Je me sentais plus crédible dans mes réponses » (P16). « Je pouvais mieux m'impliquer dans le projet, car je pouvais visualiser la pièce comme si j'y étais » (P16).	Non mentionné explicitement par les jeunes participants.	La perte de maîtrise ravive des insécurités préexistantes et génère de l'anxiété de performance : « Ça a fait remonter mes insécurités, mon manque de confiance en moi par rapport à l'orientation et la perception de l'espace. Je suis parti pas confiant...je sais que je ne suis vraiment pas bon là-dedans. J'aime ça performer dans la vie puis étant donné que c'est un aspect difficile pour moi...avec l'iPad ça a été vraiment plus difficile » (P20).
Qualité perçue de l'évaluation	L'impression de performance est positive et repose sur une meilleure visualisation et une analyse détaillée : «	L'évaluation est perçue comme plus rigoureuse, fiable et directe : « Avec le casque on peut voir les liens entre les éléments puis	Non mentionné explicitement par les jeunes participants.	Le doute sur la qualité de l'évaluation est présent même si l'expérience subjective diffère : « Je ne sais pas si j'ai été meilleur

	J'ai l'impression de mieux performer, mieux répondre à la tâche » (P10). « Je sentais que je pouvais analyser chaque objet de près donc ça a été très agréable » (P14). « Je pouvais mieux élaborer avec le casque » (P5).	apporter des réponses comparativement aux images c'est plus difficile » (P18).		mais j'avais l'impression que oui avec le casque, et je n'ai pas l'insécurité que j'avais avec l'iPad » (P20).
--	---	---	--	---

4.4.4.1 Une dimension invisible pour les jeunes, centrale pour les âgés

La première observation majeure concernant la confiance dans l'évaluation est son caractère profondément asymétrique entre les groupes d'âge. Les jeunes participants développent très peu de discours sur leur niveau de confiance en leurs propres capacités d'évaluation. Ils évoquent volontiers la performance, l'efficacité ou la facilité, mais la question de leur confiance en eux-mêmes ne semble tout simplement pas émerger. Le participant 3 mentionne qu'il était « plus sûr de ma réponse car je pouvais vérifier l'espace en mouvement ». Le participant 10 indique qu'il était « un peu plus en contrôle, je vois tout ce qui se passe, tu vois mieux les volumes donc j'ai l'impression de mieux performer ». Ces formulations demeurent dans un registre fonctionnel et externe, puisqu'elles portent sur la certitude quant à la justesse de la réponse, non la confiance en soi en tant qu'évaluateur compétent. L'absence quasi totale de discours sur la confiance chez les jeunes participants suggère que celle-ci constitue un arrière-plan stable et non questionné de leur expérience. La technologie peut faciliter ou compliquer la tâche, mais elle ne semble pas affecter leur perception fondamentale de leurs propres capacités cognitives. C'est précisément cette stabilité implicite qui rend la différence avec les participants âgés particulièrement significative.

4.4.4.2 Le HoloLens comme amplificateur de confiance pour les participants âgés

Les participants âgés développent un discours nettement plus riche, explicite et émotionnellement chargé concernant la manière dont le HoloLens augmente leur confiance. Le participant 19 offre le témoignage le plus direct et le plus répété sur cette dimension : « avec le casque c'était évident comme tâche et simple. Avec le casque, je n'avais pas l'impression que je pouvais me tromper, comparativement avec l'iPad, où j'étais moins sûr de mes réponses ». Cette formulation met en contraste deux états psychologiques distincts, soit une certitude absolue et un doute persistant. L'utilisation de la négation, exprimée par l'énoncé « pas l'impression que je pouvais me tromper », révèle plus qu'un simple sentiment de confiance et suggère l'absence même de la possibilité du doute.

Le participant 19 explique ensuite les mécanismes sous-jacents à cette confiance : « facile d'utilisation, mais ma préférée c'est le casque. Parce que tu te poses moins de questions sur la perspective des objets dans la pièce ». L'élimination du questionnement interne, du doute métacognitif concernant la justesse de sa propre perception, constitue manifestement un bénéfice

psychologique majeur. Le participant 19 ajoute : « avec le casque c'était vraiment trippant, de voir les éléments, d'être littéralement dans la pièce et de voir physiquement c'est où que les éléments étaient placés, je voyais plus rapidement ce qui ne fonctionnait pas. Les erreurs me sautaient aux yeux ». Cette dernière expression capture l'essence de l'expérience, soit une évidence perceptuelle ne laissant aucune place au doute. Le participant 16 introduit une dimension supplémentaire en établissant un lien entre confiance et crédibilité professionnelle : « le casque me permettait de mieux m'impliquer dans le projet, car je pouvais visualiser la pièce comme si j'y étais. Je me sentais plus crédible dans mes réponses, plus confiant ». Cette formulation distingue deux niveaux distincts, soit l'implication dans le projet, qui relève du comportement, et le sentiment de crédibilité, qui touche à l'identité. Le HoloLens ne se contente pas de faciliter la tâche, il restaure ou renforce une légitimité professionnelle, un sentiment d'être qualifié et digne de confiance en tant qu'évaluateur.

Le participant 13 confirme cette dimension professionnelle en déclarant : « j'ai trouvé l'expérience avec le casque plus professionnelle et efficace. Tu te sens réellement dans la pièce, j'ai préféré cette technologie ». L'association établie entre le qualificatif « professionnelle » et le sentiment d'être « réellement dans la pièce » suggère que l'immersion spatiale confère une forme de sérieux ou de légitimité à l'évaluation, qualités qui seraient absentes des représentations 2D.

Le participant 15 articule la confiance en termes de rigueur perçue de l'évaluation : « je me sentais plus libre, j'ai pu me déplacer dans la pièce et voir les différents éléments plus proches donc d'avoir une réponse plus rigoureuse, plus correcte selon mon point de vue personnel ». Cette formulation lie explicitement plusieurs éléments dont la liberté de mouvement, la proximité avec les objets et la qualité perçue de la réponse. La précision finale révèle une conscience que cette rigueur demeure subjective, sans que cela n'enlève quoi que ce soit à sa réalité ou à sa signification pour le participant.

4.4.4.3 L'iPad comme déclencheur d'insécurité pour les participants âgés

Si le HoloLens augmente la confiance, l'iPad produit l'effet inverse de manière marquée chez les participants âgés. Le participant 19 établit cette opposition de manière répétée : « moins de confiance avec l'iPad. J'avais moins de confiance...j'étais moins sûr de mes réponses, étant donné

que je n'étais pas sûr de ce que je voyais ». Cette formulation révèle un mécanisme psychologique crucial dans lequel l'incertitude perceptuelle se transforme en un doute portant sur ses propres capacités de jugement. Le doute ne porte plus sur ce qui est perçu, mais sur la personne qui perçoit.

Le participant 19 développe cette incertitude perceptuelle : « le visuel était très différent. Avec l'iPad, fallait que je me casse la tête à comprendre les différentes vues. J'étais même pas sûr que c'était la même image parfois. Tandis qu'avec le casque, c'était très bien et facile ». L'expression « même pas sûr que c'était la même image » révèle un niveau de confusion qui dépasse la simple difficulté et témoigne d'une désorientation où les repères perceptuels de base deviennent incertains.

Le participant 20 offre le témoignage le plus explicite concernant la manière dont l'iPad réactive des insécurités préexistantes : « ça a fait remonter mes insécurités, mon manque de confiance en moi par rapport à l'orientation et la perception de l'espace ». L'utilisation du verbe « remonter » mérite attention. En effet, elle indique que ces insécurités préexistent à l'expérience et sont simplement réactivées par la tâche sur iPad. Le participant 20 explicite ensuite : « je suis parti pas confiant...je sais que je suis vraiment pas bon là-dedans ». Cette croyance négative préalable concernant ses capacités spatiales crée un biais d'attente qui amplifie la difficulté objective de la tâche.

Le participant 20 développe l'impact émotionnel de cette expérience : « puis je crois que les images ont fait remonter des insécurités puis une petite nervosité parce que j'aime ça performer dans la vie puis étant donné que c'est un aspect difficile pour moi, c'est la perception de l'espace ou mon sens de l'orientation, avec l'iPad ça a été vraiment plus difficile. Puis c'est ça, je partais déjà moins en confiance parce que je sais que je ne suis pas bon là-dedans ». Ce témoignage révèle plusieurs dimensions psychologiques qui convergent, notamment l'anxiété de performance, la conscience d'une faiblesse spécifique et la dynamique d'anticipation négative.

Le participant 20 offre ensuite un contraste saisissant avec l'expérience du HoloLens : « tandis qu'avec le casque c'était de la nouveauté, ça m'a fait oublier que c'était quand même la même tâche...avec le casque c'était de l'excitation de la nouveauté, puis en plus étant donné que j'étais littéralement dans la pièce j'avais pas besoin de faire l'effort de me projeter donc c'est très positif

pour moi. Je ne sais pas si j'ai été meilleur mais j'avais l'impression que oui, et je n'ai pas eu l'insécurité que j'avais avec l'iPad ». Cette formulation finale mérite une attention particulière. Indépendamment de la performance objective, c'est l'expérience subjective de compétence qui se trouve transformée, et c'est précisément cette transformation qui s'avère significative pour le participant.

4.4.4.4 Confiance et aide à la décision : l'évidence perceptuelle

Au-delà de la confiance en soi, la dimension de l'aide à la décision révèle comment les technologies facilitent ou entravent le processus d'identification des problèmes et de génération de solutions. Avec le HoloLens, les participants âgés décrivent un processus décisionnel caractérisé par l'évidence et l'immédiateté. Le participant 19 répète à plusieurs reprises que « c'était évident ». Le participant 18 explique : « tandis qu'avec le casque on voyait plus la situation, on était plus axés solutions ou comment l'améliorer, comment est-ce qu'on pourrait faire différemment. Puis des fois c'est en regardant quelque chose qu'on voit quelque chose qui ne marche pas, exemple la plante est trop haute. Avec le casque on peut voir les liens entre les éléments puis apporter des réponses comparativement aux images c'est plus difficile ». Ce témoignage révèle que le HoloLens permet non seulement d'identifier les problèmes individuels, mais également de percevoir les relations entre les éléments, suggérant une compréhension systémique plutôt que fragmentée.

Le participant 18 ajoute : « j'ai trouvé que l'utilisation du casque était hyper *smooth*, rapidement j'ai focalisé sur le fait que je comprenais la situation, je n'ai pas d'efforts à faire pour comprendre la situation, puis là j'ai essayé de réfléchir avec les objets et les composantes de la situation mais c'était facile ». L'expression « hyper *smooth* » capture une fluidité cognitive où la compréhension précède l'effort analytique conscient, permettant de réfléchir de manière intuitive.

