

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mohamed kheider
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie
Département d'informatique



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Informatique
Spécialité : Image et Vie Artificielle

Apprentissage des formes géométriques chez les petits enfants par la réalité virtuelle

Mémoire presenter par :
Ithar Hadnana

Diplôme le : 11-6-2024. Devant le jury composé de

Mr. Foudil Cherif

Professeur

Superviseur

Mr.

MCA

Président

Mr.

MCA

Examineur

Année universitaire : **2023 – 2024**

Remerciements et Dédicaces

Tout d'abord, je voudrais exprimer ma gratitude et louer Allah tout-puissant pour m'avoir donné la force et la connaissance nécessaires pour achever ce travail.

Ensuite, je tiens à remercier mes parents, **Ahmed Hadnana** et **Mahboba Boutakakin**, mes sœurs Dounia, Amel et Sana, et mes frères Iyad, Azzedinne, Ibrahim , Abd el salam , yassin ,Abd elkarim et Imad, pour avoir cru en moi et m'avoir soutenu dans toutes les situations difficiles.

Je tiens également à remercier mon enseignant et superviseur, le professeur **Foudil Cherif**, pour m'avoir guidé dans la bonne direction tout au long de ce projet.

Je voudrais ensuite remercier tous les enseignants du département d'informatique, j'ai beaucoup appris grâce à eux.

Enfin, je voudrais remercier tous les autres membres du département, mes collègues et mes amis, en particulier **Torkia Salem** et mon fiancé **Youcef**. Ils m'ont toujours motivé et m'ont apporté un soutien moral et la force nécessaires pour terminer ma mémoire.

À ma famille, mes amis et à tous ceux que j'aime et à qui je tiens, merci.

Ithar Hadnana

Résumé

L'apprentissage des formes géométriques constitue une étape cruciale dans le développement cognitif des jeunes enfants. Les méthodes traditionnelles d'enseignement, souvent basées sur des supports papier et des outils bidimensionnels, montrent leurs limites en termes d'engagement et de d'efficacité des connaissances. Dans ce contexte, la réalité virtuelle (RV) émerge comme une solution innovante et prometteuse pour améliorer l'apprentissage des formes géométriques chez les enfants en bas âge.

Des expériences contrôlées ont été menées pour évaluer l'impact de l'application RV sur les performances des enfants en reconnaissance et classification des formes. Les résultats montrent une amélioration significative des capacités des enfants utilisant l'application RV par rapport à ceux utilisant des méthodes traditionnelles.

Le travail présenté démontre que la RV peut enrichir les méthodes d'enseignement, offrant des expériences d'apprentissage plus immersives et engageantes. Les résultats soulignent le potentiel de la RV pour transformer l'éducation des jeunes enfants, en rendant l'apprentissage des formes géométriques plus efficace et motivant.

Abstract

Learning geometric shapes is a crucial step in the cognitive development of young children. Traditional teaching methods, often based on paper materials and two-dimensional tools, show their limitations in terms of engagement and knowledge effectiveness. In this context, virtual reality (VR) emerges as an innovative and promising solution to enhance the learning of geometric shapes in young children.

Controlled experiments were conducted to evaluate the impact of the VR application on children's performance in shape recognition and classification. The results show a significant improvement in the abilities of children using the VR application compared to those using traditional methods.

The work presented demonstrates that VR can enrich teaching methods, offering more immersive and engaging learning experiences. The results highlight the potential of VR to transform early childhood education, making the learning of geometric shapes more effective and motivating.

Table des matières

Remerciement et Dédicace	1
Résumé	2
Abstract	3
Introduction	10
1 La Réalité Virtuelle	13
1.1 Introduction.....	13
1.2 Contexte historique de la Réalité Virtuelle	14
1.3 Définition de la réalité virtuelle.....	19
1.3.1 L'immersion en réalité virtuelle.....	23
1.3.2 L'interaction en réalité virtuelle.....	23
1.3.3 La navigation en réalité virtuelle	24
1.3.4 La sélection.....	25
1.3.5 La manipulation	25
1.3.6 Le contrôle de l'application.....	26

1.4	Les environnements virtuels et les humains virtuels.....	27
1.4.1	Les environnements	27
1.4.2	Les humains virtuels.....	28
1.5	La réalité augmentée et la réalité mixte	30
1.6	Les application de la réalité virtuelle.....	32
1.7	Conclusion	34
2	L'apprentissage dans la réalité virtuelle.	35
2.1	Introduction.....	35
2.2	Les applications de la RV dans l'éducation	36
2.3	Réalité virtuelle et apprentissage humain	37
2.4	Les travaux existants.....	39
2.5	Les avantages et les inconvénients de l'apprentissage dans la réalité virtuelle	43
2.5.1	Les avantages.....	43
2.5.2	Les inconvénients	44
2.6	L'apprentissage pour les petits enfants	45
2.7	Conclusion	47
3	Conception du système	48
3.1	Introduction.....	48
3.2	Objectif.....	49
3.3	Conception de notre système.....	50
3.3.1	Conception générale.....	50
3.3.2	Conception détaillée	51

3.3.3	Le monde virtuel	52
3.3.4	Enfants.....	54
3.3.5	Interaction monde virtuel-enfant.....	55
3.3.6	L'apprentissage	56
3.3.7	Les formes géométriques	57
3.3.8	Tests	57
3.4	Conclusion	59
4	Expérimentation et résultats	60
4.1	Introduction.....	60
4.2	Description technique.....	61
4.3	Configuration Matériel	62
4.3.1	Meta Quest 2.....	62
4.3.2	Ordinateur de développement	63
4.4	Environnements et outils	64
4.4.1	L'environnement de développement.....	64
4.4.2	Langage de développement.....	66
4.5	Implémentation	67
4.5.1	L'interface utilisateur graphique.....	67
4.5.2	Environnement 3D.....	69
4.5.3	Sélection du Niveau :	69
4.5.4	Niveaux d'application.....	70
4.6	Conclusion	76
5	Conclusion générale et perspectives	77

5.1	Conclusion	77
5.2	Perspectives	78

Table des figures

1.1	Une affiche vantant le Sensorama [2].....	14
1.2	L'Épée de Damoclès. [6].....	15
1.3	BOOM.....	17
1.4	CAVE.[9].	18
1.5	Un casque de réalité virtuelle.	22
1.6	Niveau d'immersion et d'interaction sensorimotrice de l'interfaçage comportemental [11].	24
1.7	Les avatars virtuels.....	29
1.8	Les Interactions Humain- Environnement.....	29
1.9	Le continuum de la virtualité de Milgram et Kishino . [25].	31
1.10	Casque de réalité mixte Hololens.	32
2.1	Capture d'écran de l'application de réalité virtuelle de bureau illustrant les différents panneaux visuellement disponibles dans l'interaction.....	40
3.1	Schéma général du système.....	50
3.2	Schéma détaillée du système.....	51

TABLE DES FIGURES

3.3	Le monde virtuel.	54
3.4	Interaction monde virtuel-enfant.....	56
4.1	Meta Quest 2.....	63
4.2	Logo unity3D.....	65
4.3	Menu Principal.....	68
4.4	Sélection du Niveau.	70
4.5	Une salle virtuelle.....	71
4.6	Niveau 01.	72
4.7	Niveau 02.....	73
4.8	Evaluation.	74
4.9	la réponse est correcte.....	75
4.10	la réponse est incorrecte.	75

Introduction générale

Aujourd'hui, grâce aux expériences visuelles offertes par la réalité virtuelle (RV) et affichées soit sur un écran d'ordinateur, soit à travers des écrans stéréoscopiques spéciaux, il devient possible pour les gens de pénétrer dans le monde des graphismes informatiques, inaccessible dans la vie réelle ou même pas encore créé, et d'interagir avec lui de manière significative plutôt que de simplement regarder une image sur le moniteur. Ce terme fascinant, introduit pour la première fois par le scientifique Jaron Lanier en 1987, fait référence à "un environnement généré par ordinateur en 3D, immersif, interactif, multi-sensoriel, centré sur le spectateur et la combinaison de technologies nécessaires pour construire un tel environnement".

Grâce au développement des logiciels de CAO, à l'accélération matérielle des graphismes, aux casques de réalité virtuelle et aux gants à retour d'effort, la RV est devenue extrêmement populaire au cours de la dernière décennie et est utilisée pour décrire une grande variété d'applications couramment associées à des environnements immersifs, hautement visuels et en 3D, y compris dans le secteur des soins de santé où le marché de la RV ne cesse de croître au fil des jours, à mesure que les systèmes graphiques haute performance deviennent plus rentables. L'apprentissage avec la réalité virtuelle (RV) révolutionne la

manière dont les connaissances sont acquises et assimilées. En créant des environnements immersifs et interactifs, la RV permet aux apprenants de s'immerger complètement dans des scénarios éducatifs réalistes et engageants. Cette technologie favorise une compréhension plus profonde en offrant des expériences pratiques et visuelles qui seraient impossibles à reproduire dans un cadre traditionnel. Par exemple, dans l'enseignement des sciences, les étudiants peuvent explorer le système solaire ou observer des réactions chimiques à une échelle moléculaire. En outre, la RV peut être personnalisée pour s'adapter aux besoins individuels des apprenants, ce qui améliore la rétention des informations et la motivation. Grâce à la RV, l'éducation devient plus dynamique, interactive et accessible, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives pour l'enseignement et l'apprentissage dans divers domaines.

Le mémoire est organisé en plusieurs chapitres. Le chapitre 1 présente les définitions et un aperçu historique de la réalité virtuelle sont présentés, la terminologie de base et les aspects du fonctionnement des systèmes RV sont répertoriés, suivis des méthodes de développement des outils RV, défis et domaines d'application. Le chapitre 2 présente et catégorise l'apprentissage, les différentes méthodes traditionnelles, et enfin présente un aperçu général de l'apprentissage par la réalité virtuelle. Le chapitre 3 présente la solution proposée par la recherche et la méthodologie utilisée dans ce cadre, il commence par clarifier l'importance et les concepts de base de développement une application de l'apprentissage avec la réalité virtuelle les formes géométriques chez les petits enfants, ensuite, il présente le système détaillé avec l'idée de base du prototype. Finalement, il démontre le processus méthodologique de mise en œuvre. Le chapitre 4 décrit l'ensemble de la configuration de ce projet qui intègre le matériel, les logiciels et la description technique de l'application RV. Ce chapitre décrit également le prototype du projet, y compris l'utilisateur interfaces, le design de l'environnement, les niveaux et scénarios de

jeu, et présente la version finale résultats du système.

La Réalité Virtuelle

1.1 Introduction

La réalité virtuelle (RV) est une technologie révolutionnaire qui a le pouvoir de transcender les limites de l'espace et du temps, offrant aux utilisateurs des expériences immersives et interactives dans des mondes numériques. Depuis ses premiers balbutiements dans les laboratoires de recherche jusqu'à son intégration dans divers secteurs tels que le divertissement, la médecine, l'éducation et l'industrie, la RV a parcouru un long chemin pour devenir l'une des technologies les plus passionnantes et prometteuses de notre époque. Dans ce chapitre, nous explorerons en détail les fondements, les applications et les implications de la réalité virtuelle, en mettant en lumière ses principes de fonctionnement, son matériel, ses applications pratiques, ainsi que les défis et les opportunités qui accompagnent son développement. En plongeant dans l'univers fascinant de la RV, nous découvrirons comment cette technologie révolutionnaire façonne notre manière d'interagir avec le monde numérique et ouvre de nouvelles perspectives pour l'avenir de l'humanité.

1.2 Contexte historique de la Réalité Virtuelle

L'histoire de la réalité virtuelle remonte aux premiers pas dans le monde de la technologie immersive. En 1962, Morton Heilig crée un nouveau prototype dans la continuité de son idée. Ce nouveau prototype est appelé Sensorama [1] (figure 1.1). Il visait à augmenter le réalisme expérimenté lors du visionnage de films et était muni d'un dispositif permettant de diffuser une image en grand-angle, le son était diffusé en stéréophonie, l'appareil disposait d'un siège vibrant et de 9 ventilateurs pouvant servir à diffuser des senteurs en plus de l'air. Il proposait une immersion dans des films en utilisant les sens visuel, auditif et olfactif pour retranscrire les différentes scènes le plus fidèlement au spectateur.



FIGURE 1.1 – Une affiche vantant le Sensorama [2].

En 1965, Sutherland [3] publie « The Ultimate Display », qui explorait la possibilité d'un système informatique composé de graphiques interactifs, avec son, retour de force, odeur

et goût [4],[5]. En 1968, il crée « l'épée de Damoclès » [6] (figure 1.2). Le casque était très lourd et nécessitait un bras robotisé pour l'utiliser. Il intégrait la fonction d'affichage d'images tridimensionnelles, un champ de vision à 360° et l'interaction entre l'utilisateur et le système (par exemple la possibilité de s'adapter à ce que l'observateur voit en fonction de son comportement dans le monde réel).

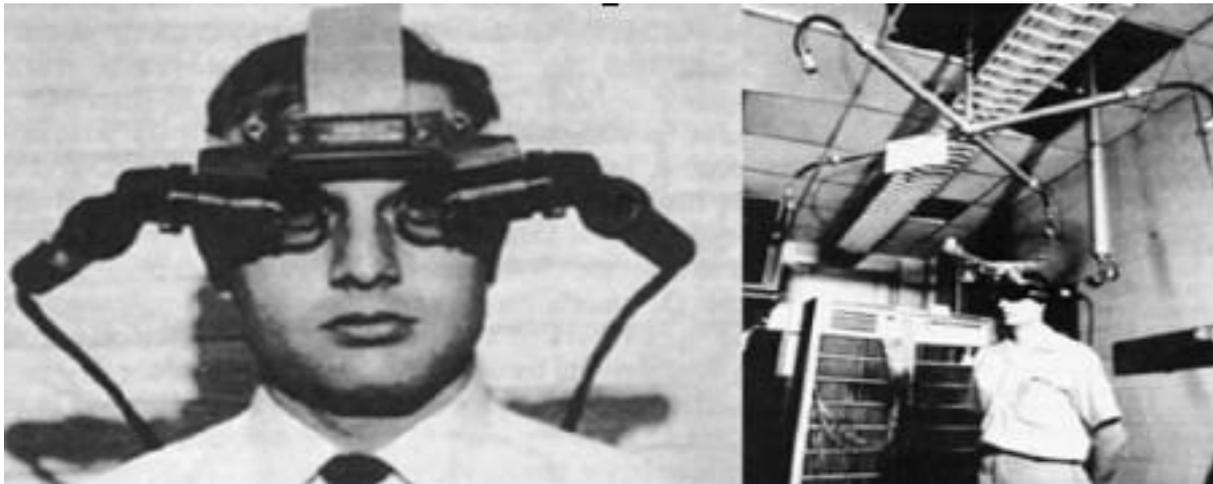


FIGURE 1.2 – L'Épée de Damoclès. [6].

En 1975, Myron Krueger invente le VIDEOPLACE, un « environnement conceptuel, sans existence » [6]. Le VIDEOPLACE disposait d'un système de captation par caméra et de retranscription en images par projection sur écrans. Le dispositif permettait de recréer les images des personnes se trouvant dans une ou plusieurs pièce(s) par captation sans besoin d'aucun matériel particulier. L'utilisateur pouvait donc interagir avec les objets des autres participants.

En 1982, Thomas Furness, des laboratoires de recherche médicale Armstrong de l'US Air Force, développe le simulateur de systèmes aéroportés à couplage visuel nommé VCASS (Visually Coupled Airborne Systems Simulator). Il s'agissait d'un simulateur de vol avancé. Le pilote de chasse portait un visiocasque qui augmentait la vue hors de la fenêtre par les graphiques décrivant le ciblage ou les informations de trajectoire de vol

optimale.

