

THESIS / THÈSE

MASTER EN SCIENCES INFORMATIQUES

La réalité augmentée pour la médiation scientifique

QUENON, Thomas

Award date:
2020

Awarding institution:
Universite de Namur

[Link to publication](#)

General rights

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

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

Take down policy

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



UNIVERSITÉ DE NAMUR
FACULTÉ D'INFORMATIQUE

RUE GRANDGAGNAGE, 21
B-5000 NAMUR(BELGIUM)

La réalité augmentée pour la médiation scientifique

Thomas Quenon

Promoteur :
Bruno DUMAS

ANNÉE ACADÉMIQUE 2019–2020

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU
GRADE DE MASTER EN SCIENCES INFORMATIQUES

Remerciements

Je tiens à remercier l'ensemble des personnes qui ont participé à la réalisation de ce mémoire.

Premièrement, je remercie le professeur Bruno Dumas, promoteur du mémoire, pour son expertise et l'aide qu'il a pu m'apporter. Ses nombreux conseils m'ont guidé afin de mener à bien la recherche documentaire, la rédaction du mémoire et le développement des prototypes de réalité augmentée.

Je remercie le Confluent des Savoirs qui m'a apporté son expertise pour déterminer le contenu du prototype destiné à l'exposition « Objectif : étoiles ». En particulier, je remercie Céline Gillis pour l'aide apportée afin de vulgariser et de simplifier les connaissances techniques qui sont décrites.

Je remercie Julie Dessart, ma compagne, pour son soutien et ses encouragements durant l'ensemble de mon parcours scolaire. Son esprit critique m'a régulièrement aidé à trouver des solutions et de nouvelles pistes d'amélioration pour avancer dans mes projets. Les nombreuses discussions que nous avons eu sur le sujet du mémoire m'ont aidé à renforcer mon analyse critique et m'ont apporté des idées permettant d'améliorer le contenu du mémoire et des prototypes.

Je remercie mes parents pour leurs soutien et encouragements. Leur relecture du mémoire m'a permis d'améliorer la fluidité du texte et de perfectionner l'orthographe.

Je remercie l'ensemble du personnel de la faculté d'informatique de l'Université de Namur qui m'a transmis, durant tout mon parcours scolaire, les connaissances et les compétences nécessaires à mener à bien un projet de cette ampleur.

Enfin, je remercie les étudiants qui m'ont accompagné tout au long de mon parcours scolaire et qui m'ont aidé à progresser dans cette formation par leurs connaissances, leurs avis ou leurs suggestions.

Je présente à toutes ces personnes mon respect et ma gratitude.

Résumé

Ce mémoire présente un état de l'art sur l'utilisation de la réalité augmentée pour la médiation scientifique.

Il décrit les difficultés rencontrées par quatre formes de médiation scientifique que sont l'éducation, les musées, les sites historiques et les expositions. Le parcours de la littérature explique les avantages que possède la réalité augmentée pour répondre à ces problématiques. Elle illustre comment la réalité augmentée peut être exploitée dans le cadre de la médiation scientifique à l'aide d'une série d'applications développées dans différentes études.

Le mémoire explore ensuite l'utilisation de la réalité augmentée de manière pratique en proposant un prototype développé à l'aide de Unity3D et de Vuforia. Ce prototype a pour but de répondre aux attentes du Confluent des Savoirs qui est un service de l'Université de Namur organisant des expositions dans le but de présenter les recherches scientifiques du monde académique au grand public. Il souhaite améliorer l'attractivité de ses expositions et envisage d'intégrer la réalité augmentée dans ses activités.

Mots-clés : Réalité augmentée ; AR ; médiation scientifique ; éducation ; héritage culturel ; Confluent des Savoirs ; Unity3D ; Vuforia

Table des matières

1	Introduction	6
1.1	Définition de l'objet du mémoire	6
1.2	Mise en contexte de la problématique étudiée	6
1.3	Méthodologie	7
2	Etat de l'art	8
2.1	La réalité augmentée	8
2.1.1	Définition	8
2.1.2	Historique	9
2.1.3	Principes de fonctionnement	12
2.1.4	Développement d'un système de réalité augmentée	14
2.1.5	Les formes de réalité augmentée	16
2.2	Application de la réalité augmentée pour la médiation scientifique	22
2.2.1	Education	23
2.2.2	Musées	34
2.2.3	Sites historiques	40
2.2.4	Expositions	44
2.3	Analyse critique	45
3	Prototype	55
3.1	Objectifs	55
3.2	Choix des outils	55
3.3	Développement du prototype	57
3.3.1	Choix des marqueurs	57
3.3.2	Fonctionnalités développées	59
3.3.3	Prototype à destination du Confluent des Savoirs	63
3.4	Analyse critique	67
4	Conclusion et perspectives	70
	Références	73
	Glossaire	78
	Annexes	80
	Annexe 1 – Techniques d'évaluation des applications de réalité augmentée	80
	Annexe 2 – Manuel de développement du premier prototype de réalité augmentée	81

Table des figures

1	Continuum entre Réalité et Virtualité selon Milgram [39]	8
2	Représentation du Sensorama de Morton Heilig [35]	9
3	Le premier casque de réalité augmentée nommé " <i>Sword of Damocles</i> " [60]	10
4	Gartner's Hype Cycle 2018 [51]	11
5	Gartner's Hype Cycle 2019 [51]	12
6	Interaction entre les modules d'une application de réalité augmentée [49]	13
7	Techniques et positions des supports de la réalité augmentée [60]	17
8	Casque avec afficheur rétinien [7]	18
9	Casque avec afficheur optique [7]	19
10	Casque avec afficheur miniature [7]	20
11	Head-mounted projectors (HMPD) [7]	21
12	Matériel nécessaire aux techniques de projection : (1) cible, (2) système de pointage, (3) appareil de suivi, (4) projecteur et (5) caméra [44] . .	22
13	Classification de l'héritage culturel selon l'UNESCO [31]	23
14	Illustration des trois animations éducatives proposées par Diaz et al. (2015) [15]	29
15	Illustration d'exercices de l'application <i>DiedricAR</i> [14]	30
16	Illustration d'un modèle 3D de l'application <i>DiedricAR</i> [14]	31
17	Illustration du <i>Laboratory Work</i> proposant une interface attractive basée sur le jeu vidéo [49]	32
18	Illustration d'une réaction chimique avec l'application <i>Element 4D</i> [49]	33
19	Illustration de l'interaction avec un artefact culturel scanné [12]	36
20	Illustration de <i>Revealing flashlight</i> qui augmente les gravures d'un artefact culturel via projection [44]	38
21	Illustration de <i>Revealing flashlight</i> qui augmente les formes d'un artefact culturel via projection [44]	39
22	Illustration d' <i>ARCHEOGUIDE</i> qui augmente le site historique d'Olympie en Grèce [62]	42
23	Illustration d' <i>iSkull</i> qui affiche un crâne virtuel en réalité augmentée [35]	45
24	Analyse critique des exemples d'applications de réalité augmentées présentées dans le mémoire	52
25	Première tentative de sélection de marqueur (Logo de la NASA)	59
26	Marqueurs sélectionnés pour le prototype affichant les points de référence de Vuforia	60
27	Prototype d'affichage d'une image en réalité augmentée : à gauche, le marqueur seul et, à droite, la vue en réalité augmentée	60
28	Prototype d'affichage d'une vidéo en réalité augmentée : à gauche, le marqueur seul et, à droite, la vue en réalité augmentée	61
29	Prototype d'affichage de trois modèles 3D animés en réalité augmentée : à gauche, le marqueur seul et, à droite, la vue en réalité augmentée	62
30	Prototype d'affichage d'un modèle 3D animés avec les deux boutons d'interaction en réalité augmentée : à gauche, le marqueur seul et, à droite, la vue en réalité augmentée	63

31	Poster décrivant la Terre initialement conçu pour l'exposition du Confluent des Savoirs <i>Objectif : étoiles</i>	65
32	Nouvelle version du poster décrivant la Terre pour l'exposition du Confluent des Savoirs <i>Objectif : étoiles</i> , le cadre rouge indique la zone utilisée comme marqueur	66
33	Prototype d'affichage de la Terre et de la Lune : à gauche, le marqueur seul et, à droite, la vue en réalité augmentée	67
34	Prototype d'affichage du système solaire (a = le marqueur et b = affichage augmenté), du bouton renvoyant vers le questionnaire (c = le marqueur et d = affichage augmenté) et de la vidéo de promotion (e = le marqueur et f = affichage augmenté)	68
35	Schéma de la machine à état pour la fonctionnalité d'interaction du prototype de réalité augmentée	86

1 Introduction

1.1 Définition de l'objet du mémoire

Ce mémoire est réalisé en partenariat avec le Confluent des Savoirs, un service de l'Université de Namur. Ce service a pour mission de vulgariser les recherches scientifiques, qui sont actuellement effectuées au sein de l'Université, pour un public extérieur non-scientifique. Cette présentation des recherches universitaires se fait via différents formats d'activités et d'événements, dont l'accueil de classes ou l'organisation d'expositions temporaires. Dans le but d'améliorer leur attractivité, le Confluent des Savoirs souhaite y intégrer de la réalité augmentée. Pour cela, il cherche à découvrir des technologies aptes à la réalisation de ce type de projet, à apercevoir le genre d'applications qui existent dans ce domaine et à connaître la complexité que représente le développement de telles applications.

L'objectif du mémoire est donc de réaliser un panorama des possibilités qu'offre la réalité augmentée dans le cadre de la médiation scientifique en investiguant à la fois un côté théorique et un côté pratique. L'aspect théorique est étudié via la rédaction d'un état de l'art afin d'apporter une description approfondie du sujet et de l'illustrer avec quelques applications développées dans la littérature. L'aspect pratique est exploré via le développement d'un prototype d'application de réalité augmentée. Celui-ci a pour but d'évaluer et de documenter les connaissances et compétences nécessaires à l'élaboration de tels projets. Il a également pour ambition de servir de prémices au développement d'une application utilisable dans le cadre des expositions du Confluent des Savoirs.

1.2 Mise en contexte de la problématique étudiée

Le Confluent des Savoirs est un service de l'université de Namur qui joue un rôle de médiateur scientifique entre le monde universitaire et le grand public. Sa mission consiste à récolter les connaissances issues des recherches scientifiques réalisées dans le milieu académique afin de leur donner un format accessible au plus grand nombre. Cette tâche est ardue car le savoir scientifique est abstrait et généralement incompréhensible pour les non-initiés. De plus, ces domaines d'études ne sont généralement pas attractifs car les visiteurs doivent faire de gros efforts de compréhension et n'y voient pas une expérience agréable. Pour transmettre ces connaissances au grand public, le Confluent des Savoirs doit développer des méthodes pour simplifier et concrétiser le message scientifique sans le dénaturer pour autant. Ce sont les raisons pour lesquelles il recherche les outils de médiation scientifique les plus adaptés pour rendre l'information abstraite accessible à tous et le plus ludique possible [50].

Pour répondre à ces besoins, le Confluent des Savoirs envisage l'utilisation de nouvelles technologies. Parmi les candidats potentiels, la réalité augmentée est une technologie qui offre des systèmes de visualisation. Elle permet de rendre visible des informations qui sont cachées à nos sens ou qui ne sont pas explicitement accessibles dans le monde réel. Elle est notamment capable d'aider les professionnels de nombreux do-

maines dans leurs tâches. Prenons d'abord l'exemple des chirurgiens qui peuvent, à l'aide de la réalité augmentée, visualiser la localisation précise des organes du patient avant d'entamer toute incision. Un autre exemple est celui des pompiers qui peuvent visualiser la structure cachée d'un immeuble lors d'une intervention. Enfin, nous pouvons également citer l'exemple des touristes qui peuvent accéder aux avis critiques émis sur un restaurant rien qu'en regardant sa façade depuis la rue [60].

Ces capacités peuvent également être exploitées pour la médiation scientifique. Bien que l'utilisation de la réalité augmentée dans ce cadre soit encore un domaine de recherche récent, on comprend qu'elle présente un potentiel grandissant. En effet, les capacités de visualisation qu'offre la réalité augmentée proposent une grande opportunité pour concrétiser des connaissances. De plus, elle offre un format de médiation ludique qui peut favoriser la motivation des visiteurs à acquérir de nouvelles connaissances. Cependant, l'implémentation de cette technologie dans les activités du Confluent des Savoirs occasionne des contraintes et des difficultés. Le développement d'un tel outil requiert des compétences multidisciplinaires et des ressources qu'il est souvent difficile de mobiliser.

Nous identifierons dans la suite du mémoire quels sont les besoins rencontrés par le Confluent des Savoirs pour remplir leur mission. Ensuite, nous découvrirons comment la réalité augmentée peut rencontrer ses besoins et au prix de quelles contraintes.

1.3 Méthodologie

L'objectif de ce mémoire étant double, la rédaction d'un état de l'art et le développement d'un prototype, le mémoire a été rédigé en deux phases.

Premièrement, nous avons parcouru la littérature sur base des mots clés " augmented reality education " et " augmented reality cultural heritage ". La documentation obtenue nous a d'abord permis de définir ce qu'est la réalité augmentée, de décrire son mode de fonctionnement et d'établir un inventaire des formes qu'elle peut prendre. Ensuite, nous avons découvert les différents domaines de la médiation scientifique où son utilisation a été étudiée. Nous avons ainsi pu révéler les opportunités qu'elle offre dans l'éducation, les musées, les sites historiques et les expositions. Nous avons également identifié les impératifs que représente le développement de ce genre de projet. Grâce à cette exploration de la littérature, nous avons pu distinguer les besoins et les contraintes que peut rencontrer le Confluent des Savoirs. Ces informations nous ont aidé à déterminer les critères auxquels devait répondre notre prototype.

C'est à ce moment que nous avons entamé la seconde phase du mémoire qu'est le développement du prototype. Cette phase est subdivisée en deux étapes.

La première étape est le développement d'un prototype démonstratif répondant aux besoins et contraintes du Confluent des Savoirs. Il a permis de leur montrer quelques fonctionnalités offertes par la réalité augmentée. Ensuite, sur base de ce premier prototype, nous avons identifié quelles fonctionnalités utiliser dans leurs activités de médiation scientifique et le contenu éducatif à y intégrer. Un second prototype prêt à l'emploi a alors été développé et mis à disposition du Confluent des Savoirs pour leur future exposition " *Objectif : étoiles* ".

2 Etat de l'art

2.1 La réalité augmentée

2.1.1 Définition

Pour définir la réalité augmentée, commençons par situer cette technologie dans le continuum de Milgram. Selon Milgram, il existe un continuum entre l'environnement réel correspondant au monde physique et tangible d'un côté, et l'environnement virtuel de l'autre côté. Entre ces deux extrêmes, il existe un espace où les deux réalités peuvent se mêler (voir figure 1). Dans cet espace de "réalité mélangée", on trouve la virtualité augmentée (AV) à proximité de l'environnement virtuel qui ajoute des éléments réels dans un environnement virtuel. Tandis qu'à proximité de l'environnement réel, on retrouve la réalité augmentée (AR) qui est constituée en grande partie d'un environnement réel sur lequel on a ajouté des objets virtuels. Elle donne à l'utilisateur l'illusion de percevoir des objets virtuels qui coexistent avec des objets de la réalité [23, 39].

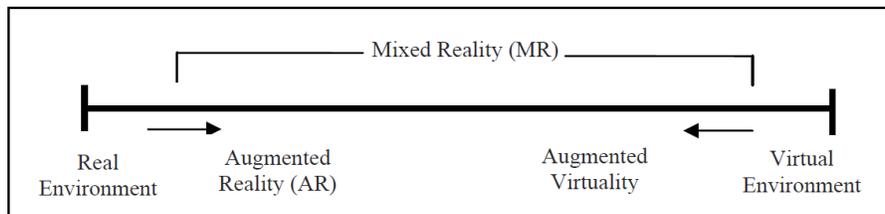


FIGURE 1 – Continuum entre Réalité et Virtualité selon Milgram [39]

Dans la littérature, il n'existe pas de définition exacte et arrêtée pour décrire la réalité augmentée. De nombreux chercheurs lui attribuent des définitions qui peuvent légèrement varier les unes des autres.

A l'origine, elle a été décrite selon deux approches : l'approche large et l'approche restreinte. L'approche large correspond à une augmentation des perceptions naturelles de l'utilisateur par l'ajout de signaux virtuels simulés. Tandis que l'approche restreinte est décrite comme une forme de réalité virtuelle où le dispositif d'affichage est transparent et permet une vue claire du monde réel [39].

Par la suite, au fil du développement du domaine, la définition de la réalité augmentée s'est précisée. Actuellement, elle est définie comme la superposition d'éléments virtuels par-dessus le monde réel, créant ainsi une version améliorée de la réalité perçue naturellement. Ces éléments ajoutés apportent des informations additionnelles inexistantes dans la réalité. Ils peuvent prendre la forme d'objets 3D, d'images, de vidéos ou de textes surimprimés sur le monde réel et en temps réel. La réalité augmentée va compléter la réalité plutôt que la remplacer, en opposition à la réalité virtuelle. Il est d'ailleurs important de noter que c'est notre perception de la réalité qui est augmentée et pas la réalité directement [14, 36, 39, 48].

Certains chercheurs décrivent la réalité augmentée en se basant sur une série de critères. Leur nombre peut varier d'un auteur à l'autre. Cependant, trois critères ont été initialement définis et sont régulièrement repris dans la littérature :

1. Combinaison de l'environnement réel et virtuel,
2. Interaction en temps réel,
3. Enregistrement en 3D [6, 14, 39, 48].

On remarque rapidement que toute la littérature se concentre essentiellement sur les applications basées sur des afficheurs visuels et des systèmes auditifs. Cependant, la réalité augmentée peut s'appliquer à l'ensemble des sens humains. Pour cela, il est également possible de développer des dispositifs haptiques (touché), olfactifs (odeur) ou gustatifs (goût) mais ce genre d'application est presque inexistant [60].

2.1.2 Historique

L'une des premières technologies se rapprochant de la réalité augmentée est le Sensorama de Morton Heilig développé dans les années 50. Cette machine, visible en figure 2, propose une expérience d'immersion multisensorielle grâce à des images stéréoscopiques 3D, du vent, des odeurs et des mouvements du corps déclenchés à différents moments de l'expérience [35].

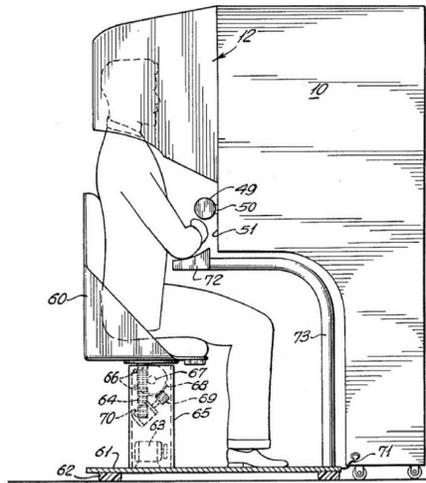


FIGURE 2 – Représentation du Sensorama de Morton Heilig [35]

Le premier véritable prototype a été créé par Ivan Sutherland aux Universités de Harvard et d'Utah en 1968. Ce prototype, nommé " *Sword of Damocles* " (voir figure 3), est un casque permettant de voir des images en temps réel [2, 6, 60].

Par la suite, comme beaucoup d'innovations, la réalité augmentée a été développée dans un contexte militaire nécessitant des solutions high-techs et réclamant de gros investissements. C'est un groupe de chercheurs reprenant des membres du Laboratoire

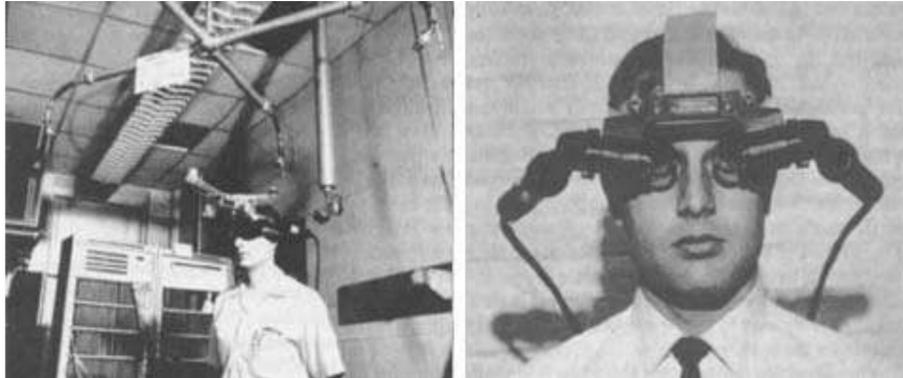


FIGURE 3 – Le premier casque de réalité augmentée nommé " *Sword of Damocles* " [60]

Armstrong de l'US Air Force, du Centre de Recherche Ames de la NASA, de l'Institut de Technologie du Massachusetts (MIT) et de l'Université de Caroline du Nord, qui a poursuivi son développement entre les années 1970 et 1980.

En parallèle, c'est une période au cours de laquelle différents appareils mobiles sont apparus. Il y a, par exemple, le premier téléphone mobile, nommé DynaTAC for Dynamic Adaptive Total Area Coverage, conçu par Motorola en 1973 ou le premier ordinateur portable, le Grid Compass 1100, conçu par Grid en 1982. Ces appareils sont les précurseurs des plateformes mobiles qui pourront par la suite accueillir les applications de réalité augmentée [2, 60].

La première utilisation civile de la réalité augmentée est attribuée en 1992 à Thomas Caudell et David Mizell, employés de Boeing, via le port de casques affichant des schémas électriques pour faciliter l'assemblage de circuits complexes. C'est dans ce contexte que cette technologie a été nommée pour la première fois " réalité augmentée " [48]. Ce système n'était pas encore mobile mais confiné aux locaux de l'industrie [2, 60].

Le premier prototype de système de réalité augmentée mobile (MARS), le " *Touring Machine* ", est arrivé en 1997. C'est un guide touristique permettant d'apporter au visiteur des informations graphiques sur les monuments qu'il explore [2, 60].

C'est seulement en 1997 que la réalité augmentée devient un domaine de recherche à part entière avec la présentation du premier article par Ronald Azuma, " *A survey of augmented reality* " [2].

En 1999, Hirokazu Kato et Mark Billinghurst développent ARToolKit, un outil logiciel offrant des fonctionnalités de reconnaissance d'images. Celui-ci est disponible gratuitement et il devient dès lors de plus en plus facile de développer des applications [2, 6, 60].

En 2000, le premier jeu vidéo exploitant la réalité augmentée apparaît. C'est le jeu AR-Quake qui est une extension du populaire jeu d'ordinateur Quake. A l'aide d'un traceur GPS, d'un compas, d'un traceur visuel et d'un casque, il permet aux utilisateurs de jouer en intérieur comme en extérieur [2].

Par la suite, elle commence à émerger dans le domaine public. De nos jours, la réalité augmentée a pris de nombreux aspects et s'est intégrée dans de nombreux domaines tels que les milieux industriels, les soins de santé, la sécurité publique, l'engineering, le gaming, le marketing, le tourisme, l'éducation ou l'héritage culturel [42, 45, 48].

En 2018, le Gartner's Hype Cycle l'évaluait comme une technologie située dans le " creux de désillusion " (voir figure 4). L'engouement de l'aspect " nouveau " de la technologie est passé et on commence à discerner de manière lucide les opportunités offertes par celle-ci. Pourtant, elle n'est pas encore jugée comme applicable largement dans le domaine public [51].

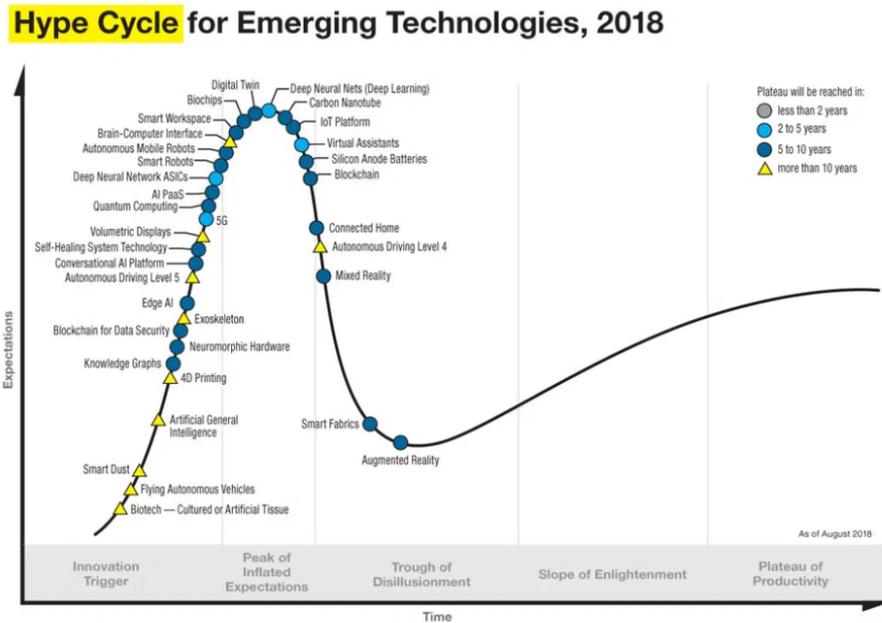


FIGURE 4 – Gartner's Hype Cycle 2018 [51]

En 2019, le Gartner's Hype Cycle évalue qu'elle n'est plus une technologie émergente mais devient une technologie mature. C'est pourquoi elle n'apparaît plus dans le Gartner's Hype Cycle (voir figure 5) [51].

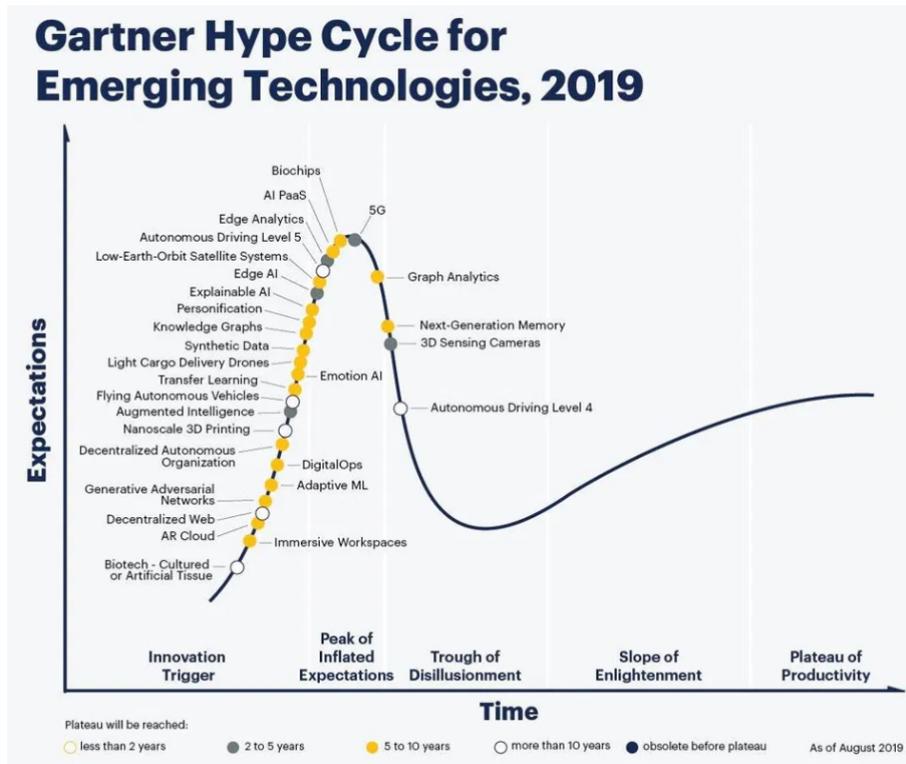


FIGURE 5 – Gartner’s Hype Cycle 2019 [51]

2.1.3 Principes de fonctionnement

En 1968, Sutherland avait identifié les trois composants essentiels à toute application de réalité augmentée. Le premier est un traqueur qui capture l’environnement réel à augmenter. Ce traqueur va passer le flux vidéo au calculateur graphique qui va identifier l’organisation 3D de l’environnement réel et distinguer l’endroit et la manière d’y placer les objets virtuels. Enfin, le résultat est transmis à l’afficheur qui génère le rendu mêlant objets réels et objets virtuels [36, 60].

Dans la littérature, différents auteurs viennent apporter une pierre à l'édifice en précisant davantage les éléments hardware et software nécessaires aux applications de réalité augmentée. Notamment, Sannikov et al. (2015) [49] décrivent que le fonctionnement de la réalité augmentée repose sur un mélange de 7 modules décomposés comme ceci (voir figure 6) :

- Un module de capture de vidéo,
- Un module de recherche de marqueurs dans le flux vidéo,
- Un module de décodage des marqueurs afin d'extraire l'information,
- Un module définissant le rendu et le positionnement des modèles 3D,
- Un module d'organisation des scénarios entre l'environnement réel et les objets virtuels,
- Un module de création de l'image,
- Un module de reproduction de l'image finale.

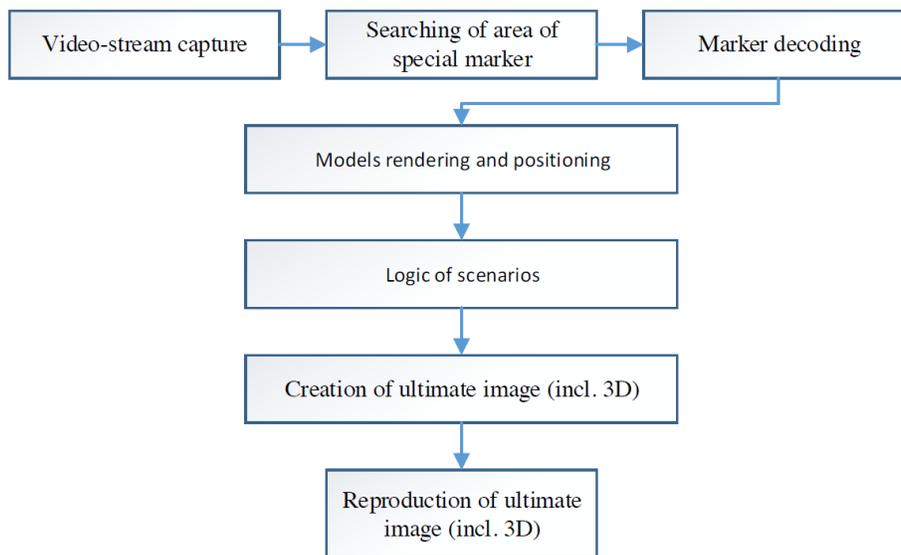


FIGURE 6 – Interaction entre les modules d'une application de réalité augmentée [49]

Etant donné le processus de fonctionnement de la réalité augmentée, on comprend rapidement que le principal défi est d'identifier l'environnement réel afin de faire correspondre les objets virtuels et le monde réel. Premièrement, le capteur utilisé, en général une caméra, va recevoir les données de l'environnement sous forme d'images à deux dimensions. A partir de cette image, le système va devoir déterminer la profondeur de l'environnement réel à 3 dimensions. Une fois le monde réel reconstitué par l'application, le capteur utilisé peut se baser sur deux sortes d'identification : une identification basée sur des marqueurs et une identification sans marqueur.

