



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA -01-  
INSTITUT D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME  
DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE

Mémoire de master en architecture

Option : Architecture et Patrimoine

### **Thème:**

**La Réalité Augmentée : Vers une médiation pédagogique du  
patrimoine bâti.**

**Exemple d'expérimentation : Musée National Public D'Art Moderne  
et Contemporain d'Alger MAMA.**

Présenté par :

**Bouchoucha Nour El Houda**

Sous la direction de :

**Mme Bousserak Malika**

Membres du jury :

Mme. Merzelkad-Hellal Rym, Présidente.

Mr. FOUFA Burhan Eddine, Examineur.

21 octobre 2020

## Remerciements

A vous Allah le tout puissant que j'adresse ma sincère gratitude car c'est la force et la volonté que vous m'avez accordées qui m'a guidé tout au long de mon parcours de formation.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers mon encadreur Mme M. Bousserak, pour le temps qu'elle a consacré à m'orienter et les informations précieuses qu'elle a partagées avec moi.

Je remercie également les membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce travail.

Je remercie mes parents et toute ma famille, mes amis et mon entourage qui m'ont toujours soutenu et encouragé. Je suis profondément émue par votre présence et votre engagement dans chaque étape de mon parcours.

Je m'adresse finalement à toute les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail. JE VOUS REMERCIE.

## Résumé

La Réalité Augmentée est une technologie permettant de superposer des données générées par ordinateur sur le monde réel via des dispositifs électroniques d'affichage tels que les smartphones et les tablettes.

Appliquée au patrimoine, la réalité augmentée permet de présenter l'information nécessaire sur place de la façon la plus compréhensible, de compléter -par l'information- les parties manquantes d'un bâtiment et de pérenniser l'image et l'histoire d'un monument.

Dans ce mémoire, nous explorons le potentiel de médiation pédagogique de cette technologie, précisément dans la formation d'architecture des monuments et ceci, par l'association à la restitution tridimensionnelle. La RA engage l'utilisateur à être présent et de participer dans son activité, son mode de diffusion attire l'attention et la motivation des étudiants.

Afin de valider ce propos, nous avons dressé un état des connaissances sur la numérisation du bâtiment et sa diffusion par la Réalité Augmentée et nous avons mené une démarche expérimentale en classe pour déterminer son intérêt dans notre contexte.

### **Mots-clés:**

Réalité augmentée, patrimoine numérique, restitution virtuelle, médiation pédagogique, synthèse graphique.

## **Abstract**

Augmented reality is a technology for overlaying computer-generated data on the real environment via electronic display devices such as smartphones and tablets.

Applied to heritage, Augmented Reality makes it possible to present the necessary information on site in the most understandable way, to complete - with information - the missing parts of a building and to perpetuate the image and history of a monument.

In this Master thesis, we explore the educational potential of this technology, precisely in the training of Historic Monument architects through association with three-dimensional restitution. AR engages the user to be present and participate in its activity; its mode of transmission attracts the attention and motivation of students.

In order to validate this point, we drew up a state of knowledge on the digitization of the building and its diffusion by Augmented Reality and we carried out an experimental process in class to determine its interest in our context.

### **Keywords:**

Augmented reality, digital heritage, virtual restitution, educational mediation, graphic synthesis.

الواقع المعزز هو تقنية لإسقاط البيانات التي تم إنشاؤها بواسطة الكمبيوتر في العالم الحقيقي عبر أجهزة العرض الإلكترونية مثل الهواتف الذكية والأجهزة اللوحية.

عند تطبيقه في مجال التراث المعماري، الواقع المعزز يجعل من الممكن تقديم المعلومات الضرورية في الموقع بأكثر الطرق المفهومة، واستكمال - بالمعلومات - الأجزاء المفقودة من المبنى واستدامة صورة وتاريخ النصب تذكاري.

في هذه المذكرة، سنقوم بالتحقق من إمكانية الوساطة البيداغوجية لهذه التكنولوجيا، على وجه التحديد في تكوين مهندسي المعالم الأثرية. وذلك عن طريق تعزيز النموذج ثلاثي الأبعاد. يلزم الواقع المعزز المستخدم أن يكون حاضرًا ويشارك في نشاطه، ويجذب أسلوب نشره انتباه الطلاب وتحفيزهم.

من أجل التحقق من صحة هذه النقطة، استعرضنا آخر ما توصلت إليه رقمته المبنى وكيفية عرضه بواسطة الواقع المعزز وقمنا بإجراء عملية تجريبية في الفصل لتحديد مدى أهميته في سياق هذا العمل.

### الكلمات المفتاحية :

الواقع المعزز، التراث الرقمي، النموذج الافتراضي، الوساطة البيداغوجية، المخطط البياني

## TABLE DES MATIERES

|                                                                                                 |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Remerciements .....</b>                                                                      | <b>I</b>   |
| <b>Résumé .....</b>                                                                             | <b>II</b>  |
| <b>Abstract .....</b>                                                                           | <b>III</b> |
| <b>ملخص .....</b>                                                                               | <b>IV</b>  |
| <b>Liste des figures .....</b>                                                                  | <b>IX</b>  |
| <b>Liste des tableaux.....</b>                                                                  | <b>XI</b>  |
| <b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>                                                               | <b>2</b>   |
| 1. Motivation et choix du thème.....                                                            | 2          |
| 2. Problématiques .....                                                                         | 5          |
| 3. Hypothèses.....                                                                              | 7          |
| 4. Objectifs de la recherche.....                                                               | 7          |
| 5. Choix du cas d'étude .....                                                                   | 7          |
| 6. Méthodologie de recherche.....                                                               | 8          |
| <b>CHAPITRE I: La synthèse graphique du bâtiment ancien. ....</b>                               | <b>11</b>  |
| <b>I.1 Quel intérêt à numériser le patrimoine ? .....</b>                                       | <b>11</b>  |
| I.1.1 L'accès au savoir .....                                                                   | 13         |
| I.1.2 L'inventaire du patrimoine.....                                                           | 14         |
| I.1.3 Mise en réseau des acteurs.....                                                           | 15         |
| I.1.4 Visibilité du patrimoine .....                                                            | 15         |
| <b>I.2 Le monument virtuel .....</b>                                                            | <b>16</b>  |
| I.2.1 Terminologie .....                                                                        | 16         |
| I.2.2 Techniques d'acquisition 3D .....                                                         | 19         |
| I.2.2.1 Lasergrammetrie .....                                                                   | 19         |
| I.2.2.2 Photogrammétrie .....                                                                   | 20         |
| a) Photogrammétrie mono-image .....                                                             | 20         |
| b) A partir de deux photos (Stéréorestitution) .....                                            | 20         |
| c) Le bloc multi-image .....                                                                    | 21         |
| d) La correspondance d'image par corrélation .....                                              | 21         |
| I.2.2.3 Photomodélisation .....                                                                 | 22         |
| I.2.3 L'apport de la restitution virtuelle à la médiation et l'interprétation du bâtiment ..... | 25         |

|                    |                                                                      |           |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| I.2.3.1            | Contextualiser et comprendre .....                                   | 25        |
| I.2.3.2            | Conserver .....                                                      | 27        |
| I.2.3.3            | Concevoir.....                                                       | 29        |
| I.2.3.4            | Communiquer.....                                                     | 29        |
| <b>I.3</b>         | <b>Technologies de visualisation du bâtiment .....</b>               | <b>31</b> |
| I.3.1              | La vue 360° .....                                                    | 31        |
| I.3.2              | La Réalité virtuelle .....                                           | 33        |
| I.3.3              | La Réalité Augmentée .....                                           | 36        |
| <b>Conclusion</b>  | <b>.....</b>                                                         | <b>37</b> |
| <b>CHAPITRE II</b> | <b>: La Réalité Augmentée comme support heuristique .....</b>        | <b>39</b> |
| <b>II.1</b>        | <b>Définition de la réalité augmentée .....</b>                      | <b>40</b> |
| II.1.1             | La fusion réel-virtuel.....                                          | 42        |
| II.1.1.1           | Réalité augmentée AR vs Réalité virtuelle VR .....                   | 42        |
| II.1.1.2           | La réalité mixte .....                                               | 43        |
| II.1.2             | Principe d'un system RA.....                                         | 45        |
| II.1.2.1           | Suivi visuel .....                                                   | 46        |
| II.1.2.1.1         | Les marqueurs 2D .....                                               | 46        |
| II.1.2.1.2         | Les objet 3D .....                                                   | 47        |
| II.1.2.2           | Suivi par capteurs .....                                             | 47        |
| II.1.2.2.1         | Suivi mixte (hybride).....                                           | 48        |
| II.1.3             | Système de visualisation de la RA .....                              | 49        |
| II.1.3.1           | Les visiocasques.....                                                | 49        |
| II.1.3.1.1         | Visiocasque optique semi-transparent (Optical See-through OST) ..... | 50        |
| II.1.3.1.2         | Visiocasque optique vidéo (Video see-through VST) .....              | 50        |
| II.1.3.2           | Ecrans d'affichage .....                                             | 50        |
| <b>II.2</b>        | <b>Applications de la réalité augmentée.....</b>                     | <b>53</b> |
| II.2.1             | Architecture, ingénierie et construction (AEC) .....                 | 53        |
| II.2.2             | Tourisme et médiation culturelle.....                                | 55        |
| II.2.2.1           | La ville augmentée .....                                             | 55        |
| II.2.2.2           | Le monument augmenté.....                                            | 56        |
| II.2.3             | La pédagogie numérique.....                                          | 58        |
| <b>II.3</b>        | <b>Les limites de la RA .....</b>                                    | <b>61</b> |

|                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>II.4 Quel outil pour créer la RA.....</b>                                      | <b>62</b> |
| II.4.1 Services en ligne .....                                                    | 62        |
| II.4.2 A l'aide d'un kit de développement SDK.....                                | 62        |
| II.4.3 Création de la réalité augmentée avec Unity3D et Vuforia .....             | 63        |
| <b>Conclusion .....</b>                                                           | <b>65</b> |
| <b>CHAPITRE III : La maquette augmentée, outil de médiation pédagogique. ....</b> | <b>67</b> |
| <b>III.1 Description du Cas d'étude .....</b>                                     | <b>67</b> |
| III.1.1 Motivation du choix .....                                                 | 67        |
| III.1.2 Les Galeries de France.....                                               | 68        |
| III.1.3 Les Galeries d'Alger .....                                                | 71        |
| III.1.4 Musée National d'Art Moderne et Contemporain d'Alger .....                | 72        |
| <b>III.2 Méthodologie de travail.....</b>                                         | <b>74</b> |
| III.2.1 Mise en place d'une Application de Réalité Augmentée .....                | 75        |
| III.2.1.1. Modélisation 3D .....                                                  | 76        |
| III.2.1.1 Création de l'application dans Unity .....                              | 77        |
| III.2.2 Contenu du questionnaire .....                                            | 78        |
| III.2.3 DESCRIPTION DE L'ÉCHANTILLON .....                                        | 78        |
| <b>III.3 Analyse des résultats .....</b>                                          | <b>79</b> |
| <b>Conclusion .....</b>                                                           | <b>87</b> |
| <b>Conclusion générale .....</b>                                                  | <b>89</b> |
| <b>Bibliographie.....</b>                                                         | <b>94</b> |
| <b>Webographie .....</b>                                                          | <b>97</b> |
| <b>Annexes .....</b>                                                              | <b>i</b>  |

## Liste des abreviations

**2D/3D** : deuxième/ troisième dimension.

**Appli/ App**: Application informatique (logiciel) pour ordinateur ou smartphone.

**CAO** : Conception assistée par ordinateur.

**GPS** : Global Positioning System en français « Géo-positionnement par satellite ».

**GPL ou GNU** : General Public License en français « Licence publique générale ».

**HMD** : de l'anglais « Head Mounted Display » et qui veut dire un visiocasque.

**IHM**: Interface Homme-Machine.

**IFC**: Industry Foundation Classes.

**MARS** : Mobile Augmented Reality System en français « System de Réalité Augmenté Mobile ».

**RA** : Réalité Augmentée.

**RV** : Réalité Virtuelle.

**RM** : Réalité Mixte.

**TIC** : Technologies d'Information et de la Communication.

**SIG** : Système d'information géographique.

## Liste des figures

|                                                                                                                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1: Différence entre le modèle 3D générique et la maquette BIM. ....                                                                                                                                                | 17 |
| Figure 2: Synthèse des trois étapes de la restitution 3D d'un bâtiment existant.....                                                                                                                                      | 19 |
| Figure 3: Balayage3D. A droite: laser à longue portée, A gauche: Scanner par triangulation                                                                                                                                | 20 |
| Figure 4: Schéma des techniques de photogrammétrie. a) A partir d'une seule image ; b)<br>couple d'images ; c) un bloc multi-image.. ....                                                                                 | 21 |
| Figure 5: Reconstruction du portail de la Valfenière par Photomodélisation. ....                                                                                                                                          | 23 |
| Figure 6: Reconstruction du Château Béraud ( Draria) par photomodélisation.....                                                                                                                                           | 23 |
| Figure 7: Synthèse de la numérisation 3D du bâtiment.....                                                                                                                                                                 | 24 |
| Figure 8: Reconstitution du palais du roi Darius I er de Suse. A gauche: Borne tactile qui<br>diffuse la restitution 3D, à droite: Rendus photorealistes de la restitution du palais et de la<br>salle de l'Apadana ..... | 27 |
| Figure 9: Nuage de points de Notre-Dame 2019 .....                                                                                                                                                                        | 28 |
| Figure 10: Vue en 360° de l' Esplanade de Fourvière.....                                                                                                                                                                  | 32 |
| Figure 11: la place d'Amir Abd elkader dans Google Streetview .....                                                                                                                                                       | 33 |
| Figure 12: Capture depuis Application VR Rome Reborn - le Colisée de Rome en l'an 320....                                                                                                                                 | 35 |
| Figure 13: Chronologie de la réalité augmentée.....                                                                                                                                                                       | 40 |
| Figure 14: le trio de la réalité virtuelle selon Burdea et al. 1993 .....                                                                                                                                                 | 44 |
| Figure 16: Le continuum « réel-virtuel » de Paul Milgram .....                                                                                                                                                            | 44 |
| Figure 17: Principe de fonctionnement de la RA selon Vincent Havard. ....                                                                                                                                                 | 46 |
| Figure 18: Les type de marqueurs visuels .....                                                                                                                                                                            | 47 |
| Figure 19: principe de fonctionnement du visiocasque de RA . ....                                                                                                                                                         | 50 |
| Figure 20: a) Dispositif Ray-On, Cluny 2010 .....                                                                                                                                                                         | 51 |
| Figure 21: synthèse du principe d'un système RA .....                                                                                                                                                                     | 52 |
| Figure 24: Interface application Morpholio AR Sketchwalk.....                                                                                                                                                             | 54 |
| Figure 25: Définir la position de visualisation de la RA dans l'Application AR Sketchwalk....                                                                                                                             | 54 |
| Figure 23: visualisation d'un futur projet par l'application Urbasee sur tablette.....                                                                                                                                    | 54 |
| Figure 23: Augmentation du plan dans l'application AUGMENT .....                                                                                                                                                          | 54 |
| Figure 26: Application Gamma AR sur mobile. ....                                                                                                                                                                          | 55 |
| Figure 27: DAQRI Smart Helmet. Source :Archdaily.com.....                                                                                                                                                                 | 55 |

|                                                                                                                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 28: interface de l'appli Jumièges3D. A droite: la superposition du modèle 3D sur les ruines du bâtiment en RA. A gauche' immersion à l'intérieur du modèle 3D. .... | 57  |
| Figure 29: Le musée public national d'art moderne et contemporain d'Alger (MAMA) .....                                                                                     | 68  |
| Figure 30: A gauche, la Rue d'isley vers 1920. A droite, la meme rue en 1950.....                                                                                          | 69  |
| Figure 32: Figure 30: Carte postale qui illustre la grandeur et l'importance des galeries de France en même période .....                                                  | 70  |
| Figure 32: Les Galeries de France , 1920 .....                                                                                                                             | 70  |
| Figure 33: Le hall central des Galeries de France.....                                                                                                                     | 71  |
| Figure 35: Galerie Algerienne, 1984.....                                                                                                                                   | 72  |
| Figure 35: Terasse des galeries de France.....                                                                                                                             | 72  |
| Figure 36: a gauche : galeries d'Alger avant transformation. ....                                                                                                          | 73  |
| Figure 37: Schéma de configurations de l'Application MAMA.APK .....                                                                                                        | 75  |
| Figure 38: Modèle 3D réalisé dans Autodesk Revit 2018 .....                                                                                                                | 76  |
| Figure 39: Coupe axonométrique réalisée dans Autodesk Revit2018 .....                                                                                                      | 76  |
| Figure 40: Ecran Principale de visualisation de l'application MAMA.apk .....                                                                                               | 77  |
| Figure 41: Interaction avec le modèle par les boutons de commande Suivant/précédent ....                                                                                   | 77  |
| Figure 43: Taux des réponses par profil. ....                                                                                                                              | 78  |
| Figure 43: Taux de participation par niveau d'étude. ....                                                                                                                  | 78  |
| Figure 44: Nombre de participation par établissement.....                                                                                                                  | 83  |
| Figure 45: Evaluation de la compréhension générale du projet.....                                                                                                          | 85  |
| Figure 46: Evaluation du temps d'assimilation des données. ....                                                                                                            | 85  |
| Figure 47: Evaluation de la conception des solutions architecturales.....                                                                                                  | 86  |
| Figure 48: Evaluation de la facilité de l'utilisation de l'interface. ....                                                                                                 | 86  |
| Figure 49:Evaluation de l'efficacité du cours. ....                                                                                                                        | 86  |
| Figure 50: Evaluation de la motivation personnelle. ....                                                                                                                   | 87  |
| Figure 52 : interface du logiciel Unity3D .....                                                                                                                            | xii |

## Liste des tableaux

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 1: Synthèse de la difference entre la Réalité virtuelle et la vue 360°.  | 36 |
| Tableau 2: Synthèse des approches de suivi de la RA.                             | 49 |
| Tableau 3 : problemes lié a la réalité augmentée IN-Situ                         | 58 |
| Tableau 4: Intérêt de la RA pour l'apprentissage.                                | 60 |
| Tableau 5: Liste des actions entreprises (par ordre) lors de la réhabilitation.. | 74 |
| Tableau 6: récapitulatif des résultats aux questions de choix multiple           | 82 |

## **INTRODUCTION GENERALE**

## INTRODUCTION GENERALE

### 1. Motivation et choix du thème

*“Tu me dis, j’oublie.*

*Tu m’enseignes, je me souviens.*

*Tu m’impliques, j’apprends.”*

Benjamin Franklin

Nos villes, nos sociétés, notre quotidien et notre avenir subissent un changement majeur, une évolution axée sur la technologie qui, de plus en plus, estompe les frontières entre l’homme et sa machine, entre le réel et le synthétique et célèbre la dominance de l’immatériel. Ce succès massif de l’outil informatique et sa généralisation dans toutes les pratiques humaines, s’est établi par l’évolution et la démocratisation des technologies de l’information et de la communication (TIC).

L’héritage bâti, à l’instar de toutes les grandes tendances de développement économique et culturelles du XXI<sup>e</sup> siècle, est paradoxalement entrain de suivre ce mouvement accélérateur : le monument virtuel<sup>1</sup>, la visite virtuelle, le BIM, etc. Depuis trente ans, les méthodes de sauvegarde et de valorisation des œuvres se mêlent au domaine de l’infographie et aux technologies de l’information pour donner lieu à une actualisation du patrimoine. Que l’on parle des systèmes de documentations, d’aide à la visite, des outils d’étude des vestiges et des monuments ou des expériences plus récentes d’immersion dans des univers fictifs -qui témoignent d’une civilisation disparue-, cette numérisation reste un argument non négligeable pour la sphère patrimoniale autant professionnelle que pédagogique pour reconquérir et mettre en avant l’identité et le savoir-faire ancien.

Avec cette mutation, de nouvelles pistes d’investigation scientifique, historique et technique ont émergé et avec elles, de nouvelles exigences de la formation professionnelle. Aujourd’hui, architectes, archéologues et historiens sont initiés à l’outil informatique et travaillent en

---

<sup>1</sup> A ne pas confondre avec la notion « patrimoine numérique » qui est plus globale et inclue toute ressource de valeur qui existe au format numérique. Elle est définie par la Charte de conservation du patrimoine numérique de l’UNESCO comme: "matériaux fondés sur l'informatique, d'une valeur durable, qu'il est nécessaire de conserver pour les générations futures. Il émane de communautés, de régions, d'industries et de secteurs différents. Tous les matériaux numériques ne sont pas de valeur durable, mais ceux qui le sont exigent des méthodes actives de préservation si l'on veut que la continuité du patrimoine numérique soit assurée. » source : [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000179529\\_fre.locale=fr](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000179529_fre.locale=fr). Les documents issus de la numérisation du patrimoine, entre autres, le « monument virtuel » sont un patrimoine numérique.

## INTRODUCTION GENERALE

collaboration avec des infographistes 3D et informaticiens. C'est en ce sens, que nous nous intéressons à cette thématique, l'architecte des monuments a souvent fait face aux outils informatiques lors de son cursus d'apprentissage ; nous citerons : logiciels de modélisation DAO/CAO, SIG, bases de données et procédés de relevée numérique et de représentation visuelle des monuments. Noh, et al.<sup>2</sup> attestent que ces outils mis à disposition des chercheurs et des étudiants vont « *améliorer le processus d'apprentissage, motiver et faire comprendre certains événements et éléments historiques* » ; pas dans la mesure qu'elles substituent aux anciennes méthodes ni dans le scénario où celles-ci se limitent à la représentation infographique seulement « le donné à voir » mais au contraire dans celui où elles sont exploitées tel un vrai outil de documentarisation<sup>3</sup>, d'acquisition des informations et de réflexion architecturale.

Notre recherche s'inscrit dans une logique de valorisation du patrimoine bâti à travers l'outil informatique, en commençant par le premier maillon de la chaîne de réflexion-action sur le bâtiment existant : La formation universitaire. Ceci, en mettant des outils innovants tels que la restitution virtuelle et la réalité augmentée à l'épreuve de l'apprentissage historique et architecturale du bâtiment ancien.

La réalité augmentée (RA) –entre autres, TIC qui favorisant la fusion entre physique et numérique<sup>4</sup>– trouve un large sens dans l'industrie culturelle et touristique et ses applications dans le domaine de l'apprentissage sont multiples. Selon Dugas : « *La réalité est qualifiée d'augmentée car la machine superpose sur cette réalité une nouvelle couche d'informations*

---

<sup>2</sup> ZAKIAH NOH, MOHD SHAHRIZAL SUNAR ET ZHIGENG PAN, 2009, "A Review on Augmented Reality for Virtual Heritage System". Document de conférence, p.50-61, mise en ligne Aout 2009 URL : [https://www.researchgate.net/publication/221247704\\_A\\_Review\\_on\\_Augmented\\_Reality\\_for\\_Virtual\\_Heritage\\_System](https://www.researchgate.net/publication/221247704_A_Review_on_Augmented_Reality_for_Virtual_Heritage_System), (Consulté le 14/06/2020)

<sup>3</sup> Terme introduit par le collectif Pédaque\*, qui désigne la création d'une documentation optimisée sur un objet/activité. Selon ZACKLAD (Zacklad, 2005, p. 11), Il s'agit de « doter ces supports d'attributs spécifiques permettant de faciliter (i) leur gestion parmi d'autres supports, (ii) leur manipulation physique, condition d'une navigation sémantique à l'intérieur du contenu sémiotique et enfin, (iii) l'orientation des récepteurs » Source : [https://ics.utc.fr/~tha/co/documentarisation.html#:~:text=11\)-,Exploitation,sur%20un%20graphe%20de%20fragments](https://ics.utc.fr/~tha/co/documentarisation.html#:~:text=11)-,Exploitation,sur%20un%20graphe%20de%20fragments). (Consulté le 14/10/2020).

\*Se référer au Chap. I §1.1).

<sup>4</sup> La technologie est qualifiée d'« immersive » quand elle associe du contenu virtuel à l'environnement physique de telle sorte que l'utilisateur interagisse naturellement avec. Les technologies d'immersion se trouvent en divers points du « continuum de virtualité » (à voir chapitre II §1.1.2). On peut citer : la Réalité Virtuelle, la Réalité Augmentée, la Réalité Mixte et dans certains cas la 360. Source : <https://whatis.techtarget.com/fr/definition/Technologie-immersive> (consulté le : 14/06/2020).

## INTRODUCTION GENERALE

*sensée apporter des éléments enrichissants à l'environnement de l'utilisateur* »<sup>5</sup>, cette technologie s'est répandue grâce à la miniaturisation des appareils électroniques et particulièrement l'envahissement des Smartphones dans la vie de tous les jours<sup>6</sup>. Les expériences récentes dans les villes historiques et les monuments exceptionnels ont souligné l'importance de la RA dans la découverte in-situ, par le rajout d'informations nécessaires à la visite et la possibilité de restaurer visuellement des parties manquantes de son apparence et éventuellement son histoire. Ils ont ouvert par la même occasion, de nouvelles perspectives de recherches sur l'usage des arts numériques dans la valorisation des biens matériels. La RA porte dans sa complexité la promesse d'une efficacité dans la transmission de l'information par une approche instructive et ludique que nous allons étudier dans ce travail.

Notre thématique se situe à l'intersection de plusieurs disciplines : l'informatique, le patrimoine architectural et la pédagogie. L'étendue des perspectives et des possibilités scientifiques de cet alliance sont infinies, un positionnement dans notre cas est nécessaire : nous examinerons la question de monument virtuel<sup>7</sup> en premier lieu, puis en se référant aux connaissances et aux expérimentations IRL de la RA, nous questionnerons le potentiel de cette technologie dans un contexte pédagogique.

Mais avant de procéder au développement de notre recherche, **quand est-il de l'expérience algérienne ?**

Il est regrettable d'admettre que la technologie de la réalité augmentée est loin de trouver sa place dans la stratégie de valorisation du patrimoine algérien, car à l'heure actuelle, les tentatives pour rattraper le retard cumulé dans le domaine numérique depuis les années 1980, freinent la diffusion des nouvelles technologies et empêchent les institutions algériennes de s'aligner avec les progrès et tendances internationales.

---

<sup>5</sup> J. DUGAS, 2016, *La réalité augmentée dans un contexte d'apprentissage : Note de recherche*, p.05, mise en ligne en 2016, URL :

[https://www.researchgate.net/publication/322664674\\_La\\_realite\\_augmentee\\_dans\\_un\\_contexte\\_d'apprentissage\\_note\\_de\\_recherche](https://www.researchgate.net/publication/322664674_La_realite_augmentee_dans_un_contexte_d'apprentissage_note_de_recherche), (Consulté le 14/06/2020)

<sup>6</sup> Selon le site web Statista, près de la moitié de la population terrestre utilise des Smartphones soit 3.5 milliard de personnes. 1.4 milliard de smartphones vendus annuellement pendant les 5 dernières années. Statistiques publiées en Février 2020. URL: <https://www.statista.com/statistics/330695/number-of-smartphone-users-worldwide/>, (Consulté le 14/06/2020).

<sup>7</sup> Terme introduit par J. DE BIDERAN en 2012 pour désigner la restitution virtuelle (3D) du monument.

Depuis 2013, l'Algérie accueille un colloque annuel baptisé « les Rencontres du numérique » qui vise à positionner l'avancement des pays du Maghreb en terme de technologie et d'économie de culture<sup>8</sup> et duquel nous avons constaté que la numérisation de notre patrimoine est au stade de l'inventaire des biens classés, des bases de données et des sites internet qui servent de vitrine pour les établissements culturels. La virtualisation des monuments est toutefois un objectif à long terme. D'ailleurs, à l'exception des travaux des étudiants dans les ateliers pédagogiques, seuls les monuments classés et faisant objet d'opérations de réhabilitation bénéficient d'une numérisation complète du bâtiment, réalisés par les bureaux chargés d'étude et ne sont pas accessibles à la demande.

Quelques organismes publics de recherche comme le centre de recherche sur l'information scientifique et technique (CERIST) et le CDTA (Centre de développement technologique avancée) se sont lancés dans l'étude et l'innovation par les TIC et s'intéressent particulièrement à l'interaction homme machine (IHM) –Réalité virtuelle et augmentée- ceci, en collaborations avec les universités et les chercheurs. Les problématiques abordées sont généralement d'ordre informatique ou industriel et n'incluent pas des solutions dans le domaine culturel ou architectural.

Établir un état de lieux sur le progrès actuel de la transition « pseudo-numérique » en Algérie équivaut à accentuer les recherches et les startup élaborées au sein des universités et des écoles d'ingénierie qui explorent les potentialités prometteuses de la RA et la RV et alimentent parallèlement le savoir-faire autour d'elles.

## 2. Problématiques

Comme nous l'avons constaté précédemment, les applications de RA sont développées au sein des laboratoires de recherches des universités algériennes (Serious-Games, aide à

---

<sup>8</sup> Dans leur ensemble, les Rencontres du numérique ont pour objectif d'étudier et de mettre en place les conditions de documentation et de valorisation des patrimoines du Maghreb à l'ère du numérique. La première édition a été consacrée en 2013 aux problématiques générales concernant l'étude des patrimoines du Maghreb. Elle a fait l'objet d'une publication franco-algérienne : Patrimoines du Maghreb à l'ère numérique, Paris et Alger, Hermann-APIC, 2014. La 2e édition était intitulée Inventaire, documentation et droit : instruments théoriques et applications pratiques, et eu lieu du 27 au 29 mai 2014 à la Bibliothèque nationale d'Algérie. La 3e édition s'attache à tous les modes d'exposition, dans leurs rapports avec les moyens et les usages numériques. 2015. La 4e édition « Patrimoine et numérique: acteurs, formations, marchés » avril 2016. Source : <https://patmagh.hypotheses.org/111>.

## INTRODUCTION GENERALE

l'apprentissage, aide au pilotage, etc.) particulièrement dans le domaine de l'informatique. La plupart conçus de manière indépendantes par des équipes pédagogiques dans des intentions expérimentales et ne sont généralement pas financés hors institutions. Toutefois, cette démarche contribue à la maturation de cette technologie chez les étudiants et sa mise à l'épreuve par les pédagogues. Ceci, constitue l'objectif de notre recherche : il nous paraît du devoir de l'université de s'interroger sur les axes de développement de sa formation et l'intégration des outils innovants susceptibles d'améliorer sa qualité et d'attirer l'attention des étudiants. Chacun dans sa profession.

L'institut d'architecture et d'urbanisme de Blida a signalé depuis quelques années la réduction continue du nombre des étudiants inscrits au cycle de maîtrise de la formation « architecture et patrimoine » pour fermer la spécialité en 2018 (première fois depuis sa création). Le manque d'attractivité de cette spécialité chez le public étudiant est selon nous lié, entre autres facteurs, à une situation regrettable du secteur patrimoniale en Algérie associé à un programme classique d'enseignement du savoir concernant le bâti existant.

Dès lors, nous nous sommes questionnés sur le rôle de la technologie et l'outil informatique dans les méthodes didactiques et pédagogiques sur notre échelle pour remettre la formation sur pied et contribuer à enrichir la production du contenu scientifique d'actualité. Appuyés sur la restitution virtuelle comme outils d'expérimentation, nous avons tenté de répondre à la problématique suivante :

**Comment la restitution virtuelle par la technologie de la RA peut-elle constituer un outil de cognition et de transfert de connaissances autour du patrimoine bâti ?**

Bien évidemment, un autre questionnement en déborde et fait sujet de réflexion lors de ce travail :

- Comment la RA peut influencer de manière favorable la motivation à la formation du bâtiment ancien ?
- Et comment pourrait-elle contribuer à l'instauration d'une culture générale du patrimoine au sein de l'université algérienne et en dehors ?
- Quelle relation au patrimoine induirait le processus de virtualisation ?

### 3. Hypothèses

- La restitution virtuelle facilite la lecture du bâtiment car elle regroupe l'intégralité des informations dans un seul document-3D qui donne à voir et à comprendre plus rapidement et peut dans ce cas devenir une source qui remplace les documents écrits et iconographiques.
- L'augmentation des supports graphiques permet une lecture ludique et interactive des objets patrimoniaux et par conséquent, une meilleure compréhension et assimilation des données. L'étudiant devient alors plus motivé à s'engager dans le cours et apprendre davantage.
- La RA peut devenir un outil d'aide à la conception, elle offre la possibilité de visualiser in-situ la transformation du bâtiment et de projeter les différentes interventions futures.

### 4. Objectifs de la recherche

#### Objectif général

Définir les possibilités de la RA dans l'exercice académique pour améliorer le processus de connaissance et d'intervention.

#### Objectifs spécifiques

- Virtualiser l'expérience d'apprentissage du patrimoine.
- Mettre à disposition un processus d'augmentation des données, qui facilitera l'accès à l'information et l'assimilation des données.
- Sensibiliser les étudiants au patrimoine à travers une démarche d'enseignement ludique et interactive.

### 5. Choix du cas d'étude

Suivant les critères de sélection, nous avons adopté le **Musée National d'Art Moderne et Contemporain d'Alger** (communément abrégé le MAMA) comme sujet d'étude. Classé monument historique en 2008, le MAMA se présente tel une icône historique et architecturale et depuis sa reconversion comme une destination culturelle importante pour la communauté des artistes et d'amateurs d'art. Le MAMA fut inauguré en 2007 par le ministre de la culture

algérien, mais son histoire remonte au début du XXe siècle, en parallèle avec le mouvement d'expansion des grands magasins à la parisienne dans le monde entier.

Cet édifice témoigne de la première grande opération de réhabilitation d'un monument ancien. Nous nous intéresserons lors de notre expérimentation à la galerie principale qui sert actuellement d'espace centrale d'exposition pour le musée.

### 6. Méthodologie de recherche

#### 6.1. Identification de l'approche

Afin d'accomplir au bien les objectifs de cette recherche, nous l'avons abordé en deux parties, en suivant une **démarche méthodologique déductive**<sup>9</sup>. Notre recherche s'effectuera en deux parties :

**La première** consiste en une récolte de données à la base d'une :

a. Recherche bibliographique : L'établissement d'un état d'art sur les deux notions-clés de cette recherche : **La restitution infographique et la réalité augmentée**.

b. L'étude des exemples liés au patrimoine virtuel en générale et à la RA spécialement tel que l'appli IMAYANA, Jumièges 3D et Cluny Vision.

c. Relevées et support graphiques : Modéliser l'objet d'étude (dessin 3D par CAO) à partir de documents écrits et graphiques et de l'étude monographique du bâtiment.