En 1984, le centre de recherche Ames de la NASA crée le Virtual Visual Environment Display (VIVED) [7],[3] pour permettre à un utilisateur de décrire son monde numérique pour d'autres personnes et de le voir comme un espace 3D. VIVED fut conçu avec un visiocasque monochrome stéréoscopique.

En 1985 et 1988, la société VLP fabrique respectivement le DataGlove et le visiocasque Eye phone. Il s'agit du premier matériel de RV disponible dans le commerce pour le grand public. DataGlove était utilisé comme périphérique d'entrée. Eye phone était une unité d'affichage montée sur la tête et utilisée pour donner aux utilisateurs un sentiment d'immersion.

En 1989, Fake Space Labs crée le Binocular Omni-Orientation Monitor (BOOM). Il s'agissait d'une petite boîte contenant deux moniteurs correspondant à chaque œil. Dans le système BOOM, l'utilisateur utilisait la boîte fixée sur ses yeux pour se déplacer dans le monde virtuel, et un bras mécanique mesurait la position et l'orientation de la boîte (figure 1.3).



FIGURE 1.3 – BOOM.

En 1990, le Virtual Wind Tunnel est développé à l'aide de BOOM et de DataGlove à la NASA et permet d'observer et d'étudier les champs d'écoulement. Ce type de dispositif aidait les scientifiques via un DataGlove à entrer et manipuler des flux de fumée virtuelle dans le flux d'air autour du modèle numérique d'un avion ou d'une navette spatiale. En se déplaçant (à l'aide d'une technologie d'affichage BOOM), ils pouvaient observer et analyser le comportement dynamique du flux d'air et trouver facilement les zones d'instabilité.

En 1992, le CAVE Automatic Virtual Environment (CAVE) est inventé par 3 chercheurs du Chicago Electronic Visualization Laboratory de l'University of Illinois [6]. Il s'agit d'un système de RV et de visualisation scientifique qui utilise des images stéréoscopiques sur les murs de la pièce au lieu d'utiliser un visiocasque. Cette approche garantit une qualité et une résolution supérieure des images visualisées, ainsi qu'un champ de vision plus large que celui des systèmes basés sur les visiocasques. Dans le CAVE, des projections sur les

CHAPITRE 1. LA RÉALITÉ VIRTUELLE

six surfaces de la pièce permettent à l'utilisateur de se retourner et de voir dans toutes les directions. Cela permet à l'utilisateur d'interagir avec l'Environnement Virtuel (EV), ayant ainsi une impression d'immersion totale (figure 1.4).



FIGURE 1.4 – CAVE.[8].

Ces dernières années, la RV s'est démocratisée, notamment par l'arrivée des casques accessibles au grand public. Ainsi la société Oculus RV spécialisée dans la RV est créée en Californie en 2012 et rachetée par Facebook en 2014. Oculus commercialise les casques Oculus Rift, Oculus Go et depuis 2019 Oculus QUEST. En 2016, les sociétés HTC et Valve collaborent pour créer le visiocasque HTC VIVE. Google met sur le marché les visiocasques « low-cost » tels que Google Cardboard en 2014 et Google Daydream en 2016. Ces casques sont réalisés directement à partir de l'écran et des capteurs d'orientation des smartphones [9]. Oculus développe un casque similaire en collaboration avec Samsung en 2015 (Samsung Gear VR) et Sony crée la PlayStation VR pour la PlayStation en 2016.

1.3 Définition de la réalité virtuelle

La réalité virtuelle (RV) est une technologie immersive qui permet à l'utilisateur d'interagir avec un environnement virtuel créé en 3D, offrant une immersion totale dans cet univers artificiel. Cette technologie utilise un casque de réalité virtuelle pour plonger l'utilisateur dans un monde artificiel généré numériquement, reproduisant des décors réels ou imaginaires. L'expérience en RV n'est pas seulement visuelle, mais peut également stimuler d'autres sens tels que l'odorat, l'ouïe et le toucher pour une immersion plus complète. La RV est utilisée dans divers domaines tels que les jeux vidéo, la formation professionnelle, la santé, l'architecture, l'archéologie et même l'événementiel. Elle se distingue de la réalité augmentée qui superpose des éléments virtuels à un environnement réel, tandis que la RV crée un environnement entièrement virtuel. La popularité de la RV est en constante croissance en France, avec un intérêt croissant du public et une utilisation croissante dans divers secteurs.

Le concept fondamental de la réalité virtuelle repose sur la création d'un environnement virtuel simulé à l'aide de dispositifs d'affichage en 3D stéréoscopique. L'objectif est d'immerger l'utilisateur dans un monde numérique en utilisant divers sens tels que la vue, le toucher, l'ouïe et, parfois, l'odorat. Pour garantir une immersion complète, l'utilisateur utilise un casque de réalité virtuelle qui exploite le principe de l'affichage en 3D stéréoscopique. La réalité virtuelle vise à offrir à l'individu une expérience immersive et interactive dans un univers numérique, lui permettant ainsi d'interagir sensoriellement et motricement dans un environnement simulé.

Le matériel de réalité virtuelle (RV) comprend plusieurs composants essentiels nécessaires pour créer et expérimenter des environnements virtuels immersifs. Voici une liste des

principaux éléments du matériel de RV :

1. Les casques : Les casques de réalité virtuelle, est un dispositif électroniques portables, offrent une immersion dans des mondes virtuels en 3D lorsqu'ils sont portés sur la tête. Ils sont équipés d'un écran stéréoscopique qui fournit une image distincte pour chaque œil, parfois d'un seul écran monoscénique, ainsi que d'un son stéréo et de capteurs variés tels que des gyroscopes et des accéléromètres. Généralement accompagnés d'une paire de contrôleurs, ces casques permettent d'accéder à un espace 3D et offrent une expérience immersive complète. Bien que les premiers modèles soient apparus dans les années 1990, c'est en 2012 que la marque Oculus a véritablement révolutionné le marché de la réalité virtuelle. Depuis lors, plusieurs marques, notamment Oculus et HTC en partenariat avec Valve, ont lancé leurs propres versions de casques de réalité virtuelle. Les applications de cette technologie sont variées, couvrant des domaines tels que la formation professionnelle, le traitement médical de phobies, la visualisation scientifique, l'architecture, les visites virtuelles, les créations artistiques, et bien d'autres encore. Cependant, c'est dans le domaine du jeu vidéo que la réalité virtuelle a connu un succès massif auprès du grand public (figure 1.5).

Il existe 3 types de casques :

- Les casques filaires connectés à un ordinateur ou une console de jeux.
- Les casques autonomes qui fonctionnent en complète autonomie. Ils peuvent tout de même être connectés à un ordinateur puissant pour améliorer les performances du casque.
- Les casques utilisant un smart phone.

Les premiers sont plus puissants et plus chers, ceux utilisant un smart phone sont les moins chers, mais aussi ceux procurant l'expérience la moins intéressante.

Le but d'un casque RV :

est d'offrir à son utilisateur une expérience sensorielle dans un monde virtuel dans lequel on peut se déplacer, interagir avec des objets et communiquer avec d'autres humains. Il peut être utilisé pour :

- (a) jouer à un jeu RV ;
- (b) voir un film de manière similaire à l'expérience produite au cinéma ;
- (c) regarder des vidéos tournées en réalité virtuelle (fiction, documentaire) ;
- (d) organiser une réunion ;
- (e) visiter un lieu à distance, comme un musée ;
- (f) visionner en direct une vidéo transmise par un autre appareil, comme un drone ;
- (g) étudier de manière plus immersive ;
- (h) s'entraîner grâce à la simulation (aviation, médecine, armée) ;
- (i) voyager de manière virtuelle, notamment pour les personnes ne pouvant se déplacer.



FIGURE 1.5 – Un casque de réalité virtuelle.

2. Les manettes :

Les manettes (ou joysticks) permettent à l'utilisateur de se déplacer et d'interagir avec l'environnement virtuel.

À l'image d'une manette de jeu vidéo, des boutons et gâchettes permettent d'éjecter des actions. Les manettes RV sont également équipées de capteurs de mouvements permettant de retranscrire les mouvements de l'utilisateur dans la simulation.

Les derniers modèles de manettes sont également équipés de capteurs haptiques permettant d'identifier et de retranscrire le mouvement des doigts.

Un dispositif sonore de qualité permet d'augmenter le sentiment d'immersion de l'utilisateur dans la simulation. Il est possible de brancher un casque audio et un micro pour accompagner le casque de réalité virtuelle.

3. Les salles de réalité virtuelle :

Il existe aussi des salles de réalité virtuelle dans lesquelles les images sont projetées sur les murs, le sol et le plafond avec un système de capture des mouvements qui sert à ajuster la perspective en fonction des déplacements.

1.3.1 L'immersion en réalité virtuelle

L'immersion en réalité virtuelle est un concept central de cette technologie, cherchant à immerger l'utilisateur dans un monde virtuel généré par ordinateur. Cette immersion est rendue possible par l'utilisation de casques ou de lunettes RV, qui simulent la présence physique de l'utilisateur dans un environnement en trois dimensions. Ces dispositifs utilisent des écrans stéréoscopiques pour fournir des images en 3D adaptées à la perspective de l'utilisateur, et des capteurs comme le gyroscope, l'accéléromètre et le magnétomètre pour suivre ses mouvements. Les aspects visuels, sonores, olfactifs et optiques sont pris en compte pour créer une immersion complète, à travers la quantité et la qualité des retours sensoriels et la capture des mouvements. En réalité virtuelle, l'environnement 3D s'ajuste à la perspective et aux mouvements de l'utilisateur, offrant une expérience sensorielle intégrale. Cela permet à l'utilisateur de vivre un univers virtuel à travers différents sens tels que la vue, le toucher, l'ouïe, voire l'odorat, offrant ainsi une expérience immersive et interactive unique.

1.3.2 L'interaction en réalité virtuelle

L'interaction en 3D est un autre concept fondamental de la réalité virtuelle. La définissent comme un langage commun entre l'humain et l'environnement virtuel, englobant les actions et réactions réciproques entre l'utilisateur et l'ordinateur via des interfaces sensorielles, motrices et d'interaction. De manière similaire, Fuchs affirme que cette interaction est facilitée par les interfaces matérielles de la réalité virtuelle, également connues sous le nom d'interfaces comportementales, qui exploitent les comportements humains. Ces interfaces comprennent des dispositifs sensoriels (visuels, tactiles, sonores) permettant à

l'utilisateur de percevoir l'évolution du monde virtuel, des interfaces motrices (manettes, gants de données, tapis de marche, etc.) transmettant les actions motrices de l'utilisateur à l'ordinateur, et des interfaces sensorimotrices (interfaces à retour de force) permettant une communication bidirectionnelle (figure 1.6).

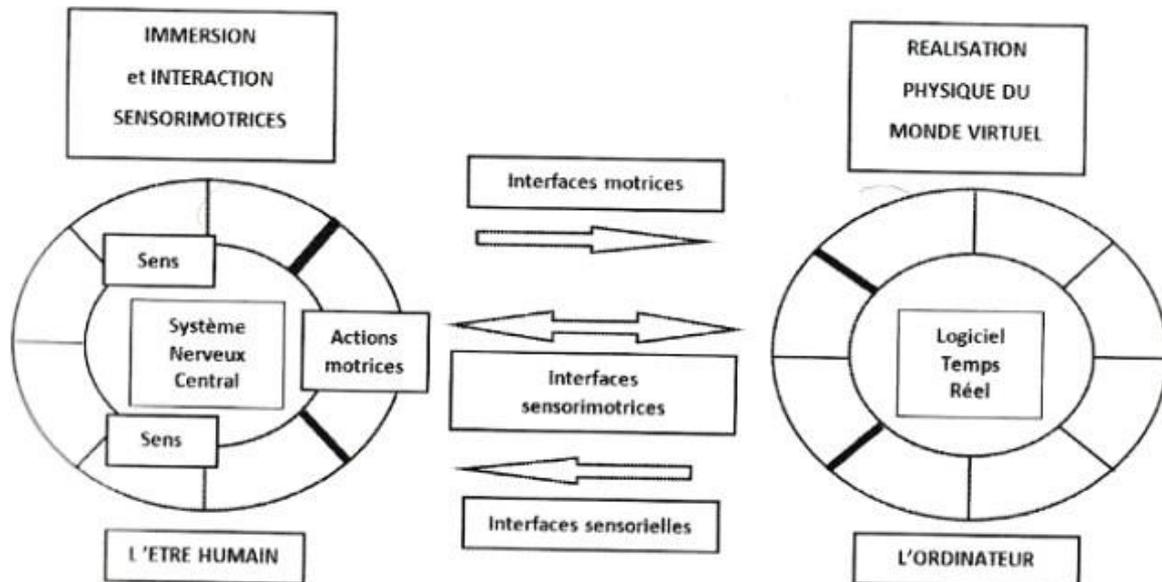


FIGURE 1.6 – Niveau d'immersion et d'interaction sensorimotrice de l'interfaçage comportemental [10].

1.3.3 La navigation en réalité virtuelle

La navigation, ou déplacement, représente la capacité de se déplacer dans l'environnement en réalité virtuelle (ERV), permettant aux utilisateurs de changer leur position dans ce dernier. Cette fonction se divise généralement en deux aspects distincts : la composante sensorimotrice, qui assure le déplacement réel d'un point A à un point B, et la composante cognitive, appelée recherche d'itinéraire, qui guide les utilisateurs dans l'environnement et leur permet de choisir leur trajectoire. Selon Bowman et al, plusieurs aspects doivent être pris en compte dans la conception du déplacement, notamment la vitesse, la précision, la

conscience spatiale de l'utilisateur, la facilité d'apprentissage, d'utilisation et de collecte d'informations sur l'environnement. Une autre notion importante, selon Fuchs, est le mode de contrôle de l'utilisateur, qui peut être continu, par pointage, ou planifié. Chaque mode utilise des techniques telles que la marche, les postes de conduite, le contrôle gestuel ou le pointage pour déterminer les déplacements dans l'ERV.

1.3.4 La sélection

La sélection, également connue sous le nom de tâche d'acquisition de cible, consiste à désigner un objet ou un groupe d'objets pour atteindre un objectif spécifique dans l'environnement virtuel (EV). Ce processus s'inspire souvent de la sélection dans le monde réel. La sélection comprend deux sous-tâches : la désignation de l'objet et la validation de la sélection. Soulignent que la sélection d'objets dans un EV 3D rencontre trois principaux défis : la densité des objets, la dissimulation des objets cibles et les problèmes de déplacements dans la profondeur. Ces problèmes sont liés aux limitations des dispositifs d'interaction conçus principalement pour une utilisation en deux dimensions. Les interfaces matérielles de la réalité virtuelle proposent des solutions partielles ou complètes à ces défis.

1.3.5 La manipulation

La manipulation donne à l'utilisateur le pouvoir de modifier les propriétés du monde virtuel dans lequel il se trouve, telles que la position, l'orientation, la couleur, l'échelle, la forme, l'opacité, la visibilité, la texture, etc. La manipulation peut être directe, permettant à l'utilisateur d'agir directement sur les objets de l'environnement virtuel, ou indirecte,

lui permettant d'agir sur les composants du monde virtuel via des entités graphiques ou matérielles telles que des boutons ou des menus 3D. Pour manipuler des objets distants dans l'EV, différentes techniques sont utilisées, regroupées en deux catégories selon : les techniques d'extension du bras, où le bras de l'utilisateur est étendu à la longueur souhaitée dans l'ERV, et les techniques de lancer de rayons, où un rayon lumineux virtuel est utilisé pour saisir un objet, la direction du rayon étant déterminée par la main de l'utilisateur. La tâche de manipulation est étroitement liée à la tâche de sélection, car pour manipuler un objet, il faut d'abord le sélectionner.