Un marqueur est un élément placé dans l'environnement réel qui sera reconnaissable par le système de réalité augmentée. Une fois ce marqueur repéré, l'application pourra afficher un objet virtuel par rapport à celui-ci. Pour le second système, celui sans

marqueur, ce sont des composants non aménagés de l'environnement réel qui serviront de marqueurs. Pour qu'ils soient efficacement identifiés, il faut utiliser des éléments stables et discriminables par rapport au reste de l'environnement. Les formes géométriques simples sont généralement sélectionnées car elles sont relativement faciles à reconnaître [11].

Du point de vue performance, ce sont les fonctionnalités les plus complexes (traitement des images de l'environnement réel et correspondance avec les objets virtuels) qui sont les plus exigeantes en ressources [14]. C'est pour cela qu'il est nécessaire d'avoir un matériel disposant d'un processeur rapide et d'une large capacité mémoire [36]. Le traqueur doit également répondre à certaines contraintes. Il doit à la fois être suffisamment robuste pour traiter les images d'un environnement pouvant présenter différents niveaux de luminosité et être suffisamment discret pour ne pas perturber l'utilisateur [68]. Avec toutes ces exigences et contraintes, on comprend dès lors pourquoi la réalité augmentée nécessite beaucoup plus de temps de développement que la réalité virtuelle et est, en conséquence, une technologie moins mature [60].

2.1.4 Développement d'un système de réalité augmentée

Il existe de nombreux kits de développement logiciel (SDK) disponibles sur le marché. Ils fournissent les outils nécessaires à la réalité augmentée et permettent, par exemple, de faciliter l'implémentation de fonctionnalités de reconnaissance de l'environnement, de détection de marqueurs ou de rendu graphique. Herpich et al. (2017) [23] ont fait une analyse comparée de 11 SDKs qu'ils ont sélectionnés parmi un panel de 72 SDKs qu'ils ont identifiés en 2017. Ils ont privilégié ces 11 SDKs car ils sont utilisables sur une plateforme commune, Unity3D. Ils ont fait ce choix en vue de les évaluer par rapport à une série de critères jugés utiles pour le développement d'applications de réalité augmentée éducatives. Unity3D, la plateforme de tests utilisée, est un moteur de jeux vidéo permettant un export des applications développées sur une large gamme de systèmes d'exploitation. Pour réaliser leur analyse, les auteurs se sont d'abord intéressés à des paramètres généraux tels que :

- La gamme de plateformes de développement disponibles,
- La gamme de plateformes d'exportation disponibles,
- La présence de tutoriels facilitant l'apprentissage du SDK.

Ce dernier critère, la présence de tutoriels, est crucial dans le cadre de l'éducation car il faut que des utilisateurs inexpérimentés dans le domaine, comme des enseignants, puissent apprendre à utiliser ces outils. Ensuite, les auteurs se sont également intéressés aux capacités de détection qu'offraient les SDK, une fonctionnalité essentielle de la réalité augmentée. Les critères qu'ils ont retenus pour cette catégorie sont :

- La reconnaissance de textes,
- La reconnaissance d'images,
- La reconnaissance d'objets 3D,
- La reconnaissance multi-cible,
- La géolocalisation,
- La reconnaissance d'environnement sans marqueur,
- La reconnaissance de marqueurs.

Enfin, quelques critères additionnels ont également été pris en compte pour l'évaluation. Ces critères évaluent la nécessité d'une connexion internet pour le bon fonctionnement de l'application et la disponibilité de plateformes de développement prêtes à l'usage [23].

Parmi les SDKs les plus remarquables repris dans l'étude, on retrouve ARToolKit qui est l'outil de développement de réalité augmentée considéré comme l'un des plus utilisés. Cela s'explique notamment par la série de fonctionnalités qu'il offre et sa capacité à s'exporter sur différentes plateformes. L'étude met également en avant Vuforia car il est le seul SDK à répondre positivement à l'ensemble des critères identifiés par les auteurs. Comme ARToolKit, Vuforia est considéré comme l'un des SDKs les plus employés. Il est utilisable sur de nombreuses plateformes de développement et fournit une plateforme web permettant de créer ses propres marqueurs et d'obtenir des licences permettant de publier des applications. De plus, il propose la plus large gamme de fonctionnalités selon l'analyse de Herpich et al. (2017) [23].

Pour que l'application développée rencontre les attentes des utilisateurs et réponde à leurs besoins, il est nécessaire de remplir une série de critères de qualité. Kounavis et al. (2012) [29] ont défini 3 critères de qualité essentiels :

- Efficacité (Efficacy) : Pour atteindre ce critère, il faut s'assurer que le système réponde à ses objectifs. Il faut vérifier qu'il exécute correctement les fonctionnalités attendues. Il faut également vérifier si l'échange de données entre l'application et la base de données se fait correctement afin de transmettre la bonne information au bon utilisateur.
- Efficacité (Efficiency) : Pour répondre à ce critère, il faut s'assurer que le système n'utilise que les ressources nécessaires. A ce titre, il faut s'assurer que l'application ne consomme pas davantage de ressources qu'attendu et qu'il rencontre les attentes de l'utilisateur.
- Efficacité (Effectiveness) : Pour répondre à ce critère, il faut s'assurer que le système est la solution adéquate à la problématique visée. L'application doit apporter un bénéfice à l'utilisateur et l'aider à atteindre ses objectifs [29].

Au-delà des attributs de qualité classiques, Han et al. (2018) [21] et Jung et al. (2018) [28] mettent en évidence l'importance d'apporter une attention particulière à l'esthétique de l'application et à la beauté de l'interface. Le design va avoir une grande influence sur les chances d'acceptation de l'utilisateur. Le critère d'esthétisme aura un plus grand impact sur la perception d'utilité, de facilité et de plaisir d'utilisation que les composants réellement utilitaires. Cela ne signifie pas que ceux-ci n'ont pas d'importance mais ils sont perçus comme un requis minimum. Une application avec une mauvaise utilisabilité sera perçue très négativement tandis qu'une application avec un manque d'esthétisme sera considérée comme étant sans intérêt et risque d'être délaissée [21, 28].

En plus des attributs de qualité, il est important de noter que l'aspect mobile de l'application est une caractéristique essentielle à l'exploitation du potentiel de la réalité augmentée. Pour cela, intéressons-nous aux 5 principes de développement des applications de réalité augmentée mobile (MAR) proposés par Kourouthanassis et al. (2015) [30]. Ces principes sont pensés pour favoriser l'utilisateur et pour maximiser son expérience de la réalité augmentée.

Les principes sont les suivants :

1. Utiliser le contexte pour fournir du contenu : Les appareils de réalité augmentée mobiles disposent d'une série de capteurs (caméra, accéléromètre, GPS, gyroscope, compas, etc.) lui permettant de mesurer très largement l'environnement. L'objectif de ce premier principe est de filtrer les données provenant de tous ces capteurs et de ne fournir que l'information dont l'utilisateur a besoin. Le but est d'éviter de le surcharger avec toute information inutile.
2. Délivrer du contenu pertinent pour la tâche : Lors de la réalisation d'une tâche, l'utilisateur ne devrait recevoir que les informations utiles afin de lui permettre de se concentrer sur la tâche.
3. Informer sur la confidentialité du contenu : L'appareil mobile ayant de nombreux senseurs, il est capable de récolter une série d'informations privées sur l'utilisateur. Celui-ci devrait donc être informé du traitement qui sera fait de ces informations et il devrait garder le contrôle sur l'utilisation de ses données.
4. Fournir le feedback sur le fonctionnement de l'infrastructure : Les applications de réalité augmentée sont généralement supportées par une infrastructure qui délivre des services aux appareils mobiles. Ceux-ci ne sont qu'un intermédiaire à l'application. L'utilisateur devrait recevoir un feedback continu sur l'état de fonctionnement de cette infrastructure.
5. Aider les mémoires procédurale et sémantique : L'application ne devrait pas nécessiter que l'utilisateur fasse un effort cognitif non-automatique supplémentaire pour percevoir les informations fournies. Il est donc préférable d'utiliser les métaphores classiques. Ceci fait référence aux symboles conventionnels qui représentent des fonctionnalités courantes. Par exemple, le symbole d'une maison est couramment utilisé pour désigner le menu principal. Ce principe favorise l'apprentissage de l'application.

Les auteurs indiquent que les applications développées dans la littérature ne respectent généralement pas les principes 3 et 4. Cela s'explique par le fait que ce sont généralement des prototypes et que l'application est entièrement supportée par l'appareil mobile [30].

2.1.5 Les formes de réalité augmentée

Il existe de multiples formes d'exploitation de la réalité augmentée qui reposent sur différents supports. Krevelen et Paelman (2010) [60] les divisent en trois catégories selon la technique et le positionnement employés.

Il y a, au plus proche de l'œil de l'utilisateur, les afficheurs de réalité augmentée tels que les casques, les lunettes ou les lentilles de contact. S'éloignant un peu de l'œil de l'utilisateur, il y a les afficheurs mobiles manipulés manuellement par l'utilisateur tels que les smartphones et les tablettes. En dernier, il y a les technologies de réalité augmentée spatiale (SAR) qui s'éloignent encore de l'utilisateur et trouvent une place fixe dans l'environnement. Elles prennent généralement la forme de tables tactiles fixes ou de projecteurs muraux (voir figure 7) [6, 60]. Cette troisième catégorie de support, contrairement aux deux premières, va davantage permettre les expériences

collectives et favoriser la collaboration entre les utilisateurs [35]. De plus, les systèmes de réalité augmentée spatiale permettent une nouvelle sorte d'immersion en modifiant directement l'apparence de l'environnement où se trouve l'utilisateur. Celui-ci n'est plus distrait de la réalité par une tablette ou un casque, il se trouve physiquement dans l'environnement augmenté [5].

Une même technologie d'affichage de la réalité augmentée peut se retrouver dans plusieurs des catégories énoncées ci-dessus. Dans ce chapitre, nous décrirons, de manière non-exhaustive, trois types de supports couramment utilisés et décrits dans la littérature qui sont les afficheurs manuels, les casques et les projecteurs [7].

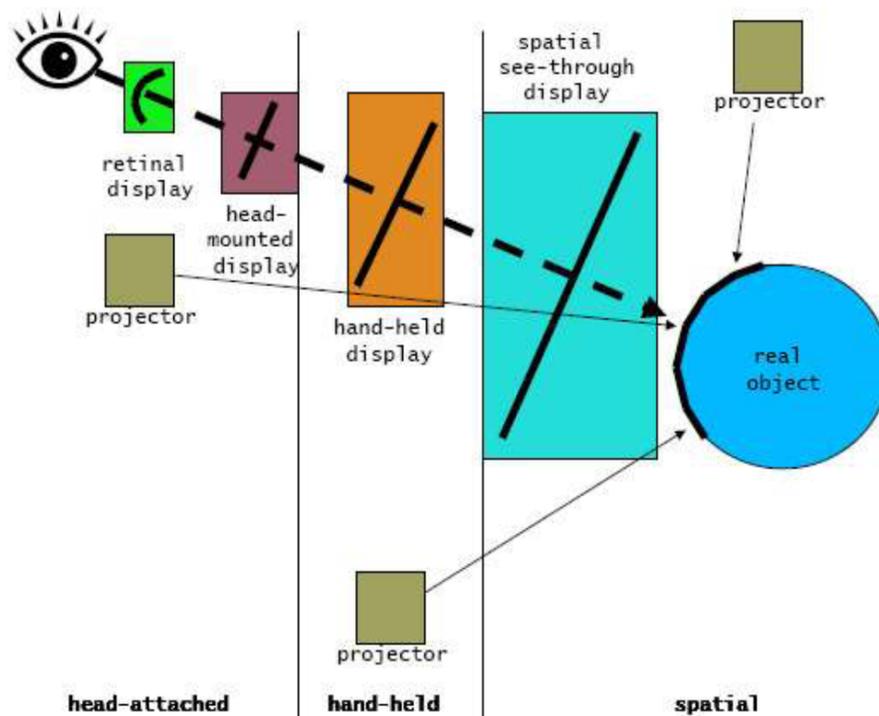


FIGURE 7 – Techniques et positions des supports de la réalité augmentée [60]

Afficheurs manuels

Les exemples conventionnels de systèmes portatifs manuels, ou " *Hand-Held Display* " (HHD), sont les tablettes et les smartphones. Ces appareils très complets possèdent tous les éléments hardware nécessaires pour supporter les applications de réalité augmentée. Ils sont mobiles et disposent d'une connexion réseau sans fil. Leur caméra peut capturer les images de l'environnement et afficher le flux vidéo à l'écran. Comme décrit dans le chapitre 2.1.3. " Principes de fonctionnement ", ce flux vidéo sera traité par l'application pour identifier l'environnement réel et pour y intégrer les objets virtuels. Ces fonctionnalités d'analyse d'images et d'affichage virtuel sont des

mécanismes gourmands en ressources processeur et mémoire. C'est la raison pour laquelle, les appareils mobiles peuvent rencontrer des difficultés. Un autre défaut de ces appareils est la petite taille de l'écran qui limite le champ de vision disponible. Pourtant, malgré ces défauts, les afficheurs manuels restent la technologie qui a le plus grand potentiel pour soutenir l'arrivée massive de la réalité augmentée dans le quotidien de la population grâce à leur omniprésence actuelle [7].

Casques

Concernant les casques de réalité augmentée, aussi nommés "*Head-Mounted Display*" (HMD), il en existe différentes technologies décrites dans la littérature.

La première forme de casque présentée ici est l'afficheur rétinien, nommé "*Virtual retinal displays*" ou "*Retinal scanning displays*" (RSD). C'est un casque qui utilise des lasers à faible puissance pour projeter les images virtuelles directement sur la rétine de l'utilisateur (voir figure 8). L'avantage de cette technologie est qu'elle offre un très grand champ de vision, ainsi qu'un haut niveau de luminosité. De plus, il est possible d'avoir un contraste optimal car l'afficheur ne dépend plus de pixels mais de la qualité de la source de lumière [7, 60].

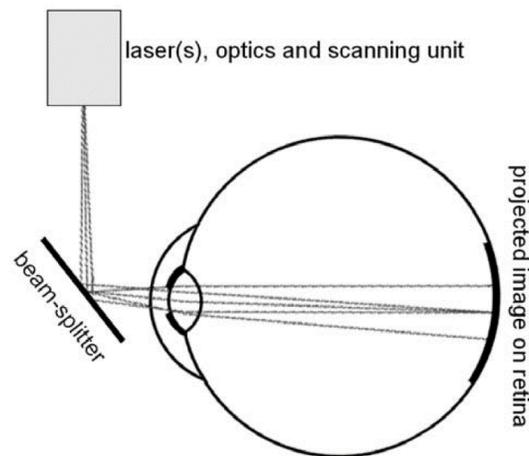


FIGURE 8 – Casque avec afficheur rétinien [7]

Une seconde sorte de technologie de casques optiques sont les casques avec afficheur miniature transparent. Dans cette catégorie, deux types sont décrits par Bimber et Raskar (2005) [7].

Le premier est le "*Optical see-through*". Cette technique permet une perception directe de l'environnement réel sans utiliser d'écran comme intermédiaire. Les objets virtuels y seront superposés à l'aide d'un afficheur miniature reflété via un miroir (voir figure 9).

Avec ce genre de technologie, le champ de vision de l'utilisateur est souvent limité et il rencontre généralement des problèmes de résolution de l'image virtuelle à cause de la miniaturisation de l'afficheur. De plus, l'utilisateur peut rencontrer un inconfort visuel lié à la différence de distance entre l'environnement réel et les objets virtuels. L'œil est obligé de constamment ajuster l'image, ce qui peut causer des fatigues et des nausées. Enfin, ces systèmes souffrent de défauts de luminosité car ils ont des difficultés à s'adapter aux fluctuations de la lumière réelle [7, 60].

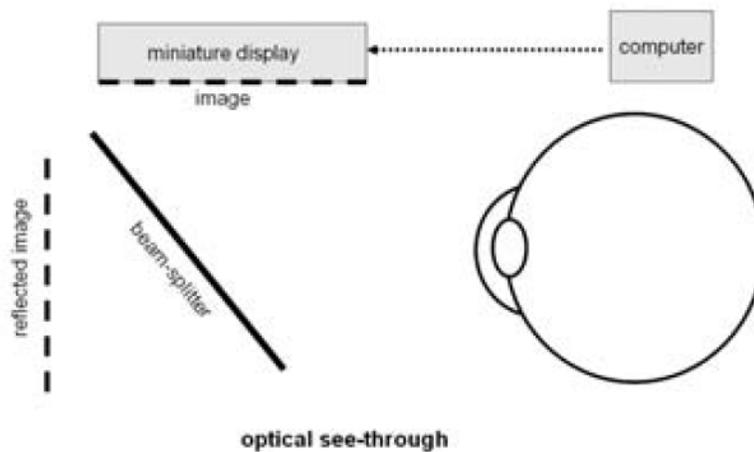


FIGURE 9 – Casque avec afficheur optique [7]

Le second type de casque avec afficheur miniature transparent est le " *Video see-through* " qui utilise un afficheur face aux yeux de l'utilisateur. Ce système donne une image mélangeant la réalité capturée par la caméra et les objets virtuels ajoutés (voir figure 10).

Ce système résout quelques défauts courant des autres types de casques de réalité augmentée tels que les problèmes de perception visuelle. Cependant, il y a toujours des défauts de résolution et de luminosité qui limitent l'usage en extérieur [7, 60].

Un dernier exemple est un casque utilisant des projecteurs miniatures, nommé " *head-mounted projective display* " (HMPD). L'image générée par les projecteurs est projetée sur les objets réels préalablement recouverts d'un matériau rétro-réflécteur. Cela permet de renvoyer la lumière uniquement vers sa source, l'utilisateur (voir figure 11). La surface rétro-réfléctive est composée de micro-miroirs en forme de coin de cube. Cela permet de réfléchir la lumière à 180° et donc de la renvoyer à sa source. Le gros défaut de ce système est qu'il nécessite l'installation de surfaces rétro-réfléctives sur l'environnement réel à augmenter [7, 60].

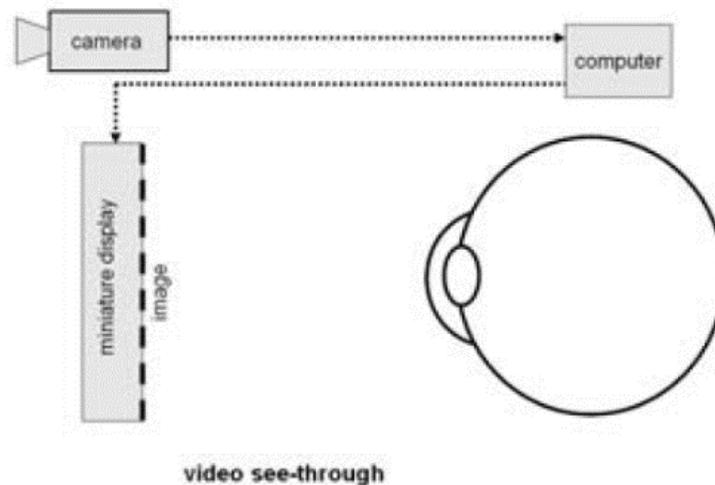


FIGURE 10 – Casque avec afficheur miniature [7]

Bien qu'ils offrent une expérience main-libre très appréciable par rapport aux afficheurs manuels, les casques de réalité augmentée présentent un grand nombre de défauts [57]. Il leur est nécessaire d'être connecté à un ordinateur pour effectuer les calculs de graphisme performants, pour supporter une batterie ayant une durée de vie acceptable et pour supporter les fonctions de connexion réseau et BlueTooth. Cela limite sensiblement leur capacité de mobilité qui était l'intention initiale [60].

Rauschnabel et Ro (2016) [43], dans leur étude d'acceptation de la technologie (TAM), ont découvert que les casques de réalité augmentée étaient encore perçus comme étant dans une phase précoce de leur développement et de leur diffusion dans le domaine public. C'est d'ailleurs cet aspect innovant de la technologie qui pourrait attirer la population lorsque celle-ci aura gagné en maturité. Les personnes questionnées estiment que les casques de réalité augmentée ont du potentiel pour améliorer leur vie bien qu'ils ignorent majoritairement les fonctionnalités que ceux-ci peuvent leur offrir. Enfin, bien que ces appareils deviennent de plus en plus discrets, ils n'estiment pas qu'ils soient davantage intrusifs que les technologies déjà existantes [43].

Projecteurs

Pour cette catégorie, les images sont projetées directement dans le monde réel et ne sont plus simplement affichées au travers de l'écran d'un appareil. Ce système repose essentiellement sur l'utilisation d'un projecteur et peut être désigné sous les noms de " *Projection Mapping* ", " *Video Mapping* " ou " *Projection-Based Augmented Reality* ". En général, cette technique nécessite une installation reprenant un certain nombre d'accessoires. Comme indiqué dans l'exemple de la figure 12, il repose sur l'emploi d'une cible (1), d'un (vidéo-)projecteur (4) et d'une caméra (5). Cette caméra sert à localiser la cible par rapport au projecteur. Pour permettre une interaction avec l'utili-

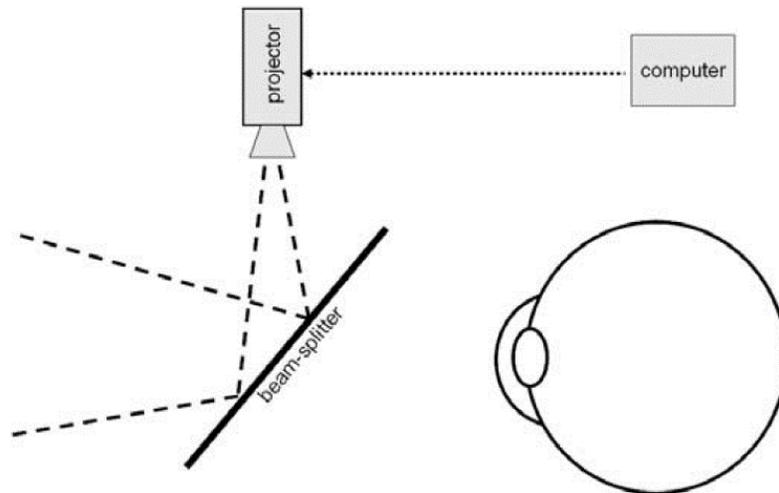


FIGURE 11 – Head-mounted projectors (HMPD) [7]

sateur, il faut également disposer d'un appareil de suivi (3) et d'un système de pointage (2). L'appareil de suivi régulièrement utilisé dans la littérature est la caméra Kinect de Microsoft car elle combine caméra et capteur optique en un seul support [5, 26, 27, 52]. Il existe une alternative aux capteurs optiques, ce sont les capteurs de contact installés sur la surface augmentée. Cependant, ils ne sont pas applicables à tous les systèmes, notamment si les surfaces sont sensibles et ne doivent pas être détériorées. Concernant le système de pointage, il est possible d'exploiter le corps de l'utilisateur ou de se servir d'instruments tels qu'une baguette, un crayon ou un "*finger caps*". Un défaut de cette technologie est la faible quantité de lumière produite et également son faible contraste qui limitent son utilisation aux environnements intérieurs [60].

Ce système de réalité augmentée n'est plus un système isolé comme ceux basés sur l'utilisation d'appareils d'affichage individuels. L'augmentation virtuelle est directement projetée dans la réalité et est accessible à tous les utilisateurs sans besoin d'un affichage intermédiaire. C'est pour cette raison qu'il est considéré plus proche de la réalité selon le continuum de Milgram (voir figure 1) que les autres technologies de réalité augmentée. Cela favorise davantage les interactions entre les utilisateurs qui auront une expérience commune et qui pourront plus facilement collaborer entre eux [4, 44]. Un autre avantage de ce système de réalité augmentée projeté est qu'il rencontre moins de problèmes de latence. Les objets augmentés et les projecteurs sont moins susceptibles de bouger les uns par rapport aux autres. Enfin, les projecteurs représentent un moyen très bon marché pour augmenter des infrastructures déjà existantes en évitant de faire des travaux de modifications qui seraient très coûteux [37].

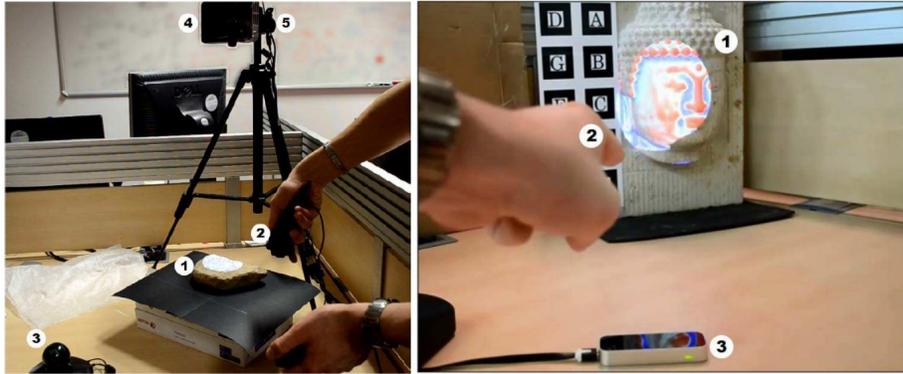


FIGURE 12 – Matériel nécessaire aux techniques de projection : (1) cible, (2) système de pointage, (3) appareil de suivi, (4) projecteur et (5) caméra [44]

2.2 Application de la réalité augmentée pour la médiation scientifique

Maintenant que nous avons une meilleure connaissance de la réalité augmentée et de son fonctionnement, étudions ses applications dans le domaine de la médiation scientifique. Pour cela, intéressons-nous aux formes de transmission des connaissances qui supportent la médiation scientifique. D'un côté, cette transmission peut être codifiée et suivre un format bien précis. Cela correspond à l'éducation qui répond à ces caractéristiques. L'enseignement dispensé dans le milieu scolaire suit un processus fixé, dans un horaire défini et pour transmettre une série de connaissances prédéterminées. A l'opposé de la transmission formelle, la connaissance peut également être communiquée de manière beaucoup plus libre. Cela correspond au partage de connaissances appliqué dans le cadre de l'héritage culturel [48, 49]. Etant donné que celle-ci fait référence à de nombreuses formes de connaissances, nous allons découper ce domaine en suivant la classification de l'UNESCO. Il est découpé en trois catégories qui sont les héritages culturels tangibles mobiles, tangibles immobiles et intangibles (voir figure 13) :

- Les héritages culturels tangibles mobiles correspondent aux œuvres humaines avec une existence physique. Ces objets doivent être de taille suffisamment réduite pour les rendre déplaçables. Ce sont toutes les œuvres de petite dimension telles que des peintures, des sculptures, de petits objets retrouvés dans les vestiges archéologiques, etc. La médiation scientifique de cette catégorie sera identifiée dans la suite du mémoire sous la dénomination de " musées ".
- Les héritages culturels tangibles immobiles correspondent aux œuvres humaines avec une existence physique et qu'il est impossible de déplacer. Cela correspond aux sites archéologiques, aux monuments ou aux bâtiments historiques qui ne peuvent être déplacés sans être endommagés. La médiation scientifique de cette catégorie sera décrite comme les " sites historiques ".
- Les héritages culturels intangibles qui correspondent aux connaissances déve-

loppées par l'homme et ne reposant pas sur des artefacts historiques. La transmission de ces connaissances sera identifiée par les " expositions " [31].

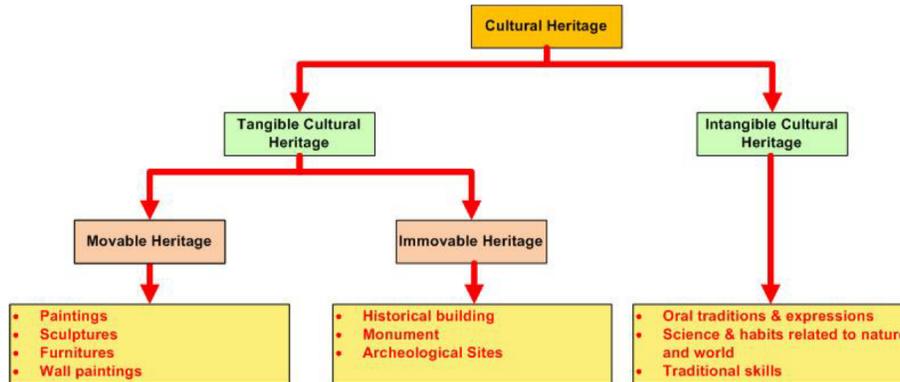


FIGURE 13 – Classification de l'héritage culturel selon l'UNESCO [31]

Dans la suite de ce chapitre, nous allons parcourir chacune de ces formes de médiation scientifique afin d'identifier les difficultés qu'elles rencontrent et découvrir comment la réalité augmentée peut leur proposer des solutions.

2.2.1 Education

Les lacunes de l'éducation

Traditionnellement, la transmission des connaissances dans le cadre de l'éducation fait intervenir deux acteurs : l'enseignant et l'étudiant. L'enseignant qui possède les connaissances, va les présenter et les expliquer à l'étudiant sous forme orale et à l'aide de supports statiques. Ces supports sont généralement le tableau de classe et des documents papier. Ces instruments permettent une représentation figée et en 2D, ceux-ci rencontrent donc quelques lacunes lorsqu'il s'agit de représenter l'aspect dynamique du sujet étudié tel qu'un mouvement ou un processus évolutif [39].

Ce constat explique pourquoi de nombreux étudiants rencontrent des difficultés pour appréhender les matières abstraites. Ces domaines traitent de sujets invisibles à l'œil et qui ne sont pas directement représentables sur les supports pédagogiques traditionnels. Les étudiants ne parviennent pas à construire leurs représentations mentales qui sont le fruit de la connaissance acquise. Les risques de mauvaise compréhension sont alors très élevés. Comme l'étudiant doit élaborer une représentation mentale de concepts abstraits à partir d'informations fractionnées, il y a un risque que les étudiants construisent leurs connaissances de manière erronée et que cela impacte leur aptitude d'apprentissage pour la suite de leurs études. Cette difficulté s'observe beaucoup dans l'étude des matières scientifiques qui sont régulièrement vues comme des secteurs compliqués, abstraits et nécessitant de fortes compétences de visualisation. Tout domaine qui n'est pas directement visible à l'œil (trop grand, trop petit, trop ra-

pide ou trop lent) souffre de ce genre d'obstacle. La littérature nomme d'ailleurs ces spécialités sous l'acronyme de STEM pour indiquer les sciences, la technologie, l'ingénierie et les mathématiques. Ce sont des filières vers lesquelles les étudiants sont peu motivés à s'engager et à y poursuivre leurs études [10, 45].

