



THESIS / THÈSE

MASTER EN SCIENCES INFORMATIQUES

Outils de collaboration appliqués aux réunions

ERNAELSTEEN, Maxime

Award date:
2022

Awarding institution:
Universite de Namur

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

UNIVERSITÉ DE NAMUR
Faculté d'informatique
Année académique 2021–2022

**Outils de collaboration appliqués aux
réunions**

ERNAELSTEEN Maxime



Promoteur : _____ (Signature pour approbation du dépôt - REE art. 40)
DUMAS Bruno

Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de
Master en Sciences Informatiques.

Résumé

L'analyse présentée dans ce mémoire vise à examiner les perspectives actuelles des outils de collaboration à distance en réalité virtuelle ou augmentée en termes d'amélioration de la communication et des échanges entre les participants d'une réunion.

Après avoir dressé l'état de l'art au départ d'articles scientifiques relatifs à la collaboration en présentiel et à distance, nous abordons plus précisément les perspectives liées au développement des applications de réalité virtuelle et de réalité augmentée pour la tenue de réunions.

L'exploitation des articles et des vidéos de présentation de ces applications mais aussi des avis d'utilisateurs nous a permis de cerner les améliorations qui pourront être apportées par ces technologies, mais aussi d'en identifier les points faibles afin de mettre en exergue les perspectives d'amélioration de ces outils.

Abstract

The analysis presented in this paper aims to examine the current perspectives of remote collaboration tools in virtual or augmented reality in terms of improving communication and exchanges between participants in a meeting.

After having established the state of the art based on scientific articles related to face-to-face and remote collaboration, we focus on the perspectives related to the development of virtual and augmented reality applications for meetings.

The analysis of articles and videos presenting these applications, as well as users' opinions, allowed us to identify the improvements that can be made by these technologies, but also to identify their weak points in order to highlight the perspectives of improvement of these tools.

Keywords : *meetings, collaboration tools, communication, remote, virtual reality, augmented reality, metaverse.*

Table des matières

1	Remerciements	5
2	Introduction	6
3	État de l’art	8
3.1	La communication lors de réunions en présentiel	8
3.1.1	Contexte	8
3.1.2	Dispositifs numériques existants	9
3.1.3	Outils empiriques	13
3.2	La collaboration à distance	21
3.2.1	Contexte	21
3.2.2	Réseau social d’entreprise	21
3.2.3	Logiciels de visioconférence	24
3.2.4	Risques et limites des outils actuels de vidéoconférence	28
3.2.5	Robot de téléprésence	31
3.3	Évolution des outils actuels	33
3.3.1	L’impact de la crise sanitaire	33
3.3.2	Le développement du métavers	36
3.3.3	Les applications de réalité étendue	39
4	Développement de la recherche	43
4.1	Description de la question de recherche	43
4.2	Méthodologie	43
4.3	Résultats	45

4.3.1	Les améliorations grâce aux applications en réalité étendue .	45
4.3.2	Les points faibles	52
4.3.3	Les perspectives d'amélioration	59
4.4	Discussion générale	63
4.5	Limites de l'étude	66
5	Conclusion	67
6	Bibliographie	71
7	Annexe 1. Analyse des avis d'utilisateurs de Horizon Workrooms	76

1 Remerciements

Je tiens à adresser mes remerciements aux personnes qui m'ont, d'une manière ou d'une autre, permis de réaliser ce mémoire :

Monsieur Bruno Dumas pour ses conseils utiles tout au long de son développement.

Mes proches pour leur soutien et leur aide lorsque j'en ai eu besoin.

Enfin, toutes les personnes qui ont pris le temps d'échanger avec moi sur ce sujet.

2 Introduction

L'objectif du présent mémoire est de répondre à la question suivante : quelles sont les perspectives actuelles des outils de collaboration à distance en réalité virtuelle ou augmentée en termes d'amélioration de la communication et des échanges entre les participants d'une réunion ? Les perspectives d'évolution seront analysées par rapport à la situation actuelle.

La crise sanitaire survenue en mars 2020 a fondamentalement changé le mode de travail en renforçant le télétravail. Durant les périodes de confinement, la visioconférence est devenue la norme pour les travailleurs pour lesquels il était possible d'exercer leur métier à distance.

Beaucoup d'entreprises se sont alors tournées vers les technologies numériques pour poursuivre leurs activités, incitant leur personnel à travailler au départ de leur domicile et à utiliser des outils tels que la visioconférence et les réseaux de collaboration à distance. Les entreprises qui avaient déjà instauré la possibilité de télétravailler pour leur personnel ont pu s'adapter rapidement et ont maintenu leur niveau de production [OCDE, 2021, [45]].

La pandémie a donné un réel coup d'accélérateur aux technologies de télétravail, qui permettent de travailler en équipe à distance. Actuellement, pour la plupart des travailleurs pour lesquels le télétravail est possible, le mode de travail est hybride et les réunions se tiennent tantôt en présentiel tantôt à distance.

Nous aborderons, dans la première partie de l'état de l'art du présent mémoire, la communication entre les participants lors des réunions en présentiel sous l'angle des interactions proxémiques en dressant un inventaire des dispositifs numériques existants de support à ces réunions. Quelques outils empiriques visant à favoriser la communication entre les utilisateurs seront présentés : les interfaces à changement de forme, la collaboration en petit groupe, le transfert de données visuelles ou encore la surcouche OS qui permet d'afficher des *Applets* au-dessus de l'interface du système d'exploitation.

La collaboration à distance sera ensuite analysée avec l'analyse des outils exis-

tants que sont le réseau social d'entreprise, les logiciels de visioconférence les plus courants ou encore le robot de téléprésence. Les risques et les limites des outils actuels de collaboration à distance seront également analysés.

Le mode de travail à distance utilisant la visioconférence en 2D comporte des avantages incontestables mais il provoque certains inconvénients qui pourraient être atténués par l'utilisation de dispositifs de réalité virtuelle ou améliorée, dont le développement a connu un réel essor depuis le démarrage de la crise sanitaire. L'analyse de ces dispositifs de réalité étendue constituera la troisième partie de l'état de l'art.

Enfin, dans le cadre du développement de cette recherche, nous analyserons spécifiquement les applications de réunions étendue, notamment Horizon Workrooms, en vue de cerner les améliorations apportées par ces technologies en termes de communication, mais aussi d'en identifier les points faibles afin de mettre en exergue les perspectives d'amélioration de ces outils.

3 État de l’art

3.1 La communication lors de réunions en présentiel

3.1.1 Contexte

Lors des réunions durant lesquelles les participants sont présents physiquement, la distance entre eux ou entre les participants et les appareils numériques est un facteur qui influence la qualité des échanges et de la communication.

Les interactions entre ces entités sont qualifiées d’interactions proxémiques.

L’interaction proxémique est donc un concept utilisé pour décrire comment les personnes utilisent les distances interpersonnelles pour interagir entre elles ou avec les appareils numériques.

Les interactions proxémiques peuvent être définies selon plusieurs dimensions : la distance, l’identité, la localisation, le mouvement et l’orientation [Perez et al., 2020, [23]].

Lorsque l’anthropologue Edward T. Hall a lancé la théorie classique de la proxémie dans les années 60, il a déterminé quatre degrés de proximité. Ces zones ont également été reprises par [Perez et al., 2020, [7]].

- La distance publique (3,65 à 7,60 mètres) pour laquelle il est plus difficile de maintenir un contact visuel direct et de créer un rapport entre deux personnes.
- La distance sociale (1,20 à 3,65 mètres) qui permet de créer des indices visuels et auditifs pour établir un rapport avec une autre personne.
- La distance personnelle (0,45 à 1,20 mètres) qui permet d’interagir avec des amis, d’avoir une vision claire et un contact visuel fort et de tenir une conversation de manière aisée.
- La distance intime (0 à 45 cm) permet de sentir la chaleur corporelle et d’utiliser les sens olfactifs. [Bryan, 2020, [26]]

L'identité permet de décrire de manière unique les entités présentes dans l'espace. Ces entités peuvent être des personnes, des objets, etc.

Selon [Ballendat et al., 2010, [1]], la localisation d'une personne ou d'un dispositif peut être décrite comme absolue ou relative. La localisation absolue est déterminée par rapport à un point fixe dans l'espace. La localisation relative quant à elle est déterminée à l'aide de deux entités et ne requiert pas de point fixe. Grâce à la connaissance de la localisation absolue ou relative, on peut alors calculer la distance entre les personnes et les objets.

L'orientation fournit la direction vers laquelle l'entité est orientée. Cela a du sens uniquement s'il est possible de décrire de manière précise la "face" d'une entité (ex : un visage, l'écran d'un téléphone, etc.). Comme pour la localisation, il est possible de faire la distinction entre l'orientation absolue et relative d'une entité. L'orientation absolue se décrit sur les 3 axes (x, y, z). L'orientation relative se décrit en situant un objet par rapport à un autre.

Le mouvement permet de comprendre les changements de localisation et d'orientation d'une entité dans le temps. Cela permet de savoir si une personne s'approche d'un dispositif ou d'un objet en particulier.

Par ailleurs, [Ballendat et al., 2010, [1]] définissent deux types d'interactions. L'interaction implicite décrit une action prise par l'ordinateur sur base de son interprétation des actions implicites de l'utilisateur, tandis que l'interaction explicite est une action explicite de l'utilisateur final.

Les interactions proxémiques peuvent être déclenchées selon différentes manières : par le suivi continu des mouvements de l'utilisateur ou par détection de l'entrée ou de la sortie d'une région proxémique.

3.1.2 Dispositifs numériques existants

Brudy et al., 2019, [11]] ont identifié les appareils numériques utilisés lors des réunions. On y retrouve le téléphone portable, la tablette, l'ordinateur portable, l'ordinateur fixe, le moniteur ou encore le projecteur. On retrouve également des

dispositifs un peu moins communs comme les montres connectées.

A titre d'exemple, la société Apple possède une gamme très variée de dispositifs électroniques. En effet, cet écosystème va du smartphone, à la tablette en passant par la montre connectée, à l'ordinateur portable ou encore fixe. La société à la pomme blanche tire profit de cette variété car elle a pu implémenter de nombreuses fonctionnalités utilisant les interactions proxémiques.

Ces fonctionnalités sont les suivantes :

- *AirPlay* permet de partager du contenu depuis un appareil mobile (smartphone, tablette ou ordinateur portable) vers un grand écran (moniteur ou projecteur). Ce type de transition (partage de contenu vers une autre surface) s'effectue d'un simple clic par l'utilisateur. Il s'agit d'une interaction explicite.
- *AirDrop* permet de partager des fichiers ou des photos entre appareils. Cette interaction se base sur la proximité entre les dispositifs et fonctionnent via le Wi-fi et le Bluetooth.

Aujourd'hui, la grande majorité des smartphones et des appareils mobiles sont équipés de puissantes capacités matérielles qui permettent aux appareils de traiter et d'obtenir des informations proxémiques, par exemple en utilisant des capteurs et des systèmes de détection de mouvement. Par conséquent, il est possible de mettre en œuvre des applications mobiles basées sur la proximité qui facilitent le contact des utilisateurs et l'interaction des utilisateurs avec d'autres personnes et appareils [Perez et al., 2021, [8]].

Même si les dispositifs numériques sont déjà utilisés lors des interactions dans notre quotidien, ils pourraient l'être encore beaucoup plus dans un avenir proche. Cependant, un grand problème de l'informatique omniprésente (*Ubiquitous computing* en anglais) qui a notamment été identifié par [Ballendat et al., 2010, [1]], se situe au niveau du contrôle de la connectivité entre les dispositifs.

En effet, il existe différents types de connexions entre dispositifs.

Le premier type de connexion se base sur la proximité physique entre deux dispo-

tifs. Dans la plupart des cas, une zone autour d'un dispositif est définie. Cette zone est déterminée par la technologie employée. Lorsque deux zones vont se chevaucher, une connexion entre ces deux dispositifs s'effectue. Prenons, par exemple, la technologie Bluetooth, la zone proxémique sera alors définie sur base de la portée Bluetooth des appareils. Dans le cas de la technologie wi-Fi, la zone proxémique sera celle de la portée du routeur Wi-fi.

Un autre type d'interaction entre dispositifs décrit par [Grønbaek et al., 2020, [3]] consiste à utiliser les senseurs des appareils, tels que l'accéléromètre et le gyroscope. Un accéléromètre est un capteur qui mesure l'accélération de l'appareil. Les gyroscopes mesurent les mouvements de rotation. À titre d'exemple, Slam-To-Share permet de connecter deux appareils en frappant deux coups sur la table lorsque ceux-ci y sont posés.

Le transfert d'informations entre dispositifs, qui devrait être simple en théorie, est difficile en pratique. En effet, il faut savoir quels appareils peuvent communiquer entre eux, quelles informations ils contiennent et comment les informations peuvent être échangées.

Déjà, en 2008, Gellersen et al. soulignaient que le problème central pour l'utilisateur mobile est l'identification des dispositifs cibles pour l'interaction spontanée. L'idée principale de l'interaction spontanée est de permettre aux utilisateurs mobiles d'associer leurs dispositifs personnels aux dispositifs dans leur environnement, afin de favoriser les interactions [Gellersen et al., 2008, [12]].

Marquardt et al., 2012 ont ainsi établi un modèle d'engagement progressif (*gradual engagement* en anglais) décrivant les différentes phases nécessaires aux échanges entre dispositifs. Ce modèle se compose de trois grandes étapes.

La première étape est la prise de conscience de la présence/connectivité de l'appareil. Cette étape consiste à découvrir quels appareils se trouvent à proximité ainsi que les technologies de connexions de ceux-ci.

La deuxième étape est la révélation du contenu échangeable. C'est lors de cette étape que les appareils révèlent quels types d'informations ils peuvent échanger.

La troisième est le choix de la méthode d'interaction pour le transfert de contenu entre les appareils, qui doit être adaptée à la distance et aux capacités des appareils, ainsi que le transfert en lui-même. C'est lors de cette étape que le transfert d'informations sera effectué. De nombreuses méthodes sont disponibles et chacune d'entre elles permet de s'adapter au mieux à une situation particulière (proximité, type d'information, caractère privé ou public et technologie de transfert utilisée) [Marquardt et al., 2012, [13]].

Chaque dispositif numérique possède une interface utilisateur. Chaque interface doit être adaptée à son dispositif numérique physique. La plasticité de ces interfaces est par conséquent une caractéristique déterminante pour la qualité de la communication.

Thevenin et al. définissent la plasticité d'une interface utilisateur comme sa capacité à s'adapter aux variations des caractéristiques physiques du système et de l'environnement tout en préservant l'utilisabilité.

L'adaptation permet à l'utilisateur de personnaliser l'interface selon différents paramètres. L'interface peut également s'adapter automatiquement ou suite à une demande humaine [Thevenin et al., 1999, [9]].

Ces auteurs définissent l'adaptation d'une interface selon quatre grands axes.

1. **La cible de l'adaptation** : cet axe désigne les entités auxquelles l'adaptation est destinée : l'adaptation aux utilisateurs, l'adaptation à l'environnement et l'adaptation aux caractéristiques physiques du système.
2. **Les moyens d'adaptation** : cet axe désigne les composants logiciels du système impliqués dans l'adaptation.
3. **La dimension temporelle de l'adaptation** : elle peut être statique et/ou dynamique.
4. **Les acteurs** : cet axe est composé de l'utilisateur et du système.

La plasticité joue un rôle sur deux de ces axes. Sur l'axe de la cible, la plasticité concerne les variations physiques et l'environnement. Sur l'axe des moyens, la plasticité concerne la modification du système et/ou des techniques de rendu.

3.1.3 Outils empiriques

Dans cette section, nous présentons divers outils développés dans le cadre de la recherche. Ils sont donc au stade d'expérimentation.

Interfaces à changement de forme.

Les interfaces à changement de forme ont le potentiel de changer la façon de collaborer lors de réunions en présentiel.