Avec l'iPad, le processus décisionnel se trouve entravé par l'effort de visualisation. Le participant 18 décrit la frustration ressentie : « les images c'était frustrant, même si j'ai déjà fait du dessin sur l'ordi multidimensionnel. Le cas était déjà simple mais il était compliqué à cause de la position des objets. À cause des images, j'avais de la difficulté à comprendre la perspective des objets donc je me demandais s'il y avait des objets derrière le mur ou si je voyais réellement la pièce au complet

». Cette incertitude fondamentale concernant la complétude de ce qui est perçu mine la capacité à prendre des décisions avec assurance.

Cette dimension de la confiance dans l'évaluation révèle que pour les personnes âgées, la technologie ne constitue pas simplement un outil qui facilite ou complique une tâche objective. Elle représente un facteur qui affecte profondément l'expérience subjective de compétence, la légitimité ressentie en tant qu'évaluateur, et même l'identité professionnelle. Le HoloLens, en éliminant l'effort de projection mentale et en offrant une évidence perceptuelle, restaure une confiance qui peut être fragilisée par des technologies exigeant des capacités cognitives sur lesquelles les participants entretiennent des doutes préexistants. Cette différence générationnelle majeure suggère que l'évaluation des technologies destinées aux populations âgées devrait inclure non seulement des mesures de performance objective, mais également des mesures de l'expérience subjective de maîtrise et de confiance, dimensions qui peuvent avoir une valeur psychologique et professionnelle significative indépendamment des résultats de la tâche.

4.4.5 Facilité d'utilisation et courbe d'apprentissage

La facilité d'utilisation et la courbe d'apprentissage constituent une dimension où émergent des résultats particulièrement contre-intuitifs par rapport aux stéréotypes habituels concernant les personnes âgées et les nouvelles technologies. Cette dimension révèle que la nouveauté technologique n'est pas nécessairement synonyme de difficulté d'adoption, et que l'enthousiasme face à l'innovation ne constitue pas l'attribut exclusif des jeunes générations.

Tableau 8 - Facilité d'utilisation et courbe d'apprentissage selon la technologie et l'âge

Dimension	HoloLens – Jeunes (n=11)	HoloLens - Âgés (n=9)	IPad – Jeunes (n=11)	IPad - Âgés (n=9)
Familiarité initiale	La technologie est nouvelle pour la majorité des participants mais suscite un intérêt marqué : « C'était un peu moins dans quelque chose que je connaissais, c'était plus nouveau » (P8). « Une des premières fois que j'utilisais, vraiment impressionnant » (P11). « Aspect de nouveauté, j'étais plus intéressée » (P15).	La technologie est découverte pour la première fois et génère une curiosité et un enthousiasme : « Première fois que j'essayais cette technologie, intéressant, curieux, cool » (P20).	Le dispositif est entièrement familier et fait partie des pratiques technologiques quotidiennes : « Naturel et plus simple » (P3). « Plus habituel pour moi » (P5). « J'utilise déjà souvent donc rien de nouveau » (P12).	Le dispositif est connu et maîtrisé sans nécessiter d'apprentissage : « Plus facile, j'avais déjà utilisé » (P2). « Plus habitué donc pas vraiment d'émotion intense » (P17).
Courbe d'apprentissage	L'adaptation est décrite comme rapide et sans difficulté majeure malgré la nouveauté : « Le casque m'a demandé plus de réflexion, on est obligé de bouger, mais pas très compliqué » (P9).	Certains participants expriment une appréhension initiale qui se dissipe rapidement après l'usage : « Un peu d'inquiétude au départ avec le casque surtout à cause de ma vision, puis après l'utilisation tout s'est dissipé » (P16). « Rapidement je me suis habitué » (P18). « L'adaptation n'a pas été très longue » (P2).	La simplicité d'usage est reconnue comme une caractéristique établie : « C'était naturel et plus simple » (P3).	La facilité d'usage est considérée comme acquise : « J'ai préféré l'iPad, c'est plus simple » (P7). « Pour moi, l'iPad était plus facile » (P2).
Intuitivité d'usage	L'intuitivité du HoloLens est reconnue malgré sa nouveauté technologique :	L'usage est perçu comme naturellement compréhensible et fluide :	L'intuitivité d'usage de l'iPad est considérée comme acquise et ne	La facilité d'usage est considérée comme acquise : « C'est

	« Avec le casque, c'était évident » (P14). « C'était assez simple, j'ai l'impression de ne pas avoir vue l'ensemble des fonctionnalités » (P11). « Même des personnes ordinaires peuvent repérer des problèmes plus facilement, car c'est plus intuitif » (P4).	« Vraiment smooth, rapidement j'ai focalisé » (P18). « Avec le casque, c'était évident comme tâche et simple » (P19). « Les deux sont faciles, mais le casque est plus naturel pour moi, parce que je suis très visuel » (P6).	fait pas l'objet de commentaires spécifiques, reflétant son intégration complète dans les pratiques quotidiennes : « L'iPad est plus agréable, je peux m'en servir tous les jours » (P3).	clairement l'iPad qui était le plus simple à utiliser » (P2).
Réaction à la nouveauté	La nouveauté suscite un intérêt modéré et une curiosité mesurée : « C'était nouveau, j'avais un peu plus d'intérêt envers la tâche » (P15). « Plus nouveau, donc plus intéressant » (P8).	La nouveauté génère un enthousiasme marqué : « C'était la première fois, j'ai trouvé ça intéressant, j'étais curieux » (P20). « Excité, j'en ferais un autre tout de suite ! » (P19). « La curiosité a pris le dessus » (P20).	La familiarité engendre une neutralité émotionnelle : « L'iPad, aucun sentiment particulier, j'étais neutre » (P15).	L'absence de nouveauté ne génère aucune émotion particulière : « Pas vraiment d'émotion intense » (P17).

4.4.5.1 Familiarité universelle avec l'iPad : une technologie naturalisée

La familiarité avec l'iPad se révèle universelle et intergénérationnelle. Les participants jeunes et âgés utilisent un vocabulaire quasi-identique pour décrire leur rapport à la technologie. Le participant 3 la qualifie de « naturelle », le participant 4 la trouve « habituelle », le participant 12 mentionne qu'il l'utilise « déjà souvent donc rien de nouveau », tandis que le participant 2 indique simplement qu'elle était « plus facile » car il l'avait « déjà utilisée ». Cette convergence des discours indique que l'iPad s'inscrit désormais dans un ensemble de pratiques d'usage bien établies.

Du point de vue de l'expérience utilisateur, il s'agit d'une technologie à faible coût d'apprentissage, dont les interactions sont immédiatement reconnaissables et cohérentes avec les modèles mentaux des utilisateurs. L'iPad tend ainsi à s'effacer de l'expérience au profit de la tâche à réaliser, soutenant une interaction fluide, fonctionnelle et peu engageante sur le plan émotionnel.

Cette familiarité engendre particulièrement une neutralité émotionnelle remarquable. Les participants 15 et 17 utilisent explicitement le terme « neutre » pour décrire leur expérience avec l'iPad. Le participant 17 précise même qu'il n'avait « pas vraiment d'émotion intense ». Cette absence d'émotion contraste fortement avec les réactions au HoloLens et suggère que la familiarité technologique, si elle réduit effectivement l'anxiété et facilite l'usage, élimine également l'engagement émotionnel et potentiellement la motivation intrinsèque.

4.4.5.2 Le HoloLens : une découverte bien accueillie

Le HoloLens représente une découverte pour la quasi-totalité des participants. Le participant 11 évoque « une des premières fois », le participant 20 mentionne « la première fois », le participant 8 parle de « quelque chose que je ne connaissais pas ». Cette nouveauté radicale pourrait, selon les stéréotypes courants concernant le vieillissement technologique, constituer un obstacle majeur pour les participants âgés, supposés plus réticents ou moins capables face aux innovations. Les données révèlent précisément l'inverse.

Les participants âgés expriment un enthousiasme remarquable face au HoloLens. Le participant 19 déclare : « avec le casque j'étais excité. J'en ferais un autre tout de suite ! ». L'exclamation finale traduit un désir explicite de prolonger l'expérience, un type de réaction rarement observé

dans les discours habituellement associés à l'usage de technologies émergentes chez des participants âgés. Le participant 20 décrit : « j'ai trouvé ça intéressant, j'étais curieux, j'ai trouvé ça cool...la curiosité a pris le dessus ». Ces témoignages révèlent non seulement une absence de réticence, mais une véritable ouverture à la découverte et un émerveillement technologique que l'on pourrait supposer plus caractéristique des jeunes générations.

Les jeunes participants, bien qu'également intéressés par la nouveauté, utilisent un vocabulaire sensiblement plus mesuré et moins émotionnel. Le participant 15 note simplement : « j'avais un peu plus d'intérêt », le participant 8 dit : « c'était plus nouveau donc plus intéressant », des formulations comparatives et modérées. Seul le participant 11 exprime un véritable enthousiasme en trouvant l'expérience « vraiment impressionnante ». Cette relative modération pourrait s'expliquer par une habitude à la nouveauté technologique. Ayant grandi dans un contexte de renouvellement technologique constant, les jeunes participants peuvent être moins surprenables par l'innovation, tandis que les participants âgés, ayant connu une évolution technologique moins rapide dans leur jeunesse, conservent une capacité d'émerveillement plus vive.

4.4.5.3 Appréhension initiale et résolution rapide chez les participants âgés

Un point mérite une attention particulière concernant l'appréhension initiale que certains participants âgés rapportent. Le participant 16 mentionne explicitement : « j'avais un peu d'inquiétude au départ avec le casque, surtout à cause de ma vision ». Cette formulation révèle une conscience de limitations personnelles qui génère une anxiété anticipatoire. Il s'agit d'une forme d'anxiété technologique spécifique, qui n'est pas liée à la complexité perçue de la technologie, mais plutôt à la compatibilité perçue entre ses propres caractéristiques et les exigences de la technologie. Cependant, et cet aspect se révèle fondamental, le participant 16 poursuit : « après l'utilisation tout s'est dissipé, j'étais heureuse, satisfaite de mon expérience ». Cette résolution rapide de l'anxiété par l'expérience directe suggère que les barrières à l'adoption technologique chez les travailleurs âgés peuvent être davantage anticipatoires que réelles. Cette observation est appuyée par le témoignage du participant 2 : « il y a une petite adaptation, mais ça n'a pas été difficile...l'adaptation n'a pas été très longue ». Le HoloLens, malgré sa nouveauté, offre une courbe d'apprentissage douce qui permet une appropriation rapide même pour des utilisateurs âgés sans expérience préalable.

4.5.5.4 Intuitivité spatiale : un facteur d'adoption rapide

Cette facilité d'apprentissage trouve son explication en partie dans ce que le participant 4 identifie comme l'intuitivité spatiale du HoloLens : « même des personnes ordinaires peuvent repérer des problèmes plus facilement, car c'est plus intuitif ». Le HoloLens s'appuie sur des capacités perceptives déjà maîtrisées par les utilisateurs, comme la navigation dans l'espace et la perception en trois dimensions, plutôt que sur l'apprentissage de conventions d'interaction propres aux interfaces graphiques. Cette congruence avec les capacités naturelles réduit la charge d'apprentissage et rend la technologie immédiatement opérationnelle, même pour des utilisateurs novices.