Prenons quelques exemples de la littérature pour décrire les difficultés rencontrées dans différents domaines des sciences.

En chimie, il peut, en effet, être ardu de se représenter la structure des atomes, la composition des molécules ou les interactions entre les molécules [45]. Chez les jeunes enfants, cette difficulté est davantage marquée à cause de leurs capacités imaginatives immatures. Il est difficile pour eux de se représenter les structures microscopiques, ce qui est un obstacle à leur compréhension du domaine et limite leur potentiel d'apprentissage [23].

Un autre exemple souffrant de ces difficultés est la biochimie. Notamment, l'étude des voies métaboliques est un sujet mal compris. A défaut de parvenir à comprendre les mécanismes de ces processus évolutifs, certains étudiants vont simplement les mémoriser sans les comprendre alors qu'elles sont un élément clé de la compréhension des réactions chimiques se déroulant au cœur des cellules [61].

Un autre domaine dont l'étude représente un obstacle particulièrement grand est celui des mathématiques. En effet, Salinas et Pulido (2016) [47] expliquent que c'est un domaine dans lequel les étudiants éprouvent régulièrement des problèmes de compréhension qui peuvent engendrer un trouble chez eux. Ce trouble est connu sous le terme d'anxiété des mathématiques. C'est un état émotionnel qui va causer un blocage empêchant l'étudiant de raisonner, d'accéder à sa mémoire et de comprendre les mathématiques. Encore plus inquiétant, cette anxiété est généralement liée au succès ou à l'échec de son parcours scolaire. Selon les auteurs, c'est un trouble causé par la méthode pédagogique actuelle et par le processus d'évaluation stressant. Malgré les efforts des professeurs pour réduire le stress généré par l'étude des mathématiques, les auteurs suggèrent de poursuivre les recherches pour améliorer la procédure d'apprentissage. C'est pour cette raison qu'ils suggèrent de revoir les méthodes d'enseignement [46, 47]. Dans ces filières, on identifie donc aisément que la principale difficulté rencontrée par les étudiants provient du manque de visualisation des processus dynamiques ou objets invisibles à l'œil [61].

A côté de ce constat, lorsque l'on s'intéresse aux mécanismes de perception humaine, on comprend davantage la nécessité d'intégrer des outils de représentation concrète dans l'éducation. L'homme (comme les autres animaux) a évolué pour s'adapter à son milieu, ils font tous deux parties d'un système complet et ont un impact l'un sur l'autre. De la même manière, la perception s'est développée en fonction de l'environnement dans le but d'en prélever efficacement de l'information. Ce mécanisme s'est développé en ce sens dans le but de donner la capacité d'agir rapidement et adéquatement dans ce contexte. L'homme est ainsi capable de prélever l'information utile de l'environnement réel en 3 dimensions et de la comprendre immédiatement sans devoir créer des représentations mentales. Cela illustre donc l'importance de s'appuyer sur des méthodes de visualisation concrète pour améliorer la facilité et l'efficacité de l'apprentissage [46].

A côté des défauts de visualisation, l'éducation classique éprouve également des lacunes sur un autre point. L'école étant obligatoire, l'enseignement n'a jamais eu besoin de devenir compétitif pour attirer les étudiants. Elle n'a donc jamais eu besoin de développer et d'améliorer ses méthodes d'apprentissage. Il en résulte, généralement, qu'elle échoue à insuffler l'envie d'apprendre et on observe, en conséquence, un dés-intéressement des enfants envers l'étude [49]. Saidin et al. (2015) [45] illustrent ce constat avec l'exemple de la Malaisie. La Malaisie est un pays d'Asie du Sud-Est qui a pour ambition d'améliorer sa condition et de compter parmi les pays développés. Pour atteindre cet objectif, elle doit former sa population et lui donner les capacités de soutenir le développement technologique du pays. Celui-ci a alors fortement investi dans l'instruction mais il a rapidement réalisé que l'enseignement classique utilisant des manuels scolaires et un apprentissage statique a échoué à rencontrer ses ambitions. Les étudiants trouvaient les cours ennuyeux. Les professeurs ont alors cherché à innover et se sont tournés vers des technologies qui permettaient d'augmenter la motivation et de faciliter la compréhension de la matière [45].

De cette analyse, nous avons identifié deux principaux défauts de l'éducation qui sont la difficulté à concrétiser la matière et la difficulté à maintenir l'attention et la motivation des étudiants.

Les technologies dans l'éducation

Pour répondre aux problèmes rencontrés par l'éducation, la technologie est un candidat qui présente un grand potentiel. Son utilisation pour l'éducation est connue sous le terme de TEL (Technology Enhanced Learning), c'est-à-dire l'apprentissage amélioré par la technologie.

Premièrement, elle est capable de répondre aux besoins des étudiants en terme de visualisation des domaines abstraits. Elle leur offre la possibilité de voir et de manipuler des représentations dynamiques des sujets étudiés. Cela se fait grâce aux outils permettant de créer des environnements de visualisation concrets tels que les vidéos, les animations et la modélisation 3D. Ceux-ci ont une force d'apprentissage bien supérieure aux textes ou images statiques [61]. De plus, pour maximiser la concrétisation de l'apprentissage, les outils technologiques vont généralement puiser la matière dans des problématiques réelles auprès des professionnels du domaine. Cela offre aux étudiants une mise en contexte et une problématisation plus pertinente que ne le permettent les manuels scolaires qui sont rapidement dépassés [10, 45].

Ces technologies ont un pouvoir attractif très important qui stimule l'engagement des étudiants et accroît leur capacité d'assimilation des matières étudiées. Ceux-ci associent généralement la technologie avec les environnements capteurs d'attention tels que les jeux vidéo, les mondes virtuels et la réalité augmentée. Ils présentent en conséquence un potentiel éducatif prometteur [39]. La ludification de l'apprentissage, ou " *Game-base learning* " (GBL), peut créer et maintenir la concentration de l'enfant dans un domaine particulier, ce qui permet de faire du jeu un moyen d'apprentissage très efficace. Selon Pellaset al. (2018) [41], les personnes ayant joué aux jeux vidéo durant leur enfance sont davantage susceptibles d'obtenir une meilleure qualification que ceux

qui n'y ont pas joué. Ils sont plus susceptibles de développer des activités culturelles et le goût de l'apprentissage. Un avantage supplémentaire du jeu dans l'éducation est qu'il donne des instructions claires et fournit un feedback immédiat qui favorise la compréhension et induit un impact positif sur l'apprentissage [10, 41].

La technologie est d'autant plus intéressante qu'elle est déjà fortement intégrée dans notre société. Notamment, on la retrouve dans l'éducation via un vaste champ d'outils numériques adaptés à l'apprentissage (e-learning, contenu multimédia, simulation, etc. . .). De manière générale, il en résulte un impact positif sur l'instruction car ces outils sont souvent identifiés à un enseignement plus innovant [39].

Nous allons nous intéresser aux capacités de la technologie pour l'éducation dans le domaine particulier qu'est la réalité augmentée. Cette technologie émergente présente d'importantes capacités de visualisation et une aptitude à capter l'attention des étudiants. Bien que ce domaine de recherche en soit encore à ses débuts, on comprend qu'il présente un potentiel et une opportunité grandissante dans l'éducation [39, 45].

Réalité augmentée et éducation

La réalité augmentée pour l'éducation est un sujet de recherche relativement jeune qui a commencé à se développer durant ces dix dernières années. Un élément déterminant pour ce développement est l'apparition d'appareils bon marché offrant les fonctionnalités nécessaires à la réalité augmentée et permettant son implémentation dans le domaine public [24].

Avant d'étudier les problématiques auxquelles la réalité augmentée peut répondre, intéressons-nous aux supports mobiles qui participent à l'essor de cette technologie. Le terme réalité augmentée mobile (MAR) est apparu dans le milieu des années 90 pour décrire une forme capable de s'échapper des environnements confinés et des ordinateurs fixes. Avec l'essor des appareils informatiques dans le quotidien de la société et l'augmentation des performances de ces appareils, les applications de réalité augmentée prennent souvent forme sur les tablettes ou les smartphones, leur octroyant une grande mobilité. En effet, ceux-ci possèdent de puissants processeurs, de larges écrans et une série de capteurs embarqués (Caméra, GPS, Wifi, compas, accéléromètre), ce qui en fait les outils idéaux pour supporter la réalité augmentée dans la plupart des environnements [22]. C'est d'ailleurs ce domaine qui a le plus grand niveau de progression. Il faut donc prendre en considération son aspect mobile car il a de l'importance pour son usage et ses performances dans l'éducation [14, 39].

Au paragraphe 2.1.1. " Définition ", nous avons défini la réalité augmentée comme un outil capable d'apporter des objets virtuels dans un environnement réel de manière dynamique. Elle possède la capacité de proposer un apprentissage mettant l'accent sur l'aspect visuel et interactif. Elle propose donc une meilleure visualisation spatiale par rapport aux représentations à 2 dimensions de l'enseignement classique. La réalité augmentée permet d'afficher des objets virtuels en 3 dimensions aux côtés d'objets réels et cela en fixant l'objet virtuel à un endroit défini de la réalité. Il est alors possible

pour l'utilisateur de se déplacer autour de l'objet, de se rapprocher ou de s'éloigner et changer ainsi d'échelle pour l'étudier avec de nouvelles perspectives [24, 45, 46]. Cela représente de nombreux avantages. Premièrement, l'étudiant qui éprouve des difficultés pour se représenter un concept abstrait a davantage de possibilités pour observer le sujet et ainsi faciliter sa compréhension par la multiplication des points de vue. Ensuite, l'information étant mieux représentée, l'élève va comprendre plus facilement et rapidement la matière [33]. Il y a alors moins de risque qu'il ait une compréhension erronée, une situation qui aurait été pénalisante pour la suite de son exploration du domaine. Il en découle que l'effort nécessaire pour s'engager dans l'étude d'un sujet abstrait sera réduit et l'étudiant sera alors davantage motivé à poursuivre son apprentissage [39, 41].

La réalité augmentée présente un autre avantage pour l'enseignement car, comme beaucoup de systèmes informatiques, elle est très largement acceptée par la population et possède un grand potentiel pour capter l'attention. Celle-ci a un fonctionnement basé sur l'utilisation de vidéos, d'objets virtuels et d'interactions. Ces attributs sont activement utilisés dans la publicité et les jeux vidéo qui sont des systèmes conçus pour être très attractifs. C'est pour cette raison que Sannikov et al. (2015) [49] suggèrent de créer les applications éducatives de réalité augmentée sur base d'une approche orientée jeux vidéo. C'est-à-dire développer une interface similaire à celle d'un jeu électronique et implémenter une succession de tâches ayant un niveau de difficulté progressif. Enfin, il est nécessaire d'y ajouter un mécanisme d'interaction permettant un feedback et une correction dynamique du comportement de l'utilisateur. Cela favorise l'apprentissage et la familiarisation avec l'application. Les auteurs indiquent que ces attributs aident l'implication émotionnelle des étudiants et en conséquence leur motivation. On constate donc que la réalité augmentée répond aux problèmes de désintérêt identifiés dans l'enseignement classique [14, 49].

Non seulement la réalité augmentée répond aux problématiques de l'éducation classique mais elle apporte également de nouvelles opportunités pour améliorer l'éducation. Selon Nincorean et al. (2013) [39], la réalité augmentée présente un potentiel pour stimuler l'interaction des élèves entre eux mais également les échanges entre les étudiants et leur enseignant. Cela favorise ainsi le transfert de connaissances. Wang (2017) [64] indique que la réalité augmentée est plus efficace que les systèmes d'apprentissage sur écran fixe. Il pointe comme raison l'aspect ludique et mobile comme l'élément aidant les échanges.

Caractéristiques et applications concrètes

Dans la littérature, de nombreux auteurs tentent de définir les caractéristiques associées à l'utilisation de la réalité augmentée dans l'éducation. Pour cela, ils proposent une série d'applications qu'ils ont développées en se basant sur différents principes éducatifs pour favoriser l'apprentissage.

Commençons par l'analyse de Salinas et González-Mendivil (2017) [46] qui catégorisent la réalité augmentée pour l'éducation selon deux formes distinctes en terme de déclencheur. La première forme se base sur la localisation de l'utilisateur dans son milieu. Cela fait référence à l'affichage d'objets virtuels spécifiques dépendant de l'em-

placement physique de l'utilisateur dans le monde réel. Quant à la seconde forme basée sur l'identification de marqueurs présents dans l'environnement, elle fait référence à la présentation de médias virtuels après avoir pointé la caméra sur un objet spécifique. Pour conceptualiser cela dans le cadre de l'éducation, les auteurs expliquent ces deux formes de réalité augmentée dans le contexte d'un étudiant qui se promène dans un jardin. Lorsqu'il arrive près d'un arbre (basé sur la localisation), l'application va afficher dans l'environnement autour de cet arbre les animaux qu'il est possible de retrouver à sa proximité. Tandis que lorsque l'étudiant pointe la caméra vers la base de l'arbre (basé sur des marqueurs), l'application va afficher une image 3D de la structure anatomique de l'arbre [46].

Dans leur étude, Diaz et al. (2015) [15] évaluent qu'il existe deux sortes de contenu dans les applications de réalité augmentée, un type de contenu statique et un type dynamique. L'aspect statique correspond aux données immobiles tels que du texte, des images et des modèles 3D. L'aspect dynamique concerne quant à lui un contenu qui fait varier son affichage au cours de l'interaction avec l'utilisateur, comme des vidéos ou des animations [46]. Les applications qui utilisent à la fois des informations statiques et dynamiques ont généralement été développées sur base du principe de "*Cognitive Theory of Multimedia and of the Cognitive Load Theory*" (CTML). Ce principe explique la manière dont un étudiant va comprendre n'importe quel domaine. Cela se déroule en trois étapes. Il va d'abord sélectionner les informations compréhensibles et pertinentes, il va ensuite les organiser pour se construire une image mentale et il va enfin intégrer cette image pour appréhender et interpréter de nouvelles informations. Les étapes de sélection et d'organisation des informations reposent sur deux modèles mentaux. Il y a le modèle verbal correspondant aux informations orales et le modèle visuel concernant les informations visuelles. Selon le CTML, ces deux modèles mentaux sont nécessaires pour faciliter et pérenniser l'intégration des connaissances dans la mémoire à long terme [15].

En se basant sur le principe de CTML, Diaz et al. (2015) [15] ont développé une application éducative de réalité augmentée ayant pour but d'apprendre les bases de l'électronique. Celle-ci présente trois chapitres que sont " La structure de l'atome ", " Le phénomène de charge et décharge " et " Le courant, le voltage et la résistance ". Ces chapitres sont essentiellement centrés autour d'animations et de modèles 3D (voir figure 14). Des textes et du contenu audio vont accompagner ces représentations afin d'apporter toute l'information nécessaire à la compréhension. Les auteurs ont évalué les performances de leur application à l'aide de tests de connaissances effectués avant et après son utilisation et ils ont observé qu'elle a permis aux étudiants d'acquérir les connaissances visées. De plus, le questionnaire était généralement mieux réussi pour la partie concernant les informations présentées dynamiquement que celles présentées statiquement. Enfin, les étudiants ont été questionnés sur leur appréciation de l'application et ils ont donné une évaluation positive sur les représentations dynamiques [15].

Une autre manière d'exploiter la réalité augmentée dans l'éducation est d'augmenter un support éducatif classique et complet. Par exemple, à partir d'un simple livre avec un contenu éducatif habituel tel que du texte et des images, il est possible d'y ajouter des connaissances dynamiques via une application de réalité augmentée. Ces fonctionnalités additionnelles ont pour but d'améliorer la compréhension et l'apprentissage par

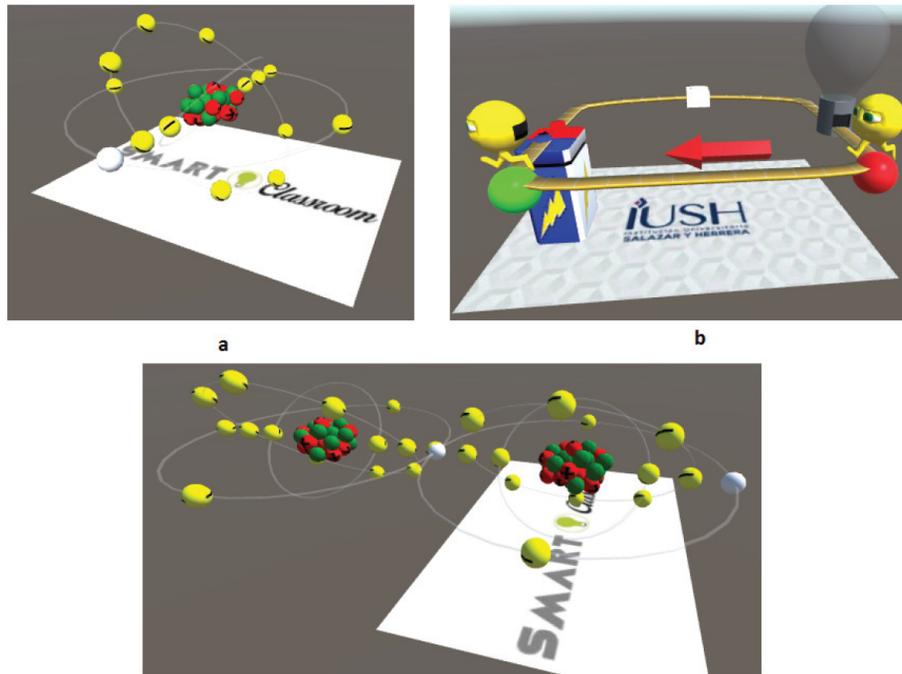


FIGURE 14 – Illustration des trois animations éducatives proposées par Diaz et al. (2015) [15]

l'intégration d'objets virtuels superposés au texte ou aux illustrations [14].

Le " *MagicBook* " est un exemple de ce genre d'application. C'est un système qui se base sur un livre classique contenant du texte et des images. Il est entièrement utilisable sans la moindre technologie. Cependant, si l'utilisateur regarde les pages du livre au travers de l'application, il peut voir des modèles 3D sortir du papier. Cela lui permet de consulter les informations relatives au sujet de manière classique. Il a également la possibilité d'en observer une représentation virtuelle via une modélisation 3D qu'il peut déclencher selon ses besoins. Il peut ainsi l'étudier depuis différentes perspectives simplement en se déplaçant autour du livre [14, 32].

De la même manière, de Ravé et al. (2016) [14] ont développé le système " *DiedricAR* " qui est un système éducatif basé sur un cahier d'exercices classique pour enseigner la géométrie. Ce cahier est complété par des marqueurs de réalité augmentée qui, lorsqu'ils sont regardés au travers de l'application, vont déclencher la visualisation de modèles 3D et permettre une interaction (voir figures 15 et 16). Les exercices proposés par ce système consistent à dessiner des formes géométriques selon différents points de vue. Ils ont pour but d'améliorer la perception spatiale et les capacités de rotation des formes géométriques. Les auteurs ont observé que le groupe d'étudiants ayant utilisé le cahier et l'application de réalité augmentée ont démontré une meilleure et plus rapide intégration des connaissances que le groupe ayant utilisé le cahier d'exercices seul [14].

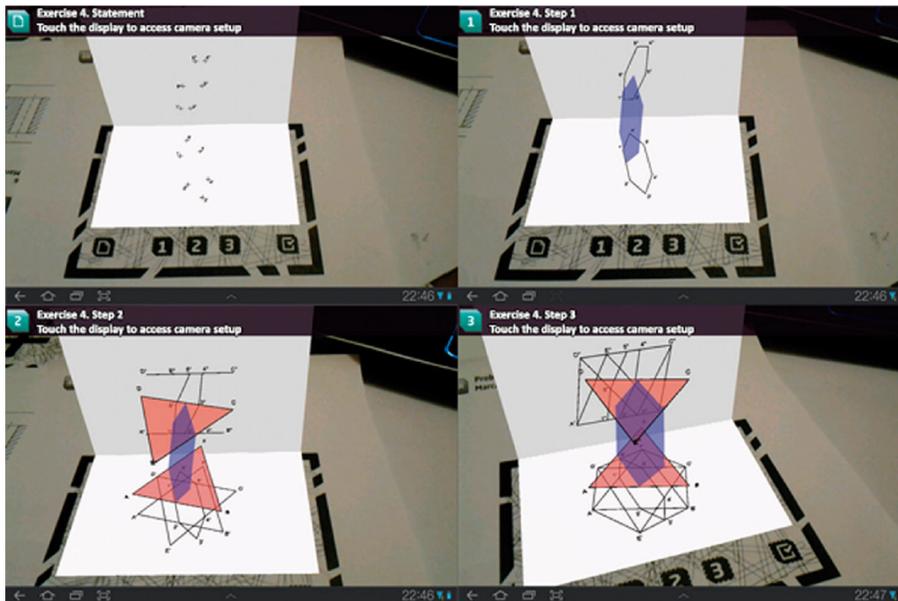


FIGURE 15 – Illustration d'exercices de l'application *DiedricAR* [14]

Sannikov et al. (2015) [49] ont développé " *Laboratory Work* " avec une attention toute particulière sur l'aspect attractif de leur application. Celle-ci donne pour contexte un laboratoire de physique permettant de réaliser une série d'expériences basées sur des phénomènes physiques et mathématiques. L'équipement de laboratoire est placé au centre de l'écran et une série de paramètres de l'expérience sont situés sur les côtés de l'image. Ce système est accompagné d'un menu de navigation conçu à l'image des interfaces de jeux vidéo (voir figure 17). En plus du côté attractif, l'application favorise le travail de l'enseignant en capturant des données éducatives concernant la manière avec laquelle l'étudiant effectue les expériences. Ces données sont accessibles à l'enseignant afin qu'il évalue les connaissances et la compréhension de l'étudiant. Cela lui permet d'adapter l'accompagnement pédagogique qu'il va apporter à chaque élève [49].

Un autre exemple d'application de réalité augmentée dans le domaine des sciences est l'application " *Element 4D* ". C'est une application éducative utilisant 4 dés en papier représentant 36 éléments chimiques du tableau périodique. Celle-ci permet de voir les dés sous forme de cubes transparents affichant le nom, le symbole, le numéro atomique et le poids atomique de l'élément observé. Lorsque deux éléments sont collés l'un à l'autre, il est possible de simuler une réaction entre eux en affichant l'équation chimique appropriée (voir figure 18).

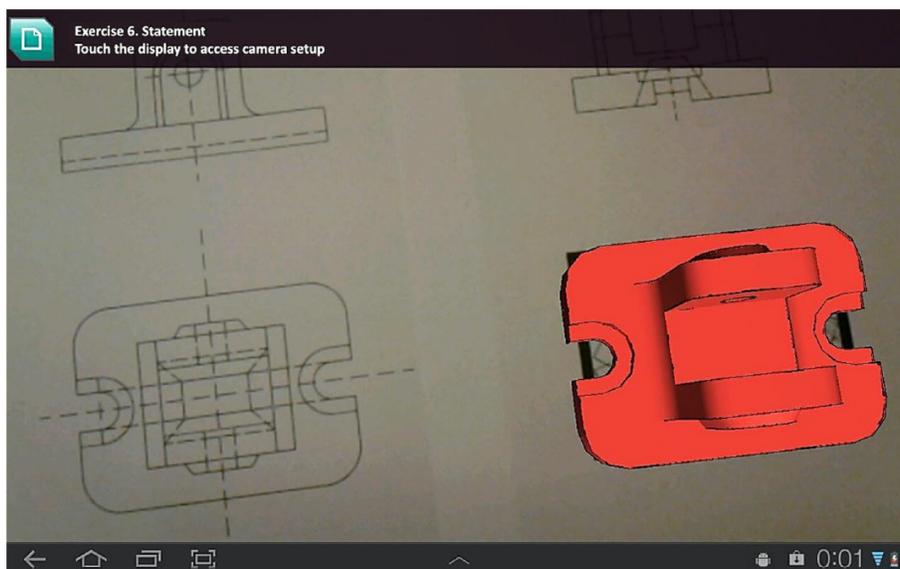


FIGURE 16 – Illustration d'un modèle 3D de l'application *DiedricAR* [14]

Pour tester et évaluer leur application, Yang et al. (2018) [66] ont fait appel à des enseignants et leurs ont proposé une interview. Leurs impressions étaient positives pour plusieurs raisons :

- L'application permet une visualisation directe, interactive et vivante, ce qui favorise la compréhension et renforce le contenu scolaire ;
- L'application permet de se préparer aux travaux pratiques en laboratoire en s'entraînant dans un environnement sécurisé ;
- L'application est une alternative intéressante pour l'enseignement dans les milieux ne disposant pas des infrastructures ou des matières premières pour réaliser des travaux pratiques ;
- L'application favorise la collaboration en poussant les étudiants à se rassembler pour faire des prévisions sur les réactions chimiques et obtenir un feedback rapidement.

Malgré ces évaluations positives, l'application a reçu quelques critiques. D'abord, les utilisateurs ont rencontré des problèmes techniques et de compatibilité matérielle. Les enseignants ont également évalué que l'application était encore insuffisante du point de vue pédagogique. Elle fonctionne bien pour l'apprentissage des bases de la chimie mais pas pour un niveau plus avancé et elle ne permet d'étudier que 36 éléments du tableau périodique. De plus, il faut davantage d'effets visuels pour représenter les réactions chimiques [66].

Malgré tous les avantages cités ci-dessus et les nombreuses études menées sur l'utilisation de la réalité augmentée pour l'éducation, on observe qu'elle n'est pourtant pas encore largement employée dans l'enseignement. Pour comprendre cela, Alkhatabi

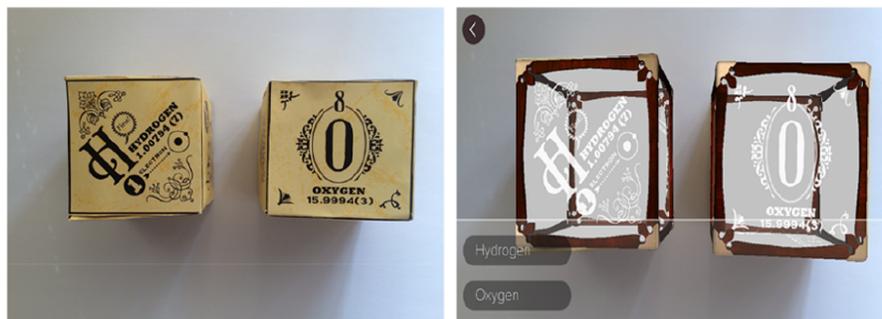


FIGURE 17 – Illustration du *Laboratory Work* proposant une interface attractive basée sur le jeu vidéo [49]

(2017) [1] a mené une étude sur un large groupe d'enseignants d'écoles primaires en Arabie Saoudite auxquels il a soumis un questionnaire afin d'évaluer leur volonté à intégrer la réalité augmentée dans l'éducation. Contrairement aux attentes de l'auteur, les professeurs étaient en grande majorité familiarisés avec la réalité augmentée (71.5 % pour les femmes et 83.5 % pour les hommes) et ils ont montré un haut niveau d'intérêt (79 %) pour l'intégrer dans leurs cours. Parmi les enthousiastes de cette technologie, 89.3 % pensent qu'elle serait facile à associer à leurs leçons et 96 % pensent qu'une utilisation régulière serait bénéfique pour l'apprentissage et la motivation des étudiants. L'auteur a également investigué les barrières qui, selon les enseignants, pourraient limiter l'implémentation de la technologie. Il en ressort que c'est le manque d'infrastructures et de compétences informatiques et la résistance au changement qui représentent les principales difficultés. Enfin, les professeurs indiquent que la réalité augmentée a le potentiel d'accroître l'engagement des élèves et de les aider à comprendre des concepts abstraits [1].

Le parcours de la littérature montre une évaluation généralement très positive de l'utilisation de la réalité augmentée dans l'éducation. Cela s'observe aussi bien chez les étudiants que chez les enseignants qui y trouvent un outil augmentant leur capacité de transmission des connaissances. Les études réalisées sur le sujet montrent que la réalité augmentée est un moyen efficace d'apprendre et qu'elle rencontre également beaucoup d'enthousiasme de la part des utilisateurs [14, 15, 45]. Certaines études, comme celle menée par de Ravé et al. (2016) [14], ont testé les performances éducatives de leur application face à un enseignement traditionnel. Dans le cas de cette étude, ils ont observé qu'elle a permis au groupe testé d'avoir des résultats 17.5 % meilleurs que ceux du groupe contrôle. De plus, l'application a également permis de réduire le temps de

(a) Blocks are placed separately.



(b) Blocks are placed next to each other.

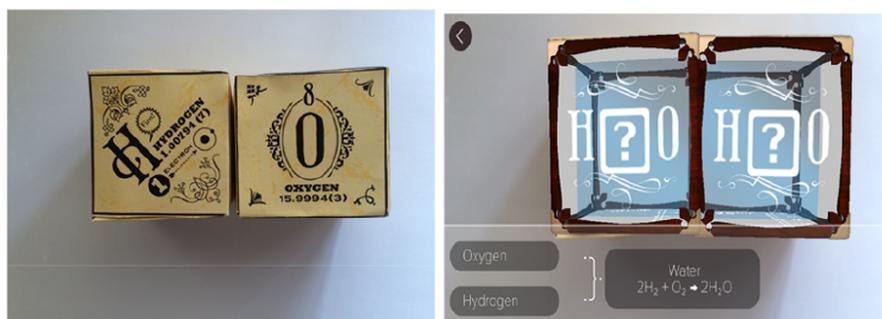


FIGURE 18 – Illustration d’une réaction chimique avec l’application *Element 4D* [49]

réponse de 8.1 % par rapport au groupe contrôle [14]. Cet effet bénéfique sur l’apprentissage est d’autant plus marqué chez les étudiants peu performants [10].

A côté de cet enthousiasme général, quelques auteurs pointent les impacts négatifs que la réalité augmentée peut provoquer. Dans certains cas, il arrive que les participants adhèrent moins à son utilisation. Ils estiment que ce n’est pas aussi efficace que la lecture d’un livre pour transmettre l’information. Cet avis négatif est généralement associé à des interfaces non-intuitives rendant compliquée la possibilité de retrouver des renseignements. Les problèmes peuvent également être liés à des défauts de performances techniques de l’application [45].