**La deuxième** Consiste en une expérimentation de la réalité augmentée dans le contexte d'apprentissage, à travers la création d'un outil en RA (Application mobile) et sa mise en épreuve par une **approche quantitative** : en utilisant comme outil d'investigation le questionnaire en ligne.

---

<sup>9</sup> Déduction logique : méthode de travail scientifique, qui part d'une théorie communément admise, d'un sujet ou d'une hypothèse pour déduire des conclusions.

### 6.2. Organisation du mémoire

Notre mémoire s'organise en trois chapitres :

**Le premier chapitre** est théorique, contient une introduction à la numérisation du bâtiment, aux techniques d'acquisition des données et à celles de visualisation et de communication. Elle s'appuie principalement sur une recherche bibliographique relative à la synthèse 3D afin de vérifier la première hypothèse.

**Le deuxième chapitre** également théorique, sert à appréhender la technologie de réalité augmentée, en définissant son principe, ses limites et ses applications, surtout dans le domaine du bâtiment. Ce chapitre introduit les outils informatiques utilisés dans la création de l'application traitée dans le troisième chapitre et permet de vérifier la validité de la deuxième hypothèse.

**Le troisième chapitre** est d'ordre opérationnel, informe tout d'abord sur notre cas d'étude, le musée MAMA et sur le processus de sa mise en RA (étapes et structure du système RA), puis propose une analyse des résultats du questionnaire destiné à l'évaluation de l'outil MAMA.apk (application Android de découverte du musée MAMA). ce dernier permettra d'infirmier/confirmer les hypothèses initiales.

## **CHAPITRE I: LA SYNTHÈSE GRAPHIQUE DU BATIMENT ANCIEN.**

## CHAPITRE I: La synthèse graphique du bâtiment ancien.

### Introduction du chapitre I

À travers ce chapitre nous allons exposer la question de la numérisation du patrimoine architectural - classé ou non - et mettre la lumière sur ses enjeux. Nous commencerons d'abord par définir le contexte d'intégration de l'informatique dans les pratiques patrimoniales en générale, afin d'avoir une vue d'ensembles sur les possibilités et les avantages de cette alliance et d'extraire, à travers les exemples, les caractéristiques à mettre en évidence lors de notre expérimentation.

Ensuite, nous exposerons les différents procédés de numérisation des monuments et l'intérêt du produit 3D pour la médiation et l'interprétation scientifique et historique du patrimoine. Enfin, nous introduirons les dispositifs et les technologies informationnelles permettant de communiquer ce monument-virtuel et créer une base de comparaisons pour la technologie retenue dans ce travail.

### 1 Quel intérêt à numériser le patrimoine ?

Selon le Dictionnaire encyclopédique de l'information et de la documentation : « *la numérisation est un procédé électronique de production de signaux électriques numériques soit à partir d'un document ou d'un objet physique, soit à partir d'un signal électrique analogique. Le fichier numérique permet des traitements informatiques et, notamment, la réplication illimitée et sans perte de qualité indispensable à l'archivage et à la diffusion des documents* »<sup>10</sup>

La numérisation consiste alors à mettre au format numérique une donnée ou une substance matériel ou immatériel, par l'intermédiaire de l'ordinateur, ce produit devenu synthétique peut être modifié, dupliqué et transféré d'un support numérique vers un autre. Ceci, permet la création d'une multitude de services qui vont de la simple reproduction des fonds en papier jusqu'à la création d'une chaîne d'activités économiques et sociales en ligne et en IRL. Dans

---

<sup>10</sup> UREVB, ANDREW O, 1997, « Culture et technologie: étude sur le thème de la Décennie pour 1997 », mise en ligne en 1997. URL: [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000105615\\_fre](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000105615_fre), (Consulté le 14/06/2020).

les sociétés de l'information<sup>11</sup>, il n'est plus question de de numériser ou non, c'est plutôt l'innovation dans l'utilisation des TIC qui est le réel enjeu.

**Technologies de l'information et de la communication** : Communément désignées par le sigle « TIC »<sup>12</sup> désignent l'ensemble des outils techniques admettant le traitement et la transmission des informations. Ils sont principalement liés à l'internet, au développement des réseaux, à l'informatique et à la télécommunication.

Dans le glossaire critique de la société de l'information (2003) Françoise Massit-Folléa a proposé une explication convenue de ce syntagme que nous retiendrons pour développer une première réflexion sur notre thématique. Selon l'auteure « *le mot **information** recouvre à la fois une procédure technique et une pratique sociale* » puisqu'il tient compte des solutions d'accès et de partage des connaissances mise par/et à disposition d'utilisateurs de profils variées. On parle alors de besoins sociaux, de solutions techniques et de retombées liés à l'appropriation de ses solutions.

Le mot **communication**, est « *employé surtout par référence aux médias classiques, et aux contenus diffusés, dans la mesure où les technologies d'il y a un siècle [...] sont elles aussi transformées [...] dans de nouveaux dispositifs techniques qui combinent systématiquement quatre éléments : le réseau, l'ordinateur, le logiciel, et la convergence.*<sup>13</sup> ». Ici, l'auteure souligne un phénomène très important, celui de fusionnement progressif des technologies pour la création de nouveaux produits qui « *regroupent le maximum de fonctionnalités en utilisent un minimum de canaux et de transcodeurs* »<sup>14</sup>. L'un des exemples les plus présents dans notre quotidien est le téléphone d'autrefois, qui servait à la communication seulement.

---

<sup>11</sup> Les années 1990 ont marqué le début d'une révolution technologique et informationnelle ou l'économie de connaissance règne sur la société industrielle. Les technologies artificielles et les TIC sont devenus des pièces maîtresses dans le développement de tout domaines. Les sociétés leaders de ce mouvement sont baptisé « sociétés de connaissances ».

<sup>12</sup> Lorsque les TIC sont intégrées dans le domaine d'enseignement (à distance via internet ou en une classe par l'intermédiaire des outils informatique), on emploie souvent l'abréviation TICE pour désigner « technologies de l'information et de la communication pour l'éducation ».

<sup>13</sup> F. MASSIT-FOLLEA, 2003, « Technologies de l'information et de la communication (TIC) », *La société de l'information : glossaire critique*. Commission française pour l'Unesco. La documentation française, p.134-136. [En ligne] URL : [https://www.diplomatie.gouv.fr/IMG/pdf/Glossaire\\_Critique.pdf](https://www.diplomatie.gouv.fr/IMG/pdf/Glossaire_Critique.pdf)

<sup>14</sup> « Convergence numérique ». Wikipédia l'encyclopédie libre [en ligne] URL : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Convergence\\_num%C3%A9rique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Convergence_num%C3%A9rique) (Consulté le 14/06/2020).

Le smartphone d'aujourd'hui propose des fonctionnalités multimédia, de photographie, de localisation, d'application de jeux, etc.

Nous allons dresser ci-après, un panorama des avantages de la numérisation et de l'application des TIC au domaine du patrimoine en générale, tout en privilégiant trois faculté principales, qui selon nous, conviennent le mieux à critiquer le choix de l'outil utilisé lors de cette recherche, notamment:

- La collecte, diffusion et conservation du savoir liée au patrimoine.
- La synergie des ressources et la mise en réseau des acteurs.
- La mise en valeur du patrimoine.

### 1.1 L'accès au savoir

Numériser une information, un document ou tout contenu de valeur quelconque renvoi à stocker, à conserver et à partager ce contenu équivaut à le pérenniser.

Les ressources historiques et/ou de valeur culturelle, les documents fragilisés et/ou en risque d'altération, les documents rares ou en nombre réduit peuvent être dupliqués à l'infini et peuvent être mise à dispositions d'un grand public sans les endommager<sup>15</sup>. Cette procédure permet également le gain en temps et efficacité par la possibilité de répertorier, d'indexé et de faciliter l'accès à distance et le partage d'un volume important d'information. C'est ce que le Collectif Pédaque<sup>16</sup> (2009) a baptisé « documentarisation » au lieu de « documentation ». D'ailleurs, selon ces auteurs, dès qu'on passe du « mettre à l'état numérique » vers le traitement de l'information numérique c'est-à-dire qu'on va associés d'autre données significatifs au document numérisé (la métadonnée) qui vont lui assurer une meilleure accessibilité et une traçabilité électronique: on parle de redocumentarisation<sup>17</sup>.

<sup>15</sup> « Numérisation ». Wikipédia l'encyclopédie libre [en ligne]. URL :

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Num%C3%A9risation#Num%C3%A9risation\\_et\\_archivage](https://fr.wikipedia.org/wiki/Num%C3%A9risation#Num%C3%A9risation_et_archivage), (Consulté le 14/06/2020).

<sup>16</sup> Collectif Pédaque : Réseau scientifique francophone qui porte le pseudonyme Roger T.Pédaque et qui traite des thématiques pluridisciplinaires liées aux sciences humaines, sociales et aux science d'information et de communication SIC.

<sup>17</sup> JM Salaün illustre la différence les deux bascules documentaires citées plus haut par le tableau suivant :

|                     | Documentarisation (XIXe-XXe)                                     | Redocumentarisation (XXe-XXIe)                                    |
|---------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Quelques techniques | Classification, Indexation, Langages documentaires, Thésaurus... | Protocoles Web (Html, Url) Web 2.0, Web sémantique, Ontologies... |

Source : « La redocumentarisation, un défi pour les sciences de l'information », Études de communication (2007). Mise en ligne octobre 2009, p13-23. URL : <http://journals.openedition.org/edc/428>, (Consulté le 30 avril 2020).

A l'heure actuelle et partout dans le monde, les établissements publics d'ordre culturel, proposent des portails en ligne pour la consultation des documents et des archives historiques et des bibliothèques en ligne tels que: la Bibliothèque Numérique du Monde<sup>18</sup>, la Bibliothèque Numérique de l'UNESCO<sup>19</sup>, la bibliothèque nationale de France<sup>20</sup>, etc. Ces dernières, proposent l'accès aux ouvrages et manuscrits les plus rares en un seul clic. Cette initiative a été soutenue par les entreprises privées qui se sont créées une industrie de l'information en proposant des services économiques ou gratuits, tel que le géant informatique Google qui été à la base de la campagne massive de numérisation des fonds bibliographiques lancés en 2008<sup>21</sup>.

### 1.2 L'inventaire du patrimoine

*L'inventaire évalue aussi rigoureusement que possible chaque élément du patrimoine, en tenant particulièrement compte de son état de conservation et des éventuels besoins et moyens à mettre en œuvre pour le protéger*<sup>22</sup>. Lorsqu'il s'agit de faire l'inventaire des biens culturels, un travail rigoureux de recherche, d'étude sur terrain et de mise en correspondance des différentes sources existantes s'impose. Mais, constituer un volume important de données centralisés lors de l'élaboration des politiques et des stratégies de développement territoriale ou lors de l'intervention sur le patrimoine relève deux questions principales : la possibilité d'accès et de gestion de l'information à tout moment et sa mobilité. C'est là où le produit numérique intervient avec son caractère « pratique »: Les Thesaurus, les bases de données, les systèmes d'informations géographiques SIG, etc. Ces outils permettent le recensement, la gestion des données, la localisation à distance, la surveillance des biens et la mise à jour périodique de l'inventaire.

Le recours aux TIC permet également de mettre à disposition des professionnels et du grand public les « dossiers numériques » sur les monuments (histoire, situation, propriété, etc.) par le l'intermédiaire des systèmes d'information documentaires notamment les bases de

---

<sup>18</sup> <https://www.wdl.org/fr/>

<sup>19</sup> <https://unesdoc.unesco.org/fr>

<sup>20</sup> <http://gallica.bnf.fr/>

<sup>21</sup> R. DARTON, 2010, « La numérisation, Google et l'avenir des bibliothèques », *Revue de la BNF*, 2010/2 (n° 35), p 62, [En ligne] URL : <https://www.cairn.info/revue-de-la-bibliotheque-nationale-de-france-2010-2-page-61.htm>

<sup>22</sup> B. DUMOLIN, 2007, « Valoriser le patrimoine culturel - l'apport du numérique », étude publiée dans le cadre du programme IRIS 2007, p.11 [En ligne] URL : [http://ressources-caue.fr/GED\\_K/103826892100/Etude\\_IRIS.pdf](http://ressources-caue.fr/GED_K/103826892100/Etude_IRIS.pdf) (Consulté le 14/07/2020).

données accessible par internet comme la plateforme ouverte du patrimoine « Mérimée »<sup>23</sup> ou celle du patrimoine mondiale de l'UNESCO<sup>24</sup>.

### **1.3 Mise en réseau des acteurs**

En vue de la pluralité des intervenants dans le domaine culturel (Collectivités locales, associations, institutions culturelles, etc.), il est incontournable de puiser des ressources informatiques et de communication (TIC) pour identifier et mettre en connexion l'intégralité des personnes physiques et morales de droit public ou privé impliqué dans le domaine du patrimoine, ceci afin d'assurer la collaboration et l'échange de l'information et une meilleure gestion des actions sur l'ensemble du territoire.

### **1.4 Visibilité du patrimoine**

Les plateformes numériques permettent aux visiteurs de s'informer au préalable de l'offre culturelle et de découvrir à travers des visites virtuelles (in-situ ou en ligne) les différentes productions artistiques et architecturales d'actualité ou celle disparus à travers des restitutions virtuelles dont on reviendra à développer par la suite. C'est un moyen innovant pour les collectivités de mettre en avant leurs biens d'exception et de promouvoir le tourisme culturel.

Les différents outils technologiques (maquettes 3D, images interactives, VR, AR, etc.) et les supports de communication (PC smartphones, écrans tactiles etc.) permettent différents degrés d'interactivités et d'implication de l'utilisateur dans la visite. Il convient même de personnaliser le contenu diffusé selon les besoins de chaque utilisateur pour lui permettre de s'approprier intuitivement le sujet visualisé. Parallèlement, l'utilisateur peut partager son témoignage sur la qualité de la visite et/ou les ressources supplémentaires en sa possession<sup>25</sup> et devient dans ce cas un producteur de contenu secondaire. Cette démarche contribue fortement à l'élargissement de la communauté informé et sensible à l'héritage.

---

<sup>23</sup> Mérimée, Base de données numérique du patrimoine monumental français. URL : <http://www2.culture.gouv.fr/culture/inventai/patrimoine/>

<sup>24</sup> Liste du patrimoine mondial, UNESCO. [En ligne] : <https://whc.unesco.org/fr/list/>

<sup>25</sup> B. DUMOLIN, 2007, P25.

## 2 Le monument virtuel

### 2.1 Terminologie

Un modèle 3D : est selon Granier, Bergerot et Al. : « *Ensemble de données numériques liées à un unique objet d'étude et obtenues après acquisition ou modélisation en 3D. c'est une synthèse numérique destinée à évoluer avec l'état des connaissances de la recherche. Le modèle peut ainsi avoir plusieurs versions. [...] Les termes modèles 3D, modèle virtuel, modèle numérique sont considérés comme équivalent entre eux.* »<sup>26</sup>

La numérisation 3D : Ce terme désigne la retranscription en un modèle 3D, l'objet matériel existant. Cette procédure peut être automatique grâce à des technologies d'acquisition 3D tel que laser-grammétrie et photogrammétrie<sup>27</sup> ou manuelle par le biais de la modélisation 3D (dessin 3D). Néanmoins, L'expression est plus souvent utilisée en faveur de la première méthode.

La modélisation 3D: est l'action de reconstruire en troisième dimension, par un logiciel de modélisation (DAO/CAO), la géométrie d'un objet ou une scène à partir ou non de données réelles (Figure 1).

La maquette numérique : Cette appellation du modèle 3D renvoie généralement à la faculté d'analyse et de simulation que permet certains modèles 3D, d'autant que la 3D ne sert plus seulement d'objet de représentation et de visualisation mais d'un outil pour étudier les caractéristiques et les comportements de l'objet modélisé. La communauté du BIM (Building Information Modeling / Bâtiment et informations modélisées) s'est appropriée le terme qui à présent sert à qualifier un modèle virtuel intelligent et collaboratif (Le M de « Modeling » ici fait référence l'objets modélisés puis structurés et à la base de données qui lui est associée.).

Contrairement au modèle générique de base, la maquette BIM propose un espace (numérique) de travail collaboratif par un fichier d'échange au format IFC<sup>28</sup> qui permet l'interopérabilité entre les différents logiciels CAO (Figure 1)

---

<sup>26</sup> X. GRANIER, L. BERGEROT, M. CHAYANI, B. DUTAILLY, P. MORA, et al., 2019, « Vocabulaire 3D - Lexique pour les Sciences Humaines et Sociales ». Les recommandations du Consortium 3D SHS, p.11. [En ligne] URL : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02297326/document>. (Consulté le 10/10/2020)

<sup>27</sup> Techniques d'acquisition tridimensionnelle (voir Chap. I, §2.2)

<sup>28</sup> IFC (Industry Foundation Classes) est un format de fichier standardisé (norme ISO 16739), utilisé par l'industrie du bâtiment pour échanger et partager des informations entre logiciels. Source : wikipedia.org

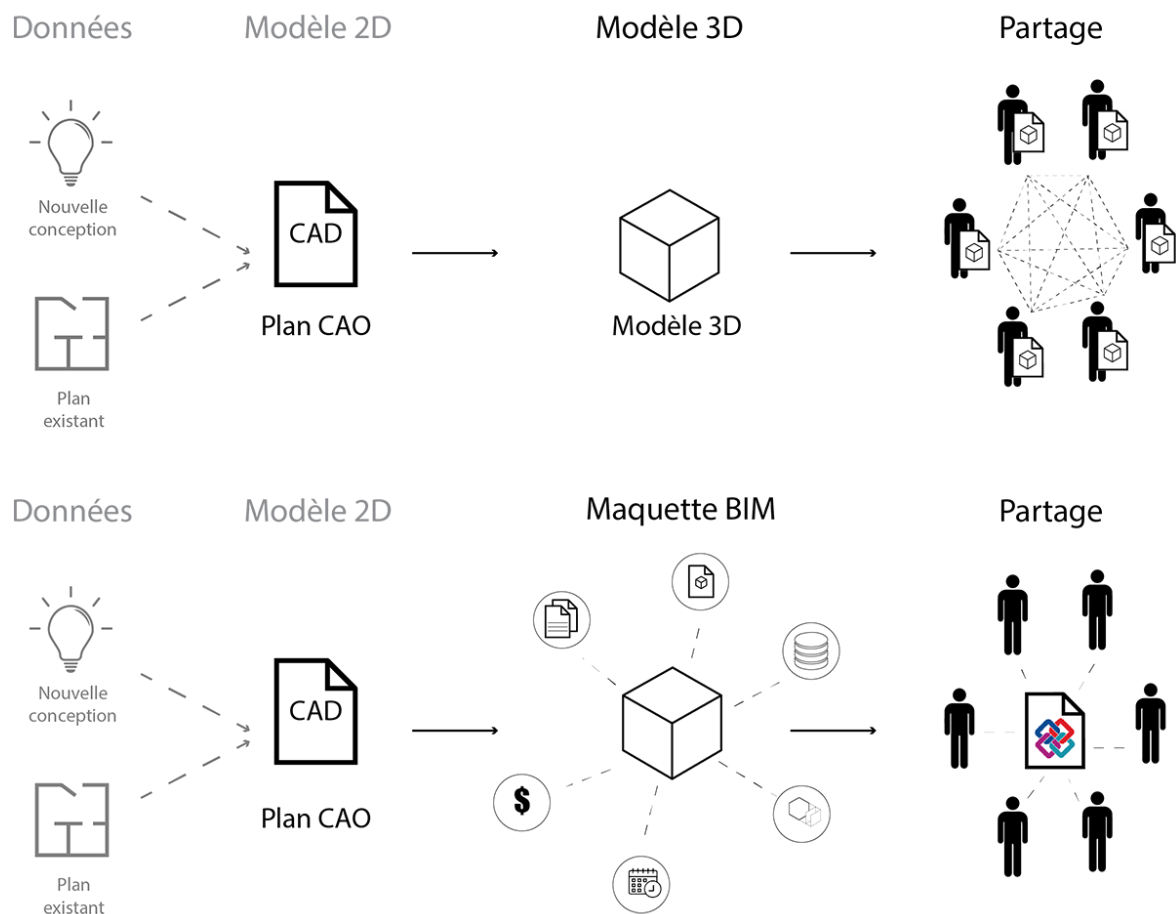


Figure 1: Différence entre le modèle 3D générique et la maquette BIM.

La restitution virtuelle : Dans son sens étymologique le verbe « restituer » désigne l’action de remettre à l’état d’origine.

En architecture du bâti ancien, il s’agit de redonner l’idée du monument comme le souligne Golvin (2007)<sup>29</sup> « Elle (la restitution) traduit une compréhension de **l’intelligence de la conception** du monument, de son programme, des intentions de ses créateurs ».

<sup>29</sup> J.-Cl. GOLVIN, 2007, p.15, in J.DE BIDERAN, 2016, « Des restaurations de papier aux restitutions virtuelles, construction d’une reconnaissance scientifique et d’une mémoire patrimoniale », *De la médiation des savoirs : Science de l’information-documentation et mémoires*. Acte de Colloque international MUSSI, p.200. [En ligne] URL : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01855674/document> (Consulté le 27/08/2020).

Sur ce, Jessica de Bideran –lors d’une étude sur le lexique du patrimoine virtuel et son usage par les différents acteurs de cette sphère – a confronté plusieurs définitions des notions liées au patrimoine virtuel (y compris la définition précédente) insiste sur le rôle de la « reconstitution » qui est « *perçue comme une partie de la restitution de monuments virtuels qui, compte-tenu de la faiblesse des indices historiques et du désir de représentation plus poussée – les activités humaines par exemple – se mue de temps à autres en évocation historique du site patrimonial. Cette dernière joue sur un second registre, celui du sensible et fait donc plus ou moins largement appel à l’imagination du restituteur comme de l’observateur.* »<sup>30</sup>

On parle alors de restitution virtuelle pour désigner la reconstruction de l’image fidèle et complète d’une notion immatérielle, de ce qui n’existe plus ou de ce qui manque d’un objet – dans notre cas- architectural. Cette image fait appel à une réflexion sur la matière existante (physique ou intellectuelle) comparée et complétée par les références des modèles pratiqués lors de sa vie antérieure<sup>31</sup> et reconstruite en 3D sur ordinateur.

La restitution virtuelle est donc un terme plus général, qui englobe celui de la numérisation ou la modélisation. Pour mieux comprendre la différence, nous allons procéder à la description des étapes principales de la restitution et qui vont nous servir plus tard de base pour la création de notre outil, à savoir : l’acquisition des données spatiales, la reconstruction tridimensionnelle des surfaces et la restitution de l’apparence virtuelle<sup>32</sup>. On accordera plus d’intérêt à la phase d’acquisition, ceci, afin de mettre en avant la technologie et non la procédure technique qu’implique cette dernière. Tandis que le schéma de synthèse (Figure 2) illustre l’intégralité des étapes de la restitution utilisée par les professionnels du bâtiment. L’acquisition recouvre à la fois la collecte, l’analyse des documents écrits et iconographiques et la numérisation des œuvres par les différents techniques du relevé numérique cités ci-dessous :

---

<sup>30</sup> Idem, J.DE BIDERAN, 2016, p.202.

<sup>31</sup> Idem.

<sup>32</sup> L. DE LUCA, 2006, *Relevé et multi-représentations du patrimoine architectural. Définition d’une approche hybride de reconstruction 3d*. Thèse de doctorat. École Nationale Supérieure d’Arts et Métiers Centre d’Aix-en-provence, pp.13. [En ligne] URL : [https://www.researchgate.net/publication/32228351\\_Releve\\_et\\_multi-representations\\_du\\_patrimoine\\_architectural\\_Definition\\_d'une\\_approche\\_hybride\\_pour\\_la\\_reconstruction\\_3D\\_d'edifices](https://www.researchgate.net/publication/32228351_Releve_et_multi-representations_du_patrimoine_architectural_Definition_d'une_approche_hybride_pour_la_reconstruction_3D_d'edifices) Consulté le (27/08/2020).

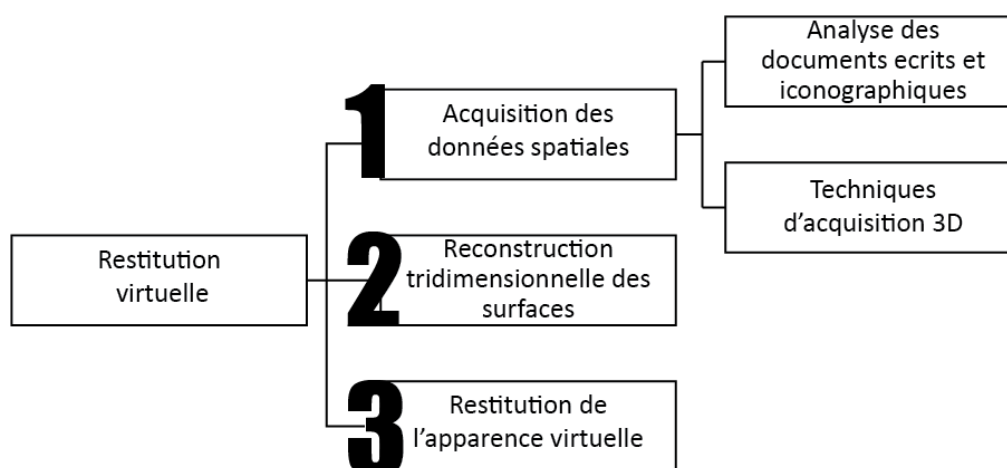


Figure 2: Synthèse des trois étapes de la restitution 3D d'un bâtiment existant.

## 2.2 Techniques d'acquisition 3D

Il s'agit du relevé numérique du bâtiment et se fait principalement par deux techniques: La première directe et instantanée via des dispositifs de laser 3D (lasergrammétrie), la seconde est moins directe et consiste à photographier l'objet, puis de transformer par ordinateur ces images en information 3D (photogrammétrie).

### 2.2.1 Lasergrammétrie

Les dispositifs de scan tridimensionnel terrestre (scanner laser 3D) permettent de balayer instantanément un objet ou une scène complexe et de fournir en temps réel un modèle 3D. Ce dernier, est défini par un nombre important de points dont les coordonnées spatiales (X, Y, Z), les valeurs d'intensité et les valeurs colorimétriques (RGB) sont représentatives de la surface scannée. Ce modèle est appelé « nuage de points »<sup>33</sup>. La précision du modèle généré et la qualité du détail dépend du type de scanner et sa portée.

Nous distinguons deux types de laser selon le mode de fonctionnement (figure 3) :

- Scanner à longue portée : généralement utilisé pour les scans de composition générale, de grandes distances (allant jusqu'à 200m)

---

<sup>33</sup> Nuage de points : liste de points 3D sans qu'aucune structure n'ait été faite pour lier ces différents points.  
Source : Vocabulaire 3D - Lexique pour les Sciences Humaines et Sociales. Les recommandations du Consortium 3D SHS, 2019 p 08.

- Scanner par triangulation : pour les décors, les éléments architectoniques et architecturaux de taille moyenne (jusqu'à 10m).<sup>34</sup>



Figure 3: Balayage 3D. A droite: laser à longue portée, A gauche: Scanner par triangulation. Source: [www.artgp.fr/](http://www.artgp.fr/)

### 2.2.2 Photogrammétrie

Cette technique consiste en l'exploitation de photographies de l'objet ou des parties de l'objet physique pour la production, grâce à des logiciels spécifiques, d'un nuage de points. Ces logiciels traitent les pixels de chaque image et les traduit en des points virtuels avec des coordonnées spatiales et de couleur (RGB) spécifiques. Cette reconstruction résulte en un relief identique à la géométrie de l'objet numérisé.

La photogrammétrie peut être réalisée à partir d'une seule photo, d'un couple ou de plusieurs photos, des règles d'art s'imposent pour chaque cas :

#### a) Photogrammétrie mono-image

Il est possible d'acquérir une représentation 3D à partir d'une image isolée qui présente les surfaces planes de l'objet (Figure 4.a), toutefois la validité de certaines propriétés dans l'image utilisée sont nécessaires : la connaissance de l'objet (géométrie, mesure de distance) et la géométrie projective (perspective, point de fuite, etc.).

#### b) A partir de deux photos (Stéréorestitution)

Quand les axes de prise de vues sont parallèles entre eux et perpendiculaires à la base photographique (Figure 4.b). Selon P. Grussenmeyer « *La stéréorestitution permet de réaliser des plans 2D de façades, des modèles filaires et surfaciques en 3D, éventuellement complétés*

<sup>34</sup> DE LUCAS, Op.cit., P18.

par leur topologie. [...] Les applications de la stéréorestitution en photogrammétrie architecturale sont bien souvent des plans de façades, des relevés "pierre à pierre", de sculptures, de voûtes, de plafonds ou de vestiges archéologiques. » <sup>35</sup>

### c) Le bloc multi-image

Peut utiliser des prises de photos convergentes, horizontales, verticales ou obliques (Figure 4.c). « Les traitements reposent sur l'ajustement de blocs d'images par la méthode des faisceaux, et permettent d'obtenir une solution robuste et homogène de la géométrie de l'objet. » <sup>36</sup>

La figure ci-après illustre la représentation schématique selon DE LUCA des trois techniques de photogrammétrie :

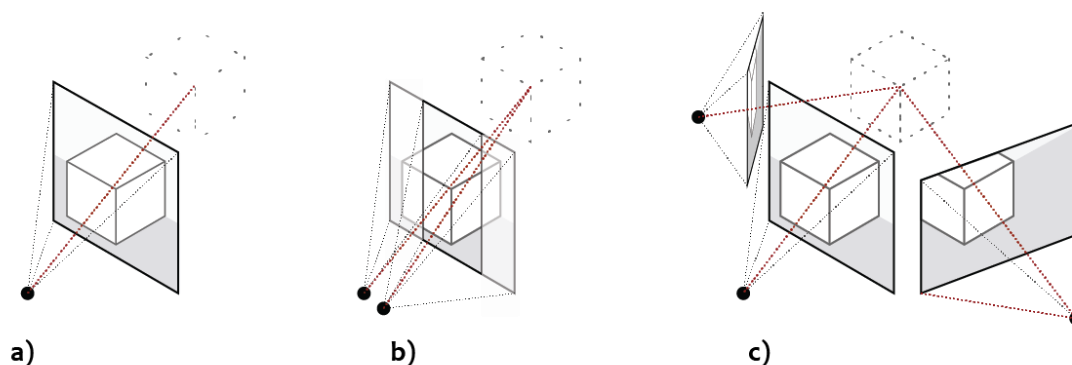


Figure 4: Schéma des techniques de photogrammétrie. a) A partir d'une seule image ; b) couple d'images ; c) un bloc multi-image. Source : De Luca (2006, p16).

### d) La correspondance d'image par corrélation

Grace au développement de la photographie numérique et des logiciels de traitement d'image, le processus de photogrammétrie est devenu plus facile et « automatique » et contrairement aux méthodes précédentes ne requière pas d'étalonnage de l'appareil photo mais un bon recouvrement de l'objet à numériser. C'est-à-dire que la 3D obtenue dépend du nombre des photos prises de chaque angle (une révolution de 360° est nécessaire pour modéliser un objet dans sa totalité), du rapprochement entre elles et éventuellement de leur

<sup>35</sup> P. GRUSSENMEYER, 2003, « Photogrammétrie architecturale et modélisation 3D du patrimoine », *revue XYZ* N°95, p.32. URL : [https://www.researchgate.net/publication/282057387\\_Photogrammetrie\\_architecturale\\_et\\_modelisation\\_3D\\_du\\_patrimoine](https://www.researchgate.net/publication/282057387_Photogrammetrie_architecturale_et_modelisation_3D_du_patrimoine) Consulté le 27/08/2020.

<sup>36</sup> Idem, p.33.

qualité. Le logiciel de traitement détecte les points homologues qui se correspondent sur plusieurs photos et les interprètent en un nuage de points qui dans ce cas peut être plus dense et présente plus de détails. Le taux de recouvrement idéal entre deux photos étant égale ou supérieur à 60%.

### **2.2.3 Photomodélisation**

Est une technique de de reconstruction 3D à partir d'images qui diffère de celle de la photogrammétrie, la photographie est dans ce cas un « canevas » sur laquelle la reconstruction manuelle (dessin 3D) se fait directement.

Cette technique admet deux approches :

- **Les approches basées sur les méthodes projectives** : en utilisant un bloc d'image non calibré. Trois étapes sont nécessaires<sup>37</sup> : 1) déterminer les points et les lignes qui se correspondent dans les images, les systèmes de projections varient selon le logiciel sélectionné ; 2) reconstruction 3D de la scène en utilisant des primitives simples et en suivant les différentes déformations projectives ; 3) Extraction des textures à partir des photos et les plaquer sur le modèle (Figure 05).
- **Les approches d'approximation non linéaire** : le système façade en est un exemple : c'est un système qui prend compte des invariants géométriques, du mouvement de la camera et des paramètres des primitives. Des plans de l'objet photographié sont automatiquement générés pour guider le dessin 3D qui a la différence du premier devient plus libre par l'algorithme d'optimisation non linéaire<sup>38</sup>. Une fois encore les textures sont extraites depuis l'image et plaqué dans le modèle dessiné. (Figure 6)

---

<sup>37</sup> DE LUCAS, Op.cit., p.30.

<sup>38</sup> *Idem*, p.31.

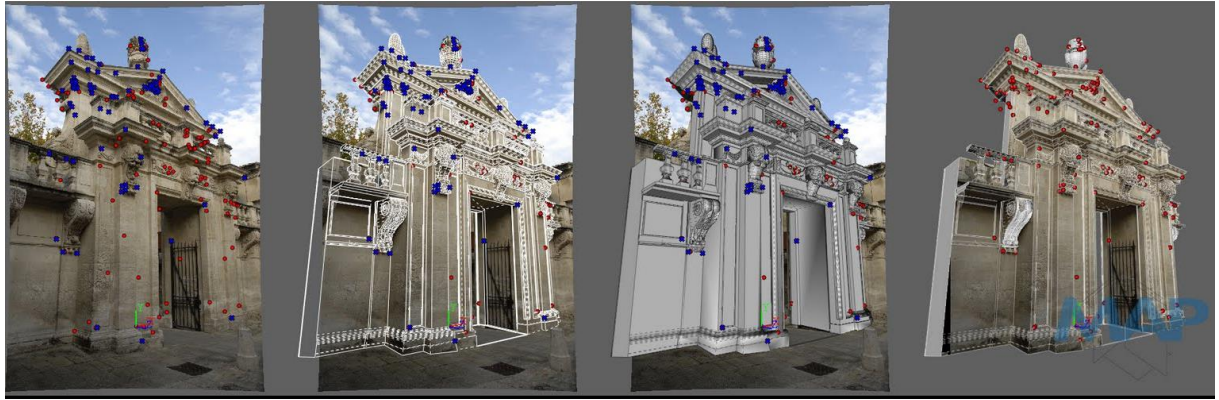


Figure 5: Reconstruction du portail de la Valfenière par Photomodélisation dans le logiciel ImageModeler (approche basée sur les méthodes projectives). Source : <http://toujours3d-jkl.blogspot.com/2010/06/3d-reconstruction-of-le-portail-de-la.html>.