Le participant 18 synthétise particulièrement bien ce phénomène : « vraiment smooth, rapidement je me suis habitué au fait que je ne voyais pas tout dans son ensemble, je n'ai pas trouvé ça frustrant ». Malgré les limitations du champ de vision, une contrainte objective du HoloLens, l'adaptation est décrite comme fluide, suggérant que les possibilités d'usage du casque compensent largement ses limitations techniques pour créer une expérience d'usage rapidement maîtrisée.

Le participant 19 confirme cette intuitivité en déclarant à plusieurs reprises que l'usage était « évident » et « simple ». Le participant 6 ajoute une nuance intéressante en précisant : « les deux sont faciles, mais le casque est plus naturel pour moi, parce que je suis très visuel ». Cette remarque suggère que pour certains utilisateurs, le HoloLens peut même être perçu comme plus naturel que l'iPad malgré sa nouveauté, précisément parce qu'il correspond mieux à leurs modes de traitement cognitif privilégiés.

4.4.5.5 Remise en question des stéréotypes sur le vieillissement et la technologie

Cette analyse remet en question plusieurs présupposés courants concernant le vieillissement et la technologie. Elle suggère d'abord que la nouveauté technologique ne constitue pas intrinsèquement un obstacle pour les travailleurs âgés. Elle démontre ensuite que l'enthousiasme face à l'innovation ne représente pas l'attribut exclusif des jeunes travailleurs. Elle révèle également que les barrières à l'adoption peuvent être davantage d'ordre psychologique que cognitif. Enfin, elle établit qu'une technologie congruente avec les capacités naturelles, comme la

perception spatiale tridimensionnelle, peut être plus facilement adoptée qu'une technologie familière mais cognitivement exigeante, comme la projection 3D à partir de vues 2D sur iPad.

Les participants âgés de cette étude ont démontré non seulement une capacité d'adaptation rapide au HoloLens, mais également un enthousiasme parfois supérieur à celui des jeunes face à cette technologie nouvelle. Cette observation contraste fortement avec les discours habituels concernant la résistance des travailleurs âgés aux nouvelles technologies. Elle suggère que lorsque les technologies s'appuient sur des capacités perceptives communes plutôt que sur des conventions abstraites à apprendre, les écarts générationnels dans l'adoption tendent à diminuer, voire à s'inverser en ce qui concerne l'engagement émotionnel.

4.4.6 Acceptation et intention d'usage futur

L'intention d'usage futur constitue un indicateur clé de l'acceptation technologique, puisqu'elle permet de dépasser l'expérience ponctuelle vécue durant l'expérience pour interroger une éventuelle intégration de la technologie dans la vie quotidienne ou professionnelle des participants. Les résultats mettent en évidence un paradoxe intéressant. Malgré une expérience globalement positive avec le HoloLens, marquée par une meilleure visualisation tridimensionnelle, une réduction de la charge cognitive et un sentiment accru de confiance, aucun participant, qu'il soit jeune ou plus âgé, n'envisage un usage personnel quotidien. Cette dissociation entre la satisfaction vécue lors de l'expérience et l'intention réelle d'adoption appelle une analyse plus approfondie, d'autant plus que les raisons invoquées diffèrent sensiblement selon les groupes d'âge.

Tableau 9 - Acceptation et intention d'usage futur selon la technologie et l'âge

Dimension	HoloLens – Jeunes (n=11)	HoloLens - Âgés (n=9)	IPad – Jeunes (n=11)	IPad - Âgés (n=9)
Usage personnel quotidien	L'usage quotidien personnel est écarté malgré l'expérience positive : « Dans un contexte personnel, je vois peu d'intérêt à utiliser la réalité augmentée au quotidien » (P3). « Je ne pense pas utiliser le casque de façon régulière pour tout le processus » (P10).	L'usage régulier est rejeté avec des justifications explicitement liées à l'âge et à l'absence de nécessité perçue : « Étant donné mon âge, je ne prévois pas l'utiliser régulièrement, car je ne vois pas de nécessité absolue » (P7). « Pour le moment, je ne vois pas l'intérêt, je préfère le voir en concret » (P16).	L'usage quotidien est considéré comme acquis et naturel, constituant une évidence non questionnée : « J'utiliserai l'iPad en priorité, je peux m'en servir pour visualiser des projets en 3D » (P3). « Pour le développement, je préfère l'iPad » (P10).	L'iPad demeure la technologie de référence par défaut : « Je préfère utiliser l'iPad plutôt que le casque pour le moment » (P7).
Usages professionnels ou contextuels spécifiques	Les applications envisagées se situent dans des contextes professionnels institutionnels ou industriels : « Dans un cadre professionnel, ça pourrait être utile » (P3). « Les lunettes 3D pourraient être très utiles dans l'industrie, pour la conception ou la vérification » (P4). « Pour une évaluation ou vérification rapide » (P10). « Les magasins comme Ikea devraient se munir de ce genre de technologie » (P12).	Les applications projetées concernent des situations personnelles ponctuelles et des événements de vie spécifiques : « J'utiliserai le casque pour faire la prévisualisation des prises de vue des images » (P18).	Les usages envisagés s'inscrivent dans la continuité des pratiques établies : « Pour le développement, plus adapté et pratique » (P10).	Aucune projection d'usage spécifique n'est mentionnée, car l'usage est déjà intégré aux routines.

Complémentarité des technologies	Une vision stratégique de complémentarité fonctionnelle entre les technologies émerge : « Je vois ces deux technologies comme complémentaires : le développement du design sur l'iPad, l'évaluation avec le casque » (P10).	Aucune articulation explicite d'une vision de complémentarité n'est formulée.	La vision de complémentarité positionne l'iPad comme outil principal : « Je vois ces deux technologies comme complémentaires : le développement du design sur l'iPad, l'évaluation avec le casque » (P10).	Non mentionné explicitement.
Barrières à l'adoption	Les obstacles identifiés sont principalement d'ordre pragmatique et ergonomique : « Principal inconfort vient de la contrainte visuelle » (P3). « L'ergonomie c'est un peu chiant » (P12).	Les barrières évoquées sont davantage d'ordre identitaire et existentiel, avec des références explicites à l'âge : « Lourd à porter à la longue, fatigant » (P16). « Étant donné mon âge...je ne vois pas de nécessité absolue » (P7). « Pour le moment, je ne vois pas l'intérêt » (P16).	Aucune barrière n'est mentionnée car l'adoption est déjà établie et consolidée.	Aucune barrière n'est mentionnée car l'adoption est déjà établie et consolidée.

4.4.6.1 Rejet convergent de l'usage quotidien : motivations différenciées

La convergence intergénérationnelle dans le rejet d'un usage quotidien du HoloLens apparaît frappante, mais les justifications qui sous-tendent ce rejet divergent significativement entre les groupes d'âge, révélant des mécanismes psychologiques distincts dans les processus décisionnels liés à l'adoption technologique.

Les jeunes participants adoptent une posture essentiellement pragmatique et utilitariste. Le participant 3 établit une distinction claire : « dans un contexte personnel, je vois peu d'intérêt à utiliser la réalité augmentée au quotidien. En revanche, dans un cadre professionnel, ça pourrait être utile ». Le participant 10 précise davantage : « je ne pense pas utiliser le casque de façon régulière pour tout le processus de design. Peut-être pour une évaluation ou une vérification rapide ». Ces formulations laissent apparaître un raisonnement de type coût-bénéfice. Les avantages offerts par le HoloLens ne suffisent pas à compenser ses inconvénients dans le cadre d'usage général et prolongé. En revanche, ils demeurent pertinents pour des tâches spécifiques et ponctuelles, lorsque la visualisation en trois dimensions joue un rôle déterminant.

Cette vision utilitariste trouve son expression dans une conception modulaire et complémentaire des technologies. Le participant 10 le mentionne de manière particulièrement explicite : « je vois ces technologies comme complémentaires : le développement sur l'iPad, l'évaluation avec le casque ». Cette approche stratégique et optimisée consiste à mobiliser chaque technologie pour ses forces spécifiques plutôt que de rechercher une technologie unique et universelle. L'iPad conserve son statut d'outil principal et quotidien, tandis que le HoloLens se voit attribuer un rôle secondaire et occasionnel, destiné à des besoins spécifiques de vérification ou de validation.

Les jeunes participants projettent également le HoloLens dans des contextes professionnels et institutionnels plutôt que personnels. Le participant 4 mentionne qu'il serait « très utile dans l'industrie, pour la conception ou la vérification », le participant 3 évoque un « cadre professionnel », le participant 12 suggère que « les magasins comme Ikea devraient se munir de ce genre de technologie ». Cette projection révèle une dissociation entre l'utilisateur individuel et les lieux d'usage jugés appropriés. Le HoloLens se trouve perçu comme une technologie B2B plutôt que B2C, une infrastructure professionnelle plutôt qu'un bien de consommation personnelle.

Les participants âgés articulent leur non intention d'usage de manière sensiblement plus personnelle et identitaire. Le participant 7 déclare : « étant donné mon âge, je pense que je ne prévois pas les utiliser régulièrement à l'avenir, car je ne vois pas de nécessité absolue ». L'aspect de l'âge comme facteur explicatif mérite une attention particulière. Il ne s'agit manifestement pas d'une difficulté technique, puisque le participant a réussi la tâche, ni d'un désintérêt technique, l'expérience ayant été jugée positive. Il est plutôt question d'un enjeu d'appropriation générationnelle. Cette référence à l'âge semble plutôt traduire un rapport plus distancié à l'innovation, où l'adoption est conditionnée par le sentiment de nécessité et par l'inscription de la technologie dans des pratiques déjà établies.

Cette formulation laisse entrevoir l'influence potentielle des stéréotypes sociaux concernant l'âge et la technologie, selon lesquelles certaines innovations seraient perçues comme ne s'adressant pas à soi, mais plutôt à d'autres générations. Le participant 7 ajoute d'ailleurs : « je ne vois pas de nécessité absolue », suggérant qu'il faudrait une justification forte et impérative pour adopter cette technologie, un seuil d'utilité manifestement plus élevé que pour les jeunes qui peuvent adopter par simple intérêt ou convenance. Le participant 16 utilise une formulation temporellement ambiguë : « pour le moment je ne vois pas l'intérêt, je préfère le voir en concret ». L'expression « pour le moment » laisse une porte ouverte mais demeure vague, tandis que « je préfère le voir en concret » révèle peut-être une préférence pour la matérialité sur la virtualité, une valorisation du tangible parfois associé aux générations habituées à des interactions principalement physiques.

4.4.6.2 Projections d'usage : professionnel institutionnel versus personnel ponctuel

Lorsque les participants âgés envisagent des usages futurs de HoloLens, ceux-ci sont principalement situés dans des contextes personnels et ponctuels, plutôt que professionnels. Le participant 13 explique : « je crois que ça pourrait être utile quand je vais déménager pour la décoration de mon appartement parce que c'est quelque chose avec lequel je suis moins à l'aise donc ça permet de voir les différentes options facilement ». Le participant 18 mentionne pour sa part : « j'utiliserai le casque pour faire la prévisualisation des prises de vue des images ». Ces projections concernent des événements de vie spécifiques plutôt qu'à des usages professionnels généraux.