1.3.6 Le contrôle de l'application

Le contrôle de l'application permet à l'utilisateur d'interagir avec l'application en dehors de l'environnement virtuel, comme défini par Chen. Cela comprend des activités telles que le réglage des paramètres de l'environnement, l'inscription des utilisateurs à une activité, l'accès à l'aide, la modification des paramètres de connexion, etc. Bien que cette dernière action puisse être essentielle dans certains cas, nous ne la considérons pas comme une interaction dans l'environnement virtuel, car elle se déroule en dehors de celui-ci. Dans nos travaux, nous considérons cette tâche comme une fonctionnalité de l'interface homme-machine.

1.4 Les environnements virtuels et les humains virtuels

Les environnements virtuels et les humains virtuels sont des composants essentiels de la réalité virtuelle (RV) qui permettent aux utilisateurs d'interagir avec des mondes numériques de manière immersive. Voici une explication plus détaillée de ces concepts :

1.4.1 Les environnements

Le terme environnement virtuel a été utilisé comme synonyme de la RV au début des années 90 par les chercheurs du Massachusetts Institute of Technology (MIT). Bien que Ellis [11] préfère utiliser ce terme à la place de « réalité virtuelle » qui est pour lui critiquable et critiqué, Chellali [12] pense que l'utilisation d'environnement virtuel comme synonyme de la RV semble réductrice, car il ne reflète pas exactement les notions les plus importantes de la RV : l'immersion, la présence et l'interaction.

D'après Ouramdane et al. [13] un environnement virtuel est considéré comme le lieu suggéré par la RV pour accueillir un ou plusieurs utilisateurs et leur permettre d'accomplir certaines tâches avec l'impression d'être dans un cadre spécifique. En d'autres termes, il s'agit de l'environnement dans lequel l'utilisateur est immergé pendant l'expérience. Il est représenté par un modèle 3D de données réelles ou imaginaires qu'on peut visualiser et avec lesquelles on peut interagir en temps réel [14]. Pour Burkhardt et al. [15], les environnements virtuels constituent « des systèmes interactifs particuliers visant à permettre à un ou plusieurs utilisateurs d'interagir avec la simulation numérique, généralement réaliste, d'objets et de scènes en trois dimensions, par le biais d'un ensemble de tech-

niques informatiques couvrant une ou plusieurs modalités sensorielles ». L'immersion (dans son approche objective) dépend fortement de la caractéristique de l'environnement virtuel. Ainsi, on distingue plusieurs types d'environnements virtuels en fonction du degré d'immersion qu'ils procurent à l'utilisateur : environnement virtuel non-immersif (Non-Immersive Virtual Environment ou NIVE), environnement virtuel semi-immersif (SIVE), ou bien environnement virtuel totalement immersif (FIVE) [16].

Par ailleurs, il existe généralement deux façons de visualiser les EV [17] :

- La vue à la première personne qui est la transposition du point de vue des utilisateurs dans une perspective à la première personne [18]. En d'autres termes, la vue dans l'EV est comme si elle était celle de l'utilisateur. Cette vue est généralement utilisée dans les applications de réalité virtuelle.
- La vue à la troisième personne qui est une transposition du point de vue des utilisateurs dans une perspective à la troisième personne [19]. Dans ce cas, l'utilisateur contrôle un objet (mannequin) parfois semblable à une personne dans l'EV. Cette vue est beaucoup utilisée dans les EV accessibles sur ordinateur.

1.4.2 Les humains virtuels

Les humains virtuels, également connus sous le nom d'avatars, sont des représentations numériques des utilisateurs dans les environnements virtuels, offrant une présence virtuelle immersive. Ils peuvent revêtir différentes formes, allant de personnages humains réalistes à des représentations stylisées ou abstraites, avec la possibilité de personnaliser leurs caractéristiques physiques, leurs vêtements et d'autres attributs. Les avatars permettent aux utilisateurs de se représenter dans le monde virtuel, facilitant ainsi la

CHAPITRE 1. LA RÉALITÉ VIRTUELLE

communication et l'interaction sociale avec d'autres utilisateurs. Contrôlés par les mouvements du corps ou des commandes manuelles via des contrôleurs de mouvement, les avatars jouent un rôle crucial dans la création d'une présence sociale et d'une immersion dans les environnements virtuels, favorisant ainsi la connexion entre les utilisateurs et leur environnement virtuel(Figure 1.7).



FIGURE 1.7 – Les avatars virtuels .

Les environnements virtuels et les humains virtuels constituent les fondements de l'expérience de réalité virtuelle, offrant aux utilisateurs la possibilité d'explorer et d'interagir avec des mondes numériques d'une manière qui ressemble à la réalité(figure 1.8).

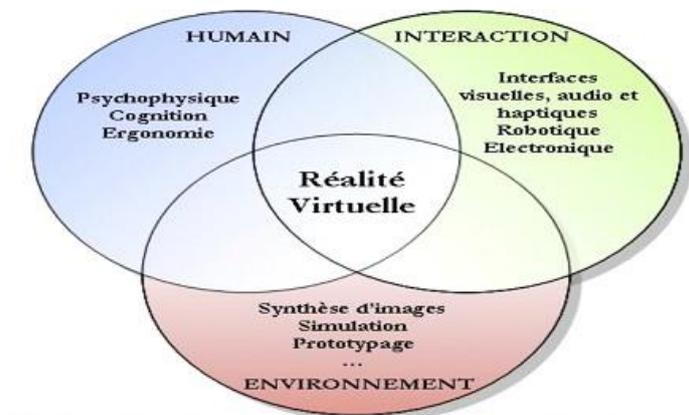


FIGURE 1.8 – Les Interactions Humain- Environnement.

1.5 La réalité augmentée et la réalité mixte

Dans cette section, afin de clarifier les distinctions avec la réalité virtuelle (RV), nous proposons de définir les concepts de réalité augmentée (RA) et de réalité mixte (RM).

Le terme de réalité augmentée a été introduit au début des années 1990 [21] pour désigner une forme particulière d'interaction homme-machine fondée sur l'association sémantique et spatiale d'objets réels et virtuels, c'est-à-dire générés par un ordinateur [22]. En d'autres termes, la réalité augmentée permet d'ajouter des informations virtuelles (textes, objets virtuels, personnages, etc.) dans le monde réel [23]. D'après Fuchs [11], la réalité augmentée doit être interprétée comme une perception de l'augmentation de la réalité et non comme une augmentation de la réalité, car le monde réel reste le même (il n'est pas augmenté) et ce n'est que par l'intermédiaire de ces techniques que l'utilisateur perçoit mieux le monde réel [11]. Contrairement à la RV, la RA ne vise donc pas une substitution du monde réel par un monde virtuel.

La RA est très utilisée dans le contexte de l'apprentissage [22]. Elle fournit un double support réel-virtuel à l'activité de l'apprenant, ce qui permet d'apprendre par l'action, de montrer simultanément des artefacts physiques pendant une situation d'apprentissage, de faciliter l'élaboration de représentations de relations spatiales dynamiques et leur évolution dans le temps et l'espace, de manipuler des objets familiers (ce qui conduirait à une forte sensation de présence). Elle permet aussi de stocker et délivrer des informations contextualisées en temps réel, permettant ainsi de réduire les risques d'erreurs pendant une situation d'apprentissage [23] et de minimiser l'utilisation du support papier. Elle permet d'accroître la motivation des apprenants par le fait de la nouveauté du mode d'interaction [24].

CHAPITRE 1. LA RÉALITÉ VIRTUELLE

La RM quant à elle définit un monde mixte créé à partir du monde réel et d'entités virtuelles [11]. Cette notion est utilisée par Milgram et Kishino dans leurs travaux sur le continuum de la virtualité pour désigner le juste milieu entre la RV et la RA [25] (figure 1.9). Certains auteurs présentent la réalité mixte comme un système combinant à la fois RV et RA [26]. Pour Microsoft, créateur du casque de réalité mixte HoloLens (figure 1.10, la RM permet de repousser les murs de la salle de classe grâce aux possibilités d'immersion et de stimulation ; elle renforce la participation des apprenants et améliore les résultats d'apprentissage grâce aux technologies 3D ; elle favorise l'apprentissage social et affectif en brisant les barrières émotionnelles pour permettre aux étudiants d'appréhender la vie sous un nouveau jour ; elle permet de donner vie à des leçons.

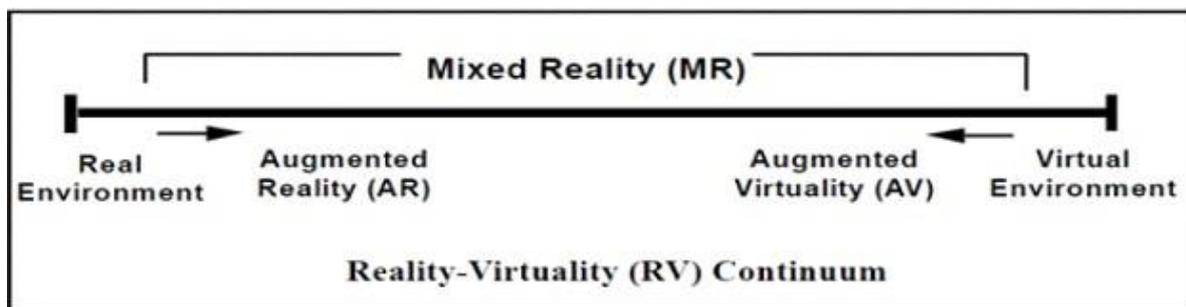


FIGURE 1.9 – Le continuum de la virtualité de Milgram et Kishino . [25].



FIGURE 1.10 – Casque de réalité mixte Hololens.

1.6 Les application de la réalité virtuelle

La réalité virtuelle est une technologie émergente qui offre des expériences immersives dans des mondes virtuels. Cette technologie présente de nombreuses applications dans de nombreux domaines différents. Dans cet article, nous allons découvrir les principaux usages de la réalité virtuelle.

1. Divertissement et jeux vidéo : L'un des premiers domaines à avoir adopté la réalité virtuelle est celui des jeux vidéo. Les joueurs peuvent maintenant se plonger dans des mondes virtuels et interagir avec des personnages virtuels en utilisant des casques RV.
2. Formation et éducation : La réalité virtuelle peut être utilisée pour offrir une formation immersive à des étudiants et à des employés. Par exemple, les professionnels de la santé peuvent utiliser la réalité virtuelle pour simuler des procédures chirurgicales

ou pour former les étudiants en médecine.

3. **Tourisme et voyages** : La réalité virtuelle offre aux touristes la possibilité de visiter des destinations lointaines sans quitter leur domicile. Les agences de voyage peuvent utiliser la réalité virtuelle pour proposer des visites virtuelles de destinations de voyage populaires.
4. **Art et culture** : La réalité virtuelle permet aux artistes et aux amateurs d'art de découvrir des musées et des galeries d'art du monde entier en utilisant des casques VR. Les utilisateurs peuvent découvrir des œuvres d'art dans des environnements virtuels immersifs.
5. **Design et architecture** : La réalité virtuelle peut être utilisée pour visualiser des modèles 3D de bâtiments et de maisons. Les architectes et les designers peuvent utiliser la réalité virtuelle pour explorer leurs conceptions en trois dimensions.
6. **L'apprentissage** : L'intégration de la réalité virtuelle dans le domaine de l'apprentissage représente une réelle révolution dans les méthodes d'enseignement et d'apprentissage. Grâce à ses capacités immersives et interactives, la réalité virtuelle offre aux utilisateurs des expériences mémorables qui favorisent l'engagement et la rétention des connaissances. Les progrès technologiques dans ce domaine permettent de simuler une variété d'activités, allant de la simulation de vol à l'exploration spatiale, offrant ainsi des opportunités d'apprentissage uniques et captivantes. Les environnements virtuels sont également propices à la création d'expériences pédagogiques personnalisées, favorisant le développement de compétences pratiques telles que la prise de parole en public. De plus, la réalité virtuelle présente des avantages significatifs pour les formateurs en facilitant la transmission des connaissances et en favorisant l'interaction sociale au sein des sessions d'apprentissage. En résumé,

l'utilisation de la réalité virtuelle dans l'éducation ouvre de nouvelles perspectives en offrant des expériences d'apprentissage interactives, immersives et adaptées à chaque apprenant, contribuant ainsi à une transformation positive des pratiques éducatives traditionnelles.

1.7 Conclusion

La réalité virtuelle a eu un impact majeur dans divers domaines comme le divertissement, la formation, la médecine et la conception, en révolutionnant la manière dont les individus interagissent avec les environnements numériques. Malgré les progrès réalisés, il reste encore un potentiel considérable à explorer, avec des défis techniques et éthiques persistants. Cependant, grâce aux avancées continues, la réalité virtuelle continuera à façonner l'interaction humaine avec la technologie, offrant des innovations prometteuses et un avenir riche en possibilités.

L'apprentissage dans la réalité virtuelle.

2.1 Introduction

La réalité virtuelle (RV) est une technologie immersive qui transporte les utilisateurs dans des environnements virtuels en trois dimensions, où ils peuvent interagir avec des éléments et des personnages en temps réel. Cette technologie ouvre de nouveaux horizons dans le domaine de l'apprentissage en proposant des environnements captivants et interactifs. En éducation, la RV permet de concevoir des expériences d'apprentissage uniques, où les apprenants explorent des mondes virtuels et vivent des expériences qui seraient autrement difficiles à reproduire dans la réalité. Par exemple, ils peuvent visiter des sites historiques, explorer des musées virtuels ou même réaliser des expériences de laboratoire simulées. La RV renforce l'engagement des apprenants en leur offrant des expériences immersives où ils peuvent interagir avec des éléments virtuels, résoudre des problèmes et prendre des décisions impactantes. Cela favorise leur motivation, leur participation et leur compréhension des concepts clés. De plus, la RV permet de personnaliser les environnements d'apprentissage en fonction des besoins et des intérêts de chaque apprenant,

optimisant ainsi l'efficacité de l'apprentissage.

Enfin, elle rend l'éducation plus accessible en permettant aux apprenants de participer à distance, ce qui est particulièrement bénéfique pour ceux ayant des contraintes de déplacement ou vivant dans des régions éloignées. En résumé, la RV offre une approche d'apprentissage immersive, interactive, personnalisée et accessible, améliorant ainsi l'engagement, la motivation, la participation et la compréhension des apprenants, et contribuant à l'efficacité globale de l'apprentissage.

2.2 Les applications de la RV dans l'éducation

La RV est utilisée pour des formations dans des domaines spécifiques. A titre d'exemple, dans le domaine de la médecine, elle est utilisée pour des formations aux compétences non techniques [27], elle est aussi utilisée comme une méthode complémentaire et joue un rôle important dans l'amélioration des performances des différents groupes médicaux, elle permet aux apprenants de pratiquer des opérations et diverses procédures chirurgicales sur des patients virtuels [28] et permet de vivre une expérience réaliste et interactive [29], elle offre une formation clinique rentable, reproductible et standardisée à la demande [29], elle permet aux futurs cliniciens de comprendre les principes physiologiques importants ou d'anatomie de base grâce à la visualisation 3D de volumes massifs d'informations et bases de données [30], elle a été aussi utilisée pour enseigner l'habileté à effectuer différentes tâches comme un électrocardiogramme.