Une formation est parfois nécessaire pour apprendre à utiliser les outils de réalité augmentée. Les étudiants qui manquent de compétences dans son emploi peuvent vite se perdre dans l’outil. Cela risque alors de leur apporter davantage de confusion durant le processus éducatif et s’avérer délétère pour leur apprentissage. Il sera alors parfois nécessaire de fournir une formation aux étudiants pour leur apprendre à utiliser ce nouvel outil pédagogique. Ce problème de maîtrise de la technologie peut également

toucher les professeurs qui ont aussi besoin d'un accompagnement pour intégrer la technologie dans leurs cours [24, 64, 66].

Un autre point négatif est le risque de surcharge cognitive des étudiants lorsque les applications affichent un excès d'informations. L'utilisateur peut alors se perdre dans l'interface et il ne sera plus capable d'assimiler la matière. Il est alors conseillé d'accompagner les élèves dans une utilisation progressive de la réalité augmentée et de favoriser le contenu audio au contenu textuel [24, 64].

La littérature minimise tout de même ces évaluations négatives car les problèmes cités ci-dessus sont généralement liés à un défaut de design ou de conception plutôt qu'à l'essence de la réalité augmentée.

En revanche, Wang (2017) [64] pointe des défauts et des dérives structurellement liés à l'emploi d'applications de réalité augmentée dans les classes. Son utilisation risque d'induire des changements dans la manière avec laquelle les professeurs vont donner leur cours. En effet, incorporer des outils pédagogiques multimédia peut interrompre le flux normal de la leçon. Par exemple, projeter une vidéo ou une animation risque de casser le rythme de la classe et induire un délai dans les explications. Pour intégrer ces nouveaux outils, les enseignants devront revoir leur méthode pédagogique, basée sur un enseignement centré sur le professeur, pour aller vers un enseignement centré sur l'élève. L'auteur précise tout de même que l'utilisation d'appareils individuels permettrait aux étudiants d'observer le sujet d'étude sur l'application de réalité augmentée tout en écoutant les instructions de l'enseignant [64].

2.2.2 Musées

Besoins des musées

La transmission des connaissances dans les musées est organisée autour d'un élément central, l'artéfact culturel. C'est l'objet réel qui est considéré comme le moyen le plus adéquat pour communiquer un savoir. Il est supposé être meilleur que toute reproduction de lui-même. C'est pour cela que les expositions mettent ces artefacts en avant, dans une vitrine et sous les projecteurs. Tout est conçu autour de ces sujets qui communiquent leur histoire au travers de leur authenticité. Tout le reste n'est qu'un support qui participe à leur mise en valeur [35]. Ils sont généralement accompagnés de panneaux explicatifs, d'images, de cartes ou de vidéos qui vont guider le visiteur d'artéfact en artéfact [22].

Les musées rencontrent quelques difficultés dans cette mission de présentation des artefacts culturels. Des contraintes de différentes natures peuvent les empêcher d'exposer l'ensemble des pièces de leur collection. Il est possible que les locaux mis à disposition des musées soient trop petits. Dans d'autres cas, c'est la nature de l'artéfact culturel ou sa fragilité qui empêche de les exposer au public. Ce dernier problème, même s'il n'empêche pas de le présenter aux visiteurs, va limiter les interactions possibles entre eux. Il est impensable que les personnes puissent prendre les pièces d'exposition pour les observer sous différents angles ou les déplacer au travers de l'exposition pour comparer différents objets [65]. Pourtant, certains visiteurs souhaiteraient accé-

der à davantage d'informations sur les œuvres, ils cherchent à faire des liens entre les différents artefacts exposés [57].

Un autre besoin des musées concerne cette fois les visiteurs. Les musées réalisent la nécessité d'offrir une expérience plus captivante afin de les attirer davantage. En effet, étant noyés dans une multitude d'offres d'activités plus attractives les unes que les autres, les musées doivent redoubler d'efforts afin de maintenir l'attention du public. Une solution pour parvenir à cet objectif est de personnaliser l'expérience des personnes. Ces dernières années, les professionnels des musées se sont tournés vers un paradigme moins centré sur la transmission de connaissances. Ils s'intéressent davantage à l'expérience vécue par le visiteur. L'artefact devient plutôt un élément appartenant à un système beaucoup plus large qui représente une connaissance. Celui-ci est alors utilisé comme témoin de l'histoire qui est racontée au visiteur. Il peut également servir de moyen pour favoriser les interactions entre les visiteurs, ce qui participe à la transmission de connaissance attendue par les professionnels des musées [35].

Une autre manière de rendre leurs expositions plus attractives est d'y intégrer des technologies numériques. On remarque d'ailleurs que, déjà en 2003, environ 35 % des musées d'Europe avaient commencé à développer des procédés permettant des représentations 3D d'artefacts culturels. Les musées se lancent alors dans une course à l'intégration de techniques toujours plus innovantes pour rester compétitifs face à d'autres loisirs [65].

De cette analyse, nous avons identifié deux principaux besoins des musées qui sont la recherche de nouveaux moyens pour exposer l'ensemble des artefacts culturels et le souhait d'augmenter l'attractivité des musées par une personnalisation de l'expérience du visiteur et l'intégration de technologies innovantes.

La réalité augmentée pour les musées

Bien que quelques musées aient déjà intégré des technologies dans leurs locaux, ils ont encore beaucoup à explorer pour exploiter le potentiel des technologies émergentes. Parmi le catalogue de nouvelles technologies, la réalité augmentée est une technologie de choix pour répondre aux attentes. Elle a le potentiel de favoriser la personnalisation de l'expérience vécue par l'utilisateur tout en favorisant les interactions avec les artefacts représentés sous forme d'objets réels augmentés ou d'objets virtuels. De plus, elle peut être utilisée pour favoriser les interactions entre les visiteurs [35, 40].

Un des avantages de la réalité augmentée est qu'il est possible de l'implémenter à faible coût en matériel de visualisation. Les smartphones et les tablettes que les visiteurs transportent avec eux quotidiennement possèdent tous les capteurs nécessaires tels que les gyroscopes, les accéléromètres, les GPS, les micros, etc... Ils sont ainsi capables d'identifier les mouvements et la localisation de l'utilisateur, ainsi que d'interagir avec lui via la manipulation tactile et les commandes vocales [35].

Le premier exemple d'application de réalité augmentée présentée ici est celle de Cheng et al (2012) [12] qui proposent une solution afin de rendre les artefacts culturels

davantage accessibles aux visiteurs. Dans leur étude, les auteurs évaluent la possibilité d'offrir la capacité d'observer les objets culturels sous tous les angles. Pour cela, ils ont créé des représentations 3D des sujets à l'aide de scanners laser. Le laser fournit un modèle 3D de l'objet sans texture ni couleur. Les couleurs et les motifs sont ensuite capturés à l'aide d'une caméra digitale et positionnés sur le modèle 3D afin de générer un rendu 3D complet. A côté de cette reconstitution d'artéfacts culturels, Cheng et al (2012) [12] ont implémenté une fonction d'interaction avec ces objets virtuels. Cela permet aux visiteurs de les déplacer, de les pivoter ou de zoomer/dézoomer. L'interaction se fait sans matériel, l'utilisateur active la fonctionnalité simplement en "touchant" le bouton virtuel, c'est-à-dire en masquant le marqueur de l'action correspondante avec sa main (voir figure 19) [12].

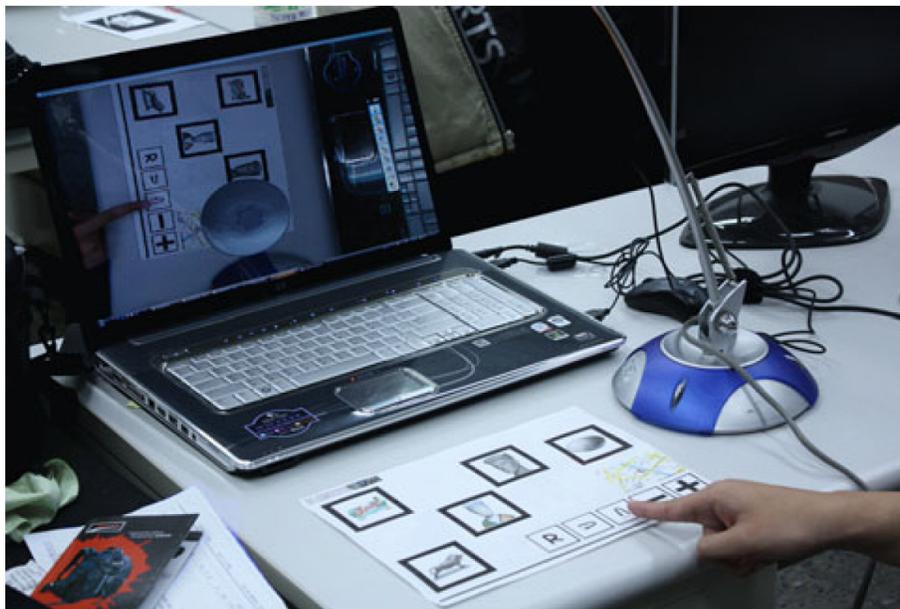


FIGURE 19 – Illustration de l'interaction avec un artéfact culturel scanné [12]

Ridel et al. (2014) [44] se sont également concentrés, dans leur étude, sur les artéfacts culturels en abordant une approche différente mais permettant également d'améliorer l'observation du sujet à l'aide de la réalité augmentée. Ils partent du constat que l'artéfact culturel est une preuve tangible permettant d'étudier le passé. Or, avec le temps, ces artéfacts ont été endommagés par l'usure et l'érosion empêchant d'observer les détails de l'objet. Pour restaurer ces aspects perdus, les auteurs ont développé l'application " *Revealing flashlight* " permettant de consulter l'objet simultanément avec une vue réelle et une vue virtuelle.

Leur système est mis en place en 3 étapes :

1. Une étape d'analyse minutieuse de l'artéfact afin de détecter des détails subtils tels que les courbures, les creux et les bosses présents à la surface de l'objet et

de créer un modèle virtuel très détaillé,

2. La seconde étape consiste à augmenter l'objet réel à l'aide d'un projecteur afin de mettre en évidence les détails identifiés lors de la première étape,
3. La troisième étape, relativement liée à la seconde, permet une interaction entre l'utilisateur et l'objet au moyen d'un outil représentant une lampe torche.

A l'aide de la lampe torche, l'utilisateur peut pointer l'artéfact culturel et mettre en évidence les détails cachés. La lampe propose trois modes d'interaction avec l'objet : cibler une zone spécifique, agrandir ou réduire (zoom) la zone observée et changer l'angle de luminosité. Le traceur du système de réalité augmentée va identifier le comportement de la lampe et va projeter en conséquence les détails générés lors du scan du sujet. La lampe torche donne donc l'impression de dévoiler l'objet tel qu'il était à l'origine avant d'être endommagé par le temps.

Ce système apporte une foule d'informations qui ne sont pas visibles à l'œil. De plus, l'utilisation de la lampe pour explorer les objets ajoute une dimension ludique rendant l'artéfact plus attractif et favorisant la concentration et l'apprentissage des visiteurs. De plus, il est possible d'accompagner le dispositif de méta-informations sous forme de textes et d'images. A côté de cet intérêt pour transmettre des connaissances aux visiteurs, c'est une application qui se révèle être très utile pour les archéologues et les conservateurs de musée. Elle facilite l'inspection des artéfacts et le développement des connaissances. Il est plus facile de consulter directement l'objet augmenté que de naviguer entre l'objet réel et sa représentation virtuelle détaillée via un écran à 2 dimensions. Il est, par exemple, beaucoup plus efficace pour décrypter des inscriptions à peine visibles (voir figure 20).

L'étude d'acceptation du système a révélé qu'il est très bien accueilli par les utilisateurs. Il fonctionne à la manière d'une lampe torche ordinaire pour mettre des objets en lumière (voir figure 21). L'étude indique que ce procédé est très facile à utiliser et à maîtriser. Il permet un haut niveau d'interaction et il est pratique pour faire le lien entre l'objet réel et l'objet virtuel [44].

Un autre exemple d'application de réalité augmentée permettant de mettre en avant l'artéfact culturel et la personnalisation de l'expérience du visiteur est l'étude de Zöllner et al. (2009) [67]. Les auteurs s'intéressent à la place et à la mise en scène des artéfacts culturels dans les musées. Les objets exposés sont extraits de leur site historique et présentés hors de leur contexte. Il y a donc là une perte de connaissance. La réalité augmentée propose de venir compenser ce manque en apportant de l'information digitale contextuelle telle qu'une reconstruction 3D de l'environnement d'origine de l'artéfact en surimpression de la réalité. Cela offre donc la possibilité d'observer des artéfacts originaux tout en visitant le site et l'époque d'origine. De plus, la réalité augmentée permet d'ajouter des renseignements sous forme de textes, d'images, de vidéos ou d'animations afin d'expliquer ce que voit le visiteur. Pour cela, les auteurs ont développé une application sur tablette qu'ils ont testé dans différents musées. Ils ont notamment proposé une reconstitution de Rome à l'exposition SIGGRAPH 2008 à Los Angeles, une reconstitution du mur de Berlin au CeBIT 2009 à Hanovre et une reconstitution des sites archéologiques de Satricum et du Forum Romain au Allard Pierson Museum à Amsterdam [67].

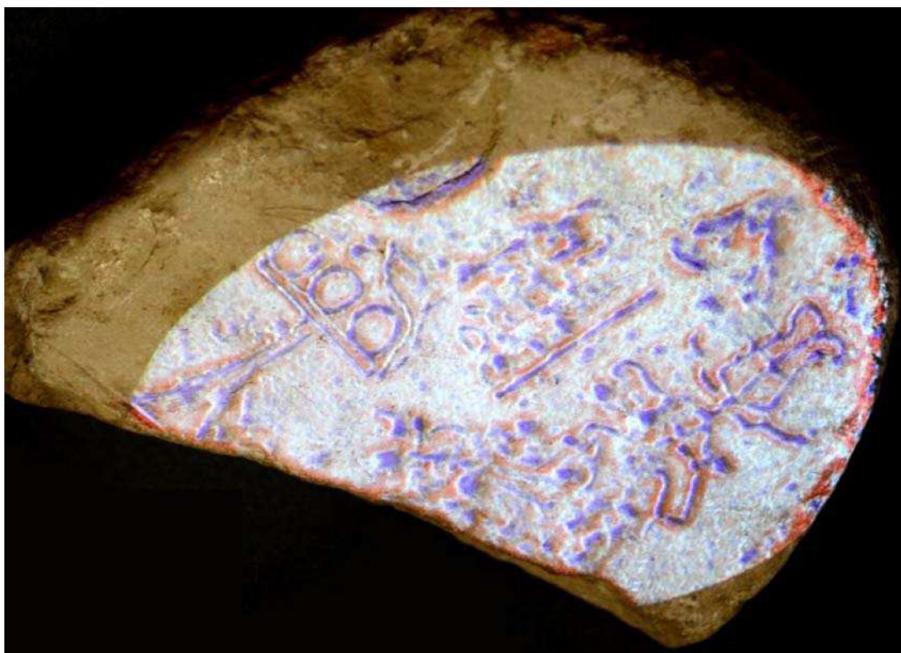


FIGURE 20 – Illustration de *Revealing flashlight* qui augmente les gravures d'un artéfact culturel via projection [44]

Matuk (2016) [35], quant à lui, s'intéresse aux moyens d'améliorer l'attractivité des visites dans les musées. Pour cela, il a identifié la narration comme puissant outil pour capter l'attention et communiquer des connaissances. La réalité augmentée offre la possibilité de créer un environnement narratif immersif et interactif qui favorise l'intérêt du visiteur et augmente l'apprentissage. Cette immersion narrative peut par exemple prendre l'aspect d'un jeu persistant qui va accompagner le visiteur tout au long de l'exposition. En arrivant à certains points d'intérêt, au travers de son appareil, il peut déclencher les différentes scènes de l'histoire et être invité à participer à des activités telles que la résolution de puzzles. Cela structure la visite en guidant le visiteur. La narration apporte l'information pertinente au moment adéquat pour rendre l'expérience utilisateur plus agréable. Cela l'aide également à être davantage concentré sur les artéfacts, ce qui facilite la transmission de connaissances [35]. Le visiteur va passer de la situation classique d'observateur vers un rôle plus actif. Il est immergé dans l'univers exposé, ce qui favorise l'impression de se trouver sur place. Il se sent alors plus impliqué et a tendance à se poser des questions sur le style de vie des gens de l'époque [40].

Une autre piste d'amélioration de l'expérience que les musées souhaitent mettre en avant est l'interaction entre les visiteurs. En effet, ils peuvent s'enrichir les uns les autres en partageant leurs avis et en participant à des activités collaboratives. Encore une fois, la réalité augmentée a la capacité de répondre à ce genre de besoin en offrant

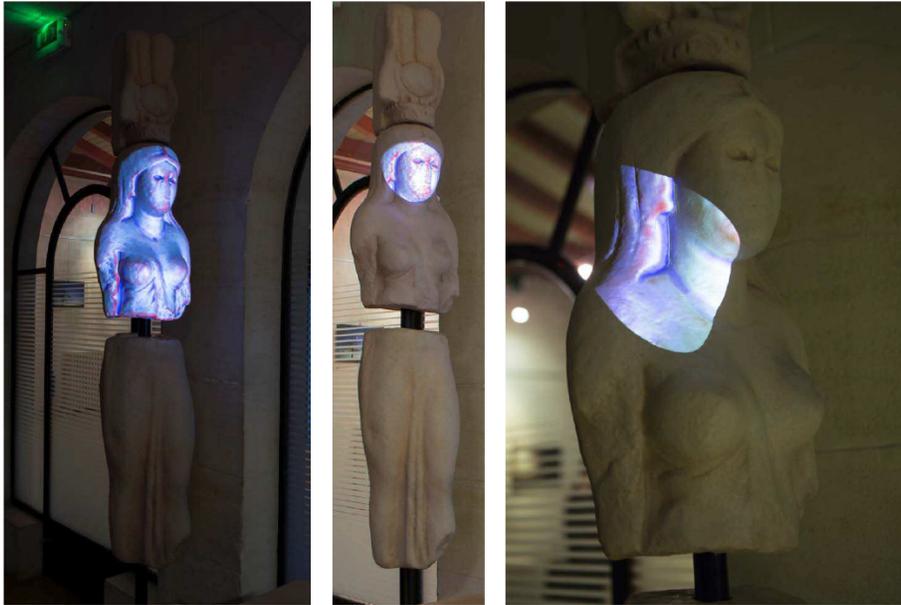


FIGURE 21 – Illustration de *Revealing flashlight* qui augmente les formes d'un artéfact culturel via projection [44]

une plateforme partagée qui encourage l'accomplissement d'objectifs communs. Les deux principaux mécanismes employés par les chercheurs du domaine sont l'interaction en face-à-face ou la co-présence de visiteurs éloignés physiquement ou temporellement. Pour exemple, une personne pourrait utiliser l'application de réalité augmentée pour commenter un endroit et laisser un message aux visiteurs qui le suivront. Ainsi, ils peuvent annoter virtuellement des objets réels ou créer des objets virtuels [35].

Malgré tous les bénéfices que peut apporter la réalité augmentée aux musées, son implémentation présente quelques barrières et difficultés. En effet, quelle que soit la problématique à laquelle l'application tente de répondre, Pedersen et al. (2017) [40] mettent en évidence l'importance de son acceptation par le public. Du point de vue du visiteur, il peut être difficile d'aller vers ce genre de nouvelle technologie lorsqu'on n'y est pas habitué. Pour que celle-ci soit acceptée dans le cadre des musées, il faut favoriser la facilité d'utilisation et guider l'utilisateur dans sa découverte de l'application. Si ces critères ne sont pas atteints, l'application peut être un échec et s'avérer inutile [40].

De plus, créer une application de réalité augmentée nécessite du matériel, des compétences techniques et des ressources. Par exemple, pour obtenir des représentations 3D des pièces d'exposition, les musées doivent acquérir du matériel très onéreux tel que des scanners 3D [12]. Il faut également noter que la mise en place de technologies repose généralement sur les équipes du musée qui ne sont pas spécialisées dans les outils informatiques. Il est alors nécessaire qu'ils aient à disposition des outils simples et efficaces pour mettre en place les systèmes avec des ressources limitées [65]. Une

fois celui-ci installé, il faut également prévoir une maintenance pour le pérenniser car, avec l'évolution des technologies, les outils vont progressivement se démoder et devenir obsolètes. Tout cela nécessite des ressources, ce qui va généralement à l'encontre des contraintes rencontrées par les professionnels des musées. Ils doivent mettre en place les expositions avec des exigences de délais assez courts et un budget souvent limité [35].

A côté des coûts, il existe un risque concernant la vie privée des visiteurs. En effet, les applications de réalité augmentée peuvent nécessiter pour leur utilisation normale des fonctionnalités de géolocalisation ou de reconnaissance faciale. L'application risque ainsi de devenir un outil de récolte de données pour les utilisateurs. Cela risque d'induire une sorte de traçabilité des personnes qui peuvent se sentir espionnés et perdre le contrôle de leurs données personnelles [35, 57].

2.2.3 Sites historiques

Besoins des sites historiques

Les sites historiques rencontrent des besoins similaires à ceux des musées. Premièrement, les éléments essentiels sont les vestiges archéologiques exposés aux visiteurs. La mission des conservateurs est de transmettre les connaissances contenues dans ces lieux en donnant des représentations les plus explicites possibles des vestiges au moment de leur âge d'or. Cela est nécessaire afin d'éviter les erreurs d'interprétation causées par une description trop abstraite des monuments disparus [13, 55]. Les conservateurs ont également pour mission de maintenir les sites dans leur état et d'empêcher leur dégradation par les touristes. Il est donc impossible de reconstruire les monuments perdus à leur emplacement d'origine sans aller à l'encontre de leur conservation. De plus, ce genre de chantier nécessiterait l'investissement de ressources colossales, ce qui n'est pas envisageable [11, 28].

Deuxièmement, les sites historiques visent également à améliorer l'expérience utilisateur. Pour atteindre cet objectif, ils recherchent de nouveaux moyens pour transmettre l'information pertinente au moment adéquat [29]. Actuellement, avec l'essor des appareils mobiles, les touristes ont davantage de facilités à trouver de l'information sur internet plutôt que de profiter des services proposés par les gestionnaires de sites historiques. C'est donc une nécessité de développer une offre multimédia attractive permettant d'apporter de la valeur ajoutée aux visiteurs [19]. Les médias classiques exploitant des supports audio, vidéo ou photographiques sont déjà largement répandus et régulièrement utilisés. Les sites historiques souhaitent alors se tourner vers des technologies davantage innovantes et interactives afin de rester compétitifs [20].

La seconde approche envisagée pour améliorer l'expérience utilisateur est de recourir à l'aspect ludique des nouvelles technologies. Elles doivent répondre aux attentes en termes d'esthétisme de l'outil, de plaisir d'utilisation et d'émotions vécues lors de la visite. C'est en répondant à ces attentes que les sites touristiques pourront augmenter l'implication et l'intérêt des visiteurs [21].

En résumé, le premier besoin des sites historiques est la mise en place de nouveaux moyens pour communiquer l'information de manière pertinente et explicite à propos des vestiges culturels. Le second besoin est d'augmenter l'attractivité en personnalisant l'expérience du visiteur et en intégrant des technologies innovantes.

La réalité augmentée pour les sites historiques

La réalité augmentée, par sa capacité à intégrer de l'information dans l'environnement immédiat du visiteur, est une technologie reconnue pour avoir un grand potentiel pour favoriser le tourisme des sites historiques. C'est pour cette raison que durant les 5 dernières années, quelques lieux culturels autour du monde ont commencé à l'inclure dans leurs visites [28]. Elle donne un accès rapide à l'information pertinente. En effet, Celle-ci peut être affichée à la demande de l'utilisateur et en fonction de son emplacement. Cela va alors éviter la surcharge d'informations. La réalité augmentée peut ainsi devenir la nouvelle génération de guide touristique. Bien que l'effet de mode soit passé, elle reste une technologie relativement jeune et est encore peu utilisée dans l'industrie touristique [20, 22]. La réalité augmentée peut fournir de l'information sous différentes formes de médias tels que du son, des images, des clips vidéo, des modèles 3D ou des liens vers des pages internet hors de l'application [29].

En plus de son utilité pour transmettre des connaissances, elle peut être un excellent moyen pour attirer le public à l'aide de la narration. Celle-ci peut prendre la forme d'une histoire qui va capter l'attention et générer des émotions. Cela va stimuler la mémoire et ainsi favoriser l'apprentissage [34].

Un exemple de mise en pratique de la réalité augmentée visant à concrétiser la représentation des sites historiques est "*ARCHEOGUIDE*". C'est une application développée pour les visites du site d'Olympie en Grèce. La visite des ruines se fait de manière classique et l'application installée sur les appareils mobiles sert à la fois de guide audio et de moyen de visualisation des monuments dans une version reconstruite. Les touristes peuvent ainsi apprécier la gloire passée des constructions d'époque mais également assister à des activités comme l'entraînement des athlètes dans le stadium (voir figure 22). "*ARCHEOGUIDE*" est un exemple parfait pour illustrer l'avantage de la réalité augmentée par rapport à une autre technologie telle que la réalité virtuelle. Elle laisse le visiteur profiter des vestiges qui existent dans la réalité et elle apporte également la possibilité de vivre une expérience virtuelle de l'antiquité. L'enquête réalisée auprès des personnes a permis de montrer une bonne évaluation de l'application. Celles-ci la trouvaient à la fois ludique et instructive [62]. Cette technique est plus intéressante que l'utilisation de simples films car elle apporte un contexte et permet une représentation du site culturel plus adapté à la perception humaine [11, 42].

En plus de servir de loisir culturel, "*ARCHEOGUIDE*" est également utilisé par les scientifiques. Les reconstitutions ayant été faites sur base d'études du site archéologique, l'application apporte une vision beaucoup plus concrète et pertinente de l'aménagement du site et facilite ainsi l'étude des activités de l'époque [22, 62].

Un autre exemple d'étude visant à apporter de l'information lors de visites de sites culturels a été réalisé par Down et al. (2016) [20] avec l'application "*The Voice of Oakland*". Cette application propose de parcourir les cimetières d'Oakland à Atlanta

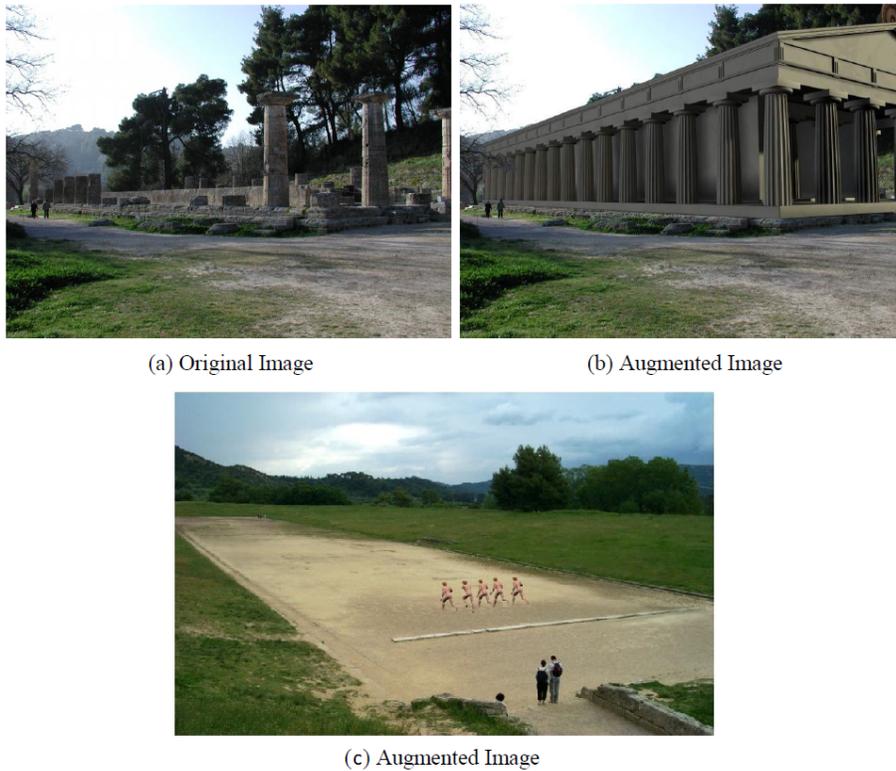


FIGURE 22 – Illustration d'ARCHEOGUIDE qui augmente le site historique d'Olympie en Grèce [62]

en étant guidé par les histoires de leurs résidents. Contrairement à la plupart des applications de la littérature, celle-ci propose de la réalité augmentée auditive plutôt que visuelle. Les auteurs ont fait ce choix pour éviter de distraire les promeneurs par rapports au site et parce que la réalité augmentée auditive est plus mature que son aspect visuel. De plus, cela facilitait le développement de l'application en s'adaptant aux contraintes des lieux ayant un aménagement fixe qui ne peuvent pas être altérés par des marqueurs ou des appareils technologiques. En conséquence, les auteurs ont choisi un système capable d'être supporté uniquement par les appareils apportés par les visiteurs.

L'application " *The Voice of Oakland* " est construite à l'image d'un guide touristique audio où les personnages historiques relatent les événements passés sous la forme d'une narration. Chaque résident s'adresse directement au visiteur et lui apporte son témoignage qui représente une petite partie d'une histoire plus globale. Cela s'appelle le " spatial narrative " et a pour but de structurer la découverte du visiteur et de lui offrir une expérience attrayante et culturelle. L'application fonctionne sur base de sa localisation et, en fonction de son emplacement, elle lui donne la possibilité d'écouter les histoires des locataires des tombes à proximité. L'utilisateur a le choix entre la vie du

personnage, les évènements historiques ou des informations architecturales. De plus, le narrateur donne des instructions pour poursuivre la visite.

Au cours de leur étude, les auteurs se sont intéressés à la manière dont était perçue l'application par les utilisateurs. De manière générale, les avis étaient positifs vis-à-vis de l'aspect narratif mais ils regrettaient d'être limités à certains endroits pour écouter les histoires alors qu'ils auraient préféré pouvoir se promener librement dans le cimetière [17].