Cette différence s'avère particulièrement instructive. Les jeunes ont tendance à concevoir le HoloLens comme un outil à vocation professionnelle et institutionnelle, tandis que les participants âgés l'envisagent plutôt comme une aide personnelle et ponctuelle. Cette divergence semble liée à des positions distinctes dans le cycle de vie professionnel. En début ou en milieu de carrière, les jeunes projettent plus facilement les technologies dans un avenir professionnel encore largement ouvert. À l'inverse, les participants âgés, potentiellement en fin de carrière ou déjà retraités, disposent d'un horizon professionnel plus restreint, mais formulent des projets personnels concrets, notamment en lien avec l'aménagement de l'espace ou des activités de loisirs créatifs.

4.4.6.3 Permanence de l'iPad comme technologie de référence

Une observation fondamentale émerge concernant la permanence de l'iPad comme technologie de référence. Malgré les avantages reconnus du HoloLens, l'ensemble des participants qui expriment une préférence indiquent vouloir utiliser « l'iPad en priorité » (P3), « préférer l'iPad » (P10, P7). Cette résistance à la substitution s'explique par plusieurs facteurs qui se combinent.

Tout d'abord, il existe une inertie technologique. L'iPad s'inscrit déjà dans des routines établies, mobilise des compétences acquises et s'intègre dans des écosystèmes de fichiers et d'applications. Le remplacer impliquerait un coût de transition, en termes d'apprentissage, de réorganisation et d'investissement, que les avantages du HoloLens ne semblent pas compenser pour la majorité des usages envisagés.

Ensuite, la polyvalence joue un rôle important. L'iPad permet une multiplicité de tâches, comme la communication, la navigation web, la productivité ou le divertissement, tandis que le HoloLens est perçu comme un outil spécialisé, principalement destiné à la visualisation 3D.

Enfin, l'ergonomie influence fortement les intentions d'usage. Malgré ses limites cognitives pour la visualisation tridimensionnelle, l'iPad offre un confort physique supérieur pour des usages prolongés, ce qui constitue un facteur décisif pour une technologie destinée à un usage quotidien.

4.4.6.4 Implications pour la compréhension de l'adoption technologique

Cette analyse suggère que l'adoption technologique ne suit pas une logique simple de remplacement du moins performant par le plus performant. Elle répond plutôt à une écologie complexe de facteurs, tels que l'utilité perçue pour des tâches spécifiques, le confort physique, l'intégration dans des pratiques établies, le coût de transition et la congruence perçue avec l'identité et le stade de vie de l'utilisateur.

Le HoloLens occupe une position particulière malgré les bénéfices observés dans cette étude. Il s'agit d'une technologie admirée et appréciée lors d'une expérience ponctuelle, reconnue comme utile dans certains contextes, mais non adoptée pour un usage régulier. Cette situation peut refléter une tension propre à la réalité augmentée, qui offre une expérience immersive et spécialisée, mais dont l'usage semble se limiter à des occasions précises, tandis que des technologies moins impressionnantes mais plus flexibles et plus confortables restent des outils quotidiens. Cette observation soulève des questions importantes pour le design et le positionnement des technologies émergentes, notamment pour des populations qui intègrent explicitement des considérations identitaires et générationnelles dans leurs décisions d'adoption.

4.5 Synthèse des résultats majeurs

L'analyse thématique des données qualitatives a permis d'identifier six thèmes principaux relatifs à l'expérience utilisateur de la réalité augmentée et des représentations 3D dans un contexte d'évaluation : la perception spatiale et la visualisation, la charge cognitive et l'effort mental, l'ergonomie et le confort physique, la confiance dans l'évaluation et l'aide à la décision, la facilité d'utilisation et la courbe d'apprentissage, et l'acceptation et l'intention d'usage futur. Ces thèmes émergents reflètent les diverses dimensions de l'interaction entre les utilisateurs et les technologies étudiées, allant des aspects perceptuels et cognitifs aux considérations pratiques, émotionnelles et comportementales.

Parmi ces six thèmes, trois ont révélé des différences notables selon l'âge des participants. Ces différences générationnelles ne portent pas sur la capacité objective à utiliser les technologies, mais plutôt sur la manière dont l'expérience est vécue et exprimée par les deux groupes d'âge.

Premièrement, la charge cognitive et l'effort mental liés à l'utilisation de l'iPad pour visualiser des environnements 3D à partir de vues 2D semblent plus pénibles chez les participants âgés. Les jeunes reconnaissent l'effort nécessaire en termes neutres, parlant d'« effort cognitif » ou de la nécessité de « créer une image mentale en 3D ». Les participants âgés utilisent un vocabulaire beaucoup plus chargé émotionnellement. Ils parlent de « se casser la tête » ou disent que « c'était vraiment compliqué ». Cette différence suggère que l'effort de visualisation spatiale impose une charge subjective plus lourde selon l'âge. Les participants âgés rapportent une fatigue cognitive plus intense et une difficulté accrue à maintenir une représentation mentale stable de l'espace.

Deuxièmement, l'ergonomie et le confort physique constituent une préoccupation plus marquée chez les participants âgés, particulièrement avec le HoloLens. Les jeunes formulent surtout des critiques fonctionnelles, comme le champ de vision restreint ou la nécessité de bouger la tête. Les participants âgés développent un discours beaucoup plus corporel et sensoriel. Ils rapportent un inconfort progressif lié au poids du casque, une accumulation de chaleur, une fatigue oculaire accrue et l'impossibilité de détourner le regard pour obtenir des « pauses visuelles ». Cette sensibilité accrue indique que le confort physique constitue pour eux une condition nécessaire à l'adoption d'une technologie, et non simplement un attribut souhaitable.

Troisièmement, la confiance dans l'évaluation et l'aide à la décision diffère radicalement selon les groupes d'âge. Cette dimension reste pratiquement invisible pour les jeunes tout en constituant un enjeu central pour les participants âgés. Les jeunes développent peu de discours sur leur niveau de confiance en leurs capacités d'évaluation. Ils se concentrent sur des aspects fonctionnels comme la performance et l'efficacité. Les participants âgés articulent de manière riche comment le HoloLens augmente leur confiance. Ils décrivent une « certitude absolue », l'élimination totale du doute et un sentiment accru de crédibilité professionnelle. À l'inverse, l'iPad déclenche des insécurités préexistantes concernant leurs capacités spatiales, générant de l'anxiété et une remise en question de leur compétence. Cette asymétrie révèle que pour les participants âgés, la technologie affecte non seulement ce qu'ils peuvent faire, mais également comment ils se perçoivent en tant qu'évaluateurs compétents.

Les trois autres thèmes ne présentent pas de variations substantielles liées à l'âge, bien que des nuances générationnelles émergent dans leur articulation. La supériorité du HoloLens pour la compréhension spatiale est unanimement reconnue, constituant le point de consensus le plus fort de l'étude. La facilité d'apprentissage du HoloLens et l'enthousiasme face à cette technologie transcendent les groupes d'âge, remettant en question les stéréotypes sur la réticence supposée des travailleurs âgés face aux innovations. Enfin, le rejet d'usage quotidien du HoloLens au profit de l'iPad est partagé par tous les participants, suggérant que le confort ergonomique, la polyvalence fonctionnelle et l'intégration dans des pratiques établies l'emportent sur les avantages cognitifs pour déterminer l'adoption d'une technologie.

Chapitre 5 : Discussion et conclusion

5.1 Discussion des résultats principaux

L'objectif de cette étude était d'explorer comment l'utilisation de la réalité augmentée, comparativement aux technologies non immersives, influence l'expérience utilisateur dans le cadre de tâches d'évaluation en contexte 3D, en tenant compte des différences générationnelles entre travailleurs âgés et travailleurs plus jeunes. Plus précisément, il s'agissait de comprendre en quoi la réalité augmentée influence l'expérience vécue lors de ces tâches, et comment cet impact varie selon l'âge des utilisateurs.

Le premier objectif était d'identifier les dimensions clés de l'expérience utilisateur qui différencient la réalité augmentée des technologies non immersives. L'analyse a révélé six thèmes principaux, dont la perception spatiale et la visualisation 3D, la charge cognitive, l'ergonomie, la confiance dans l'évaluation, la facilité d'utilisation et l'acceptation technologique. La supériorité du HoloLens pour la compréhension spatiale a été unanimement reconnue. Les participants décrivant une appréhension immédiate de l'espace, éliminant l'effort mental nécessaire avec l'iPad pour construire une représentation 3D à partir d'une interface 2D.

Le second objectif était de comprendre comment ces dimensions varient selon l'âge. Les résultats montrent que trois dimensions présentent des différences générationnelles marquées : la charge cognitive, l'ergonomie et la confiance. Ces différences se manifestent moins au niveau de la performance objective que dans la qualité de l'expérience vécue. Les travailleurs âgés vivent l'effort de visualisation 2D comme épuisant et anxiogène, expriment des préoccupations ergonomiques plus marquées concernant le poids et la fatigue visuelle, et voient leur confiance professionnelle profondément affectée par le choix technologique, dimension quasi-absente du discours des jeunes participants.

5.1.1 Charge cognitive et effort mental

L'effort mental requis pour visualiser des environnements 3D à partir de vues 2D est vécu de manière qualitativement différente selon l'âge. Les jeunes participants reconnaissent cet effort en termes neutres et factuels, tandis que les participants âgés emploient un vocabulaire émotionnellement chargé révélant une expérience difficile et déstabilisante. Le HoloLens élimine cet effort pour les deux groupes, mais cette réduction a une valeur psychologique beaucoup plus importante pour les travailleurs âgés.

Ce résultat étend les travaux d'Alessa et al. (2023) qui ont démontré que les instructions basées sur la réalité augmentée augmentent la charge cognitive mesurée par EEG et NASA-TLX, particulièrement pour les tâches complexes. Cependant, leur étude portait sur des participants jeunes (27-35 ans) et mesurait la charge cognitive objective sans explorer les différences générationnelles dans l'expérience subjective de cette charge. La recherche actuelle révèle que la charge cognitive imposée par les représentations 2D n'est pas seulement plus élevée objectivement pour les travailleurs âgés, mais qu'elle est surtout vécue comme plus épuisante et anxiogène. Ce résultat nuance également Tams et Dulipovici (2022), qui a montré que l'auto-efficacité et l'expérience technologique peuvent atténuer l'impact négatif de l'âge sur les performances dans les tâches activées par la TI. Les données actuelles suggèrent que même lorsque la performance objective est comparable, l'expérience subjective de difficulté demeure qualitativement différente chez les travailleurs âgés lors de l'utilisation de technologies non immersives pour des tâches de visualisation 3D.