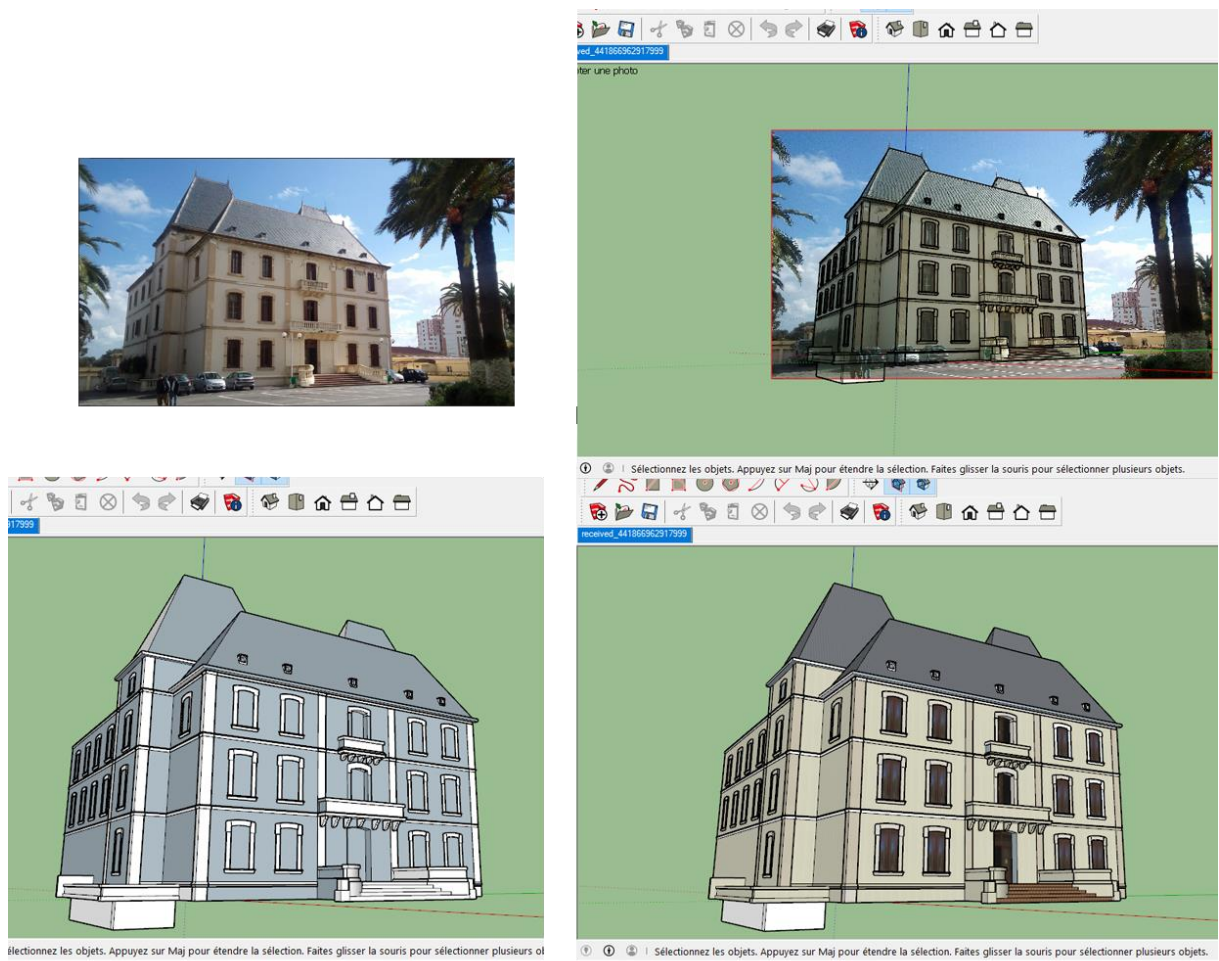


Figure 6: Reconstruction du Château Béraud ( Draria) par photomodélisation dans le logiciel Sketch up. (Approche d'approximation non linéaire). Source : Auteure, 2020

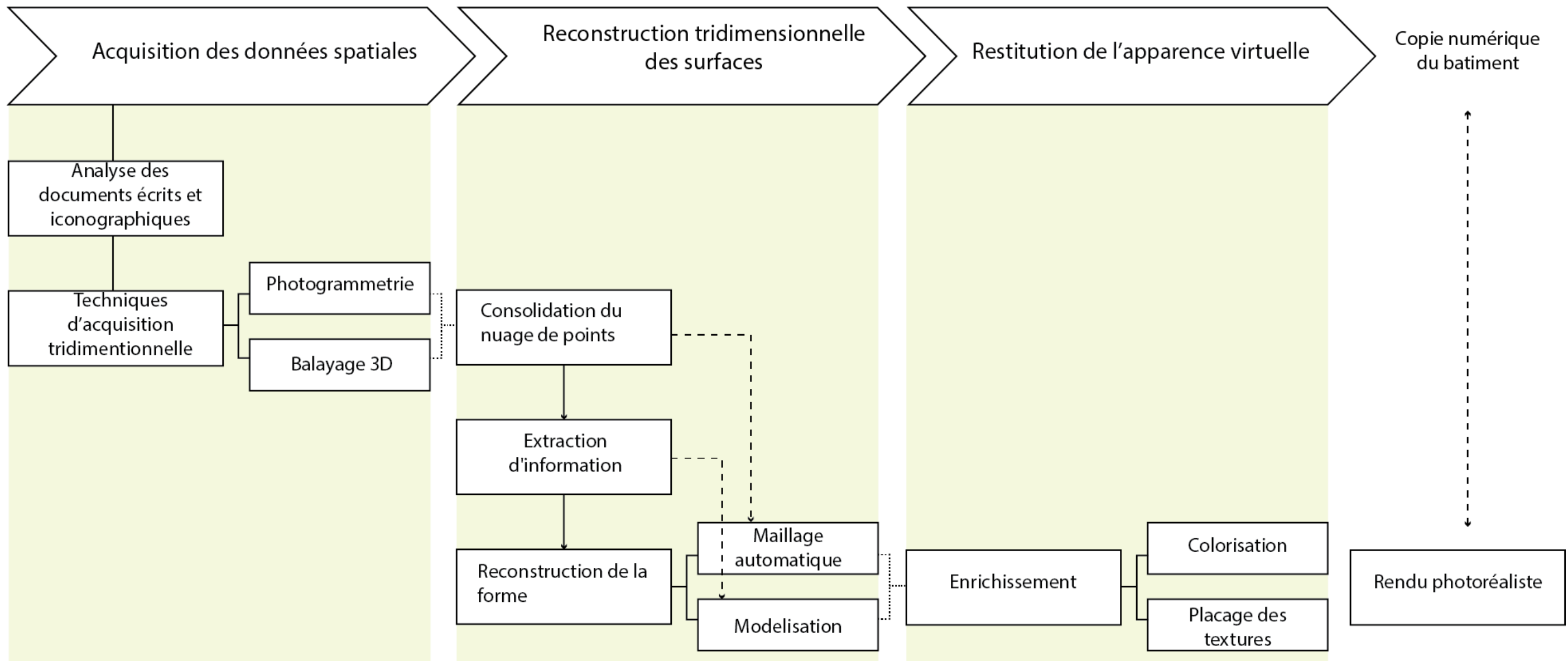


Figure 7: Synthèse de la numérisation 3D du bâtiment. Source : De Luca (2006, p37).

## **2.3 L'apport de la restitution virtuelle à la médiation et l'interprétation du bâtiment**

Nous avons vu précédemment comment la numérisation des documents et le recours au NTIC a facilité l'accès, le partage, la gestion et la valorisation du patrimoine bâti. Il est à présent temps de se focaliser sur la virtualisation du bâtiment par l'intermédiaire de la restitution 3D en comparant cette fois son apport à ceux cités auparavant<sup>39</sup> et en essayant de tirer ses enjeux à chaque fois dans le domaine de la médiation et dans celui de la recherche et l'interprétation.

### **2.3.1 Contextualiser et comprendre**

Le recours à la troisième dimension dans le dessin et l'étude du bâtiment n'est pas un procédé récent, son origine remonte à l'introduction du dessin en perspective par les architectes de la renaissance XV<sup>e</sup> siècle, utilisée comme un moyen de représentation et d'interrogation du bâtiment à l'époque. Depuis la création des ordinateurs et de l'informatique, l'image de synthèse a parcouru un long chemin en architecture certainement par le développement des logiciels DAO/CAO mais elle va aujourd'hui au-delà de ça. Manifestement, la modélisation d'un nouveau projet diffère de la numérisation d'un bâtiment existant, ceci rendu possible grâce aux techniques de numérisation citées dans la section précédente. Si dans le premier cas, le projet est conçu puis modélisé à partir de données géographiques et suivant des orientations fonctionnelles et esthétiques déterminés lors de l'esquisse, le monument est dans notre cas la première source « directe » d'information. Sa dupliqua numérique est une archive complète et précise de ses caractéristiques géométriques, morphologiques et esthétiques. Elle permet non seulement d'avoir une vue d'ensemble complète et insistons « précise », c'est-à-dire de reprendre l'objet dans son état actuel avec toutes ses déformations, pathologies et modifications subies à travers le temps, mais offre également la possibilité de pivoter de zoomer ou de décomposer le volume pour mieux le lire et le relire le nombre de fois nécessaires sur différents supports.

Selon De Bideran la 3D du monument est « *comme une sorte de laboratoire où prennent place des tests infographiques qui permettent d'éprouver les suggestions formulées et de vérifier la fiabilité des propositions. [...] il (monument virtuel) se transforme en une structure de dialogue collaborative, informelle et interactive. Le modèle tridimensionnel est par conséquent*

---

<sup>39</sup> Intérêt de la numérisation du patrimoine (voir Chap. I §1.1- 1.4).

*assimilable à une image-outil, hybride de simulation, de mimésis et de manipulation qui s'apparente à une vision tactile. »<sup>40</sup>*

La 3D devient en effet un outil de simulation lors de la restitution des parties manquantes ; identifiables dans certain cas mais dans d'autres le manque de documentation est atténué par la simulation de plusieurs hypothèses et propositions effectuées sur la 3D, puis comparées entre elles afin de déterminer les scénarios les plus proches de la réalité historique. De plus, les comportements du bâtiment et ses transformations (réaction aux aléas naturels ou anthropiques) peuvent également être retracés grâce à des logiciels de simulation par et à partir de cette même dupliqua à condition qu'elle soit la plus fidèle de l'existant<sup>41</sup>

Dans les sciences historiques, confronter les différentes sources/ documents dans un même et unique modèle, permet d'établir une synthèse des connaissances, de faire le point sur ce qui est connu et ce qui manque<sup>42</sup>. A titre d'exemple, le musée du Louvre a soumissionné en 2017 la reconstitution du palais du roi Darius I<sup>er</sup> de Suse. Son objectif était de contextualiser quelques œuvres de la collection perse (VI<sup>e</sup> siècle avant J.C.) (Figure 08).

La numérisation des éléments architectoniques conservés au musée et les sources documentaires ont permis de reconstruire une image hypothétique du palais, complété par un travail de comparaison des œuvres de la même période<sup>43</sup>. Pour les historiens archéologues et chercheurs cette procédure a permis de matérialiser les données existantes et faire un état d'avancement sur les connaissances de ce monument et son contexte et de développer de nouvelles pistes de recherches. Les visiteurs, eux, ont bénéficié grâce aux dispositifs de vulgarisation (voir figure) d'une expérience de voyage dans le temps ; voir les œuvres architecturales placées dans leur environnement et de lire et comprendre la période et l'œuvre en question d'une manière naturelle et divertissante.

---

<sup>40</sup> J.DE BIDERAN, 2014, « Du document patrimonial au monument virtuel : Les nouvelles mémoires du patrimoine ». *Les Cahiers de la SFSIC n10*, Société française des sciences de l'information et de la communication, p.68. [En ligne] URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01399485/document> Consulté le 14/06/2020.

<sup>41</sup> « Quel intérêt pour les acteurs du patrimoine ? » [En ligne] URL : [http://parcoursvirtuels.free.fr/index.php/quel-interet-pour-les-acteurs-du-patrimoine\\_](http://parcoursvirtuels.free.fr/index.php/quel-interet-pour-les-acteurs-du-patrimoine_) Consulté le 14/06/2020.

<sup>42</sup> M.ROCHELEAU, 2010, « La modélisation 3D comme méthode de recherche en sciences historiques ». Actes du 10<sup>e</sup> Colloque international étudiant du département d'histoire de l'Université Laval.. [En ligne] <https://www.erudit.org/fr/livres/actes-des-colloques-dartefact/actes-10e-colloque-international-etudiant-departement-dhistoire-luniversite--978-2-9812053-9-1/004288co.pdf> Consulté le 14/06/2020.

<sup>43</sup> AGP « visite virtuelle 3d du palais du roi Darius I<sup>er</sup> de Suse ». Communiqué de presse du Palais Darius, 2017 [en ligne] URL : [http://www.artgp.fr/IMG/pdf/communiqu%C3%A9\\_presse\\_palais\\_darius.pdf](http://www.artgp.fr/IMG/pdf/communiqu%C3%A9_presse_palais_darius.pdf) Consulté le 10/10/2020.

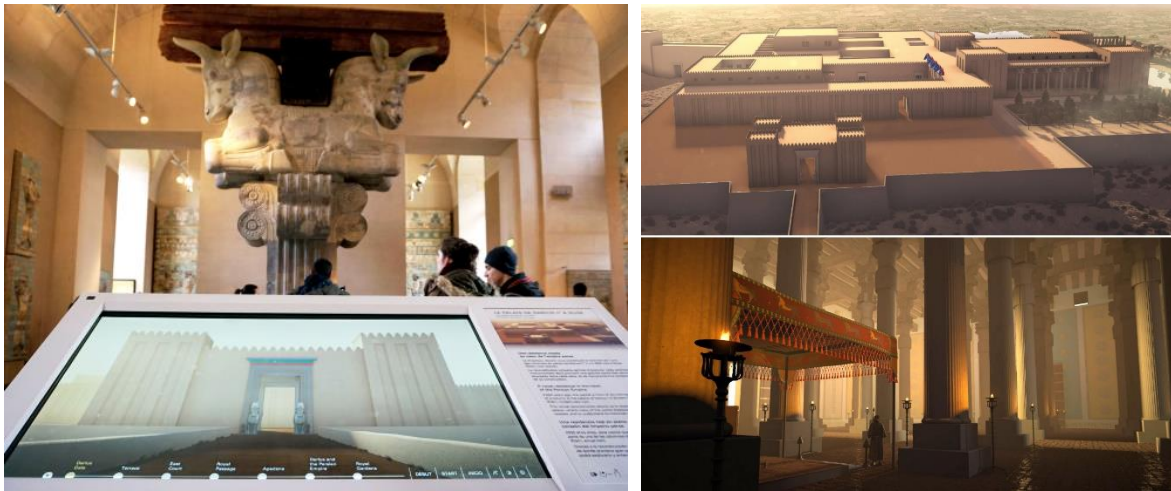


Figure 8: Reconstitution du palais du roi Darius I<sup>er</sup> de Suse. A gauche: Borne tactile qui diffuse la restitution 3D, à droite: Rendus photorealistes de la restitution du palais et de la salle de l'Apadana

### 2.3.2 Conserver

La 3D est pour le monument une base de donnée globale où sont capitalisés toutes les données du bâtiment, qu'on peut stocker (en ligne ou sur support informatique), dupliquer et consulter à tout moment, c'est une opportunité pour « éterniser » le bâtiment en conservant son image et ses caractéristiques compilés dans le même « corps » qu'on peut naviguer et lire intuitivement.

De Bideran, va même attribuer au monument virtuel la valeur mémorielle introduite par A. Riegl<sup>44</sup> qu'elle qualifie de « *mémoire hybride d'actualisation et de projection* ». Selon l'auteure, c'est un outil de matérialisation numérique et de mise en correspondance des savoirs et connaissances héritées et donc son existence et sa circulation – puisque c'est produit numérique donc mobile- contribuent à la conservation de la mémoire du monument et sa transmission dans le temps<sup>45</sup>. Par l'actualisation, l'auteure évoque autant les nouvelles technologies telles que la RA, la RV, les jeux vidéo... et comment elles proposent de faire revivre le bâtiment dans une période révolue par une expérience d'immersion et d'interaction en temps réel qui font de la restitution virtuelle un récit vivant et perpétuelle de l'histoire.

Lors des projets de restauration ou de réhabilitation des monuments, des sites ou des objets de valeur, on a souvent recours à la numérisation. Ceci, afin de réaliser une maquette d'étude qui servira à comprendre et simuler, comme expliqué précédemment, mais aussi pour

<sup>44</sup> ALOÏS RIEGL, 2013, in J. DE BIDERAN, 2014, p.70.

<sup>45</sup> Idem.

documenter une phase de l'histoire du bâtiment/site et conserver son image et son état avant l'intervention. Les monuments en voie de démolition et/ou de dégradation peuvent dans certain cas être restitué virtuellement pour garder la mémoire de l'objet avant sa disparition totale.

La numérisation peut être décidément une mesure d'urgence lors des catastrophes (naturelle ou anthropique) comme le cas de l'incendie majeur survenu à la cathédrale Notre dame de Paris en Avril 2019. Le relevé numérique a été effectué dans le but de diagnostiquer et évaluer les dégâts causés par cet incident malheureux. La société pionnière des technologies et du patrimoine AGP<sup>46</sup> en collaboration avec FARO, ont effectué cette première étape de sauvegarde avec le relevé de 50 milliards de points de mesure. Ainsi, AGP « *possède la cartographie 3D la plus complète et précise existante de Notre-Dame, notamment la charpente et la flèche, perdues lors de l'incendie.* »<sup>47</sup>



Figure 9: Nuage de points de Notre-Dame 2019. Source: Art Graphique & Patrimoine b) Modèle 3D: reconstruction de Notre-Dame 2010-2014. Source: Art Graphique & Patrimoine – Laurence Stefanon

Les entreprises privées autant que les institutions publiques, œuvrent dans la protection du patrimoine matériel par la numérisation et proposent même des services de visite virtuelle en ligne accessibles à tout le monde. Iconem<sup>48</sup> est une startup spécialisée en numérisation 3D des monuments et du patrimoine urbain et rurale, qui collabore avec l'UNESCO et plusieurs institutions internationales du patrimoine (Le Trust Aga Khan pour la culture, le Musée du Louvre et autres). Son objectif principal est de conserver le patrimoine archéologique et

---

<sup>46</sup> Art Graphique & Patrimoine AGP est une société leader dans le domaine des nouvelles technologies associées au patrimoine culturel. Site Web : <http://www.artgp.fr/>

<sup>47</sup> [http://www.artgp.fr/IMG/pdf/agp\\_new\\_v4\\_cp\\_fr.pdf](http://www.artgp.fr/IMG/pdf/agp_new_v4_cp_fr.pdf)

<sup>48</sup> <http://iconem.com/fr/>

architectural en péril en le numérisant par les méthodes de balayage aériennes et de nuage de points à grandes échelles. Open heritage<sup>49</sup> est un projet piloté par Google et l'ONG CyArk qui vise également la conservation et l'éducation à l'héritage en péril par la numérisation et la restitution tridimensionnelle, offre accès à plus de 25 sites historiques et monuments classés patrimoine humanitaire.

### **2.3.3 Concevoir**

De la même manière que la 3D est un outil de simulation qui permet de restituer des parties manquantes du monument, elle permet de projeter dans le cas d'une opération de réhabilitation les différentes solutions et transformations futures, d'étudier leur faisabilité et de simuler leur impact sur la matière existante du bâtiment.

### **2.3.4 Communiquer**

L'utilisation de la restitution virtuelle comme portail d'exploration et d'accès aux connaissances est pour le bâtiment un véritable outil de diffusion et de promotion, tant chez les professionnels du domaine que chez le grand public. Surtout grâce à l'internet et par l'association à différentes technologies de visualisation, elle devient un instrument de médiation<sup>50</sup> qui rend plus facile et attractive la visite et implique l'utilisateur dans la découverte historique, architecturale et scientifique. Réinventant ainsi, l'expérience du vécu des monuments et des vestiges, leur popularité et leur diffusion.

- Médiation culturelle :

Afin d'atteindre un plus grand public, les institutions culturelles mobilisent un panorama d'outils novateurs de communication et vulgarisation à la fois des lieux et du contenu qu'ils abritent ; soit in situ pour mettre en valeur et dynamiser ou en ligne pour donner à voir et

---

<sup>49</sup> <https://artsandculture.google.com/project/cyark>

<sup>50</sup> Dans le mode de la production culturelle et artistique, l'acte de médiation implique les « acteurs » et les « actions » intermédiaires à la création des œuvres et à leur mise en relation avec le public. Selon LAFORTUNE (2012) elle « s'incarne dans la construction de dispositifs d'interprétation des œuvres pour les publics, même néophytes, et de participation active à la vie socioculturelle pour les populations, même marginalisées ». C'est-à-dire que cette action engage un tiers entre la création et le spectateur à des finalités éducatives et divertissantes mais aussi sociale (afin de créer un lien avec la valeur culturelle et de se l'approprier) et de citoyenneté (favorisant ainsi l'initiative individuelle et collective dans la valorisation de l'art et la culture locale). Son objectif est de démocratiser le savoir culturel chez un plus grand nombre de population même la plus distante.

inviter. Ces produits sont multiples : bornes multimédia, dalles interactives, des guides numériques, des applications, des sites Internet, des jeux, et la liste va encore plus loin.

- Médiation pédagogique :

Les quarante dernières années du système éducatif ont été marquée par l'émergence d'une voie technologique (E-learning, Enseignement Assisté par Ordinateur EAO, logiciel d'apprentissage, etc.), les disciplines qui traitent du patrimoine ne font pas exception. Rappelons, les procédés d'acquisition des données, les logiciels de modélisation, les dispositifs de visualisation, les bases de données, etc. Ces instruments sont omniprésents dans le monde professionnel et doivent être intégrés dans le quotidien des apprentis. Appliquée en classe, la restitution fait office de portrait de l'objet réel disponible à tout moment et partout. Lorsqu'elle est associée à différents médias et technologies, elle enrichit l'expérience de l'apprentissage et la rend plus amusante et attractive. La deuxième partie de notre recherche traite en détail l'application d'un outil de médiation (la RA) dans l'apprentissage du monument historique.

Suite à la crise sanitaire causée par le coronavirus COVID19, plusieurs musées<sup>51</sup>, monuments<sup>52</sup> et entreprises proposant des services d'art numériques<sup>53</sup> se sont précipités à fournir l'accès libre et gratuit aux destinations et monuments culturels virtuels sur internet (soit par des sites web ou par l'intermédiaire des applications et des jeux téléchargeables) dans le but d'inciter la population mondiale à rester chez soi et pratiquer la distanciation sociale durant la période du confinement. Ce mouvement a non seulement souligné l'importance de la médiation culturelle dans le maintien de l'accès à l'art et la culture durant les périodes difficiles mais a aussi servi aux pédagogues et chercheurs du domaine du patrimoine de garder l'activité d'étude et l'interprétation des œuvres à distance par ces technologies.

---

<sup>51</sup> Le Louvre(Paris), le Musée Van Gogh(Amsterdam), le British Museum(Londres) et plein d'autres sur: <https://www.lenouvelliste.ch/dossiers/coronavirus/articles/coronavirus-visite-virtuelle-et-gratuite-de-plusieurs-musees-dans-le-monde-922632>

<sup>52</sup> Inside360 propose une liste des monuments français à visiter par la technologie d'imagerie 360°. URL: <http://www.inside360.fr/visites-virtuelles-lieux/>

<sup>53</sup> AGP par exemple à mise à disposition des internautes ses travaux de numérisation des monuments en nuage de points, en 360 et des applications téléchargeables en réalité augmentée. Source : [http://www.artgp.fr/IMG/pdf/agp\\_lance\\_lepatrimoinechezvous.pdf](http://www.artgp.fr/IMG/pdf/agp_lance_lepatrimoinechezvous.pdf)

### 3 Technologies de visualisation du bâtiment

La 3D d'un bâtiment peut être visiter<sup>54</sup> ou visualiser de plusieurs manières. Cela, dépend principalement de deux facteurs : le type de la technologie utilisée pour communiquer l'image du bâtiment ou sa restitution (360°, AR, VR, MR, jeux vidéo) et du terminal pour laquelle celle-ci est destinées (dispositifs d'affichage tel que : ordinateur, dalles interactives, tablettes, Smartphones, etc.). Il n'est pas lieu ici de faire un listing de toutes les procédés utilisés dans la médiation, ceci ne servira pas l'objectif de cette recherche qui est d'étudier l'usage la technologie de RA seulement. Nous nous contenterons alors d'évoquer les outils susceptibles d'enrichir ce contenu spécialement les technologies immersives en rapport avec la restitution virtuelle et peuvent éclaircir certaines confusions autour de notre problématique.

#### 3.1 La vue 360°

Que l'on parle de photographie 360°, de giga-panorama (ou gigapixel) ou de model 3D visualisé en 360°, cette technologie d'imagerie moderne est l'outil le plus sollicité dans les projets de mise en valeur numérique du bâtiment pour la facilité de sa mise en place. (Figure 10)

Comme son nom l'indique, la vue 360 désigne une image panoramique couvrant un champ de vision complet, c'est-à-dire 360 degrés de liberté visuelle à partir du point de la prise de photo ou celui de projection photo-réaliste dans le cas d'une 3D. Il est possible d'interagir avec cette image : regarder dans tous les sens, zoomer ou se déplacer d'un espace vers un autre. Ces options dépendent de la source d'imageries (Photographie ou Model 3D), de la technologie utilisée pour le montage et du mode de diffusion (Vidéos, images interactives, applications, etc.). La 360° peut être visualisée sur différents supports numériques (ordinateur, tablettes, smartphones, etc.) ou grâce à des lunettes d'immersion spécifiques.

---

<sup>54</sup> La visite virtuelle est un outil de simulation qui offre l'accès exclusif à des contenus divers (lieux, bâtiments, objets, documents écrits et fonds iconographique, etc.) et a des informations historiques, culturelles, scientifiques, etc. Elle peut être considéré à la fois comme produit de documentarisation, de vulgarisation et de divertissement. Le terme visite virtuelle est souvent associé à la vue 360°, mais nous l'utiliserons au cours de ce travail pour designer l'action de parcourir et de visualiser un édifice en 3D. l'expérience de la visite est appréciée en fonction du degré d'immersion et d'interactivité de l'environnement simulé.

Dans le cas du bâtiment ancien, on fait souvent appel à la restitution 3D au lieu de la photographie pour montrer un objet ou une partie de celui-ci qui n'existe plus et/ou ne peut plus être photographié. Dans ce cas, le monument/objet est d'abord numérisé (soit par Lasergrammetrie, photogrammétrie ou modélisation 3D)<sup>55</sup> ensuite, la projection d'image se fait à partir de ce modèle. Les séquences d'images sont assemblées grâce à un logiciel de photomontage (ou dans des logiciels spécifiques à la 360) dans une seule vue allongée et qui semble défigurée mais quand exportée au bon format peut être visualisée en troisième dimension.

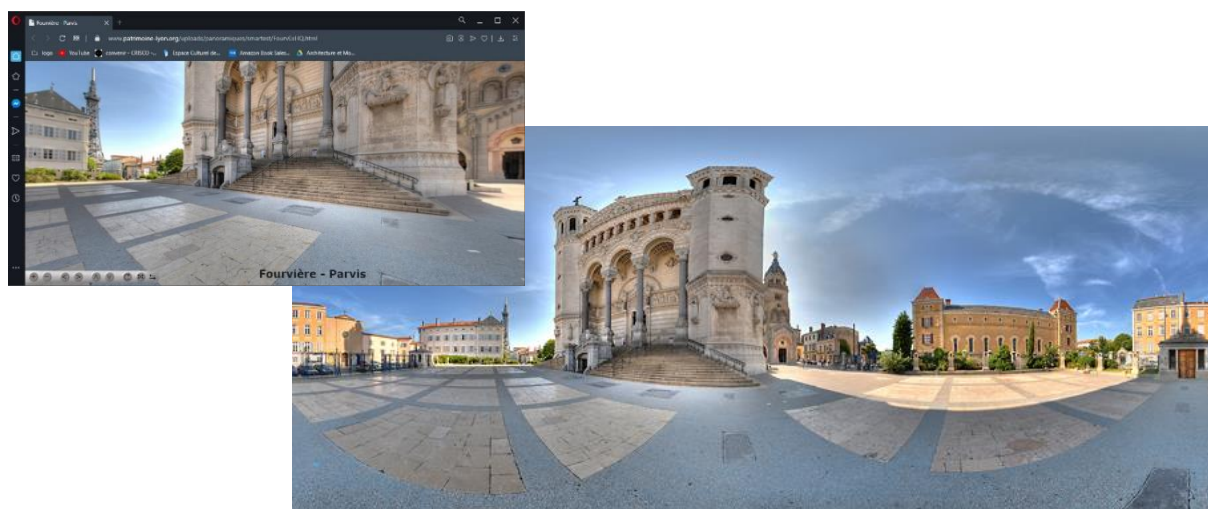


Figure 10: Vue en 360° de l'Esplanade de Fourvière - Lyon. A gauche : vue en mode 360 depuis la plateforme du site ; à droite : photo panoramique sans la visualisation 360. Source : <https://www.patrimoine-lyon.org/3d-plans-visites/panoramiques-360>

En 2011 l'entreprise Google en collaboration avec plusieurs musées et institutions culturelles, a lancé un service de visite virtuelle en ligne « Google Art et culture », qui repose sur la numérisation et la visualisation par la 360 les musées, les lieux patrimoniaux, et les œuvres artistiques ; particulièrement 151 musées et 32000 œuvres à travers 40 pays au lendemain de sa création seulement<sup>56</sup>. Tous, accessibles exclusivement et gratuitement en ligne. C'est notamment l'effort de cette entreprise qui a popularisé l'usage de l'image 360 dans les lieux de patrimoine. Le fameux château de Versailles figure parmi ces destinations, son partenariat

<sup>55</sup> Techniques d'acquisition 3D (voir Chap. I § 2.2).

<sup>56</sup> OBS, « Google Art Project monte en puissance: 151 musées, 32.000 œuvres en quelques clics » mise à jour avril 2012 [en ligne] URL : <https://www.nouvelobs.com/topnews/20120403.AFP2261/google-art-project-monte-en-puissance-151-musees-32-000-oeuvres-en-quelques-clics.html>

avec Google a débuté en 2009 par la mise en ligne des jardins du château dans le Streetview<sup>57</sup>, en 2012 le château a soumissionné la modélisation 3D de l'édifice suivi en 2013 par l'exposition des œuvres en 360 sur le site du géant informatique, et plus récemment (2019) le service « Le château est à vous » qui consiste à visiter les différentes pièces du château (même celles qui sont inaccessibles) en VR a été célébré par les deux collaborateurs<sup>58</sup>.



Figure 11: la place d'Amir Abd elkader dans Google Streetview. Source Zeid Mohamed sur Street view, 2019

### 3.2 La Réalité virtuelle

Dans le traité de la réalité virtuelle, ouvrage collectif et référentiel qui sert d'encyclopédie de la RV, on trouve la définition générale, précise et technique de la RV : « *c'est un domaine scientifique et technique exploitant l'informatique et des interfaces comportementales en vue de simuler dans un monde virtuel le comportement d'entités 3D, qui sont en interaction en temps réel entre elles et avec un ou des utilisateurs en immersion pseudo-naturelle par l'intermédiaire de canaux sensori-moteurs* »<sup>59</sup>

<sup>57</sup> Fonctionnalité de Google Maps, offrant la possibilité de voir n'importe quelle destination par des photos panoramiques 360 fournies soit par Google soit par des contributeurs. URL : <https://www.google.com/intl/fr/streetview/>

<sup>58</sup> L. MAURON, « Offrez-vous le château de Versailles en réalité virtuelle. Article publié le 30 septembre 2019 » septembre 2019 [en ligne] URL : <https://www.leparisien.fr/yvelines-78/offrez-vous-le-chateau-de-versailles-en-realite-virtuelle-30-09-2019-8163381.php> Consulté le 27/06/2020

<sup>59</sup> Fuch et al.2001, 2003,2005 in B. ARNALDI, P. GUITTON, G. MOREAU, 2018, *Réalité virtuelle et réalité augmentée: Mythes et réalités*. Éd ISTE Group, p.14. [En ligne] URL : <https://books.google.dz/books?id=u6xqDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=réalité+virtuelle&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEWjgibndirLsAhXEzYUKHdQDw8Q6AEwAnoECAMQAg#v=onepage&q&f=false>

Dans un lexique plus simplifié, un system de RV permet l'interaction en temps réel avec des composantes créées par ordinateur, dans un environnement virtuel EV, voir imaginaire et qui provoque une sensation d'immersion totale. Pour vivre cette expérience factice de la RV, l'utilisateur doit se munir d'un outillage de visualisation caractéristique : les visiocasques VR (oculus rift, HTC Vive, Samsung VR gear, etc.) qui occultent l'espace réel et permettent de se projeter dans un monde complètement synthétique et des capteurs de mouvement et des contrôleurs (manettes ou télécommande) permettant l'interaction avec les différentes composantes de l'environnement virtuel.

Tout comme la visite 360 la réalité virtuelle est le plus souvent utilisé par les institutions comme outil de valorisation de l'offre culturelle; In situ par exemples, dans les chambres immersives des musées et des galeries, on fournit au visiteur des accessoires de VR (visiocasque et manettes) qui lui permettent se plonger dans une simulation d'un espace-temps différent, d'apprécier les œuvres et les expositions dans leurs contexte d'origine et d'acquérir les informations nécessaires en interférant avec le model synthétique (toucher, se déplacer, répondre à des quiz, faire des quêtes de jeux à l'intérieur de la simulation, etc.).