Haugstvedt et Krogstie (2012) [22] ont réalisé une étude d'acceptation de technologie (TAM = technology acceptance model) pour l'utilisation de la réalité augmentée dans l'héritage culturel. Pour cela, ils ont fait une enquête sur leur application : "*The Historical Tour*". C'est une application touristique de réalité augmentée pour la ville de Trondheim en Norvège. Elle utilise la vidéo d'une tablette pour afficher en surimprimé les points d'intérêt. Ceux-ci permettent d'avoir une description de l'endroit et de consulter une série de photos historiques à l'aide d'une ligne du temps. L'application est complétée par une carte de la ville indiquant la position des autres points d'intérêt. Les auteurs de l'étude ont évalué l'acceptation de l'application par deux moyens. Le premier est un questionnaire en ligne avec une vidéo la présentant. Le second est un questionnaire pour des individus rencontrés dans les rues de Trondheim qui ont eu l'occasion de la tester. Les résultats indiquent que les gens sont intéressés par ce genre d'application. Ils estiment qu'elle peut leur apporter une expérience touristique agréable et qu'elle leur permet de découvrir et d'apprendre l'histoire de la ville. Les touristes sont le public le plus intéressé car ils sont là pour visiter les coins historiques, ce que favorise l'application. En revanche, les personnes qui vivent à Trondheim sont peu intéressés [22].

Bien que les utilisateurs reconnaissent l'intérêt de la réalité augmentée, il reste des obstacles à dépasser afin de l'exploiter dans le cadre des sites historiques. D'abord, ils ne sont pas tous enthousiastes avec son mode de fonctionnement. Ils estiment qu'il peut rapidement devenir ennuyant de devoir porter leur smartphone en permanence à la main et de le pointer dans toutes les directions à la recherche de contenu augmenté. Il est plus facile de stocker l'information utile sur le smartphone et de la consulter ponctuellement en cas de besoin [21]. De plus, beaucoup de visiteurs n'acceptent pas ce genre de technologie et préfèrent utiliser des ressources traditionnelles telles que les livres de voyage [20].

Un challenge supplémentaire pour l'acceptation des applications de réalité augmentée développées dans le contexte des sites historiques est leur caractère international. Des visiteurs de différentes cultures sont susceptibles de les utiliser, ce qui devrait influencer la manière de penser l'application et de concevoir son esthétique. Ils peuvent avoir des attentes radicalement opposées. Par exemple, certaines cultures décrites comme plus " masculines " par Jung et al. (2018) [28] vont rechercher davantage la performance tandis que des cultures plus " féminines " vont rechercher l'utilisabilité et le plaisir d'utilisation. Les professionnels des sites historiques sont dès lors encouragés à suivre une approche interculturelle pour la développer. Ce qui est d'autant plus important que les visiteurs l'utiliseront dans un but ludique plutôt que pour un besoin pratique [28].

A côté des soucis de design, les applications de réalité augmentée peuvent également rencontrer des problèmes de performance qu'il faudra absolument résoudre avant de pouvoir la distribuer. Il est nécessaire d'offrir une expérience de suffisamment bonne qualité afin d'éviter le rejet du public et l'abandon de l'application [20].

2.2.4 Expositions

Besoins des expositions

Contrairement aux musées et aux sites historiques, les expositions ne se servent pas d'artéfacts culturels précieux comme éléments essentiels de diffusion d'informations. Les sujets qui peuvent être exposés sont des objets construits pour l'exposition et avec pour intention de maximiser la transmission des connaissances. Le but recherché est de présenter des domaines culturels généralement abstraits tels que les sciences. Leurs besoins correspondent davantage à ceux rencontrés par l'éducation, c'est-à-dire offrir une représentation concrète des sujet abstraits exposés.

Pour le reste, les expositions rencontrent les mêmes besoins que les musées et les sites culturels en terme d'attractivité car ils offrent une transmission de connaissance reposant sur les mêmes formats. Ils cherchent notamment à offrir une expérience personnalisée et à favoriser les interactions entre visiteurs, ce qui participe à la transmission des connaissances [35]. De plus, ils voient également l'utilisation de technologies innovantes comme un moyen d'attirer le public [65].

La réalité augmentée pour les expositions

Les expositions concernant principalement des domaines techniques, ont généralement bien intégré l'utilisation de la technologie. Cependant, certaines expositions, présentant des sujets tels que la santé humaine, la biologie ou la médecine, suivent un schéma plus traditionnel [35].

Comme précédemment, la réalité augmentée permet d'apporter des solutions innovantes en offrant des outils de visualisation des domaines abstraits et en favorisant la personnalisation de l'expérience vécue par l'utilisateur. Par exemple, Matuk (2016) [35] s'intéresse à son emploi dans le cadre d'expositions de sciences du vivant. Comme il l'explique, les processus physiologiques tels que la respiration, le métabolisme ou les réactions allergiques reposent sur des mécanismes complexes cachés à l'intérieur du corps humain. Pour appréhender ce genre de sujet, il est nécessaire de posséder de grandes capacités de représentation spatiale, temporelle et contextuelle. C'est là que la réalité augmentée peut apporter une aide. Il est par exemple possible d'ajouter des objets virtuels interactifs sur une surface statique pour représenter toutes les interactions dynamiques. Pour ce genre d'application, l'auteur donne l'exemple de " *iSkull* " qui explore des modèles 3D du corps humain, du squelette et du cœur (voir figure 23) en les surimprimant par-dessus un document papier [35].

Pour optimiser leur attractivité, les expositions, comme les autres héritages culturels, peuvent faire appel au pouvoir de la narration au travers de la réalité augmentée. Elle peut intervenir pour raconter une histoire et accompagner le visiteur tout au long

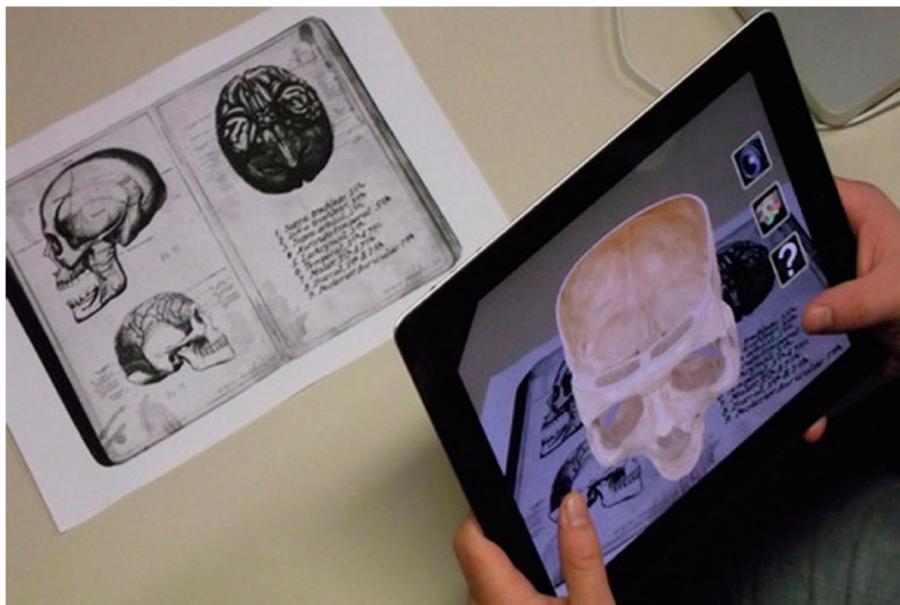


FIGURE 23 – Illustration d'*iSkull* qui affiche un crâne virtuel en réalité augmentée [35]

de son parcours. Cela va structurer sa visite et aider à être davantage concentré sur le contenu de l'exposition [35].

Comme précédemment, ces applications peuvent rencontrer des problèmes d'acceptation de la technologie. Bien que les visiteurs d'expositions sur des sujets techniques ou scientifiques soient davantage attirés par ces outils, l'application pourrait être délaissée si elle rencontre des soucis de performance ou d'utilisabilité. La création d'applications de réalité augmentée représente un coût élevé en ressources et en connaissances spécifiques qui reposent sur les équipes qui développent les expositions [35, 65].

2.3 Analyse critique

Dans les chapitres précédents, nous avons observé que la littérature nous offre une vision très positive de la réalité augmentée. Cependant, il n'est pas si simple d'intégrer ce genre de technologie dans la médiation scientifique sans rencontrer quelques contraintes. Pour réaliser une analyse critique de ce que nous venons de découvrir dans la littérature, appuyons-nous sur le constat de Dillenbourg et Evans (2011) [16]. Les auteurs ont identifié deux erreurs régulièrement faites lors de l'introduction de nouvelles technologies dans l'éducation.

La première erreur concerne la surgénéralisation. Cela correspond à la façon d'attribuer les résultats obtenus dans un contexte spécifique à l'entièreté du domaine. La meilleure approche consiste pourtant à reconnaître qu'il existe une grande variété de

design, d'applications et de mises en pratique qui apportent des bénéfices et des inconvénients qui peuvent varier en fonction du contexte où ils sont appliqués. L'environnement dans lequel l'étude est réalisée et les personnes accompagnant l'expérimentation ont un grand impact sur les résultats. La seconde erreur généralement rencontrée correspond aux attentes excessives envers la technologie. Dans les premiers temps, les nouvelles techniques de l'éducation promettent souvent de révolutionner le milieu. Cependant, une technologie par elle-même ne rend pas les étudiants intelligents ou motivés. Il ne faut pas oublier qu'elle doit s'intégrer dans le processus d'apprentissage qui a déjà mis en place un contexte pédagogique. Les résultats mesurés lors de l'étude vont dépendre de la manière avec laquelle l'enseignant s'approprie la technologie, de la façon dont l'étudiant est engagé et de la manière avec laquelle l'environnement est adapté et répond aux contraintes de la technique. Il faut donc éviter de développer des attentes excessives car elles finissent par causer des déceptions, de la frustration et du scepticisme excessif dont il est difficile de se défaire.

La réalité augmentée, comme toute technologie, n'a pas intrinsèquement d'effet pédagogique. Cette constatation est également vraie pour tout le matériel de classe tels que les tableaux, les projecteurs ou les manuels scolaires. Ce sont des outils d'enseignement qui ne sont pas intrinsèquement didactiques. C'est la méthode employée et la manière d'utiliser ces outils qui vont apporter un aspect éducatif à la transmission des connaissances. La réalité augmentée est donc un outil parmi d'autres qui peut avoir des propriétés utiles pour favoriser l'apprentissage. Elle apporte des fonctionnalités de visualisation qui vont concrétiser les connaissances, des fonctionnalités d'interaction qui vont encourager les échanges entre les utilisateurs et un côté ludique qui va augmenter leur motivation [16].

Selon Dillenbourg et Evans (2011) [16], pour évaluer si une technologie apporte un réel bénéfice à la transmission des connaissances, il y a une série de questions à se poser :

- Le système d'interaction doit être adapté : Des connaissances ou de la pratique sont-elles nécessaires pour utiliser l'outil ? Celui-ci risque-t-il de surcharger d'informations l'utilisateur ?
- Le système doit permettre les interactions sociales : Est-il possible de communiquer avec les partenaires pour exécuter des tâches ensemble ?
- Le système doit pouvoir s'intégrer dans le mode de transmission de la connaissance (classe de cours, musée, exposition, etc.) : L'information contenue est-elle pertinente ? Les ressources nécessaires (budget, temps, espace disponible, sécurité, etc.) sont-elles adaptées ?
- Le système doit être utilisable dans différents contextes : Ecole ? Musée ? Site historique ? Exposition ?

La plupart de ces questions sont abordées dans la littérature pour évaluer la pertinence des applications de réalité augmentée proposées. Cependant, l'aspect le moins exploré est l'organisation et les ressources nécessaires pour intégrer la technologie dans les modes de transmission existants. Le coût d'intégration touche évidemment l'ensemble des modes de médiation scientifique. En revanche, l'éducation est davantage touchée que l'héritage culturel car elle suit un schéma de transmission des connaissances très spécifique et codifié. Tandis que l'héritage culturel est beaucoup plus libre dans les

méthodes utilisées [16].

Dans le contexte de l'éducation, la littérature s'intéresse beaucoup à la manière avec laquelle la technologie est reçue par les étudiants et son efficacité pour transmettre des connaissances. En revanche, elle ne s'intéresse pas beaucoup aux besoins des enseignants. Ceux-ci doivent pourtant s'approprier les nouveaux outils et parvenir à les intégrer dans le flux normal du cours. Si l'enseignant ne parvient pas à les maîtriser, il risque de s'y perdre et cela pourrait avoir un impact négatif sur la qualité de son enseignement. Le nouvel outil ne doit pas l'empêcher de suivre les étudiants qui rencontrent des difficultés et d'effectuer les remises à niveau nécessaires. Le travail réalisé par les élèves doit pouvoir être enregistré pour être sujet à une évaluation ultérieure. Si la technologie ne parvient pas à répondre à ces impératifs, il est difficile d'imaginer qu'elle puisse s'intégrer largement dans l'instruction. La réalité augmentée en elle-même ne peut pas répondre positivement ou négativement à ces obstacles. Chaque application, en fonction de son design, devrait faire l'objet d'une évaluation afin de déterminer si elle satisfait à ces contraintes et représente un candidat potentiel pour une utilisation pédagogique.

La seconde contrainte peu discutée dans la littérature concerne les ressources nécessaires au développement des applications de réalité augmentée. En effet, ce genre de projet requiert beaucoup de temps et un minimum de compétences techniques. Dans le cas des applications les plus simples, il faut un minimum de maîtrise de l'outil de développement. Pour des applications plus complexes, il faut également acquérir quelques compétences de programmation. Le développement d'une application de réalité augmentée doit être réalisée par une équipe multidisciplinaire. Les spécialistes de l'éducation n'ont pas les compétences pour élaborer seuls ce genre d'outils informatiques. Il en va de même pour les experts de l'informatique qui ne sont pas sensibilisés aux méthodes pédagogiques et risquent de manquer l'objectif éducatif de l'outil. Ces deux spécialistes doivent travailler ensemble afin de produire un outil numérique adapté à l'éducation [46].

Une fois l'application prête pour son utilisation en contexte réel, il faut estimer les coûts de mise en place et d'intégration dans le paradigme existant de médiation scientifique. Si l'application s'appuie sur le matériel informatique apporté par les utilisateurs (smartphone ou tablette), le coût matériel peut rester relativement restreint. En revanche, lorsque ce sont les professionnels de la médiation scientifique qui gèrent le matériel mettant en scène la réalité augmentée, par exemple en implémentant un système basé sur un système de projection, les coûts peuvent alors rapidement augmenter. De plus, il ne faut pas oublier de prévoir un coût de maintenance du matériel et du logiciel. En effet, ceux-ci vont progressivement être dépassés et obsolètes avec l'évolution des technologies.

Un autre défaut identifié dans la littérature est la fiabilité des études réalisées pour évaluer le potentiel éducatif et la pertinence des applications proposées. De manière générale, les applications de réalité augmentée sont soumises à un groupe d'utilisateurs afin d'évaluer les connaissances acquises et l'attrait que génèrent celles-ci. Le groupe testé est sélectionné sur base des connaissances préalables des individus à pro-

pos du sujet étudié. Les personnes vont généralement subir un test de connaissance avant et après utilisation de l'application afin d'évaluer son efficacité pour transmettre de l'information et favoriser son intégration. Un questionnaire de motivation leur est également proposé dans le but de récolter leurs impressions sur l'intérêt que représente l'application. Quelques méthodes d'évaluation des connaissances et de la motivation des utilisateurs sont détaillées dans l'annexe 1.

Le principal problème identifié dans ces études est l'absence régulière de groupe contrôle qui permettrait d'évaluer l'impact de la réalité augmentée pour la transmission de connaissances. En effet, tester l'application seule permet d'évaluer si elle est capable d'enseigner quelque chose aux utilisateurs mais cela ne permet pas de démontrer que son emploi est plus efficace qu'un enseignement sans application. C'est là qu'apparaît l'importance d'utiliser un groupe contrôle. Sans ce point de comparaison, il est impossible d'évaluer si l'application apporte un réel bénéfice. Cette absence de groupe contrôle peut parfois s'expliquer par différentes raisons. Il est souvent compliqué de rassembler un nombre suffisant de volontaires pour tester l'application et obtenir des résultats significatifs. Il serait alors encore plus difficile de doubler le nombre de participants pour former un groupe contrôle. De plus, en fonction de l'application, il n'est pas toujours possible de concevoir une expérience faisant appel à un groupe contrôle. Dans certains cas, supprimer l'application serait absurde car il n'y aurait plus aucun support à la transmission des connaissances. Si les alternatives existent, il est tout de même envisageable d'utiliser d'autres moyens de médiation plus courants tels que des vidéos ou des animations sur écran pour former le groupe contrôle.

Après cette revue critique, on peut se demander quel genre d'application pourrait répondre le mieux aux attentes de la médiation scientifique. Pour cela, réalisons une analyse de l'ensemble des applications évoquées précédemment et évaluons-les selon quatre questions :

- (Q1) L'application perturbe-t-elle le format de médiation existant ?
- (Q2) L'application nécessite-t-elle un effort d'adaptation ou de développement des professionnels du secteur ?
- (Q3) L'application est-elle généralisable à d'autres domaines du format de médiation ?
- (Q4) L'utilisation de la réalité augmentée apporte-t-elle un bénéfice par rapport à d'autre moyens de médiation ?

La figure 24 reprend une courte description de l'ensemble des applications évaluées et les réponses apportées aux questions ci-dessus. La première observation que nous pouvons tirer de cette analyse est la similitude entre les réponses pour un même domaine d'application. En revanche, les résultats mettent en évidence des contraintes spécifiques à chaque moyen de médiation. C'est pour cette raison que l'analyse des réponses aux questions sera réalisée dans un domaine d'application à la fois.

Auteur	Description	Domaine d'application	Média	Question 1 - L'application perturbe-t-elle le format de médiation existant ?	Question 2 - L'application nécessite-t-elle un effort d'adaptation ou de développement des professionnels du secteur ?	Question 3 - L'application est-elle généralisable à d'autres domaines du format de médiation ?	Question 4 - L'utilisation de la réalité augmentée apporte-t-elle un bénéfice par rapport à d'autres moyens de médiation ?
Diaz et al. (2015) (Article 3)	Cours de physique sous forme d'animation 3D	Education	Animation 3D + texte et audio	Oui, si intégration en classe Non, si contenu additionnel pour l'étudiant	Non, si on estime que l'outil est mis à disposition des enseignants (exemple accompagnant un manuel scolaire)	Oui, généralisable pour différents domaines de l'éducation	Contenu présentable sous d'autres formats L'AR facilite les changements de point de vue
Ravé et al. (2016) (Article 5)	DiedricAR – Cahier d'exercices classiques avec des marqueurs AR offrant une représentation 3D additionnelle	Education	Modèles 3D	Non, si contenu additionnel pour l'étudiant Impact limité si intégration en classe	Non, si on estime que l'outil est mis à disposition des enseignants (exemple accompagnant un manuel scolaire)	Oui, généralisable pour différents domaines de l'éducation	Contenu présentable sous d'autres formats L'AR facilite les changements de point de vue
Sannikov et al. (2015) (Article 6)	Laboratory Work – Application mettant en scène un laboratoire virtuel permettant de réaliser des expériences de physique	Education	Modèles 3D interactifs	Oui, changement par rapport aux méthodes d'expérimentation classique	Oui, l'enseignant doit passer d'un mode de travaux pratiques réels à un mode virtuel	Oui, généralisable pour différents domaines incluant du travail de laboratoire	Contenu présentable sous d'autres formats L'AR facilite les changements de point de vue

Auteur	Description	Domaine d'application	Média	Question 1 - L'application perturbe-t-elle le format de médiation existant ?	Question 2 - L'application nécessite-t-elle un effort d'adaptation ou de développement des professionnels du secteur ?	Question 3 - L'application est-elle généralisable à d'autres domaines du format de médiation ?	Question 4 - L'utilisation de la réalité augmentée apporte-t-elle un bénéfice par rapport à d'autres moyens de médiation ?
Yang et al. (2018) (Article 39)	Element 4D – Jeux de dés permettant d'étudier les réactions chimiques	Education	Modèles 3D interactifs	Oui, si intégration en classe Non, si contenu additionnel pour l'étudiant	Oui, l'enseignant doit apprendre le fonctionnement de l'application	Non, spécifique à la chimie, peu de similarités dans d'autres domaines	Système nécessitant l'AR qui mélange des objets réels et une interaction virtuelle additionnelle
Cheng et al (2012) (Article 52)	Application permettant la manipulation virtuelle d'artefacts culturels	Musées	Modèles 3D interactifs	Oui, intégration d'un espace dédié à l'utilisation de l'application	Oui, application à la charge des professionnels du musée	Oui, généralisable pour différents musées	Contenu présentable sous d'autres formats L'AR ne présente pas beaucoup d'intérêt car l'interface implique des changements de point de vue
Ridel et al. (2014) (Article 20)	Revealing flashlight – Lampe permettant d'augmenter les artefacts culturels	Musées	Augmentation lumineuse d'une surface	Oui, intégration d'un moyen d'interaction entre visiteurs et artefacts culturels	Oui, application à la charge des professionnels du musée	Oui, généralisable pour différents musées	Système nécessitant l'AR qui mélange des objets réels et des informations virtuelles additionnelles

Auteur	Description	Domaine d'application	Média	Question 1 - L'application perturbe-t-elle le format de médiation existant ?	Question 2 - L'application nécessite-t-elle un effort d'adaptation ou de développement des professionnels du secteur ?	Question 3 - L'application est-elle généralisable à d'autres domaines du format de médiation ?	Question 4 - L'utilisation de la réalité augmentée apporte-t-elle un bénéfice par rapport à d'autres moyens de médiation ?
Zöllner et al. (2009) (Article 19)	Application apportant un contexte virtuel aux artefacts culturels	Musées	Modèles 3D + texte, audio et vidéo	Oui, nécessite un aménagement de l'environnement autour des artefacts culturels	Oui, application à la charge des professionnels du musée	Oui, généralisable pour différents musées	Système nécessitant l'AR qui mélange des objets réels et des informations virtuelles additionnelles
Vlahakis et al. (2001) (Article 16)	ARCHEOGUIDE – Offre une représentation 3D des monuments historiques reconstruits	Sites historiques	Modèles 3D animés	Non, utilisation de l'aménagement existant des sites culturels	Oui, application à la charge des professionnels du site historique (cependant, l'application bénéficie aux chercheurs du site)	Oui, généralisable pour différents sites historiques	Système nécessitant l'AR qui mélange des objets réels et des informations virtuelles additionnelles
Down et al. (2016) (Article 29)	The Voice of Oakland – Visite guidée audio des cimetières d'Atlanta	Sites historiques	Audio	Non, utilisation de l'aménagement existant des sites culturels	Oui, application à la charge des professionnels du site historique	Oui, généralisable pour différents sites historiques	L'application correspond à un guide audio, l'AR apporte uniquement la gestion de la géolocalisation
Haugstvedt et Krogstie (2012) (Article 17)	The Historical Tour – Apporte des informations additionnelles des points d'intérêt de Trondheim en Norvège	Sites historiques	Textes et photos	Non, utilisation de l'aménagement existant des sites culturels	Oui, application à la charge des professionnels du site historique	Oui, généralisable pour différents sites historiques	L'application apporte des images et du texte, l'AR apporte uniquement la gestion de la géolocalisation

Auteur	Description	Domaine d'application	Média	Question 1 - L'application perturbe-t-elle le format de médiation existant ?	Question 2 - L'application nécessite-t-elle un effort d'adaptation ou de développement des professionnels du secteur ?	Question 3 - L'application est-elle généralisable à d'autres domaines du format de médiation ?	Question 4 - L'utilisation de la réalité augmentée apporte-t-elle un bénéfice par rapport à d'autres moyens de médiation ?
Matuk (2016) (Article 14)	iSkull – Offre une représentation 3D des organes du corps humain	Exposition	Modèles 3D	Non, augmentation des supports informationnels existants	Oui, application à la charge des professionnels de l'exposition	Oui, généralisable pour différentes expositions	Contenu présentable sous d'autres formats L'AR facilite les changements de point de vue

FIGURE 24 – Analyse critique des exemples d'applications de réalité augmentées présentées dans le mémoire

Concernant l'éducation, les questions 3 et 4 montrent que trois applications sur les quatre présentées ne font qu'adapter en réalité augmentée un contenu (animations 3D et simulations) qui serait également disponible sur un environnement informatique plus classique. L'utilisation de la réalité augmentée offre tout de même l'avantage de pouvoir naviguer autour des modèles 3D beaucoup plus facilement et naturellement. C'est la raison pour laquelle ce format semble aisément généralisable aux autres domaines de l'éducation. L'application " *Element 4D* ", en revanche, propose des fonctionnalités plus innovantes et nécessite l'utilisation de la réalité augmentée (mélange de réel et de virtuel). De plus, elle semble être bien adaptée au domaine de la chimie mais peu transposable à d'autres sujets.

Lorsqu'on s'intéresse aux réponses obtenues à la première et à la deuxième question, on remarque que l'application " *DiedricAR* " semble être la meilleure piste pour introduire la réalité augmentée dans les classes. En supposant que l'application soit développée lors de la rédaction du cahier d'exercices et que l'ensemble soit fourni aux écoles, c'est l'application qui s'avère la moins contraignante du point de vue de l'adaptation des enseignants. Le cahier est un outil pédagogique complet à lui seul mais il offre une visualisation 3D additionnelle permettant de faciliter la compréhension des étudiants. Que la réalité augmentée soit utilisée lors du travail personnel des élèves ou dans le cadre du cours, c'est l'option qui s'intègre le mieux au format pédagogique actuel.

L'analyse effectuée au niveau des applications pour les musées montre qu'elles exploitent davantage les fonctionnalités spécifiques à la réalité augmentée que les exemples de l'éducation. Deux applications sur trois augmentent l'artéfact réel en installant un contexte virtuel autour de l'objet. Par contre, la troisième application, celle qui permet de manipuler des artéfacts virtuels, pourrait être développée sur un matériel informatique plus classique. De plus, elle propose des fonctionnalités pour naviguer autour de l'objet, ce qui réduit davantage l'intérêt d'utiliser la réalité augmentée.

Comme le type d'artéfact présenté peut être spécifique au musée, il est difficile de faire une application unique utilisable dans l'ensemble du domaine. Le développement de ce genre d'outil va donc reposer sur les ressources des professionnels. En revanche, comme tous les musées ont une organisation centrée sur les artéfacts, le principe de ces applications est transposable à tous les musées. Il ne semble donc pas y avoir de choix particulièrement meilleur qu'un autre. L'application doit être développée pour répondre aux contraintes de chaque musée.

Concernant les sites historiques, l'analyse montre que deux des applications exploitent la réalité augmentée efficacement en ajoutant des objets ou des monuments virtuels dans un contexte réel. La troisième application n'est qu'une adaptation des guides audio traditionnels en application de réalité augmentée. La seule distinction entre elle et les guides audio est l'utilisation de la géolocalisation pour dispenser l'information au moment opportun.

Il est également intéressant de noter que la réalité augmentée ne réclame aucun aménagement dans le cadre des sites historiques. Leur objectif est de conserver les vestiges en l'état et d'éviter toute détérioration. En revanche, chaque site ayant son aménagement spécifique et des monuments différents, le développement des applica-

tions de réalité augmentée repose sur les professionnels. Ce genre d'application est transposable à l'ensemble des sites historiques car ils ont le même principe de fonctionnement. Comme pour les musées, il ne semble pas y avoir d'application mieux adaptée qu'une autre, elle doit s'adapter aux contraintes du site.

Enfin, le nombre d'exemples obtenus dans le contexte des expositions ne permet pas de tirer de conclusion de l'analyse réalisée. On constate simplement que l'application " *iSkull* " n'exploite pas beaucoup les fonctionnalités de la réalité augmentée car la visualisation de modèles 3D et d'animation est réalisable sur du matériel informatique classique. La réalité augmentée ne fait qu'améliorer la navigation autour des objets virtuels. Etant donné le mode de présentation des connaissances qui est similaire à celui des autres héritages culturels, on s'attend à ce que chaque application soit pensée en fonction des contraintes de l'exposition.

En conclusion, le meilleur moyen d'intégrer la réalité augmentée dans la médiation scientifique dépend fortement de la méthode.

Pour ce qui est de l'éducation, le moyen le plus efficace pourrait donc être l'utilisation de supports pédagogiques existants tels que des manuels de cours. Ces outils doivent être complets et utilisables sans la réalité augmentée. Ceux-ci seraient alors améliorés à l'aide d'une application offrant une visualisation 3D et animée des concepts abstraits décrits dans le manuel. Cela a pour but de concrétiser les connaissances contenues dans l'outil pédagogique et d'aider les étudiants rencontrant des difficultés de visualisation.

Pour la médiation scientifique dans le cadre des héritages culturels, il ne semble pas y avoir d'applications particulièrement plus adaptées que d'autres. Cela s'explique par le peu de format existant dans ces formes de médiation et par le manque de régularité entre les différents musées, sites historiques ou expositions. Chaque application devrait être développée pour répondre aux contraintes spécifiques de chaque situation. Cependant, cela signifie que ce sont les professionnels des héritages culturels qui devront apporter les ressources nécessaires à l'intégration de la réalité augmentée au sein des musées, des sites historiques ou des expositions. Cela risque donc d'être un frein à son développement dans ces contextes.

3 Prototype

Afin d'évaluer les possibilités d'intégrer la réalité augmentée dans les activités du Confluent des Savoirs, nous avons conçu deux prototypes. Le premier a été réalisé dans le but d'évaluer et de documenter les connaissances et les compétences nécessaires à l'élaboration de tels projets. Il a servi de base au développement d'un second prototype utilisable dans le cadre des expositions du Confluent des Savoirs. Celui-ci est mis à leur disposition afin d'évaluer l'intérêt que peut représenter la réalité augmentée dans leurs activités.

3.1 Objectifs

Le prototype développé a été créé dans le but de répondre aux attentes du Confluent des Savoirs dans leur intention d'introduire la réalité augmentée dans leurs activités d'accueil de classes scolaires et d'organisation d'expositions temporaires. Il est réalisé en gardant à l'esprit les difficultés que peut rencontrer ce genre d'organisme dans la production de projets de réalité augmentée. Comme décrit précédemment, ces barrières sont le manque de connaissance des outils de développement et d'informatique, ainsi qu'un coût important en terme de temps de développement et en terme financier pour le matériel. Le premier objectif était donc de proposer un prototype qui puisse être réalisé à l'aide d'outils faciles à manier et nécessitant peu de compétences informatiques. Son développement, son utilisation et sa maintenance doivent être le moins coûteux possible.

Pour répondre à ce premier objectif, nous avons choisi un outil de développement adapté à ces contraintes. A l'aide de cet outil, nous avons expérimenté diverses fonctionnalités de réalité augmentée afin d'identifier celles qui respectaient nos impératifs et celles qui ne nécessitaient pas trop de compétences informatiques ou de ressources. Ce prototype est accompagné d'un manuel de développement (en annexe 2) à l'intention du Confluent des Savoirs. Le but est de leur permettre de reproduire ces fonctionnalités afin de concevoir une application adaptée à leurs besoins suivant l'évolution des sujets exposés.