Pour terminer cette partie, nous explorons aussi quelques travaux sur l'expérience utilisateur des apprenants. Ainsi, l'immersion, l'interaction et l'imagination en RV influencent la motivation des apprenants avec une contribution plus forte de l'immersion que les deux

autres facteurs [31]. L'interaction 3D en RV a une influence positive sur la mémorisation lexicale à court terme [32]. La RV contribue au sentiment de satisfaction [33] et permet aux apprenants de vivre une expérience de flow [34]. La RV permet d'apprendre plus rapidement que les tutoriels vidéo, en engageant activement les apprenants dans le processus d'apprentissage [35]. Une étude menée par Krokos et Varshney [36] suggère que les apprenants conservent plus d'informations et peuvent mieux appliquer ce qu'ils ont appris après avoir participé à des exercices dans un ERV.

En résumé, ces études nous permettent de constater que la RV a un impact significatif sur l'apprentissage. Les facteurs d'immersion, d'interaction, d'imagination et de présence contribuent à améliorer l'expérience utilisateur des apprenants dans un processus d'apprentissage.

2.3 Réalité virtuelle et apprentissage humain

Les apports de la RV pour l'apprentissage humain sont traités dans différents travaux de recherche. D'après Lourdeaux [37], l'utilisation de la RV pour l'apprentissage humain présente plusieurs avantages par rapport aux formations réalisées dans un environnement réel. Elle permet de :

1. réaliser des tâches en toute sécurité.
2. faire des erreurs sans compromettre la sécurité des apprenants, car les erreurs sont formatrices.
3. paramétrer l'environnement de formation pour répondre à des conditions spécifiques.
4. créer des terrains d'entraînement accessibles.
5. réaliser des scénarios d'apprentissage impossibles à mettre en place dans le monde

réel.

6. simuler des scénarios et des conditions rares comme des accidents techniques, afin de mettre par exemple le stagiaire en situation de stress, embarrassante, imprévue et inattendue.
7. réutiliser les équipements pour d'autres formations, être indépendant du temps.

Fuchs [38], allant dans le même sens que Lourdeaux, regroupe les apports de la RV en deux grandes catégories : les avantages de simuler un environnement virtuel mieux adapté qu'un environnement réel (simulation des terrains inaccessibles, des tâches dangereuses, des événements difficiles à reproduire en environnement réel, des tâches sur un matériel onéreux, etc.) et les avantages des fonctionnalités proposées à l'apprenant (contrôle de complexité d'une situation, décomposition des apprentissages pour mieux les appréhender, modification de la topologie spatiale d'un espace complexe, modification de la structure temporelle des tâches, visualisation des phénomènes invisible à l'œil nu, visualisation des informations indisponible dans le monde réel et rectification des concepts).

D'autres auteurs présentent les apports de la RV dans le contexte d'apprentissage. Pour Kaminska et al.[39], la RV aide les étudiants à acquérir des connaissances théoriques, par exemple la terminologie, les dates, les faits, les règles ou les théories ; elle permet d'enseigner des compétences pratiques en fonction des connaissances préalablement acquises et d'utiliser des compétences acquises face à des problèmes. Les travaux de Minocha [40] montrent que la RV peut être utilisée pour : intégrer les apprenants avec différents styles et capacités d'apprentissage, l'apprentissage interactif, rendre l'apprentissage amusant et facile, apprendre par la pratique (une approche différente des récompenses et des punitions), assister à des conférences virtuelles, des discussions, des examens ou des laboratoires en

3D, les visualisations microscopiques et macroscopiques, etc.

2.4 Les travaux existants

Abdul Rahim et ses collègues [41] (2012) [42] ont réalisé une application de réalité virtuelle de bureau sur le processus d'assèchement du lait en poudre. Le but de cette application pour les auteurs était de pouvoir apporter un enseignement sur les environnements des usines de traitement à des étudiants dans le domaine de l'éducation tertiaire. En effet, les auteurs expliquent que l'enseignement dans ce domaine encourage les étudiants à apprendre des situations réelles en plus des enseignements traditionnels comme les livres. Or les usines de traitement sont de plus en plus réglementées et difficiles d'accès pour des visites à cause des normes de sécurité et d'hygiène. Ils ont fait tester leur environnement de réalité virtuelle de bureau à des étudiants d'université en 1^{re} année et en dernière année d'ingénierie afin d'évaluer l'utilisabilité de leur application. Leur recueil de données s'est fait par le biais d'un questionnaire ainsi que d'interviews avec les étudiants. L'analyse des auteurs révèle que leur application a été bien accueillie par les étudiants et qu'elle était assez intuitive pour être manipulée en ayant peu de pratique, voire sans lire le manuel d'utilisation. Les auteurs ont regroupé les points forts de l'utilisabilité de leur application qui ont intéressé les étudiants et/ou les ont aidés dans leur manipulation à l'intérieur de l'environnement de réalité virtuelle de bureau :

- rassembler les informations associées ensemble dans un même espace : regrouper les informations reliées et les rendre visibles dans une seule et même fenêtre de différents panneaux, différents onglets (Figure 2.1) permet d'accroître la navigation et de maintenir la compréhension des étudiants. Il faut permettre aux apprenants

de relier les informations contenues entre différents éléments afin d'améliorer leur apprentissage du contenu.

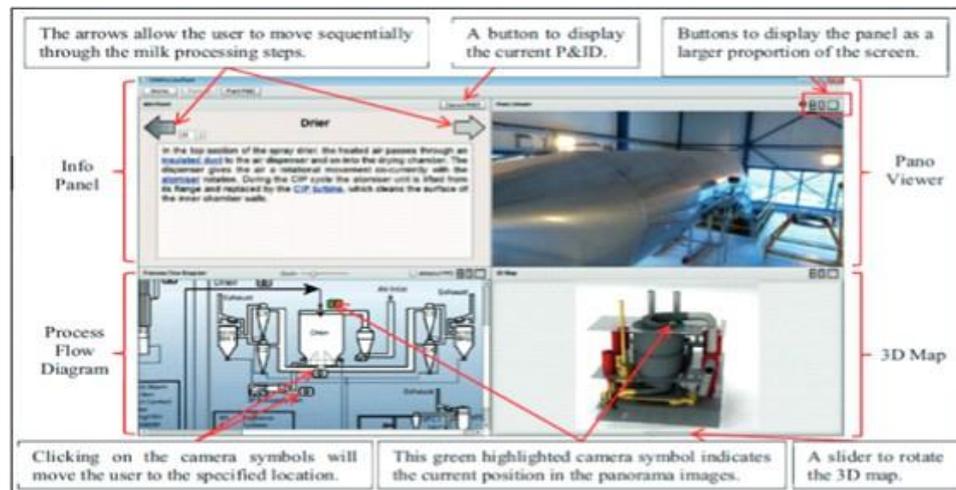


FIGURE 2.1 – Capture d'écran de l'application de réalité virtuelle de bureau illustrant les différents panneaux visuellement disponibles dans l'interaction.

- guider et faire correspondre les informations importantes avec une mise en saillance : pour les auteurs, il est important de guider l'information par l'utilisation d'éléments textuels plus saillants et l'utilisation de différentes couleurs. En effet, cela va permettre de souligner l'information pour les utilisateurs et les conduire à mieux identifier les points d'intérêt mentionnés dans l'information textuelle ainsi qu'à les rendre plus engagés dans l'application.
- favoriser l'interactivité des contenus : les éléments interactifs dans l'application de RV permettent aux utilisateurs d'être plus engagés avec le contenu de l'information présenté sous différentes formes (texte, visualisation 360, etc.).
- augmenter le contrôle des utilisateurs sur leur interaction avec l'application : le fait que les utilisateurs puissent contrôler leur interaction est un moyen de leur donner la capacité d'avancer à leur propre rythme d'apprentissage, par exemple en donnant la possibilité de sélectionner ce qu'ils veulent et ne veulent pas voir comme information.

- utiliser des symboles communs dans l'EV pour faciliter l'apprentissage de l'application : il est important de faire usage des connaissances que l'utilisateur possède, de ses représentations mentales afin de minimiser les efforts requis pour qu'il apprenne à utiliser l'application. Cela peut se faire en utilisant des symboles communs, c'est-à-dire que les gens ont l'habitude de côtoyer.
- proposer un choix de visites/d'interactions guidées et non guidées : proposer une navigation flexible, à savoir le choix entre des visites guidées ou non guidées, permet aux étudiants d'avoir plusieurs options et de sélectionner ce qui correspondrait le plus à leur style d'apprentissage et à leur niveau de connaissances. Par exemple, un étudiant confirmé dans un domaine préférerait naviguer par ses propres moyens et apprendre seul dans l'application alors qu'un étudiant plus novice pourrait avoir besoin de plus d'explications sur un sujet, qu'un guide pourrait lui amener.
- faire varier/adapter le niveau de détails des contenus en fonction du niveau des utilisateurs : il est important que l'application de RV possède plusieurs niveaux de détails d'information si celle-ci est à destination d'apprenants de différentes années d'étude. En effet, les auteurs expliquent que les étudiants de dernière année manifestaient un plus grand niveau d'engagement comparé à ceux de 1re année car ces derniers n'avaient pas encore vu en cours les contenus présentés dans l'application. Chen et ses collègues (2007) ont précisé dans leur étude qu'il existe des limitations à l'usage de la RV en classe. En effet, elle y reste d'après eux inaccessible pour les enseignants à cause de la complexité de ses équipements et de son coût. De plus, les enseignants doivent prendre le temps d'apprendre et de configurer les équipements pour leurs cours. Ils définissent la réalité virtuelle de bureau comme une solution moins chère, beaucoup plus accessible et facilement adoptable pour

des enseignants et des élèves, et ce sans avoir recours à des dépenses excessives d'équipements. Ils rajoutent que la RV de bureau est également un moyen d'éviter les risques de motion sickness[?] puisque cette RV est moins immersive. Voici leurs recommandations pour le développement et l'usage de réalité virtuelle de bureau en classe :

- fournir un concept de l'espace dans l'EV précis : il est nécessaire de fournir des repères, en plus d'une carte, à l'utilisateur au sein de l'environnement pour lui éviter d'être perdu. Plus l'environnement virtuel représente un grand espace, plus il sera nécessaire d'ajouter des repères pour l'orientation de l'utilisateur. De plus, les moments de transfert d'un point de vue à un autre (exemple : dans l'étude de Chen et ses collègues, les élèves pouvaient observer le lever et le coucher de soleil en changeant de point de vue, sur la Terre ou dans le ciel) doivent se faire de façon compréhensible pour les utilisateurs .
- renforcer le design interactif et les opportunités de manipulation d'objet dans le système : les résultats de Chen et ses collaborateurs ont montré que la manipulation était nécessaire pour assister les élèves dans leur compréhension et leur apprentissage en RV.
- amener à ressentir l'expérience des phénomènes par la stimulation sensorielle : donner des informations sensorielles (exemple : la température, les odeurs, la force) aux utilisateurs est un moyen de leur faire comprendre plus facilement des concepts. Elles permettent de faire se sentir plus présents les utilisateurs et ainsi de mieux les impliquer dans leur compréhension des phénomènes particuliers (exemple : avec l'astronomie dans l'étude de Chen et son équipe en 2007[45] ; le cycle jour/nuit ou pourquoi la météo est plus chaude en été qu'en hiver, etc.).

- compenser l'absence de fonctionnalité de socialisation par la mise en commun des découvertes dans l'EV en classe : pour Chen et ses collègues , le fait de ne pas avoir de fortes fonctionnalités de socialisation dans l'application de RV n'est pas un point négatif. Toutefois, ils décrivent que ce genre de fonctionnalités pourrait distraire et rendre les élèves confus en classe. Pour eux, leur DVREMS (Desktop VR Earth Motion System) est un outil capable d'être largement déployé dans des classes grâce à son coût, plus faible que la RV et ses équipements classiques, et par ses avantages pour les apprentissages. Ainsi, bien que la RV puisse présenter des complications pour être intégrée en classe, il existe des solutions, comme la réalité virtuelle de bureau (face au coût de la RV) qui présente aussi de nombreux, si ce n'est les mêmes, avantages éducatifs malgré son degré d'immersion réduit par rapport à la RV. De plus, les bénéfices constatés (motivation, compréhension de concepts abstraits, etc.) sont non négligeables pour l'éducation. Il est cependant nécessaire de réfléchir aux buts visés par l'outil de RV pour les apprenants avant de concevoir l'environnement virtuel, le contenu de l'application, afin d'adapter l'objet final pour qu'il réponde au mieux aux besoins éducatifs des élèves ou étudiants.

2.5 Les avantages et les inconvénients de l'apprentissage dans la réalité virtuelle

2.5.1 Les avantages

Les principaux avantages de la réalité virtuelle pour l'éducation est la possibilité offerte aux apprenants de visualiser des situations et des concepts impossibles à voir autrement

(par exemple, se retrouver à l'échelle d'une molécule et interagir avec elle) et la capacité de les immerger dans un autre monde que le monde physique durant cette visualisation. Bell et Fogler donnent pour exemple que la RV permettrait à des étudiants de se déplacer à l'intérieur d'un réacteur ainsi que de l'observer fonctionner sous les angles de vues qu'ils désirent alors que des films ou des photos ne pourraient que montrer aux étudiants la géométrie interne du réacteur. Un autre avantage de la RV pour ces auteurs est l'intérêt et l'enthousiasme que provoque cette technologie chez les élèves. Selon Bell et Fogler, ce bénéfice est dû aussi à un effet de nouveauté, de découverte et d'utilisation de matériel informatique (qui intéresse déjà d'ordinaire les étudiants, d'après eux) ainsi qu'aux aspects ludiques et attrayants selon Burkhardt. Pour les deux auteurs, tout engagement de l'étudiant dans le cours est bon à prendre même si l'effet d'intérêt et d'enthousiasme ne dure qu'un temps. Nous allons voir dans cette partie les avantages connus de la RV avec l'enseignement et leurs effets sur l'apprentissage.

2.5.2 Les inconvénients

Le coût élevé associé à la production d'expériences d'apprentissage en réalité virtuelle peut limiter leur accessibilité pour certains apprenants ou institutions. De plus, il existe un risque d'addiction et de déconnexion sociale, où certains utilisateurs peuvent s'isoler du monde réel en devenant accros au monde virtuel, ce qui peut avoir des effets néfastes.

L'immersion dans un environnement virtuel peut également donner aux utilisateurs le sentiment d'échapper à la réalité, ce qui peut être problématique pour leur engagement dans l'apprentissage. De plus, l'utilisation prolongée de la réalité virtuelle peut entraîner des effets secondaires sur la santé tels que la fatigue visuelle et les maux de tête. Les expériences d'apprentissage en RV peuvent également manquer de réalisme par rapport au monde physique, et la communication sociale dans un environnement virtuel peut être limitée, ne pouvant pas remplacer complètement les interactions en personne. Enfin, étant une technologie encore expérimentale, la réalité virtuelle n'est pas encore entièrement développée et acceptée, ce qui pose des défis supplémentaires pour son intégration dans l'éducation.

2.6 L'apprentissage pour les petits enfants

L'apprentissage des jeunes enfants est essentiel et demande un soutien adapté pour les guider efficacement. Selon les sources fournies, voici quelques conseils clés pour aider les enfants dans leur apprentissage :

Il est crucial d'accompagner les enfants dans leurs apprentissages en les encourageant à agir par eux-mêmes, ce qui favorise leur confiance en soi et leur autonomie.

L'étayage, qui consiste à guider affectueusement les enfants dans leurs tâches en observant leurs actions et en les guidant selon leurs besoins, les aide à développer de nouvelles compétences et à devenir de plus en plus autonomes. Enseigner aux enfants l'importance de la patience et de la répétition dans l'apprentissage est également important, car chaque enfant progresse à son propre rythme. Les activités manuelles et créatives telles que le dessin, le collage, le modelage et la peinture stimulent leur développement et favorisent

CHAPITRE 2. L'APPRENTISSAGE DANS LA RÉALITÉ VIRTUELLE.

l'apprentissage par l'expérience. Enfin, encourager les enfants à explorer différents domaines et activités les aide à découvrir leurs intérêts et à développer leurs compétences.