L'un des projets phares de visite immersive en VR, est l'initiative internationale « Rome Reborn » ou « Renaissance de Rome » développée au sein de l'université de Californie UCLA en 1996. Son objectif est de restituer le développement de la cité antique pour les étudiants et pour le public intéressé par l'histoire et la civilisation. C'est le 1<sup>er</sup> grand projet à proposer de visiter la ville de Rome en l'an 320 –période la plus documenté de l'histoire antique de la ville– et de voir plus 7000 bâtiments et monuments antiques (le Colisée, le panthéon, le palais impérial, le forum, etc.) sans avoir à se déplacer de chez soi et ce par le biais des vidéos et des applications en Réalité virtuelle téléchargeables sur internet<sup>60</sup>. Ce projet a non seulement fourni un outil interactif et amusant pour l'apprentissage et la découverte à l'université et en dehors (depuis le lancement de la version 3.0 en 2018 ce produit est devenu payant<sup>61</sup>) mais a donné lieu à la vérification des sources et des hypothèses par la technologie de simulation immersive<sup>62</sup>.

---

<sup>60</sup> Site web du programme RomeReborn URL: <https://www.romereborn.org/>

<sup>61</sup> « Rome Reborn » Wikipédia l'encyclopédie libre [en ligne]. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Rome\\_Reborn](https://en.wikipedia.org/wiki/Rome_Reborn)

<sup>62</sup> Idem.

Le succès de ce produit a encouragé l'entreprise Flyover Zone à s'aventurer dans la restitution de nouvelles destinations : Athens Reborn, Baalbek Reborn, Egypt Reborn, etc.



Figure 12: Capture depuis Application VR Rome Reborn - le Colisée de Rome en l'an 320. Source: <https://www.romereborn.org/>

Il faut noter que l'image ou la vidéo 360 peuvent être visualisés par un casque VR pour mieux apprécier l'expérience de visite. Les lunettes d'immersion peuvent amplifier la sensation d'immersion en occultant toute distraction extérieure, mais ceci ne change pas le statut du media. Le rapprochement de ces deux technologies engendre en effet une certaine confusion chez les internautes et le public non familiers avec les règles de l'art de chacune. C'est pourquoi nous proposons de synthétiser les caractéristiques et les différences entre ces deux-là par le tableau suivant (voir tableau1):

|                                               | 360                                                                         | RV                                                                                                             |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Matière primaire                              | - Environnement réel<br>- environnement synthétique                         | Environnement synthétique EV (3D créer par ordinateur)                                                         |
| Degré d'immersion                             | Peut-être total ou partiel, dépend du dispositif de visualisation           | Total                                                                                                          |
| L'expérience de l'utilisateur (interactivité) | <b>Passive</b> (l'utilisateur est observateur de l'environnement)           | <b>Active</b> (l'utilisateur peut interagir en temps réel avec les composantes de l'environnement 3D)          |
| Outillage de visualisation                    | Ordinateur, écrans tactiles (smartphone, tablettes), projection, casque VR. | Equipement de VR : visiocasques ou lunette immersive (HTC vive, oculus, Samsung VR set, etc.) et des manettes. |
| Mode de diffusion                             | Image interactive(image 360) , vidéo 360                                    | Application VR, jeux                                                                                           |

|                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mode de production       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Prises de photos ou l'utilisation d'une caméra360, puis assemblage et traitement de vidéo grâce à des logiciels.</li> <li>- Projection d'image à partir d'un model3D puis assemblage. (voir Ch. I - §2.4.1)</li> </ul>                                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- L'écriture, la préparation de scenarios, (le storytelling ou le game design).</li> <li>- Création d'environnement 3D grâce à des logiciels de modélisation.</li> <li>- Travail de scénographie, d'ambiances, de rendus réaliste, d'animation et des effets sonores et visuelles)</li> <li>- Utilisation de logiciels et moteurs de RV pour simuler l'expérience de perception, le suivi du mouvement, la synchronisation, les signes et le feedback, etc. <sup>63</sup></li> </ul> |
| Intérêt pour le monument | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Numériser dans le but de conserver, de diffuser et d'étudier.</li> <li>- Fixer et montrer : Permettre une vision globale du monument dans un état particulier</li> <li>- Dans le cas d'une restitution 3D, il est possible de donner à voir l'évolution du monument et les changements dans le temps de ce dernier ( avant et après).<sup>64</sup></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Numériser dans le but de conserver, de diffuser et d'étudier.</li> <li>- Permettre de « vivre » une période précise ou de témoigner l'évolution en temps réel du monument au fil des siècles (simulation, interaction, jeux de rôle, etc.)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                              |

Tableau 1: Synthèse de la difference entre la Réalité virtuelle et la vue 360°.

### 3.3 La Réalité Augmentée

Nous consacrons le chapitre suivant à l'explication détaillée de la RA et de ses limites. Il suffit à ce niveau, de garder en mémoire la définition la plus utilitaire citée plus haut « le rajouter d'une information synthétique à l'image réelle ». Cette technologie est également confondue avec sa consœur la RV, on reviendra à clarifier les différences par la suite.

<sup>63</sup> NICOLAS Q. « Comment fonctionne la réalité virtuelle? » Mise à jour 2 juillet 2016 [en ligne] URL : <https://www.realite-virtuelle.com/comment-fonctionne-realite-virtuelle/> (Consulté le 14/06/2020).

<sup>64</sup> A. JAQUET, 2011, *Valorisation du patrimoine sur Internet : des visites virtuelles pour l'Inventaire ?* Mémoire de stage de Master en sciences de l'information et des bibliothèques. Université Claude Bernard, Lyon 1. Juin 2011. [En ligne] URL : <https://www.enssib.fr/bibliotheque-numerique/documents/56868-valorisation-du-patrimoine-sur-internet-des-visites-virtuelles-pour-l-inventaire.pdf>

## **Conclusion**

La restitution 3D est une représentation complète et claire d'un objet, de sa structure, de ses caractéristiques et de son aspect physique. Sa finalité toutefois, ne se limite pas à la représentation graphique et le regroupement des données. Le modèle 3D quand associé à des paramètres techniques de précision et de qualité scientifique, devient un outil de réflexion sur des aspects inconnus et de découverte de nouvelles pistes, notamment par la lecture visuelle critique, la simulation, l'évaluation des sources et des données, l'aide à la décision, etc. Il évolue dans ce cas, vers un support heuristique pour la sphère professionnelle et pédagogique du bâtiment ancien et, in fine, un outil de découverte et d'appréciation du patrimoine pour les non professionnels.

Derrière l'image sublime et interactive du monument virtuelle, un travail rigoureux de mise en correspondance des sources des documents et des faits historiques prend place. Un effort collectif de spécialistes interdisciplinaires (historiens, architectes, infographistes) sollicitant l'ordinateur, l'infographie tridimensionnelle, l'image de synthèse, les technologie d'acquisition de données et celle de l'information et de la communication, afin de créer une copie sur écran qui modifie la façon dont le bâtiment existe et se présente au monde.

La réalité augmentée est justement une des technologies qui s'inscrit dans ce contexte regroupant infographie et informatique ceci en enrichissant la perception des objets sans réellement y intervenir. Cette faculté, entre autres, lui attribue des applications inédites dans le domaine du patrimoine architectural.

## **CHAPITRE II : LA REALITE AUGMENTE COMME SUPPORT HEURISTIQUE**

## **CHAPITRE II : La réalité augmentée comme support heuristique**

### **Introduction du chapitre II**

Dans ce chapitre, nous allons présenter les fondements de la réalité augmentée, ses limites et ses applications relatives à notre thématique de recherche. Il importe de préciser que dans notre cas, nous allons éviter tout approfondissement sur les notions techniques liées aux sciences de l'informatique. Car effectivement, ce sujet exige certaines connaissances avancées et loin d'être maîtrisable par un lecteur néophyte.

Les années 1960 ont annoncé l'arrivée des premiers dispositifs IHM<sup>65</sup> spécifique à la réalité augmentée. Mais il convient d'attribuer le premier mérite aux esprits futuristes qui ont imaginé l'homme de demain, aux auteurs de science-fiction et réalisateurs du cinéma qui ont évoqué les hologrammes et les dispositifs d'enrichissement de l'expérience visuelle dès le début du XX<sup>e</sup> siècle <sup>66</sup>. Cent ans après, cette technologie demeure plus mature et son application provoque une polémique chez la communauté scientifique ; certains estiment que ça généralisation révolutionnera le monde, tandis que d'autres, expriment une déception à l'égard de ses avancées actuelles. Ce qui est sûr cependant, c'est que le marché de la RA connaît une croissante importance depuis 2016. Voici quelques dates significatives du parcours chronologique de la réalité augmentée (Figure 13) :

---

<sup>65</sup> L'Interface Homme-Machine : désigne toute interface par laquelle l'homme communique avec l'ordinateur.

<sup>66</sup> « La fantastique épopée de la réalité augmentée » sur : <http://www.larealiteaugmentee.info/histoire-realite-augmentee/> (Consulté le 10/10/2020).

# Chronologie de la réalité augmentée

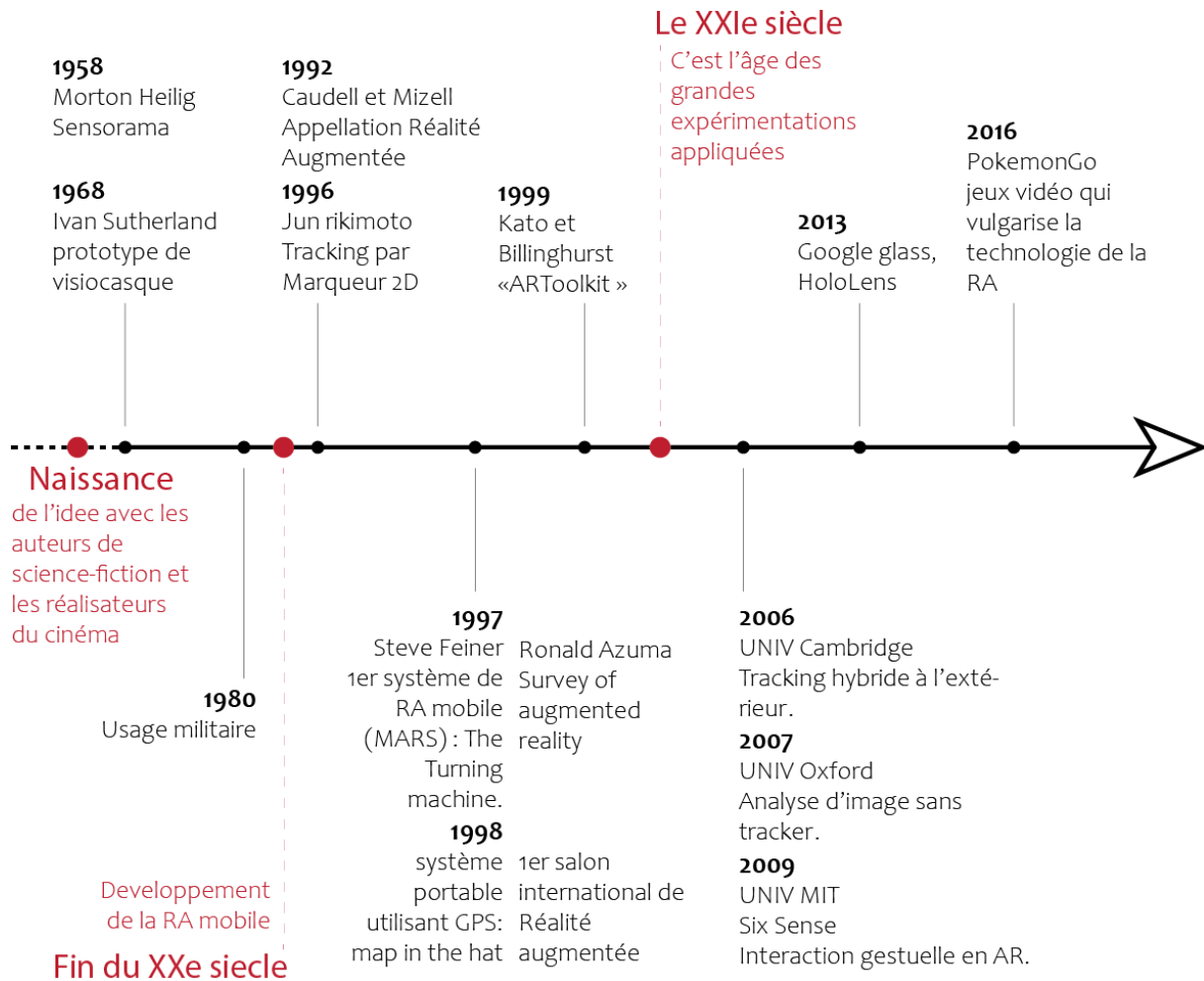


Figure 13: Chronologie de la réalité augmentée. Les trois grandes périodes selon Réveillac (2013) .

## 1 Définition de la réalité augmentée

On atteste l'origine de l'expression « Réalité Augmentée » traduite de l'anglais « Augmented Reality » aux deux ingénieurs de l'aéronautique Tom Caudell et David Mizell, qui en 1992 l'ont employé pour décrire un système d'aide technique qui « *superpose un matériel informatisé sur le monde réel* »<sup>67</sup>. Par extension le terme est utilisé pour désigner toute technologie permettant d'insérer des objets virtuels dans des séquences d'images réelles.

<sup>67</sup> JM RÉVEILLAC, 2013, *La réalité augmentée : Techniques et entités virtuelles*, éd. Hermès science publications / Lavoisier, p.31. URL : [https://books.google.dz/books?id=BZFfAgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=fr&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.dz/books?id=BZFfAgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=fr&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Ci-après sont citées les définitions communément admises de la réalité augmentée :

Selon Wendy Mackay il s'agit de « *permettre aux gens de tirer parti de leurs compétences dans l'interaction avec le monde de tous les jours, tout en portant de la puissance des réseaux informatiques* »<sup>68</sup>. En d'autres mots, le fait d'améliorer les capacités de l'individu dans le monde naturel comme les cinq sens, la perception de l'espace, la connaissance des objets..., par des données issues de l'ordinateur, généralement par des images de synthèses visuelles mais aussi par des augmentations sonores. L'auteure distingue trois niveaux d'augmentation : de l'utilisateur, des objets physiques et de l'environnement<sup>69</sup>.

1. **Augmentation de l'utilisateur** : au moyen d'un dispositif de visualisation
2. **Augmentation des objets physiques** : quand associés à un système de reconnaissance, ces objets renseignent sur leur nature ou fournissent des informations relatives à leur environnement.
3. **Augmentation de l'environnement**: par des dispositifs placés dans l'environnement qui émettent et reçoivent des informations sur l'utilisateur et les objets en même temps.

Selon Phillip Fuchs et Guillaume Moreau : « *La réalité augmentée regroupe l'ensemble des techniques permettant d'associer un monde réel avec un monde virtuel, spécialement en utilisant l'intégration d'images réelles (IR) avec des entités virtuelles (EV) : images de synthèse, objets virtuels, textes, symboles, schémas, graphiques, etc. D'autres types d'association entre mondes réels et virtuels sont possibles par le son ou le retour d'effort.* »<sup>70</sup>

Quand à Azuma<sup>71</sup>, on peut distinguer un système de réalité augmentée par les trois propriétés suivantes :

- Combiner le physique et le virtuel ;
- Interagir en temps réel ;
- Synchroniser des objets réels avec des objets virtuels.

---

<sup>68</sup> W. MACKAY 1993, in F. AZOUGH, *Modèle et expériences pour la visite des musées en réalité augmentée sonore*. Thèse de doctorat, École Doctorale d'Informatique EDITE de Paris, pp.10, 16 Mai 2014. URL : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01087127/document>

<sup>69</sup> Idem.

<sup>70</sup> P. FUCHS ET G. MOREAU, 2001, in JM RÉVEILLAC, 2013, P21.

<sup>71</sup> Azuma, 2001, in ARNALDI, GUITTON ET MOREAU, 2018, p 16.

La technologie de la RA possède un caractère transdisciplinaire. Selon Hugues, elle appartient au domaine des sciences de l'information et de communication (STIC), mais ses avancées dépendent fortement de plusieurs domaines tels que l'informatique, l'électronique, l'ergonomie (IHM) et même la psychologie expérimentale et cognitive <sup>72</sup>. Si l'on considère ses domaines d'application, la réalité augmentée peut servir d'outil indispensable à la production industrielle, à l'économie du marché et même au développement des sciences et la communication.

La réalité augmentée appartient également à une famille de technologies dites « immersives », dont les caractéristiques se rapprochent et créent une confusion chez les utilisateurs. Ce n'est qu'en la comparant à ses compères de la fusion réel-virtuel qu'on pourrait déterminer sa véritable nature.

### **1.1 La fusion réel-virtuel**

Le spectre des technologies immersives s'élargie et converge constamment (VR, AR, MR, XR, 360, etc.) si bien qu'il devient compliqué de faire la différence entre elles ou de rester à jour avec les nouvelles avancées. D'ailleurs, il est plus récurrent de se référer ou d'entendre parler de la Réalité Virtuelle pour designer n'importe quelle technologie utilisant l'image de synthèse.

Nous allons clarifier la différence entre ces notions, particulièrement celles en relation avec la RA, afin de mieux comprendre son principe de fonctionnement.

#### **1.1.1 Réalité augmentée AR vs Réalité virtuelle VR**

Nous avons vu précédemment la définition explicite de la Réalité Virtuelle RV, trois caractéristiques principales sont à l'origine de ce system informatique: l'immersion l'interaction et l'imagination<sup>73</sup> (Figure 14).

La RA « *ne vise pas une substitution du monde réel par une analogie virtuelle* » contrairement à la RV. « *Les fondements de la RA résident essentiellement dans l'aspiration de créer des*

---

<sup>72</sup> O.HUGUES, 2011, *Augmented Reality for navigation. SIGMA : Augmented Geographic Information System for shipping*. Thèse de doctorat, université de Bordeaux, p30. URL: [https://www.researchgate.net/publication/281014471\\_Augmented\\_Reality\\_for\\_navigation\\_SIGMA\\_Augmented\\_Geographic\\_Information\\_System\\_for\\_shipping](https://www.researchgate.net/publication/281014471_Augmented_Reality_for_navigation_SIGMA_Augmented_Geographic_Information_System_for_shipping)

<sup>73</sup> G. BURDEA, P. COIFFET, *La réalité virtuelle*, Paris Hermès, 1993.

*interfaces intuitives et facile à utiliser*<sup>74</sup>» et donc transgresser ses propres limites dans son environnement naturel et non dans le monde virtuel. Dans cette comparaison, l'immersion est l'élément déterminant de la nature technologique : Pour la RA, le phénomène **d'immersion n'est pas total**, les dispositifs de visualisation n'occulent pas l'espace réel mais y superpose des objets virtuels. Ainsi, l'utilisateur peut voir et se déplacer librement dans son entourage et de profiter en même temps des augmentations informationnelles. Tandis que dans la RV, la mobilité est contrainte par le port du visiocasque qui détache l'utilisateur de la perception réelle et le projette dans un environnement imaginaire (Figure 15).

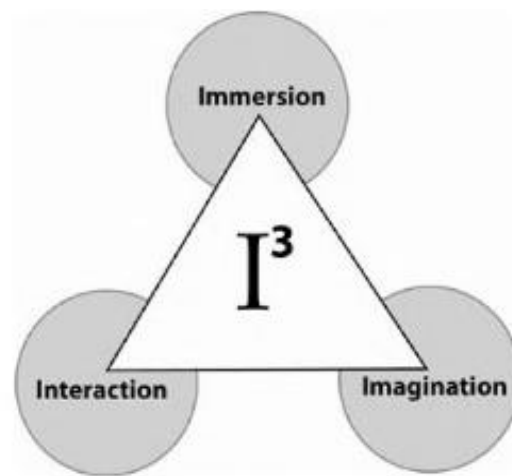


Figure 14: le trio de la réalité virtuelle selon Burdea et al. 1993. Source: (Réveillac, 2013)

### 1.1.2 La réalité mixte

La réalité mixte RM est selon nous la technologie la plus difficile à définir parmi les trois, étant donné qu'elle implique le partage des deux dimensions réelle et virtuelle en même temps. Mais comment se matérialise-elle concrètement ?

Jean-Michel Réveillac a tenté de définir la nuance entre ces trois réalités par un diagramme qui regroupe les trois principes précédents : interaction, immersion et imagination. Selon lui, pour définir de quelle réalité il s'agit, l'utilisateur doit déterminer le monde dans lequel il est immergé et celui avec lequel il interagit<sup>75</sup> (Figure 15)

<sup>74</sup> ANASTASSOVA, M. SVETOSLAVOVA, et al., 2007, « L'ergonomie de la réalité augmentée pour l'apprentissage : une revue », *Le travail humain*, vol.70, no. 2, 2007, p.98. URL : <https://www.cairn.info/revue-le-travail-humain-2007-2-page-97.htm>

<sup>75</sup> JM RÉVEILLAC, Op.cit., p22

Quand à Paul Milgram<sup>76</sup>, le degré de fusion entre ces différentes technologies peut être expliqué par une unification de ces concepts dans un continuum « réel-virtuel » (Figure 16).

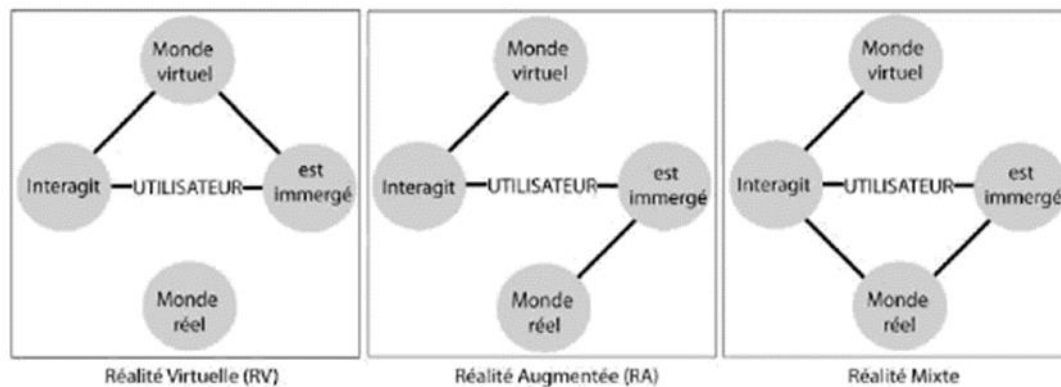


Figure 15: Les trois réalités par Réveillac. Source: (Réveillac, 2013)

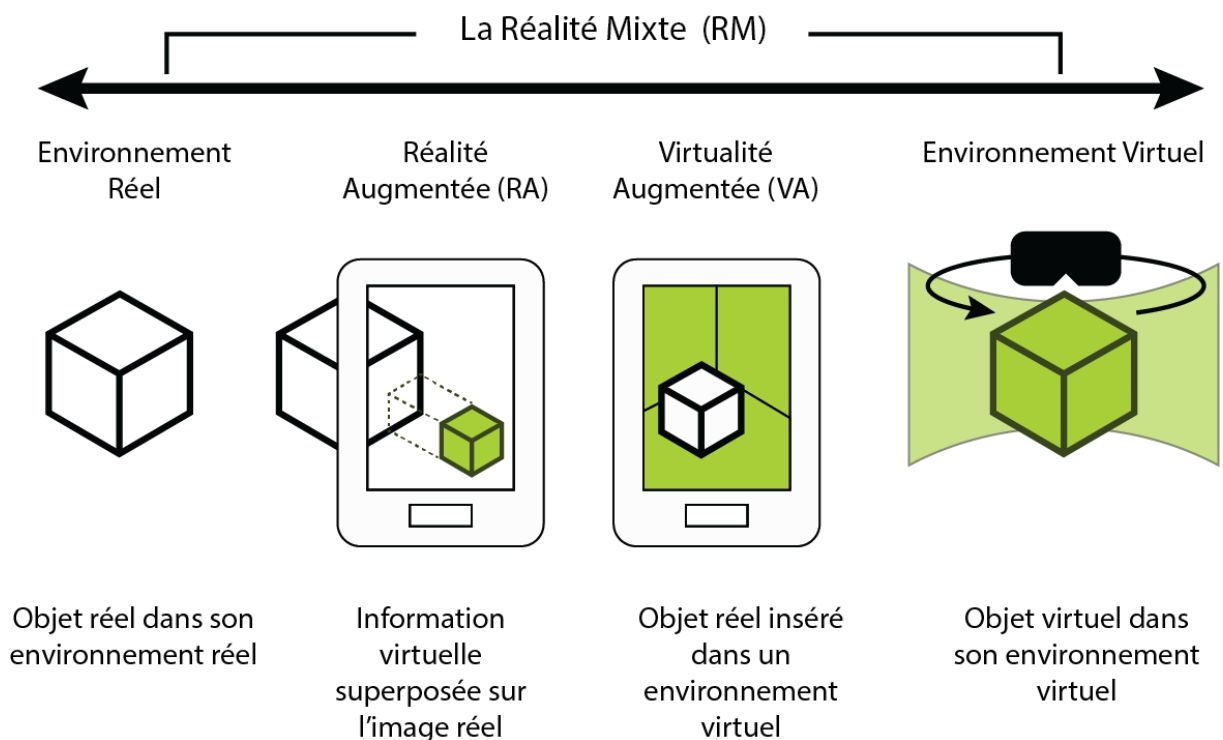


Figure 16: Le continuum « réel-virtuel » de Paul Milgram. Source : Milgram1994a, 1994b, 1999.

A partir de ces deux diagrammes nous avons extrait deux caractéristiques principales:

1. L'utilisateur de la RM est présent dans un environnement réel ;
2. La RM combine la réalité augmentée et la virtualité augmentée<sup>77</sup> en même temps;

<sup>76</sup> JM RÉVEILLAC, Op.cit., p22.

<sup>77</sup> Le rajout d'informations réelles dans l'environnement virtuel.

La RM est une technologie hybride où l'utilisateur peut voir et interagir avec des composantes réelles et virtuelles simultanément. Par définition elle se veut très proche de la RA, quoique, l'utilisateur est muni d'un visiocasque plus amélioré (différent de celui de la RA ou de la RV) qui a la particularité de reconnaître les informations réelles (surfaces, profondeurs, perspectives, etc.) et d'interagir avec les augmentations synthétiques avec plus de liberté. On peut dire alors que la RA est incluse dans la technologie de la RM.

**Réalité étendue ou le XR (de l'anglais Extended Reality):** est le terme général qu'on utilise pour désigner les trois technologies immersives citées précédemment (VR, AR, MR).

## 1.2 Principe d'un system RA

L'opération de superposition des informations nécessite un calcul des paramètres liés à l'environnement réel (type de reconnaissance, marqueurs, position GPS) et aux informations intégrés par ordinateur (source, position, taille, etc.) afin d'assurer la synchronisation en temps réel. Le parcours technique de l'information augmentée selon JM Réveillac se résume six étapes principales<sup>78</sup> :

1. Recherche du marqueur(cible) ;
2. Détection et calcul de l'orientation et de la position du marqueur par rapport à la caméra ;
3. Identification du marqueur ;
4. Choix des éléments virtuels a superposé sur le marqueur (augmentation) ;
5. Calcul de la position des éléments virtuels ;
6. Création de l'image finale.

Selon Vincent Havard un système de RA peut être vulgairement défini par quatre étapes majeures : La camera récupère l'information réelle, les algorithmes reconnaissent les marqueurs, puis positionnent les différentes augmentations sur ces derniers. Enfin, les dispositifs de visualisations affichent l'image finale sur le fond réel<sup>79</sup>. Ces étapes sont illustrées par le schéma suivant (fig10).

---

<sup>78</sup> JM RÉVEILLAC, Op.cit., p.25.

<sup>79</sup> V.HAVARD, 2018, *Développement de méthodes et outils basés sur la réalité augmentée et virtuelle pour l'assistance ou l'apprentissage d'opérations dans un contexte industriel*. Ingénierie assistée par ordinateur. Thèse de doctorat, Université de Rouen, pp. 18. URL : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01713362v2/document>.

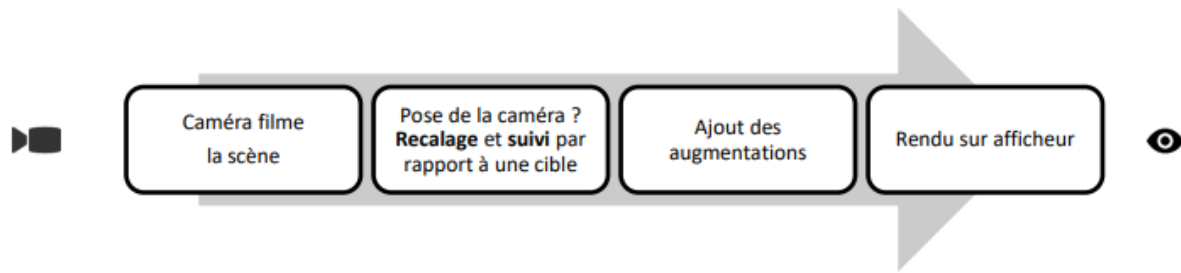


Figure 17: Principe de fonctionnement de la RA selon Vincent Havard. Source: (Harvard,2018)

- A. Recalage (registration): calcule permettant d'identifier l'objet « cible » ou « déclencheur » dans l'image réelle pour déterminer la pose de camera (position et orientation).
- B. Suivi (tracking): calcule permettant d'estimer la pose de camera suite à chaque mouvement (actualisation).

On parle généralement de « **suivi** » pour désigner les deux étapes qui sont complémentaires. La complexité de la réalité augmentée réside au niveau de l'alignement du flux réel et virtuel. Cette opération est contrainte par des paramètres internes liées à la précision et la vitesse de calcul des données et externes liées aux conditions de capture d'image réelle (présence de masque, éclairage, etc.). On invoquera les méthodes de suivi pour déterminer quel système de reconnaissance conviendra le mieux à notre future appli. Il existe plusieurs approches de suivi qu'on peut regrouper dans trois catégories : Suivi visuel, par capteurs ou hybride.

### 1.2.1 Suivi visuel

C'est l'approche la plus populaire, en utilisant la camera qui détecte un objet-cible dans la scène réelle. Ces objets cibles sont aussi appelés déclencheurs et peuvent être des marqueurs 2D (motifs ou tag), ou des objets 3D.

#### 1.2.1.1 Les marqueurs 2D

Il existe trois type de marqueurs (Figure 18.a):

- a) Fiduciaire (similaire au Code QR<sup>80</sup>) : motif géométrique abstrait en noir et blanc ;
- b) Graphique : motif carré qui contient une illustration en noir et blanc (Figure 18.b) ;

---

<sup>80</sup> Le code QR (Quick Response Code) : un code barre amélioré qui permet plus d'avantage quand associé à des Applis spécifiques. Par exemple : se connecté des réseaux Wifi, naviguer directement vers le lien du producteur, déclencher un appel téléphonique, se connecter à d'autres appareils, etc.

- c) Marqueur naturel : image d'un objet réel qui doit présenter certaines qualités (objet isolé ou bien défini, contraste, couleurs, textures etc.) (Figure 18.c).

#### 1.2.1.2 Les objet 3D

Certaines applications comme Vuforia ou Wikitude permettent de scanner des objets à petite échelle sur la plateforme (en ligne) de l'application et d'en faire un marqueur qui déclenche la RA au contact de l'objet scanné avec la camera (figure 18.d)

L'entreprise Wikitude propose même un service de reconnaissance intelligente des scènes partir de photographies<sup>81</sup> (similaire à la photogrammétrie). Au lieu d'attribuer un marqueur 2D au décor environnant, l'utilisateur peut photographier plusieurs angles de sa scène (pour couvrir un maximum de point de vues) puis les intégrer dans la plateforme du logiciel qui les transforme en un nuage de points. Ainsi, ce nuage 3D devient un marqueur instantanément reconnu par la camera de la RA.



Figure 18: Les type de marqueurs visuels

#### 1.2.2 Suivi par capteurs

La position de l'utilisateur ou de l'objet est déterminée par des capteurs qui sont : soit disposés dans l'environnement pour détecter les émetteurs placés sur les cibles (extéroceptifs), soit inversement, les capteurs placés sur les objets déterminent leurs propres positions par rapport aux émetteurs placés dans l'environnement (proprioceptifs)<sup>82</sup>.

<sup>81</sup> <https://www.wikitude.com/augmented-reality-object-scene-recognition/>

<sup>82</sup> A. GUEMOUGUI, *Réalité Augmentée pour les Jeux Vidéo et les Serious Games*. Mémoire de magister en informatique, Université de Biskra, 26/05/2013. P14. URL : [http://thesis.univ-biskra.dz/547/1/realite\\_augmente\\_pour\\_les\\_jeux\\_video\\_et\\_les\\_serious\\_games.pdf](http://thesis.univ-biskra.dz/547/1/realite_augmente_pour_les_jeux_video_et_les_serious_games.pdf)

La détection par GPS en est un exemple du suivi qui n'utilise pas de marqueurs mais une forme de capteur de mouvement associé à une boussole<sup>83</sup>. Les capteurs sont des dispositifs qui fournissent les données (informations) nécessaires à la réalisation d'un système RA, ils ne font pas partie de ce dernier.

#### 1.2.2.1 Suivi mixte (hybride)

Une autre approche de suivi est dite « hybride » quand elle combine entre les deux approches précédentes.

| Approche            | Suivi visuel                                               |                                                             |                                                                                     | Suivi par Capteurs                                        | Suivi mixte                                           |
|---------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Type de déclencheur | Marqueurs 2D                                               |                                                             | Marqueurs 3D                                                                        | Sans Marqueurs                                            | Couple de marqueurs et de capteurs                    |
|                     | Fiduciaire/<br>graphique                                   | naturel                                                     |                                                                                     |                                                           |                                                       |
| Exemple             | Code QR, Logos, symbole, texte, dessin, etc. <sup>84</sup> | Photographie, portrait, objet isolé, paysage, affiche, etc. | Objet isolé bien défini (jouet, prototype miniaturisé, chaise, table, ballon, etc.) | GPS, infrarouge, télémètre laser, capteurs ultrason, etc. | GPS + marqueur 2D est la combinaison la plus commune. |

<sup>83</sup> JM RÉVEILLAC, Op.cit., p.27.