Bien que ce concept reste assez théorique, ces interfaces, à l'échelle d'un bureau ou d'une table, qui ont été imaginées par [Grønbæk et al., 2017, [2]] permettent d'effectuer des transitions entre espaces de collaboration ou espaces privés

Le concept imaginé est le suivant : une table qui peut être configurée en deux positions.

La première position est totalement à plat. Ainsi, tous les participants autour de la table peuvent collaborer tout en ayant chacun leur espace personnel.

La seconde position quant à elle permet d'incliner une partie de la table afin de créer un espace public qui permet à un participant de présenter des informations aux autres participants.

Ces interfaces ont été imaginées afin de faciliter ces transitions. Actuellement, les dispositifs numériques habituels, tels que les ordinateurs portables ou fixes ne sont pas adaptés pour effectuer de telles transitions. Les limites des dispositifs actuels obligent l'utilisateur à adapter son environnement plutôt qu'à le reconfigurer. Ces interfaces à changement de forme permettent donc d'effectuer ces transitions plus aisément [Grønbæk et al., 2020, [4]].

La collaboration en petit groupe

Comme mentionné supra, la plupart des appareils ne supportent pas bien les tâches collaboratives. Bien que nous soyons entourés d'appareils intelligents comme les smartwatches, les smartphones, les tablettes, les ordinateurs portables et les

grands écrans, nous les utilisons principalement pour des tâches individuelles. Même si ces appareils peuvent communiquer avec d'autres appareils, ils ne sont pas toujours conscients de leur présence les uns par rapport aux autres, ni de leur relation spatiale. Ils ne prennent pas systématiquement en charge les collaborations ad hoc, par exemple par le biais du partage de contenu entre les appareils (comme des photos, des vidéos et du texte) et l'espace d'affichage (étendre l'écran d'un dispositif sur un autre).

[Brudy et al., 2015, [17]] se sont ainsi intéressés à la manière de travailler d'un groupe d'historiens. Ceux-ci ayant comme tâche de conserver des documents historiques. Cette tâche est difficile car elle nécessite de combiner des informations et des matières premières provenant de nombreuses sources différentes.

[Brudy et al., 2015, [17]] présentent un système qui permet de créer du sens (*sensemaking* en anglais) et de conserver des documents. Ce système présente les caractéristiques suivantes :

- Être portable. Le système doit être facile à installer, sans avoir besoin d'un lieu permanent, ce qui permettrait son utilisation dans divers espaces.
- Être Ad hoc. Soutenir une collaboration de type "walk-up-an-go", sans une installation fastidieuse et de longs travaux de préparation.
- Présenter un faible coût. Afin d'être facilement déployé, le système doit fonctionner avec les appareils existants ou ne nécessiter que de faibles coûts initiaux.
- Être Multi-utilisateurs. Afin de soutenir la création de sens et la conservation de documents, le système doit prendre en charge des scénarios collaboratifs multi-utilisateurs.
- S'adapter à des données diverses et des environnements variés. Pour tenir compte de la richesse des documents dans les collections de données, le système doit prendre en compte le contenu numérique et non numérique et doit permettre de travailler dans des environnements où les zones de travail sont désordonnées et les données peu précises.

La recherche de Brudy et al. porte sur la question de savoir comment soutenir la conservation de documents historiques dans des scénarios de petits groupes avec la technologie numérique, en utilisant les appareils personnels des membres du groupe et les appareils dans leur environnement. Cette recherche est divisée en trois sections.

1. **Étudier les pratiques actuelles des personnes.** Cela permet de construire un cadre pour les collaborations de groupe pour des scénarios ad hoc de petits groupes. Les questions auxquelles les auteurs essaient de répondre sont les suivantes : Comment les personnes utilisent-elles les dispositifs et les outils à leur disposition (papier, stylos, tablettes, écrans, etc.)? Comment le matériel et le contenu sont-ils partagés lorsqu'un groupe se réunit pour discuter ou travailler sur un sujet? Comment les appareils sont-ils utilisés lors de tâches particulières, par exemple un travail de recherche collaborative sur un événement historique, lors de travaux de bureau ou lors de la préparation d'une présentation en classe à l'école?
2. **Développer la technologie.** Afin de soutenir les collaborations en petits groupes mentionnées ci-dessus, [Brudy, 2015, [17]] construisent un outil permettant aux petits groupes de conserver des documents dans des scénarios ad hoc, en utilisant les appareils personnels et publics des personnes. Des prototypes individuels tentent de résoudre une seule exigence, par exemple la numérisation d'artefacts physiques ou le partage temporaire de contenu en petits groupes.
3. **Déployer et évaluer une technologie plus collaborative.** Dans un troisième temps, les auteurs élargissent le domaine auquel les technologies sont appliquées et l'ouvrent à d'autres cas d'utilisation.

L'objectif de la recherche de Brudy et al. est de favoriser le partage et la consultation de contenus numériques sur plusieurs appareils lorsqu'ils sont à proximité les uns des autres afin de faciliter les tâches de collaborations en groupe.

En utilisant plusieurs appareils, les propriétés physiques telles que la position ou

l'orientation peuvent être utilisées de la même manière qu'avec le papier : on peut les disposer les uns à la suite des autres pour construire une chronologie, les empiler pour les regrouper ou les mettre de côté pour se débarrasser des documents dont on ne se sert pas actuellement.

Bragdon et al. ont également imaginé un système (CodeSpace) permettant à des développeurs d'établir des interactions entre des dispositifs mobiles et fixes lors de réunions en petit groupe. Ce système démocratise l'accès, le contrôle et le partage de l'information sur les dispositifs personnels et les écrans publics [Bragdon et al., 2011, [15]] .

Le principal objectif de conception de CodeSpace est le partage fluide et démocratique de contenu sur un écran commun. Pour façonner cette conception, six principes de conception ont été identifiés.

1. Tout le monde peut interagir avec l'écran partagé, depuis n'importe quel endroit dans la réunion, avec tout appareil qu'il possède.
2. Les interactions doivent être socialement acceptables et ne doivent pas créer de la gêne ou de la distraction.
3. Chaque fonctionnalité doit avoir un usage distinct.
4. Les interactions doivent être fluides entre les appareils et supporter chaque fonctionnalité.
5. Les interactions doivent être explicitées aux participants pour les informer des actions effectuées.
6. Les interactions entre dispositifs doivent utiliser des grammaires simples afin de réduire les risques d'erreur et les obstacles à l'apprentissage.

Selon Bragdon et al., le suivi du squelette des utilisateurs grâce une caméra ou la reconnaissance vocale à l'aide d'un micro a connu du succès dans le monde du jeu vidéo et de la réalité virtuelle. Cependant trois propriétés liées à ces systèmes posent problème pour les réunions professionnelles :

- l'agitation abusive des mains/bras qui pourrait ne pas être socialement acceptée ;

- le taux de réussite de la reconnaissance faible ;
- et un manque de mise en évidence des interactions disponibles.

En effet, ces gestes à effectuer sont souvent moins appréciés car ils sont considérés comme inhabituels ou inconfortables ou ils peuvent encore interférer avec la communication.

Afin de permettre à tous les utilisateurs de participer, il est possible d’interagir avec l’écran partagé en utilisant ce qu’ils ont apporté avec eux, qu’il s’agisse de rien du tout (juste leurs mains et leurs bras), d’un smartphone ou d’un ordinateur portable tactile.

La première interaction possible est le simple pointage du doigt vers l’écran. Lorsqu’un utilisateur pointe du doigt l’écran, la caméra Kinect capte ce mouvement et affiche sur l’écran un pointeur à l’endroit où l’utilisateur pointe du doigt.

La même interaction peut également être effectuée avec un smartphone. Ce sont alors les capteurs du smartphone qui dirigent le pointeur sur l’écran (accéléromètre, orientation, ...)

Les utilisateurs peuvent également transférer du contenu depuis leur smartphone ou ordinateur portable via le peer to peer [P2P, 2019,[29]].

Le transfert de données visuelles (Visfer)

Sriram Karthik Badam et Niklas Elmquist ont présenté des modèles d’interaction inter-appareils pour améliorer le partage de données visuelles interactives et la réflexion collaborative des utilisateurs présents physiquement lors d’une réunion. Ils ont notamment évalué les performances du transfert visuel de données par la technique Visfer qui permet de partager des informations reprises sur un grand écran avec d’autres appareils. Cette technique consiste à prendre des photos des codes QR présents sur un grand écran à l’aide de la caméra intégrée d’un appareil portable pour transférer ou détailler des données ou des graphiques sur cet appareil. Les informations transférées sont adaptées à l’appareil cible [Badam S. et al., 2017, [10]].

Utiliser les appareils, tels que les smartphones, les tablettes ou les grands écrans, pour le partage de données visuelles nécessite généralement la réalisation d'opérations externes pour la découverte d'appareils, le partage d'interactions et la gestion des vues. Ces opérations peuvent être chronophages et fastidieuses et distraire l'utilisateur de l'analyse proprement dite. En effet, la création de tels environnements reste difficile en raison du besoin de méthodes rapides et efficaces pour la découverte de périphériques, la gestion des vues et la gestion des interactions.

La visualisation multi-appareils est souvent utilisée pour le travail collaboratif lorsque plusieurs analystes travaillent ensemble sur une tâche à l'aide d'un ensemble d'appareils numériques capables d'être mis en réseau et de réaliser des calculs et des graphiques. Il peut s'agir du transfert d'une partie du grand écran vers un petit écran ou la capture d'activités sur un écran et l'envoi des liaisons de données correspondantes vers d'autres écrans.

L'un des objectifs de Badam et al. était de développer des interactions incarnées pour l'exploration visuelle à travers les appareils dans des environnements multi-appareils. Selon la définition de Paul Dourish, l'interaction incarnée exploite notre familiarité et notre facilité avec le monde quotidien. Il s'appuie sur la tangibilité (physicalité) du dispositif d'interaction ainsi que sur les aspects sociaux de la façon dont nous vivons une telle interaction dans le monde de tous les jours.

Depuis 2010, les principes de l'interaction incarnée ont été appliqués à divers domaines axés sur l'apprentissage, le jeu et de la réflexion collaborative. Ce type d'interaction est exploité par la Nintendo Wii, la PlayStation Move et Microsoft Kinect. Le but est de tirer parti des connaissances et des compétences innées du joueur sur le monde physique [Badam S. et al., 2017, [10]].

Badam S. et al. distinguent trois niveaux de codes QR en fonction du type de contenu qui y est encodé.

- Au niveau 1 de base, le framework prend en charge la création de codes QR statiques contenant des URL ou des liens vers les données pilotant la visualisation.

- Au niveau 2, le type de contenu est la représentation visuelle elle-même ou plutôt le pipeline pour recréer la représentation visuelle.
- Au niveau 3, le contenu prend la forme de la représentation visuelle et son état dynamique, qui est représenté par les interactions effectuées par l'utilisateur. Le protocole de transfert Visfer développé pour ce niveau permet d'encoder les données, les échelles, les marques (les rectangles, les lignes et les cercles), ainsi que les styles d'interaction pour le pipeline de visualisation et l'état de visualisation via les sélections de l'utilisateur. Ces attributs sont automatiquement adaptés à la modalité de l'appareil en modifiant la largeur, la hauteur et les emplacements, ainsi qu'en utilisant l'interaction de la souris et l'interaction tactile. Ce niveau diffère du deuxième niveau par la prise en charge de l'état dynamique des visualisations.

Ces niveaux ont besoin d'infrastructure différentes : le niveau 1 a besoin d'un serveur et les niveaux 2 et 3 ont besoin d'une caméra haute résolution sur le téléphone pour capturer rapidement les codes QR animés.

Selon Badam et al., les avantages des espaces de travail inter-appareils sont au nombre de trois :

- ils fournissent un espace d'affichage et d'interaction supplémentaire pour améliorer la perception visuelle et l'interaction spatiale,
- ils favorisent la collaboration entre les utilisateurs tout en leur permettant d'effectuer des processus analytiques individuels, ce qui améliore la productivité des participants,
- ils permettent bon nombre d'utilisations en exploitant les technologies spécifiques pour des tâches adaptées.

Surcouche OS

Les interactions proxémiques peuvent également être implémentées au niveau du système d'exploitation lui-même. En effet, SurfaceFleet est un système implémenté par [Brudy et al., 2020, [5]] qui permet d'afficher des *Applets* au-dessus

de l'interface du système d'exploitation. Ces *Applets* permettent de partager du contenu entre plusieurs appareils. Les *Applets* sont affichées sur tous les appareils simultanément et communiquent via le Cloud. Il est notamment possible de transférer des photos, des fichiers ou encore du texte.

Cette implémentation permet d'unifier les différentes interfaces des appareils et simplifie les transitions entre ceux-ci.

Ce système d'*Applets* présente quatre caractéristiques :

- Il n'est pas lié à un appareil spécifique. Le système est installé sur chaque appareil mais son état est sauvegardé sur le Cloud, ce qui permet de synchroniser les états de chaque appareil entre eux.
- Plutôt que de remplacer les applications existantes des utilisateurs, la stratégie de SurfaceFleet consiste à interagir avec celles-ci, via des *Applets* superposées au-dessus des autres applications. Ce système est ainsi indépendant de toute application et permet de fonctionner sous le système d'exploitation.
- Puisque les *Applets* se trouvent sur plusieurs appareils, elles permettent des interactions entre plusieurs personnes (plusieurs personnes - plusieurs appareils).
- Une autre conséquence de l'approche de SurfaceFleet est le support des interactions synchrones et asynchrones. Les synchronisations d'états entre appareils peuvent dès lors se faire immédiatement ou plus tard.

Ce système d'*Applets* permet aux utilisateurs de partager un contenu précis ou d'effectuer une action sur l'appareil qui possède la ressource désirée, au bon moment et au bon endroit.

3.2 La collaboration à distance

3.2.1 Contexte

La collaboration à distance entre les personnes est de mise lorsque la distance géographique les sépare. Elle nécessite la mise en place d'outils visant à partager l'information et le travail réalisé. Les accès à ces informations doivent être sécurisés. Les solutions de collaboration à distance permettent à des groupes d'utilisateurs, parfois très importants, d'interagir.

3.2.2 Réseau social d'entreprise

Pour collaborer à distance, de nombreuses entreprises disposent d'un réseau social qui est mis à disposition de leurs travailleurs. Ce réseau, qui peut être personnalisé avec les couleurs ou le logo de l'entreprise, vise à faciliter les échanges entre ses membres et à travailler de manière collaborative.

Ce type de réseaux présente plusieurs avantages :

- un meilleur partage des ressources et des informations ;
- un gain de temps pour les travailleurs qui participent à un projet ;
- un renforcement du sentiment d'appartenance des travailleurs, en créant du lien entre eux et en leur permettant de communiquer.

Dans cette plateforme collaborative, chaque membre a un profil personnel et dispose également d'un mur ou d'un fil d'actualités, grâce auquel il peut prendre connaissance d'informations fournies par d'autres, participer aux discussions en cours, ou lancer un nouvel échange. Des équipes peuvent être créées par projet pour permettre de limiter le partage d'informations et de documents ainsi que les échanges aux membres des équipes. Un système de groupes permet également d'échanger par projet, par localisation, par thématique, etc. Un espace de stockage permet de centraliser et d'organiser les documents partagés. Cette plateforme permet également d'échanger en temps réel via un tchat, des appels en vidéo, ... ce qui permet de limiter le nombre d'e-mails envoyés et reçus.

Les avantages des plateformes collaboratives sont nombreux [Maubareyt, 2020, [28]].

a) Les relations y sont moins hiérarchisées car les échanges y sont moins formels que par e-mail. La communication y est plus naturelle. Les managers communiquent comme les autres membres du groupe et se rendent ainsi disponibles.

b) Ces plateformes permettent de communiquer de manière transversale. Ils permettent de remplacer les échanges d'e-mails qui n'aboutissent parfois à rien, avec un nombre important de personnes en copie. Il n'est plus nécessaire de mettre des pièces jointes aux courriels et qui sont parfois inutilisées. Les informations ne se perdent plus. Au sein du réseau social de l'entreprise, la communication est plus transversale : les échanges sont partagés et les données sont accessibles à tous immédiatement. Ils permettent plus facilement de retrouver un document.

c) Les plateformes collaboratives favorisent l'échange des savoirs.