Le second objectif est de développer un prototype prêt à l'emploi. Pour cela, les différentes fonctionnalités du premier prototype leur ont été proposées afin d'identifier celles qui peuvent répondre à leurs besoins. Sur base de cette présentation et sur base de leurs prochaines expositions, nous avons déterminé le contenu éducatif à intégrer à ce nouveau prototype.

3.2 Choix des outils

Comme décrit ci-dessus, nous avons recherché l'outil idéal pour développer une application de réalité augmentée nécessitant le moins de compétences possibles et au coût le plus faible. La prospection s'est faite à l'aide des articles récents de la littérature qui mettent en avant l'utilisation de Unity3D couplé au SDK Vuforia [3, 14, 15, 23, 24].

Unity3D est une plateforme de développement permettant de créer des environnements 3D tels que des jeux vidéo. Il fonctionne sur base de l'exploitation d'objets virtuels appelés "*GameObjects*" qui supportent la représentation graphique de l'application [3]. C'est un excellent choix pour notre prototype car il offre une interface graphique permettant de créer et d'intégrer facilement les "*GameObjects*". Unity3D permet également d'inclure des scripts aux objets pour induire des comportements et des interactions entre eux et avec l'utilisateur. Tout cela en fait un outil très complet offrant la possibilité de produire une infinité d'applications.

Un autre élément important dans le cadre de la facilité d'emploi est la documentation disponible avec Unity3D. Premièrement, l'application est livrée avec quelques tutoriels intégrés permettant aux novices de développer leurs compétences. Pour acquérir des capacités avancées, il existe également des modules d'apprentissage prévus pour les étudiants avec le "*Unity Student Plan*" ou pour tout autre utilisateur avec un accès Premium [58]. Ensuite, Unity3D dispose d'un manuel utilisateur complet permettant d'apprendre à exploiter l'éditeur [59]. C'est un outil très utilisé, principalement dans le développement de jeux vidéo, ce qui signifie qu'il dispose d'une très grande communauté pouvant apporter du support et de nombreux tutoriels sont disponibles en ligne.

Un autre avantage de Unity3D est qu'il offre la possibilité de générer des packages exécutables pour une série de plateformes parmi lesquelles on retrouve les systèmes d'exploitation mobiles tels que Android et iOS [46, 49]. De plus, Unity3D propose une licence "*Personal Edition*" gratuite pour des utilisations non-commerciales et pour des utilisations commerciales d'entreprise générant moins de 100.000 \$ de revenus [58].

En plus des avantages décrits ci-dessus, Unity3D peut également intégrer le SDK Vuforia, un outil très largement utilisé et apprécié dans la littérature pour réaliser des applications de réalité augmentée et qui offre les fonctionnalités nécessaires. Il fournit notamment les fonctions de tracking et de sélection de marqueurs. Cette dernière est une des forces de Vuforia car elle procure au développeur une grande liberté pour choisir ses marqueurs : images ou objets. C'est à l'aide de ces marqueurs que le concepteur pourra intégrer les éléments virtuels dans la réalité [3, 14, 15, 23, 24].

Nous nous sommes également intéressés à Spark AR Studio, une plateforme de développement d'applications de réalité augmentée produite par Facebook. C'est un outil récent et gratuit dont la version beta fut mise à disposition du public en août 2019 et qui a pour but d'être accessible au plus grand nombre. C'est donc un outil prometteur car il a été conçu pour faciliter la création d'applications de réalité augmentée pour Facebook et Instagram, des plateformes appartenant à l'entreprise. De plus Facebook, propose de nombreux tutoriels pour aider les créateurs à développer leurs applications [54].

Cependant, Spark AR Studio n'a pas été retenu car il présente des contraintes trop importantes. Premièrement, les applications ne peuvent être publiées que sur Facebook ou Instagram, ce qui oblige l'utilisation de ces plateformes pour leur exploitation. Deuxièmement, la publication de l'application est soumise à l'approbation de Facebook qui s'octroie dix jours d'évaluation pour juger si elle peut être publiée. Enfin, Spark AR Studio n'autorise qu'une seule fonctionnalité de réalité augmentée par application. Par exemple, un seul marqueur peut être reconnu par l'application. Il faut

donc créer une seconde application lorsque l'on souhaite travailler avec un deuxième marqueur [53]. Tout cela nous rend beaucoup trop dépend de Facebook pour être un outil acceptable dans le contexte du Confluent des Savoirs.

3.3 Développement du prototype

Pour élaborer le prototype, nous devons préalablement faire quelques choix qui déterminent les fonctionnalités de notre application.

Premièrement, pour répondre aux contraintes décrites ci-dessus en termes de coût et de matériel, nous avons développé un prototype pour appareil mobiles tels que des tablettes ou smartphones. Ce choix est motivé par le fait que ces appareils mobiles, particulièrement bien adaptés à l'utilisation de la réalité augmentée, sont en possession de la plupart des visiteurs du Confluent des Savoirs. Ils utiliseront leurs propres appareils et aucun matériel ne devra être mis à disposition. Comme ils les utilisent quotidiennement, ils en ont un niveau de maîtrise minimum, ce qui facilitera la prise en main de l'application. Il suffit alors de la mettre à disposition des visiteurs et ceux-ci pourront l'installer sur leur machine et l'utiliser librement. Autre avantage, pour les personnes qui n'ont pas d'appareils, le Confluent des Savoirs dispose de quelques tablettes qu'ils peuvent mettre à disposition. Enfin, ce choix est parfaitement aligné avec l'utilisation de Unity3D qui offre la possibilité d'exporter l'application sur Android ou iOS.

Par contre, les systèmes de réalité augmentée par casque ou par projecteur n'ont pas été retenus. Ils nécessitent, en effet, du matériel spécifique et onéreux. Cela représente donc un coût trop élevé par rapport aux ressources disponibles.

Le second choix à faire pour notre prototype porte sur l'utilisation de marqueurs. Comme pour la plupart des exemples d'applications de réalité augmentée décrites ci-dessus, nous utilisons des marqueurs qui servent de déclencheurs pour les différents objets de réalité augmentée. Ce choix est motivé par la volonté de dispenser l'information pertinente au moment opportun. L'alternative à cette implémentation, la réalité augmentée sans marqueur, n'est pas retenue car elle ne répond pas aux requis. Il serait également possible d'afficher les objets de réalité augmentée sans marqueurs. Cela permettrait d'afficher n'importe quelle information dans n'importe quel contexte. Or ce n'est pas adapté aux besoins du Confluent des Savoirs.

3.3.1 Choix des marqueurs

La première étape dans le développement d'un projet de réalité augmentée avec Unity3D est la création d'un "*ImageTarget*". C'est un "*GameObjet*" qui rassemble les éléments essentiels à la fonctionnalité de réalité augmentée. D'un côté, cet objet contient le marqueur qui sera détecté par l'application et, de l'autre, il est associé à d'autres "*GameObjects*" qui seront affichés lors de la détection du marqueur. Il faut alors commencer par définir la nature de l'image qui servira de marqueur à l'aide de la plateforme web de Vuforia. Celle-ci permet de sélectionner n'importe quelle image choisie par le développeur afin de la transformer en base de données servant à définir les marqueurs dans Unity3D. A chaque image ajoutée, Vuforia va donner une note entre 1 et 5 étoiles pour indiquer sa qualité en terme de performance lors de la reconnaissance.

Bien que les évaluations basses (entre 1 et 2 étoiles) permettent tout de même une détection des marqueurs, Vuforia conseille d'utiliser les images qui obtiennent une évaluation entre 4 et 5 étoiles pour les meilleurs résultats. Vuforia génère également, à partir de l'image de base, une illustration indiquant les points qui servent de référence pour la reconnaissance du marqueur à l'aide de croix jaunes. Les critères importants pour avoir un bon marqueur sont les suivants :

- L'image doit être riche en détails,
- L'image doit avoir un bon contraste : les zones sombres et lumineuses doivent être bien distinctes et il faut éviter les dégradés,
- L'image ne doit pas avoir de schémas répétitifs [14, 63].

Après les paramètres de l'image, d'autres critères vont influencer la performance de reconnaissance des marqueurs. Il y a notamment la qualité de la caméra. Si le focus effectué sur la cible n'est pas bon, l'image capturée risque d'être floue et empêcher la reconnaissance de certains détails.

Un autre paramètre qui peut agir sur l'efficacité de la reconnaissance du marqueur est la luminosité. Comme précédemment, c'est l'identification des détails qui est primordiale et qui peut être impactée par une mauvaise clarté. Si elle n'est pas suffisante, le traqueur risque de ne pas distinguer les détails et de ne pas reconnaître l'image en conséquence. Vuforia conseille donc d'exploiter la réalité augmentée dans un environnement intérieur où la luminosité est généralement plus stable et facile à contrôler [63].

La première tentative pour sélectionner un marqueur s'est portée, de manière aléatoire, sur le logo de la NASA (voir figure 25a). A première vue, l'image possède de nombreux détails, il y a un bon contraste entre les différentes couleurs et il n'y a pas de motifs répétitifs. D'ailleurs, elle est évaluée à 4 étoiles par la plateforme web de Vuforia. Cependant, lors des phases de développement, l'application a rencontré quelques difficultés pour identifier le marqueur dépendamment des conditions de tests. En analysant l'image des points de référence fournie par Vuforia (voir figure 25b), on se rend compte qu'elle est analysée en noir et blanc, ce qui réduit fortement le contraste entre le cercle bleu et les lignes rouges. La démarcation entre ces deux éléments ne génère pas de points de référence ce qui rend l'image moins riche qu'espéré. On remarque que les étoiles sur le fond bleu servent de points de référence. Celles-ci ne sont probablement pas repérées par l'application à cause de la qualité de la caméra. Ces tests ont été réalisés dans l'environnement de Unity3D sur la caméra de l'ordinateur portable utilisé pour développer l'application.

Suite aux apprentissages de ce premier test, l'intention est de trouver une méthode beaucoup plus robuste pour créer facilement des marqueurs performants. L'analyse des points de référence du logo de la NASA montre que l'élément le plus riche en détail est le mot " NASA ". Il contient des formes simples, de nombreux points de référence et il est bien contrasté avec le bleu du cercle. Pour la suite du développement des marqueurs, nous avons alors décidé d'utiliser du texte de couleur noir sur fond blanc pour les générer. Cela semble un bon choix car il répond aux critères de Vuforia et présente quelques avantages supplémentaires :

- En fonction de la taille du mot, le marqueur peut rapidement contenir beaucoup

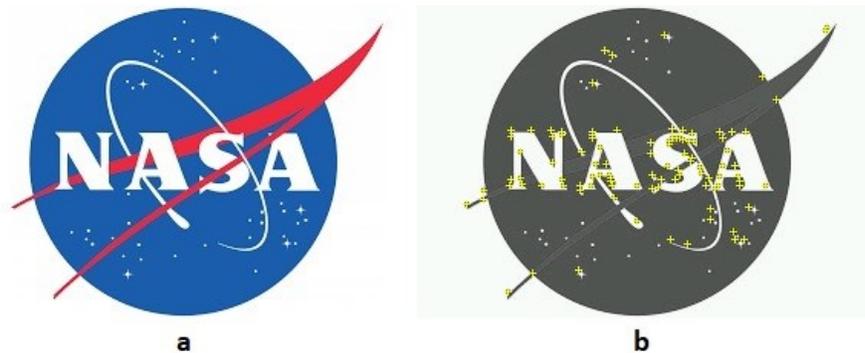


FIGURE 25 – Première tentative de sélection de marqueur (Logo de la NASA)

de détails,

- Le contraste est excellent car seules des lignes noires sur fond blanc sont utilisées,
- Le nombre de motifs répétitifs dans le marqueur va dépendre des caractères qui composent le mot sélectionné mais la langue française permet de trouver facilement des mots dont les lettres se répètent peu,
- Les mots ne présentent pas de petits détails difficiles à identifier (contrairement aux étoiles du logo de la NASA),
- Les mots permettent de générer facilement et rapidement des schémas complexes pour faire des marqueurs efficaces,
- Les mots apportent également un moyen mnémorique pour se rappeler le contenu de la fonctionnalité de réalité augmentée qu'ils vont induire.

Pour les besoins ultérieurs du prototype, voici les quelques mots sélectionnés avec leur évaluation Vuforia :

- Le mot " Image " avec un score de 4 étoiles (voir figure 26a),
- Le mot " Video " avec un score de 5 étoiles (voir figure 26b),
- Le mot " Animated " avec un score de 4 étoiles (voir figure 26c),
- Le mot " Interaction " avec un score de 5 étoiles (voir figure 26d).

Les tests réalisés avec ces marqueurs ont montré d'excellents résultats. Ils étaient systématiquement et rapidement identifiés quel que soit le contexte de test.

3.3.2 Fonctionnalités développées

Une fois la conception du marqueur terminée, il reste à implémenter les objets virtuels associés à l' " *ImageTarget* ". Tous les " *GameObjects* " graphiques attachés à un " *ImageTarget* " sont affichés lors de la détection du marqueur associé à cet " *ImageTarget* ". C'est ainsi que l'on détermine quel marqueur affiche quel contenu.

Dans le cadre de notre prototype, nous avons créé quatre fonctionnalités de réalité augmentée ayant un niveau de difficulté croissant en terme de complexité de développement.

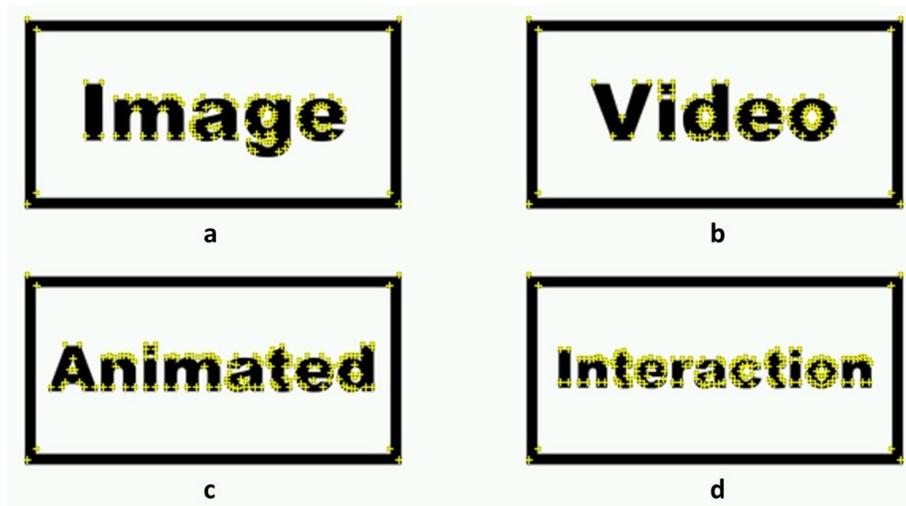


FIGURE 26 – Marqueurs sélectionnés pour le prototype affichant les points de référence de Vuforia

La première fonctionnalité est l'impression d'une image à la place du marqueur. Pour cela, nous nous sommes servis du marqueur "Image" décrit ci-dessus pour afficher le logo de la NASA qui avait été utilisé en tant que marqueur. Dans Unity3D, il faut créer un nouveau "GameObject", nommé un "Quad". C'est un objet graphique plat à la surface duquel l'image sera collée et apposée à la place du marqueur. Une fois ce "Quad" associé à l'"ImageTarget" correspondante, il ne reste qu'à exporter l'application sur un appareil mobile. A l'exécution du prototype, le marqueur est remplacé par l'image lorsqu'il passe dans le champ de la caméra (voir figure 27). C'est une fonctionnalité très facile à mettre en place qui ne nécessite aucune compétence en programmation. Seule une initiation à Unity3D et Vuforia est nécessaire pour développer ce genre de fonctionnalité.



FIGURE 27 – Prototype d'affichage d'une image en réalité augmentée : à gauche, le marqueur seul et, à droite, la vue en réalité augmentée

Pour créer une seconde fonctionnalité dans la même application, il suffit d'ajouter un nouvel " *ImageTarget* ". Il s'agit de l'affichage et de la lecture d'une vidéo. Nous avons utilisé le marqueur " Video " et utilisé, pour rester dans le thème, la vidéo de la chaîne Youtube de la NASA intitulée " *NASA 2020 : Are You Ready ?* " [38], voir figure 28. Comme pour l'impression d'image, il faut ajouter un " *Quad* " auquel la vidéo est associée. Il est possible de gérer quelques paramètres tels que la mise en pause ou l'arrêt de la vidéo lorsque l'on perd le marqueur. L'affichage et la lecture d'une vidéo en réalité augmentée sont donc également accessibles. Il y a une complexité un peu plus élevée que pour l'image car il faut apprendre à gérer les paramètres de la vidéo mais c'est optionnel. Il est donc possible de créer une application de réalité augmentée avec une initiation à Unity3D et Vuforia mais sans nécessairement posséder des compétences en programmation informatique.



FIGURE 28 – Prototype d'affichage d'une vidéo en réalité augmentée : à gauche, le marqueur seul et, à droite, la vue en réalité augmentée

La troisième fonctionnalité développée consiste à afficher un modèle 3D animé. Pour cela, nous avons utilisé le marqueur " Animated " et les modèles 3D " *Dungeon Skeletons Demo* " et " *Skeleton King - Proto Shader (Preview)* " mis à disposition gratuitement sur l'Asset Store de Unity3D [8, 9]. L'Asset Store est un catalogue offrant toutes sortes de fonctions aux utilisateurs de Unity3D tels que des modèles graphiques, des add-ons, des outils, etc. . . Tous ces services sont déposés par des créateurs et sont accessibles gratuitement ou à l'achat.

Dans le cas de notre prototype, nous avons sélectionné le " *Dungeon Skeletons Demo* " et le " *Skeleton King - Proto Shader (Preview)* " car ils répondaient à certains de nos critères. Il fallait obtenir des modèles 3D, accompagnés d'une animation et disponibles gratuitement. Pour faciliter l'animation du " *Dungeon Skeletons Demo* ", un tutoriel est disponible sur YouTube [25].

Pour créer la fonctionnalité dans Unity3D, il suffit d'associer les modèles 3D avec l' " *ImageTarget* " à la manière du " *Quad* ". A cette étape, les modèles 3D peuvent être affichés mais ils sont statiques. Pour animer ces modèles, il faut leur ajouter un nouveau composant nommé " *AnimationController* ". Ce composant permet de gérer l'exécution des animations et les transitions entre ces différentes animations. Cela fonctionne à l'aide d'un affichage graphique intuitif correspondant à une machine à état. Une fois l' " *AnimationController* " configuré, le prototype est capable d'afficher les modèles 3D

animés, voir figure 29.



FIGURE 29 – Prototype d'affichage de trois modèles 3D animés en réalité augmentée : à gauche, le marqueur seul et, à droite, la vue en réalité augmentée

La mise en place des modèles 3D reste une étape aussi facile que la mise en place d'images ou de vidéos. La gestion des animations est, quant à elle, plus compliquée. Il faut acquérir un niveau de compétence plus avancé dans l'utilisation de Unity3D. De plus, sans développer de petits scripts, les animations vont s'exécuter successivement en boucle.

En plus de la difficulté que représente cette gestion des animations, on rencontre le premier grand obstacle à la création d'une application de réalité augmentée par une équipe non formée, c'est-à-dire la création de modèles 3D animés. Pour développer des sujets adaptés aux besoins de chaque exposition, il est nécessaire de faire appel aux compétences d'un infographiste. Cela représente un coût en ressource élevé car il faut soit intégrer cette qualification dans l'équipe (former ou engager une personne supplémentaire) soit utiliser ponctuellement les services d'un créateur. Il est parfois possible d'exploiter l'Asset Store, comme pour ce prototype, mais c'est une solution très limitée car les fonctionnalités gratuites sont généralement des démonstrations.

La dernière fonctionnalité développée est l'interaction entre un modèle 3D et l'utilisateur. Pour cela, nous avons utilisé le marqueur "Interaction" et le modèle 3D animé "Dungeon Skeletons Demo" [9]. Ce modèle a été préféré au "Skeleton King - Proto Shader (Preview)" car il possède trois animations distinctes tandis que le "Skeleton King - Proto Shader (Preview)" n'en possède qu'une seule qui sert de démonstration à l'ensemble des animations produites par le créateur. L'interaction entre le modèle 3D et l'utilisateur a été implémentée à l'aide de deux boutons virtuels affichés lors de la détection du marqueur. A l'état initial, le squelette est dans l'état "Idle" (au repos). Le bouton "Marche" induit une transition vers l'état "Marche" (le modèle marche). L'autre bouton, "Attaque", incite une nouvelle transition vers l'état correspondant et le personnage donne un coup d'épée (voir figure 30).

Le développement de cette interaction nécessite des capacités de programmation en C#, le langage utilisé par les scripts de Unity3D. Bien que le code reste relativement simple, l'aspect le plus compliqué est la communication entre les scripts des diffé-



FIGURE 30 – Prototype d’affichage d’un modèle 3D animés avec les deux boutons d’interaction en réalité augmentée : à gauche, le marqueur seul et, à droite, la vue en réalité augmentée

rents " *GameObjects* ". En l’occurrence, c’est la communication entre le composant " *AnimationController* " du modèle 3D et le " *GameObject* " supportant les boutons " Marche " et " Attaque " qui doit être gérée. On observe donc qu’en plus des aptitudes en infographie nécessaires pour le développement du modèle 3D et de l’animation, il est indispensable de développer quelques compétences en programmation. Par rapport à l’affichage de modèles 3D animés, on s’éloigne davantage du domaine d’expertises des professionnels du Confluent des Savoirs.

Pour récapituler, les fonctionnalités d’affichage d’images et de vidéos sont relativement accessibles moyennant une initiation à l’utilisation de Unity3D et de Vuforia. Le Confluent des Savoirs peut dès lors devenir rapidement autonome pour créer des applications implémentant ces fonctionnalités. Cependant, lorsque l’on souhaite intégrer des modèles 3D, il faut acquérir des compétences en infographie pour concevoir ces modèles et les animations nécessaires. Dans ce cas, il faut développer les connaissances de l’équipe ou utiliser des ressources extérieures pour acquérir les modèles 3D. Cela va impliquer un coût en terme financier ou de temps. Pour le dernier niveau atteint par notre prototype, l’interaction entre les objets virtuels et l’utilisateur, il faut ajouter des compétences en programmation. A nouveau, l’équipe du Confluent des Savoirs ne dispose pas de personnes qualifiées pour développer les scripts nécessaires. Ce qui va entraîner un coût supplémentaire au développement de ce type d’application.

3.3.3 Prototype à destination du Confluent des Savoirs

Le premier prototype présentait quelques fonctionnalités offertes par Unity3D et Vuforia pour créer des applications de réalité augmentée. Il n’est évidemment pas exhaustif, d’autres types de données tels que du texte ou du contenu audio peuvent être intégrés dans ce genre d’application. Ces aspects n’ont pas été étudiés ici puisqu’ils n’apportaient pas un aspect technique supplémentaire, fonctionnant de la même manière que l’affichage d’images ou la lecture de vidéos. Les fonctionnalités du prototype sont très basiques. Il est possible de développer davantage les animations pour représenter un processus dynamique ainsi que l’interaction entre l’application et l’utilisateur

pour réaliser des tâches très variées, notamment dans un but éducatif. Cependant, cela nécessiterait des compétences d'infographie, un métier différent. Le prototype avait pour but de montrer les possibilités offertes par la réalité augmentée afin de les intégrer dans les activités du Confluent des Savoirs.

Après la démonstration du premier prototype, nous avons évalué les possibilités de l'adapter à leurs besoins et de l'intégrer dans une exposition sur le thème de l'espace et nommée "*Objectif : étoiles*". Nous avons déterminé quelles fonctionnalités utiliser et nous avons identifié le contenu informationnel à intégrer dans l'application.

Cette exposition proposera des photos, des articles et des maquettes liés à l'espace et décrira les différents objets du système solaire. Parmi les éléments de l'exposition, une série de posters a été conçue pour présenter et commenter les caractéristiques de chaque planète (voir l'exemple de la Terre en figure 31). Pour venir renforcer l'attractivité de ces affiches et pour proposer une représentation concrète des planètes décrites, le Confluent des Savoirs souhaite les utiliser comme marqueurs afin d'afficher des modèles 3D virtuels. Les posters étant très riches en informations et possédant un haut niveau de détails, ils forment d'excellents marqueurs de réalité augmentée. D'ailleurs, ils ont reçu l'évaluation maximum de Vuforia (5 étoiles) et se sont montrés très efficaces lors des tests de l'application.

Cependant, comme on pouvait le craindre, lorsque les panneaux de toutes les planètes ont été implémentés dans l'application, on a observé des problèmes de superposition des modèles virtuels. C'est-à-dire que pour le poster d'une planète, l'application affichait le modèle virtuel de plusieurs planètes en même temps. Cela signifie que le système de reconnaissance de Vuforia ne parvenait pas à distinguer les marqueurs les uns par rapport aux autres. L'utilisation d'une charte graphique sur l'ensemble des affiches implique qu'elles possèdent toutes la même structure, quelle que soit la planète. Seuls des petits détails, qui échappent certainement à la caméra ou qui ne font pas partie des critères de reconnaissance des marqueurs, varient entre les posters. Etant donné que la partie la plus discriminante entre les affiches est la partie gauche qui contient le nom de la planète sur une photo de sa surface, nous avons tenté de réduire le marqueur à cette zone. Le contraste entre le texte et la photo de fond n'étant pas très marqué, Vuforia les a très mal évalués. Les posters, en l'état, n'étaient pas utilisables pour servir de marqueur.

Le design des posters a alors été adapté pour y intégrer des marqueurs répondant aux critères définis au chapitre 3.3.1. "*Choix des marqueurs*". Le nom de la planète a été déplacé en haut du panneau et a pris une police blanche sur un fond sombre afin de maximiser le contraste. En plus du nom français, son nom latin et anglais ont été ajoutés afin d'augmenter le nombre de caractères et d'enrichir le marqueur (voir l'exemple de la Terre en figure 32). Seule cette portion du poster a été utilisée comme marqueur pour éviter les schémas redondants entre les affiches. Ce résultat a été évalué positivement par Vuforia (entre 4 et 5 étoiles) et les tests de l'application ont montré une bonne performance dans la reconnaissance.

Après la création des marqueurs, le second obstacle rencontré relève de la disponibilité des modèles 3D adaptés à nos besoins. Par chance, le sujet de l'exposition étant

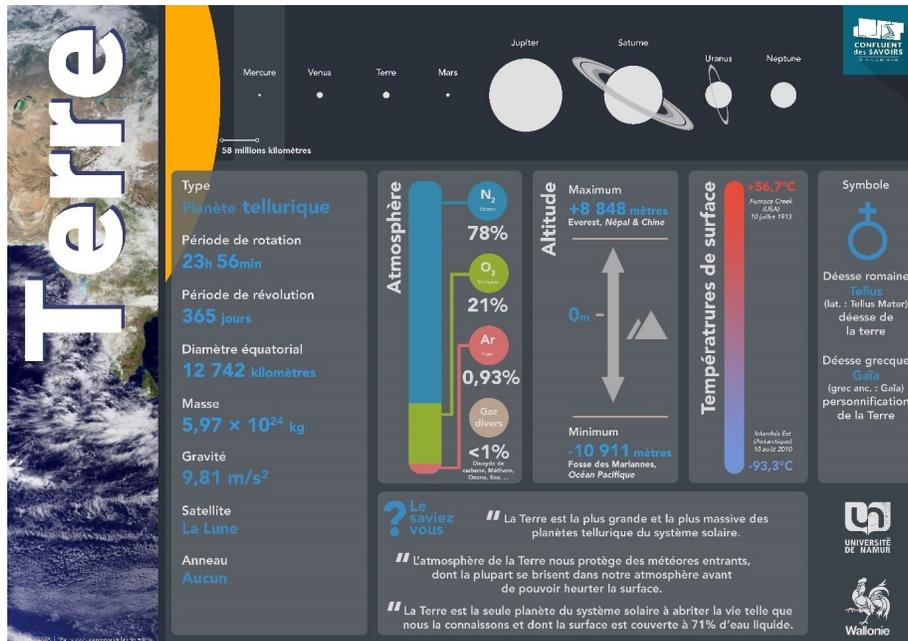


FIGURE 31 – Poster décrivant la Terre initialement conçu pour l'exposition du Confluent des Savoirs *Objectif : étoiles*

les planètes du système solaire qui sont des objets non-fictifs, il a été possible de retrouver des modèles 3D disponibles gratuitement sur la plateforme web " Free3D " [18]. A l'aide de ces modèles et avec l'ajout de quelques scripts, nous avons induit un effet de rotation aux objets virtuels pour simuler la rotation des planètes. Dans le cas de la Terre, nous avons également ajouté la Lune au système et reproduit un déplacement orbital de celle-ci autour de la Terre (voir figure 33).

Après ces fonctions, trois autres éléments ont été demandés par le Confluent des Savoirs : l'affichage d'une vidéo de présentation de l'exposition, l'affichage de l'ensemble du système solaire avec le mouvement des planètes et l'affichage d'un bouton proposant un lien vers un questionnaire permettant aux visiteurs d'évaluer l'exposition et de donner leur avis sur l'intégration de la réalité augmentée. Le poster de promotion de l'exposition a servi de marqueur pour la vidéo de présentation (voir figure 34). Celui-ci, étant riche en détails, a été très bien évalué par Vuforia et n'a présenté aucune difficulté. Les marqueurs des deux autres fonctionnalités ont été conçus spécialement en respectant les recommandations décrites ci-dessus et n'ont présenté aucun incident.