<sup>84</sup> *Idem*.

|                  |                                                                                                  |                                                                |                                             |                                                                                              |                                                                    |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Caractéristiques | Détection et calcul rapide                                                                       | Reconnaissance limitée dépend des angles de vue.               | Reconnaissable à partir de tous les angles. | Précision dépend du nombre des capteurs présents sur place.                                  | Précision de reconnaissance des lieux et des objets en même temps. |
|                  | Le marqueur doit être entièrement visible (les masques et l'angle de vue joue un rôle important) | -Image doit être texturé ou présente un contraste remarquable. | -nécessité d'avoir un 3D fidèle de l'objet. | -                                                                                            |                                                                    |
|                  | Son design ne s'intègre pas dans le décor mais il est facilement réparable par les utilisateurs. | -Moins sensible aux masques                                    | -sensible aux variations de lumière         | problématique dans le cas de ou plusieurs objets augmentés coïncident dans la même position. |                                                                    |
|                  |                                                                                                  | -Sensible aux variation de lumière.                            |                                             |                                                                                              |                                                                    |

Tableau 2: Synthèse des approches de suivi de la RA

Chaque système de RA possède une architecture particulière qui dépend du type de l'information à augmenter, de l'approche de suivi, du rendu de l'image de sortie et finalement du matériel de visualisation de la RA.

### 1.3 Système de visualisation de la RA

On distingue grossièrement deux types de dispositifs: les visiocasques et les dispositifs à écran d'affichage.

#### 1.3.1 Les visiocasques

Aussi appelés casque de visualisation, HMD (Head Mounted Display) ou casque HMD sont des dispositifs que l'on porte sur sa tête et qui permettent d'afficher au moyen d'un petit écran placé juste en face de l'œil des images générées par ordinateur. Les visiocasque AR se composent généralement d'un capteur d'image, d'un moniteur miniaturisé et d'un miroir d'affichage pour assurer le mixage des composante réelles et virtuelles. On distingue deux types:

### 1.3.1.1 Visiocasque optique semi-transparent (*Optical See-through OST*)

Le miroir semi-transparent permet de voir directement l'environnement réel, tandis que le moniteur (placé au-dessus ou sur le côté) projette l'image synthétique par-dessus (Figure 19).

### 1.3.1.2 Visiocasque optique vidéo (*Video see-through VST*)

Dans ce casque, le miroir est remplacé par un moniteur LCD. L'environnement réel est d'abord « filmé » à travers des caméras, puis la vidéo est augmentée et rediffusée par le moniteur (Figure 19).

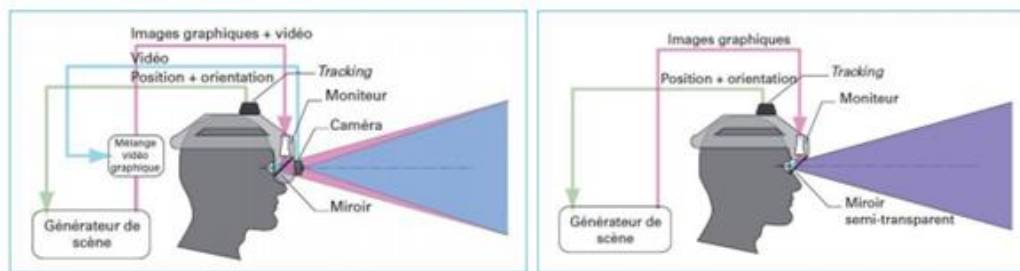


Figure 19: principe de fonctionnement du visiocasque de RA .  
A gauche: Video see-through VST . A droite : Optical See-through OST. Source: V. Havard, 2018, p31.

La gamme des visiocasques est très variée et inclue des modèles de lunettes binoculaires OST/VST (Google glass, Epson MOVERIO, Hololens, etc.) et monoculaires (Optinvent, Visux, etc.). Des précurseurs des technologies de miniaturisation ont récemment lancé un prototype de lentilles de contact qui affichent la RA directement dans l'œil humaine<sup>85</sup>.

### 1.3.2 Ecrans d'affichage

Tout comme les visiocasques, les dispositifs du type « écran » nécessitent un couplage caméra/moniteur. Pourtant, ce type de configuration peut être fixe ou mobile selon le contexte d'utilisation de la RA:

- a) Appareils mobiles : Les smartphones, les tablettes, les assistants personnels, etc. intègrent des fonctionnalités convenables à l'usage de la RA (GPS, boussole, camera intégrée, wifi, etc.). C'est d'ailleurs le développement et la miniaturisation de ces appareils qui a contribué à la démocratisation de la technologie de la RA. Certaines consoles de jeux permettent également l'affichage en RA des applications de jeux.
- b) Appareils fixes : les écrans fixes sont des solutions employées à l'intérieur des espaces d'exposition pour visualiser un objet ou un angle spécifique (Figure 21).

<sup>85</sup> [www.mojo.vision](http://www.mojo.vision)



Figure 20: a) Dispositif Ray-On, Cluny 2010. Source: [studiogardere.com](http://studiogardere.com)

Nous pouvons regrouper à ce point les exigences d'un système RA dans le schéma suivant :

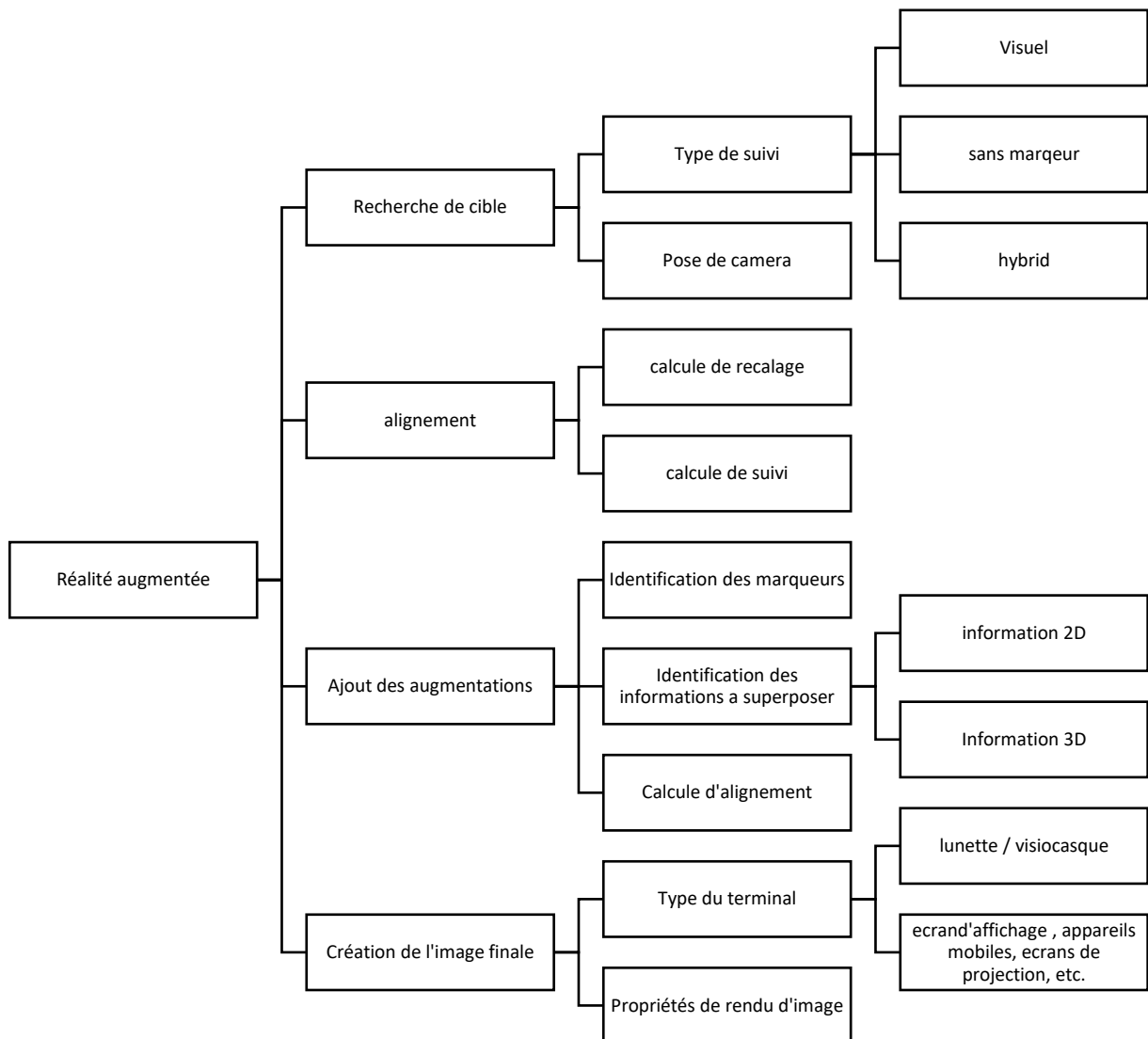


Figure 21: synthèse du principe d'un système RA

## 2 Applications de la réalité augmentée

La réalité augmentée suscite l'intérêt des professionnels dans tous les domaines, son potentiel est énorme et trouve un sens dans presque toutes les activités quotidiennes. Il est encore tôt de dire que c'est le futur de l'humanité surtout avec la promesse de RM, une technologie très similaire mais sensée apporter plus d'amélioration que la RA. Toutefois, depuis 2016 (le boom du jeu Pokemon GO) le marché de la RA –équipement, et services – est en croissance, la baisse éventuelle du coût de la technologie contribuera certainement à l'élargissement des services de RA. Il existe tout de même un grand nombre d'applications de RA qui ont connus un succès et qui ont témoigné de son efficacité. Nous citerons ci-après celles directement liées à notre thématique de recherche :

### 2.1 Architecture, ingénierie et construction (AEC)

*« La RA pour l'architecte est un moyen innovant pour concevoir, vérifier, expérimenter, communiquer, partager et convaincre parce qu'il peut faire exister l'inexistant. »<sup>86</sup>*

À l'aide de la Réalité Augmentée, l'architecte peut **voir sa conception avant son édification**, soit en interagissant avec les documents 2D/3D sur la surface de son plan de travail (Figure 22), ou en projetant la future réalisation directement sur son assiette d'assise (Figure 23). Mais contrairement à l'idée commune, ce n'est pas son seul atout. Nous avons vu précédemment qu'il existe plusieurs manières d'augmenter un contenu ou son environnement avec des applications conçues -sur mesure ou pas- dans un but précis ; certaines permettent de se repérer dans la ville, d'autres de mesurer en temps réel les distances ou de placer des objets-guides et des indications sur l'assiette de construction<sup>87</sup>. Celles-ci sont complémentaires autant à la réflexion architecturale qu'à l'exécution des travaux.

AR Sketchwalk<sup>88</sup> est une application pour IOS qui intègre la fonctionnalité de reconnaissance automatique des sols. L'architecte peut scanner sa parcelle pour y' implanter ensuite l'esquisse dans sa position et son échelle réelle et de réfléchir sur place sur les différentes modifications à apporter à sa conception (Figure 24-25).

---

<sup>86</sup> <https://simcinq.com/technologies-mobiles-construction/> (consulté le 10/10/2020)

<sup>87</sup> E.SOUZA « 9 Augmented Reality Technologies for Architecture and Construction », mise à jour 2019, [en ligne] URL <https://www.archdaily.com/914501/9-augmented-reality-technologies-for-architecture-and-construction> (Consulté le 10/10/2020).

<sup>88</sup> [www.morpholioapps.com](http://www.morpholioapps.com).



Figure 25: Augmentation du plan dans l'application AUGMENT. Source: <https://www.archdaily.com/914501/9-augmented-reality-technologies-for-architecture-and-construction>



Figure 25: visualisation d'un futur projet par l'application Urbasee sur tablette. Source: <https://urbasee.com/>

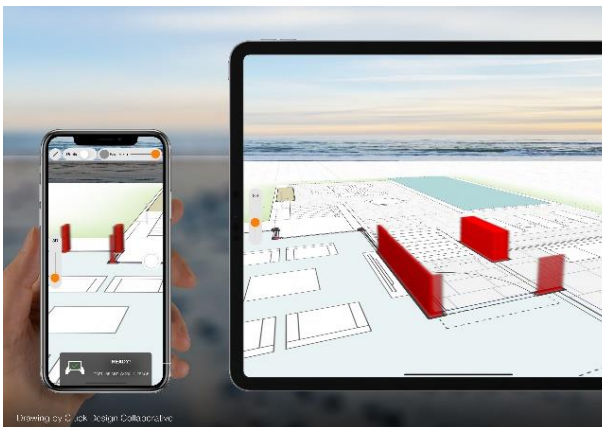


Figure 23: Interface application Morpholio AR Sketchwalk  
Source: <https://medium.com/@morpholio/how-to-ar-sketchwalk-5bd75121f0dd>

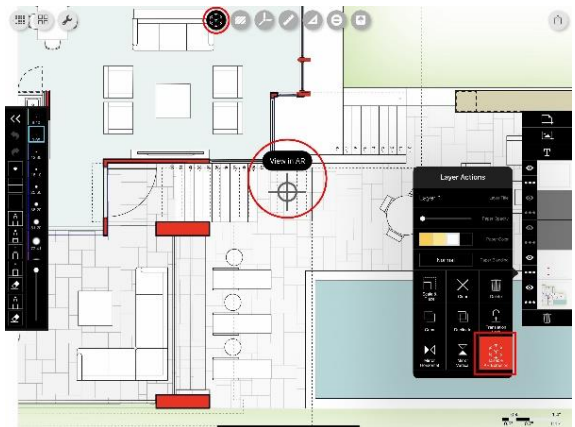


Figure 23: définir la position de visualisation de la RA dans l'Application AR Sketchwalk. Source: <https://medium.com/@morpholio/how-to-ar-sketchwalk-5bd75121f0dd>

Dans la vision Bâtiment 2.0, la RA est utilisée pour **contrôler les chantiers de construction** en superposant la maquette virtuelle sur les traces du chantier en cours : Elle permet de voir les objets dans leurs positions exactes (information BIM, VRD, ferrailage, instructions de poses, etc.) de vérifier la qualité de l'exécution, de repérer les erreurs de construction et de projeter à travers les murs la continuité des éléments constructifs. Le résultat est une meilleure collaboration entre les acteurs et un gain en temps et en productivité.

GAMMA AR<sup>89</sup>, par exemple, est un service de gestion des chantiers par la maquette BIM et réalité augmentée. Il propose aux professionnels du domaine deux versions: une pour visualisation d'un seul modèle et une second version (PRO) qui permet de combiner plusieurs

<sup>89</sup> [www.Gamma-ar.com](http://www.Gamma-ar.com).

modèles dans une même vue et de les augmenter par des informations techniques additionnelles (modèles IFC bases de données, instructions, fichiers audio, etc.).

Le recours à la RA dans le BTP s'est accompagné par le développement d'un outillage de visualisation adapté aux exigences et aux risques du métier. Au lieu de l'utilisation des appareils portables, l'architecte ou l'ingénieur peut se munir directement d'un casque équipé d'un écran de visualisation en RA comme le DAQRI Smart Helmet (Figure 27) qui permet de visualiser à grand échelle le modèle 3D sur le chantier réel.

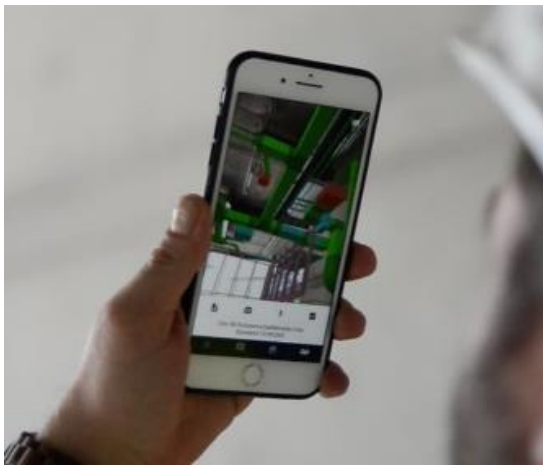


Figure 27: Application Gamma AR sur mobile. Source: Gamma-ar.com



Figure 27: DAQRI Smart Helmet. Source :Archdaily.com

## 2.2 Tourisme et médiation culturelle

La RA offre une nouvelle dimension à la visite des lieux culturels et touristiques par le rajout d'une base de données complémentaire, voire la plus « utile » sur place, ce qui facilite l'expérience de découverte, soit à l'intérieur des galeries et musées ou à l'extérieur dans les sites archéologiques ou historiques. Plus besoin d'un guide, il suffit d'interroger son téléphone ou sa tablette en pointant la camera vers le sujet d'intérêt pour faire défiler automatiquement les informations écrites, sonores, en image ou en 3D.

### 2.2.1 La ville augmentée

IMAYANA est un projet de réalité augmentée mobile appliquée à échelle urbaine, une promenade scénarisée dans le Bordeaux du XVIII<sup>e</sup> siècle<sup>90</sup>. Muni d'un iPad (baptisé la machine qui capte les ondes du passé), l'utilisateur empreinte un parcours pédestre qui relie neuf

---

<sup>90</sup> J.DE BIDERAN, 2014, « Visite numérique et parcours augmenté, ou les interactions complexes des touristes avec le patrimoine », *Échappées*, Vol2, p. 38-48. URL : [https://issuu.com/jessicadebideran/docs/article\\_de\\_bideran\\_n2\\_echappees](https://issuu.com/jessicadebideran/docs/article_de_bideran_n2_echappees) (Consulté le 15/07/2020).

localisations symboliques où les augmentations apparaissent automatiquement : des dialogues et narratifs historiques sont assurés par les statues et mascarons animés et l'architecture et les décors du XVIII<sup>e</sup> siècle sont restitués en 3D (Figure 28). L'utilisateur peut alors comparer ce qui était et ce qui existe, percer à travers certains bâtiments inaccessibles (passe-murailles) ou de passer en mode « navigation » pour sélectionner entre les différents contenus disponibles (carte topographique et historique, rendus iconographies, etc.). Pour plus de précision sur les caractéristiques et le mode de fonctionnement de cette appli, l'article « Visite numérique et parcours augmenté, ou les interactions complexes des touristes avec le patrimoine » par J. De Bideran reprend en détails la description de l'expérience d'utilisation du dispositif IMAYANA<sup>91</sup>.

L'auteure explique l'intérêt de la dimension présentielle et interactive de l'utilisateur qui grâce à son mouvement corporel et gestuel ( le déplacement, la posture vers le haut/le bas, rechercher les positions de synchronisation, choisir les différentes options, etc.) interagit avec l'espace urbain via « l'image-actée<sup>92</sup> », il apprend à utiliser l'application et indirectement à regarder le patrimoine et être attentif aux informations distribuées d'une façon ludique et qui favorise l'autonomie. C'est notamment ce design ingénieux (structure, parcours, scénarios, informations, etc.) associé à la technologie de superposition (RA) qui a révolutionné la façon de l'appropriation du patrimoine historique et urbain de la ville de bordeaux.

### **2.2.2 Le monument augmenté**

Lauréat du prix de la meilleure application culturelle mondiale en 2013, Jumièges 3D est un projet de valorisation de l'abbaye Jumièges (Haute-Normandie) développé suite à la collaboration entre le département de la Seine-Maritime, la société AGP et un comité scientifique international chargé de la recherche historique pour la restitution de l'abbaye romane.

L'application (disponible sur Smartphone ou tablette) permet de voir en quatre points spécifiques une restitution virtuelle de la pièce en question avant sa destruction.

---

<sup>91</sup> Idem.

<sup>92</sup> Terme initié par JL WEISSBERG: L'image exigeant l'acte /par le geste. *In* DE BIDERAN, 2014, p41.



Figure 28: interface de l'appli Jumièges3D. A droite: la superposition du modèle 3D sur les ruines du bâtiment en RA. A gauche' immersion à l'intérieur du modèle 3D. Source : artgp.fr

Associée à la restitution tridimensionnelle, la RA dans les monuments sert à revoir l'image d'ensemble du lieu dans une période spécifique, de compléter les parties ou les éléments manquants et de projeter un décor altéré par le vieillissement de la construction. Selon Michel Robert « *Il ne s'agit pas d'en « mettre plein la vue » avec la technologie mais de proposer une **restitution immédiatement compréhensible** des vestiges* ». En d'autres mots, ça permet d'actualiser la mémoire populaire du bâtiment par une approche technologique qui épargne les transformations physiques lourdes dans les lieux et qu'on peut comparer à tout moment avec l'état actuel de celui-ci.

Ce nouveau mode d'interaction offre également une approche spectaculaire aux visiteurs qui éprouvent un enthousiasme pour la participation à cette expérience de navigation en RA avec les dispositifs in-situ ou en téléchargeant l'appli sur leurs propres téléphones.

La mise en place de la réalité augmentée in-situ nécessite une méthode de suivi mixte. Robert Michel souligne quelques difficultés liés à ce genre d'applications qu'il faut prendre en compte dans les institutions culturelles ou les sites historiques<sup>93</sup>

<sup>93</sup> M. ROBERT, 2012, « La Réalité Augmentée, Une Fenêtre Virtuelle Ouverte Sur Le Passé », *LA REVUE AS. (Archéologie Suisse)* : Nouvelles technologies, p.43 URL : [https://www.academia.edu/6246951/La\\_réalité\\_augmentée\\_une\\_fenêtre\\_virtuelle\\_ouverte\\_sur\\_le\\_passé](https://www.academia.edu/6246951/La_réalité_augmentée_une_fenêtre_virtuelle_ouverte_sur_le_passé) (Consulté le 15/07/2020).

|                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| L'approche de suivi par GPS           | La précision de la géolocalisation de l'utilisateur est très importante pour les applications qui utilisent le suivi par GPS. Il est nécessaire de positionner des antennes de réseau pour améliorer la localisation ce qui peut s'avérer contraignant si le nombre d'antennes est important.                                                                                                                     |
| Le débit de bande passante            | Plus l'appli de visite virtuelle est riche en augmentations, plus le volume des données à télécharger s'accroît. C'est-à-dire que les données ne sont pas incluses dans l'appli mais plutôt transférer depuis le réseau WIFI. Il faut assurer la continuité du flux de téléchargement (récupération) de ces informations à tout moment et pour ce, le débit de la bande passante <sup>94</sup> doit être adéquat. |
| Le coût de d'itinérance ou le roaming | C'est le coût de téléchargement des données pour les étrangers qui utilisent des opérateurs locaux.                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| La restitution virtuelle du monument  | Cette opération doit se faire au préalable. L'auteur propose à cet égard un « <i>accord sur des formats standards de modélisation en 3D et d'entamer une politique de reconstitution des monuments</i> »                                                                                                                                                                                                          |

Tableau 3 : problèmes liés à la réalité augmentée IN-Situ:

La Réalité Augmentée est naturellement l'outil le plus convenable pour retrouver l'ancien dans le nouveau, de réconcilier entre le perceptible et l'imperceptible, entre le patrimoine et la technologie. Ça favorise en outre l'apprentissage et la sensibilisation « indirecte » à la valeur culturelle et de mémoire.

### 2.3 La pédagogie numérique

La RA se mêle progressivement aux technologies éducatives. Ses propriétés pédagogiques et didactiques font l'objet de multiples recherches au fur et à mesure que celle-ci franchit les difficultés techniques et matérielles liées à sa mise en place.

<sup>94</sup> Capacité de transfert de donnée du réseau.

Afin de déterminer les enjeux de son application en classe, nous nous référons à la revue littéraire qui traitent de ce propos : « L'ERGONOMIE DE LA RÉALITÉ AUGMENTÉE POUR L'APPRENTISSAGE » réalisée par M. Anastassova, JM. Burkhardt, C. Mégard et P. Ehanho (2007)<sup>95</sup>.

Après l'analyse des sources bibliographiques, Anastassova et al. ont proposé de catégoriser l'intérêt de la RA en trois situations : comme étant un double support réel-virtuel ou une façon de communiquer l'information contextualisée ou par la comparaison avec une technologie de la même famille mais qui connaît plus de succès à savoir la réalité virtuelle<sup>96</sup>. Nous nous contenterons de reprendre les éléments clés de cette publication. Néanmoins, il est préférable de consulter l'intégralité du document pour plus d'information sur le sujet.

| Situation                        | Intérêt selon l'auteur                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Double support<br>réel-virtuel : | <ul style="list-style-type: none"> <li>- L'apprentissage active<sup>97</sup> (Fjeld &amp; Voegtli, 2002)</li> <li>- Visualiser les artefacts physiques permet de comprendre plus facilement les concepts techniques (Stedmon &amp; Stone, 2001)</li> <li>- Faciliter l'élaboration de représentations de relations spatiales dynamiques et leur évolution dans le temps et l'espace (Shelton &amp; Hedley, 2002)</li> <li>- L'implication et la présence faciliterait la mémorisation, le rappel et le transfert dans la situation de référence (Neumann &amp; Majoros, 1998).</li> </ul> |

<sup>95</sup> Anastassova et al, Op.cit.

<sup>96</sup> Idem, p 99-100.

<sup>97</sup> Selon CIEUTAT, HUGUES et al : « *La pédagogie active a pour objectif principal de rendre l'apprenant acteur de ses apprentissages dans l'optique qu'il construise ses savoirs au cours de mises en situation, de confrontations à des problèmes à résoudre, aux antipodes d'une transmission littéraire du savoir* » Source : CIEUTAT, HUGUES et al., 2011, *Une pédagogie active basée sur l'utilisation de la Réalité Augmentée : Observations et expérimentations scientifiques et technologiques, Apprentissages technologiques*. Journées de l'AFRV, p.20. URL: [https://www.researchgate.net/publication/278797421\\_Une\\_pedagogie\\_active\\_basee\\_sur\\_l\\_utilisation\\_de\\_la\\_Realite\\_Augmentee\\_Observations\\_et\\_experimentations\\_scientifiques\\_et\\_tecnologique](https://www.researchgate.net/publication/278797421_Une_pedagogie_active_basee_sur_l_utilisation_de_la_Realite_Augmentee_Observations_et_experimentations_scientifiques_et_tecnologique)

|                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Stocker et délivrer des informations contextualisées                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Stocker, visualiser et communiquer de l'information contextualisée servirait à l'apprenant au cours de la phase de recherche d'information sur un problème donné. Cette même caractéristique de la RA assurerait un meilleur suivi de l'élève par le formateur (Cooperstock, 2001) ;</li> <li>- Fournir des informations contextualisées en temps réel réduirait les risques d'erreurs pendant les sessions de formation (Neumann et al., 1998) ;</li> <li>- Minimiser l'utilisation de supports en papier afin de laisser aux utilisateurs les mains libres lors des activités qui l'exigent durant la formation (Ward &amp; Novick, 2003).</li> </ul> |
| Améliorer l'utilisabilité comparativement à la RV et accroître la MOTIVATION | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Moins de problèmes sensoriels, notamment relatifs au « mal des simulateurs » (Slay, Phillips, Vernik, &amp; Thomas, 2001) et par conséquent, une meilleure perception de l'information générée par ordinateur.</li> <li>- Ce nouveau mode d'interaction accroît la motivation par rapport à son précurseur. (Zhong, Liu, Georganas, &amp; Boulanger, 2003).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

Tableau 4: Intérêt de la RA pour l'apprentissage. Source: Anastassova et al. (2007).

Dans un travail plus récent, Cieutat et al.<sup>98</sup> ont mis en épreuve l'utilité de la Réalité Augmentée dans un contexte de pédagogie active à travers trois problématiques : Un Serious Game<sup>99</sup> où l'élève est sensé reproduire un phénomène électromagnétique, un second dispositif expérimentale « pendule de Foucault » permettant de visualiser les trajectoires du pendule et de calculer la vitesse de lumière par triangulation et finalement une simulation des gestes techniques par une application de soudage virtuel. Ceci, en développant un system RA

<sup>98</sup> *Idem.*, p23.

<sup>99</sup> Un serious game est Selon J. Alvarez : « une application informatique, dont l'objectif est de combiner à la fois les aspects sérieux (Serious) tels que, de manière non exhaustive, l'enseignement, l'apprentissage, la communication, ou encore l'information, avec des ressorts ludiques issus du jeu vidéo (Game) ». Source : *idem.*, p21.

qui « *regroupe les méthode d'analyse de situations de Sebillotte avec la méthode de spécification et de conception de logiciels UML* ». Toutefois, les auteurs restent prudents en ce qui concerne la catégorisation de ce système qui, selon eux, puise de la RA comme de la VA. On parle alors d'une réalité mixte ou hybride.

Une fois encore, ces chercheurs ont conclu que l'usage de la Réalité Augmentée apporte une certaine commodité à la mise en place des expérimentations qui nécessitent généralement un matériel et des ressources lourdes. La RA offre ainsi un caractère semi-déterministe (en comparant au caractère déterministe ou simpliste des expérimentations).

### 3 Les limites de la RA

1. **La confidentialité** est en effet un grand problème qui préoccupe le public en générale. Les dispositifs matériels de la Réalité Augmentée permettent de filmer des événements ou des individus sans leur permission. Ces images peuvent être sauvegardées et/ou servir à la reconnaissance et le traçage des informations – confidentielles ou non- liées à ces individus<sup>100</sup>.
2. **La surinformation** : La généralisation de la réalité augmentée pose un problème de surcharge informationnelle qui dépasse la capacité d'assimilation des individus. Les augmentations peuvent non seulement distraire l'utilisateur qui peut manquer des objets/événements de son environnement immédiat, mais celui-ci deviendra de plus en plus dépendant du flux d'information –supposé améliorer le quotidien – qui découle en permanence (comme la cyberdépendance).
3. **La sécurité** : Ce problème est lié, entre autres, au précédent. L'utilisateur submergé par les informations peut subir des accidents à cause du manque d'attention.
4. **La distinction** : On témoigne de la création d'un nouveau paramètre de distinction socio-économique: l'homme augmenté versus l'homme normal.

---

<sup>100</sup> L. LEGRAIN, « Défis & Limites de la réalité augmentée » sur <https://www.place-communication.com/la-realite-augmentee-defis-et-limites/> (Consulté le 10/10/2020).

## **4 Quel outil pour créer la RA**

Il existe deux catégories de solutions pour la mise en place de la RA : Soit en ligne, via des plateformes préconçues par des parties privées (à usage commercial) ou à l'aide d'outils SDK permettant de créer sa propre application RA.

### **4.1 Services en ligne**

Ce type de service permet de mettre en place des applications en RA rapidement et d'une manière très simple et facile et ne demande aucune connaissance en programmation. Ces plateformes sont conçues au préalable par l'entreprise et proposent des fonctionnalités limitées, notamment « glisser et déposer » l'objet pour le visualiser ou « l'essayer » pour les produits de marketing.

### **4.2 A l'aide d'un kit de développement SDK**

Les kits de développement logiciel ou SDK (abréviation du terme anglais Software Développent Kit) désignent un assortiment d'outils de programmation destinés aux professionnels et qui permettent la création de programmes (logiciels application, jeux vidéo, etc.) pour un système d'exploitation ou une plateforme (Windows, iOS, Android, Linux, etc.) ou dans un langage de programmation spécifique. Le contenu des SDK varie selon le producteur et la finalité du produit, elles comportent généralement des composantes techniques de base (des ressources et des fonctions prédéfinies) sous forme de codes et de notes techniques complémentaires. Pour créer une application AR pour smartphone, par exemple, il faut utiliser un SDK pour mobile (Android ou IOS en fonction de l'appareil) et un SDK pour AR (ARKIT, Vuforia, ARcore, Wikitude SDK, etc.). Le premier kit contient des codes qui permettent d'utiliser les fonctions du smartphone (camera et GPS) et le second contient des codes de reconnaissance visuelle de l'environnement grâce à la camera du téléphone et permet d'y ajouter l'information virtuelle en temps réel.

Les SDK sont disponibles en téléchargement libre sur internet ou avec des licences payantes.

#### **Critères de choix de l'outil de création de la RA:**

- a) Popularité de l'outil ;
- b) Sa crédibilité scientifique ;
- c) Disposition d'une interface graphique facile à utiliser ;

- d) Disponibilité d'une licence gratuite.

### **4.3 Création de la réalité augmentée avec Unity3D et Vuforia**

Unity3D<sup>101</sup> est un moteur de jeu multiplateforme développé par Unity Technologies qui sert à la création des jeux en 2D et 3D et leur publication sur plusieurs types de plateformes (PC, iOS, Android, etc.)

Unity dispose d'un environnement 3D simple et accessible même aux non-professionnels et ses outils de programmation sont très performants permettant de créer tout type de contenu (jeux vidéo, applications mobile, RV/RA, site web, etc). Toutefois, ses capacités graphiques n'incluent pas la modélisation 3D, il s'associe donc à d'autres logiciels de modélisation et admet multiples format graphiques, particulièrement ceux proposés par les logiciels CAD.

Pourquoi choisir Unity3D pour la RA

- C'est le moteur le plus répandu pour la création de la AR/VR, voire 60% de ce contenu est alimenté par Unity3D.
- C'est un outil très populaire dans l'industrie des jeux, de ce fait, il existe une large communauté d'utilisateurs professionnels et une base de données et de tutoriels sur son utilisation.
- Il dispose d'une interface graphique « user friendly » c'est-à-dire lisible et facile à utiliser même pour les amateurs.
- Il propose une licence gratuite « Personal liscence» sans limitation au niveau du moteur.

Il faut savoir qu'à la base ce logiciel n'est pas destiné à la création de la réalité augmentée. Cette fonctionnalité est devenue possible par le partenariat avec l'entreprise leader de réalité augmentée « Vuforia » annoncé en 2006, et popularisée en 2017 par l'intégration complète d'une extension SDK de Vuforia dans Unity3D.

### **Le SDK de Vuforia**

---

<sup>101</sup> [www.unity.com](http://www.unity.com).

Unity fournit l'environnement de travail et les performances graphiques tandis que Le SDK de Vuforia<sup>102</sup> est l'outil responsable de la détection d'imagerie et de marqueurs et permet de rajouter des informations virtuelles par-dessus.

---

<sup>102</sup> [www.developer.vuforia.com](http://www.developer.vuforia.com).

## **Conclusion**

Les définitions que nous avons présentées dans ce chapitre nous ont permis d'appréhender la finalité de la réalité augmentée et son principe de fonctionnement. Selon nous, cette technologie offre l'opportunité de combler les besoins en information contextualisées dans n'importe quelle situation, sur place et instantanément via des appareils fixes ou mobiles que l'on consomme partout et à tout moment. Cette technologie se distingue de ses rivales par la combinaison des composantes réelles et virtuelles dans un environnement lui aussi réel. Ceci, rend l'expérience d'utilisation plus proche d'une activité naturelle.