L'apprentissage des jeunes enfants, notamment ceux en bas âge, est un domaine dynamique qui a connu de nombreuses avancées, notamment grâce à la réalité virtuelle (RV).

Voici quelques points clés à prendre en compte :

Les expériences sensorielles riches et variées offertes par la RV sont particulièrement bénéfiques pour les jeunes enfants, qui apprennent souvent mieux à travers le jeu et l'exploration. Les applications RV peuvent être conçues pour permettre une interaction active avec l'environnement virtuel, favorisant ainsi un apprentissage dynamique et un engagement accru. De plus, la RV peut être utilisée pour favoriser le développement des compétences sociales en simulant des interactions avec des personnages virtuels, tout en offrant une adaptabilité et une personnalisation aux besoins spécifiques des enfants, ce qui crée une expérience d'apprentissage sur mesure.

Les environnements virtuels immersifs stimulent la motivation des enfants à apprendre en rendant les activités d'apprentissage attrayantes et en favorisant la concentration sur des tâches spécifiques. De plus, la RV permet un suivi précis des progrès des enfants dans divers domaines d'apprentissage, fournissant ainsi des évaluations et des retours d'information précis aux éducateurs et aux parents. En intégrant judicieusement la RV dans les programmes d'apprentissage pour les jeunes enfants, il est possible de créer des environnements stimulants, interactifs et adaptés à leurs besoins spécifiques, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives dans le domaine de l'éducation précoce.

2.7 Conclusion

L'apprentissage dans la réalité virtuelle il est clair que cette technologie offre un potentiel immense pour révolutionner les méthodes d'enseignement et d'apprentissage. En permettant aux utilisateurs de vivre des expériences immersives et interactives, la réalité virtuelle favorise la mémorisation, l'engagement et la rétention des connaissances. Les avancées technologiques dans ce domaine offrent des opportunités uniques pour s'entraîner dans des environnements virtuels variés, tandis que les environnements virtuels personnalisés enrichissent les expériences pédagogiques et favorisent le développement de compétences pratiques. De plus, la réalité virtuelle présente des avantages significatifs pour les formateurs en facilitant la transmission des savoirs et en créant des expériences d'apprentissage immersives et engageantes. En somme, l'intégration de la réalité virtuelle dans l'éducation ouvre de nouvelles perspectives en offrant des expériences d'apprentissage interactives, immersives et personnalisées, contribuant ainsi à une transformation positive des pratiques éducatives traditionnelles.

Conception du système

3.1 Introduction

L'apprentissage des formes géométriques est essentiel pour le développement cognitif des enfants, jouant un rôle crucial dans leur compréhension du monde environnant. Traditionnellement, cet apprentissage s'effectue par des méthodes classiques comme les livres, les tableaux et les exercices papier-crayon. Cependant, ces approches peuvent parfois manquer d'engagement et d'interactivité, limitant ainsi l'efficacité de l'apprentissage. L'avènement de la réalité virtuelle (RV) a révolutionné le domaine éducatif, offrant des opportunités d'apprentissage plus dynamiques et stimulantes. L'utilisation de la RV pour l'apprentissage des formes géométriques présente de nombreux avantages significatifs. Premièrement, elle crée un environnement immersif permettant aux enfants de s'immerger dans des scénarios d'apprentissage interactifs, développant ainsi une compréhension plus profonde des concepts géométriques grâce à des expériences pratiques et visuelles. Deuxièmement, la RV personnalise l'apprentissage en proposant des scénarios adaptés au niveau et aux besoins de chaque enfant, favorisant un apprentissage individualisé et

efficace. Troisièmement, la RV encourage l'engagement et la motivation des apprenants grâce à des expériences interactives et ludiques. Les enfants sont plus enclins à s'investir dans l'apprentissage lorsqu'ils évoluent dans des environnements virtuels captivants. Enfin, la RV surmonte les limites des méthodes d'enseignement traditionnelles, telles que le manque de variété et la difficulté à visualiser des concepts abstraits. En offrant des simulations en 3D, des activités de manipulation virtuelle et des interactions immersives, la RV enrichit l'expérience d'apprentissage et améliore la compréhension des formes géométriques. Ce chapitre explore en détail les avantages de la RV pour l'apprentissage des formes géométriques, ainsi que les défis et les opportunités qu'elle offre pour l'éducation des jeunes enfants.

3.2 Objectif

L'objectif principale du travail est d'explorer l'impact de l'utilisation de la réalité virtuelle (RV) dans l'enseignement des formes géométriques aux enfants âgés de 3 à 10 ans. En développant une application éducative immersive en RV, cette recherche vise à comparer l'efficacité de cette méthode avec les approches pédagogiques traditionnelles, en termes de reconnaissance et de classification des formes. Elle cherche également à analyser l'influence de la RV sur l'engagement et la motivation des enfants, tout en identifiant les avantages et les défis liés à son intégration dans les programmes éducatifs. Enfin, cette étude propose des recommandations pour une mise en œuvre efficace de la RV dans l'éducation des jeunes enfants.

3.3 Conception de notre système

3.3.1 Conception générale

Les principes de la réalité virtuelle (RV) reposent sur plusieurs concepts fondamentaux qui permettent de créer des expériences immersives et interactives.

L'immersion se réfère à la sensation d'être physiquement présent dans un environnement virtuel.

L'interaction permet à l'utilisateur d'agir et de réagir dans l'environnement virtuel.

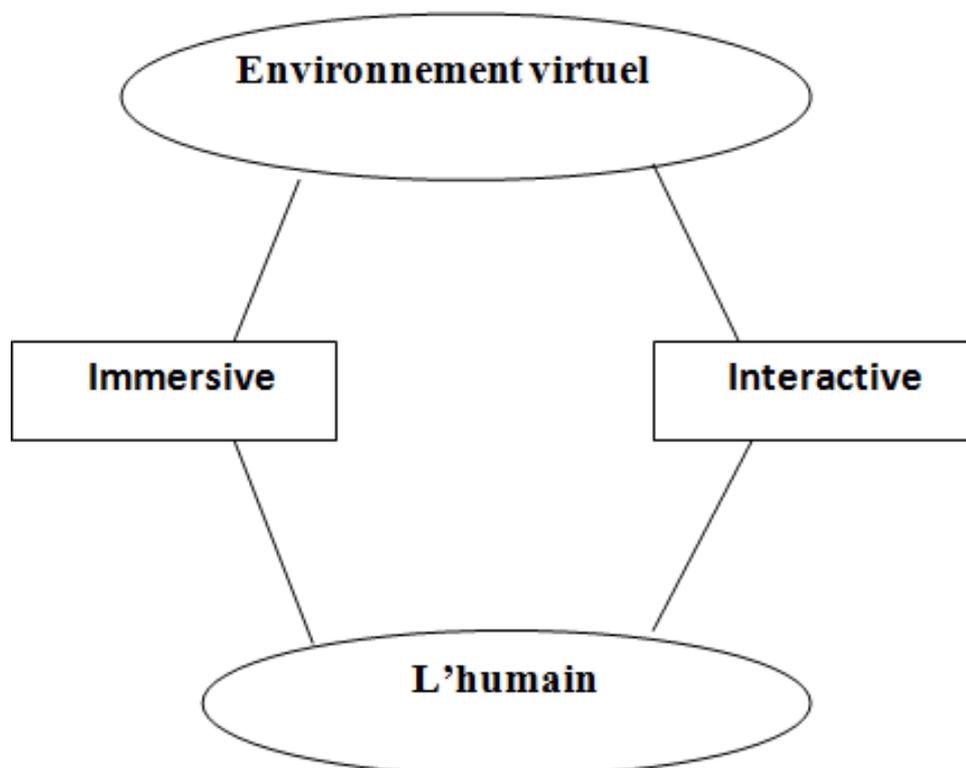


FIGURE 3.1 – Schéma général du système.

3.3.2 Conception détaillée

Dans cette section, nous nous concentrerons sur la structure globale de notre système et de ses composants. Notre l'architecture du système a été développée afin d'inclure systématiquement divers déterminants qui influencent la qualité et donc le succès de l'application de apprentissage avec RV. Il inclut le monde virtuel et les caractéristiques de l'enfant ainsi que le monde virtuel - l'interaction de l'enfant et les facteurs modérateurs (facteurs résultant de la situation d'utilisation réelle) comme déterminants de la qualité de l'application de réalité virtuelle. Facteurs sélectionnés pour une étude expérimentale pouvant être validés Des travaux sont également fournis comme le montre la figure 3.2

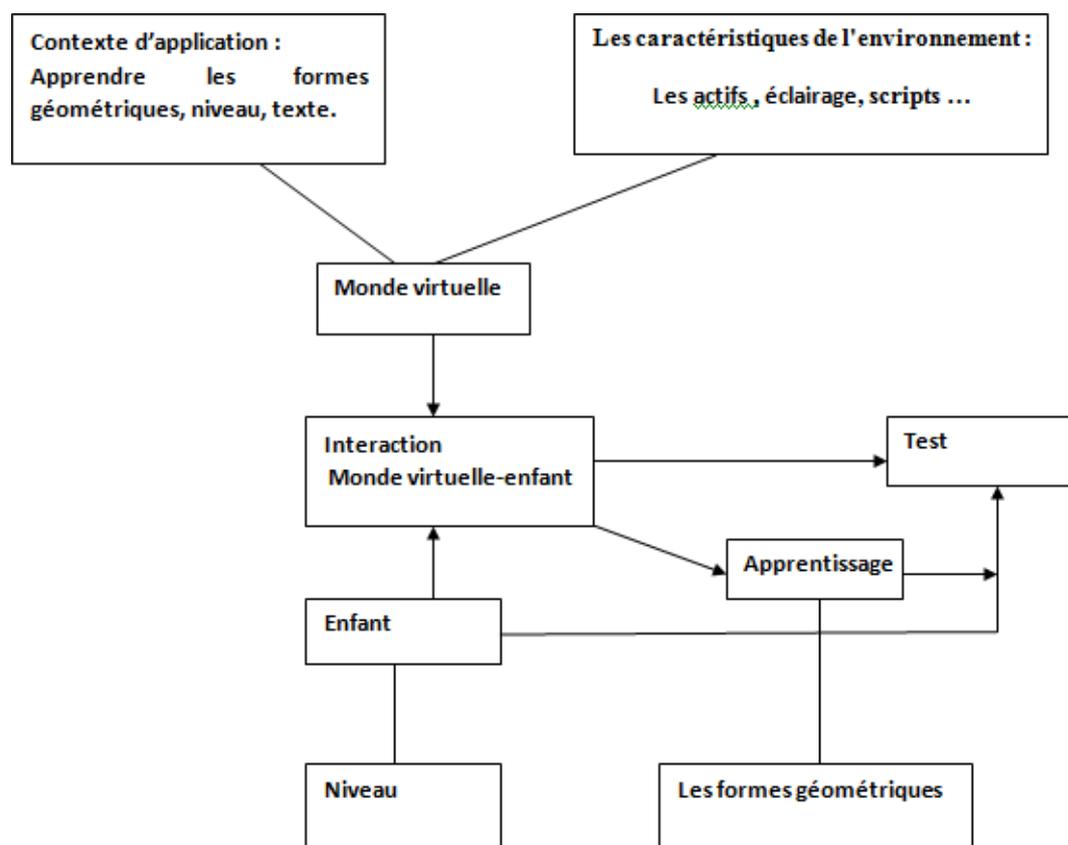


FIGURE 3.2 – Schéma détaillée du système.

3.3.3 Le monde virtuel

Notre système repose sur une immersion totale dans la réalité virtuelle immersive, offrant à l'enfant une expérience où il est complètement plongé dans un environnement généré par ordinateur. Cette immersion vise à créer un espace déconnecté du monde extérieur, permettant à l'enfant de se concentrer pleinement sur les activités d'apprentissage prévues. Pour atteindre cet objectif, nous avons sélectionné des fonctionnalités spécifiques à concevoir et à manipuler afin de répondre aux besoins et aux objectifs du projet. Ces fonctionnalités incluent notamment des graphismes et des animations de haute qualité pour créer un environnement visuellement attractif et réaliste, des interactions intuitives qui permettent à l'enfant de naviguer facilement dans l'environnement virtuel et d'interagir avec les éléments présents, ainsi que des mécanismes de feedback et de récompense pour renforcer l'engagement et la motivation de l'enfant. En intégrant ces fonctionnalités de manière réfléchie et cohérente, notre système vise à fournir une expérience immersive et enrichissante qui favorise l'apprentissage des formes géométriques de manière efficace et captivante pour les jeunes enfants.

- Contexte d'application :

Détermine à quoi sert l'application spécifique qui se trouve dans notre cas de apprendre les formes géométrique chez les petits enfants. Il comprend également les tâches spécifiques qui doivent être remplies par l'enfant ainsi que les caractéristiques de la tâche (par exemple, plusieurs niveaux de difficulté) sont déduits du contexte spécifique.

Le contexte d'application de notre système vise à fournir une plateforme d'apprentissage des formes géométriques adaptée aux jeunes enfants. L'objectif principal est d'offrir une expérience ludique et interactive qui facilite la reconnaissance et la compréhension

des formes géométriques de base telles que le cercle, le carré, le triangle et le rectangle. Ces activités sont conçues pour être évolutives et adaptatives, avec plusieurs niveaux de difficulté qui progressent de manière graduelle pour accompagner le développement des compétences des enfants. Par exemple, les enfants peuvent commencer par des activités simples comme l'identification des formes de base, puis progresser vers des tâches plus complexes telles que la classification des formes selon leurs propriétés géométriques. Les caractéristiques de la tâche sont déduites du contexte spécifique de l'enfant, telles que son âge, son niveau de familiarité avec les concepts géométriques et ses compétences cognitives. L'application vise à créer un environnement d'apprentissage stimulant, engageant et adapté aux besoins individuels des enfants pour favoriser une compréhension approfondie et durable des formes géométriques.

- Les caractéristiques de l'environnement :

Les caractéristiques de l'environnement dans notre simulation d'éducation alternative sont cruciales pour créer un espace propice à l'apprentissage des formes géométriques chez les jeunes enfants. Tout d'abord, l'environnement doit être visuellement attrayant et stimulant, avec des graphismes colorés et des éléments visuels captivants qui attirent l'attention des enfants et favorisent leur engagement. La conception de l'environnement doit également prendre en compte la facilité d'utilisation et l'accessibilité pour les enfants, en utilisant des éléments interactifs intuitifs et des commandes simples adaptées à leurs capacités cognitives.

En outre, l'environnement doit être conçu de manière à offrir une expérience immersive réaliste, avec des sons environnementaux appropriés et des animations fluides qui créent une impression de présence dans un monde virtuel. Cela implique également d'intégrer des éléments éducatifs contextuels, tels que des indications visuelles sur les

formes géométriques présentes dans l'environnement et des interactions guidées qui renforcent l'apprentissage des concepts géométriques.

Les caractéristiques de l'environnement sont essentielles pour créer une simulation d'éducation alternative immersive, engageante et efficace pour l'apprentissage des formes géométriques chez les jeunes enfants.



FIGURE 3.3 – Le monde virtuel.

3.3.4 Enfants

L'enfant occupe une place centrale en tant qu'utilisateur et bénéficiaire des expériences d'apprentissage immersives. L'utilisation de la réalité virtuelle (RV) pour les enfants implique une approche soigneusement adaptée à leur développement cognitif, émotionnel et physique.