Le réseau social d'entreprise simplifie la mise en relation de travailleurs qui ne disposent pas des mêmes compétences ou qui ne font pas partie d'un même service ou département. Ils représentent un canal de transmission entre les travailleurs.

C'est un excellent moyen de créer de l'émulation en interne et d'encourager le partage des connaissances dans un modèle pair-à-pair. Chacun peut plus facilement démontrer ses compétences sur des problématiques nouvelles, via la transmission de pair à pair.

d) Les plateformes collaboratives facilitent la gestion de projets.

La gestion de projets nécessite souvent de nombreux échanges d'e-mails. Dans un réseau social interne, la messagerie instantanée et surtout les équipes facilitent grandement la gestion de projets, l'organisation d'événements ou encore la résolution de problèmes.

Les fichiers et les informations importantes peuvent être déposées dans le fil de discussion de tous les travailleurs concernés par le projet.

Cela représente un gain de temps pour les équipes pour retrouver une information importante.

e) Ces réseaux renforcent le sentiment d'appartenance des travailleurs.

Le réseau social d'entreprise présente également l'avantage d'animer la culture d'entreprise et de renforcer le sentiment d'appartenance. Il permet de mettre en valeur aisément les travaux des uns et des autres et les victoires collectives.

Ce réseau favorise une vision commune, un sentiment fort d'appartenance et la cohésion de groupe.

f) Les réseaux sociaux d'entreprises libèrent les boîtes courriels

Les plateformes collaboratives permettent de limiter l'échange d'e-mails en interne, voire de les remplacer complètement par les fonctionnalités de tchat ou les conversations dans les groupes.

Les réseaux sociaux d'entreprise permettent de libérer du temps et soulager l'esprit des travailleurs, ce qui engendre un bénéfice pour eux.

g) Les plateformes collaboratives permettent de réduire la "réunionite".

Dans certaines entreprises, beaucoup de réunions sont organisées dont certaines sont parfois inutiles ou d'une longueur interminable et qui ne mènent à aucune décision. Ces réunions chronophages sont mal perçues par les collaborateurs motivés.

Le réseau social d'entreprise permet de réduire la réunionite. Par la messagerie instantanée ou les groupes de discussion, les échanges peuvent avoir lieu sans qu'une réunion formelle soit nécessaire. Les travailleurs peuvent se réunir par visioconférence sans avoir besoin de se réunir physiquement. Ce réseau représente donc un sérieux gain de temps et une frustration moindre pour les travailleurs.

h) Ces réseaux donnent du sens au travail des collaborateurs

Ce n'est pas facile pour un travailleur de comprendre le sens de sa fonction et de ses tâches au milieu de mécanismes parfois complexes au sein d'une grande entreprise.

Lorsque les projets menés à bien sont communiqués sur les réseaux, la visibilité des travailleurs qui y ont participé est augmentée. Ils peuvent ainsi prendre conscience

de l'importance de leur travail. De cette manière, les managers peuvent ainsi féliciter les travailleurs, membres de l'équipe projet.

Prendre conscience du sens de son travail constitue un élément de motivation important.

3.2.3 Logiciels de visioconférence

De plus en plus utilisée, la visioconférence permet de construire un échange à distance entre les participants.

Cependant, l'on observe que les réunions face à face sont souvent privilégiées lorsqu'il faut créer de nouveaux liens avec d'autres personnes (accueil d'un nouveau collaborateur, rencontre d'un nouveau client, etc). A contrario, lorsqu'il s'agit de renforcer des liens déjà existants, la visioconférence est utilisée.

La nature de la réunion peut également influencer sur le choix du type de réunion. Lorsque les tâches à effectuer sont explicites et présentent peu d'ambiguïtés, la visioconférence est utilisée. En revanche, lorsque les tâches à effectuer sont complexes et présentent une grande ambiguïté, les réunions face à face sont privilégiées.

Deux facteurs importants influencent également le type de réunion choisi : le temps et la distance. Lorsque les contraintes de temps et de distance sont élevées, la visioconférence est privilégiée. Lorsque le temps et la distance ne sont pas des contraintes, la réunion face à face est idéale [Denstadli et al., 2012,[43]].

Les logiciels de visioconférence sont présentés ci-après. Un comparatif de leurs fonctionnalités est ensuite discuté.

Microsoft teams

Microsoft Teams permet de créer et de participer à des réunions virtuelles. L'outil propose des options de collaboration approfondie, telles que le partage d'écrans ou l'échange de fichiers.

L'application permet également de gérer les invitations de calendrier. Teams permet de connaître la disponibilité des interlocuteurs. Cet outil est aussi connecté

directement à Microsoft Outlook et donc à l'agenda partagé de l'entreprise, ce qui permet de savoir si un collègue est absent, occupé ou bien disponible.

Teams est aussi intégré à la suite Office 365, qui regroupe des applications bureautiques comme Word, Excel et Powerpoint, ce qui permet de consulter ce type de fichiers et de les modifier directement dans Teams [Zoom US, 2022, [38]].

Zoom Cloud Meetings

ZOOM Cloud Meetings est un logiciel permettant d'organiser des visioconférences et des réunions en ligne en toute simplicité dans des salles virtuelles. Il existe une version totalement gratuite disposant d'une fonction de tchat et autorisant des réunions en HD audio et vidéo avec un maximum de 100 participants, la durée des réunions de plus de 3 personnes sont toutefois limitées à 40 minutes dans la version gratuite. Le nombre de participants peut aller jusqu'à 50.000 participants selon le type de licence.

En 2021, la sécurité de Zoom a été épinglée. Le phénomène de Zoombombing a été mis en évidence : des utilisateurs non invités et malveillants auraient eu accès à des salles de réunions zoom privées et auraient espionné des conversations ou diffusé du contenu. Lors d'une mise à jour, les failles de sécurité ont finalement été corrigées par l'instauration d'un chiffrement de bout en bout.

Depuis peu, les utilisateurs peuvent également désigner des interprètes dans leur réunion ou leur webinaire pour traduire d'une langue à l'autre (Zoom US, 2022, [39]).

Cisco WebEx Teams

Cisco WebEx Teams est aussi une application qui permet de travailler en équipe grâce aux réunions vidéo, à la messagerie de groupe, au partage de fichiers et aux tableaux blancs.

La version gratuite de Cisco WebEx Teams autorise 100 participants. Ce nombre peut être porté à 10.000 selon l'abonnement. Les webex events peuvent accueillir 100.000 participants.

Les messages y sont cryptés, ce qui garantit une certaine sécurité. La solution

fonctionne avec un navigateur web, un appareil mobile ou vidéo, ce qui la rend très accessible à un grand nombre d'utilisateurs.

Les réunions peuvent être enregistrées, ce qui permet aux absents de les visionner ultérieurement.

La fonction tableau blanc vous permet de collaborer avec les autres participants à la réunion en dessinant et en annotant sur une feuille blanche, des documents et des images. Cette fonction est pratique pour les équipes qui ont l'habitude d'une stratégie de communication plus visuelle. Cette fonction propose du texte, des formes, des flèches et des pointeurs (Webex, 2022, [40]) .

GoToMeetings

GoToMeeting fournit une solution de réunion en ligne professionnelle rapide et facile qui permet aux utilisateurs de se rencontrer face à face, de partager des présentations et de discuter avec des collègues. (Goto US, 2022, [41]) .

Google Meet

Google Meet permet d'organiser et de rejoindre des visioconférences réunissant jusqu'à 500 participants, 100.000 pour les événements en direct. Les réunions sont sécurisées car les informations sont chiffrées lors de leur transfert. (Google, 2022, [42]).

Le tableau qui suit présente un comparatif des fonctionnalités des différentes applications de visioconférence précitées. Il est inspiré d'un tableau issu de l'article "Analyse comparative mise à jour sur les plateformes de visioconférence - Zoom, Google Meet, Microsoft Teams, WebEx Teams et GoToMeetings" rédigé par Ravinder Singh et Soumya Awasthi publié en août 2020 [Singh, 2020, [44]]. Compte tenu de l'évolution continue des fonctionnalités de ces applications, nous l'avons toutefois mis à jour sur la base des informations contenues sur les sites officiels de celles-ci.

TABLE 1 – Comparatif des fonctionnalités des outils de Vidéoconférence

Critères	Microsoft Teams	Zoom	Google Meet	GoToMeetings	Cisco WebEx Teams
Nombre de participants pour un appel vidéo	Max 20 (1000 pour conversation et appel entrant, 20.000 pour les événements en direct)	100-1000 (selon l'abonnement), 50000 (webinar)	500, 100000 (événement en direct)	26 (gotomeetings), 1000 (gotowebinar)	100 (gratuit), 1000-3000-10000 (selon l'abonnement)
Authentification	Authentification multifacteur de Microsoft	L'authentification unique (SSO) permet aux utilisateurs de se connecter à Zoom en utilisant les informations d'identification et de connexion de leur entreprise.	Authentification multifacteur (authentificator, sms)	Authentification multifacteur possible	Authentification multifacteur possible
Communication cryptée	V	V	V	V	V
Compatibilité	Windows 11, Windows 10 (à l'exception du Canal de maintenance à long terme) Windows 10, Windows 10 sur ARM, Windows 8.1, Windows Server 2019, Windows Server 2016, Windows Server 2012 R2. L'une des trois versions les plus récentes de macOS. Distribution Linux capable d'installer les applications DEB ou RPM. Linux	mac OS X (10.10) ou version ultérieure, Windows 11, 10, 8.1, 7, Ubuntu 12.04 ou version ultérieure; Mint 17.1 ou version ultérieure, Red Hat Enterprise, Linux 6.4 ou version ultérieure, Oracle Linux 6.4 ou version ultérieure, CentOS 6.4 ou version ultérieure, Fedora 21 ou version ultérieure, OpenSUSE 13.2 ou version ultérieure	Apple macOS, Microsoft Windows, Chrome OS, Distributions Linux basées sur Ubuntu et Debian, Meet fonctionne avec les systèmes d'exploitation mobiles suivants : Android 5 ou version ultérieure, iOS 13 ou version ultérieure	Windows, Mac OS, et Linux	Bureau Windows, Mac, iOS, Android, Linux
Fonction d'enregistrement vidéo	V	V	V	V	V
Tableau blanc	V	V	v (moyennant l'utilisation de google Jamboard)	V	V
Qualité vidéo haute définition	V	V	V	V	V
Partage d'écran	V	V	V	V	V

Source : Tableau issu de l'article [44] complété et mis à jour

Sur la base de ce tableau, nous pouvons constater des différences en termes de nombre de participants autorisés entre les diverses applications de visioconférence examinées mais globalement elles offrent des fonctionnalités assez comparables. En outre, elles sont compatibles avec les systèmes d'exploitation les plus répandus.

3.2.4 Risques et limites des outils actuels de vidéoconférence

Limites des outils

Les applications fonctionnant dans des environnements Web 2D présentent certaines limites qui peuvent être de nature à réduire la qualité des échanges et de la communication lors des réunions.

Ces limites sont les suivantes :

La première est la faible perception de soi. Les utilisateurs ont une perception très limitée d'eux-mêmes dans les environnements 2D. Ils sont représentés par une photo ou une prise de vue en direct par webcam.

La seconde est l'absence de présence. Les sessions de conférence à distance sont perçues comme des appels en vidéo à rejoindre plutôt que comme des lieux de réunion collectifs virtuels. Lors de longues réunions, les participants ont tendance à être distraits ou à s'absenter.

La troisième est l'inactivité : hormis les quelques fonctions qui permettent de lever la main pour prendre la parole ou donner du feed-back, les plateformes 2D offrent des modes d'interaction limités entre les participants, ce qui peut conduire à une participation passive [Mystakidis, 2022, [30]]

Quatrièmement, l'utilisation malencontreuse des outils de visioconférence peut conduire à des situations problématiques. Ainsi, lorsque vous partagez votre écran lors d'une visioconférence pour présenter un document, les messages instantanés personnels ou les notifications de courriels qui apparaissent sur votre écran peuvent être lus par tous les participants d'une réunion. Ces messages peuvent contenir des informations confidentielles.

Enfin, l'utilisation prolongée et quotidienne des plateformes en ligne synchrones entraîne des phénomènes de fatigue (Mystakidis, 2022, [30]).

Andrew Bennett et ses collègues de l'université Old Dominion aux États-Unis ont analysé cette fatigue liée aux visioconférences, appelée « fatigue zoom » [Jacquemont G., 2021, [31]].

Pendant cinq jours, les chercheurs ont demandé à 55 employés qui travaillaient à distance de remplir un questionnaire chaque heure. 93 pourcents des participants disent avoir ressenti une fatigue à un moment ou à un autre. Le suivi de leur état de forme au cours de la journée montre des creux liés aux visioconférences. Deux types de travailleurs étaient moins fatigués : ceux qui éteignaient le plus fréquemment leur microphone et ceux qui avaient le plus fort sentiment d'appartenance au groupe. Ces résultats confortent la théorie dite « de restauration de l'attention », selon laquelle la fatigue psychologique vient en grande partie de l'effort requis pour maintenir une attention soutenue sur un objet. Couper son micro permettrait de relâcher sa concentration. Le sentiment d'appartenance accroîtrait notre intérêt pour la réunion, ce qui permet de maintenir notre attention sans effort.

Ces chercheurs recommandent donc de couper son micro quand on ne participe pas. Ils préconisent également de tenter d'augmenter le sentiment d'appartenance en instaurant des espaces de discussion informelle au sein des équipes [Jacquemont G., 2021, [31]].

Risques d'utilisation erronée ou abusive des données partagées

Les participants à une réunion ne communiquent des informations lors d'une réunion que s'ils ont une relative confiance dans la capacité des dispositifs à sécuriser les données échangées.

Autre exemple : les modems Wi-fi qui rétablissent les connexions au réseau de manière automatique si un appareil précédemment connecté revient. De même, les connexions Bluetooth qui rendent plus aisées les connexions entre appareils, comme le smartphone d'un conducteur qui est relié au système mains libres de son véhicule [Greenberg, 2014, [14]].

Ces reconnexions automatiques peuvent être problématiques. Cela peut être le cas lorsqu'elles ne sont pas souhaitées par l'utilisateur parce qu'il n'a plus confiance dans la sécurité offerte par le dispositif par exemple.

De même, en cas de vol du smartphone, le voleur peut tester les endroits proches

pour voir s'il peut accéder à d'autres dispositifs ou réseaux sans s'identifier.

D'autre part, même avec les appareils de confiance, les circonstances peuvent changer. Par exemple, un employé qui a montré des photos de vacances à un collègue et ami en utilisant l'écran d'une salle de réunion pourrait voir ces photos s'afficher malencontreusement sur l'écran en passant devant avec son chef lorsque que son smartphone se reconnecte automatiquement.

Un utilisateur peut aussi ne pas savoir qu'il partage à nouveau les données de son appareil avec quelqu'un d'autre avec lequel il avait déjà partagé des informations par le passé. Cette méconnaissance du partage de données est un souci connu dans les logiciels de groupe, où l'un des utilisateurs du groupe peut ne pas savoir que ses informations sont partagées avec d'autres utilisateurs.

En vue de solutionner ces soucis, lorsque des connexions proxémiques sont établies, le système doit préciser aux utilisateurs le type de données partagées, le moment où elles sont transmises et l'identité des utilisateurs qui peuvent en prendre connaissance. En outre, les utilisateurs doivent connaître l'utilisation des informations partagées [Greenberg, 2014, [14]].