Dans les projets de valorisation du patrimoine architectural, la RA est généralement sollicitée dans trois situations : Comme outil d'étude et de suivi lors des interventions sur le bâtiment (§2.1) ; comme media de mise en avant et de communication des valeurs du bâtiment (§2.2) et finalement comme un outil d'apprentissage et de réflexion sur le bâtiment ancien (§2.3). Dans la première situation la RA permet de projeter les idées directement sur le bâtiment existant et de vérifier la conformité des travaux lors des chantiers de réhabilitation pour limiter les erreurs de réalisation. Dans la seconde, la RA est utilisée pour réciter l'histoire du monument à l'aide de la restitution virtuelle et de renseigner sur les aspects manquants de celui-ci tout en offrant la possibilité de comparer l'état actuel du bâtiment avec sa vie précédente. Tandis que dans la dernière situation, la RA est un outil d'assimilation des données -historiques et morphologique dans notre cas- et de motivation par la présence et l'interaction des apprenants.

La technologie a pris du temps pour atteindre le niveau de maturité due à la difficulté de sa mise en place. Cependant, aujourd'hui, elle est offerte à tout le monde surtout grâce à la diffusion et la dominance des smartphones. Les solutions de RA se multiplient et ses applications avec.

### **CHAPITRE III : LA MAQUETTE AUGMETEE , OUTIL DE MEDIATION PEDAGOGIQUE.**

## **CHAPITRE III : la maquette augmentée, outil de médiation pédagogique.**

### **Introduction du chapitre III**

Dans cette seconde partie de notre travail, nous allons évaluer l'intérêt de la réalité augmentée dans la lecture et la conception des différentes solutions architecturales. Malheureusement, à cause de la crise sanitaire actuelle, nous avons dû limiter la partie pratique qui se basait initialement sur deux expérimentations : une première en classe et une deuxième sur site. Nous limiterons notre travail au niveau de l'Appli mobile utilisable en classe. Toutefois, nous expliquerons notre méthodologie initiale et l'objectif de chaque expérimentation par la suite.

Ce chapitre contiendra la présentation du cas d'étude, de l'outil d'expérimentation et la méthodologie de sa mise en place.

### **1 Description du Cas d'étude**

#### **1.1 Motivation du choix**

Pour déterminer quel édifice fera l'objet de cette étude, nous avons mise en place les critères suivants :

- Doit posséder une ou plusieurs valeurs significatives (historique, esthétique, de mémoire, etc.) et faisant l'objet de recherche au niveau de l'université puisque notre intention est de mettre à l'épreuve un outil d'apprentissage.
- Proximité et accessibilité de l'édifice pour la réalisation de l'expérience in-situ.
- Ayant subi une transformation partiel ou complète, à condition que cette dernière peut être facilement différencier de l'état originale. (A la base, ce critère était programmé pour l'expérimentation Insitu).
- Disponibilité de documents (écrits et iconographiques) et de témoignage certifiant ces transformations

La popularité de l'édifice a également été prise en charge, car nous voulions avant tout motiver l'étudiant à revoir le rapport au patrimoine avec une approche moderne et de tendance et donc faire revivre un édifice déjà apprécié avec un nouveau sens qui s'aligne avec toute l'actualité et les pratiques de notre période.

Notre choix s'est porté sur le Musée National d'Art Moderne et Contemporain d'Alger (communément abrégé le MAMA) (Figure 29), plus précisément à la galerie principale qui sert

actuellement d'espace central d'exposition pour le musée. Cet édifice témoigne de la première grande opération de réhabilitation d'un monument ancien en Algérie.<sup>103</sup>



Figure 29: Le musée public national d'art moderne et contemporain d'Alger (MAMA). Source: <https://universes.art/en/nafas/articles/2010/mama-algiers/img/04>

## 1.2 Les Galeries de France

Succursale de la société française des magasins modernes en Algérie (Magmod), les « Galeries de France » est le nom que l'on attribuait au premier établissement commerciale de son genre à Alger<sup>104</sup>, destiné au commerce de détail de premier choix et représente l'un des bâtiment qui ont donné l'importance à la rue commerçante d'Isly (actuel Ben M'hidi) (Figure 30). Selon

<sup>103</sup> [www.mama-dz.com](http://www.mama-dz.com).

<sup>104</sup> La seconde moitié du XIXe siècle a été marquée par la naissance des grands magasins dites « parisiens » qui favorisent la grande consommation grâce à des prix plus attractifs, à la diversité de l'offre et à la possibilité de choix dans un vaste catalogue. Source : wikipedia.org

Jean-Marc Gély<sup>105</sup> « *une contagion s'empara du commerce Algérois, dès que commença de sortir du sol cet immense et somptueux édifice. C'est à cette époque que le centre d'Alger se déplaça* ». Expliqua l'auteur par la suite que l'attractivité de la place Bugeaud (Ex : place d'isly et actuellement place de l'Imir Abd elKader) la remporta sur celle du gouvernement (actuel place des martyrs) par son prestige et son importance, rappelant qu'à partir de 1870 la rue d'isly devint un boulevard très animé, desservi par le tram, réputé par son commerce et ses boutiques somptueuses et qui évoque dans son luxe le Paris haussmannien (Figure 30). Gély finit par qualifier les Galeries de France comme « *le modèle accompli, en Afrique du Nord, de la grande maison de commerce moderne*<sup>106</sup> ».



Figure 30: A gauche, la Rue d'isly vers 1920. A droite, la même rue en 1950 Source : <http://algeroisementvotre.free.fr/site1000/alger01/alger029.html>

---

<sup>105</sup> Jean-Marc Gély secrétaire général adjoint au bureau du centre de documentation historique sur l'Algérie en France et auteur de plusieurs articles dans la revue *Mémoire vive* du CDHA.

<sup>106</sup> JM. Gély « Les grandes réalisations : les galeries de France d'Alger ». Extrait du *Mémoire Vive* n°46. Sur : <http://cdha.fr/les-grandes-realizations-les-galeries-de-france-dalger>, (Consulté le 10/10/2020).



Figure 32: Les Galeries de France, 1920.

Source: <http://algeroisementvotre.free.fr/site1000/alger01/alger029.html>



Figure 30: Carte postale qui illustre la grandeur et l'importance des galeries de France en même période. Source : Collection JM Laboulbène, <http://www.cdha.fr/les-grandes-realizations-les-galeries-de-france-dalger>

Ce bâtiment, conçu par l'architecte français Henri Petit<sup>107</sup>, s'assoit sur une assiette de 3000m<sup>2</sup> et s'étend sur cinq niveaux : un sous-sol, un RDC et trois étages. Sur sa terrasse, s'élève un minaret de 18 m (35 m de la rue Ben m'hidi)<sup>108</sup> desservi par un escalier hélicoïdal et depuis le quel, on pouvait voir toute la ville d'Alger. On accédait au magasin par 2 portails : du côté Est à l'intersection de la rue d'Isly et la rue Joinville (actuelle Bouhamidi) et du côté Ouest à l'intersection avec la rue Mogador (actuelle Harriched).

Il existe peu de références sur la vie précédente de ce bâtiment, mais la description que JM Gély nous rapport de sa visite en 1930 nous plonge dans l'image et la dynamique de l'ex-magasin.

« *Les sous-sols surprenants* » contenaient, comme le veut la tradition, les espaces de service: Une station électrique, un dépôt de marchandises et de colis et une salle de machines « éblouissante » dit-il ! Le sous-sol se connecte au bâtiment par les montes- charges qui desservent tous les étages. Au RDC on trouvait des comptoirs d'à peu près tout : « *des pêle-mêle, chapeaux, parfums, bijouterie, mercerie, papeterie, porcelaines, articles d'éclairage*

<sup>107</sup> Henri Louis Paul Petit, architecte français, diplômé de l'école nationale des Beaux arts de Paris. Il s'est installé en Algérie en 1880 où il devint architecte du Gouvernement général. Auteur d'un grand nombre de œuvres significatifs dans le style néo mauresque tel que l'Institut Pasteur et les galeries de France.

<sup>108</sup> DE L. « Les embellissements d'Alger. Les Galeries de France » Le Sémaphore algérien (1899) publié en juin 2018 sur [http://www.entreprises-coloniales.fr/afrique-du-nord/Galeries\\_de\\_France-Alger.pdf](http://www.entreprises-coloniales.fr/afrique-du-nord/Galeries_de_France-Alger.pdf). (Consulté le 10/10/2020).

*et de chauffage, bicyclettes, etc..* ». Au second, le mobilier domestique s'organisait dans des stands et des rayons sophistiqués qu'il qualifie de « *"boxes" luxueux dont chacun est une pièce, meublée selon les dernières indications du confort et du goût.* ». Ce niveau abritait également le bureau du directeur. Tandis que les bureaux d'achat et de comptabilité se logeaient au troisième étage avec les ateliers de couture, de mode, de coupe, de tapisserie, de menuiserie, des réserves, etc.<sup>109</sup>



Figure 33: Le hall central des Galeries de France.. <http://cdha.fr/les-grandes-realizations-les-galeries-de-france-dalger>

### 1.3 Les Galeries d'Alger

Au lendemain de l'indépendance les galeries de France étaient transformées en Galeries Algériennes, en gardant la même fonction jusqu'à 1988 devient le souk el fellah à l'algérienne puis ferma ses portes suite à une faillite de l'entreprise de gestion<sup>110</sup>.

L'édifice a été mis en enchères puis récupéré par le ministère de la culture algérienne et fut classé monument historique en 2008.

---

<sup>109</sup> JM. Gély.Op.cit.

<sup>110</sup> [www.mama-dz.com](http://www.mama-dz.com).



Figure 35: Terrasse des galeries de France. Source : <http://cdha.fr/les-grandes-realizations-les-galeries-de-france-dalger>



Figure 35: Galerie Algérienne, 1984

#### 1.4 Musée National d'Art Moderne et Contemporain d'Alger

Le vieillissement progressif du bâtiment et les modifications apportés quelques années après l'Indépendance étaient à la cause des infiltrations destructives et des dégradations alarmantes au niveau des planchers en bois. Les premières interventions ont consisté en une remise aux normes techniques et de sécurité du bâtiment, l'assèchement et la mise hors air/eau et le remplacement total des planchers<sup>111</sup>. À l'intérieur, sous la couverture blanche, on peut clairement distinguer les éléments de décors du bâtiment toujours présents (Figure 30), mais la configuration de l'espace a été humblement modifiée : par la création de cloison légers au plâtre, qui sépare l'espace de circulation publique maintenant limité à l'atrium principale et l'ouverture d'une mezzanine sur le sous-sol qui devient également un espace d'exposition (Figure 30). L'escalier monumentale a été déplacé vers le nouvel accès principale (coté Est) donnant sur la fameuse rue commerçante Ben M'hidi. De la même manière que les revêtements et la peinture ont été spécialement personnalisé, le rajout d'un garde-corps vitré au niveau du RDC marque la coexistence du traditionnel et du moderne. De l'extérieur le bâtiment garde son aspect original et porte le record la première action de ravalement complet de façade en Algérie<sup>112</sup>.

<sup>111</sup> : Halim Faïdi. « Le Musée National d'Art Moderne et Contemporain : Description technique pour lots architecturaux. » Publié dans la revue *Vies de villes* n°09 Mai2008 p14-17.

<sup>112</sup> *Idem*.

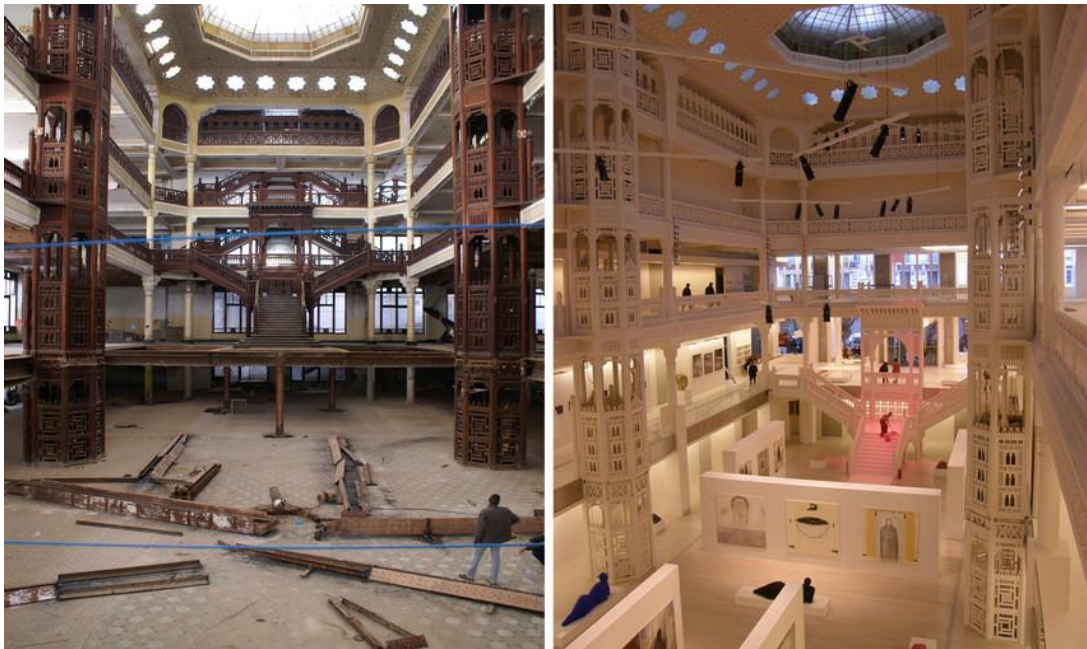


Figure 36: a gauche : galeries d'Alger avant transformation. A droite photo la transformation en musée MAMA.

Source : [http://www.mercure-eng.fr/nos\\_references/MAMA.html](http://www.mercure-eng.fr/nos_references/MAMA.html)

La description techniques des lot architecturaux est exclusivement détaillée dans un article qui porte le même nom publié en 2008 dans la revue algérienne « Vies des villes »<sup>113</sup> : Ci-dessous sont listées, judicieusement, toutes les actions selon l'ordre de réalisation par l'auteur de cette réhabilitation: L'architecte Halim Faidi.

Approche et ordre d'interventions :

Diagnostics généraux.

Mise en sécurité du bâtiment (séisme et incendie).

Mise hors d'eau.

Mise hors d'air.

Déposes.

Remise aux normes.

Traitement d'air (spécifique aux normes des musées).

Ravalement des façades.

Création de nouveaux complexes de planchers (aux normes).

Mise en place de parquets spécifique.

Déplacement d'ouvrages sensibles (escalier, garde-corps).

Irrigation technique de l'ensemble du bâtiment (climatisation, plomberie, réseaux incendie, courants forts, courants faible, etc.)

Capotage intérieur (plafonds, cloisons, verrière structurelle, etc.)

<sup>113</sup> Halim Faidi, Op. Cit., p14

|                                                          |
|----------------------------------------------------------|
| Mise en lumières (spécificité muséales)<br>Scénographie. |
|----------------------------------------------------------|

*Tableau 5: Liste des actions entreprises (par ordre) lors de la réhabilitation. Source : Halim Faidi. Description technique pour lots architecturaux. Publié dans la revue Vies de villes n°09 Mai2008 p14.*

## 2 Méthodologie de travail

En atelier d'architecture, l'étudiant est autant confronté aux ouvrages et documents imprimés (plans, relevés, iconographies) qu'à la visite du monument. Si nous voulons investiguer l'utilité de la réalité augmentée lors de son apprentissage, nous devons mettre l'étudiant dans deux situations conformes à son exercice habituel, c'est-à-dire l'analyse architecturale et la conception des solutions à la fois en classe et sur site. Pour cela, nous avons envisagé deux exercices complémentaires :

**Un exercice de lecture et de conception en classe :** En ayant recours à la restitution virtuelle et la réalité augmentée pour supprimer les supports en papier et évaluer la compréhension et l'assimilation des données qualitatives et quantitatives.

**Un exercice de lecture et de simulation In situ (annulé) :** L'étudiant est sensé visualiser les transformations du bâtiment InSitu et projeter ses idées et solutions en temps réel.

Cet exercice a été malheureusement annulé à cause du protocole de confinement qui a suivi la propagation du virus (déplacement limité et fermeture des établissements publics y compris le musée et l'université). Nous nous contenterons d'appliquer le premier exercice, ceci en mettant l'outil à disposition des étudiants et des professionnels (enseignants et architectes) via internet. L'enquête prendra également effet en ligne ce qui nous empêchera de noter les observations en atelier notamment par rapport au travail collaboratif et l'échange entre les étudiants et les profs. L'objectif principal néanmoins restera le même :

- Dresser une voie d'apprentissage par la réalité augmentée en présentant un outil expérimental.
- Déterminer l'apport de la Réalité Augmentée au activités d'atelier.
- Récolter les avis et les propositions concernant l'appréciation et l'amélioration de l'application pour un développement futur.

L'enquête s'est déroulée du 10-14 octobre 2020, à travers un questionnaire créé par l'outil « Google Forms » dédié à la création et la gestion des enquêtes en ligne. Le lien de celle-ci a été communiqué aux enseignants et délégués de promos par email et a été publié sur les pages officielles des écoles et des universités d'architecture en Algérie disponibles sur les réseaux sociaux Facebook, LinkedIn et Instagram.

## 2.1 Mise en place d'une Application de Réalité Augmentée

Comme nous l'avons cité auparavant, la première étape de réalisation de ce travail consiste en la définition d'une architecture du système de RA pour lequel nous avons opté. Le choix du logiciel détermine en grande partie la méthode à suivre. La plateforme Unity 3D et l'extension Vuforia permettent un suivi visuel sur la base de marqueurs bidimensionnels et tridimensionnels.

Puisque nous sommes constamment confrontés aux documents graphiques imprimés (plans, façades coupes, dessin graphique, etc.) nous avons adapté un modèle de **suivi visuel** basé sur les marqueurs **graphiques**.

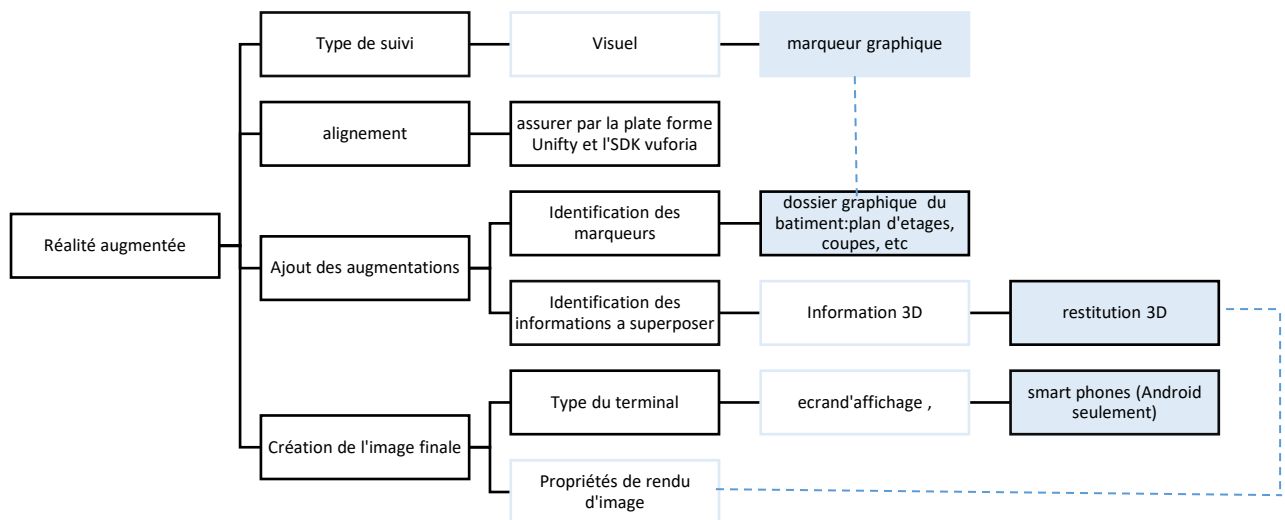


Figure 37: Schéma de configurations de l'Application MAMA.APK

### 2.1.1. **Modélisation 3D**

La restitution 3D commence par l'acquisition des données spatiales, ce travail nécessite à la fois une recherche monographique et des documents graphiques (iconographies, plans relevés). Dans notre cas, la lecture historique citée précédemment et les plans récupérés (voir annexe10, p. X) nous ont permis de comprendre le langage architectural du bâtiment et sa composition spatiale.

Nous nous sommes limités à la partie publique du bâtiment (Figure 38) qui sert d'espace centrale d'exposition. Notre intention n'est pas de répliquer à l'identique le bâtiment mais d'explorer le processus d'augmentation du monument qui servira par la suite à la lecture et l'interprétation par les étudiants.

Le bâtiment s'exprime en langage néo-mauresque richement décoré de l'intérieur par opposition à son extérieur. Son enveloppe comporte les symboles typiques du mouvement: Minaret phare, coupoles en toiture, des larges baies en arc brisé outrepassé, etc. Ces éléments sont mis en avant dans la 3D avec la boiserie de la balustrade intérieure qui est un élément majeur de l'identité visuelle du bâtiment.

(Figure 38)

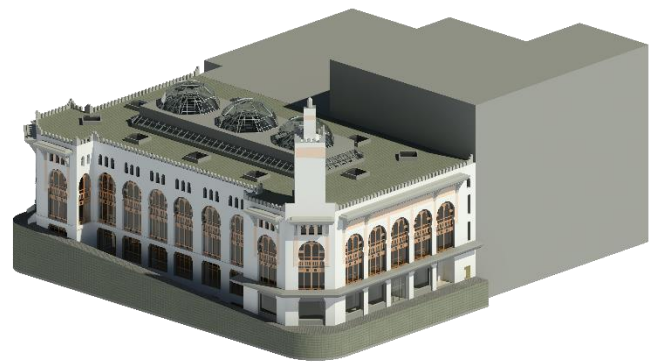


Figure 38: Modèle 3D réalisé dans Autodesk Revit 2018

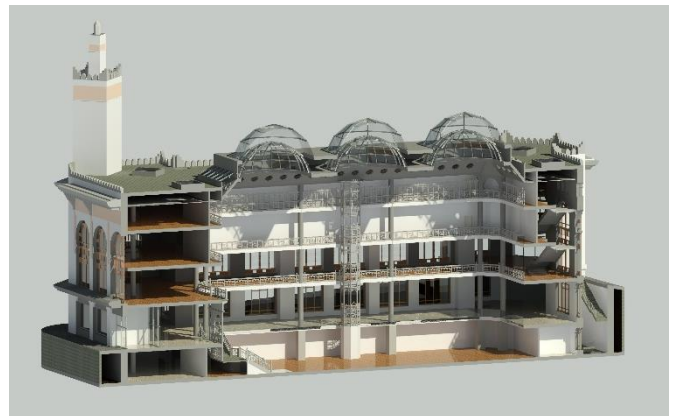


Figure 39: Coupe axonométrique réalisée dans Autodesk Revit2018

### 2.1.1 Création de l'application dans Unity

Le modèle est par la suite intégré dans Unity 3D (voir annexe page pour le Step by Step). Pour permettre une lecture de l'intérieur comme de l'extérieurs, nous avons rajouté à l'interface de l'application des boutons de commande (Suivant et Précédent) pour afficher/désaffecter les niveaux par ordre d'organisation. Unity permet de rajouter plusieurs degrés d'interactivité au modèle (déplacement des composantes, animation du modèle, rajouts de textes et d'indications, etc.), les commandes Suivant/précédent en ai un exemple. Seulement, la réalisation de telles actions exige des connaissances en programmation, notamment en langage C#.

Unity permet d'exporter le contenu dans divers formats selon le terminal d'utilisation, nous avons exporté notre modèle au format compatible avec Android pour smartphone/tablette disponible chez la majorité des étudiants.

Voici en images un aperçu de la plateforme de visualisations sur Smartphone :



Figure 40: Ecran Principale de visualisation de l'application MAMA.apk

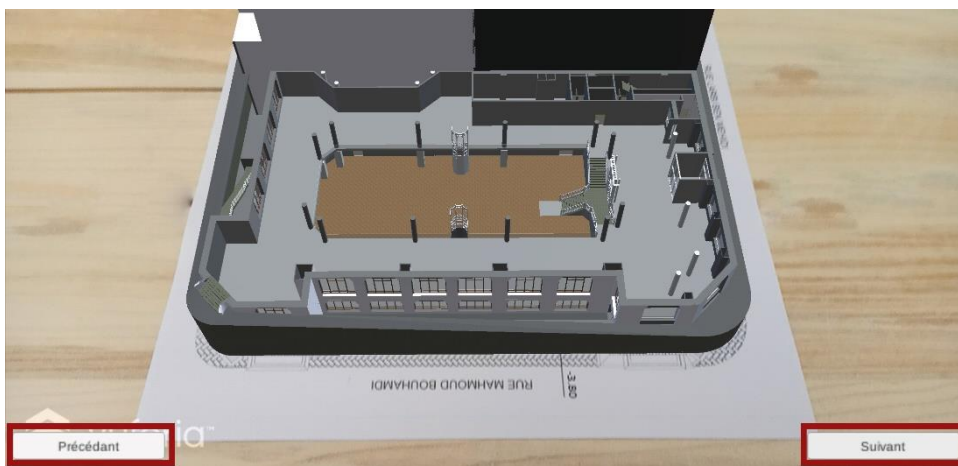


Figure 41: Interaction avec le modèle par les boutons de commande Suivant/précédent

## 2.2 Contenu du questionnaire

Notre questionnaire se compose de quatre rubriques :

- I. Informations générales : Afin de déterminer le profil des participants dans l'enquête.
- II. Outils informatiques : Cette rubrique sert à apprécier l'importance des outils informatiques dans l'activité des étudiants.
- III. Virtualisation du patrimoine : Cette rubrique sert à explorer l'avis des étudiants sur la numérisation du patrimoine bâti et sa nécessité pour leur formation.
- IV. Réalité augmentée : Sert à évaluer la connaissance des étudiants en RA et les performances de l'outil expérimentale créé.

## 2.3 DESCRIPTION DE L'ÉCHANTILLON

Notre questionnaire est distribué aux étudiants d'architecture de tous les niveaux et quel que soit leurs spécialités ou établissement de formation, aux enseignant et aux architectes diplômés récemment.

Nous avons récolté 90 réponses au totale, voici les chiffres des réponses par profil et année d'engagement :

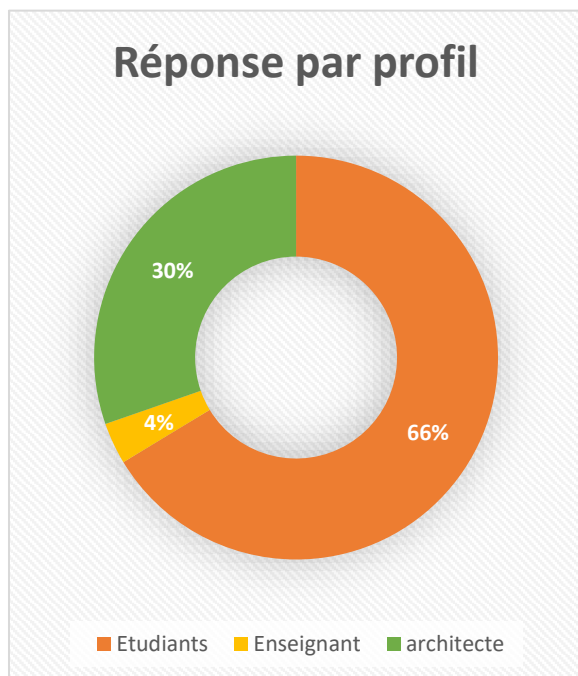


Figure 43: Taux des réponses par profil.

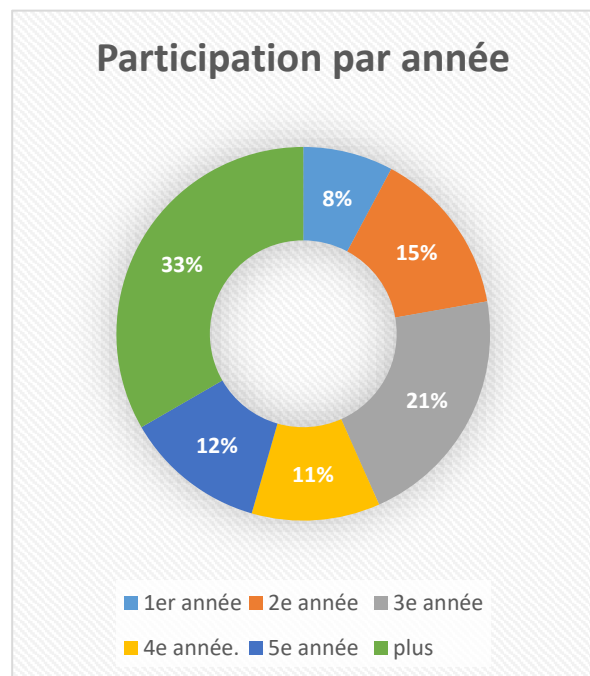


Figure 43: Taux de participation par niveau d'étude.

### 3 Analyse des résultats

Le tableau suivant présente les résultats aux questions de choix multiple seulement (Les cellules colorées admettent plus d'une seule réponse):

| Question                                                       | Réponses courantes                       | Nombre de réponses | Pourcentage des réponses |
|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------|--------------------------|
| I. Informations générales                                      |                                          |                    |                          |
| 1. Spécifiez votre profil                                      | Etudiant :                               | 59                 | 65.6                     |
|                                                                | Enseignant :                             | 3                  | 3.3                      |
|                                                                | Architecte :                             | 28                 | 30                       |
| 2. Vous êtes en                                                | 1                                        | 7                  | 7.8                      |
|                                                                | 2                                        | 13                 | 14.4                     |
|                                                                | 3                                        | 19                 | 21.1                     |
|                                                                | 4                                        | 10                 | 11.1                     |
|                                                                | 5                                        | 11                 | 12.2                     |
|                                                                | Plus                                     | 30                 | 33.3                     |
| II. Outils informatiques                                       |                                          |                    |                          |
| 4. Etes-vous sensible aux nouvelles technologies en générale ? | Non                                      | 9                  | 10                       |
|                                                                | Oui                                      | 81                 | 90                       |
| 5. Utilisez-vous les outils informatiques ?                    | Dans ma formation universitaire          | 75                 | 83.3                     |
|                                                                | Dans l'enseignement à l'université       | 10                 | 11.1                     |
|                                                                | Dans d'autres activités professionnelles | 45                 | 50                       |
|                                                                | Non, je n'utilise pas..                  | 3                  | 3.3                      |
| 6. Si oui, à quelle fréquence ?                                | Rarement                                 | 8                  | 8.9                      |
|                                                                | Souvent                                  | 22                 | 28.9                     |
|                                                                | Très souvent                             | 56                 | 6.2                      |

|                                                                                                                                                             |                                |    |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----|------|
| 7.Sélectionner les outils informatiques que vous utilisez le plus :                                                                                         | Logiciels CAO/DAO              | 73 | 81.1 |
|                                                                                                                                                             | Logiciels de visualisation ..  | 72 | 80   |
|                                                                                                                                                             | Logiciels de simulation/calcul | 13 | 14.4 |
|                                                                                                                                                             | Technologies immersives ...    | 4  | 4.4  |
|                                                                                                                                                             | Bases de donnée                | 12 | 13.3 |
|                                                                                                                                                             | Logiciels SIG                  | 9  | 10   |
| III. Virtualisation du patrimoine:                                                                                                                          |                                |    |      |
| 8.Etes-vous sensible au patrimoine bâti ?                                                                                                                   | Non                            | 18 | 20   |
|                                                                                                                                                             | Oui                            | 72 | 80   |
| 9.Avez-vous eu l'occasion de travailler sur un projet de valorisation du patrimoine en atelier de projet ?                                                  | Non                            | 40 | 44.4 |
|                                                                                                                                                             | oui                            | 50 | 55.6 |
| 10.Si oui, avez-vous utiliser la maquette 3D dans votre exercice.                                                                                           | Non                            | 31 | 50.8 |
|                                                                                                                                                             | Oui                            | 30 | 49.2 |
| 11. Est-ce que votre établissement dispose d'une bibliothèque numérique ou d'une base de donnée des œuvres patrimoniale en 3D ?                             | Propos A                       | 4  | 4.4  |
|                                                                                                                                                             | Propos B                       | 13 | 14.4 |
|                                                                                                                                                             | Propos C                       | 37 | 41.1 |
|                                                                                                                                                             | Propos D                       | 31 | 34.4 |
|                                                                                                                                                             | Autres                         | 5  | 5.7  |
| 13.Pensez-vous que l'université doit se charger de mettre en place une base de donnée des œuvres architecturales numérisées à la disposition des étudiants? | Non                            | 9  | 10   |
|                                                                                                                                                             | Oui                            | 81 | 90   |
| IV. Réalité augmentée :                                                                                                                                     |                                |    |      |

|                                                                                              |                                                          |    |       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----|-------|
| 14. Que pensez-vous de l'apprentissage à distance par rapport au domaine de l'architecture ? | Contraignant                                             | 41 | 54.6  |
|                                                                                              | Peu contraignant                                         | 41 | 54.6  |
|                                                                                              | Facile                                                   | 8  | 8.9   |
| 15. Avez-vous regardé la démo/ utilisé l'Appli ?                                             | Oui, j'ai regardé la démo et j'ai essayé l'application ? | 9  | 10    |
|                                                                                              | J'ai seulement regardé la démo                           | 73 | 81.1  |
|                                                                                              | Je n'ai ni regardé la démo ni utilisé l'application      | 8  | 8.9   |
| 16. Si vous n'avez pas utilisé l'application, spécifiez pourquoi ?                           | Je n'arrive pas à télécharger l'application              | 25 | 39.1  |
|                                                                                              | Je ne peux pas imprimer le marqueur.                     | 20 | 31.3  |
|                                                                                              | Autre                                                    | 19 | 21.11 |
| 17. Pouvez-vous déterminer de quel technologie s'agit-il dans la vidéo de démonstration ?    | Vidéo 360                                                | 4  | 4.4   |
|                                                                                              | Réalité virtuelle                                        | 18 | 20    |
|                                                                                              | Réalité augmentée                                        | 59 | 65.6  |
|                                                                                              | Montage vidéo réalisé par des logiciel d'infographie 3D  | 22 | 24.4  |
|                                                                                              | Autre                                                    | 2  | 2.2   |
| 18. Êtes-vous familier(e) avec la technologie de la réalité augmentée ?                      | Non                                                      | 62 |       |
|                                                                                              | Oui                                                      | 22 |       |
| 19. Connaissez-vous l'édifice présenté dans l'application ?                                  | Non                                                      | 56 | 62.2  |
|                                                                                              | Oui                                                      | 34 | 37.8  |
| 27. Que pensez-vous de l'utilisation de la RA en atelier ?                                   | Cette technologie n'est pas intéressante.                | 1  | 1.1   |

|                                                                 |                                                                                                                                                  |    |      |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|------|
|                                                                 | L'application nécessite plus d'élaboration mais la technologie est intéressante.                                                                 | 26 | 28.9 |
|                                                                 | Le potentiel de cette technologie en classe est très prometteur mais elle ne contribue pas à l'amélioration des performances lors de l'exercice. | 15 | 16.7 |
|                                                                 | Cette technologie doit être intégrée au plus vite dans les méthodes pédagogiques.                                                                | 85 | 64.4 |
|                                                                 | Autre                                                                                                                                            | 3  | 3.3  |
| 28. Pensez-vous que la RA facilite l'apprentissage à distance ? | Non                                                                                                                                              | 7  | 7.8  |
|                                                                 | Oui                                                                                                                                              | 73 | 92.2 |

Tableau 6: récapitulatif des résultats aux questions de choix multiple

Dans la première rubrique nous avons demandé aux participants de mentionner leur établissement d'étude/ professionnel. Nous avons catégorisé leurs réponses dans le graphe suivant :

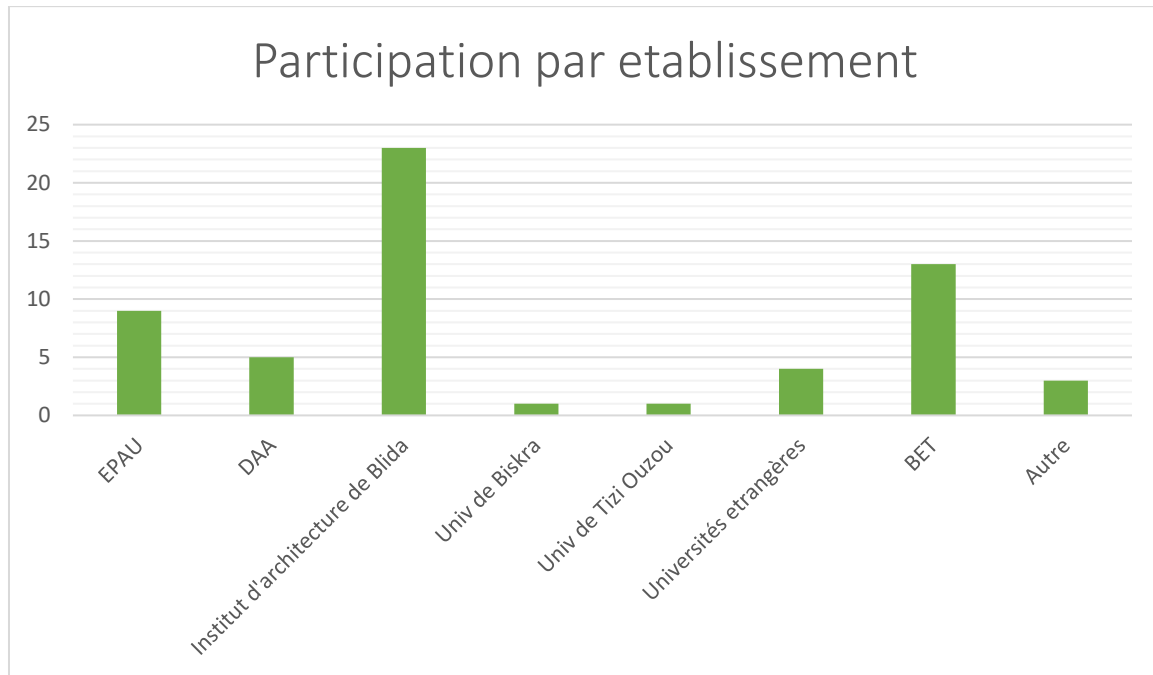


Figure 44: Nombre de participation par établissement

**La seconde rubrique** se compose de quatre questions qui visent à placer l'outil informatique dans le quotidien des participants. La majorité des participant (90%) admettent s'intéresser aux innovations technologiques. 94% utilisent les outils informatiques dans leurs activités universitaires ainsi que professionnelles, tandis que 3.3 % seulement admettent ne pas l'utiliser du tout. Plus de la moitié déclarent l'utiliser d'une manière très fréquente. Les logiciels C.A.O et de rendu d'imagerie sont les plus populaires chez cette tranche par opposition aux technologies immersives qui sont presque exclues (4%).