Ce résultat étend la littérature existante en révélant que la différence générationnelle face à la réalité augmentée ne réside pas principalement dans la capacité à l'utiliser, mais dans la valeur psychologique de la réduction de charge cognitive qu'elle procure comparativement aux technologies non immersives, une dimension largement absente des études actuelles qui se concentrent principalement sur des mesures de performance. Ainsi, la réduction de charge cognitive offerte par la réalité augmentée par rapport aux représentations 2D possède une valeur psychologique et émotionnelle distincte selon l'âge, ce qui suggère que les bénéfices de cette technologie pour les tâches d'évaluation 3D dépassent la simple amélioration de performance chez les travailleurs âgés.

5.1.2 Ergonomie et confort physique

Les préoccupations ergonomiques liées au HoloLens sont significativement plus marquées chez les participants âgés, qui développent un discours corporel et sensoriel élaboré concernant le poids du casque, la chaleur, la fatigue oculaire et le besoin de « pauses visuelles ». Les jeunes participants formulent principalement des critiques fonctionnelles liées au champ de vision restreint. L'iPad, par contraste, est valorisé pour son confort physique par les deux groupes, mais cette dimension prend une importance décisive dans les intentions d'adoption chez les travailleurs âgés.

Ce résultat confirme les observations de Margrett et al. (2022) dans leur revue systématique sur l'utilisation de la réalité étendue par les personnes âgées, qui ont identifié la cybersickness et les limitations physiques liées aux casques comme des défis majeures pour cette population. L'étude étend ces travaux en révélant une préoccupation spécifique et nouvelle concernant l'impossibilité de détourner le regard pour obtenir des « pauses visuelles », dimension non documentée dans la littérature existante. Cette observation contraste avec l'étude de Grabowski et al. (2021) qui a montré que les travailleurs âgés (50 ans et plus) ressentent une charge mentale et une frustration plus élevée lors de l'utilisation de technologies immersives comparativement aux jeunes travailleurs. Les résultats de cette étude confirment également les conclusions de Danielsson et al. (2020) concernant les limitations ergonomiques des lunettes intelligentes de réalité augmentée (poids, autonomie de batterie, confort), mais révèlent que ces limitations ont un impact différentiel significatif selon l'âge et peuvent compromettre l'adoption malgré les avantages cognitifs évidents pour les travailleurs âgés.

Ce résultat confirme les recherches existantes sur les défis ergonomiques des HMD mais étend la compréhension en identifiant que ces contraintes physiques constituent des barrières à l'adoption disproportionnellement importantes pour les travailleurs âgés, créant un paradoxe où la réalité augmentée offre les plus grands bénéfices cognitifs à la population pour laquelle elle impose les plus grands coûts ergonomiques. Ainsi, le confort physique apparaît comme un critère d'adoption plus déterminant que les avantages cognitifs pour les populations âgées dans le choix entre la réalité augmentée et les technologies non immersives, ce qui suggère que des améliorations ergonomiques substantielles des dispositifs sont essentielles pour permettre aux travailleurs âgés de bénéficier pleinement des avantages de la réalité augmentée dans les tâches d'évaluation 3D.

5.1.3 Confiance dans l'évaluation

Le choix technologique affecte profondément la confiance perçue et l'identité professionnelle différemment selon l'âge. Cette dimension est quasi-absente du discours des jeunes participants mais constitue un enjeu central et émotionnellement chargé pour les participants âgés. Les HoloLens augmente considérablement leur confiance en éliminant l'incertitude perceptuelle, tandis que l'iPad déclenche des insécurités préexistantes concernant leurs capacités spatiales, générant anxiété et remise en question de leur compétence professionnelle.

Ce résultat révèle une dimension absente des modèles d'acceptation technologique comme le TAM et l'UTAUT qui négligent les dimensions identitaires et de confiance en soi dans l'évaluation comparative des technologies. Il étend de manière significative les travaux de Tams et Dulipovici (2022) qui a identifié l'auto-efficacité comme modérateur de l'impact de l'âge sur les performances technologiques. Notre étude révèle que la confiance ne concerne pas seulement la capacité à utiliser la technologie (auto-efficacité technologique), mais touche à l'identité professionnelle et au sentiment de légitimité en tant qu'évaluateur compétent, dimension particulièrement affectée par le choix entre réalité augmentée et technologies non immersives pour les travailleurs âgés. Cette dimension étend également les observations de Seifert et Schlomann (2021) qui ont recommandé des approches participatives pour améliorer l'acceptation de la réalité augmentée chez les travailleurs âgés, en révélant que l'acceptation dépend non seulement de l'utilisabilité mais aussi de l'impact émotionnel et identitaire du choix technologique. Le résultat prolonge les conclusions de Peleg-Adler et al. (2018) qui ont trouvé que les personnes âgées apprécient davantage la réalité augmentée malgré des performances plus lentes. L'étude actuelle ajoute une explication psychologique : cette appréciation provient du sentiment de confiance et de certitude que la réalité augmentée procure, en éliminant les doutes anxiogènes associés aux représentations 2D.

Ce résultat révèle une dimension critique absente des modèles d'acceptation technologique traditionnels et étend considérablement la compréhension des différences générationnelles en montrant que la confiance en soi et l'identité professionnelle constituent des dimensions différenciatrices majeures dans la comparaison entre la réalité augmentée et les technologies non immersives pour les travailleurs âgés, mais non pour les jeunes travailleurs. Ainsi, l'évaluation comparative des technologies de visualisation 2D destinées aux populations âgées doit intégrer des

mesures de confiance, d'identité professionnelle et de bien-être émotionnel, et non se limiter à la performance objective ou à l'intention d'usage. Les interventions visant l'adoption de la réalité augmentée auprès des travailleurs âgés devraient cibler la confiance et le sentiment de légitimité professionnelle plutôt que se limiter à la formation technique, tout en reconnaissant que les technologies non immersives peuvent paradoxalement fragiliser cette confiance malgré leur familiarité.

5.1.4 Synthèse intégrative des résultats

Les résultats mettent en évidence une dynamique cohérente selon laquelle la réalité augmentée modifie l'expérience utilisateur de manière asymétrique en fonction de l'âge. Pour les travailleurs âgés, elle supprime l'effort mental imposé par les représentations 2D et atténue l'anxiété liée à la visualisation spatiale, tout en renforçant la confiance professionnelle grâce à une perception plus certaine de l'espace. Ces bénéfices cognitifs et psychologiques s'accompagnent toutefois de contraintes physiques plus marquées, susceptibles de freiner l'adoption malgré les avantages perçus.

Chez les jeunes travailleurs, l'expérience repose principalement sur des considérations fonctionnelles. La réalité augmentée améliore la visualisation et accélère la localisation spatiale, mais entraîne ni transformations identitaires ni effets émotionnels notables. L'écart générationnel ne se limite donc pas à une différence d'intensité dans l'expérience vécue. Il renvoie plutôt à une transformation qualitative de la manière dont les technologies sont interprétées et intégrées dans la pratique professionnelle. Ce qui constitue un simple gain d'efficacité pour les jeunes devient, pour les travailleurs âgés, un enjeu de bien-être, de confiance et de légitimité professionnelle. Cette asymétrie révèle que l'âge façonne profondément la manière dont les technologies immersives sont perçues et vécues.

5.2 Contributions de la recherche

5.2.1 Contributions théoriques

Cette étude apporte plusieurs contributions à la littérature sur l'expérience utilisateur de la réalité augmentée et les différences générationnelles face aux technologies non immersives. Cette étude approfondit la compréhension des différences générationnelles dans l'expérience technologique en démontrant que l'âge influence principalement la qualité de l'expérience vécue plutôt que la performance objective. Bien que la littérature existante se concentre majoritairement sur les

déficits de performance chez les travailleurs âgés, cette recherche révèle que les différences générationnelles se manifestent surtout dans la manière dont l'effort cognitif est ressenti, articulé et toléré. Cette contribution déplace le focus analytique de « ce que les utilisateurs peuvent faire » vers « comment ils vivent ce qu'ils font », enrichissant ainsi les travaux sur la charge cognitive (Sweller et al., 2019) et sur l'expérience utilisateur (Hassenzahl, 2010) en soulignant l'importance de dimensions subjectives, notamment émotionnelles et identitaires, dont l'expression et l'importance varient selon l'âge.

Une contribution théorique significative de cette étude concerne l'identification de la confiance en soi comme dimension centrale et différenciatrice de l'expérience technologique pour les travailleurs âgés, dimension pratiquement invisible pour les jeunes utilisateurs. Cette recherche démontre que le choix entre réalité augmentée et technologies non immersives ne constitue pas simplement une décision technique pour les travailleurs âgés, mais touche à des enjeux identitaires et de légitimité professionnelle. En révélant que la technologie peut activer ou miner des insécurités préexistantes concernant les capacités spatiales, cette étude enrichit les modèles d'acceptation technologique (TAM ; Davis, 1989 ; UTAUT ; Venkatesh et al., 2003) en proposant d'intégrer des variables liées à la confiance professionnelle et à l'identité, dont l'importance varie selon l'âge. Elle suggère enfin que l'évaluation des technologies destinées aux travailleurs âgés gagne à inclure systématiquement des mesures de confiance perçue.

Une autre contribution à la littérature réside dans la remise en question empirique des stéréotypes persistants concernant la résistance des travailleurs âgés face aux nouvelles technologies. Contrairement aux présupposés courants, cette étude démontre que les travailleurs âgés manifestent un enthousiasme et une curiosité remarquables face à la réalité augmentée, technologie pourtant radicalement nouvelle pour eux. Ils révèlent également une capacité d'apprentissage rapide et une appréciation parfois supérieure à celle des jeunes utilisateurs. Cette observation confronte directement les discours qui attribuent les difficultés d'adoption à une rigidité cognitive liée à l'âge. Elle invite plutôt à repenser l'analyse du vieillissement technologique en déplaçant l'attention des déficits individuels supposés vers l'adéquation entre les caractéristiques des technologies et les besoins des populations vieillissantes. Elle suggère enfin que les technologies reposant sur des capacités perceptives naturelles réduisent les écarts générationnels dans l'adoption technologique.

5.2.2 Contributions pratiques

D'un point de vue pratique, les résultats de cette étude fournissent des perspectives pour les concepteurs de technologies non immersives et les organisations. Pour les concepteurs, cette recherche souligne la nécessité d'intégrer les dimensions émotionnelles et identitaires dans le design, au-delà des considérations purement fonctionnelles. Les résultats démontrent l'importance d'améliorer l'ergonomie des casques, notamment en termes de réduction du poids, de gestion de la chaleur et de confort pour usage prolongé. De plus, le développement de mécanismes permettant des pauses visuelles pour atténuer la fatigue attentionnelle constitue une priorité de conception spécifique aux besoins des travailleurs âgés. Enfin, la conception d'interfaces qui renforcent la confiance des utilisateurs en éliminant l'incertitude perceptuelle sans créer de nouvelles sources d'anxiété représente un enjeu critique pour favoriser l'adoption auprès de cette population.