Par ailleurs, certaines organisations de surveillance ou de sécurité prennent également l'hypothèse que toutes les interactions proxémiques entre les appareils des utilisateurs impliquent que ceux-ci ont une relation sociale. Cette hypothèse est problématique pour diverses raisons. Ces organisations essaient alors de déterminer le réseau social d'une personne à partir des événements proxémiques entre cette personne et d'autres utilisateurs. En 2013, Edward Snowden a révélé la pratique controversée de l'Agence nationale de sécurité des États-Unis consistant à suivre les enregistrements des métadonnées des appels téléphoniques (le numéro composé, la localisation du téléphone portable, l'heure et la durée de l'appel, etc.). L'objectif était d'identifier les membres de réseaux terroristes. Le risque de cette méthode est d'inclure des innocents par erreur dans le réseau.

En exploitant les métadonnées, il est possible d'identifier les personnes qui ont des relations sociales entre elles. Ces informations peuvent être utilisées à des fins liées à la sécurité des personnes. Mais les spécialistes du marketing pourraient aussi

utiliser ces données pour identifier un public cible potentiel pour un produit. Elles pourraient aussi être utilisées par les spammeurs et les hameçonneurs à des fins de tromperie.

3.2.5 Robot de téléprésence

Un robot de téléprésence, autrement dit un système Mobile Remote Presence (MRP), est un dispositif de télécommunication mobile, contrôlé à distance par son pilote. Le robot représente le pilote dans le lieu où le robot se trouve. Un problème courant avec ces robots est leur capacité limitée à interagir avec l'environnement physique. Une solution potentielle, explorée dans l'étude de Kaptelinin [Kaptelinin et al., 2017, [16]] est l'interaction "double télécommande" qui permet au pilote, non seulement de contrôler à distance le robot, mais de contrôler également à distance des objets dans le lieu où le robot se trouve.

Un robot de téléprésence comporte une unité de communication vidéo/audio connectée à une base à roulettes. Ce système MRP permet au pilote d'engager des interactions sociales plus actives et spontanées avec des personnes présentes dans le même local que le robot. Ces dernières années, les robots sont de plus en plus courants dans divers contextes quotidiens, tels que les environnements de bureau, l'éducation et les soins de santé.

L'une des principales limites des systèmes MRP existants est le manque de capacités de manipulation d'objets présents dans le local où il se trouve, tels que par exemple des projecteurs ou des lumières. Une façon d'améliorer les capacités d'action des robots de téléprésence est de les équiper de bras de manipulation avancée. Cependant, la solution peut ne pas être réalisable en raison des coûts élevés et des problèmes de sécurité.

Une solution alternative, qui est explorée dans l'étude rapportée ici, est basée sur l'idée de la double télécommande, c'est-à-dire combinant la télécommande d'un robot de téléprésence avec une télécommande pour les objets. Ainsi, si le pilote qui contrôle un système MRP peut également contrôler les lumières dans le cadre

local, il n'est pas nécessaire que le système MRP ait un contact physique avec l'interrupteur de lumière.

Kaptelinin et al. ont mené une étude empirique des effets de l'interaction de la double télécommande sur les performances et l'expérience du pilote, ainsi que sur les interactions sociales entre le pilote et la population se trouvant dans le local distant.

Ces chercheurs ont conclu que, pour le pilote, la capacité supplémentaire de contrôle d'objets à distance était généralement associée à un sentiment accru d'autonomie et de confiance en soi, même si elle augmentait également quelque peu sa charge mentale. D'autre part, les populations locales percevaient la double interaction de la télécommande comme moins personnelle et remettant en question leur propre contrôle sur les objets de leur environnement.

3.3 Évolution des outils actuels

3.3.1 L'impact de la crise sanitaire

Avant la crise sanitaire, les réunions à distance via les outils tels que Skype ou Teams existaient mais n'étaient pas si fréquentes qu'aujourd'hui. Les réunions durant lesquelles les participants étaient présents physiquement étaient plutôt la norme. Lors de ces réunions, les participants utilisaient la plupart du temps des outils tels qu'un ordinateur fixe ou portable et un rétroprojecteur pour présenter et partager de l'information.

Le télétravail occasionnel ou structurel était, dans bon nombre de cas, réservé aux tâches qui pouvaient s'effectuer seul. Pour travailler depuis son domicile ou un endroit autre que son lieu de travail habituel, le travailleur est équipé d'un ordinateur relié au réseau de son entreprise en utilisant internet.

En mars 2020, l'apparition de la crise sanitaire de la covid-19 a fondamentalement changé le mode de travail. Les réunions à distance et le travail à domicile se sont largement généralisés. Afin de limiter la propagation du virus, du jour au lendemain, les vidéoconférences professionnelles, scolaires mais aussi familiales sont devenues la norme.

Sur le plan professionnel, cette brusque nécessité de travail à domicile a engendré une transformation numérique de la main-d'œuvre et une évolution de l'environnement de travail à une vitesse très rapide.

Au début de la pandémie, l'utilisation des technologies digitales afin de travailler depuis le domicile semblait être la solution presque magique qui permettait de concilier les exigences sanitaires résultant de la crise et les contraintes économiques en limitant les faillites d'entreprises [Chadee et al., 2021, [18]].

Plutôt que de se déplacer vers son lieu de travail, les employés ont alors "voyagé" en utilisant leurs outils digitaux. Rester en contact avec ses collègues se faisait alors à l'aide d'appareils mobiles (téléphones, tablettes, ...) ou d'ordinateurs fixes ou portables. La communication par e-mail et par vidéoconférence a ainsi pris une

très grande ampleur.[Savić, 2020, [19]]

Selon une enquête réalisée au sein de trois universités belges francophones (l'UCLouvain, l'ULiège et l'ULB) auprès de 700 employés, la crise sanitaire a causé une diminution drastique du nombre moyen de réunions présentes. Elles sont passées de 4,5 à 1 par semaine, tandis que le nombre moyen de réunions virtuelles a augmenté de 0,5 à 5 par semaine [Thunus et al.,[37]].

En quelques jours, les entreprises et les services publics ont été contraints de mettre à disposition de leurs employés les outils nécessaires pour télétravailler de manière à augmenter significativement la collaboration à distance. Le télétravail nécessite en effet de disposer d'outils informatiques. Alors que certaines entreprises ou services publics rechignaient à mettre en place un télétravail structurel, la covid-19 a obligé les employeurs et les employés à accepter une transformation numérique très rapide.

Plusieurs bénéfices du télétravail sont alors apparus :

- la suppression des déplacements vers le lieu de travail, ce qui permet un gain de temps et une réduction de la pollution de l'environnement liée au transport ;
- une plus grande flexibilité qui permet une meilleure articulation entre vie privée et vie professionnelle,
- une productivité accrue grâce à la réduction des distractions occasionnées par les collègues et à une plus grande efficacité des réunions virtuelles.

Cependant, le télétravail devenant la norme, certaines questions se sont posées concernant les effets néfastes d'un tel mode de travail [Chadee et al., 2021, [18]].

Le premier effet néfaste cité est le manque de séparation entre le domicile et le lieu de travail, ce qui a également pu avoir un impact sociologique et psychologique négatif sur les employés. Disposer de son ordinateur portable dans son lieu de vie permet de se connecter à tout instant pour assurer ses tâches professionnelles. La tentation est alors très grande de vouloir terminer le travail inachevé peu importe l'heure, au détriment parfois de la vie privée.

De manière générale, la crise de la covid-19 a également causé un stress chez les travailleurs qui a pu affecter leur santé psychologique. Pour les emplois qui demandent un niveau élevé d'interdépendance, ce stress était encore plus important. En effet, ces emplois exigent un niveau élevé de coordination et d'interaction entre les employés. Le travail à distance a nécessité un recours plus important aux canaux de communication (courrier électronique, téléphone, réunion virtuelle) pour garder le contact avec les collègues. Or, ces canaux ont une interactivité plus limitée. Dès lors, cela demande plus d'efforts de la part des travailleurs concernés. Comme le souligne Russell et al., lors du déclenchement de la crise de la covid-19, la vidéoconférence est devenue la norme [Russell et al., 2021, [21]]. Or, les réunions à distance sont moins adaptées aux échanges relationnels. Elles permettent de maintenir le lien social mais peuvent plus difficilement permettre de créer de nouvelles relations. Elles ne favorisent pas les moments informels qui sont parfois sources de nouvelles idées.

L'espace physique partagé permet d'évaluer la dynamique du pouvoir dans un groupe. En entrant dans une pièce, on peut généralement dire qui est le leader, et si ce leadership est explicite ou implicite, sur la base de la position des personnes, de la position de leurs bureaux ou chaises ou encore de l'endroit où chacun regarde. Les dynamiques de pouvoir ne disparaissent pas dans les espaces numériques mais elles se manifestent différemment [McDonald et al., 2021, [20]].

Un autre désavantage qui s'est fait jour est l'isolement professionnel des travailleurs. L'isolement professionnel est le sentiment de perte de lien entre les travailleurs, et entre un travailleur et son organisation à la suite de la baisse des interactions formelles et informelles. L'isolement professionnel est l'un des principaux désavantages du télétravail puisqu'il réduit la qualité de l'expérience de travail. Même si les acteurs de la vidéoconférence comme Zoom, Microsoft Teams, Google Meet ou Cisco Webex ont beaucoup amélioré l'expérience quotidienne de millions d'utilisateurs au cours des derniers mois avec l'arrivée de fonctionnalités comme la réduction de bruit, la détection de visage et des outils de productivité, les utilisateurs restent éloignés physiquement les uns des autres.

Cet isolement dont souffrent certains employés est associé à un niveau de performance moindre en télétravail. Comme le souligne Fayard et al., ce sont les relations qui créent la confiance entre les collaborateurs. Les interactions fréquentes en personne favorisent l'engagement, le soutien et la coopération entre les collègues. Il est important que les équipes se rencontrent régulièrement en face à face [Fayard et al., 2021, [22]].

Certains auteurs mentionnent également le danger grandissant auquel la société devra faire face en créant des individus isolés [Savić, 2020, [19]].

Cependant, certaines études, notamment celle de [Registre, 2021, [24]], ont montré que lorsque l'employeur met des ressources à la disposition de ses employés pour leur permettre de bien accomplir leurs tâches, cela peut stimuler leur performance en atténuant les effets négatifs de l'isolement professionnel.

Ces mêmes études démontrent également que les employeurs peuvent aussi utiliser des technologies qui contribuent à atténuer le sentiment d'isolement professionnel et qui améliorent l'expérience du télétravail. Les employeurs peuvent par exemple investir dans des dispositifs de réalité virtuelle ou des technologies d'hologramme.

Selon une enquête de SD Workx réalisée en mars 2022, les Belges souhaitent travailler 50% du temps à domicile. La majorité des Belges préfèrent travailler deux ou trois jours depuis leur domicile. [Sdworks,[27]]

Dans ce contexte, il est important que les employeurs puissent fournir les outils adéquats qui favorisent un travail collaboratif. De nouvelles solutions technologiques, utilisées dans le développement du métavers, devraient permettre à l'avenir de réduire encore plus la distance entre les personnes.

3.3.2 Le développement du métavers

Le métavers résulte de la contraction de "méta" et "univers", soit le méta-univers. Il s'agit d'un réseau d'environnements virtuels toujours actifs dans lequel de nombreuses personnes peuvent interagir entre elles et avec des objets numériques tout

en utilisant des représentations virtuelles d'elles-mêmes. Ces représentations visuelles sont des avatars, en quelque sorte une doublure numérique.

Au cours de ces dernières années, avec l'essor de la 5G, la recherche et le développement sur le métavers a connu une forte augmentation, tant dans l'industrie que dans les universités. Le métavers est rendu possible par diverses technologies émergentes telles que la blockchain¹, les crypto-monnaies et la réalité étendue, qui comprend la réalité augmentée, la réalité virtuelle et la réalité mixte. Cette dernière est un mix entre réalité augmentée et réalité virtuelle. Néanmoins, il n'existe toujours pas de définition unifiée du métavers (Cheng R et al., [36]).

En synthèse, le métavers permet une communication transparente entre les utilisateurs représentés en temps réel en trois dimensions et des interactions dynamiques avec des objets numériques. Au départ, il s'agissait d'un réseau de mondes virtuels où les avatars pouvaient se téléporter. Le métavers actuel comporte des plateformes de réalité virtuelle compatibles avec les jeux vidéo en ligne multi-joueurs, les mondes de jeux ouverts et les espaces collaboratifs de réalité augmentée. Ils permettent d'associer la réalité physique avec la virtualité numérique.

Les innovations en informatique jouent un rôle crucial dans la vie quotidienne car elles modifient et enrichissent l'interaction humaine, la communication et les transactions sociales. À ce jour, nous avons connu trois grandes vagues d'innovation technologique : d'abord, l'introduction des ordinateurs personnels, le développement d'internet et l'arrivée des appareils mobiles. Actuellement, la quatrième vague d'innovation se déploie autour de technologies spatiales immersives telles que la réalité virtuelle et la réalité augmentée. Il s'agit de technologies utilisées dans le métavers qui pourraient progressivement transformer la formation en ligne, le monde de l'entreprise, le travail à distance et le divertissement.

La réalité virtuelle est un environnement artificiel créé numériquement et complètement séparé. Les utilisateurs se sentent intégrés dans un monde différent mais

1. La blockchain est une technologie de stockage et de transmission d'informations sans autorité centrale. Techniquement, il s'agit d'une base de données distribuée dont les informations envoyées par les utilisateurs et les liens internes à la base sont vérifiés et groupés à intervalles de temps réguliers en blocs, formant ainsi une chaîne. L'ensemble est sécurisé par cryptographie. Par extension, il s'agit d'un registre distribué et sécurisé de toutes les transactions effectuées.

ils y fonctionnent comme dans un environnement physique. A l'aide de casques d'immersion et de tapis roulants, les sensations des utilisateurs sont améliorées grâce à la vision, au son, au toucher, au mouvement et à l'interaction naturelle avec des objets virtuels. Par le biais d'un casque posé sur les yeux, les employés pourront ainsi se retrouver dans un monde virtuel ou dans leur environnement de travail habituel recréé en 3D, ce qui permettra de rendre le télétravail plus convivial en reconstituant les conditions de travail en présentiel.

La société Cisco propose par ailleurs une nouvelle solution pour réduire la distance entre les personnes avec la technologie des hologrammes. Les réunions hybrides avec des participants au bureau et à distance représentent en effet un véritable défi. Grâce aux capacités de la technologie des hologrammes, les intervenants peuvent maintenant communiquer comme s'ils étaient dans un même bureau. Les participants à une réunion sont ainsi représentés par des hologrammes réalistes en temps réel. Cet outil permet aussi de partager du contenu physique et numérique pour collaborer ensemble de manière concrète. Cisco prend l'exemple des acteurs de l'industrie automobile qui travaillent ensemble sur un même prototype physique de véhicule. En affichant le modèle devant eux en réalité augmentée, ils profitent d'analyses approfondies pour une meilleure visualisation du moteur ou du châssis [Timarche,2021,[25]].

Cette technologie est très prometteuse pour le futur au vu du nombre important de travailleurs qui souhaitent conserver la possibilité de télétravailler.

La réalité augmentée adopte une approche différente des espaces physiques : il ajoute des éléments virtuels dans l'environnement physique afin de l'améliorer. Autrement dit, il fusionne le monde physique avec le monde virtuel. Le résultat final est une couche projetée dans l'espace d'artefacts numériques à l'aide de téléphones intelligents, de tablettes, de lunettes ou encore de lentilles de contact. La réalité virtuelle devrait déterminer les interactions proxémiques du futur [Mystakidis, 2022, [30]].

Dans le domaine de la réalité virtuelle, le métavers a été conçu comme un internet 3D (Web 3.0.). Sa première version a été conçue comme un ensemble de mondes

virtuels où les avatars pourraient voyager entre eux. Lorsque le métavers sera implémenté, les utilisateurs pourront se rencontrer et interagir sous une forme d'hologramme 3D ou d'avatar dans des espaces physiques ou virtuels.

Le métavers devrait dès lors respecter des principes similaires à internet. Il ne devrait y avoir qu'un seul métavers, il devrait être disponible pour tous, ouvert, indépendant du matériel (*hardware* en anglais), connecté en réseau et contrôlé de manière collective.