- Les niveaux :

Pour les enfants de 3 à 6 ans, les niveaux dans votre projet de réalité virtuelle (RV) pour-

raient être conçus pour introduire progressivement les concepts géométriques de manière ludique et intuitive. Les activités de ces niveaux pourraient inclure des jeux interactifs simples où les enfants manipulent des formes de base comme le cercle, le carré, le triangle et le rectangle pour former des objets familiers. Des puzzles géométriques adaptés à leur âge pourraient également être proposés, mettant en avant des associations visuelles et des interactions intuitives pour stimuler leur compréhension des formes.

Pour les enfants de 7 à 9 ans, les niveaux pourraient être plus complexes et orientés vers des défis qui nécessitent une réflexion plus approfondie et une application pratique des concepts géométriques. Par exemple, des activités de classification des formes selon leurs propriétés, des énigmes géométriques plus élaborées et des jeux interactifs explorant des concepts géométriques avancés pourraient être incluses. Les environnements virtuels pourraient également offrir des scénarios thématiques où les enfants doivent utiliser leurs connaissances géométriques pour résoudre des problèmes ou accomplir des tâches spécifiques, renforçant ainsi leur compréhension et leur engagement.

3.3.5 Interaction monde virtuel-enfant

Le troisième élément de notre architecture système est l'interaction monde virtuel-enfant, l'interaction entre le monde virtuel et l'enfant dans le contexte de la réalité virtuelle (RV) représente un aspect essentiel pour créer une expérience d'apprentissage immersive et efficace. Cette interaction se manifeste à travers plusieurs dimensions. Tout d'abord, elle permet à l'enfant d'explorer et de manipuler des objets virtuels, favorisant ainsi une compréhension concrète des concepts géométriques. Par exemple, l'enfant peut assembler des formes pour créer des figures, résoudre des énigmes basées sur des formes géométriques, ou même interagir avec des éléments géométriques dans un environnement

thématique.

Ensuite, cette interaction facilite également l'engagement actif de l'enfant dans l'apprentissage. Les activités proposées dans le monde virtuel sont conçues pour stimuler la curiosité, encourager l'exploration et susciter l'intérêt de l'enfant pour les formes géométriques. Par exemple, des mécanismes de game tels que des récompenses, des défis progressifs et des feedbacks positifs renforcent la motivation intrinsèque de l'enfant et l'incitent à persévérer dans ses apprentissages.(figure 3.4).



FIGURE 3.4 – Interaction monde virtuel-enfant.

3.3.6 L'apprentissage

Est un processus complexe par lequel les individus acquièrent des connaissances, des compétences, des attitudes et des comportements tout au long de leur vie. Il implique l'assimilation de nouvelles informations, la compréhension de concepts, la pratique d'habiletés, et la modification de ses perceptions et de ses actions en réponse à l'expérience. L'apprentissage peut se produire de différentes manières, que ce soit par l'observation,

l'expérimentation, l'enseignement direct, ou l'interaction avec l'environnement. Il peut être formel, comme dans le cadre scolaire, ou informel, à travers des expériences quotidiennes et des interactions sociales. L'apprentissage est influencé par de nombreux facteurs, tels que la motivation, l'engagement, les styles d'apprentissage individuels, les interactions sociales, et les environnements d'apprentissage. Il est un processus continu et évolutif qui permet aux individus de développer leurs compétences et de s'adapter aux changements dans leur vie personnelle, professionnelle et sociale.

3.3.7 Les formes géométriques

Les formes géométriques sont des figures définies par des propriétés géométriques spécifiques telles que le nombre de côtés, les angles, et les dimensions. Elles sont des entités abstraites étudiées en géométrie, une branche des mathématiques qui se concentre sur les relations spatiales et les propriétés des figures dans l'espace. Les formes géométriques les plus courantes comprennent le cercle, le carré, le rectangle, le triangle, le pentagone, l'hexagone, l'octogone, et le cercle. Chaque forme géométrique est caractérisée par des aspects tels que la longueur des côtés, le nombre de côtés, les angles internes et externes, le rayon pour les cercles, et d'autres propriétés qui les différencient les unes des autres. Les formes géométriques jouent un rôle essentiel dans de nombreux domaines, de l'architecture à l'ingénierie en passant par l'art, et sont utilisées pour décrire, mesurer, et modéliser des objets et des phénomènes dans le monde réel.

3.3.8 Tests

1. Niveau 1 (3 à 6 ans) : Reconnaissance de Formes Basiques :

Cercle, carré, triangle, rectangle, losange. Demander à l'enfant de nommer chaque forme en les sélectionnant dans un environnement virtuel interactif.

Tests d'évaluation :

Description : Les enfants sont immergés dans un environnement virtuel coloré et attrayant avec une table virtuelle devant eux. Sur cette table, plusieurs formes géométriques simples sont disposées de manière aléatoire.

Instructions : Les enfants doivent glisser et déposer chaque forme dans la boîte correspondante. Chaque boîte est étiquetée avec une image de la forme correcte.

Feedback : Les boîtes s'illuminent et jouent un son joyeux lorsque la forme correcte est placée dedans. En cas d'erreur, la forme retourne à sa position initiale avec un son doux, et une brève explication visuelle est fournie pour aider l'enfant à comprendre son erreur.

2. Niveau 2 (7 à 9 ans) :

Reconnaissance de formes avancées :

Trapèze, pentagone, hexagone, octogone, polygones réguliers. Demander à l'enfant d'identifier ces formes en les sélectionnant dans un environnement virtuel interactif.

Tests d'évaluation :

Description : Les enfants se trouvent dans un environnement virtuel plus complexe et interactif. Une grille virtuelle avec des zones étiquetées est placée devant eux. Les zones sont étiquetées par le nombre de côtés : 0 côté (cercle), 3 côtés (triangle), 4 côtés (carré et rectangle), 5 cotés (pentagone), 6 côtés (hexagone).

Instructions : Les enfants doivent glisser et déposer chaque forme géométrique dans

la zone appropriée de la grille.

Feedback : Les zones de la grille changent de couleur et jouent une mélodie douce lorsque les formes sont placées correctement. Si une forme est incorrectement classée, elle retourne à sa position initiale avec un son de retour, accompagné d'une brève explication audio qui rappelle à l'enfant le nombre de côtés de la forme.

3.4 Conclusion

La réalité virtuelle offre un potentiel immense dans l'apprentissage des formes géométriques chez les jeunes enfants. En offrant des environnements immersifs, interactifs et ludiques, la RV stimule l'engagement, la motivation et la compréhension des concepts géométriques de manière significative. Grâce à des interactions concrètes avec des formes virtuelles, les enfants peuvent explorer activement les propriétés des formes, développer leur pensée spatiale et renforcer leurs compétences en résolution de problèmes géométriques. De plus, la personnalisation des activités en fonction des besoins individuels des enfants et l'ajustement du niveau de difficulté contribuent à un apprentissage plus efficace et gratifiant. Malgré les défis technologiques et logistiques associés à la mise en œuvre de la RV dans l'éducation, les avantages qu'elle offre en termes d'expérience d'apprentissage immersive et interactive sont indéniables. Ainsi, la réalité virtuelle représente un outil prometteur pour transformer l'apprentissage des formes géométriques et ouvrir de nouvelles perspectives dans l'éducation des jeunes enfants.

Expérimentation et résultats

4.1 Introduction

La création d'applications en réalité virtuelle (RV) diffère considérablement de la création d'applications de bureau ou de pages Web. La RV, notamment dans le contexte de l'éducation, requiert une approche unique et des compétences diverses pour développer des expériences immersives et interactives de haute qualité. Ce chapitre explore les méthodes expérimentales utilisées et les résultats obtenus lors de l'évaluation de l'apprentissage des formes géométriques chez les jeunes enfants à l'aide de la RV.

Notre expérimentation s'appuie sur une architecture logicielle et matérielle optimisée, intégrant des outils de prototypage, des environnements de développement, et des bibliothèques spécialisées en RV. L'objectif est de créer des environnements RV réalistes qui permettent une interaction naturelle et efficace entre les enfants et les contenus éducatifs.

Nous avons mené plusieurs expériences pour déterminer comment la RV peut améliorer l'apprentissage des formes géométriques. Ces expériences incluent des scénarios interactifs où les enfants peuvent manipuler et explorer des formes géométriques dans un espace virtuel. Les performances des enfants ont été évaluées, et les données collectées ont été

analysées pour identifier les impacts de l'utilisation de la RV sur leur apprentissage.

Les résultats de ces expériences fournissent des insights précieux sur les avantages et les limitations de la RV en éducation. Ils permettent également de formuler des recommandations pour l'amélioration des futures applications éducatives en RV, et pour guider les recherches dans ce domaine en pleine expansion.

4.2 Description technique

La mise en œuvre technique de l'apprentissage des formes géométriques par la réalité virtuelle repose sur un ensemble de composants et de fonctionnalités spécifiques. Tout d'abord, le système nécessite un casque de réalité virtuelle compatible, tel que le Meta Quest 2, pour immerger les enfants dans des environnements virtuels interactifs. Les contrôleurs de mouvement sont également essentiels pour permettre aux enfants d'interagir naturellement avec les formes géométriques virtuelles. Du côté logiciel, l'utilisation d'un moteur de jeu Unity3D est courante pour créer les environnements virtuels et développer des activités pédagogiques engageantes. Des fonctionnalités telles que le rendu 3D stéréoscopique, le feedback immédiat visuel et sonore, ainsi que la personnalisation des niveaux de difficulté contribuent à une expérience d'apprentissage immersive et adaptative. Le déploiement du système implique la configuration du matériel, la formation des éducateurs et la maintenance régulière pour assurer un fonctionnement optimal.

4.3 Configuration Matériel

4.3.1 Meta Quest 2

Le système Meta Quest 2 se compose d'un ensemble intégré de composants qui offrent une expérience de réalité virtuelle immersive et autonome. Au cœur de ce système se trouve le casque Meta Quest 2 lui-même, doté d'un écran haute résolution, de haut-parleurs intégrés et de capteurs de suivi des mouvements. Les contrôleurs Oculus Touch accompagnent le casque, permettant une interaction naturelle et précise dans les environnements virtuels. Le câble de chargement et l'adaptateur secteur assurent une recharge efficace de la batterie pour une utilisation prolongée. L'application Oculus facilite la configuration initiale, la gestion des paramètres et le téléchargement de contenu RV depuis la plateforme Meta Quest Store, qui propose une vaste sélection de jeux, d'applications et d'expériences RV spécialement conçus pour le casque Meta Quest 2. Avec des fonctionnalités intégrées telles que des microphones, des haut-parleurs et des capteurs de suivi, le système Meta Quest 2 offre une expérience immersive. Le langage C++ est un langage de programmation polyvalent et puissant largement utilisé dans le développement de logiciels, de systèmes embarqués, de jeux, d'applications système et d'outils de développement. Il offre un équilibre entre la programmation orientée objet et la programmation procédurale, ce qui le rend adapté à une grande variété de tâches et de domaines. et conviviale pour les utilisateurs de réalité virtuelle (figure 4.1).

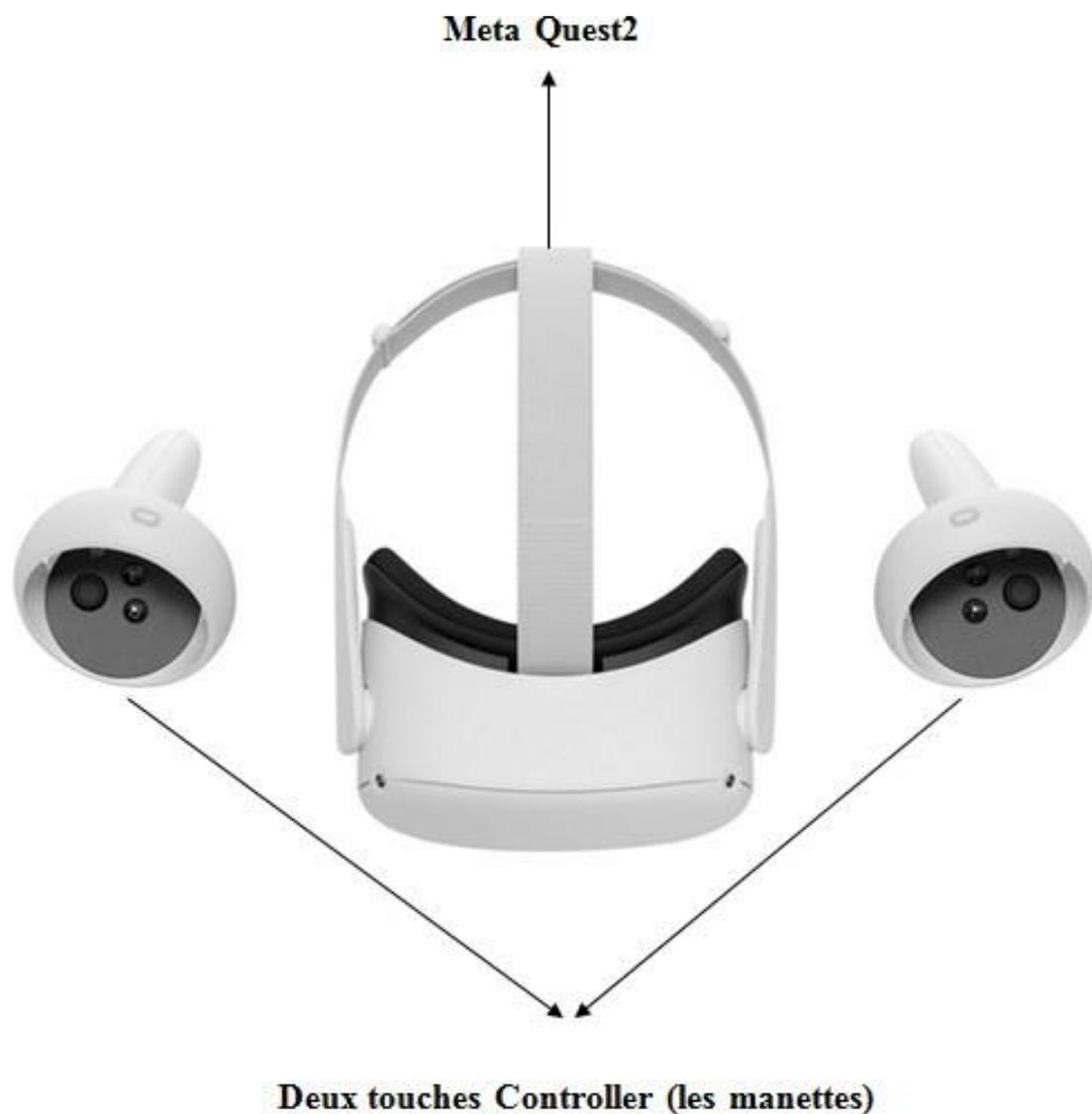


FIGURE 4.1 – Meta Quest 2.

4.3.2 Ordinateur de développement

L'ordinateur que nous avons utilisé pour développer la réalité virtuelle (RV) est un appareil hautes performances conçu pour créer, tester et exécuter des applications RV. Il est équipé de composants puissants tels que des processeurs (CPU) : Intel Core i9-10900F , une carte graphique dédiée hautes performances NVIDIA GeoForce RTX3080, une grande quantité de RAM 32 Go. et stockage SSD 512 Go pour réduire les temps de chargement.

Ces PC sont généralement compatibles avec les derniers casques RV, comme le Meta Quest 2 . Ils disposent également des ports nécessaires pour connecter ces appareils. En plus du matériel, un ordinateur de développement RV est équipé de logiciels spécialisés Unity3D , qui permettent de créer des environnements immersifs et interactifs. nous avons utilisé ces appareils pour concevoir et optimiser les expériences RV, garantissant ainsi des performances et des graphismes de qualité pour offrir une immersion complète et transparente aux utilisateurs finaux.