**La troisième rubrique** se compose de six questions concernant l'intérêt vis-à-vis du patrimoine et sa virtualisation. En réponse à la question sensibilité à ce dernier, seulement 20% admettent ne pas être attentionnés au patrimoine. Plus de la moitié ont travaillé sur un projet de nature patrimoniale dont 50% ont utilisé la maquette 3D dans la réalisation. Parmi les réponses sur l'utilité de la Maquette 3D pour un projet traitant du patrimoine bâti, la majorité pense que

c'est très utile même nécessaire. Voici quelques réponses susceptibles d'enrichir le contenu de notre travail :

*« Faciliter le travail en matière de qualité, temps et le niveau de détails à atteindre et mieux visualiser les degrés d'intervention souhaités sur le patrimoine bâti, en parallèle. »*

*« Une maquette 3D pourrait expliquer mieux les détails architectoniques des monuments patrimoniaux étudiés, étant donné que ces détails sont souvent nombreux et très minuscules donc ce genre de maquettes nous fera gagner du temps, de l'énergie en diminuant les déplacements sur place et surtout rapprocher ceux qui sont difficiles à visiter (s'ils ne se trouvent dans d'autres pays) »*

*« La maquette 3d procède rapidement à l'archivage du patrimoine bâti donc à la conservation et la mise en valeur de ce dernier »*

En réponse aux moyens physiques des établissements universitaires en matière de bases de données numériques, 80 % attestent que leurs établissements ne possèdent pas de bases de données en 3D et la plupart d'entre eux approuvent que l'université doit mettre en place une initiative de numérisation des monuments pour usage pédagogique.

**La dernière rubrique** concerne principalement l'évaluation de la technologie de la Réalité Augmentée. Puisque l'enquête s'est déroulée en ligne, nous avons questionné l'utilité de la RA dans l'apprentissage en ligne également. Les avis diffèrent sur la commodité de l'apprentissage à distance.

En réponse à la question « Avez-vous regardé la démo/ utilisé l'Appli ? » 09 personnes seulement ont essayé l'application tandis 73 restants se sont contentés de regarder la démonstration par vidéo. 25 personnes n'ont pas pu télécharger l'Appli, 20 autres ne pouvaient pas imprimer le marqueur à la maison. Plus de la moitié ont distingué qu'il s'agissait de la technologie de la réalité augmentée et admettent la connaître auparavant. Mais seulement 10 personnes ont parvenu à la définir proprement. 18 personnes l'ont confondu avec la Réalité virtuelle.

On a demandé à savoir si les participants connaissaient l'édifice au préalable, pour déterminer si cette expérimentation a apporté plus de la visibilité à ce monument ; la réponse était que 37.8% ne connaissait pas l'édifice avant cette enquête.

Pour ce qui de **la méthode d'évaluation de l'application**, nous avons opté pour une échelle de performance (allant de 1 jusqu'à 5) selon les critères suivants : 1. La compréhension générale du projet ; 2. Le temps d'assimilation des données qualitatifs et quantitatifs ; 3. La conception des solutions architecturale ; 4. Facilité de l'utilisation de l'interface ; 5. Efficacité du cours ; 6. Motivation personnelle.

Voici les graphes représentatifs de chacune :

La compréhension générale du projet  
90 responses

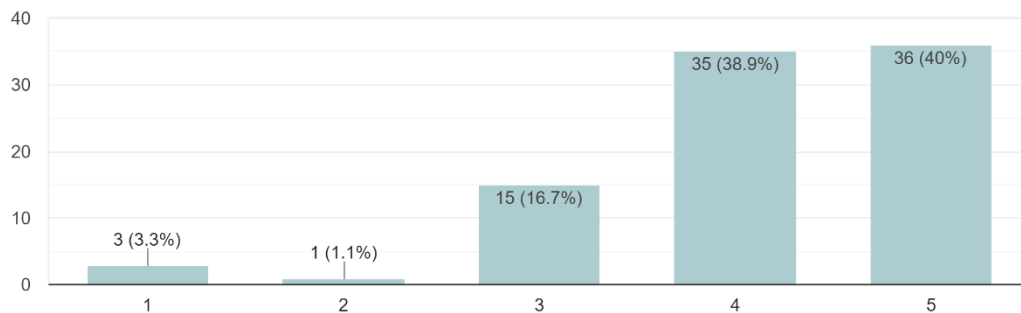


Figure 45: Evaluation de la compréhension générale du projet.

Le temps d'assimilation des données qualitatifs et quantitatifs:  
90 responses

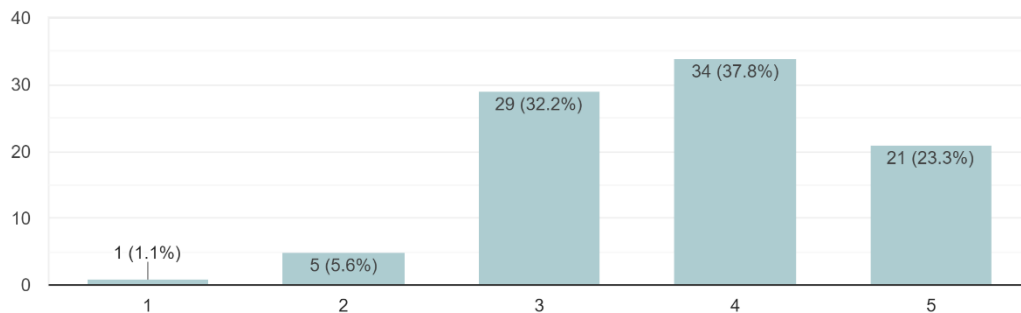


Figure 46: Evaluation du temps d'assimilation des données.

### La conception des solutions architecturale:

90 responses

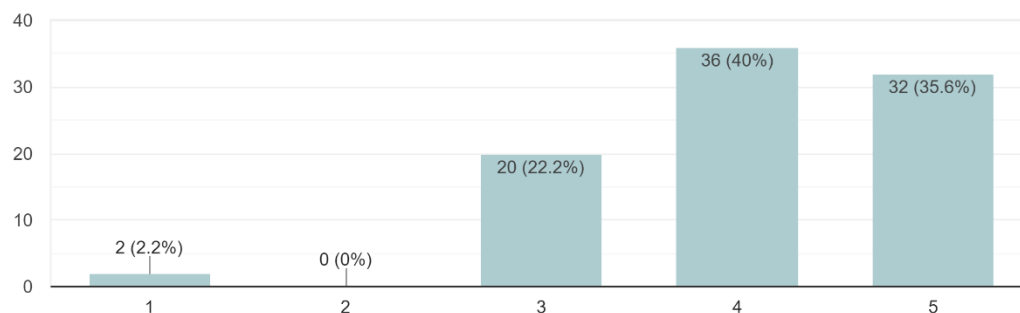


Figure 47: Evaluation de la conception des solutions architecturales.

### Facilité de l'utilisation de l'interface:

90 responses

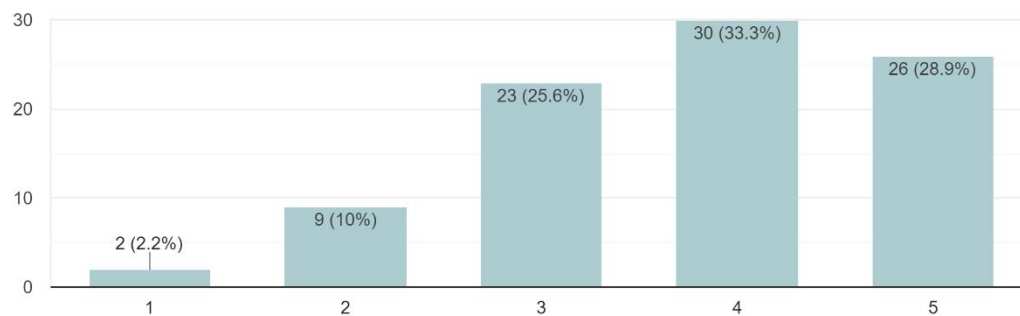


Figure 48: Evaluation de la facilité de l'utilisation de l'interface.

### Efficacité du cours:

90 responses

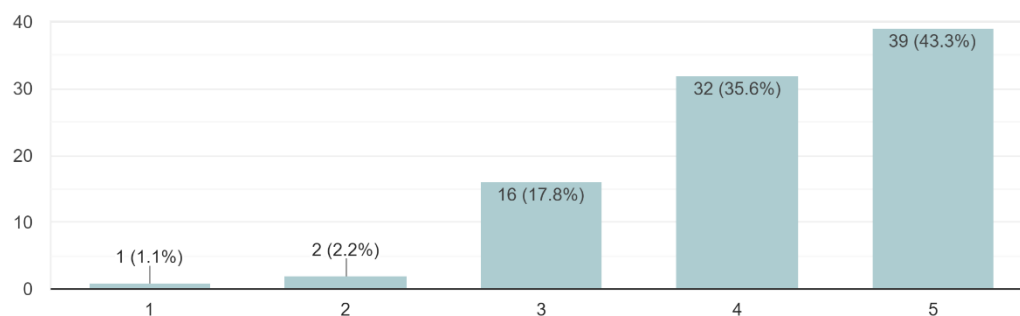


Figure 49: Evaluation de l'efficacité du cours.

Motivation personnelle:  
90 réponses

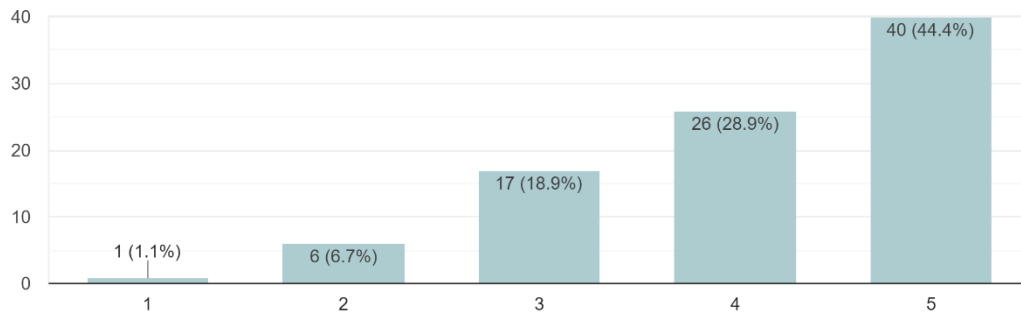


Figure 50: Evaluation de la motivation personnelle.

64% trouvent la technologie très intéressante et doit être intégrée en atelier, tandis que 30% encouragent le développement futur de l'application. Finalement, selon une large majorité de réponses, la réalité augmentée facilite considérablement l'apprentissage à distance en vue des circonstances actuelles.

### Conclusion

A travers cette enquête, nous voulions introduire la réalité augmentée au sein de la communauté universitaire et encourager son utilisation dans le contexte du bâtiment ancien. Ceci, par la proposition d'un model expérimental : La maquette augmentée du Musée National Public d'Art Moderne et Contemporain d'Alger MAMA.

D'après les données récoltées, les étudiants sont les plus réactifs à ce type de thématiques, notamment à partir de la troisième année (classe L3) où l'étudiant commence réellement à employer les outils informatiques dans son activité architecturale et développe plus intérêt envers les nouveautés liées à ces outils.

L'analyse des résultats nous a permis de confirmer les hypothèses établies autour du rapport étudiants-patrimoine (bâti) et la numérisation de ce dernier et d'en tirer de nouvelles pistes de développement, notamment sur le rôle de l'université dans ce processus de virtualisation.

Malheureusement, un nombre réduit d'étudiants a testé l'application. Ceci, est selon les commentaires, lié à deux facteurs : l'application n'est pas téléchargeable depuis PlayStore et la non possibilité d'imprimer le support. Cependant, les réponses basées sur la démonstration

vidéo nous ont quand même permis de sortir avec une évaluation primaire de l'intérêt que suscite la technologie au sein des étudiants et professionnels.

Le retour sur l'application était généralement favorable, plus de la moitié des participants comprennent la technologie et encouragent fortement son utilisation en atelier avec la maquette 3D.

## Conclusion générale

La Réalité Augmentée est une technologie en plein effervescence, elle trouve place dans tous les domaines, le patrimoine bâti en particulier renaît par des stratégies de sauvegarde et de promotion numériques basées sur la Réalité augmentée. À travers ce travail, nous avons questionné le rôle de cette technologie dans l'activité académique notamment dans le transfert des connaissances et la conception des solutions architecturales.

La Réalité Augmentée est définie comme la possibilité d'améliorer la réception de l'information réelle par le rajout de données virtuelles contextualisées, ceci à travers un dispositif de visualisation adapté. L'information augmentée peut être de nature variée : des données quantitatives, des instructions écrites ou sonores, des iconographies, des vidéos ou des modèles 3D. Dans notre domaine d'intérêt, le modèle 3D est justement un élément clé dans la réalisation de n'importe quel projet, la raison pour laquelle nous nous sommes intéressé à la maquette augmentée: Un outil qui réunit technologie infographique (restitution virtuelle) et technologie immersive (réalité augmentée).

Nous avons proposé un modèle expérimental de visite virtuelle en Réalité augmentée à la base d'une enquête tenue à distance (Par email et sur les réseaux sociaux). Ce modèle n'est autre que la restitution 3D du Musée Public National d'Art Moderne et Contemporain (MAMA) visualisé en Réalité Augmentée à travers une application spécifique.

La restitution 3D est pour un bâtiment une synthèse graphique qui informe sur les caractéristiques esthétiques et spatiales de celui-ci. C'est un outil de visualisation, de réflexion, de simulation et d'aide à la décision lors de la réalisation d'un projet. C'est aussi un moyen de communication visuelle et de promotion pour le bâtiment. Son importance pour le patrimoine va au-delà de cette description, c'est un moyen de pérennisation d'une œuvre, d'une architecture et d'une période à disparaître.

Associé à la Réalité Augmentée, la 3D architecturale prend une nouvelle dimension, notamment par l'intuitivité et mobilité qu'offre la technologie. Dans les projets de visite virtuelle par exemple –nouvelle tendance du tourisme patrimoniale–, la RA est utilisée pour visualiser les transformations du bâtiment et de compléter les parties manquantes à travers

la restitution 3D. Les utilisateurs peuvent se promener dans les lieux de patrimoine et voir simultanément et d'une façon presque naturelle ces images synthétiques (3D) à travers des appareils que tout le monde possède.

Le même principe s'applique aux chantiers de réhabilitation, particulièrement dans la démarche bâtiment 2.0. La maquette BIM et la Réalité Augmentée coexistent parfaitement pour améliorer le flux de travail, assurer la collaboration et diminuer les erreurs de réalisation en chantier. La RA permet de projeter sur place les différentes composantes ou transformations avant leur réalisation et détecter ainsi les problèmes et les erreurs de travail à temps.

La mise en place de la Réalité Augmentée est, de nos jours, de plus en plus facile grâce aux services que propose les entreprises investies dans le domaine. Cependant, celles-ci sont limitées dans leurs services et ne sont pas adaptées aux projets de grande envergure tels que IMAYANA et Jumièges 3D. Un tel projet de visite dans un monument, requière le travail rigoureux de tout une équipe de professionnelles, et se fait grossièrement en deux phases complémentaires : La duplication numérique du monument et la création d'une plateforme en RA.

La restitution numérique d'un monument passe par trois étapes majeures : L'acquisition des données spatiales, la reconstruction tridimensionnelle des surfaces et la restitution de l'apparence virtuelle. La première étape exige tant le travail de recherche que celui de relevés sur terrain. L'expertise collective d'historiens, d'architectes de monument et d'archéologues dans certains cas permet d'acquérir les données qualitatives du monument tandis que les techniciens de numérisation -par laser ou photogrammétrie- et de relevé architectural complètent les données quantitatives. L'information collectée sert, entre autres, à rétablir l'image complète du monument lors d'une période précise. Cette image est traduite en un modèle tridimensionnelle par l'effort des infographistes 3D ou architectes infographistes puis enrichie (par les couleurs et les textures) afin de créer un rendu d'ambiance, le plus proche du réaliste.

Dans la présence des conditions précédentes, une mise en Réalité Augmentée devient la tâche des techniciens infographistes et des ingénieurs en informatique. La difficulté de la Réalité Augmentée réside principalement dans l'alignement des données réelles et virtuelles

en temps réel. Cette tâche est notamment assurée par les algorithmes contenues dans les moteurs RA. La tâche des informaticiens reste cependant nécessaire, consiste à définir une architecture du système RA, de mettre en place une interface compatible à l'utilisation du produit et d'assurer le comportement de l'objet 3D dans les différentes conditions (conditions extérieures de temps et d'éclairage, présence de masques, etc.), alors que celle de l'infographiste est d'assurer le graphisme du produit 3D dans les mêmes conditions.

En classe, la Réalité Augmentée est plus aisément créée, puisque la maquette est soumise à une échelle réduite. En utilisant les services payants tels qu'Augment, AR Studio, Vuforia, AR Viewer..., on peut facilement afficher les modèles des projets en RA. Ces applications permettent un minimum d'interaction avec le modèle par des commandes prédéfinies comme : La mise à l'échelle de la maquette et quelques mouvements comme le déplacement et la rotation. Ceci-dit, dans un projet de patrimoine, la maquette 3d reste une tâche contraignante aux étudiants par la difficulté à collecter la documentation et acquérir les compétences nécessaires à modéliser le bâtiment avec détails particuliers.

La Réalité Augmentée a prouvé son efficacité dans plusieurs domaines d'apprentissage tel que la médecine, l'industrie, l'histoire, etc. Particulièrement par l'apprentissage actif, la mise en situation de l'étudiants et leur implication avec l'objet d'étude. La question sur son utilité en atelier d'architecture fait de plus en plus d'écho.

Face à un projet patrimonial, la faculté de voir en ensemble le projet, pouvoir interagir avec ce modèle intuitivement et n'importe où (sans avoir à déplacer des supports papier ou un ordinateur portable), pouvoir interagir en groupe sur la même maquette numérique et finalement la possibilité de projeter ses idées sur l'édifice existant, qualifient cette technologie sa légitimité en atelier, en tant qu'outil de transfert des connaissances et de conception des solutions patrimoniales, reste encore au stade de débat.

Dès lors, notre expérimentation consistait en partie à mettre l'étudiant face à une maquette augmentée d'un bâtiment historique pour observer son comportement et son appréciation de ce processus d'apprentissage. Cette démarche comporte un double objectif : d'abord, initier le public universitaire et professionnel (algérien) à la Réalité Augmentée pour encourager son utilisation dans le transfert des connaissances autour du patrimoine, ensuite,

celui de motiver les étudiants à revoir leur patrimoine avec un œil technologique innovant, pour se réapproprier indirectement le patrimoine.

À travers l'analyse des données, nous avons constaté que la Réalité Augmentée est familière chez les étudiants adeptes des technologies, mais sa mise en place est considérée compliquée. La maquette 3D est par contre un produit très consommé par ce public et –selon la majorité– primordiale à l'exercice pédagogique, surtout celui traitant du patrimoine. La plupart de ces réponses encouragent l'implication de l'université dans la démarche de virtualisation des œuvres, afin de fournir une base de donnée, libre à l'accès des enseignants et de leurs étudiants.

Le retour sur les caractéristiques de maquette augmentée du musée MAMA était favorable, mais avec le nombre réduit de téléchargement et dans l'absence d'observations directes en atelier, nous estimons que l'exercice est loin d'être complet. Le présent travail encouragera plus d'enseignants et d'étudiants de s'engager dans l'utilisation de la technologie en atelier ou d'alimenter par la recherche les connaissances autour de cette même thématique.

L'appréciation primaire dégagée à partir de l'enquête servira à présent de base pour améliorer la maquette AR et surmonter les contraintes rencontrées comme l'accessibilité de l'application. L'hébergement dans des plateformes de téléchargement fiables, telle que Playstore et l'Appstore motiverait certainement plus de public à utiliser l'outil. L'adaptation d'un suivi sans marqueur pourrait également palier aux problèmes d'impression hors instituts.

### **Perspective de recherches :**

Lors de cette recherche nous nous sommes focalisés sur les méthodes de numérisation du bâtiment et la mise en place de la réalité augmentée dans un contexte de médiation pédagogique avec pour cas d'étude le musée d'art moderne et contemporain MAMA. À l'issue de notre expérimentation nous avons dégagé un processus d'augmentation des données par le logiciel Unity et Vuforia, suivi d'une enquête sur l'usage de la maquette augmentée dans l'étude du patrimoine architectural.

Initialement, une partie importante de notre recherche consistait à évaluer l'apport de la RA InSitu. Cependant, à cause des événements malheureux, ce volet de recherche a été suspendu. La reprise de cet élément contribuera largement à l'accomplissement de la thématique traitée par ce document et l'enrichissement des exemples algériens de la Réalité Augmentée.

D'autre part, la mise en place de la RA seul ne suffit pas, il faut inclure d'autres éléments d'interactivité dans la maquette tels que la possibilité de décomposer le modèle par type d'éléments ou l'associer à des paramètres du BIM. Nous avons repris plusieurs fois la notion du BIM et l'union BIM/RA dans cette recherche, rappelons, si un modèle 3D est couplé aux données techniques et à un réseau d'utilisateurs, il évolue vers un support extrêmement fidèle et efficace pour l'intervention sur bâtiment existant. Cette piste constitue également une perspective fructueuse à la thématique de « la RA et le patrimoine architectural ».

## Bibliographie

### Ouvrages

Bruno ARNALDI, Pascal GUITTON, Guillaume MOREAU, 2018, *Réalité virtuelle et réalité augmentée: Mythes et réalités*. Édition ISTE Group.

Cardinale ANTHONY, 2017, *Développer des applis en réalité augmentée avec Unity3D*. édition D-Booker.

Jean-Marie LAFORTUNE, 2012, *La médiation culturelle : Le sens des mots et l'essence des pratiques*. Édition Presses de l'Université du Québec.

Jean-Michel RÉVEILLAC, 2013, *La réalité augmentée : Techniques et entités virtuelles*. Édition Hermès science publications / Lavoisier.

Philippe FUCHS, Guillaume MOREAU, et Jean-Paul PAPIN, 2003, *Le traité de la réalité virtuelle. Vol 1 : fondement et interface comportementale*. 2e Edition Les Presses de l'Ecole des Mines de Paris.

### Thèses et mémoires

Abdessattar GUEMOUGUI, 2013, *Réalité Augmentée pour les Jeux Vidéo et les Serious Games*. Mémoire de magister en informatique, Université Mohammed Kheider de Biskra, 26/05/2013. [En ligne] URL : [http://thesis.univ-biskra.dz/547/1/realite\\_augmente\\_pour\\_les\\_jeux\\_video\\_et\\_les\\_serious\\_games.pdf](http://thesis.univ-biskra.dz/547/1/realite_augmente_pour_les_jeux_video_et_les_serious_games.pdf) (Consulté le 27/08/2020)

Amelie JAQUET, 2011, *Valorisation du patrimoine sur Internet : des visites virtuelles pour l'Inventaire ?* Mémoire de stage de Master en sciences de l'information et des bibliothèques. Université Claude Bernard, Lyon 1. Juin 2011. URL : <https://www.enssib.fr/bibliotheque-numerique/documents/56868-valorisation-du-patrimoine-sur-internet-des-visites-virtuelles-pour-l-inventaire.pdf>

Fatima-Zahra AZOUGH, 2014, *Modèle et expériences pour la visite des musées en réalité augmentée sonore*. Thèse de doctorat, École Doctorale Informatique, Télécommunications et Électronique de Paris. URL: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01087127/document> (Consulté le 10/10/2020)

Julien DUGAS, 2016, *La réalité augmentée dans un contexte d'apprentissage : Note de recherche*. URL : [https://www.researchgate.net/publication/322664674\\_La\\_realite\\_augmentee\\_dans\\_un\\_contexte\\_d'apprentissage\\_note\\_de\\_recherche](https://www.researchgate.net/publication/322664674_La_realite_augmentee_dans_un_contexte_d'apprentissage_note_de_recherche) (Consulté le 10/10/2020).

Livio. DE LUCA, 2006, *Relevé et multi-représentations du patrimoine architectural. Définition d'une approche hybride de reconstruction 3d*. Thèse de doctorat. École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers Centre d'Aix-en-Provence. 31 Mars 2006. P13 [en ligne] URL :

[https://www.researchgate.net/publication/32228351\\_Releve\\_et\\_multi-representations\\_du\\_patrimoine\\_architectural\\_Definition\\_d'une\\_approche\\_hybride\\_pour\\_la\\_reconstruction\\_3D\\_d'edifices](https://www.researchgate.net/publication/32228351_Releve_et_multi-representations_du_patrimoine_architectural_Definition_d'une_approche_hybride_pour_la_reconstruction_3D_d'edifices) (Consulté le 27/08/2020)

Olivier HUGUES, 2011. *Augmented Reality for navigation. SIGMA: Augmented Geographic Information System for shipping*. Thèse de doctorat, université de Bordeaux. URL: [https://www.researchgate.net/publication/281014471\\_Augmented\\_Reality\\_for\\_navigation\\_SIGMA\\_Augmented\\_Geographic\\_Information\\_System\\_for\\_shipping](https://www.researchgate.net/publication/281014471_Augmented_Reality_for_navigation_SIGMA_Augmented_Geographic_Information_System_for_shipping) (Consulté le 10/10/2020)

Vincent HAVARD, 2018, *Développement de méthodes et outils basés sur la réalité augmentée et virtuelle pour l'assistance ou l'apprentissage d'opérations dans un contexte industriel*. Ingénierie assistée par ordinateur. Thèse de doctorat, Université de Rouen. URL : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01713362v2/document> (Consulté le 10/10/2020).

## Articles et publications

Françoise Massit-Folléa, 2003, « Technologies de l'information et de la communication (TIC) », *La société de l'information : glossaire critique*. Commission française pour l'Unesco. La documentation française. [En ligne] URL : [https://www.diplomatie.gouv.fr/IMG/pdf/Glossaire\\_Critique.pdf](https://www.diplomatie.gouv.fr/IMG/pdf/Glossaire_Critique.pdf) (consulté le 10/10/2020).

Halim FAIDI, , « Le Musée National d'Art Moderne et Contemporain : Description technique pour lots architecturaux. » *Vies de villes* n°09 Mai2008 p.14-17.

Jessica DE BIDERAN, 2014, « Visite numérique et parcours augmenté, ou les interactions complexes des touristes avec le patrimoine », *revue Échappées*, Vol2, p.38-48, [En ligne] URL : [https://issuu.com/jessicadebideran/docs/article\\_de\\_bideran\\_n2\\_echappees](https://issuu.com/jessicadebideran/docs/article_de_bideran_n2_echappees) (Consulté le 15/07/2020).

Jessica DE BIDERAN, 2014, « Du document patrimonial au monument virtuel : Les nouvelles mémoires du patrimoine ». *Les Cahiers de la SFSIC* n10, Société française des sciences de l'information et de la communication, p.66-72, [En ligne] URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01399485/document> (Consulté le 14/06/2020).

Jessica DE BIDERAN, 2016 « Des restaurations de papier aux restitutions virtuelles, construction d'une reconnaissance scientifique et d'une mémoire patrimoniale », *De la médiation des savoirs : Science de l'information-documentation et mémoires*. Acte de Colloque international MUSSI, p.109, [En ligne] URL : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01855674/document> (Consulté le 27/08/2020).

Jean-Marc CIEUTAT, Olivier HUGUES, Nehla GHOUAIEL, et Sebastien BOTTECCHIA, 2011, *Une pédagogie active basée sur l'utilisation de la Réalité Augmentée : Observations et*

*expérimentations scientifiques et technologiques, Apprentissages technologiques*. Journées de l'Association Française de Réalité Virtuelle, Augmentée et Mixte et d'Interaction 3D, Bidart, France. [En ligne] URL:

[https://www.researchgate.net/publication/278797421\\_Une\\_pedagogie\\_active\\_basee\\_sur\\_l\\_utilisation\\_de\\_la\\_Realite\\_Augmentee\\_Observations\\_et\\_experimentations\\_scientifiques\\_et\\_tecnologiques\\_Apprentissages\\_tecnologique](https://www.researchgate.net/publication/278797421_Une_pedagogie_active_basee_sur_l_utilisation_de_la_Realite_Augmentee_Observations_et_experimentations_scientifiques_et_tecnologiques_Apprentissages_tecnologique)

Jean-Marc GELY, « Les grandes réalisations : les galeries de France d'Alger ». Extrait du *Mémoire Vive n°46*, [en Ligne] : <http://cdha.fr/les-grandes-realizations-les-galerias-de-france-dalger> (Consulté le 10/10/2020).

Jean-Michel Salaün, 2007, « La redocumentarisation, un défi pour les sciences de l'information », *Études de communication* 30 | 2007, publication 01 octobre 2009, p.13-23, [En ligne] URL : <http://journals.openedition.org/edc/428> (Consulté le 10/10/2020).

Mathieu.ROCHELEAU, 2010, « La modélisation 3D comme méthode de recherche en sciences historiques ». Actes du 10<sup>e</sup> colloque international étudiant du département d'histoire de l'Université Laval. [En ligne] <https://www.erudit.org/fr/livres/actes-des-colloques-dartefact/actes-10e-colloque-international-etudiant-departement-dhistoire-luniversite--978-2-9812053-9-1/004288co.pdf> (Consulté le 14/06/2020).

Michel ROBERT, 2012, « La Réalité Augmentée, Une Fenêtre Virtuelle Ouverte Sur Le Passé », *LA REVUE AS. (Archéologie Suisse)* : Nouvelles technologies, p.42-44 URL : [https://www.academia.edu/6246951/La\\_réalité\\_augmentée\\_une\\_fenêtre\\_virtuelle\\_ouverte\\_sur\\_le\\_passé](https://www.academia.edu/6246951/La_réalité_augmentée_une_fenêtre_virtuelle_ouverte_sur_le_passé) (Consulté le 15/07/2020).

Pierre GRUSSENMEYER, 2003, « Photogrammétrie architecturale et modélisation 3D du patrimoine », *revue XYZ* N°95, p.30-36. [En ligne] URL : [https://www.researchgate.net/publication/282057387\\_Photogrammetrie\\_architecturale\\_et\\_modelisation\\_3D\\_du\\_patrimoine](https://www.researchgate.net/publication/282057387_Photogrammetrie_architecturale_et_modelisation_3D_du_patrimoine) (Consulté le 27/08/2020).

Robert DARNTON, 2010, « La numérisation, Google et l'avenir des bibliothèques », *Revue de la BNF*, 2010/2 (n° 35), p.62, [En ligne] URL : <https://www.cairn.info/revue-de-la-bibliotheque-nationale-de-france-2010-2-page-61.htm> (Consulté le 27/08/2020).