Un problème engendré par la réalité virtuelle qui a été soulevé par [Medeiros et al., 2021 [6]] est celui de la perte de la conscience de l'espace physique qui nous entoure. Il a donc implémenté une série de manière de notifier à l'utilisateur ce qu'il se passe autour de lui lorsqu'il se trouve dans la réalité virtuelle. On peut alors retrouver un système de notifications qui apparaissent directement sur l'écran dans le casque. Il y a également des notifications sonores lorsque quelqu'un s'approche. On y retrouve également des ombres qui se forment sur l'écran lorsque le porteur du casque de réalité virtuelle s'approche de trop près d'une surface.

3.3.3 Les applications de réalité étendue

Dans le présent mémoire, nous limiterons l'examen des applications à celles utilisables pour des réunions professionnelles. Ne seront dès lors pas abordées les applications plutôt considérées comme des réseaux sociaux en réalité virtuelle telles que VRChat, AltspaceVR et Mozilla Hubs ou encore les plateformes de jeux comme Rec room.

Horizon Workrooms [Meta, [32]]

Lancé en août 2019, Horizon Workrooms, développé par Meta (anciennement Facebook), est une expérience de réalité virtuelle permettant aux participants de collaborer à distance. Les participants peuvent alors travailler ensemble dans une pièce virtuelle, peu importe la distance physique. Le but est d'améliorer la capacité d'une équipe à collaborer et à communiquer, et de se connecter à distance, via la réalité virtuelle. Cette expérience s'adapte à plusieurs types de travail : effectuer

un brainstorming, travailler sur un document, effectuer un réunion, se socialiser ou simplement avoir une conversation plus naturelle.

Horizon Workrooms fonctionne grâce au casque de réalité virtuelle de chez Meta nommé le Quest 2. Cela permet d'utiliser des technologies telles que le suivi du bureau, du clavier, le streaming d'un écran à distance ou encore l'audio spatial. 50 personnes peuvent rejoindre la réunion dont 16 personnes peuvent se connecter à l'aide de leur casque et être représentées par leur avatar.

Mesh [Microsoft, [33]]

Mesh, développé par Microsoft, offre une expérience similaire à celle de Meta. Le but est également de permettre aux participants de collaborer grâce à la réalité virtuelle. Les participants peuvent être représentés sous forme d'avatars.

Mesh se différencie cependant de Workrooms en offrant une possibilité supplémentaire de collaboration grâce à la réalité augmentée. En effet, il est possible de choisir ce que Microsoft nomme "l'Holoportation", ce qui permet de rendre les participants photo-réalistes, donc plus proches de la réalité physique. Les participants sont alors incorporés dans le monde réel et peuvent communiquer, collaborer et créer.

Mesh est une boîte à outils de développement d'applications holographiques qui permet d'intégrer, dans nos applications, des fonctionnalités, telles que la synchronisation de l'information et l'intégration et l'optimisation de modèles 3 D.

L'application Mesh est actuellement disponible dans une version limitée gratuite. Cette pré-version est un aperçu et n'est donc pas constituée de l'entièreté des fonctionnalités présentées.

FIGURE 1 – Application Mesh



Source :

<https://news.microsoft.com/innovation-stories/mesh-for-microsoft-teams/>

Webex Hologram [Cisco, [34]]

Webex Hologram, développé par Cisco, a été présenté en octobre 2021. Cette solution de visioconférence propose une expérience similaire à celle de Microsoft. Elle permet de tenir des réunions virtuelles dans lesquelles le participant voit son interlocuteur en 3D en temps réel. Ce dernier est représenté par un modèle 3D réaliste et pas un avatar simplifié, ce qui renforce le sentiment de présence dans un même espace. Les participants sont donc représentés par des hologrammes photo-réalistes, grâce à un dispositif de capture des participants par des caméras multiples et un casque de réalité augmentée pour le visionnage immersif.

FIGURE 2 – Application Webex Hologram



Source : <https://projectworkplace.cisco.com/capabilities/hologram>

Project Starline [Google, [35]]

Project Starline, développé par Google, a visé une autre approche. L'objectif de ce projet était de faire croire aux participants qu'ils sont dans la même pièce. Dans le cadre de ce projet, Google a imaginé une grande vitre avec un écran intégré qui permet d'afficher un autre participant, en 3d, ce qui donne l'impression d'être dans la même pièce que la personne.

FIGURE 3 – Project Starline



Source : <https://blog.google/technology/research/project-starline/>

4 Développement de la recherche

4.1 Description de la question de recherche

Au terme de l'analyse de l'état de l'art, il apparaît que, dans le futur, il est probable que les réunions à distance se tiendront majoritairement dans le métavers en utilisant des technologies, telles que la réalité virtuelle, la réalité augmentée ou encore la réalité mixte.

J'ai donc choisi de développer la recherche sur les perspectives actuelles des outils de collaboration à distance en réalité virtuelle ou augmentée en termes d'amélioration de la communication et des échanges entre les participants d'une réunion.

Vu que les applications utilisant ces technologies sont encore au stade de développement, les études portant sur l'expérience des utilisateurs de ces applications sont quasi-inexistantes.

En l'occurrence, j'ai ciblé mon analyse sur Horizon Workrooms et Microsoft Mesh qui comportent des salles de réunions virtuelles où l'on peut se retrouver autour d'une table de réunion entouré des avatars ou des hologrammes de ses collègues. Cette nouvelle forme d'expérience immersive apportera sans aucun doute des innovations en termes de relations sociales et de communication lors des réunions.

4.2 Méthodologie

La recherche a été réalisée selon la méthodologie suivante :

- La consultation et l'analyse d'articles scientifiques et de diverses autres contributions sur le sujet analysé. Ceux-ci sont listés dans la bibliographie et ont permis de dresser l'état de l'art mais aussi de compléter certains éléments abordés dans le cadre du développement de la recherche.
- L'exploitation des articles et des vidéos de présentation des applications Horizon Workrooms et Microsoft Mesh ont permis de cerner les fonctionnalités

de ces applications et de comprendre les technologies utilisées pour leur développement.

- Le recueil des avis d'utilisateurs par divers canaux a permis d'apprécier les forces et faiblesses d'Horizon workrooms (avis publiés sur le site internet² d'Oculus et résultats des tests réalisés par divers utilisateurs présentés sur Youtube). Vu le stade de développement de l'application Microsoft Mesh, il n'a pas encore été possible de consulter un nombre significatif d'avis d'utilisateurs. En effet, l'application est encore en beta et il n'est pas possible pour les utilisateurs de laisser des commentaires publics sur le site de Microsoft.
- Enfin, sur la base de ces éléments, j'ai ensuite identifié diverses pistes d'amélioration potentielles de ces applications.

2. <https://www.oculus.com/experiences/quest/2514011888645651/>

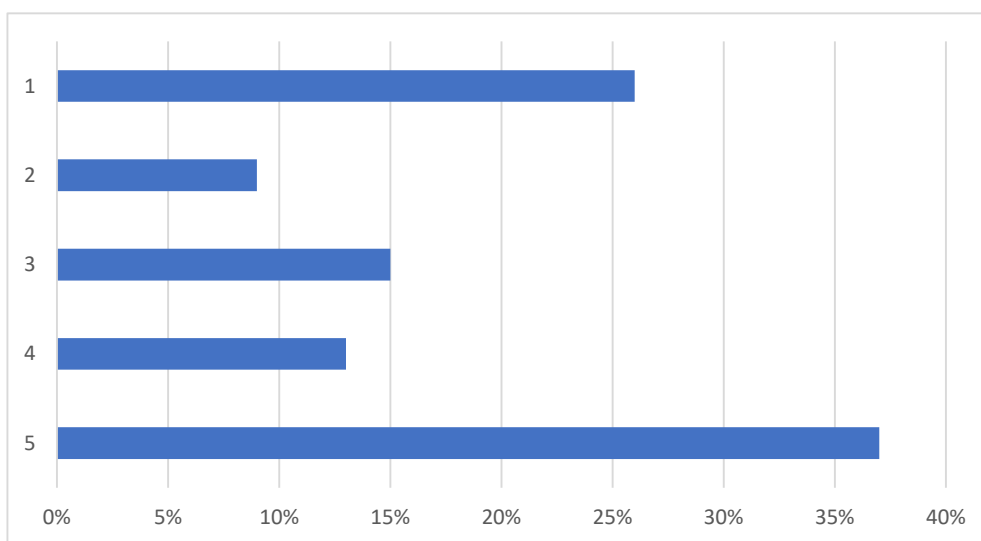
4.3 Résultats

4.3.1 Les améliorations grâce aux applications en réalité étendue

L'exploitation des avis d'utilisateurs d'**Horizon Workrooms** repris en annexe permet de mettre en exergue les points forts du logiciel, dont certains favorisent une amélioration de la communication et des échanges lors des réunions.

A la date du 11 août 2022, 292 utilisateurs avait attribué une note d'évaluation à l'application Horizon workrooms sur le site web précité. Celle-ci a reçu une note globale de 3 sur 5. La moitié des utilisateurs lui attribue une note supérieure ou égale à 4. 35% d'entre eux lui ont attribué une note inférieure ou égale à 2. 15% lui ont donné la note de 3.

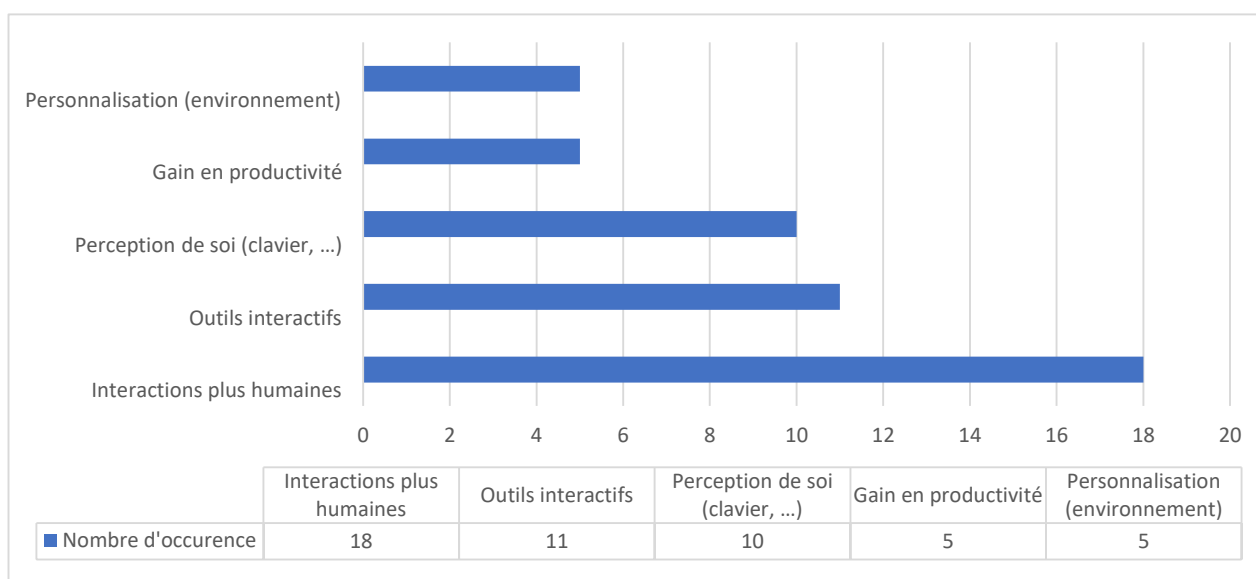
FIGURE 4 – Cotation d'Horizon Workrooms par les utilisateurs



Source : Figure établie sur la base des données issues de <https://www.oculus.com/experiences/quest/2514011888645651/>

Seuls 134 des 292 utilisateurs ont formulé un avis écrit qui a été publié sur le site web de l'application. L'analyse de ces avis d'utilisateurs et de l'avis de 3 youtubers qui ont testé les applications (dont Horizon Workrooms) combinée à l'exploitation des vidéos de présentation d'Horizon Workrooms par Meta nous a permis d'identifier 5 points forts.

FIGURE 5 – Points forts de l'application Horizon Workrooms



Source : Résultats de l'analyse des avis collectés sur <https://www.oculus.com/experiences/quest/2514011888645651/>

La figure 5 permet de visualiser le nombre d'utilisateurs qui ont mis en exergue ces points forts dans leur avis. Il est à noter qu'un utilisateur peut mettre en exergue plusieurs points forts et/ou faibles.

1. Interactions plus humaines

Par vidéoconférence en 2D, la communication non verbale passe difficilement. Par ailleurs, les réunions à distance peuvent être suivies de manière passive. En coupant le micro ainsi que la caméra, l'implication des participants est très limitée. La vidéoconférence peut même se dérouler en l'absence totale d'implication de certains participants. Les réunions par vidéoconférence sont ainsi parfois perçues comme de simples appels en vidéo à rejoindre. Les participants peuvent aussi avoir un manque de motivation pour collaborer à distance en raison de la "Zoom fatigue", qui peut encore être accentuée lorsqu'un décalage du son et de l'image se produit en raison d'une connexion internet de faible qualité.

La réalité virtuelle résout en grande partie ces problèmes. En effet, le contact visuel entre les participants est amélioré. Grâce à la 3D, chaque participant, entouré "virtuellement" par ses collègues, peut interagir avec eux et manipuler ou exami-

ner des objets virtuels. La 3D permet en quelque sorte de donner vie aux réunions et accroît ipso facto l'implication des participants qui peuvent difficilement rester inactifs.

Par conséquent, les applications utilisant la réalité étendue favorisent des interactions beaucoup plus humaines qu'entre les participants d'une réunion en 2D malgré la séparation géographique dans le monde réel. In fine, ces applications devraient apporter un caractère plus "humain" au télétravail. 13% des utilisateurs d'Horizon workrooms qui ont remis un avis soulignent cette amélioration.

Pour les participants sans casque de réalité virtuelle, il est également possible de rejoindre l'expérience Workrooms avec une simple caméra. Comme le montre la (Figure 6), le participant apparaît alors sur un écran dans la pièce virtuelle .

FIGURE 6 – Appel vidéo sur l'application Horizon Workrooms



Source : <https://www.oculus.com/workrooms/features/>

2. Développement d'outils interactifs

Au fil du temps, les participants à une réunion ont utilisé le stylo et le papier, ensuite l'ordinateur et le clavier, le rétroprojecteur et l'écran de projection.

Grâce à la réalité virtuelle, les utilisateurs utilisent des gestes et le toucher pour interagir. Bientôt, ils devraient utiliser la pensée pour interagir. En effet, des recherches sont en cours sur l'utilisation d'électro-encéphalographes pour mesurer les ondes cérébrales de manière à pouvoir, par la pensée, réaliser des commandes

dans un environnement virtuel.

Comme en témoigne la (Figure 7), Horizon Workrooms permet aussi de collaborer avec un tableau blanc. Chaque pièce dans Workrooms possède un tableau blanc infini qui permet à chaque participant d'écrire ou de dessiner en temps réel. Il est également possible d'y afficher des fichiers et de les annoter à plusieurs. Ensuite, le tableau peut être exporté comme une image sur un ordinateur.

FIGURE 7 – Tableau collaboratif dans Horizon Workrooms



Source : <https://www.oculus.com/workrooms/features/>

Comme le montre la (Figure 8), l'écran du bureau de l'utilisateur peut être reproduit en direct dans l'espace de réalité virtuelle, ce qui permet à l'utilisateur de pouvoir travailler avec son ordinateur tout en étant en réalité virtuelle.

Globalement, 8% des utilisateurs qui ont remis un avis soulignent la qualité des outils collaboratifs de l'application Horizon Workrooms.