4.4 Environnements et outils

4.4.1 L'environnement de développement

1. Unity3D :

Pour satisfaire aux exigences de l'apprentissage RV et aux critères ci-dessus, nous avons choisi le jeu Unity3D moteur pour développer notre application. Unity3D est un puissant moteur 3D multiplateforme qui donne... les utilisateurs ont la possibilité de créer des jeux et des applications 2D et 3D pour les appareils mobiles, les ordinateurs de bureau, le Web, et consoles. Il s'agit de la plus grande et première plateforme de développement de jeux au monde. Prend en charge tous les principaux appareils RV et formats de fichiers utilisés par différentes applications de construction 3D Y compris Cinema4D, 3D Max, Maya et bien plus encore avec tous les riggings, matériaux et textures intact. Unity prend également en charge tous les formats de fichiers image courants, notamment PNG, JPEG, TIFF et M ê me des fichiers PSD en couches directement à partir de Photoshop. En matière d'audio, Unity prend

en charge WAV et AIF, idéaux pour les effets sonores, et MP3 et OGG pour la musique. Le langage de programmation utilisé pour écrire des commandes pour les objets du jeu, les animations et la logique globale du monde virtuel est le langage de script orienté objet C#. L'outil était adapté à la réalisation d'environnements créatifs et réalistes liés à la hauteur, en aménageant les niveaux d'application, la création d'interfaces utilisateur graphiques, le contrôle de l'animation, l'écriture des scripts et l'organisation du projet (figure 4.2).



FIGURE 4.2 – Logo unity3D.

2. Le Meta Quest Link :

Le Meta Quest Link est une fonctionnalité qui permet de connecter le casque de réalité virtuelle Meta Quest 2 à un ordinateur compatible pour accéder à des expériences RV plus puissantes et graphiquement avancées.

3. L'intégration de l'Oculus SDK :

L'intégration de l'Oculus SDK dans Unity3D est une étape cruciale pour développer des applications RV immersives et interactives. Étant donné que l'un des plus grands avantages d'Unity est l'immense magasin d'actifs communautaire, offrant des res-

sources gratuites et payantes telles que des objets 3D, des matériaux, des textures et des fichiers audio, nous avons utilisé cette plateforme pour accéder à davantage de fonctionnalités d'Unity3D. Cela nous a permis d'enrichir nos projets RV avec des éléments de haute qualité, tout en optimisant l'efficacité du développement.

L'Oculus SDK fournit également une gamme d'outils et de scripts spécifiques pour exploiter pleinement les capacités des casques Oculus. Il offre des fonctionnalités avancées comme le suivi de la position, les contrôleurs de mouvement, et les interactions immersives. En combinant les actifs disponibles sur l'Asset Store avec les outils fournis par l'Oculus SDK, nous avons pu créer des expériences utilisateur engageantes et réalistes.

4.4.2 Langage de développement

Le langage C++ est un langage de programmation informatique utilisé pour créer des logiciels et des applications. Il offre aux programmeurs une série d'outils et de règles pour écrire des instructions que les ordinateurs peuvent comprendre et exécuter. C++ permet de créer des programmes pour divers domaines comme les jeux vidéo, les applications de bureau, les systèmes embarqués, et bien plus encore. le langage C++ est très sollicité par une large communauté de développeurs et de programmeurs dans le domaine de l'informatique.

4.5 Implémentation

4.5.1 L'interface utilisateur graphique

L'interface utilisateur graphique (GUI) est un élément essentiel de toute application, y compris celles conçues pour la réalité virtuelle (RV). La conception d'une GUI en RV requiert une approche spécifique pour offrir une expérience immersive et intuitive aux utilisateurs.

Le menu principal de notre application de réalité virtuelle pour l'apprentissage des formes géométriques comprend deux boutons principaux : "Entrer" et "quitter". Le bouton "Entrer", conçu avec des couleurs vives et une icône engageante, permet aux jeunes utilisateurs de commencer facilement leur session d'apprentissage. Une fois cliqué, il les guide directement dans l'environnement immersif où ils peuvent interagir avec des formes géométriques de manière intuitive. Le bouton "quitter", tout aussi accessible et visuellement distinct, permet aux enfants de quitter l'application en douceur. Son positionnement et son design assurent une sortie sans confusion, garantissant que l'expérience reste positive et contrôlée du début à la fin. Ces deux boutons, par leur simplicité et leur clarté, facilitent la navigation des jeunes enfants et assurent une interaction fluide avec l'application (figure 4.10).



FIGURE 4.3 – Menu Principal .

Pour configurer la scène du menu principal dans Unity, commencez par ouvrir Unity et créer une nouvelle scène dédiée à ce menu.

Ensuite, nous avons ajouté Canvas qui servira de conteneur pour tous les éléments de l'interface utilisateur (UI) tels que les boutons et le texte.

Pour ajouter des éléments d'interface utilisateur dans Unity, nous avons commencé par créer des boutons « Entrée » et « Sortie » en allant dans GameObject UI. Nous avons correctement défini sa position et sa taille dans la scène et modifié le texte du bouton.

Ensuite, pour gérer les interactions avec ces boutons, nous avons créé un script C# pour programmer les fonctions nécessaires pour cliquer sur les boutons.

4.5.2 Environnement 3D

Puisque l'objectif principal du jeu est apprentissage des formes géométriques chez les petits enfants la partie la plus importante du projet était principalement axée. Notre conception comprend des environnements 3D authentiques et immersifs où les enfants peuvent interagir de manière naturelle avec des objets et des scénarios qui représentent des situations réelles. L'accent est mis sur l'immersion dans une salle de classe où les enfants peuvent interagir avec des éléments familiers comme des tableaux, des livres, des pupitres, et des objets du quotidien présentant différentes formes géométriques. Ces situations réalistes permettent aux enfants de s'engager activement dans l'apprentissage en reconnaissant et en manipulant les formes de manière concrète, favorisant ainsi une compréhension profonde et pratique des concepts géométriques.

4.5.3 Sélection du Niveau :

Chaque niveau est représenté par un bouton distinct.

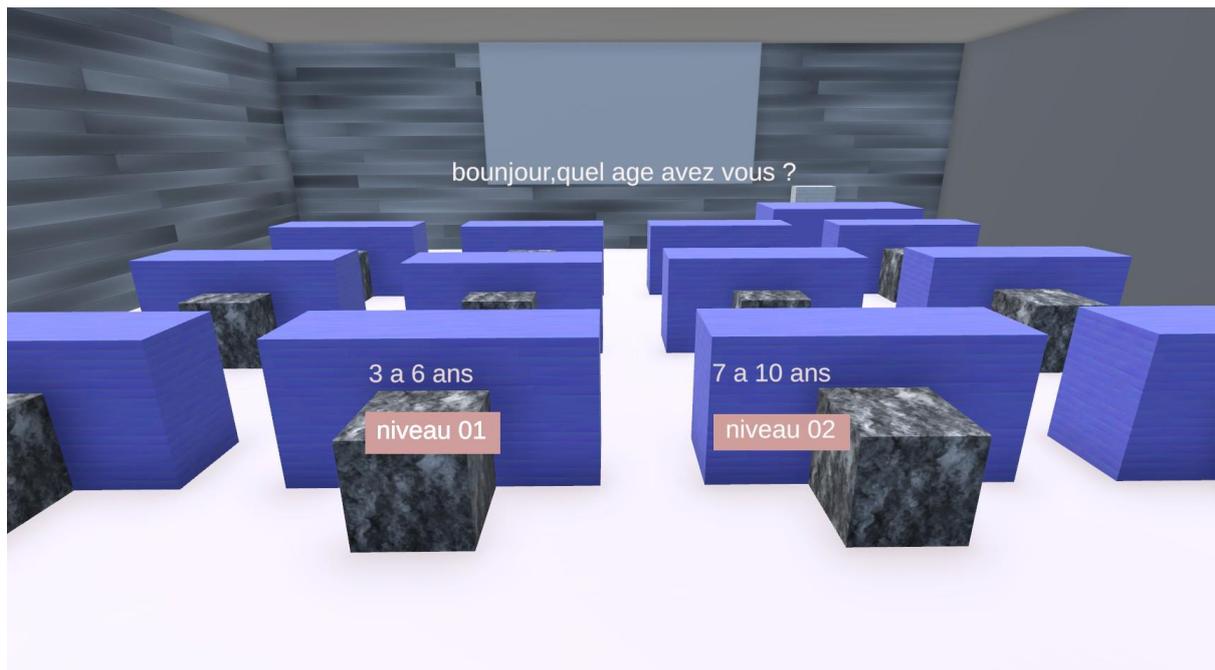


FIGURE 4.4 – Sélection du Niveau.

Description :

Texte : "Niveau 01 : Découverte des formes" Guide Vocal : Lorsqu'on survole le bouton, une voix douce dit : "Niveau 01". Description :

Texte : "Niveau 02 : Identification et Association" Guide Vocal : Lorsqu'on survole le bouton, une voix douce dit : "Niveau 02"

4.5.4 Niveaux d'application

Pour développer des niveaux dans une application de réalité virtuelle destinée à l'apprentissage des formes géométriques pour les jeunes enfants, vous pouvez suivre une structure progressive qui s'adapte aux compétences des enfants et les aide à améliorer leur compréhension et leur reconnaissance des formes géométriques. Voici une proposition pour les niveaux 01 et 02 :

1. Niveaux 01 Pour les enfants de 3 à 6 ans :

Découverte des formes géométriques de base :

la scène 01 de notre application de réalité virtuelle se concentre sur la découverte des formes géométriques de base, telles que le cercle, le carré, le triangle et le rectangle. Les enfants sont placés dans une salle virtuelle immersive. Dans cette salle, les formes géométriques sont projetées sur un tableau. Pour les enfants de 3 à 6 ans, l'application commence par la découverte des formes géométriques de base à travers une exploration visuelle interactive où les enfants touchent des formes pour entendre leurs noms.



FIGURE 4.5 – Une salle virtuelle.

En touchant les formes et en entendant leurs noms, les enfants peuvent associer visuellement et auditivement chaque forme à son nom, ce qui facilite la mémorisation et la compréhension.

— Le Cercle :

Lorsque les enfants touchent le ballon, ils peuvent entendre le mot "cercle"

pour associer le ballon à la forme géométrique du cercle.

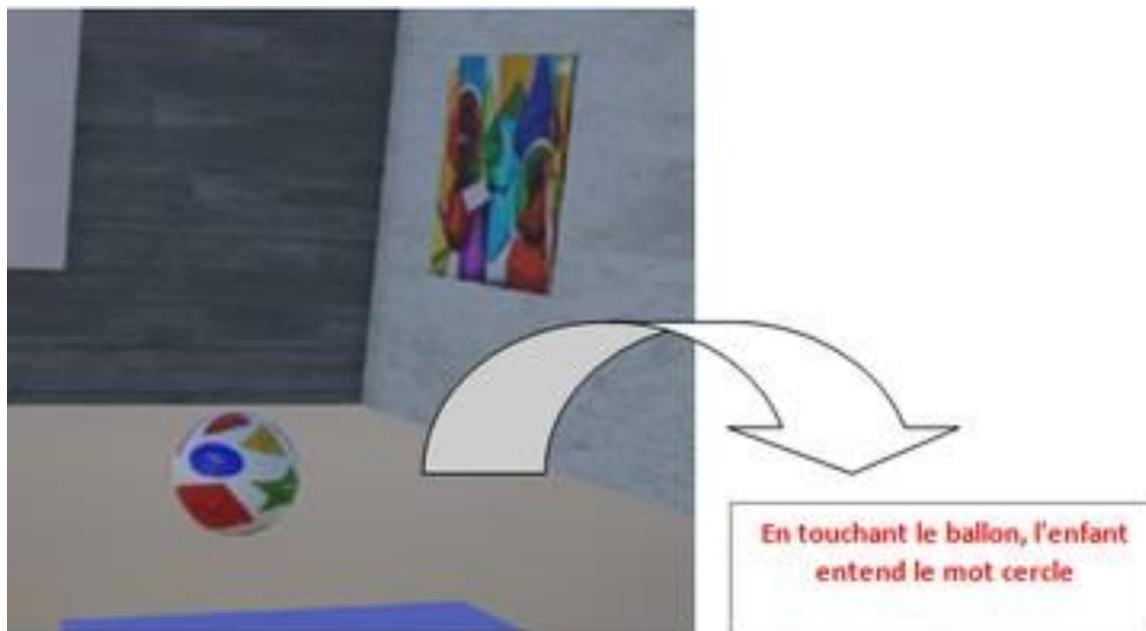


FIGURE 4.6 – Niveau 01.

— Le Carré :

Lorsque les enfants touchent le cadre, ils peuvent entendre le mot "carre" pour associer le cadre à la forme géométrique du carre.

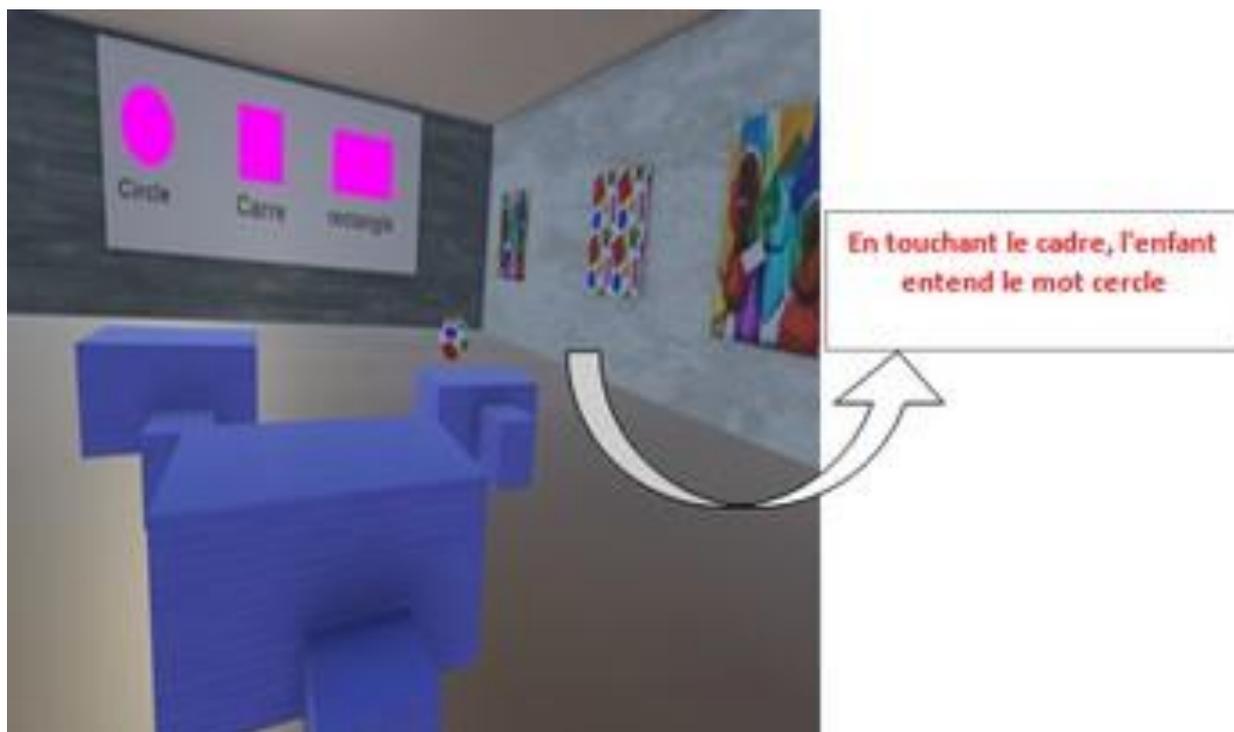


FIGURE 4.7 – Niveau 02.