Grâce à ce cheminement progressif, nous sommes parvenus à développer un second prototype capable de démontrer l'intérêt de la réalité augmentée pour la médiation scientifique. Ce prototype permet d'offrir des représentations explicites des planètes du système solaire qui sont des objets inaccessibles au sens humain. Une telle visualisation

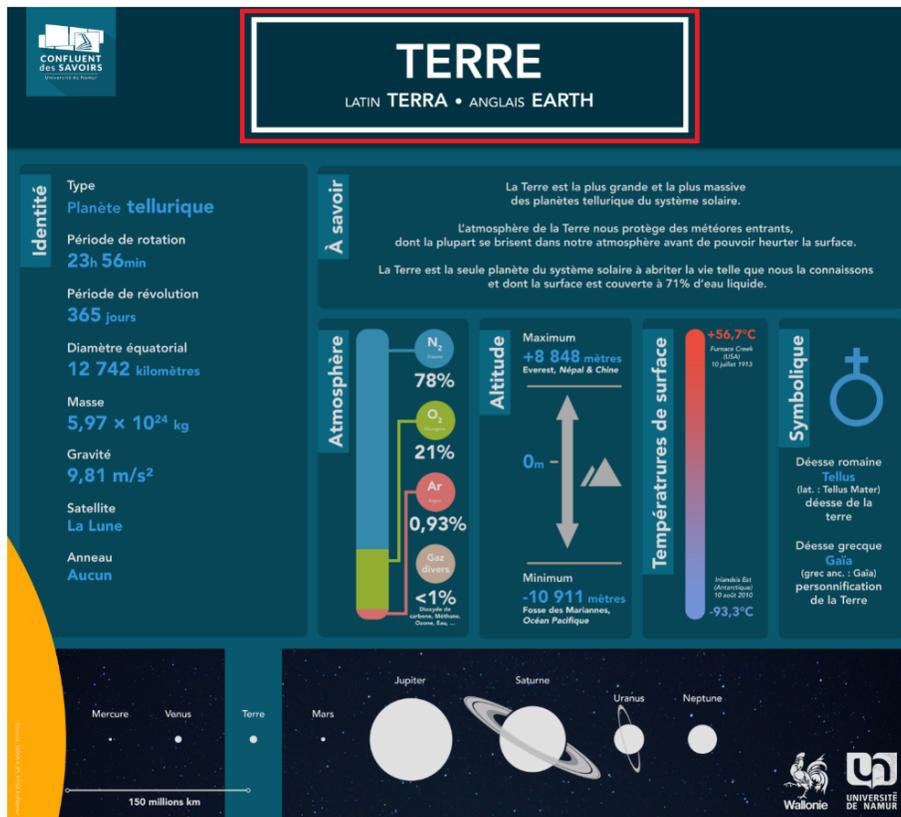


FIGURE 32 – Nouvelle version du poster décrivant la Terre pour l’exposition du Confluent des Savoirs *Objectif : étoiles*, le cadre rouge indique la zone utilisée comme marqueur

dynamique est difficile ou impossible à représenter à l’aide de moyens classiques. De plus, en se déplaçant autour du marqueur, la réalité augmentée offre de meilleures possibilités de visualisation que les vidéos ou les animations sur écran.

Malheureusement, étant donné les conditions de confinement exceptionnelles mises en place pour le Covid-19 durant les mois de mars à mai 2020, l’ouverture de l’exposition " *Objectif : étoiles* " a du être reportée à une date ultérieure à la remise du mémoire. Il n’a donc pas été possible de tester l’application dans les locaux du Confluent des Savoirs, ni de recueillir les avis et les impressions des visiteurs de l’exposition vis-à-vis de l’utilisation de la réalité augmentée.

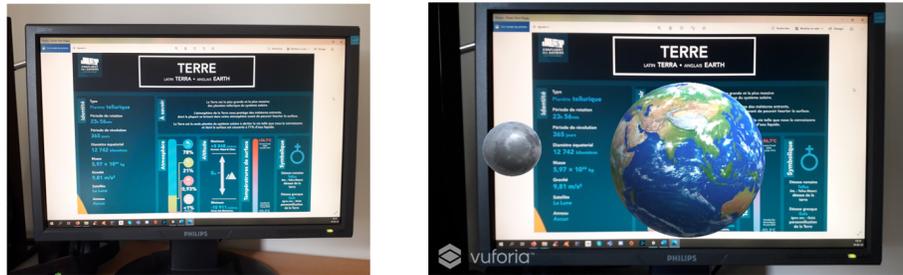


FIGURE 33 – Prototype d’affichage de la Terre et de la Lune : à gauche, le marqueur seul et, à droite, la vue en réalité augmentée

3.4 Analyse critique

Les prototypes développés dans le cadre de ce mémoire sont relativement basiques mais ils représentent tout de même une introduction intéressante à la réalité augmentée dans les activités du Confluent des Savoirs. Le premier prototype a permis d’évaluer plusieurs éléments. Nous avons identifié quelques bonnes pratiques dans le choix et la conception d’un marqueur efficace. Le prototype offre une démonstration des possibilités mises à disposition par les outils sélectionnés (Unity3D et Vuforia). Il nous permet d’estimer les ressources qu’il serait nécessaire de mobiliser si cette activité reposait entièrement sur l’équipe du Confluent des Savoirs.

Sur base de ce prototype, nous avons pu déterminer quelles fonctionnalités utiliser dans la prochaine exposition et nous avons également pu identifier le contenu éducatif à y intégrer pour la médiation scientifique. Nous avons ensuite développé un second prototype prêt à l’emploi et à être évalué par les visiteurs.

Cependant, de nombreux aspects n’ont pas été évalués. Il n’a pas été possible de tester largement les performances de l’application pour des raisons matérielles. Les seuls appareils à disposition (Sony Xperia M2 et Samsung Galaxy J3) reposaient sur le système d’exploitation Android. Nous n’avons pas pu l’expérimenter sur un système iOS car aucun appareil n’était disponible. Avec davantage de ressources, il aurait donc été très intéressant d’élargir les tests sur une tablette, sur un système iOS et sur une plus large gamme d’appareils en terme de marque et de performance des machines.

Avec le peu d’appareils accessibles pour tester l’application, les performances en terme de rapidité d’exécution, de rapidité de reconnaissance des marqueurs et de fluidité d’affichage n’ont pas pu être évaluées. Ce point est tout de même à minimiser car les appareils utilisés (Sony Xperia M2 et Samsung Galaxy J3) font partie d’une gamme de smartphones modestes en terme de performance. A part le temps nécessaire pour ouvrir l’application, tous les tests réalisés ont montré une excellente reconnaissance des marqueurs et une bonne fluidité de l’affichage. Pour mesurer ces points, il aurait à nouveau été intéressant de varier les appareils de test.

Un autre point à discuter est le poids de l’application au niveau du stockage sur l’appareil mobile. Le premier prototype, n’utilisant que peu d’images, de vidéos et de modèles 3D, nécessite peu d’espace mémoire (environ 78 Mo).

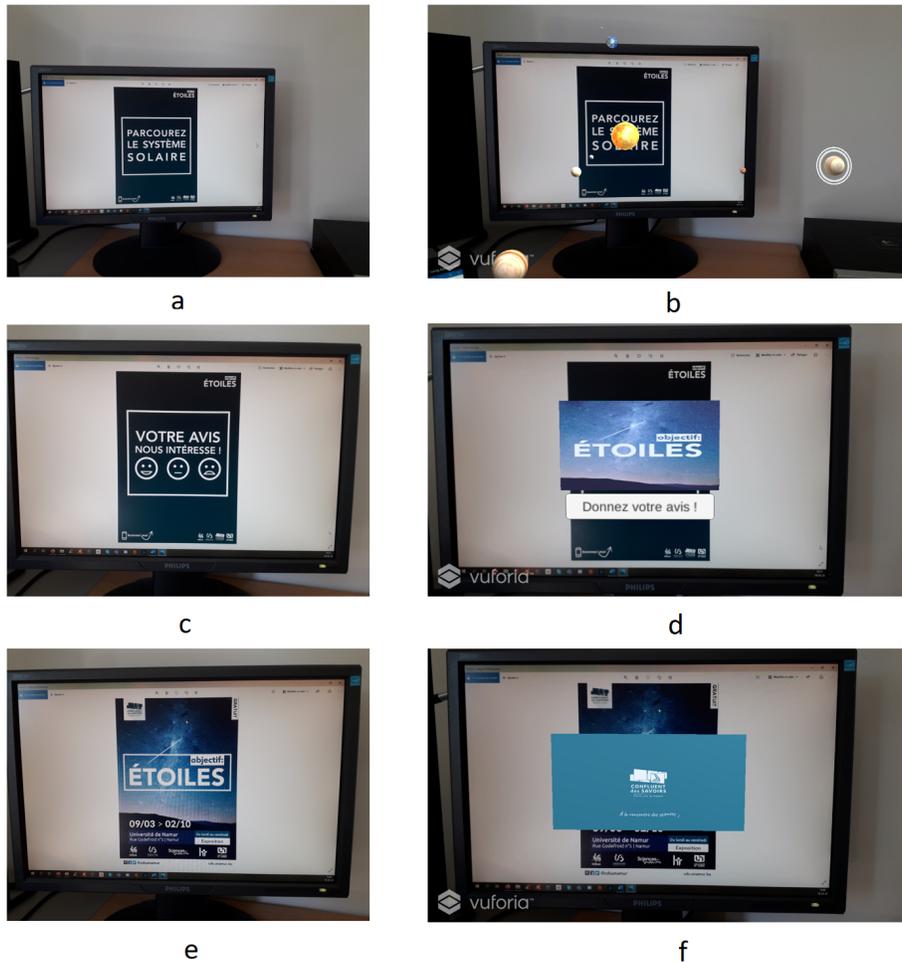


FIGURE 34 – Prototype d’affichage du système solaire (a = le marqueur et b = affichage augmenté), du bouton renvoyant vers le questionnaire (c = le marqueur et d = affichage augmenté) et de la vidéo de promotion (e = le marqueur et f = affichage augmenté)

Le second prototype, qui exploite plusieurs modèles 3D, une vidéo et une image, occupe davantage d'espace mémoire (environ 111 Mo). Pour des applications utilisant des médias de cette dimension, on n'observe pas de difficulté en espace mémoire. En revanche, pour une application qui utilise de grandes quantités de vidéos ou de modèles 3D, il serait intéressant d'explorer les fonctionnalités de Unity3D pour stocker les informations en dehors de l'application et d'y accéder en fonction des besoins via le réseau. Il faut tout de même rester prudent avec cette solution car elle apporte de nouvelles contraintes et risque de réduire les performances. Il serait alors nécessaire d'avoir accès à une connexion internet pour télécharger le contenu adéquat. De plus, on risque de rencontrer des problèmes d'affichage et de lecture des contenus si le débit de téléchargement n'est pas suffisant. C'est donc un sujet qui mériterait d'être examiné.

Un autre aspect qu'il aurait été intéressant d'étudier est l'acceptation du prototype par les visiteurs du Confluent des Savoirs. Cela n'a malheureusement pas été faisable pour différentes raisons. Les conditions exceptionnelles de confinement mises en place pour le Covid-19 durant les mois de mars à mai 2020 n'ont pas permis de rassembler des utilisateurs pour tester l'application. Elles n'ont pas permis l'organisation d'une exposition durant la rédaction de ce mémoire. Sans ces obstacles, il aurait été intéressant de proposer l'application aux visiteurs de l'exposition "*Objectif : étoiles*" afin de récolter leurs impressions et d'évaluer les connaissances acquises. Comme indiqué dans le chapitre 2.3. sur l'analyse critique de la littérature, l'idéale serait de former deux groupes d'étude. Un premier groupe contrôle qui visite l'exposition sans utiliser l'application de réalité augmentée et un second groupe qui a accès à l'application. Cela permettrait de mesurer spécifiquement l'impact que notre prototype peut avoir sur l'exposition.

Premièrement, un test d'évaluation des connaissances aurait pu être soumis aux utilisateurs avant et après la visite. Cela a pour but de déterminer si l'utilisation du prototype apporte un bénéfice dans l'acquisition de nouvelles connaissances. Ensuite, un test de motivation soumis après la visite aurait permis de recueillir les impressions des visiteurs quant à l'utilité de l'application et à l'aspect ludique et attractif qu'elle apporte.

A partir des données qui auraient été obtenues lors de cette étude, nous aurions pu évaluer l'impact de notre prototype dans le contexte de l'exposition "*Objectif : étoiles*" du Confluent des Savoirs. Comme indiqué dans l'analyse critique de la littérature, il faut éviter de généraliser les résultats obtenus pour le prototype à toute la réalité augmentée. De la même manière, il faut éviter d'étendre les résultats générés dans le contexte de l'exposition du Confluent des Savoirs à toute forme de médiation scientifique. Les conclusions de l'étude permettraient d'adapter le prototype pour mieux répondre aux attentes des visiteurs ou de proposer des pistes d'amélioration pour les futures expositions préparées par le Confluent des Savoirs. C'est après quelques itérations du processus d'évaluation et d'amélioration du prototype lors de différentes expositions qu'il sera possible d'estimer l'impact de la réalité augmentée dans les activités du Confluent des Savoirs.

4 Conclusion et perspectives

Dans le cadre de ce mémoire, nous avons commencé par établir un état de l'art de l'utilisation de la réalité augmentée pour la médiation scientifique. Pour cela, nous avons d'abord réalisé un tour d'horizon de ce qu'est la réalité augmentée en lui donnant une définition, en décrivant son principe de fonctionnement et en l'illustrant de différentes formes qu'elle peut prendre.

Après sa définition, nous nous sommes intéressés à ses applications. Le domaine de la médiation scientifique étant très large, nous l'avons divisé en quatre catégories : l'éducation, les musées, les sites historiques et les expositions. Nous avons alors étudié les difficultés rencontrées et nous avons illustré les solutions que peut y apporter la réalité augmentée par quelques exemples.

Premièrement, nous nous sommes intéressés à l'éducation qui rencontre deux grandes difficultés. La première est le manque de concrétisation des matières abstraites présentées en classe. Ce problème est lié aux supports pédagogiques classiques qui ne permettent pas de visualiser des processus dynamiques, des sujets trop grands, trop petits, trop lents ou trop rapides. Cette abstraction rend l'assimilation de la matière ardue et engendre la seconde difficulté qu'est la perte d'attention et de motivation des étudiants. En réponse à ces désagréments, la réalité augmentée apporte des outils de visualisation très puissants permettant de concrétiser les domaines abstraits en affichant des vidéos, des modèles 3D et des animations. Les tests de connaissance et d'acceptation de la technologie réalisés dans ces études montrent un impact réel sur l'apprentissage et un avis positif vis-à-vis de la réalité augmentée qui est vue comme bénéfique et ludique par les étudiants.

Nous nous sommes ensuite intéressés aux problèmes rencontrés par les musées. Étant donné leur nature, Ceux-ci concentrent toute la connaissance qu'ils souhaitent communiquer aux visiteurs dans les artefacts culturels qu'ils exposent. Cependant, les moyens de transmission qu'ils peuvent exploiter sont limités à cause des contraintes de fragilité de l'artefact ou le manque de contexte dans lequel il est présenté. De plus, comme dans l'éducation, les musées souhaitent améliorer leur attractivité et offrir une meilleure expérience au visiteur. Dans ce cadre, la réalité augmentée offre des solutions telles que la manipulation d'artefacts culturels virtuels ou l'augmentation des artefacts afin d'explicitier des détails effacés par le temps et l'usure. Elle peut également créer du contexte en reconstituant en 3 dimensions l'environnement où a été retrouvé l'artefact. La réalité augmentée est capable d'améliorer l'expérience utilisateur en introduisant la narration dans les expositions. Celle-ci va le guider au travers du musée en lui racontant une histoire et en distillant l'information utile au moment adéquat. Ce mode de transmission est très immersif et favorise l'intégration de nouvelles connaissances.

La troisième forme de médiation scientifique explorée est celle des sites historiques. De la même manière que pour les musées, l'essentiel de la connaissance est concentré dans les artefacts exposés aux visiteurs. Dans ce cas-ci, ce sont des monuments impossibles à déplacer et qu'il faut maintenir en l'état. Avec l'usure et l'érosion, la richesse des sites archéologiques n'est plus accessible aux visiteurs. Or, les professionnels, en plus d'empêcher la dégradation des sites, souhaitent proposer des représentations fidèles des monuments dans l'état dans lequel ils se trouvaient au moment de leur âge

d'or. Comme dans les deux médias précédents, ils souhaitent augmenter l'attractivité de leurs sites et offrir une meilleure expérience aux visiteurs. Une fois encore, grâce à ses capacités de visualisation, la réalité augmentée va apporter des solutions. Elle est notamment capable d'offrir des représentations virtuelles des monuments reconstruits tous en conservant les sites historiques intacts. De plus, elle va également exploiter la narration pour capter l'attention du visiteur et favoriser l'assimilation des connaissances en distribuant la bonne information au moment opportun.

Enfin, nous avons étudié les difficultés rencontrées par les expositions dans leur transmission des connaissances. Cette forme de médiation, comme l'éducation, souhaite concrétiser des connaissances trop abstraites pour être directement perçues par les visiteurs. Comme les musées et les sites historiques, ils souhaitent améliorer l'expérience utilisateur afin d'attirer davantage de monde dans leurs expositions. A nouveau, la réalité augmentée va répondre au problème de concrétisation des connaissances en apportant des outils de visualisation et va améliorer l'attractivité en faisant appel à la narration et en favorisant les interactions entre les individus.

Le parcours de la littérature offre une vision très positive de la réalité augmentée en suggérant qu'elle est capable à elle seule de répondre à tous les besoins de la médiation scientifique. Cependant, il faut être vigilant et éviter la surgénéralisation ou les attentes excessives. Les différentes applications présentées apportent des solutions qui se sont avérées efficaces dans le contexte étudié. Cependant, le succès de la réalité augmentée n'est pas uniquement induit par elle-même mais dépend également des professionnels qui ont encadré la mise en place de la technologie dans les classes ou sur les sites culturels. C'est d'ailleurs un point qui est régulièrement omis par les auteurs d'études scientifiques. L'intégration de la réalité augmentée nécessite généralement une adaptation du moyen de médiation. Cela s'observe principalement dans le cadre de l'éducation où l'intégration de ces technologies demande aux professeurs de se former aux outils et d'adapter le paradigme de cours. Cet aspect est moins problématique pour l'héritage culturel car il utilise des formats de transmission des connaissances beaucoup plus libres. Cependant, le développement et l'intégration de ces technologies sont gourmands en ressources. Les professionnels doivent acquérir les compétences nécessaires au développement de ce genre d'application et doivent également débloquer l'argent nécessaire à l'acquisition du matériel supportant la réalité augmentée et à la maintenance de celui-ci.

Après la rédaction de l'état de l'art, nous nous sommes intéressés au côté pratique de l'utilisation de la réalité augmentée dans le cadre des activités du Confluent des Savoirs. La première étape pour développer le prototype était de sélectionner un outil adéquat. En se basant sur les dispositifs utilisés dans la littérature et aux évaluations qui en ressortent, nous avons préféré Unity3D, une plateforme de développement d'environnement 3D régulièrement exploitée dans le cadre de la création de jeux vidéo. Celle-ci est accompagnée de Vuforia, un SDK offrant une panoplie de fonctionnalités de réalité augmentée.

Après le choix des outils, nous avons sélectionné une plateforme d'utilisation basée sur les contraintes rencontrées par le Confluent des Savoirs. Etant donné le peu de ressources disponibles, nous avons opté pour un prototype exporté sur des équipements

mobiles tels que des smartphones ou des tablettes. Ce choix est opportun car il permet de se reposer sur les appareils apportés par les visiteurs, ce qui ne nécessite aucune ressource de la part du Confluent des Savoirs. Ensuite, nous avons choisi de développer le prototype sur base de marqueurs pour déclencher l'affichage d'objets virtuels. Ce mode de fonctionnement permet d'afficher le contenu choisi au moment voulu.

Sur base de ces décisions, nous avons commencé l'étude d'un prototype. La première étape était de créer des marqueurs robustes et efficaces pour déclencher l'affichage des objets virtuels. Les expérimentations réalisées ont conduit à favoriser l'utilisation de marqueurs textuels noirs sur fond blanc, faciles et efficaces répondant aux exigences du Vuforia.

Nous avons ensuite développé quatre fonctionnalités de réalité augmentée qui sont l'affichage d'images, de vidéos, de modèles 3D animés et l'interaction entre un modèle 3D et l'utilisateur. Ce prototype a permis d'évaluer les compétences nécessaires à leur élaboration. L'affichage d'images et de vidéos ne requiert qu'une initiation à l'utilisation de Unity3D et de Vuforia. L'affichage de modèles 3D animés, quant à elle, nécessite également des compétences en infographie. Ces nouvelles qualifications sont problématiques car elles s'éloignent des capacités présentes au sein de l'équipe du Confluent des Savoirs. De plus, le développement d'une interaction avec l'application nécessite des aptitudes à la programmation. C'est un domaine qui est également absent de l'équipe du Confluent des Savoirs.

Sur base de ce premier prototype et en collaboration avec le Confluent des Savoirs, nous avons déterminé les fonctionnalités et le contenu informationnel qui était le mieux adapté aux besoins de leur prochaine exposition, intitulée " *Objectif : étoiles* ". Nous avons alors développé un second prototype afin qu'il soit prêt à l'emploi et exploitable par les personnes directement au sein de l'exposition.

Malheureusement, pour des contraintes de confinement (liées la pandémie du Covid-19 durant les mois de mars à mai 2020), il n'a pas été possible de tester le second prototype durant la période de rédaction du mémoire. Il aurait cependant été intéressant d'évaluer l'avantage que l'application apporte aux visiteurs en terme d'acquisition de connaissance et de plaisir d'utilisation. L'idéal aurait été d'étudier deux groupes d'individus. Le premier groupe aurait visité l'exposition avec la possibilité d'utiliser librement l'application de réalité augmentée. Un test de connaissance leur aurait été proposé avant et après la visite afin d'évaluer le gain de connaissances acquises. Un second questionnaire leur aurait été soumis après la visite afin de récolter leurs avis et leurs impressions. Le second groupe aurait suivi le même parcours mais n'aurait pas eu accès au prototype. Cela dans le but de servir de groupe contrôle afin de mesurer spécifiquement les bénéfices apportés par notre prototype.

Les résultats de cette étude auraient permis au Confluent des Savoirs d'évaluer le prototype afin de juger des bienfaits qu'il apporte à l'exposition. A partir de ces données, il serait alors intéressant d'adapter l'application afin de mieux rencontrer les attentes des visiteurs. Quelques itérations d'évaluation et de correction du prototype permettraient finalement d'analyser les avantages et les inconvénients qu'induisent l'utilisation de la réalité augmentée de manière plus générale.

Références

- [1] Mona ALKHATTABI. « Augmented reality as E-learning tool in primary schools' education : barriers to teachers' adoption ». In : *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)* 12.2 (2017), p. 91-100.
- [2] Clemens ARTH et al. « The history of mobile augmented reality ». In : *arXiv preprint arXiv* (2015), p. 1505.01319.
- [3] Vincenzo BARRILE et al. « Integration of geomatics methodologies and creation of a cultural heritage app using augmented reality ». In : *Virtual Archaeology Review* 10.20 (2019), p. 40-51.
- [4] Hrvoje BENKO, Ricardo JOTA et Andrew WILSON. « MirageTable : free-hand interaction on a projected augmented reality tabletop ». In : *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems* (2012), p. 199-208.
- [5] Hrvoje BENKO, Andrew D. WILSON et Federico ZANNIER. « Dyadic projected spatial augmented reality ». In : *Proceedings of the 27th annual ACM symposium on User interface software and technology* (2014), p. 645-655.
- [6] Mark BILLINGHURST et al. « A survey of augmented reality ». In : *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction* 8.2-3 (2015), p. 73-272.
- [7] Oliver BIMBER et Ramesh RASKAR. « Spatial augmented reality : merging real and virtual worlds ». In : *CRC press* (2005).
- [8] BITGEM. *Unity Asset Store - Skeleton King - Proto Shader (Preview)*. URL : <https://assetstore.unity.com/packages/3d/characters/creatures/skeleton-king-proto-shader-preview-154590>.
- [9] Polygon BLACKSMITH. *Unity Asset Store - Dungeon Skeletons Demo*. URL : <https://assetstore.unity.com/packages/3d/characters/creatures/dungeon-skeletons-demo-71087>.
- [10] Diana BOGUSEVSCHI, Cristina MUNTEAN et Gabriel-Miro MUNTEAN. « Teaching and learning physics using 3D virtual learning environment : A case study of combined virtual reality and virtual laboratory in secondary school ». In : *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching* 39.1 (2020), p. 5-18.
- [11] Erkan BOSTANCI, Nadia KANWAL et Adrian F. CLARK. « Augmented reality applications for cultural heritage using Kinect ». In : *Human-centric Computing and Information Sciences* 5.1 (2015), p. 1-18.
- [12] Chia-Yen CHEN, Bao Rong CHANG et Po-Sen HUANG. « Multimedia augmented reality information system for museum guidance ». In : *Personal and ubiquitous computing* 18.2 (2014), p. 315-322.
- [13] Omar CHOUDARY et al. « MARCH : mobile augmented reality for cultural heritage ». In : *Proceedings of the 17th ACM international conference on Multimedia* (2009), p. 1023-1024.

- [14] E. Gutiérrez DE RAVÉ et al. « DiedricAR : a mobile augmented reality system designed for the ubiquitous descriptive geometry learning ». In : *Multimedia Tools and Applications* 75.16 (2016), p. 9641-9663.
- [15] Christian DIAZ, Mauricio HINCAPIÉ et Gustavo MORENO. « How the type of content in educative augmented reality application affects the learning experience ». In : *Procedia Computer Science* 75 (2015), p. 205-212.
- [16] Pierre DILLENBOURG et Michael EVANS. « Interactive tabletops in education ». In : *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning* 6.4 (2011), p. 491-514.
- [17] Steven DOW et al. « Exploring spatial narratives and mixed reality experiences in Oakland Cemetery ». In : *Proceedings of the 2005 ACM SIGCHI International Conference on Advances in computer entertainment technology* (2005), p. 51-60.
- [18] FREE3D. *Gratuit 3D Planet Modèles*. URL : <https://free3d.com/3d-models/planet>.
- [19] Fabian FRITZ, Ana SUSPERREGUI et Maria Teresa LINAZA. « Enhancing cultural tourism experiences with augmented reality technologies ». In : *6th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage (VAST)* (2005).
- [20] Dai-In HAN, Timothy JUNG et Alex GIBSON. « Dublin AR : implementing augmented reality in tourism ». In : *Information and communication technologies in tourism 2014*. Springer, Cham (2013), p. 511-523.
- [21] Dai-In HAN, M. Claudia TOM DIECK et Timothy JUNG. « User experience model for augmented reality applications in urban heritage tourism ». In : *Journal of Heritage Tourism* 13.1 (2018), p. 40-61.
- [22] Anne-Cecilie HAUGSTVEDT et John KROGSTIE. « Mobile augmented reality for cultural heritage : A technology acceptance study ». In : *2012 IEEE international symposium on mixed and augmented reality (ISMAR)*. IEEE (2012), p. 247-255.
- [23] Fabrício HERPICH, Renan Luigi Martins GUARESE et Liane Margarida Rockenbach TAROUÇO. « A comparative analysis of augmented reality frameworks aimed at the development of educational applications ». In : *Creative Education* 8.9 (2017), p. 1433.
- [24] María-Blanca IBÁÑEZ et Carlos DELGADO-KLOOS. « Augmented reality for STEM learning : A systematic review ». In : *Computers and Education* 123 (2018), p. 109-123.
- [25] JAYANAM. *Youtube - Unity Free Assets : Skeleton and Animator Controller*. URL : https://www.youtube.com/watch?v=JT4J_uKYH3M&list=WL&index=2.
- [26] Brett R. JONES et al. « IllumiRoom : peripheral projected illusions for interactive experiences ». In : *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (2013), p. 869-878.

- [27] Brett JONES et al. « RoomAlive : magical experiences enabled by scalable, adaptive projector-camera units ». In : *Proceedings of the 27th annual ACM symposium on User interface software and technology* (2014), p. 637-644.
- [28] Timothy Hyungsoo JUNG et al. « Cross-cultural differences in adopting mobile augmented reality at cultural heritage tourism sites ». In : *International Journal of Contemporary Hospitality Management* (2018).
- [29] Chris D. KOUNAVIS, Anna E. KASIMATI et Efpraxia D. ZAMANI. « Enhancing the tourism experience through mobile augmented reality : Challenges and prospects ». In : *International Journal of Engineering Business Management* 4 (2012), p. 10.
- [30] Panos E. KOUROUTHANASSIS, Costas BOLETISIS et George LEKAKOS. « Demystifying the design of mobile augmented reality applications ». In : *Multimedia Tools and Applications* 74.3 (2015), p. 1045-1066.
- [31] Heri KURNIAWAN et al. « E-cultural heritage and natural history framework : an integrated approach to digital preservation ». In : *International Conference on Telecommunication Technology and Applications (IACSIT)* (2011), p. 177-182.
- [32] Kangdon LEE. « Augmented reality in education and training ». In : *TechTrends* 56.2 (2012), p. 13-21.
- [33] Fotis LIAROKAPIS et al. « Multimedia augmented reality interface for e-learning (MARIE) ». In : *World Transactions on Engineering and Technology Education* 1.2 (2002), p. 173-176.
- [34] Nadia MAGNENAT-THALMANN et George PAPAGIANNAKIS. « Virtual worlds and augmented reality in cultural heritage applications ». In : *Recording, modeling and visualization of cultural heritage* (2005), p. 419-430.
- [35] Camillia MATUK. « The learning affordances of augmented reality for museum exhibits on human health ». In : *Museums and Social Issues* 11.1 (2016), p. 73-87.
- [36] Mehdi MEKNI et Andre LEMIEUX. « Augmented reality : Applications, challenges and future trends ». In : *Applied Computational Science* (2014), p. 205-214.
- [37] Mark R. MINE et al. « Projection-based augmented reality in disney theme parks ». In : *Computer* 45.7 (2012), p. 32-40.
- [38] NASA. *Youtube - NASA 2020 : Are You Ready ?* URL : <https://www.youtube.com/watch?v=mB1nAzriqRQ>.
- [39] Danakorn NINCAREAN et al. « Mobile Augmented Reality : the potential for education ». In : *Procedia-social and behavioral sciences* 103.0 (2013), p. 657-664.
- [40] Isabel PEDERSEN et al. « More than meets the eye : The benefits of augmented reality and holographic displays for digital cultural heritage ». In : *Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)* 10.2 (2017), p. 1-15.