Pour les organisations et les gestionnaires, les résultats suggèrent de positionner stratégiquement la réalité augmentée comme outil complémentaire et spécialisé plutôt que comme remplacement universel des technologies existantes. L'accompagnement des travailleurs âgés devrait cibler prioritairement la dimension psychologique de la confiance et du sentiment de légitimité professionnelle plutôt que se limiter à la formation technique, ces travailleurs démontrant des capacités d'apprentissage rapides mais exprimant des préoccupations identitaires absentes chez leurs collègues plus jeunes. Les organisations devraient également reconnaître et valoriser l'enthousiasme des travailleurs âgés face aux nouvelles technologies pour contrer les stéréotypes âgistes qui peuvent miner leur confiance. Enfin, la communication organisationnelle devrait expliquer la valeur ajoutée spécifique de la réalité augmentée pour les tâches d'évaluation spatiale complexes tout en validant la pertinence continue des outils traditionnels pour l'usage quotidien, créant ainsi un environnement inclusif où les travailleurs âgés se sentent soutenus dans leur adoption technologique.

5.3 Les limitations de l'étude

Cette étude présente plusieurs limites qu'il convient de reconnaître. Premièrement, le nombre de participants par groupe d'âge, bien que suffisant pour faire émerger des tendances et des idées significatifs, demeure limité pour tester rigoureusement ces observations. Cette taille d'échantillon restreinte limite la généralisabilité des résultats à des populations plus larges et plus diversifiées de travailleurs jeunes et âgés, notamment dans des contextes organisationnels.

Deuxièmement, l'étude repose sur des catégories d'âge binaires (jeunes et âgés), alors que le niveau de familiarité, de compétence et de confiance numérique peut varier considérablement au sein même de ces groupes. Cette simplification pourrait masquer des nuances importantes liées à l'expérience technologique individuelle plutôt qu'à l'âge seul.

Troisièmement, les conclusions s'appuient sur des tâches d'évaluation 3D réalisées dans un contexte précis d'aménagement de bureaux. Ces résultats pourraient ne pas être entièrement transférables à d'autres types de tâches professionnelles où les exigences cognitives, spatiales et physiques diffèrent.

Quatrièmement, la durée limitée de l'expérience en laboratoire ne permet pas de capturer les effets d'un usage prolongé et répété des technologies. Certains enjeux liés à l'ergonomie, à la fatigue, à l'adaptation progressive ou au développement de stratégies de compensation pourraient émerger dans des contextes réels de travail et influencer différemment l'expérience selon l'âge.

Enfin, le caractère qualitatif de l'analyse limite la possibilité de quantifier précisément l'ampleur des différences observées entre les technologies et les groupes d'âge. L'ajout de mesures quantitatives complémentaires aurait permis de renforcer la généralisation des résultats et de mieux situer ces observations exploratoires par rapport à des populations plus larges.

5.4 Recherches futures

Les résultats de cette étude ouvrent plusieurs avenues pour des recherches futures sur l'utilisation de la réalité augmentée en contexte professionnel et sur les différences générationnelles qui y sont associées. Des recherches ultérieures pourraient notamment approfondir l'analyse des différences observées en intégrant des mesures objectives de charge cognitive, de performance et de fatigue, afin de mieux caractériser les effets de la réalité augmentée selon les groupes d'âge.

Par ailleurs, l'extension de cette recherche à d'autres types de tâches et d'environnements professionnels permettrait de vérifier la transférabilité des résultats. Des études dans des environnements de travail plus dynamiques ou pour des tâches nécessitant une plus grande dextérité physique ou une collaboration intensive pourraient identifier de nouveaux facteurs d'influence liés à la complexité de la tâche ou aux contraintes environnementales.

Par la suite, des recherches futures pourraient explorer si des fonctionnalités d'assistance ou de personnalisation peuvent atténuer les défis ergonomiques et cognitifs de la réalité augmentée identifiés dans cette étude. L'investigation de mécanismes adaptatifs qui ajustent l'interface selon les besoins spécifiques de chaque groupe d'âge représente une piste prometteuse pour maximiser les bénéfices de la réalité augmentée tout en minimisant ces contraintes.

De plus, une compréhension approfondie des mécanismes psychologiques qui génèrent ou minent la confiance dans les technologies de réalité augmentée mériterait d'être explorée. Des études longitudinales pourraient examiner comment cette confiance évolue avec l'expérience et influence l'acceptation à long terme, particulièrement chez les travailleurs âgés pour qui cette dimension s'avère centrale.

Finalement, des recherches pourraient examiner si l'utilisation de la réalité augmentée peut améliorer la collaboration intergénérationnelle sur des tâches d'évaluation 3D. Explorer comment la réalité augmentée pourrait faciliter le transfert de connaissances et capitaliser sur les forces complémentaires de chaque groupe d'âge constituerait une contribution importante pour des environnements de travail de plus en plus multigénérationnels.

5.5 Conclusion

En conclusion, cette étude fournit des perspectives importantes sur la manière dont la réalité augmentée influence l'expérience utilisateur différemment selon l'âge dans les tâches d'évaluation 3D. Les résultats révèlent que les travailleurs âgés bénéficient de réductions significatives de charge cognitive, tout en faisant face à des défis ergonomiques plus marqués qui compromettent l'adoption. Alors que les technologies immersives continuent de transformer les environnements de travail, il existe un besoin urgent de recherches approfondies sur les mécanismes psychologiques et physiques qui façonnent l'expérience générationnelle. Mieux comprendre ces mécanismes permettra aux concepteurs et aux organisations de développer des solutions technologiques véritablement inclusives, qui soutiennent de manière concrète le vieillissement actif au travail.

Bibliographie

- Alessa, F. M., Alhaag, M. H., Alharkan, I. M., Ramadan, M. Z., & Alqahtani, F. M. (2023). A neurophysiological evaluation of cognitive load during augmented reality interactions in various industrial maintenance and assembly tasks. *Sensors*, 23, 7698. <https://doi.org/10.3390/s23187698>
- Aschenbrenner, D., Rojko, M., Leutert, F., Verlinden, J., Lukosch, S., Latoschik, M. E., & Schilling, K. (2018). Comparing different augmented reality support applications for cooperative repair of an industrial robot. *Proceedings of the 2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, (pp.69-74). IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8699260>
- Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., Graf, S., & Kinshuk. (2014). Augmented reality trends in education: A systematic review of research and applications. *Journal of Educational Technology & Society*, 17(4), 133-149.
- Blattgerste, J., Streng, B., Renner, P., Pfeiffer, T., & Essig, K. (2017). Comparing conventional and augmented reality instructions for manual assembly tasks. *Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments (PETRA '17)*, (pp.75-82). <https://doi.org/10.1145/3056540.3056547>
- Bowman, D. A., Kruijff, E., LaViola, J. J., Jr., & Poupyrev, I. (2005). *3D user interfaces: Theory and practice*. Addison-Wesley.
- Büttner, S., Prilla, M., & Röcker, C. (2020). Augmented reality training for industrial assembly work – Are projection-based AR assistive systems an appropriate tool for assembly training? *Proceedings of the 2020 ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*. (CHI '20) ACM. <https://doi.org/10.1145/3313831.3376720>
- Calzavara, M., Battini, D., Bogataj, D., Sgarbossa, F., & Zennaro, I. (2020). Ageing workforce management in manufacturing systems: State of the art and future research agenda. *International Journal of Production Research*, 58(3), 729-747. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1600759>
- Carmigniani, J., Furht, B., Anisetti, M., Ceravolo, P., Damiani, E., & Ivkovic, M. (2011). Augmented reality technologies, systems and applications. *Multimedia Tools and Applications*, 51(2), 341-377. <https://doi.org/10.1007/s11042-010-0660-6>
- CGS. (2020). Adapting to COVID-19: Augmented reality solutions. <https://www.cgsinc.com/blog/adapting-covid-19-augmented-reality-solutions>

- Chu, C.-H., & Ko, C.-H. (2021). An experimental study on augmented reality assisted manual assembly with occluded components. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 685-695. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.04.003>
- Danielsson, O., Holm, M., & Syberfeldt, A. (2020). Augmented reality smart glasses in industrial assembly: Current status and future challenges. *Journal of Industrial Information Integration*, 20, 100175. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2020.100175>
- Davis, F. D. (1989). *Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology*. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–340. <https://doi.org/10.2307/249008>
- Derby, J. L., & Chaparro, B. S. (2020). Use of augmented reality by older adults. Q. Gao & J. Zhou (Eds.), *Human aspects of IT for the aged population. Technologies, design and user experience* (pp. 125-132). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50252-2_10
- Gordon, P. A. (2018). Age diversity in the workplace. *Diversity and inclusion in the global workplace: Aligning initiatives with strategic business goals* (pp. 31-47). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-54993-4_3
- Grabowski, A., Jankowski, J., & Wodzinski, M. (2021). Teleoperated mobile robot with two arms: The influence of a human-machine interface, VR training and operator age. *International Journal of Human-Computer Studies*, 156, 102707. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2021.102707>
- Hassenzahl, M. (2010). *Experience design: Technology for all the right reasons*. Synthesis Lectures on Human-Centered Informatics, 3(1), 1-95. <https://doi.org/10.2200/S00261ED1V01Y201003HCI008>
- Kim, J., Lorenz, M., Knopp, S., & Klimant, P. (2020). Industrial augmented reality: Concepts and user interface designs for augmented reality maintenance worker support systems. 2020 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct), 162-164. <https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct51615.2020.00032>
- Kortekamp, S.-S., Werning, S., Thomas, O., & Ickerott, I. (2019). The future of digital work: Use cases for augmented reality glasses. *Proceedings of the 27th European Conference on Information Systems (ECIS 2019) – Research papers*. Stockholm & Uppsala, Sweden, June 8-14, 2019. https://aisel.aisnet.org/ecis2019_rp/165
- Lefebvre, P. (2021). *Design of an augmented reality health activity platform for older adults living in long-term care* [Mémoire de maîtrise]. University of Ottawa. <http://dx.doi.org/10.20381/ruor-26077>