FIGURE 8 – Bureau incorporé dans la réalité virtuelle



Source : <https://www.oculus.com/workrooms/features/>

3. Perception de soi

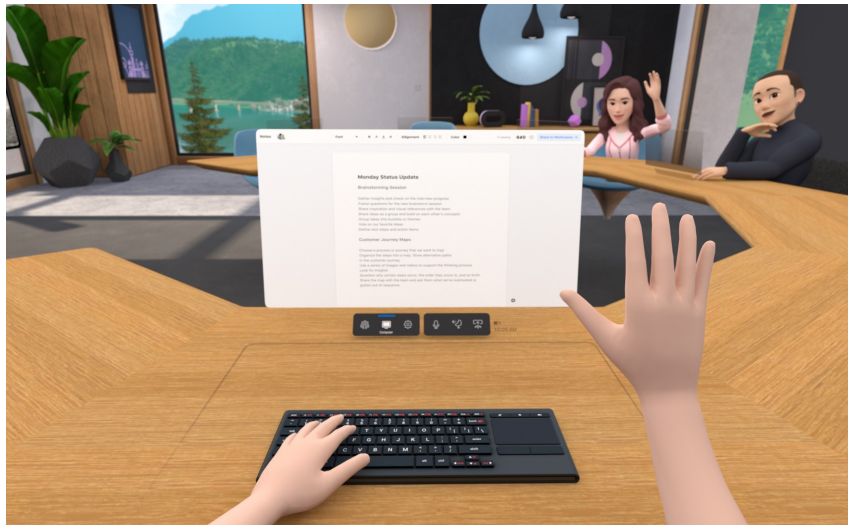
En vidéo 2D, l'utilisateur a une faible perception de lui-même. Tout au plus, il se voit sur son écran à l'aide de la caméra.

7% des utilisateurs d'Horizon workrooms soulignent cette amélioration. Grâce à la réalité virtuelle, l'utilisateur n'est plus une simple image, mais il est incarné par son avatar dans le métavers. Les utilisateurs sont en effet représentés par des avatars sympathiques qui peuvent être configurés. Lorsque l'utilisateur parle, les lèvres de l'avatar sont assez bien synchronisées, ce qui augmente le réalisme des interactions et favorise la communication.

Grâce au suivi des mains (voir Figure 9), Workrooms permet d'effectuer des actions sans contrôleurs (manettes), ce qui permet de créer une expérience sociale plus naturelle et expressive. L'application permet également des transitions plus faciles entre les outils physiques tels le clavier ou les contrôleurs (si besoin). Horizon workrooms permet de voir ses mains sur le clavier, ce qui augmente la perception de soi dans le monde virtuel.

Il est possible d'intégrer son bureau physique dans l'espace de réalité virtuelle (voir Figure 9). Workrooms effectue une fusion entre le bureau physique et l'environnement de réalité virtuelle afin d'augmenter l'immersion.

FIGURE 9 – Suivi des mains et intégration du bureau dans Horizon Workrooms



Source : <https://www.oculus.com/workrooms/features/>

Horizon Workrooms, ainsi que Microsoft Mesh, combinent le monde virtuel et le monde réel, ce qui permet de ne pas couper totalement les participants du monde réel.

4. Gain accru en productivité et en efficacité

Le développement de l'utilisation de la réalité étendue dans le monde du travail devrait permettre de gagner en productivité. Les travailleurs ne devront plus consacrer du temps dans les transports et pourront collaborer plus efficacement qu'en vidéoconférence en 2D. 4% des utilisateurs qui ont remis un avis soulignent ce facteur de succès.

La manipulation d'objets en 3D ouvre ainsi des perspectives de collaboration dans le domaine de l'industrie. A titre d'exemple, des ingénieurs du monde entier munis de leur casques de réalité virtuelle peuvent ainsi se réunir, sans se déplacer physiquement, pour discuter du développement d'un prototype de voiture représenté en 3D.

La réalité augmentée est aussi de plus en plus présente dans le domaine de la chirurgie. Elle permet notamment d'assister le chirurgien lors d'une intervention pour rappeler les différentes étapes de l'intervention et la sécuriser, optimiser la

planification de l'opération, permettre au chirurgien d'être plus précis grâce à un hologramme en 3D de son patient, avoir recours à un avis de collègue éloigné géographiquement mais qui peut l'assister à distance [Sadeghi et al., 2021, [46]]

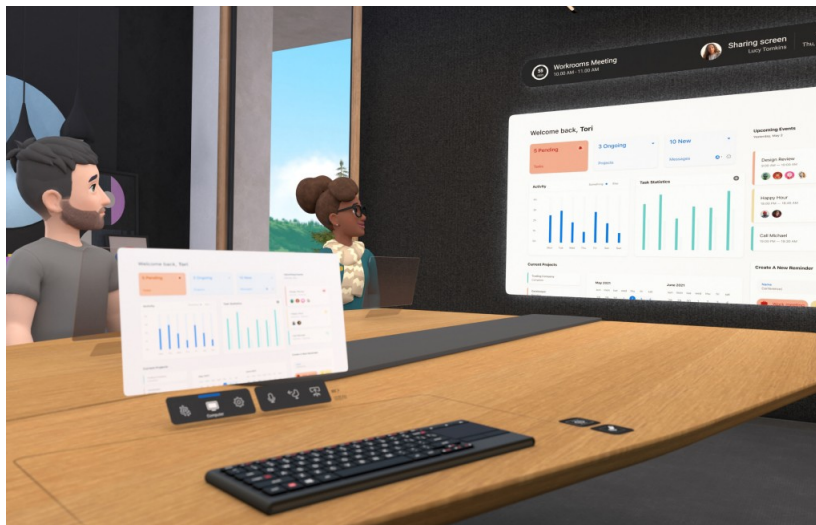
5. Personnalisation de l'environnement

Grâce à la réalité virtuelle, l'environnement de travail peut être adapté. 4% des utilisateurs d'Horizon workrooms pointent ce point positif.

L'écran de bureau peut par exemple être agrandi et déplacé.

Comme le montre la (Figure 10), chaque pièce peut être configurée et adaptée aux besoins des participants ou de la réunion. La pièce peut ainsi évoluer en fonction du type de réunion (collaboration, conversation, présentation et du nombre de participants.

FIGURE 10 – Mode présentation dans Horizon Workrooms



Source : <https://www.oculus.com/workrooms/features/>

L'audio spatial rend les conversations avec les avatars plus naturelles et réelles car cette fonctionnalité permet à l'utilisateur d'entendre les sons à un endroit précis dans la pièce virtuelle, comme l'illustre la Figure 11). Cette fonctionnalité crée un sentiment d'immersion plus fort, car lorsqu'un participant parle à la gauche de l'utilisateur, l'utilisateur l'entend à sa gauche.

FIGURE 11 – Audio spatial dans Horizon Workrooms



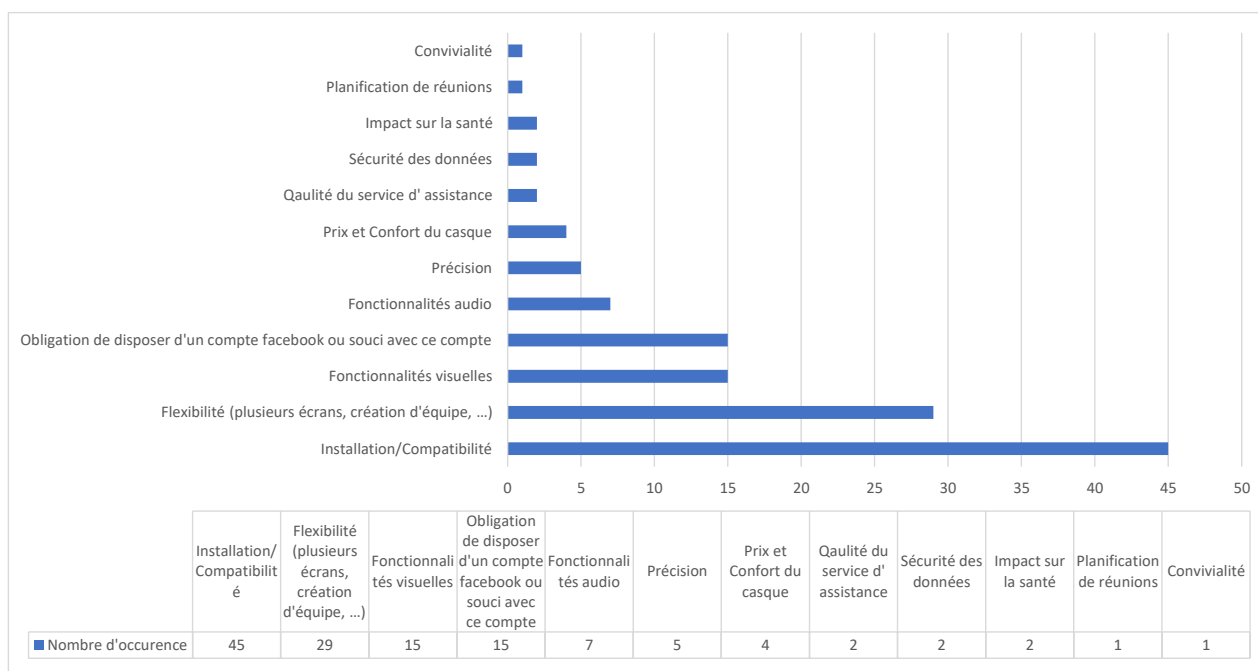
Source : <https://www.oculus.com/workrooms/features/>

4.3.2 Les points faibles

L'analyse des avis d'utilisateurs d'Horizon Workrooms et de 3 youtubers qui ont testé cette application nous a permis d'identifier les points faibles de cette application.

La figure 12 permet de visualiser le nombre d'utilisateurs qui ont mis en exergue ces points faibles dans leur avis.

FIGURE 12 – Points faibles de l’application Horizon Workrooms



Source : Résultats de l’analyse des avis collectés sur <https://www.oculus.com/experiences/quest/2514011888645651/>

1. Installation et compatibilité

Environ 1/3 des utilisateurs qui ont remis un avis relèvent des soucis d’installation ou de compatibilité.

La procédure d’installation est jugée trop longue. D’autres font état de bugs rencontrés lors de la phase d’installation du logiciel qui les empêchent de l’utiliser.

D’autres estiment que le processus de connexion est long et non stable en raison de difficultés de rester dans les salles de réunion sans se faire éjecter.

Workrooms est uniquement compatible avec Windows et MacOS. Cette application n’est pas comptpatible avec Linux et ChromeOs, ce que regrettent certains utilisateurs.

Certains utilisateurs regrettent que l’on ne puisse rejoindre l’application au départ d’appareils comme les Apple iPad ou encore les smartphones. D’autres souhaiteraient que des casques autres que le Quest 2 puissent être utilisés.

Enfin, certains utilisateurs souhaiteraient que le clavier puisse fonctionner en azerty et non pas exclusivement en Qwerty.

2. Flexibilité (écran, caméra intégrée, décor, ...)

21% des utilisateurs qui ont remis un avis regrettent le manque d'options du logiciel Horizon Workrooms.

Cette application permet de voir un seul écran de son ordinateur. Les utilisateurs réclament la possibilité de voir plusieurs écrans afin d'être plus productifs.

D'autres soulignent que les participants qui ne sont pas en réalité virtuelle devraient pouvoir positionner leur écran où ils le souhaitent afin de voir le tableau blanc de près.

Certains utilisateurs demandent à ce qu'une option de caméra de casting soit intégrée dans l'application, ce qui leur permettrait de se filmer en train de présenter ou d'enseigner un sujet pour le partager ensuite à d'autres.

D'autres encore souhaitent pouvoir décorer les salles de réunion par des objets 3D qui seraient disponibles dans un magasin créé au sein de l'application.

3. Fonctionnalités visuelles

Un peu plus de 11% des utilisateurs qui ont remis un avis remettent en cause la qualité des fonctionnalités visuelles de l'application.

Certains considèrent que la qualité des graphismes dans Horizon Workrooms est faible, ce qui réduit l'immersion dans le monde virtuel. La résolution des écrans situés dans le casque est faible. Une basse résolution entraîne des difficultés à lire certains textes en petit ou encore l'écran de l'ordinateur.

D'autres soulignent l'absence de suivi des expressions faciales des participants à une réunion.

4. Obligation de disposer d'un compte facebook

11% des utilisateurs regrettent qu'il faille un compte facebook pour utiliser l'application Horizon Workrooms, d'autant que cette application est conçue pour être utilisée dans un cadre professionnel, ou encore ont des soucis en raison du type de compte (un message d'erreur indique que leur compte est restreint alors qu'il est en règle ou interdiction de l'utiliser en dessous de 18 ans).

La solution à ce souci évoqué par les utilisateurs vient d'être annoncée par Meta. En août 2022, l'entreprise conceptrice d'Horizon workrooms lance les comptes Meta qui permettront aux personnes de se connecter à leurs casques sans compte Facebook. Les comptes Meta peuvent être créés au départ d'une adresse e-mail, ce qui permet séparer les profils Facebook du travail.

5. Fonctionnalités Audio

Un point faible qui est cité par 5% des utilisateurs est la mauvaise qualité audio. Ils pointent l'impossibilité d'entendre le son de l'ordinateur qui est projeté dans le monde virtuel. Il est donc parfois compliqué de pouvoir travailler uniquement dans Horizon Workrooms si le son est nécessaire.

D'autres soulignent aussi la mauvaise qualité sonore des appels vidéo entrants. Certains estiment qu'une option de sous-titrage en direct serait utile.

Un utilisateur regrette ne pas pouvoir changer la source audio.

6. Précision

4% des utilisateurs relèvent des soucis d'imprécision.

L'écriture au tableau blanc n'est pas précise dans Horizon workrooms. Lorsqu'un utilisateur veut écrire au tableau, il doit retourner sa manette. Il obtient alors une forme de crayon. Cette manette est cependant jugée trop grosse, ce qui entraîne une imprécision lors de l'écriture. Un autre relève le manque de réactivité du tableau blanc.

7. Prix et confort du casque

Horizon Workrooms nécessite l'utilisation d'un casque Oculus Quest 2 dont le prix actuel varie entre 349 euros et 449 euros.

L'application Microsoft Mesh nécessite d'utiliser le casque HoloLens 2 afin de profiter pleinement des fonctionnalités. Or le prix de ce casque est de 3.500 euros, soit un prix encore trop élevé pour être utilisé par un grand nombre d'utilisateurs.

Les équipements de réalité virtuelle ou de réalité augmentée restent donc onéreux, ce qui constitue un obstacle potentiel à leur utilisation massive.

En ce qui concerne l'inconfort, seuls 3% des utilisateurs qui ont formulé un avis d'initiative sur Horizon workrooms évoquent des inconvénients liés aux casques, principalement la lourdeur des casques causant fatigue au niveau de la tête et du cou.

Un autre souligne la faible durée d'utilisation d'un casque complètement chargé.

9. Qualité du service d'assistance

Seuls deux utilisateurs (soit 1,5% des avis émis) remettent en cause le service d'assistance et de support d'Oculus en raison de l'absence de résolution de leur problème après contact avec ce service.

10. Sécurité des données

Même si seulement 2 avis utilisateurs (1,5% des avis) abordent la question de la sécurité des données, celle-ci est cruciale car il est important que les participants à une réunion puissent être rassurés sur la sécurité des données qu'ils génèrent ou qu'ils s'échangent.

Or, les risques que l'on pourrait associer au métavers sont analogues à ceux afférents à internet. Ils sont cependant décuplés par la taille de l'espace à réguler et la variété d'activités qui y sont proposées.

En effet, les données fournies afin d'accéder au métavers sont très sensibles. Ce sont des données biométriques, telles que la photo du visage, la voix ou encore le comportement. Les applications de réalité étendue permettent un suivi en temps réel du regard, du corps et des mains des participants. La quantité d'informations personnelles associées à un avatar représente une mine d'or. À terme, toutes les données afférentes à ce que l'utilisateur regardera, dira, pensera ou touchera seront stockées. Ces données confidentielles et sensibles sont pourtant accessibles aux entreprises qui développent ces applications. Elles pourraient être utilisées à diverses fins, notamment de marketing.

Actuellement, le règlement général sur la protection des données (RGPD)³, introduit en 2016, permet notamment de répondre à ce genre de problématique en exerçant un certain contrôle et en imposant des obligations, mais les textes du RGPD devront certainement être modifiés pour prendre en compte les évolutions liées au métavers.