— Le Triangle :

Exemple : Une tranche de pizza. Interaction : Lorsque les enfants touchent la forme du triangle projetée sur le tableau, ils entendent le mot "triangle".

— Le Rectangle :

Exemple : Une fenêtre. Interaction : Lorsque les enfants touchent la forme du rectangle projetée sur le tableau, ils entendent le mot "rectangle".

Evaluation de l'apprentissage :

Pour évaluer l'apprentissage des formes géométriques, enfant elle va dpélacer vers un autre scène est nous avons utilisé un jeu test sous la forme de Quiz : Les enfants passent un test d'identification où ils choisissent la forme correcte des noms donnés et reçoivent un retour immédiat pour renforcer leur apprentissage.



FIGURE 4.8 – Evaluation.

— Déroulement du Quiz

Présentation des Noms : Chaque question présente le nom d'une forme géométrique (par exemple, "cercle", "carré", "triangle", ou "rectangle").

Choix de la Forme : Les enfants voient plusieurs formes géométriques projetées à l'écran. Ils doivent sélectionner la forme correcte correspondant au nom présenté.

Retour Immédiat :

Lorsque l'enfant sélectionne une forme, il reçoit un retour immédiat. Si la réponse est correcte, un message de félicitations apparaît ("Correct !"). Si la réponse est incorrecte, un message d'encouragement et la bonne réponse sont affichés ("Wrong !").

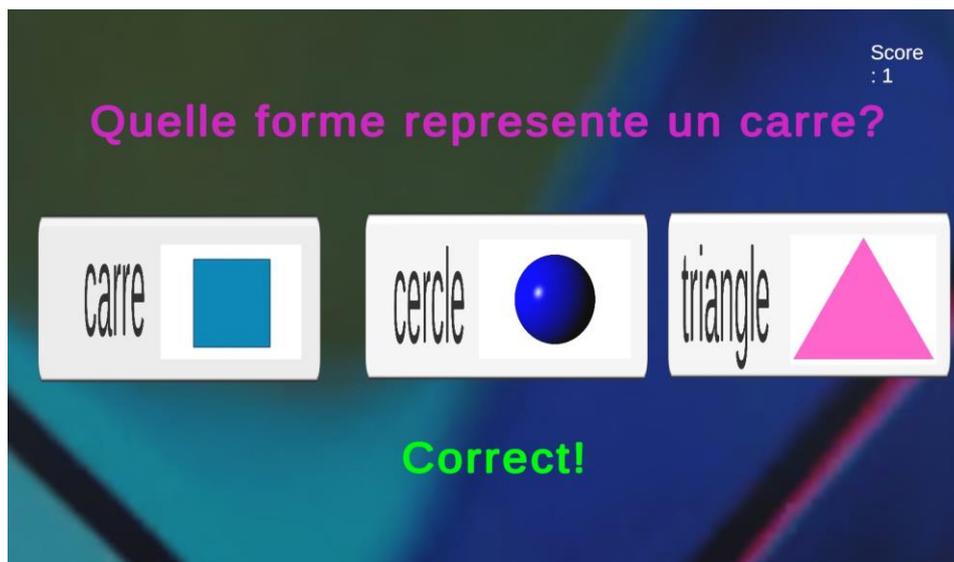


FIGURE 4.9 – la réponse est correcte.



FIGURE 4.10 – la réponse est incorrecte.

— Niveaux 02 Pour les enfants de 7 à 9 ans :

Découverte des Formes Géométriques de Base :

Pour les enfants de 7 à 9 ans, l'application approfondit la compréhension des formes géométriques en introduisant des concepts plus complexes tels que les angles et les côtés à travers une exploration interactive et la manipulation de formes en 3D.

Evaluation de l'apprentissage :

les enfants de 7 à 9 ans répondent à des questions sur les caractéristiques des formes, telles que le nombre de côtés et d'angles, avec des animations explicatives pour approfondir leur compréhension. Ce format ludique et interactif rend l'apprentissage des formes géométriques amusant et engageant, tout en évaluant efficacement les progrès des enfants.

4.6 Conclusion

En conclusion, les résultats de notre expérimentation indiquent que l'utilisation de la réalité virtuelle pour l'apprentissage des formes géométriques chez les jeunes enfants est non seulement efficace mais aussi enrichissante. Les enfants ont montré une progression notable dans leur compréhension et leur capacité à manipuler des concepts géométriques, grâce à l'interactivité et à l'immersion offertes par la réalité virtuelle. Ces résultats encouragent la poursuite de recherches et de développements dans ce domaine, afin de maximiser les bénéfices éducatifs de la technologie VR pour l'apprentissage des mathématiques et d'autres disciplines.

Conclusion générale et perspectives

5.1 Conclusion

Au cours de la dernière décennie, la technologie de la réalité virtuelle a émergé comme une force transformative dans le secteur de l'apprentissage, offrant des opportunités sans précédent pour enrichir l'expérience éducative. Cette étude sur l'apprentissage des formes géométriques chez les jeunes enfants démontre que la réalité virtuelle peut rendre l'éducation plus interactive, immersive et engageante. En permettant aux enfants de manipuler des formes géométriques dans un environnement tridimensionnel, la réalité virtuelle favorise une compréhension plus profonde et une mémorisation durable des concepts enseignés. Les résultats indiquent que cette technologie améliore non seulement les résultats éducatifs, mais aussi stimule l'intérêt et la motivation des enfants, rendant l'apprentissage à la fois efficace et agréable. La capacité de la Rv à intégrer des éléments visuels, auditifs et kinesthésiques répond aux différents styles d'apprentissage des enfants, rendant l'enseignement plus inclusif et adapté à leurs besoins individuels. Par conséquent, l'intégration de la réalité virtuelle dans les méthodes pédagogiques traditionnelles ouvre de nouvelles pers-

pectives pour une éducation plus personnalisée et efficace, marquant une avancée significative dans le domaine de l'enseignement et de l'apprentissage.

Le prototype qui prend en charge le casque Meta Quest 2 a été développé pour explorer et démontrer le potentiel de la réalité virtuelle dans l'apprentissage des formes géométriques chez les jeunes enfants. En utilisant le casque Meta Quest 2, le prototype offre une expérience immersive qui permet aux enfants d'interagir directement avec des formes géométriques en trois dimensions. Cette interaction est facilitée par les contrôleurs du Vive, qui permettent aux utilisateurs de manipuler les formes, de les faire tourner, de les agrandir et de les explorer sous différents angles. Le développement du prototype a impliqué l'utilisation du moteur de jeu Unity3D, qui a permis de créer un environnement virtuel riche et interactif. Les résultats préliminaires indiquent que cette approche rend l'apprentissage plus engageant et efficace, en offrant aux enfants une manière ludique et intuitive de comprendre les concepts géométriques.

5.2 Perspectives

Lors de la rédaction de ce mémoire, nous avons pu constater qu'avec la croissance des technologies de réalité virtuelle (RV) et des simulations 3D immersives, celles-ci sont désormais prêtes à passer du statut de spécialiste dans l'apprentissage à une adoption plus généralisée. Les progrès réalisés dans le domaine de la RV, notamment en termes de qualité graphique, d'interactivité et de confort d'utilisation, ouvrent de nouvelles perspectives pour leur intégration dans des contextes éducatifs plus larges. Ces technologies ne sont plus réservées à un public restreint de spécialistes, mais

deviennent accessibles à un plus large éventail d'éducateurs et de professionnels de l'apprentissage. En exploitant pleinement le potentiel de la réalité virtuelle et des simulations 3D immersives, il est possible de créer des environnements d'apprentissage stimulants, interactifs et personnalisés, offrant ainsi une expérience éducative plus enrichissante et efficace pour les apprenants de tous âges.

Bibliographie

- [1] Morton L. Heilig. Stereoscopic-television apparatus for individual use. 1960.
- [2] Source : <http://www.telepresence.com>.date de consultation 05.06.2024
- [3] Ivan E. Sutherland. The ultimate display. In Proceedings of the IFIP Congress, pages 506–508, 1965.
- [4] Tomasz Mazuryk and Michael Gervautz. Virtual reality - history, applications, technology and future. 12 1999.
- [5] Asmaa Alraizzah, Foaud Lamya, and Lamia Fattouh. Environments and system types of virtual reality technology in stem : A survey. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 8, 06 2017.
- [6] Ivan E. Sutherland. A head-mounted three dimensional display. AFIPS '68 (Fall,part I), page 757–764, New York, NY, USA, 1968. Association for Computing Machinery.
- [7] S. S. Fisher, M. McGreevy, J. Humphries, and W. Robinett. Virtual envi-

- ronment display system. I3D '86, page 77–87, New York, NY, USA, 1987.
Association for Computing Machinery.
- [8] (source : Wikipédia) date de consultation 05.06.2024.
- [9] Philippe Fuchs. *Théorie de la réalité virtuelle : les véritables usages*. Collection Mathématiques et informatique. Mines Paristech PSL, Paris, 2018.
- [10] S.R. Ellis. Nature and origins of virtual environments : a bibliographical essay. *Computing Systems in Engineering*, 2(4) :321 – 347, 1991.
- [11] Amine Chellali. A study on human-human interactions for common frame of reference development within collaborative virtual environments. 12 2009.
- [12] Nassima Ouramdane, Samir Otmane, and Malik Mallem. Interaction 3d en réalité virtuelle - etat de l'art. *Revue des Sciences et Technologies de l'Information - Série TSI : Technique et Science Informatiques*, 28(8) :1017–1049, 2009.
- [13] Martin Hachet. Interaction avec des environnements virtuels affichés au moyen d'interfaces de visualisation collective. PhD thesis, Bordeaux 1, 2003.
- [14]] Jean-Marie Burkhardt. Immersion, réalisme et présence dans la conception et évaluation des environnements virtuels. 2003.
- [15] Roy Kalawsky. *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*. Addison- Wesley Longman Publishing Co., Inc., USA, 1st edition, 1993.
- [16] Kerstin Boschian, Anette Larsson, Roy Davies, Ulf Minör, and Gerd Johansson. How can people with disabilities navigate in virtual reality with an input device they can use ? pages 1111–1115, 01 1999.

- [17] Geoffrey Gorisse, Olivier Christmann, Etienne Armand Amato, and Simon Richir. First- and third-person perspectives in immersive virtual environments : Presence and performance analysis of embodied users. *Frontiers in Robotics and AI*, 4 :33, 2017.
- [18] Thomas Caudell and David Mizell. Augmented reality : An application of heads- up display technology to manual manufacturing processes. volume 2, pages 659– 669 vol.2, 02 1992.
- [19]] Margarita Anastassova, Jean-Marie Burkhardt, Christine Mégard, and P Ehanno. L’ergonomie de la réalité augmentée pour l’apprentissage : une revue. *Le Travail Humain*, 70 :97–126, 01 2007.
- [20] Domitile Lourdeaux. Réalité virtuelle et formation : conception d’environnements virtuels pédagogiques. Theses, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, October 2001.
- [21] Ulrich Neumann, Suya You, Youngkwan Cho, Jongweon Lee, and Jun Park. Augmented reality tracking in natural environments. 01 2002.
- [22] Xiaowei Zhong, Peiran Liu, Nicolas Georganas, and Pierre Boulanger. Designing a vision-based collaborative augmented reality application for industrial training. *it - Information Technology*, 45 :7–19, 01 2003.
- [23]] Paul Milgram and Fumio Kishino. A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Trans. Information Systems*, vol. E77-D, no. 12 :1321–1329, 12

- 1994.
- [24] Maximilian Speicher, Brian Hall, and Michael Nebeling. What is mixed reality? 05 2019.
- [25] Jessy Barre, Azzeddine Benabbou, Valentin Corneloup, Yannick Bourrier, and Anais Job. Simulation et Réalité Virtuelle pour l'apprentissage des Compétences Non-Techniques en conduite et en médecine des situations d'urgence. In Journées J-RV (journées de l'AFRV), Rennes, France, October 2017.
- [26] Mehryar Nooriafshar, Ron Williams, and Tek Maraseni. The use of virtual reality in education. pages 6–8, 09 2004.
- [27] Panteleimon Pantelidis, Angeliki Chorti, Ioanna Papagiouvanni, Georgios Paparoidamis, Christos Drosos, Thrasyvoulos Panagiotakopoulos, Georgios Lales, and Michail Sideris. Virtual and Augmented Reality in Medical Education. 03 2018.
- [28] Jack Pottle. Virtual reality and the transformation of medical education. *Future Healthcare Journal*, 6 :181–185, 10 2019.
- [29] M Alcañiz, Concepción Perpiñá, R Baños, José Antonio Lozano, Javier Montes, Cristina Botella, A Garcia Palacios, H Villa, and J Alozano. A new realistic 3d body representation in virtual environments for the treatment of disturbed body image in eating disorders. *CyberPsychology Behavior*, 3(3) :433–439, 2000.
- [30] Hsiu-Mei Huang, Ulrich Rauch, and Shu-Sheng Liaw. Investigating learners' attitudes toward virtual reality learning environments :Based on a constructivist approach. *Computers Education*, 55(3) :1171–1182, 2010.
- [31] Laurence Schmoll, Manuel Veit, Mickaël Roy, and Antonio Capobianco. Serious

- game et apprentissage en réalité virtuelle : résultats d'une étude préliminaire sur la mémorisation en langue étrangère. *Synergie Pays germanophones*, 7, 2013.
- [32] Rabia M Yilmaz, F Burcu Topu, Yuksel Goktas, and Murat Coban. Social presence and motivation in a three-dimensional virtual world : An explanatory study. *Australasian Journal of Educational Technology*, 29(6), 2013.
- [33] Ozlem Baydas, Turkan Karakus, F Burcu Topu, Rabia Yilmaz, Mehmet Ertuğrul Ozturk, and Yuksel Goktas. Retention and flow under guided and unguided learning experience in 3d virtual worlds. *Computers in Human Behavior*, 44 :96–102, 2015.
- [34] Kapil Chalil Madathil, Kristin Frady, Rebecca Hartley, Jeffrey Bertrand, Myrte Alfred, and Anand Gramopadhye. An empirical study investigating the effectiveness of integrating virtual reality-based case studies into an online asynchronous learning environment. 2017.
- [35] Eric Krokos, Catherine Plaisant, and Amitabh Varshney. Virtual memory palaces : immersion aids recall. *Virtual Reality*, 23(1) :1–15, 2019.
- [36] Domitile Lourdeaux. *Réalité virtuelle et formation : conception d'environnements virtuels pédagogiques*. Theses, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, October 2001.
- [37] Philippe Fuchs. *Théorie de la réalité virtuelle : les véritables usages*. Collection Mathématiques et informatique. Mines Paristech PSL, Paris, 2018.
- [38] Dorota Kaminska, Tomasz Sapinski, Slawomir Wiak, Toomas Tikk, Rain Haamer, Egils Avots, Ahmed Helmi, Cagri Ozcinar, and Gholamreza Anbarjafari. Virtual reality and its applications in education : Survey. *Information (Swit-*

zerland), 10 :318, 10 2019

- [39] Saloni Minocha. The state of virtual reality in education –shape of things to come. *International Journal of Engineering Research*, 4 :596–598, 11 2015.
- [40] Elin Abdul Rahim, Andreas Duenser, Mark Billingham, Alfred Herritsch, Keith Unsworth, Alan Mckinnon, Peter Alan Gostomski, 7 enseignants et chercheurs dans les domaines des sciences informatiques, de l'ingénierie, des sciences des mathématiques, de l'interaction Homme-machine, et du design (graphique et industriel).
- [41] Abdul Rahim E., Duenser A., Billingham M., Herritsch A., Unsworth K., Mckinnon A. et Gostomski P. (2012), "A desktop virtual reality application for chemical and process engineering education", *Proceedings of the 24th Australian Computer-Human Interaction Conference*, p. 1-8.