- Liu, S.-F., Tseng, Y.-W., & Chang, C.-F. (2020). The effect of sensory feedback on time perception of interface indicator from age difference. Q. Gao & J. Zhou (Eds.), *Human aspects of IT for the aged population. Technologies, design and user experience* (LNCS 12207, pp. 184-196). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50252-2_14
- Loch, F., Quint, F., & Brishtel, I. (2016). Comparing video and augmented reality assistance in manual assembly. *2016 12th International Conference on Intelligent Environments (IE)*, (pp. 147-150). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IE.2016.31>
- Lynn, T., Rosati, P., Conway, E., & van der Werff, L. (2023). Introducing the future of work: Key trends, concepts, technologies and avenues for future research. T. Lynn, P. Rosati, E. Conway, & L. van der Werff (Eds.), *The future of work* (pp. 1–177). Palgrave Studies in Digital Business & Enabling Technologies. Palgrave Macmillan. https://doi.org/10.1007/978-3-031-31494-0_1
- Malik, S. A., Azuddin, M., Abdullah, L. M., & Mahmud, M. (2015). Exploring older people's experience with augmented reality (AR) applications. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10(23), 18004-18011.
- Margrett, J. A., Ouverson, K. M., Gilbert, S. B., Phillips, L. A., & Charness, N. (2022). Older adults' use of extended reality: A systematic review. *Frontiers in Virtual Reality*, 2, 760064. <https://doi.org/10.3389/frvir.2021.760064>
- Market Research Future. (2024). *Immersive technology market overview*. <https://www.marketresearchfuture.com/reports/immersive-technology-market-12127>
- Medina Herrera, I. M., Castro García, M., Gonzalez-Briones, A., De La Prieta, F., & Corchado, J. M. (2024). Enhancing mathematical education with spatial visualization tools. *Frontiers in Education*, 9, 1229126. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1229126>
- Mengoni, M., Iualè, M., Peruzzini, M., & Germani, M. (2015). An adaptable AR user interface to face the challenge of ageing workers in manufacturing. J. Zhou & G. Salvendy (Eds.), *ITAP 2015, Part II*, (LNCS 9194, pp. 311-323). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-20913-5_29
- Mohler, B. J. (2008). *The use of head mounted displays for spatial tasks from an egocentric perspective*. [Thèse de doctorat]. University of Utah. <https://doi.org/10.18260/edgj.v72i2.49>
- Ogunseiju, O. R., Gonsalves, N., Akanmu, A. A., Bairaktarova, D., Bowman, D. A., & Jazizadeh, F. (2022). Mixed reality environment for learning sensing technology

- applications in construction: A usability study. *Advanced Engineering Informatics*, 53, 101637. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101637>
- Park, D. C., & Festini, S. B.. (2017). Theories of memory and aging: A look at the past and a glimpse of the future. *The Journals of Gerontology: Series B*, 72(1), 82-90. <https://doi.org/10.1093/geronb/gbw066>
- Peleg-Adler, R., Lanir, J., & Korman, M. (2018). The effects of aging on the use of handheld augmented reality in a route planning task. *Computers in Human Behavior*, 81, 52-62. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.12.003>
- PTC. (2025). *Augmented reality solutions for service: Remote assistance*. <https://www.ptc.com/en/technologies/augmented-reality/solutions-for-service/remote-assistance>
- Rossi, M., Papetti, A., Germani, M., & Marconi, M. (2021). An augmented reality system for operator training in the footwear sector. *Computer-Aided Design and Applications*, 18(4), 692-703. <https://doi.org/10.14733/cadaps.2021.692-703>
- Seifert, A., & Schlomann, A. (2021). The use of virtual and augmented reality by older adults: Potentials and challenges. *Frontiers in Virtual Reality*, 2, 639718. <https://doi.org/10.3389/frvir.2021.639718>
- Spandonidis, C., Giannopoulos, F., Agulló, J., Tachos, N. S., Frederiksen, L., Martín, A., & Carvajal, R. G. (2023). Development of visual sensors and augmented reality based smart glasses for enhancement of business sustainability and wellbeing of the aging workforce. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 26(6), 18-27. <https://doi.org/10.1109/MIM.2023.10217030>
- Statista. (2024). *Augmented reality (AR) and virtual reality (VR) - Worldwide*. <https://www.statista.com/outlook/amo/ar-vr/worldwide>
- Suh, A., & Prophet, J. (2018). The state of immersive technology research: A literature analysis. *Computers in Human Behavior*, 86, 77-90. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.04.019>
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (2019). Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. *Educational Psychology Review*, 31(2), 261-292. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5>
- Syberfeldt, A., Danielsson, O., Holm, M., & Wang, L. (2015). Visual assembling guidance using augmented reality. *Procedia Manufacturing*, 1, 98-109. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.09.068>

- Tams, S., & Dulipovici, A. (2022). The creativity model of age and innovation with IT: Why older users are less innovative and what to do about it. *European Journal of Information Systems*, 31(5), 615-641. <https://doi.org/10.1080/0960085X.2022.2137064>
- The Guardian. (2025, juin 27). Closing the skills gap with AR and remote support. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/the-digital-workspace-reimagined/2025/jun/27/closing-the-skills-gap-with-ar-and-remote-support>
- Thomas, M. D. (2019). Intelligent realities for workers using augmented reality, virtual reality and beyond. *IIC Journal of Innovation*, mars 2019, 1-18.
- U.S. Bureau of Labor Statistics. (2025). *Labor force share, by age group, 2004, 2014, 2024, and projected 2034*. <https://www.bls.gov/emp/graphics/labor-force-share-by-age-group.htm>
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). *User acceptance of information technology: Toward a unified view*. *MIS Quarterly*, 27(3), 425-478. <https://doi.org/10.2307/30036540>
- Wang, C.-H., Tsai, N.-H., Lu, J.-M., & Wang, M.-J. J. (2019). Usability evaluation of an instructional application based on Google Glass for mobile phone disassembly tasks. *Applied Ergonomics*, 77, 58-69. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.01.007>
- Webster, J., & Watson, R. T. (2002). Analyzing the past to prepare for the future: Writing a literature review. *MIS Quarterly*, 26(2), xiii-xxiii. <http://jstor.org/stable/4132319>
- Yang, Y., Karreman, J., & de Jong, M. (2020). Comparing the effects of paper and mobile augmented reality instructions to guide assembly tasks. 2020 IEEE International Professional Communication Conference (ProComm), 165-172. <https://doi.org/10.1109/ProComm48883.2020.00021>

Annexes

Annexe A - Liste des énoncés de la tâche d'évaluation

Bureau Fleur – Énoncés

L'employé accède à ses dossiers entreposés dans l'armoire murale.

- Je note, merci. Puis-je passer à la prochaine question ?

L'employé reçoit souvent des visiteurs dans son bureau et discute avec eux.

- Je note, merci. Puis-je passer à la prochaine question ?

L'employé utilise le bureau pour ranger des fournitures comme des papiers, stylos, crayons et post-it.

- Je note, merci. Puis-je passer à la prochaine question ?

L'employé souhaite utiliser le meuble de rangement au sol permettant d'entreposer ses effets personnels ainsi que des dossiers supplémentaires.

- Je note, merci. Puis-je passer à la prochaine question ?

L'employé travaille souvent le soir, c'est pourquoi une lampe sur pied est installée dans la pièce.

- Je note, merci. Puis-je passer à la prochaine question ?

Un cadre avec des fleurs est accroché au mur et doit être visible dès qu'une personne entre dans la pièce.

- Je note, merci. Puis-je passer à la prochaine question ?

L'employé et son équipe (4 à 5 personnes maximum) collaborent fréquemment autour d'un tableau mural pour des séances de brainstorming.

- Je note, merci. Puis-je passer à la prochaine question ?

L'employé doit recharger son ordinateur portable sur son bureau à la fin de la journée.

- Je note, merci. Puis-je passer à la prochaine question ?

Une poubelle est présente dans la pièce et doit être vidée quotidiennement par le personnel d'entretien.

- Je note, merci. Puis-je passer à la prochaine question ?

L'employé souhaite connaître l'heure facilement, une horloge murale est installée dans la pièce.

- Je note, merci.

Bureau imprimante - Énoncés

L'employé utilise une chaise et un bureau pour effectuer le travail de bureau quotidien.

- Je note, merci. Puis-je passer à la prochaine question ?

L'employé utilise une imprimante située en face de la porte.

- Je note, merci. Puis-je passer à la prochaine question ?

L'employé reçoit souvent des visiteurs dans son bureau et discute avec eux.

- Je note, merci. Puis-je passer à la prochaine question ?

Il arrive que l'employé doive travailler la nuit et à besoin de lumière dans son bureau.

- Je note, merci. Puis-je passer à la prochaine question ?

L'employé doit recharger son ordinateur portable sur son bureau lorsque nécessaire.

- Je note, merci. Puis-je passer à la prochaine question ?

L'employé utilise une armoire de rangement murale pour conserver les documents et autres dossiers des employés.

- Je note, merci. Puis-je passer à la prochaine question ?

L'employé utilise un porte-manteau pour accrocher ses vestes et manteaux pendant la saison de pluie et d'hiver.

- Je note, merci. Puis-je passer à la prochaine question ?

L'employé doit arroser sa plante.

- Je note, merci. Puis-je passer à la prochaine question ?

L'employé utilise un organisateur de bureau pour garder l'espace de travail ordonnée.

- Je note, merci. Puis-je passer à la prochaine question ?

Lorsque l'employé reçoit des visiteurs, les visiteurs souhaitent avoir un endroit où s'asseoir dans le bureau.

- Je note, merci.

Annexe B - Instructions et description de la tâche

DESCRIPTION DE LA TÂCHE

Vous êtes un **gestionnaire chez Décor Studio** (nom fictif), une petite start-up spécialisée en design d'intérieur. Votre équipe a conçu un nouvel aménagement de bureau pour un client prestigieux. Ce client souhaite que le nouvel espace de travail **réponde efficacement aux activités quotidiennes de ses employés tout en mettant l'accent sur l'esthétique.**

L'aménagement proposé inclut l'emplacement des différents meubles, des éléments décoratifs, des prises électriques, ainsi que la disposition des portes et des fenêtres.

Votre tâche, en tant que spécialiste du design, consiste à évaluer attentivement cet aménagement et à fournir une rétroaction sur la conformité du design avec les attentes du client. Votre équipe s'appuiera sur vos remarques pour apporter les modifications nécessaires, si besoin. Lors de votre évaluation, prenez en compte des critères tels que **l'ergonomie, le flux de travail quotidien et la sécurité**, afin d'analyser la fonctionnalité globale de l'espace. Une fois que vous aurez approuvé le design, il sera soumis au responsable du design pour validation finale.

Le chercheur vous présentera à l'oral, une activité à la fois, la liste des **activités quotidiennes réalisées par l'employé** dans les bureaux de votre client. Examinez l'aménagement proposé et l'emplacement du mobilier afin **d'identifier d'éventuelles erreurs ou problèmes de conception** en tenant compte des critères **d'ergonomie, de flux de travail et de sécurité**. Vous pouvez penser à voix haute, il suffit de d'indiquer clairement au chercheur lorsqu'il s'agit de votre réponse. Il se peut que vous identifiiez aucune erreur de conception, il suffit de nous le mentionner.

Un exemple de tâche est fourni pour vous.

Exemple

Considérez la simple disposition avec un bureau et une chaise.