Par ailleurs, le risque de création de faux avatars et le vol d'identité ne doivent pas non plus être négligés.

11.Impact sur la santé des utilisateurs

Afin d'assurer la qualité de la communication dans le metavers, il est important que la santé des participants à une réunion puisse être préservée.

Seuls 2 utilisateurs, qui ont remis un avis, évoquent des problèmes de santé liés à l'utilisation de la réalité étendue : fatigue des yeux et nausées ou étourdissements sont les deux problèmes évoqués.

Cependant, d'autres soucis peuvent être relevés sur la base de l'analyse des fonctionnalités des applications de réalité étendue de manière générale.

Sur le plan physique, les utilisateurs d'applications de réalité augmentée basées sur la localisation peuvent être distraits, ce qui peut engendrer des accidents s'ils

3. Règlement (UE) 2016/679 du Parlement européen et du Conseil du 27 avril 2016 relatif à la protection des personnes physiques à l'égard du traitement des données à caractère personnel et à la libre circulation de ces données, et abrogeant la directive 95/46/CE.

sont amenés à se déplacer avec le casque sur la tête.

Au niveau psychologique, l'excès d'informations constitue un défi à éviter. L'utilisation prolongée de la réalité virtuelle peut engendrer une dépendance et un isolement dû à un manque de vie sociale dans le monde physique.

Le harcèlement, problème bien connu des réseaux sociaux, peut aussi être rencontré dans les environnements de réalité virtuelle. Lors de sa présentation du métavers, Mark Zuckerberg a assuré que la sécurité des utilisateurs était au centre de l'attention de l'entreprise Meta. Des initiatives ont déjà été prises par cette entreprise dans le but de protéger les utilisateurs contre le harcèlement. Ainsi, une bulle virtuelle a été créée dans laquelle l'utilisateur peut se réfugier s'il se sent menacé. Un bouclier virtuel est aussi activé par défaut autour de l'avatar des utilisateurs. Une distance minimale de 1 mètre entre tous les avatars, disponible pour tous les profils utilisateurs, est ainsi de mise.

12. Respect de l'environnement

L'empreinte écologique du métavers sera importante. Un data center, qui est le lieu où sont entreposés les serveurs et ordinateurs assurant le stockage des données d'une société, consomme une importante quantité d'eau. Un data center de 15 MW peut utiliser jusqu'à 1,6 million de litres d'eau par jour (ou 1600 m³) [Diguët et al., 2019, [47]].

Le développement du métavers fera augmenter ces besoins, y compris au niveau de l'électricité consommée.

En revanche, le développement des réunions à distance devrait induire une réduction des déplacements domicile-lieu de travail et par conséquent une baisse des émissions de dioxyde de carbone liée aux transports.

13. Bande passante

Le métavers est confronté à un certain nombre de défis liés aux technologies sous-jacentes. En effet, les besoins en bande passante des plates-formes sociales de

réalité étendue peuvent être énormes. Par rapport aux vidéos traditionnelles en 2D, les besoins en bande passante pour la transmission de panoramas à 360 degrés ou du contenu volumétrique 3D aux casques de réalité étendue sont plus élevés. Par conséquent, il est de la plus haute importance d'étudier les besoins en réseau des plates-formes sociales de réalité virtuelle existantes afin de construire un système de réseau plus fiable pour supporter le métavers. La 5G peut atteindre un débit maximal, en théorie, de 10 à 20 Gbps. Néanmoins, les besoins en bande passante du metavers peuvent dépasser ce que la 5G peut offrir.

Avec deux casques de réalité virtuelle dans Workrooms, Cheng et al ont estimé que le débit descendant de chaque utilisateur est d'environ 2-3 Mbps et le débit de la liaison montante est d'environ 0,6 Mbps. Cependant, le débit de la liaison descendante augmente linéairement avec le nombre d'utilisateurs de casques, ce qui indique que la conception actuelle de Workrooms peut être confrontée à des problèmes en cas d'augmentation du nombre d'utilisateurs. Des soucis de bande passante entraîneront inévitablement des perturbations dans la communication et les échanges entre les participants. Par conséquent, garantir une faible latence entre les utilisateurs est un défi pratique pour assurer la qualité de la communication (Cheng et al, [36]).

4.3.3 Les perspectives d'amélioration

Au moment de notre analyse, Horizon Workrooms est toujours en phase de beta. Il est donc normal que l'application ne soit pas totalement encore au point. Au départ des points faibles identifiés au point 4.3.2 ci-dessus, nous avons identifié un certain nombre de perspectives d'amélioration de façon à accroître la qualité des échanges et de la communication dans le metavers.

1. Installation, compatibilité et interopérabilité

Afin de faciliter la vie des utilisateurs et de permettre au plus grand nombre de personnes de pouvoir travailler dans le métavers, les procédures d'installation du

casque et des logiciels nécessaires doivent être simplifiées au maximum.

Il est également important que ces applications soient compatibles avec les systèmes d'exploitation les plus répandus, dont Linux et ChromeOs.

Le succès des applications de réalité étendue dépendra aussi de la compatibilité entre les différentes applications du métavers. En d'autres termes, il sera important de pouvoir utiliser des applications communes dans n'importe quelle couche du métavers. Par exemple, il devrait être possible de transférer des éléments et des objets d'une application virtuelle à une autre.

2. Flexibilité

L'intégration de plusieurs écrans dans Horizon Workrooms permettrait aux utilisateurs d'effectuer des tâches plus complexes qui ne sont pas réalisables avec un seul écran et d'être ainsi plus productifs.

La disponibilité d'une caméra qui permettrait à l'utilisateur de se filmer dans le métavers pourrait aussi être utile pour les personnes qui dispensent des formations par exemple.

3. Fonctionnalités visuelles

Des écrans à haute résolution (3840x2160) pour chaque oeil et à haut taux de rafraîchissement (120Hz) permettraient une immersion totale des utilisateurs.

À terme, les casques de réalité virtuelle devront être équipés de caméras qui permettent de capturer les expressions des utilisateurs.

4. Fonctionnalités auditives

Une expérience sonore à 360° permettrait de reproduire l'audition du monde réel.

5. Précision

Le suivi des mains doit être perfectionné pour permettre à l'utilisateur d'effectuer toutes les tâches qu'il souhaite dans la réalité virtuelle, ce qui nécessite des caméras présentes dans le casque pour capturer le mouvement des mains.

Les avatars qui représentent les utilisateurs dans Horizon Workrooms sont peu détaillés. Ils pourraient être plus réalistes, représentant ainsi de manière plus fidèle l'utilisateur.

6. Prix et confort du casque

Les casques de réalité virtuelle pourraient être allégés et réduits en taille en vue de diminuer la fatigue de la tête ressentie par les utilisateurs et permettre la tenue réunions plus longues. En moyenne, le poids d'un casque de réalité virtuelle commercialisé aujourd'hui est de 500g, ce qui reste assez lourd à porter en cas d'utilisation durant de nombreuses heures consécutives.

Les pistes pour réduire le poids du casque sont multiples. Tout d'abord la structure en plastique pourrait être allégée en utilisant d'autres matériaux, tel que le carbone par exemple.

Ensuite, les concepteurs devraient chercher à réduire l'épaisseur du verre utilisé pour les lentilles et les écrans.

Les composants électroniques nécessaires pour faire fonctionner le casque pourraient être également miniaturisés.

Meta développe actuellement le projet Cambria, qui est le nom de code public du futur casque de réalité virtuelle de Meta. Ce casque serait d'un poids réduit et permettrait de suivre les expressions faciales des utilisateurs grâce à un système de suivi des yeux et du visage.

Par ailleurs, en ce qui concerne le prix, les entreprises devraient envisager de le réduire davantage de façon à permettre leur utilisation plus massive.

7. Sécurité des données

Il est important que les entreprises présentes dans le métavers collectent le minimum de données personnelles. Ces entreprises doivent également être transparentes en ce qui concerne l'usage de ces données et garantir leur sécurité et leur usage strictement limité.

Le 23 avril 2022, après plusieurs mois de négociations, un accord a été trouvé entre les institutions européennes au sujet du règlement des services numériques qui imposera aux grandes plateformes, comme Facebook (Meta) ou Amazon, de mieux éradiquer les contenus illicites et dangereux en ligne. Il est primordial que cette législation soit adaptée en fonction des évolutions technologiques afin de protéger les utilisateurs et assurer leur sécurité.

8. Bande passante

Les applications de réalité virtuelle consomment de la bande passante. Le besoin en bande passante évoluant de manière linéaire avec le nombre d'utilisateurs, il est évident que des optimisations doivent être recherchées.

4.4 Discussion générale

Au terme de l'analyse de l'état de l'art et du développement de la recherche, il apparaît que les modes de réunions, les dispositifs et les logiciels utilisés ont considérablement évolué ces dernières années et en particulier à la suite de la crise sanitaire en raison de l'augmentation sensible des réunions à distance.

La pandémie a également donné un coup d'accélération au développement des applications basées sur la réalité virtuelle et la réalité augmentée. Ces applications seront davantage utilisées à l'avenir pour la tenue des réunions à distance, ce qui favorisera la poursuite du télétravail. Lorsqu'il est impossible pour les participants de se réunir physiquement au même endroit, la réalité virtuelle constituera à terme le meilleur moyen d'effectuer une réunion à distance. Lors de ces réunions, certains participants pourront être présents physiquement et d'autres seront en réalité virtuelle.

Il est évident qu'un univers virtuel ne pourra jamais totalement remplacer les interactions entre des personnes physiquement présentes au même endroit. Cependant, comparativement aux réunions en vidéoconférence en 2D, les applications basées sur la réalité étendue dans le métavers permettront d'améliorer la communication et les échanges entre les participants.

En effet, la réalité virtuelle permet des interactions plus naturelles que la visioconférence classique. Grâce à la 3D, les utilisateurs perçoivent les distances et la proximité avec les autres utilisateurs. L'audio-spatial permet également de renforcer ce sentiment de réalité. Par exemple, si un participant se trouve sur la droite de l'utilisateur, celui-ci l'entendra à sa droite lorsqu'il parle. Les applications actuelles telles que Teams ou Zoom seront progressivement remplacées par des solutions de réalité virtuelle ou de réalité augmentée pour les travailleurs souhaitant collaborer à distance.

Le métavers est selon moi la prochaine génération d'internet. Les géants du web que sont Google (Alphabet), Apple, Facebook (Meta), Amazon et Microsoft, autrement dit les gafam, investissent des milliards de dollars dans le métavers. Le

métavers se construit petit à petit mais il est loin d'être finalisé.

La différence majeure entre le métavers et l'internet actuel est que l'on consulte les pages internet tandis que l'on prendra part au métavers. Il s'agira d'un monde immersif. Chaque participant y sera actif. La comparaison des outils de visioconférence en 2D et d'une application de réalité virtuelle telle qu'Horizon Workrooms permet de comprendre aisément la différence, notamment en termes d'implication des participants. Participer à une réunion en regardant un visage sur zoom, skype ou teams est très différent d'une réunion en réalité virtuelle entouré des autres participants. Le sentiment d'implication n'est pas le même.

Les applications de réunions en réalité virtuelle comportent de nombreuses fonctions collaboratives. Le système offre aussi la possibilité de faire soit des webinaires, soit des classes virtuelles, soit des réunions où chacun des participants peut y être représenté par un avatar ou son hologramme, l'enregistrement en simultané des interventions ou encore la possibilité de manipuler des objets en 3D. Comme explicité dans le présent mémoire, ces applications permettent de pallier bon nombre des problèmes des outils actuels en 2D, notamment l'ennui pour le participant et sa passivité potentielle.

Le casque permet aussi de s'isoler du monde réel et de pouvoir se concentrer car l'utilisateur est coupé du bruit et de l'environnement physique qui peut le distraire. L'usage du casque permet à l'utilisateur d'améliorer sa concentration et sa productivité.

Cependant, pour que les applications de réalité étendue soit adoptées de manière massive dans le monde des administrations et des entreprises pour la tenue de réunions, il est impératif que la technologie développée puisse assurer la qualité de la communication et des échanges. Pour ce faire, ces applications et les technologies sous-jacentes doivent répondre à un certain nombre de critères.

Le premier concerne la fiabilité technique : aucune panne ou incident particulier ne doit perturber la communication ou la qualité des échanges entre les participants.

Le second est le coût de l'équipement : Actuellement onéreux, l'équipement néces-

saire devrait, dans un futur proche, se démocratiser, permettant ainsi à tous les travailleurs qui pratiquent le travail à distance de pouvoir y accéder. Selon Mark Zuckerberg, le fondateur de Meta, dans 5 à 10 ans, la technologie permettra de pouvoir expérimenter la réalité augmentée avec une simple paire de lunettes. La diminution du prix et du poids de l'équipement requis permettra de rendre cette expérience accessible à plus d'utilisateurs.

Troisièmement, le support technique pour l'utilisation des applications et des équipements nécessaires doit être performant. Le service de support doit être composé d'interlocuteurs compétents.

Enfin, la sécurité des données est un enjeu majeur en ce qui concerne le bon déroulement du développement du métavers. Lors de la fuite de données de Facebook survenu en 2019 en raison d'une faille de sécurité, le contenu volé n'était que des noms, prénoms et date de naissance de 500 millions d'utilisateurs. Si la même chose se reproduit dans le métavers, ce seront toutes les informations liées à notre vie qui seront diffusées (comportements, données biométriques, expressions). Si l'on veut promouvoir la qualité de la communication entre les participants d'une réunion, il est indispensable que la sécurité des données échangées soit assurée. Les utilisateurs doivent avoir confiance dans le système. Le risque de défiance des utilisateurs, en particulier dans le traitement de leurs données à caractère personnel sensibles, ne doit pas être négligé par les entreprises qui développent les outils. Autrement dit, pour assurer le succès des applications développées, ces entreprises doivent favoriser l'adhésion par la confiance.

Une question se pose également lors des piratages de compte. Un pirate ne pourra pas seulement envoyer un message à un utilisateur avec un compte piraté, mais il sera dans la même "pièce" que cet utilisateur en réalité virtuelle. Or, sous couvert de l'anonymat, le comportement des gens dans le métavers pourra plus facilement dégénérer.

Par conséquent, un nouveau défi qu'apporte le métavers est aussi celui de la modération. Meta doit modérer du contenu texte, des photos ou encore des vidéos avec ses plateformes actuelles. Dans le metavers, le contenu à modérer est bien

plus complexe. En effet, il faudra surveiller le comportement des utilisateurs, leurs paroles, leurs gestes, etc...

Enfin, même s'il est indéniable que l'utilisation de la réalité étendue lors des réunions améliorera la communication et les échanges entre les participants, il est certain qu'elle ne pourra aussi qu'accroître la fracture numérique. Le risque est en effet de laisser sur le bas-côté tous ceux qui n'auront pas pu s'adapter à cette nouvelle technologie. La communication et les échanges avec ces personnes risquent fort d'être détériorés.

Qui plus est, la communication risque aussi d'être coupée dans le monde réel avec les utilisateurs du métavers qui, munis de leur casque de réalité virtuelle, seront coupés du monde. Ceux-ci risquent de souffrir d'un certain isolement en cas d'utilisation prolongée et/ou trop fréquente.

4.5 Limites de l'étude

Les résultats de la recherche présentés ci-avant présentent certaines limites. En effet, ils se basent sur les avis des utilisateurs d'Horizon Workrooms publiés sur le site d'Oculus et des avis de quelques testeurs mis en ligne sur Youtube.

Même si ces avis apportent un éclairage intéressant sur l'application, l'on ne peut affirmer que les résultats obtenus en termes d'identification des points forts et faibles par rapport à la vidéoconférence sont exhaustifs et représentatifs.

Les applications de réalité virtuelle pour la tenue de réunions étant toujours en cours de développement, il n'était pas concevable, dans le cadre du présent mémoire, de réaliser une enquête structurée auprès d'utilisateurs en entreprise pour dresser une analyse comparative plus fine. Cette démarche ne pourra être réalisée que lorsque l'application sera plus largement utilisée.