- [41] Nikolaos PELLAS et al. « Augmenting the learning experience in primary and secondary school education : A systematic review of recent trends in augmented reality game-based learning ». In : *Virtual Reality* 23.4 (2019), p. 329-346.
- [42] George E. RAPTIS, Christos FIDAS et Nikolaos AVOURIS. « Effects of mixed-reality on players' behaviour and immersion in a cultural tourism game : A cognitive processing perspective ». In : *International Journal of Human-Computer Studies* 114 (2018), p. 69-79.
- [43] Philipp A. RAUSCHNABEL et Young K. RO. « Augmented reality smart glasses : An investigation of technology acceptance drivers ». In : *International Journal of Technology Marketing* 11.2 (2016), p. 123-148.
- [44] Brett RIDEL et al. « The revealing flashlight : Interactive spatial augmented reality for detail exploration of cultural heritage artifacts ». In : *Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)* 7.2 (2014), p. 1-18.
- [45] Nor Farhah SAIDIN, Noor Dayana Abd HALIM et Noraffandy YAHAYA. « A review of research on augmented reality in education : advantages and applications ». In : *International education studies* 8.13 (2015), p. 1-8.
- [46] Patricia SALINAS et Eduardo GONZÁLEZ-MENDÍVIL. « Augmented reality and solids of revolution ». In : *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)* 11.4 (2017), p. 829-837.
- [47] Patricia SALINAS et Ricardo PULIDO. « Understanding the conics through augmented reality ». In : *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education* 13.2 (2016), p. 341-354.
- [48] Hannu SALMI, Helena THUNEBERG et Mari-Pauliina VAINIKAINEN. « Making the invisible observable by Augmented Reality in informal science education context ». In : *International Journal of Science Education, Part B* 7.3 (2017), p. 253-268.
- [49] Sergey SANNIKOV et al. « Interactive educational content based on augmented reality and 3D visualization ». In : *Procedia Computer Science* 66 (2015), p. 720-729.
- [50] Confluent des SAVOIRS. *Notre mission*. URL : <https://cds.unamur.be/nous/mission>.
- [51] SKARREDGHOST. *Augmented reality is reaching a mature state according to Gartner*. URL : <https://skarredghost.com/2019/09/04/augmented-reality-mature-gartner/>.
- [52] Jürgen STEIMLE, Andreas JORDT et Pattie MAES. « Flexpad : highly flexible bending interactions for projected handheld displays ». In : *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (2013), p. 237-246.
- [53] Spark AR STUDIO. *Learn Spark AR Studio*. URL : <https://sparkar.facebook.com/ar-studio/learn/documentation/docs/submitting>.
- [54] Spark AR STUDIO. *Spark AR updates*. URL : <https://sparkar.facebook.com/ar-studio/>.

- [55] Veronica SUNDSTEDT, Alan CHALMERS et Philippe MARTINEZ. « High fidelity reconstruction of the ancient Egyptian temple of Kalabsha ». In : *Proceedings of the 3rd international conference on Computer graphics, virtual reality, visualisation and interaction in Africa* (2004), p. 107-113.
- [56] Playful TECHNOLOGY. *Youtube - How to create an Augmented Reality App*. URL : https://www.youtube.com/watch?v=MtiUx_szKbI&list=WL&index=2&t=0s.
- [57] M. Claudia TOM DIECK, Timothy JUNG et Dai-In HAN. « Mapping requirements for the wearable smart glasses augmented reality museum application ». In : *Journal of Hospitality and Tourism Technology* (2016).
- [58] UNITY. *Unity Licenses*. URL : <https://support.unity3d.com/hc/en-us/categories/201268913-Licenses>.
- [59] UNITY. *Unity User Manual*. URL : <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html>.
- [60] D. W. F. VAN KREVELEN et Ronald POELMAN. « A survey of augmented reality technologies, applications and limitations ». In : *International journal of virtual reality* 9.2 (2010), p. 1-20.
- [61] Juan Carlos VEGA GARZÓN, Marcio Luiz MAGRINI et Eduardo GALEM-BECK. « Using augmented reality to teach and learn biochemistry ». In : *Biochemistry and molecular biology education* 45.5 (2017), p. 417-420.
- [62] Vassilios VLAHAKIS et al. « Archeoguide : first results of an augmented reality, mobile computing system in cultural heritage sites ». In : *Virtual Reality, Archeology, and Cultural Heritage* 9.10.1145 (2001), p. 584993-585015.
- [63] VUFORIA. *Optimizing Target Detection and Tracking Stability*. URL : <https://library.vuforia.com/articles/Solution/Optimizing-Target-Detection-and-Tracking-Stability>.
- [64] Y.-H WANG. « Using augmented reality to support a software editing course for college students ». In : *Journal of Computer Assisted Learning* 33.5 (2017), p. 532-546.
- [65] Rafal WOJCIECHOWSKI et al. « Building virtual and augmented reality museum exhibitions ». In : *Proceedings of the ninth international conference on 3D Web technology* (2004), p. 135-144.
- [66] Shuxia YANG, Bing MEI et Xiaoyu YUE. « Mobile augmented reality assisted chemical education : Insights from elements 4D ». In : (2018).
- [67] Michael ZOELLNER et al. « An augmented reality presentation system for remote cultural heritage sites ». In : *Proceedings of the 10th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST* (2009), p. 112-116.
- [68] Michael ZOELLNER et al. « Cultural heritage layers : Integrating historic media in augmented reality ». In : *2009 15th International Conference on Virtual Systems and Multimedia. IEEE* (2009), p. 193-196.

Glossaire

Terme	Description
AnimationController	Composant d'un GameObject permettant de gérer l'exécution des animations et les transitions entre les différentes animations
Augmented Reality (AR)	Réalité augmentée : environnement réel sur lequel on ajoute des objets virtuels
Augmented Virtuality (AV)	Réalité virtuelle : environnement virtuel sur lequel on ajoute des objets réels
Cognitive Theory of Multimedia and of the Cognitive Load Theory (CTML)	Principe qui explique la manière de comprendre n'importe quel domaine : sélection des informations pertinentes, construction d'une image mentale et intégration de l'image pour interpréter de nouvelles informations
Confluent des Savoirs	Service de l'Université de Namur qui a pour mission de vulgariser les recherches scientifiques qui sont actuellement effectuées au sein de l'Université
Game-Base Learning (GBL)	Méthode d'apprentissage qui s'appuie sur l'utilisation du jeu
GameObjects	Objet virtuel de Unity3D notamment utilisé pour les fonctionnalités de réalité augmentée
Hand-Held Display (HHD)	Système de réalité augmentée portatif manuel (par exemple : smartphone ou tablette)
Head-Mounted Display (HMD)	Casque de réalité augmentée
Head-Mounted Projective Display (HMPD)	Casque de réalité augmentée utilisant des projecteurs
ImageTarget	GameObjects qui rassemble les éléments essentiels à une fonctionnalité de réalité augmentée
Material	Composant d'un GameObject permettant d'y afficher une image ou une texture
Mobile Augmented Reality (MAR)	Système de réalité augmentée utilisant des supports mobiles
Mobile Augmented Reality System (MARS)	Système de réalité augmentée utilisant des supports mobiles

Terme	Description
Optical See-Through	Casque de réalité augmentée qui superpose des objets virtuels sur la réalité à l'aide d'un afficheur miniature
Projection-Based Augmented Reality	Système de réalité augmentée basée sur l'utilisation de projecteurs
Projection Mapping	Système de réalité augmentée basée sur l'utilisation de projecteurs
Quad	GameObjects graphique plat sur lequel il est possible d'afficher une image, une texture, une vidéo, etc. . .
Retinal Scanning Displays (RSD)	Casque de réalité augmentée qui utilise des lasers à faible puissance pour projeter les images virtuelles directement sur la rétine de l'utilisateur
Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM)	Sciences, technologie, ingénierie et mathématiques
Software development kit (SDK)	Kit de développement informatique
Spatial Augmented Reality (SAR)	Système de réalité augmentée éloigné de l'utilisateur
Spatial Narrative	Système de narration qui donne des petites parties d'une histoire globale en fonction de l'emplacement de spectateur
Technology Acceptance Model (TAM)	Etude d'acceptation de la technologie
Technology Enhanced Learning (TEL)	Apprentissage amélioré par la technologie
Video Mapping	Système de réalité augmentée basée sur l'utilisation de projecteurs
Video Player	Composant d'un GameObject permettant d'y afficher une vidéo
Video See-Through	Casque de réalité augmentée qui affiche un mélange de réalité et d'objets virtuels devant l'œil de l'utilisateur
Virtual Retinal Displays	Casque de réalité augmentée qui utilise des lasers à faible puissance pour projeter les images virtuelles directement sur la rétine de l'utilisateur

Annexes

Annexe 1 – Techniques d'évaluation des applications de réalité augmentée

Tests de motivation

Le Deci-Ryan Motivation Test est un test contenant 32 affirmations standardisées auxquelles les utilisateurs répondent avec un degré d'accord allant de 1 (Complètement faux) à 4 (tout à fait vrai) [48].

Le Situation Motivation Test est un questionnaire standardisé de 14 affirmations auxquelles les utilisateurs répondent également avec un degré d'accord allant de 1 (tout à fait d'accord) à 5 (Pas d'accord du tout) [48].

Test de connaissance

Selon la théorie du Raven Test, l'élément principal de la compétence cognitive est la capacité à apprendre, comprendre et se rappeler des connaissances. Ce test de Raven est un outil standardisé permettant de mesurer les compétences cognitives d'un individu afin d'évaluer ses capacités d'apprentissage par rapport à un groupe représentatif de son âge [48].

Le test de connaissance classique permet d'évaluer le niveau de connaissance d'un individu dans un domaine particulier. Il consiste en une série d'affirmations auxquelles l'utilisateur répond " vrai ", " faux " ou " ne sait pas " [48].

Test de performance

L'évaluation du temps de chargement moyen qui mesure le temps moyen requis pour démarrer l'application, c'est-à-dire le temps entre le moment où l'on clique sur l'application et le moment où le menu est affiché [14].

L'évaluation de la performance qui correspond aux réponses de l'application à des fonctionnalités tels que la détection de marqueurs de réalité augmentée, l'affichage des objets virtuels et l'interaction avec les boutons utilisateurs [14].

L'évaluation de l'expérience utilisateur qui correspond à l'ensemble des facteurs qui peuvent affecter directement l'expérience de l'utilisateur [14].

Annexe 2 – Manuel de développement du premier prototype de réalité augmentée

L'objectif de ce mode d'emploi est d'aider le Confluent des Savoirs à reproduire une application similaire au premier prototype et de favoriser une prise en main autonome pour la suite de leurs activités. Les instructions ci-dessous ont été développées en avril 2020 à l'aide de Unity3D version 2019.2.2f1 et Vuforia 9.0.12.

Le développement du prototype a largement été réalisé à l'aide du tutoriel YouTube "*How to create an Augmented Reality App*" [56].

Le manuel détaille :

- L'installation des outils nécessaires,
- La création des marqueurs,
- Les quatre fonctionnalités développées pour le premier prototype,
- La génération du fichier d'installation de l'application.

1. Installation des outils

1.1. Installation de Unity Hub

1. Télécharger Unity Hub à cette adresse : <https://unity3d.com/fr/get-unity/download>
2. Exécuter l'installateur téléchargé et suivre les étapes de la fenêtre d'installation.
3. Une fois le Unity Hub installé, l'exécuter.
4. Cliquer sur le portrait en haut à droite de la fenêtre de Unity Hub pour créer un compte via le bouton "*Sign in*" et suivre les étapes de création de compte.
5. Se connecter à l'application et cliquer sur le symbole "*Paramètre*", puis "*Licence Management*" et "*Activate new Licence*" pour créer et activer une nouvelle licence d'utilisation.
6. Revenir au menu principal de Unity Hub.

1.2. Installation de Unity3D

1. Dans le menu principal de Unity Hub, dans la liste de gauche, cliquer sur "*Installs*".
2. Cliquer sur "*Add*" en haut à droite, sélectionner la dernière version de Unity3D disponible et cliquer sur "*Next*".
3. S'assurer de sélectionner "*Microsoft Visual Studio Community 2019*", "*Android Build Support*" et ses sous-plateformes "*Android SDK & NDK Tools*" et "*OpenJDK*", "*iOS Build Support*", la "*Documentation*" et cliquer sur "*Next*".
4. Accepter les termes et conditions d'utilisation et cliquer sur "*Next*" puis "*Done*" pour initier l'installation.

1.3. Création d'un nouveau projet Unity3D

1. Dans le menu principal de Unity Hub, dans la liste de gauche, cliquer sur "*Projects*".
2. Cliquer sur "*New*" en haut à droite.
3. Sélectionner le template "*3D*", donner un nom au projet, choisir l'emplacement où sera stocké le projet et cliquer sur "*Create*".
4. Cliquer sur le nom du projet pour l'exécuter.

1.4. Installation de Vuforia

1. Dans l'écran principal du projet Unity3D, cliquer sur "*Window*" puis "*Package Manager*" et retrouver "*Vuforia Engine AR*" dans la liste du menu "*Packages*". Cliquer sur "*install*" et suivre les opérations d'installation pour intégrer Vuforia au projet.

1.5. Création d'une clé de licence Vuforia

1. Se rendre sur la page web de Vuforia <https://developer.vuforia.com/>, créer un compte et se connecter.
2. Se rendre sur la page web de Vuforia <https://developer.vuforia.com/vui/develop/licenses/free/new>, indiquer un nom de licence, cocher les conditions d'utilisation et cliquer sur "*Confirm*".
3. Copier la clé de licence générée pour l'utiliser dans le projet Unity3D.
4. Dans l'écran principal du projet Unity3D, cliquer sur "*Window*" puis "*Vuforia Configuration*" et copier la clé de licence dans "*App License Key*".

Remarque : Sans cette étape, les fonctionnalités de réalité augmentée ne s'exécuteront pas.

2. Création des marqueurs avec Vuforia

1. Se rendre sur la page web de Vuforia <https://developer.vuforia.com/> et s'identifier.
2. Se rendre sur la page web de Vuforia <https://developer.vuforia.com/vui/develop/databases>, cliquer sur "*Add Database*", indiquer le nom de la nouvelle Database et cliquer sur "*Create*".
3. Cliquer sur la DataBase créée qui s'est ajoutée à la liste et cliquer sur "*Add Target*". Indiquer le fichier image qui servira de marqueur pour l'application, indiquer la taille de l'image réelle, donner un nom au marqueur (qui sera utilisé dans Unity3D) et cliquer sur "*Add*". Le marqueur s'ajoute alors à la liste des "*Targets*".
4. Répéter les opérations 3 pour ajouter autant de marqueurs que nécessaire.

5. Une fois la liste des marqueurs établie (il est possible d'ajouter des marqueurs ultérieurement), s'assurer d'avoir le projet Unity3D ouvert.
6. Sur la plateforme web de Vuforia, cliquer sur " *Download Database (All)* ", sélectionner " *Unity Editor* ", cliquer sur " *Download* ", ouvrir le fichier téléchargé avec l'éditeur unity3D et cliquer sur " *Import* " de la fenêtre " *Import Unity Package* " pour importer la Database au projet.

3. Création des fonctionnalités avec Unity3D et Vuforia

Remarque :

- Lors de la première utilisation des " *GameObjets* " de " *Vuforia Engine* ", il est demandé d'accepter les conditions d'utilisation.
- Lors de la première utilisation du " *GameObjets* " " *Image* " de " *Vuforia Engine* ", un message va apparaître pour demander d'importer la base de données par défaut, cliquer sur " *Import* ".

3.1. Création de la fonctionnalité d'affichage d'image

1. (Si la scène contient déjà une " *AR Camera* ", passer cette étape) Dans l'écran principal du projet Unity3D, cliquer sur " *GameObject* ", puis sur " *Vuforia Engine* " puis sur " *AR Camera* " pour ajouter la caméra à la scène.
2. Dans l'écran principal du projet Unity3D, cliquer sur " *GameObject* ", puis sur " *Vuforia Engine* ", puis sur " *Image* " pour ajouter une " *ImageTarget* " dans votre scène. Une bonne pratique est de renommer l'objet avec un nom explicite pour le retrouver ultérieurement.
3. Sélectionner l' " *ImageTarget* " créée. Dans le panneau " *Inspector* ", partie " *Image Target Behaviour* ", dans la case " *Type* ", sélectionner " *From Database* " et cliquer sur " *Add Target* " pour ajouter la database de marqueurs (Voir la partie " *Création des marqueurs avec Vuforia* ").
4. Dans le panneau " *Inspector* ", partie " *Image Target Behaviour* ", sélectionner la " *Database* " créée sur la plateforme web de Vuforia et sélectionnée l' " *Image Target* " créée dans cette database.
5. Dans l'écran principal du projet Unity3D, cliquer sur " *GameObject* ", puis sur " *3D Object* " puis sur " *Quad* " pour ajouter un " *Quad* " dans votre scène. Dans le panneau " *Hierarchy* ", faire glisser le " *Quad* " sur l' " *ImageTarget* " pour en faire un sous-objet de l' " *ImageTarget* ".
6. Adapter la position, l'orientation et les dimensions du " *Quad* " à l' " *ImageTarget* ", cela localisera l'image virtuelle par rapport au marqueur lorsqu'il sera identifié par l'application.
7. Dans le panneau " *Project* ", faire un clic droit, sélectionner " *Create* " puis " *Material* ". Faire glisser l'image à afficher en réalité augmentée dans le panneau " *Project* ", puis la faire glisser dans la case " *Albedo* " du panneau " *Inspector* " du " *Matériel* " créé. Cela associe l'image au " *Material* ".

8. Faire glisser ce " *Material* " sur le " *Quad* " du panneau " *Hierarchy* " pour associer le " *Material* " et par conséquent l'image au " *Quad* ".
9. La fonctionnalité est maintenant prête, il suffit de la tester avec le bouton " *Play* " en haut de l'éditeur Unity3D.

3.2. Création de la fonctionnalité d'affichage de vidéo

1. (Si la scène contient déjà une " *AR Camera* ", passer cette étape) Dans l'écran principal du projet Unity3D, cliquer sur " *GameObject* ", puis sur " *Vuforia Engine* " puis sur " *AR Camera* " pour ajouter la caméra à la scène.
2. Dans l'écran principal du projet Unity3D, cliquer sur " *GameObject* ", puis sur " *Vuforia Engine* ", puis sur " *Image* " pour ajouter une " *ImageTarget* " dans votre scène. Une bonne pratique est de renommer l'objet avec un nom explicite pour le retrouver ultérieurement.
3. Sélectionner l' " *ImageTarget* " créée. Dans le panneau " *Inspector* ", partie " *Image Target Behaviour* ", dans la case " *Type* ", sélectionner " *From Database* " et cliquer sur " *Add Target* " pour ajouter la database de marqueurs (Voir la partie " *Création des marqueurs avec Vuforia* ").
4. Dans le panneau " *Inspector* ", partie " *Image Target Behaviour* ", sélectionner la " *Database* " créée sur la plateforme web de Vuforia et sélectionner l' " *Image Target* " créée dans cette database.
5. Dans l'écran principal du projet Unity3D, cliquer sur " *GameObject* ", puis sur " *3D Object* " puis sur " *Quad* " pour ajouter un " *Quad* " dans votre scène. Dans le panneau " *Hierarchy* ", faire glisser le " *Quad* " sur l' " *ImageTarget* " pour en faire un sous-objet de l' " *ImageTarget* ".
6. Adapter la position, l'orientation et les dimensions du " *Quad* " à l' " *ImageTarget* ", cela localisera l'image virtuelle par rapport au marqueur lorsqu'il sera identifié par l'application.
7. Dans le panneau " *Inspector* " du " *Quad* ", cliquer sur " *Add Component* " et sélectionner " *Video* " puis " *Vidéo Player* ". Faire glisser la vidéo à afficher en réalité augmentée dans le panneau " *Project* ", puis la faire glisser dans la case " *Vidéo Clip* " du panneau " *Inspector* " du " *Vidéo Player* " du " *Quad* ". Cela associe la vidéo au " *Quad* ".
8. La fonctionnalité est maintenant prête, il suffit de la tester avec le bouton " *Play* " en haut de l'éditeur Unity3D.

3.3. Création de la fonctionnalité d'affichage de modèles 3D

1. (Si la scène contient déjà une " *AR Camera* ", passer cette étape) Dans l'écran principal du projet Unity3D, cliquer sur " *GameObject* ", puis sur " *Vuforia Engine* " puis sur " *AR Camera* " pour ajouter la caméra à la scène.
2. Dans l'écran principal du projet Unity3D, cliquer sur " *GameObject* ", puis sur " *Vuforia Engine* ", puis sur " *Image* " pour ajouter une " *ImageTarget* " dans

vosre scène. Une bonne pratique est de renommer l'objet avec un nom explicite pour le retrouver ultérieurement.

3. Sélectionner l' " *ImageTarget* " créée. Dans le panneau " *Inspector* ", partie " *Image Target Behaviour* ", dans la case " *Type* ", sélectionner " *From Database* " et cliquer sur " *Add Target* " pour ajouter la database de marqueurs (Voir la partie " *Création des marqueurs avec Vuforia* ").
4. Dans le panneau " *Inspector* ", partie " *Image Target Behaviour* ", sélectionner la " *Database* " créée sur la plateforme web de Vuforia et sélectionner l' " *Image Target* " créée dans cette database.
5. Les étapes suivantes sont inspirées du tutoriel Youtube " *Unity Free Assets : Skeleton and Animator Controller* " (site 11).
6. Dans le panneau " *Asset Store* ", rechercher le modèle 3D à intégrer au projet, le télécharger et l'importer. Une autre option est de faire glisser dans le panneau " *Project* " les fichiers de modèles 3D présents sur l'ordinateur (ce sont par exemple des fichiers de type .fbx ou .obj).
7. Pour exemple, le modèle 3D utilisé dans ce projet est le " *Dungeon Skeletons Demo* " (site 9).
8. Faire glisser le modèle 3D importé sur l' " *ImageTarget* " pour en faire un sous-objet de l' " *ImageTarget* ". Il est possible que le modèle 3D s'affiche sans texture, il faut alors faire glisser sur le modèle 3D les " *Materials* " fournis avec le modèle.
9. Adapter la position, l'orientation et les dimensions du modèle à l' " *ImageTarget* ", cela localisera le modèle virtuel par rapport au marqueur lorsqu'il sera identifié par l'application.
10. Pour l'instant, le modèle est immobile. Si celui-ci est fourni avec des animations, dans le panneau " *Project* ", faire un clic droit, aller sur " *Create* " puis " *Animator Controller* ".
11. Double cliquer sur l' " *Animator Controller* " ainsi créé et glisser les animations disponibles dans le panneau " *Animator* " qui s'est ouvert. Le point de départ des animations est l'état " *Entry* " et la fin est l'état " *Exit* ". Faire un clic droit sur l'animation que l'on souhaite exécuter en premier et sélectionner " *Set as Layer Default State* ", cela génère une transition entre " *Entry* " et l'animation. Faire un nouveau clic droit sur cette animation, sélectionner " *Make Transition* " et sélectionner l'animation que l'on souhaite exécuter ensuite. Faire cela pour toutes les transitions que l'on souhaite exécuter, elles s'exécuteront successivement.
12. Faire glisser l' " *Animator Controller* " sur le modèle 3D du panneau " *Hierarchy* " pour associer l' " *Animator Controller* " au modèle.
13. La fonctionnalité est maintenant prête, il suffit de la tester avec le bouton " *Play* " en haut de l'éditeur Unity3D.

3.4. Créer la fonctionnalité d'interaction

1. Les étapes suivantes sont inspirées du tutoriel Youtube " *Unity Free Assets : Skeleton and Animator Controller* " (site 11).
2. Récupérer les " *Gameobjets* " de la partir " *Créer la fonctionnalité d'affichage de modèles 3D* ".
3. Faire un clic droit sur l' " *ImageTarget* " du modèle 3D, sélectionner " *UI* " puis " *Canvas* " pour ajouter un " *EventSystem* ", un " *Canvas* " et un " *Button* " en sous-objet à l' " *ImageTarget* ".
4. Dans l' " *Inspector* " du " *Canvas* ", partie " *Canvas* ", sélectionner " *World Space* " dans la case " *Render Mode* ". Adapter la position, l'orientation et les dimensions du " *Canvas* " à l' " *ImageTarget* ", cela localisera le " *Canvas* " virtuel par rapport au marqueur lorsqu'il sera identifié par l'application.
5. Adapter la position du bouton par rapport au " *Canvas* " et dupliquer le bouton au besoin. Dans notre cas, nous allons dupliquer le bouton en faisant un clic droit sur le " *Button* " puis " *Duplicate* ". Nommer les boutons est une bonne pratique pour les démarquer. Chaque bouton a un sous-objet " *Text* " qui permet d'adapter le texte du bouton via l' " *Inspector* " du " *Text* ". Dans notre cas, nous aurons un bouton " *Marche* " et un bouton " *Attaque* ".
6. Dans l' " *Animator Controller* " créé précédemment, aménager les états et les transitions comme indiqué dans la figure 35 . A gauche de l'écran de la machine à états, cliquer sur le " + " pour ajouter un paramètre. Sélectionner " *Bool* " et le nommer " *walk* ". Répéter l'étape pour un autre paramètre " *Bool* " nommé " *Attack* ".

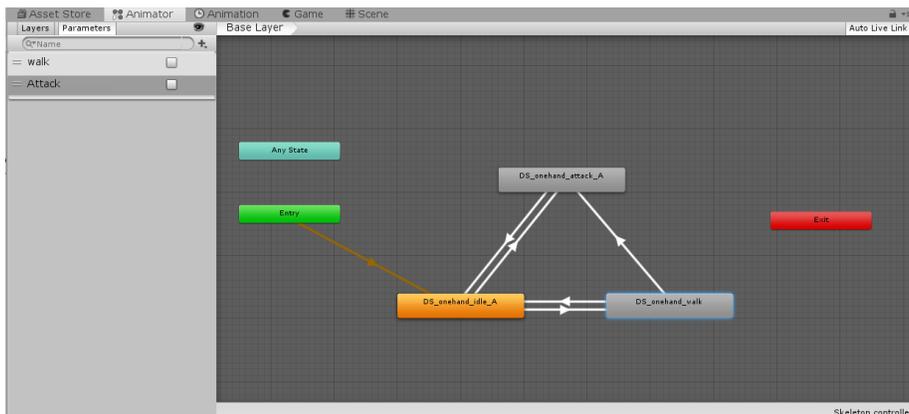


FIGURE 35 – Schéma de la machine à état pour la fonctionnalité d'interaction du prototype de réalité augmentée

7. Dans l' " *Inspector* " des transitions, sur la transition :
 - " *Idle* " vers " *Attack* ", ajouter la condition " *attack* " et la fixer à " *true* ",
 - " *Walk* " vers " *Attack* ", ajouter la condition " *attack* " et la fixer à " *true* ",

- "Idle" vers "Walk", ajouter la condition "walk" et la fixer à "true",
 - "Walk" vers "Idle", ajouter la condition "walk" et la fixer à "false".
8. Dans l'écran principal du projet Unity3D, cliquer sur "GameObject", puis sur "Create Empty" pour ajouter un "GameObject" dans votre scène. Le renommer "UIControl" et le faire glisser dans le "Canvas".
 9. Dans le panneau "Inspector" du "UIControl", cliquer sur "Add Component" puis "New Script", lui donner le nom "UIcontrol" et cliquer sur "Create and add". Double cliquer sur le fichier créé qui se trouve maintenant dans le panneau "Project" pour ouvrir un éditeur de script. Ecrire le code suivant dans le script :

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class UIcontrol : MonoBehaviour
{
    public bool walkInput = false;
    public bool attackInput = false;

    // Use this for initialization
    void Start(){ }

    // Update is called once per frame
    void Update(){ }

    public void marche(){
        attackInput = false;
        walkInput = true;
    }

    public void attaque(){
        walkInput = false;
        attackInput = true;
    }
}
```

10. Dans le panneau "Inspector" du modèle 3D, cliquer sur "Add Component" puis "New script", lui donner le nom "AnimControl" et cliquer sur "Create and add". Double cliquer sur le fichier créé qui se trouve maintenant dans le panneau "Project" pour ouvrir un éditeur de script. Ecrire le code suivant dans le script :

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
```

```

public class AnimControl : MonoBehaviour
{
    private Animator mAnimator;
    public GameObject myController;
    public bool walkStatus = false;
    public bool attackStatus = false;

    // Start is called before the first frame update
    void Start(){
        mAnimator = GetComponent<Animator>();
    }

    // Update is called once per frame
    void Update(){
        walkStatus = myController.GetComponent<UIControl>().walkInput;
        attackStatus = myController.GetComponent<UIControl>().attackInput;

        if (walkStatus){
            mAnimator.SetBool("attack", false);
            mAnimator.SetBool("walk", true);
        }

        if (attackStatus){
            mAnimator.SetBool("walk", false);
            mAnimator.SetBool("attack", true);
        }
    }
}

```

11. Glisser l'objet " *UIControl* " dans la case " *My Contrôler* " de la partie " *Anim Control* " de l' " *Inspector* " du modèle 3D.
12. Dans l' " *Inspector* " du bouton " *Marche* ", partie " *Button (Script)* ", dans la case " *On Click()* ", cliquer sur " + " et faire glisser le " *UIControl* " dans la case indiquée " *None (object)* ". Dans la case indiquée " *No function* ", sélectionner " *UIControl* " puis " *marche()* ".
13. Dans l' " *Inspector* " du bouton " *Attaque* ", partie " *Button (Script)* ", dans la case " *On Click()* ", cliquer sur " + " et faire glisser le " *UIControl* " dans la case indiquée " *None (object)* ". Dans la case indiquée " *No function* ", sélectionner " *UIControl* " puis " *attaque()* ".
14. La fonctionnalité est maintenant prête, il suffit de la tester avec le bouton " *Play* " en haut de l'éditeur Unity3D.

4. Exporter l'application sur Android ou iOS

1. Dans l'écran principal du projet Unity3D, cliquer sur " *File* ", puis sur " *Build Settings...* " pour ouvrir le menu " *Build Settings* ".
2. Sélectionner " *Android* " ou " *iOS* " dans la liste des plateformes puis cliquer sur " *Switch Platform* ", un chargement va exécuter le changement de plateforme.
3. Cliquer sur " *Player Settings...* " pour ouvrir le menu " *Project Settings* ". Dans le menu " *Player* " de la liste de gauche, indiquer un nom et une image à l'application, ainsi qu'un créateur et une version d'application.
4. Retourner au menu " *Build Settings* " et cliquer sur " *Build* ". Dans le cas d'Android, cela va produire un fichier .apk qui s'installe sur un appareil Android et l'application est prête à être utilisée.

Remarque : En cas de problème au Build :

- Aller dans le menu " *Player* " de la liste de gauche de " *Project Settings* ", dans la partie " *Other Settings* " pour indiquer " *Android 4.4W 'KitKat' (API level 20)* " de la case " *Minimum API Level* ". Cela résout un bug de Unity3D qui ne parvient pas à compiler en dessous du niveau 20 de Android.
- Il est également possible que le SDK Android de Unity3D ne permette pas de Build. Il faudra alors le télécharger à l'adresse <https://developer.android.com/studio> et indiquer son emplacement à Unity3D. Pour cela, dans l'écran principal du projet Unity3D, cliquer sur " *Edit* " puis " *Preferences...* " pour ouvrir le menu " *Preferences* ". Décocher la case " *Android SDK Tools Installed with unity* " et indiquer l'emplacement de téléchargement du SDK Android.