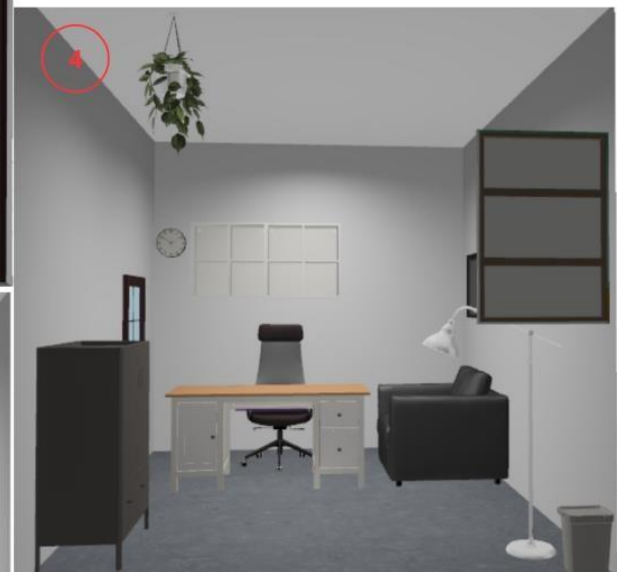
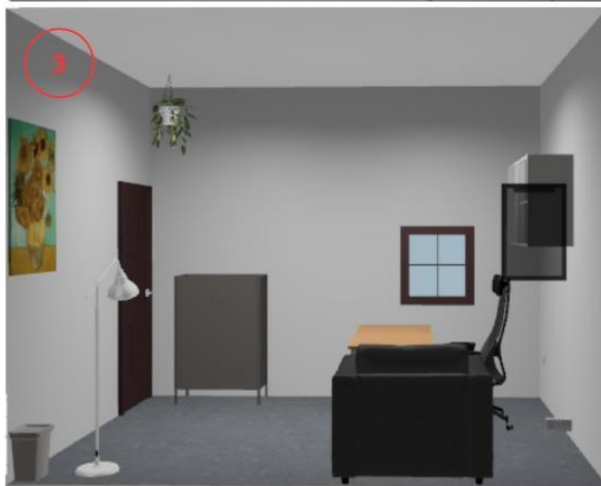
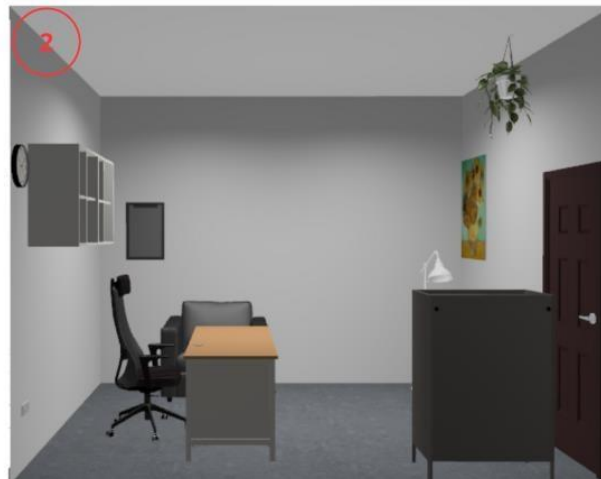
Activité (Fourni à vous par le chercheur à l'oral)	Erreurs de conception à identifier (Doit être identifié par vous à l'oral)
L'employé s'assoit sur la chaise et utilise l'ordinateur portable placé sur le bureau. L'ordinateur de travail est équipé de deux écrans. Un téléphone est également mis à la disposition de l'employé pour son travail.	Le bureau est trop petit pour y placer un ordinateur portable avec deux écrans et un téléphone.
L'employé souhaite avoir accès à une fenêtre afin de voir lorsque ses clients arrivent.	Tout semble conforme et sans problème.

Annexe C - Images mises à disposition pour la réalisation de la tâche (iPad)

Images – iPad – Bureau imprimante



Images – iPad – Bureau fleur



Annexe D - Représentation visuelle des pièces et des éléments observables (HoloLens)

Images – Figmin XR – Bureau imprimante



Images – Figmin XR – Bureau fleur



Annexe E - Guide d'entretien

1. Quelles ont été vos premières impressions en utilisant les différentes technologies?
 - a. HoloLens
 - b. Les images
2. Quels aspects positifs avez-vous rencontrés lors de votre utilisation des différentes technologies? Pouvez-vous expliquer en détail comment ses aspects ont amélioré votre expérience?
3. Avez-vous rencontré des difficultés particulières avec les différentes technologies ? Si oui, pouvez-vous détailler lesquelles et expliquer comment elles ont affecté votre expérience ?
4. Comment compareriez-vous votre expérience avec les différentes technologies que vous avez utilisés en laboratoire?
 - a. HoloLens
 - b. Les images
5. Quelles sont les principales différences que vous avez remarquées entre les méthodes utilisées en laboratoire ? Pouvez-vous décrire en détail ces différences et leur impact sur votre expérience?
 - a. HoloLens
 - b. Les images
6. Avez-vous d'autres commentaires sur la comparaison des méthodes utilisées en laboratoire? En termes de :
 - a. Pensées : Comment ces méthodes influencent-elles votre réflexion ou votre compréhension des tâches en laboratoire?
 - b. Sentiments et émotions : Quels sentiments ou émotions ces méthodes suscitent-elles chez vous lors de leur utilisation?
 - c. Facilité d'utilisation : Comment évalueriez-vous la convivialité et l'ergonomie de ces méthodes?
 - d. Intention d'utilisation : À la suite de votre expérience, envisageriez-vous d'utiliser l'une de ces technologies dans un contexte similaire à l'avenir?

Veillez préciser les raisons motivant votre réponse.

Nous allons terminer avec quelques questions en conclusion.

1. Qu'avez-vous le plus apprécié dans votre expérience avec le HoloLens ? Par exemple, y a-t-il des fonctionnalités spécifiques ou des aspects de cette technologie qui vous ont particulièrement impressionné ou agréablement surpris ? Si oui, lesquels et pourquoi ?
2. Y a-t-il des aspects spécifiques de HoloLens que vous n'avez pas aimés ou que vous avez trouvés frustrants ? Si oui, lesquels et pourquoi ?
3. Y a-t-il quelque chose que vous aimeriez partager à propos de votre expérience que nous n'avons pas abordée ?
4. Avez-vous des commentaires finaux pour moi?

Annexe F - Schéma de codage utilisé pour l'analyse qualitative

1. Expérience utilisateur générale

- 1.1 Facilité d'utilisation/Convivialité
 - 1.1.1 Intuitivité
 - 1.1.2 Clarté des instructions
 - 1.1.3 Facilité d'apprentissage
 - 1.1.4 Difficulté d'utilisation
 - 1.1.5 Effort mental requis
- 1.2 Utilité/Efficacité/Performance
 - 1.2.1 Réduction des erreurs
 - 1.2.2 Gain de temps / Rapidité d'exécution
 - 1.2.3 Amélioration de la précision de la tâche
 - 1.2.4 Aide à la compréhension/ Prise de décision
 - 1.2.5 Inefficacité / Perte de temps / Contre-productivité perçue
- 1.3 Engagement/Motivation
 - 1.3.1 Plaisir / Sentiment positif
 - 1.3.2 Intérêt
 - 1.3.3 Sentiment d'immersion
 - 1.3.4 Frustration / Sentiment négatif
 - 1.3.5 Ennui/ Manque d'intérêt
- 1.4 Satisfaction générale
 - 1.4.1 Très satisfaisant
 - 1.4.2 Neutre / Mitigé
 - 1.4.3 Peu satisfaisant
- 1.5 Expérience utilisateur – Autres thèmes émergents

2. Impact spécifique sur les tâches d'évaluation en contexte 3D

- 2.1 Perception spatiale/Visualisation 3D
 - 2.1.1 Amélioration de la compréhension spatiale
 - 2.1.2 Difficulté de visualisation 3D
 - 2.1.3 Facilité de manipulation / Interaction 3D
- 2.2 Précision de l'évaluation 3D
 - 2.2.1 Facilité d'identification / localisation de composants
 - 2.2.2 Capacité à évaluer des objets cachés / obstrués
 - 2.2.3 Déviation entre le réel et le virtuel
- 2.3 Impact sur la confiance dans l'évaluation
 - 2.3.1 Augmentation de la confiance
 - 2.3.2 Diminution de la confiance
 - 2.3.3 Neutre
- 2.4 Impact – Autres thèmes émergents

3. Défis et avantages techniques spécifiques des technologies

- 3.1 Défis techniques spécifiques (RA/ Tech immersive)
 - 3.1.1 Ergonomie et confort physique de l'appareil
 - 3.1.2 Qualité visuelle de l'affichage
 - 3.1.3 Stabilité et précision du suivi
 - 3.1.4 Autonomie / Alimentation
 - 3.1.5 Complexité technique de l'appareil / du logiciel

- 3.1.6 Cybersickness / Vertiges
 - 3.1.7 Acceptabilité sociale de l'appareil
 - 3.1.8 Défis techniques spécifiques - Autre thèmes émergents
- 3.2 Avantages techniques spécifiques
 - 3.2.1 Interaction intuitives
 - 3.2.2 Informations en temps réel / contextuelles
 - 3.2.3 Capacité de suivi
 - 3.2.4 Assistance visuelle à la navigation
 - 3.2.5 Support à distance / Collaboration facilité
 - 3.2.6 Avantages techniques spécifiques - Autres thèmes émergents
- 3.3 Spécificités des technologies non immersives
 - 3.3.1 Simplicité d'accès / d'utilisation
 - 3.3.2 Moindre charge cognitive / effort physique
 - 3.3.3 Manque d'interactivité / d'immersion
 - 3.3.4 Limitations pour la visualisation 3D
 - 3.3.5 Spécificités non immersives - Autres thèmes émergents
- 4. Caractéristiques et expérience individuelle influençant l'expérience utilisateur**
 - 4.1 Préférences individuelles
 - 4.1.1 Préférence pour la simplicité
 - 4.1.2 Préférence pour l'interactivité / dynamisme
 - 4.1.3 Préférence pour les retours sensoriels spécifiques
 - 4.1.4 Préférences individuelles – Autres thèmes émergents
 - 4.2 Obstacles individuels (attributs de l'utilisateur)
 - 4.2.1 Limitations visuelles de l'utilisateur
 - 4.2.2 Limitations motrices / dextérité de l'utilisateur
 - 4.2.3 Limitations cognitives de l'utilisateur
 - 4.2.4 Sensibilité de l'utilisateur à l'effort mental / physique
 - 4.2.5 Obstacles individuelles – Autres thèmes émergents
 - 4.3 Expérience technologie antérieure
 - 4.3.1 Expérience positive / avancée avec les technologies
 - 4.3.2 Expérience limité / négative avec les technologies
 - 4.3.3 Appréhension / Réticence à utiliser de nouvelles technologies
 - 4.3.4 Manque de familiarité avec les concepts technologiques
 - 4.3.5 Expérience technologique antérieure et appréhension - Autres thèmes émergents
- 5. Intention d'usage et acceptation future**
 - 5.1 Intention d'adoption
 - 5.1.1 Positive / Enthousiaste
 - 5.1.2 Négative / Réticente
 - 5.1.3 Mitigé / Conditionnelle
 - 5.1.4 Intention d'usage future – Autres thèmes émergents
 - 5.2 Motivations et freins à l'acceptation future
 - 5.2.1 Améliorations nécessaires
 - 5.2.2 Besoin en formation et support
 - 5.2.3 Coût et accessibilité économique
 - 5.2.4 Intégration au travail

- 5.2.5 Confiance dans la technologie
- 5.2.6 Perception des risques
- 5.2.7 Motivations et freins à l'acceptation future – Autres thèmes émergents