Pour tenter de réduire ce biais potentiel, les résultats obtenus ont été discutés sur la base d'une réflexion personnelle au départ de l'analyse des caractéristiques de l'application et de divers articles de recherche cités ci-dessus au point 4.3.

5 Conclusion

Dans le cadre de ce mémoire, nous avons examiné les perspectives des outils de collaboration à distance en réalité virtuelle ou augmentée en termes d'amélioration de la communication et des échanges entre les participants d'une réunion. Les perspectives d'évolution ont été analysées par rapport à la période actuelle durant laquelle les réunions se tiennent en présentiel ou, de plus en plus fréquemment suite à la crise sanitaire, à distance par visioconférence.

Lors des réunions en présentiel, la distance entre les participants entre eux ou entre les participants et les appareils numériques est un facteur qui influence la qualité des échanges. En outre, lorsque des dispositifs numériques sont utilisés, il est nécessaire de veiller à la correcte connectivité entre les dispositifs afin d'assurer la qualité de la communication. Nous avons abordé le modèle d'engagement progressif comportant les différentes phases nécessaires aux échanges entre dispositifs et nous avons explicité le caractère déterminant de la plasticité de l'interface utilisateur, soit sa capacité à s'adapter aux variations des caractéristiques physiques du système et de l'environnement tout en préservant l'utilisabilité.

Nous avons ensuite abordés quelques outils empiriques visant à favoriser la communication entre les utilisateurs : les interfaces à changement de forme, la collaboration en petit groupe, le transfert de données visuelles par la technique Visfer qui permet de partager des informations reprises sur un grand écran avec d'autres appareils ou encore la surcouche OS qui permet d'afficher des *Applets* au-dessus de l'interface du système d'exploitation.

Lors de l'examen des dispositifs de collaboration à distance, nous avons ciblé les caractéristiques du réseau social d'entreprise, du robot de téléprésence d'utilisation plus limitée et des logiciels de visioconférence les plus courants.

Plusieurs bénéfices du télétravail, rendus possible notamment par la visioconférence, sont rapidement apparus comme le gain de temps et la diminution de la pollution suite à la réduction des déplacements, une meilleure articulation entre la vie privée et la vie professionnelle ou encore une productivité accrue.

Les outils actuels de vidéoconférence en 2D présentent cependant certains risques liés à l'utilisation erronée ou abusive des données partagées. Ils comportent également des limites : la faible perception de soi, l'absence de présence réelle des participants, leur participation éventuellement passive, les conséquences d'une utilisation malencontreuse ou encore la fatigue qu'ils peuvent entraîner. Des effets néfastes sur la santé psychologique des travailleurs, conséquence de l'isolement professionnel, ont également été émis en exergue. Il est démontré que cet isolement impacte négativement le niveau de performance des employés et peut même engendrer des burn-outs. Des études ont cependant démontré que les effets négatifs de cet isolement peuvent être atténués lorsque certaines technologies de réalité virtuelle ou améliorée sont mises en oeuvre. Cette perspective est d'autant plus importante que les Belges souhaitent travailler 50% du temps à domicile. La majorité des Belges préfèrent ainsi télétravailler deux ou trois jours.

Les dispositifs de réalité virtuelle et les technologies d'hologramme ouvrent dans ce domaine des perspectives très intéressantes. En effet, ces nouvelles solutions technologiques, utilisées dans le développement du métavers, devraient permettre à l'avenir de réduire encore plus la distance entre les personnes et favoriser la qualité de la communication et des échanges entre les participants. Nous concluons l'état de l'art de ce mémoire par un aperçu des fonctionnalités des applications de réalité étendue utilisables pour la tenue de réunions qui sont aujourd'hui en cours de développement. Il s'agit d'Horizon Workrooms développé par Meta, Mesh mis au point par Microsoft, Webex créé par Cisco et enfin project Starline de Google.

Vu que ces applications sont encore peu utilisées, les études portant sur l'expérience des utilisateurs sont quasi-inexistantes. Dans le cadre du développement de la recherche, nous avons donc choisi d'exploiter les articles et les vidéos de présentation d'Horizon Workrooms et de Microsoft Mesh ainsi que les avis d'utilisateurs disponibles en ligne afin de cerner les points forts de ces logiciels, mais aussi d'en identifier les points faibles et les perspectives d'amélioration.

Les deux applications analysées comportent des salles de réunions virtuelles où l'on peut se retrouver autour d'une table de réunion entouré des avatars ou des holo-

grammes de ses collègues. Cette nouvelle forme d'expérience immersive apportera sans aucun doute des innovations en termes de relations sociales et de communication. En effet, comparativement à la vidéoconférence en 2D, ces applications permettent d'améliorer la perception de soi, de personnaliser l'environnement, de renforcer le contact visuel entre les participants, de manipuler des objets en 3D et in fine d'améliorer les interactions, la communication et les échanges entre les participants, ce qui favorise une plus grande efficacité dans la réalisation des tâches et en conséquence un accroissement de la productivité des travailleurs.

Les points faibles de ces outils restent cependant significatifs. Il s'agit des bugs lors de l'installation des logiciels, du prix et du confort de l'équipement, de la faible qualité des graphismes, de l'impossibilité d'entendre le son de l'ordinateur qui est projeté dans le monde virtuel, du manque de précision de la manette pour l'écriture, du manque d'assurance quant à la sécurité des données et des conséquences sur la santé des utilisateurs ou sur l'environnement.

Compte tenu de ces points faibles, diverses perspectives d'amélioration ont été discutées.

Les procédures d'installation du casque et des logiciels nécessaires doivent être simplifiées au maximum. Il est également important que ces applications soient compatibles avec le plus grand nombre de systèmes d'exploitation possible, dont Linux et ChromeOs.

Des écrans à haute résolution (3840x2160) pour chaque oeil et à haut taux de rafraîchissement (120Hz) permettraient une immersion totale des utilisateurs. Les casques de réalité virtuelle devraient être équipés prochainement de caméras qui permettent de capturer les expressions des utilisateurs. Une expérience sonore à 360° permettrait de reproduire l'audition du monde réel. Le suivi des mains doit être perfectionné pour permettre à l'utilisateur d'effectuer toutes les tâches qu'il souhaite dans la réalité virtuelle. Horizon workrooms devrait permettre à l'utilisateur d'intégrer plusieurs écrans afin d'être plus productif.

Pour réduire l'inconfort de l'équipement, le poids du casque pourrait être allégé en utilisant du carbone par exemple. Les concepteurs devraient également chercher

à réduire l'épaisseur du verre utilisé pour les lentilles et les écrans. Les composants électroniques nécessaires pour faire fonctionner le casque pourraient être également miniaturisés.

En ce qui concerne le prix, les entreprises devraient envisager de le réduire davantage de façon à permettre leur utilisation plus massive.

Comme souligné au point 4.5, le développement des applications de réalité virtuelle pour la tenue de réunions étant toujours en cours, il n'était pas possible, dans le cadre du présent mémoire, de réaliser une enquête auprès des utilisateurs en entreprise pour analyser plus finement les points forts et faibles de ces applications par rapport aux logiciels en 2D.

L'analyse entamée dans le présent mémoire pourrait dès lors être poursuivie lorsque ces applications seront plus largement utilisées de manière à appréhender plus finement les améliorations apportées par ces applications. L'exploitation des avis utilisateurs d'Horizon workrooms dans le présent mémoire donne un éclairage intéressant sur l'intérêt de cette application mais il convient de souligner que ces résultats ne peuvent être considérés comme étant réellement représentatifs de l'avis de l'ensemble des utilisateurs. En effet, seule une enquête structurée auprès d'un échantillon représentatif d'utilisateurs dès que l'application sera utilisée à plus large échelle pourrait fournir de tels résultats.

D'autres thèmes liés au développement du métavers pourraient également faire l'objet de travaux de recherche comme le développement du commerce ou de l'immobilier dans ce monde virtuel, la socialisation dans le metavers et les risques qu'il présentent.

Enfin, l'analyse des technologies utilisées pour améliorer les casques ou les lunettes utilisés dans le metavers constitue une piste complémentaire de réflexion.

6 Bibliographie

Références

- [1] Ballendat T., Marquardt N., Greenberg S., "Proxemic Interaction : Designing for a Proximity and Orientation-Aware Environment", août 2010.
- [2] Grønbæk J., Korsgaard H., Petersen M., Birk M., Krogh P., "Proxemic Transitions : Designing Shape-Changing Furniture for Informal Meetings", mai 2017.
- [3] Grønbæk J., Knudsen M., O'Hara K., Krogh P., Vermeulen J., Petersen M., "Proxemics Beyond Proximity : Designing for Flexible Social Interaction Through Cross-Device Interaction", février 2020.
- [4] Grønbæk J., Rasmussen M., Halskov K., Petersen M., "KirigamiTable : Designing for Proxemic Transitions with a Shape-Changing Tabletop", février 2020.
- [5] Brudy F., Ledo D., Pahud M., Riche N., Holz C., Waghmare A., Surale H., Peinado M., Zhang X., Joyner S., Chandramouli B., Minhas U., Goldstein J., Buxton W., Hinckley K., "SurfaceFleet : Exploring Distributed Interactions Unbounded from Device, Application, User, and Time", octobre 2020.
- [6] Medeiros D., Anjos R., Pantidi N., "Promoting Reality Awareness in Virtual Reality through Proxemics", mars 2021.
- [7] Perez P., Roose P., Cardinale Y., Dalmau M., Masson D., Couture N., "A Framework for Developing Proxemic Mobile Applications", septembre 2020.
- [8] Perez P., Roose P., Cardinale Y., Dalmau M., Masson D., Couture N., "An Approach To Develop Mobile Proxemic Applications", 2021.
- [9] Thevenin D., Coutaz J., "Plasticity of User Interfaces : Framework and Research Agenda", 1999.

- [10] Badam S., Elmqvist N., "Visfer : Camera-based visual data transfer for cross-device visualization", août 2017.
- [11] Brudy F., Holz C., Rädle R., Wu C., Houben S., Klokmose C., Marquardt N., "Cross-Device Taxonomy : Survey, Opportunities and Challenges of Interactions Spanning Across Multiple Devices", 2019.
- [12] Gellersen H., Fischer C., Guinand² D., Gostner R., Kortuem G., Kray C., Rukzio E., Streng S., "Supporting Device Discovery and Spontaneous Interaction with Spatial References", 2008.
- [13] Marquardt N., Ballendat T., Boring S., Greenberg S., Hinckley K., "Gradual Engagement : Facilitating Information Exchange between Digital Devices as a Function of Proximity", 2012.
- [14] Greenberg S., Boring S., Vermeulen J., Dostal J., "Dark Patterns in Proxemic Interactions : A Critical Perspective", 2014.
- [15] Bragdon A., DeLine R., Hinckley K., Morris M., "Code Space : Touch + Air Gesture Hybrid Interactions for Supporting Developer Meetings", 2011.
- [16] Kaptelinin V., Björnfot P., Danielsson K., Wiberg M., "Mobile Remote Presence Enhanced with Contactless Object Manipulation : An Exploratory Study", mai 2017.
- [17] Brudy F., "Designing Ad-Hoc Cross Device Collaborations For Small Groups", 2015.
- [18] Chadee D., Ren S., Tange G., "Is digital technology the magic bullet for performing work at home? Lessons learned for post COVID-19 recovery in hospitality management", janvier 2021.
- [19] Savić D., "COVID-19 and Work from Home : Digital Transformation of the Workforce", 2020.
- [20] McDonald C., "Pandemic-Informed Proxemics : Working Environment Shifts Resulting from COVID-19", mai 2021.

- [21] Russell D., Neustaedter C., Tang J., Judge T., Olson G., "Videoconferencing in the Age of COVID", 2021.
- [22] Fayard A., Weeks J., Khan M., "Designing the Hybrid Office", 2021.
- [23] Perez P., Roose P., Dalmau M., Cardinale Y., Masson D., Couture N., "Modélisation graphique des environnements proxémiques basée sur un DSL", juin 2020.
- [24] Registre J., Danthine É., Ouellet A., Cachat-Rosset G., Sabac T., "Effet du télétravail sur la santé psychologique et la performance des travailleurs durant la pandémie de la Covid-19", octobre 2021.
- [25] Timarche R., "Cisco annonce une nouvelle technologie d'hologramme 3D", https://www.cisco.com/c/fr_be/about/press/archives-2021/211026.html, 26 octobre 2021.
- [26] Bryan A., "S'adapter aux nouvelles règles de l'espace personnel dans le milieu de travail", <https://www.wework.com/fr-FR/ideas/research-insights/expert-insights/navigating-the-new-rules-of-personal-space-in-the-workplace>, 6 août 2020.
- [27] SD Worx, "2022 : Les Belges souhaitent travailler 50% du temps à domicile", <https://www.sdworx.be/fr-be/propos-de-sd-worx/presse/2022-05-10-2022-les-belges-souhaitent-travailler-50-du-temps-domicile>, 10 mai 2022.
- [28] Maubareyt P., "8 avantages d'utiliser un réseau social d'entreprise", février 2020.
- [29] "P2P (Peer to Peer) : définition simple et exemples d'utilisation", janvier 2019.
- [30] Mystakidis S., "Metaverse", <https://www.mdpi.com/2673-8392/2/1/31/html>, février 2022.

- [31] Jacquemont G., "Comment limiter la « zoom fatigue » ?", décembre 2021.
- [32] Meta, "Introducing Horizon Workrooms : Remote Collaboration Reimagined", août 2021.
<https://about.fb.com/news/2021/08/introducing-horizon-workrooms-remote-collaboration-reimagined/>
- [33] Microsoft, "Mesh",
<https://www.microsoft.com/en-us/mesh>.
- [34] Cisco, "Webex Hologram",
<https://projectworkplace.cisco.com/capabilities/hologram>.
- [35] Google, "Project Starline",
<https://blog.google/technology/research/project-starline/>.
- [36] Cheng R., Wu N., Chen S., Han B., "Reality Check of Metaverse : A First Look at Commercial Social Virtual Reality Platforms", avril 2022.
- [37] Thunus S., Schoenaers F., Mahieu C., Standaert W., "Coronavirus : que nous apprend la pratique des réunions virtuelles?",
<https://uclouvain.be/fr/decouvrir/coronavirus-que-nous-apprend-la-pratique-des-reunions-virtuelles.html>.
- [38] Microsoft, "Microsoft Mesh",
<https://www.microsoft.com/fr-be/microsoft-365/microsoft-office>.
- [39] Zoom, "Zoom Meetings",
<https://support.zoom.us/hc/fr>.
- [40] Cisco, "Webex",
<https://help.webex.com/en-us/article/n3xx7vcb/Get-Started-with-Webex-App>.
- [41] Goto, "GoTo Meeting",
<https://www.goto.com/fr/meeting>.

- [42] Google, "Google Meet",
<https://meet.google.com/>.
- [43] Denstadli J., Julsrud T., Hjorthol R., "Videoconferencing as a Mode of Communication : A Comparative Study of the Use of Videoconferencing and Face-to-Face Meetings", janvier 2012.
- [44] Singh R., Awasthi S., "Analyse comparative mise à jour sur les plateformes de visioconférence - Zoom, Google Meet, Microsoft Teams, WebEx Teams et GoToMeetings", octobre 2020.
- [45] OCDE, "Le télétravail pendant la pandémie de COVID-19 : tendances et perspectives", septembre 2021.
- [46] Sadeghi A., Wahadat A., Dereci A., Budde R., Tanis W., Roos-Hesselink J., Takkenberg H., Taverne Y., Mahtab E., Bogers A., "Remote multidisciplinary heart team meetings in immersive virtual reality : a first experience during the COVID-19 pandemic", avril 2021.
- [47] Diguet C., Lopez F., Lefèvre L., "L'impact spatial et énergétique des data centers sur les territoires, Mai 2019.

7 Annexe 1. Analyse des avis d'utilisateurs de Horizon Workrooms