ZAKIAH NOH, MOHD SHAHRIZAL SUNAR ET ZHIGENG PAN, 2009, « A Review on Augmented Reality for Virtual Heritage System». Document de conférence, [En ligne] URL : [https://www.researchgate.net/publication/221247704\\_A\\_Review\\_on\\_Augmented\\_Reality\\_for\\_Virtual\\_Heritage\\_System](https://www.researchgate.net/publication/221247704_A_Review_on_Augmented_Reality_for_Virtual_Heritage_System) (Consulté le 14/06/2020).

## Webographie

B. DUMOLIN « Valoriser le patrimoine culturel - l'apport du numérique », étude publié dans le cadre du programme IRIS 2007, publié en 2007. P11 [En ligne] URL : [http://ressources-caue.fr/GED\\_K/103826892100/Etude\\_IRIS.pdf](http://ressources-caue.fr/GED_K/103826892100/Etude_IRIS.pdf) Consulté le 14/07/2020.

DE L. « Les embellissements d'Alger. Les Galeries de France » Le Sémaphore algérien (1899) publié en juin 2018 sur [http://www.entreprises-coloniales.fr/afrique-du-nord/Galeries\\_de\\_France-Alger.pdf](http://www.entreprises-coloniales.fr/afrique-du-nord/Galeries_de_France-Alger.pdf) (Consulté le 10/10/2020).

EDUARDO SOUZA. « 9 Augmented Reality Technologies for Architecture and Construction », mise à jour 2019, [en ligne] URL : <https://www.archdaily.com/914501/9-augmented-reality-technologies-for-architecture-and-construction> (Consulté le 10/10/2020).

L. LEGRAIN, « Défis & Limites de la réalité augmentée » [en ligne] URL : <https://www.place-communication.com/la-realite-augmentee-defis-et-limites/> Consulté le 10/10/2020).

L. MAURON, « Offrez-vous le château de Versailles en réalité virtuelle. Article publié le 30 septembre 2019 » septembre 2019 [en ligne] URL : <https://www.leparisien.fr/yvelines-78/offrez-vous-le-chateau-de-versailles-en-realite-virtuelle-30-09-2019-8163381.php> (Consulté le 27/06/2020).

OBS, « Google Art Project monte en puissance: 151 musées, 32.000 œuvres en quelques clics » mise à jour avril 2012 [en ligne] URL : <https://www.nouvelobs.com/topnews/20120403.AFP2261/google-art-project-monte-en-puissance-151-musees-32-000-oeuvres-en-quelques-clics.html>

UREVBU, ANDREW O., 1997, « Culture et technologie: étude sur le thème de la Décennie pour 1997 », mise à jour en 1997, [enligne] URL: [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000105615\\_fre](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000105615_fre) (Consulté le 14/06/2020).

X. GRANIER, L. BERGEROT, M. CHAYANI, B. DUTAILLY, P. MORA, et al., 2019, « Vocabulaire 3D - Lexique pour les Sciences Humaines et Sociales ». Les recommandations du Consortium 3D SHS, p.11. [En ligne] URL : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02297326/document>. (Consulté le 10/10/2020).

## Sites internet

<http://www.artgp.fr/>

<http://iconem.com/fr/>

<https://www.wdl.org/fr/>

<https://unesdoc.unesco.org/FR>

<http://gallica.bnf.fr/>

<https://www.romereborn.org/>  
<https://www.google.com/intl/fr/streetview/>  
<http://mojo.vision/>  
<https://morpholioapps.com>  
<http://Gamma-ar.com>  
<http://unity.com>  
<http://developer.vuforia.com>  
<http://mama-dz.com>  
<http://www.inside360.fr/visites-virtuelles-lieux/>  
<https://whc.unesco.org/fr/list/>  
<http://www2.culture.gouv.fr/culture/inventai/patrimoine/>  
<https://artsandculture.google.com/project/cyark>  
[http://www.artgp.fr/IMG/pdf/agp\\_new\\_v4\\_cp\\_fr.pdf](http://www.artgp.fr/IMG/pdf/agp_new_v4_cp_fr.pdf)  
[http://www.artgp.fr/IMG/pdf/agp\\_lance\\_lepatrimoinechezvous.pdf](http://www.artgp.fr/IMG/pdf/agp_lance_lepatrimoinechezvous.pdf)  
[http://www.artgp.fr/IMG/pdf/communiqu  \\_presse\\_palais\\_darius.pdf](http://www.artgp.fr/IMG/pdf/communiqu  _presse_palais_darius.pdf)  
<https://www.lenouvelliste.ch/dossiers/coronavirus/articles/coronavirus-visite-virtuelle-et-gratuite-de-plusieurs-musees-dans-le-monde-922632>  
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Convergence\\_num%C3%A9rique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Convergence_num%C3%A9rique)  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Rome\\_Reborn](https://en.wikipedia.org/wiki/Rome_Reborn)  
<https://www.wikitude.com/augmented-reality-object-scene-recognition/>  
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Num%C3%A9risation#Num%C3%A9risation\\_et\\_archivage](https://fr.wikipedia.org/wiki/Num%C3%A9risation#Num%C3%A9risation_et_archivage)  
<http://www.larealiteaugmentee.info/histoire-realite-augmentee/>  
<http://parcoursvirtuels.free.fr/index.php/quel-interet-pour-les-acteurs-du-patrimoine->

### **Lois et textes juridiques**

**Loi n° 98 – 04** correspondant au 15 juin 1998 relative à la protection du patrimoine culturel [en ligne] <http://mama-dz.com/media/files/juridique/patrimoine.pdf>, (consulté le 10/10/2020).

**Décret exécutif n° 06 – 263** correspondant au 08 août 2006 portant création du musée national d'art moderne et contemporain [en ligne] url : <http://mama-dz.com/media/files/juridique/creation.pdf>, (consulté le 10/10/2020).

# ANNEXES

## Annexes

### Annexe 01 : Questionnaire publié en ligne



## La maquette augmentée - Master de recherche

Veuillez télécharger le support qui accompagne ce questionnaire : <https://we.tl/t-FRI9tHdftb>

\* Required

Spécifiez votre profil \*

- ☐ Etudiant
- ☐ Enseignant
- ☐ Architecte
- ☐ Other: \_\_\_\_\_

Vous êtes en \*

- ☐ 1e année
- ☐ 2e année
- ☐ 3e année
- ☐ 4e année
- ☐ 5e année
- ☐ Plus

Veuillez spécifier votre établissement d'étude/professionnel \*

Your answer \_\_\_\_\_

Next

### II. Outils informatiques

Cette section s'intéresse à l'importance des outils informatiques dans la formation architecturale.

Etes-vous sensible aux nouvelles technologies en générale ? \*

- ☐ Oui
- ☐ Non

Utilisez-vous les outils informatiques ? \*

- ☐ Oui, dans ma formation universitaire
- ☐ Oui, dans l'enseignement à l'université
- ☐ Oui, dans d'autres activités professionnelles
- ☐ Non, je n'utilise pas les outils informatiques

Si oui, à quelle fréquence ? \*

- ☐ Rarement
- ☐ Souvent
- ☐ Très souvent

Sélectionner les outils informatiques que vous utilisez le plus : \*

- ☐ Logiciels CAO/DAO
- ☐ Logiciels de visualisation et d'infographie 2D/3D
- ☐ Logiciels de simulation et de calcul du bâtiment
- ☐ Technologies immersives (360, VR, AR, MR, etc.)
- ☐ Bases de données
- ☐ Logiciels SIG

Back

Next

## II. Patrimoine et virtualisation

Toujours dans le cadre de la formation architecturale, la section suivante a pour objectif de déterminer l'utilité de la maquette numérique dans la réalisation d'un projet traitant une oeuvre patrimoniale.

Etes-vous sensible au patrimoine bâti ? \*

- ☐ Oui
- ☐ Non

Avez-vous eu l'occasion de travailler sur un projet de valorisation du patrimoine en atelier de projet ? \*

- ☐ Oui
- ☐ Non

Si oui, avez-vous utiliser la maquette 3D dans votre exercice.

- ☐ Oui
- ☐ Non

Que pensez-vous de l'utilité de la Maquette 3D pour un projet traitant du patrimoine bâti? \*

Your answer

Est-ce que votre établissement dispose d'une bibliothèque numérique ou d'une base de donnée des œuvres patrimoniales en 3D ? \*

- ☐ Oui, notre établissement dispose d'une base de données des œuvres en 3D et des ouvrages et documentation numérique de toute sorte.
- ☐ Oui, notre établissement dispose d'une bibliothèque numérique mais pas d'une base de données 3D
- ☐ Non, notre établissement dispose d'un catalogue numérique des ouvrages imprimés disponibles à l'université seulement
- ☐ Non, notre établissement ne dispose d'aucune plateforme numérique de consultation des données
- ☐ Other: \_\_\_\_\_

Pensez-vous que l'université doit se charger de mettre en place une base de donnée des œuvres architecturales numérisées à la disposition des étudiants? \*

- ☐ Non
- ☐ Oui

Back

Next

## III. Apprentissage augmentée

L'objectif de cette phase est de ressortir avec une évaluation de l'utilité et des performances de la technologie présentée par l'application Android (MAMA.Apk) lors d'un projet pédagogique.  
URL de téléchargement: <https://we.tl/FRI9Hdftb>

Que pensez-vous de l'apprentissage à distance par rapport au domaine de l'architecture ? \*

- ☐ Contraignant
- ☐ Peu contraignant
- ☐ Facile.

### Situation Fictive :

Vous êtes en confinement, l'université est fermée mais les cours doivent impérativement reprendre, cette fois en ligne. Votre enseignant(e) de projet architectural vous transmet un support de l'exercice pédagogique en PDF accompagné d'un lien de téléchargement d'une application mobile et une démo qui explique son mode d'utilisation (fichier et lien de téléchargement en pièce jointe, le téléchargement des documents est nécessaire au déroulement de la phase suivante). L'exercice consiste en la conception d'une installation à l'intérieur du Musée MAMA.

Démonstration de l'application MAMA.RA



Avez-vous regardé la démo/ utilisé l'Appli ? \*

- ☐ Oui j'ai regardé la démo et j'ai essayé l'application.
- ☐ J'ai seulement regardé la démo
- ☐ Je n'ai ni regardé la démo ni utilisé l'application

Si vous n'avez pas utilisé l'application, spécifiez pourquoi ?

- ☐ Je n'arrive pas à télécharger l'application.
- ☐ Je ne peux pas imprimer le marqueur.
- ☐ Other: \_\_\_\_\_

Pouvez-vous déterminer de quel technologie s'agit-il dans la vidéo de démonstration ? \*

- ☐ Vidéo 360
- ☐ Réalité virtuelle
- ☐ Réalité augmentée
- ☐ Montage vidéo réalisé par des logiciel d'infographie 3D
- ☐ Other: \_\_\_\_\_

Etes-vous familier(e) avec la technologie de la réalité augmentée ? \*

- ☐ oui
- ☐ Non

Si oui pouvez-vous la décrire brièvement ?

Your answer \_\_\_\_\_

Connaissiez-vous l'édifice présenté dans l'application ? \*

- ☐ Oui
- ☐ Non

## ANNEXES

### méthode d'évaluation:

Donnez une évaluation aux performances de la maquette RA (réalité augmentée) dans l'exercice en cours en référence aux méthodes de lecture et de conceptions habituels.

#### La compréhension générale du projet \*

|              | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |             |
|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|
| moins facile | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | plus facile |

#### Le temps d'assimilation des données qualitatifs et quantitatifs: \*

|      | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |        |
|------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------|
| Lent | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Rapide |

#### La conception des solutions architecturale: \*

|            | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |             |
|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|
| peu adapté | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | plus adapté |

#### Facilité de l'utilisation de l'interface: \*

|             | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |           |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|
| Complicquée | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Intuitive |

#### Efficacité du cours: \*

|              | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |               |
|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------|
| peu efficace | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Très efficace |

#### Motivation personnelle: \*

|            | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |             |
|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|
| Peu motivé | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Plus motivé |

#### Que pensez-vous de l'utilisation de la RA en atelier? \*

- ☐ Cette technologie n'est pas intéressante.
- ☐ L'application nécessite plus d'élaboration mais la technologie est intéressante.
- ☐ Le potentiel de cette technologie en classe est très prometteur mais elle ne contribue pas à l'amélioration des performances lors de l'exercice.
- ☐ Cette technologie doit être intégrée au plus vite dans les méthodes pédagogiques.
- ☐ Other: \_\_\_\_\_

#### Pensez-vous que la RA facilite l'apprentissage à distance ? \*

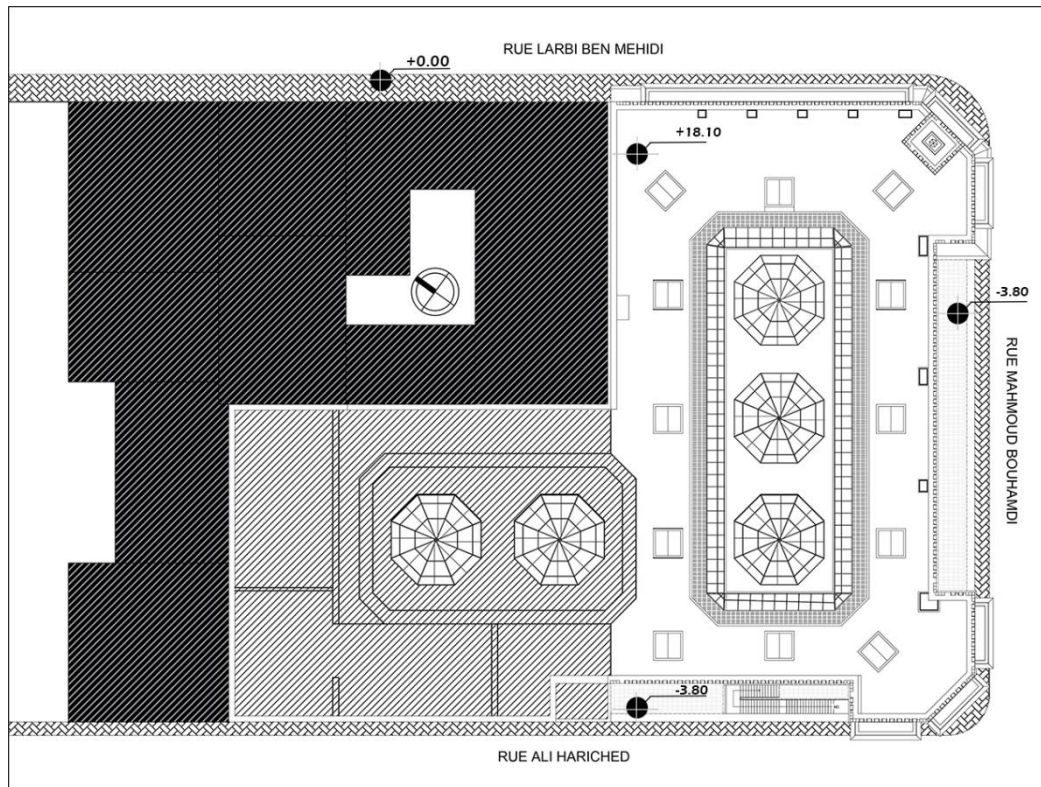
- ☐ Non
- ☐ Oui

Back

Submit

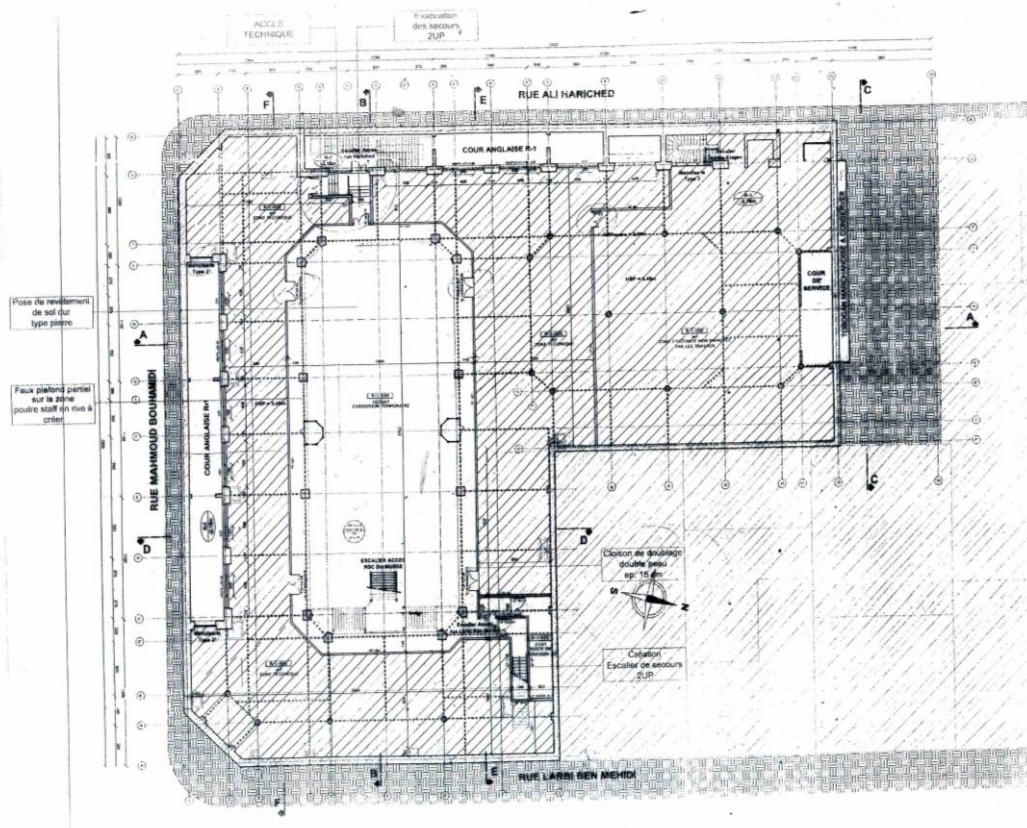
## ANNEXES

### Annexe 02 : Marqueur 2D - Plan de masse du Musée MAMA.



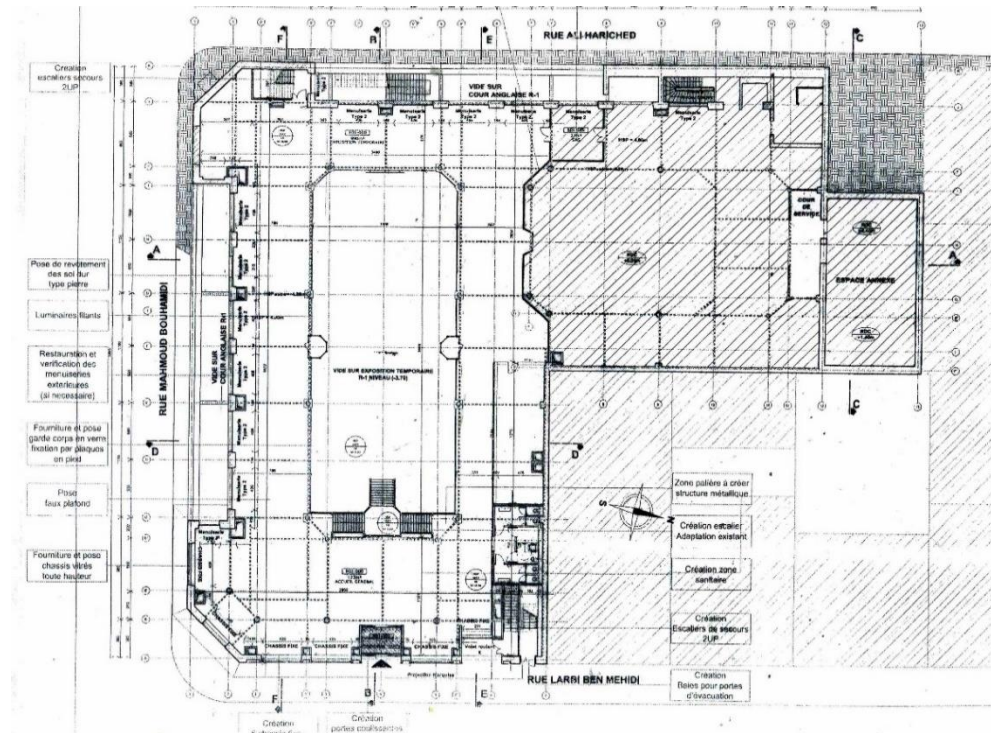
### Annexe 03: Dossier graphique du Musée National d'Art Moderne et Contemporain d'Alger.

Faidi 2008. Plan Sous sol



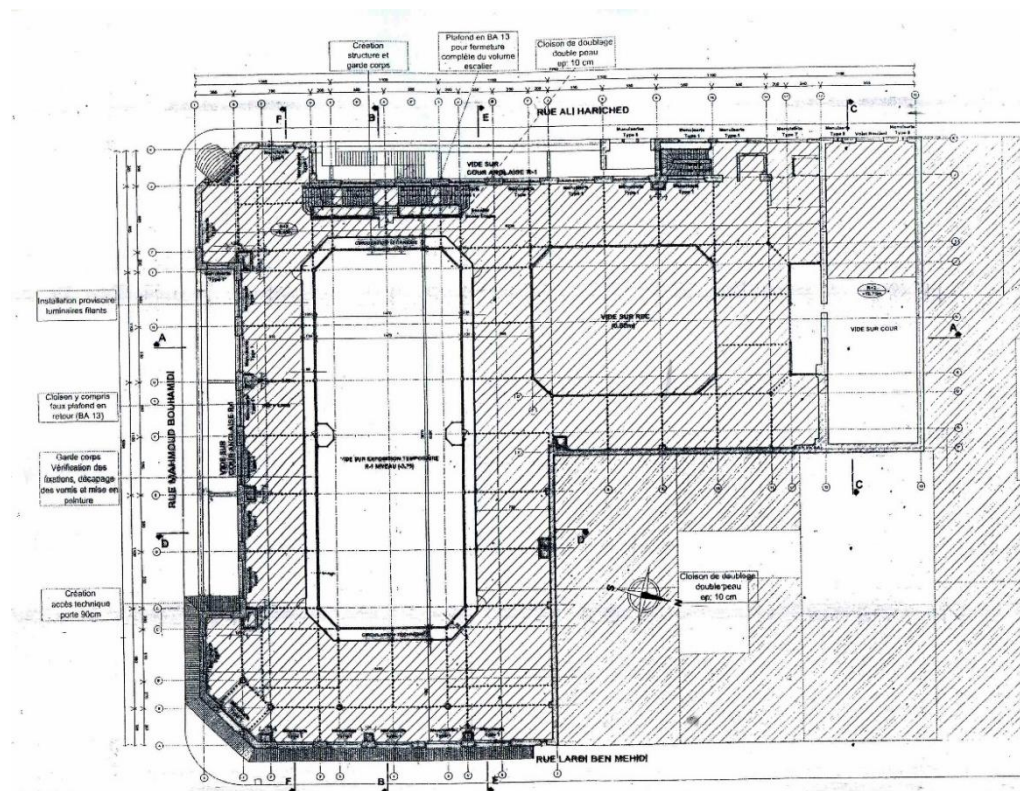
**Annexe 04:** Dossier graphique du Musée National d'Art Moderne et Contemporain d'Alger.

Faidi 2008. Plan rez-de-chaussée.



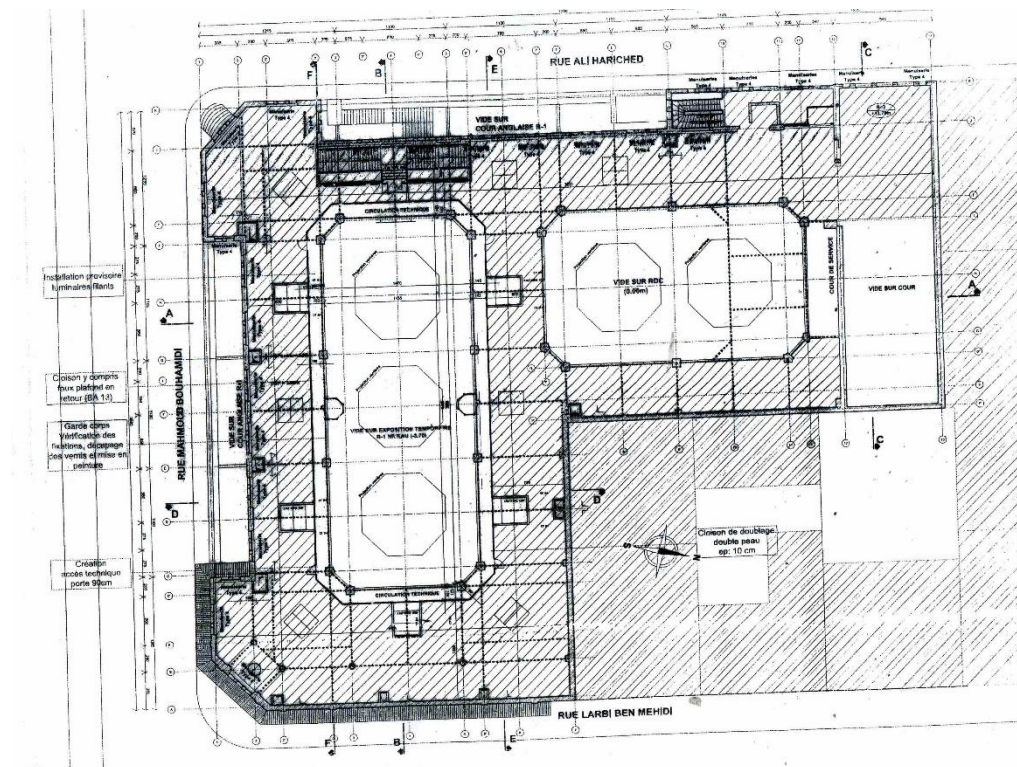
**Annexe 05:** Dossier graphique du Musée National d'Art Moderne et Contemporain d'Alger.

Faidi 2008. Plan R+2



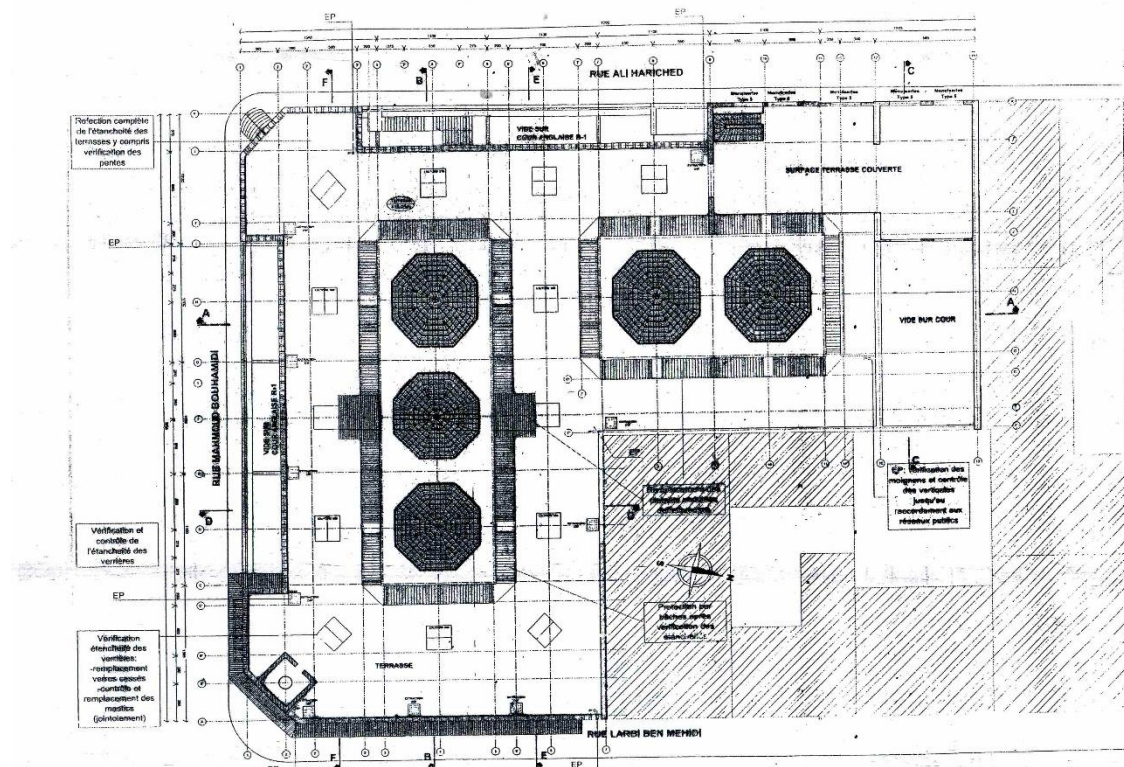
**Annexe 06:** Dossier graphique du Musée National d'Art Moderne et Contemporain d'Alger.

Faidi 2008. Plan R+3



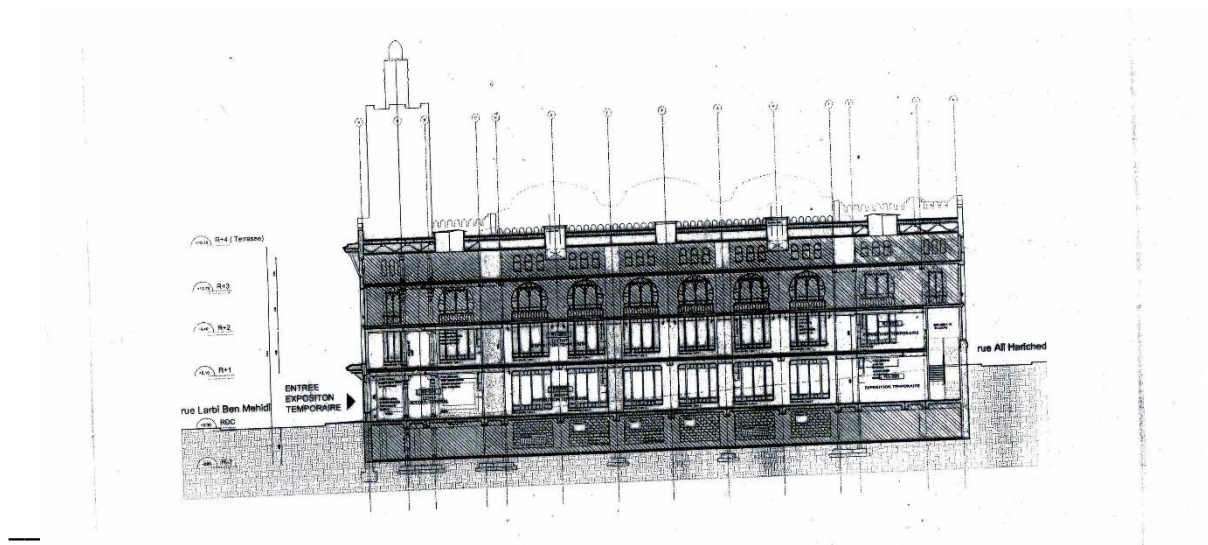
**Annexe 07:** Dossier graphique du Musée National d'Art Moderne et Contemporain d'Alger.

Faidi 2008. Plan de terrasse.



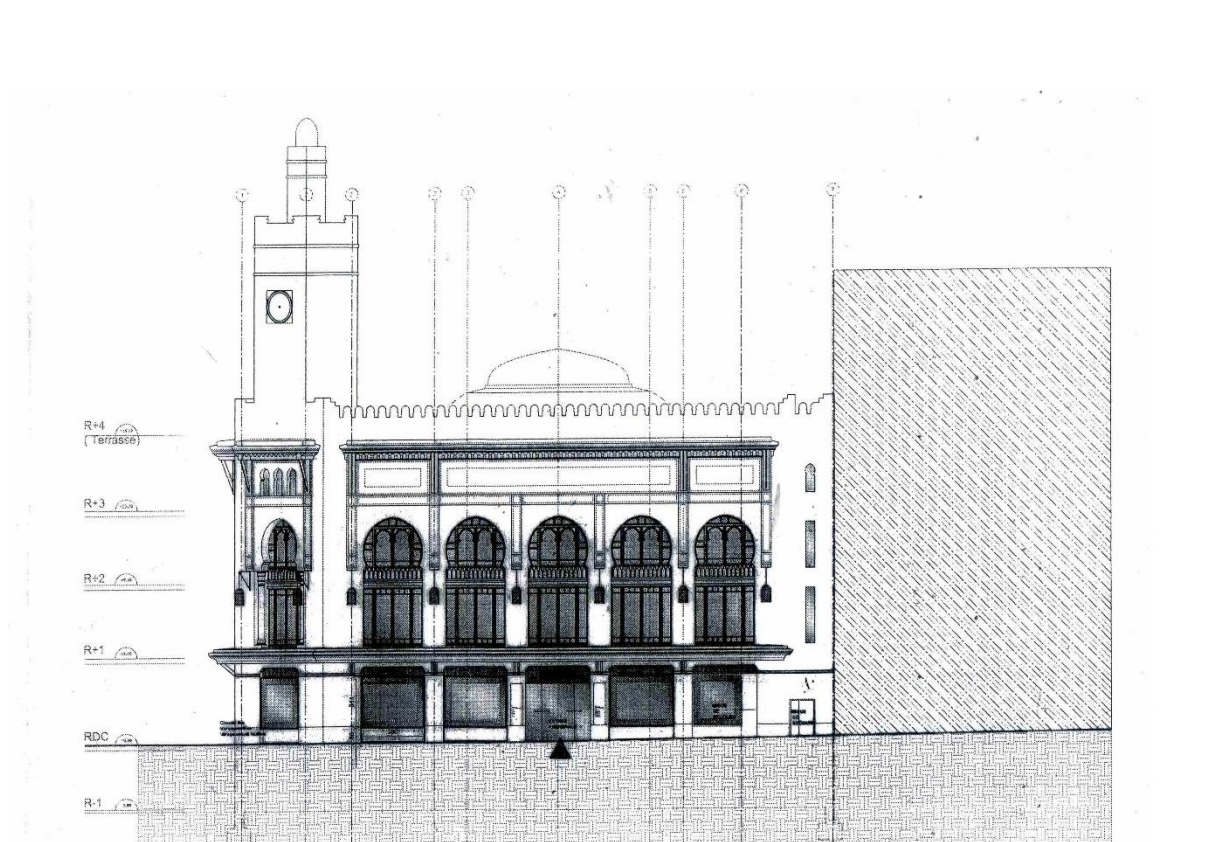
**Annexe 08:** Dossier graphique du Musée National d'Art Moderne et Contemporain d'Alger.

Faidi 2008. Coupe Est-Ouest.



**Annexe 09:** Dossier graphique du Musée National d'Art Moderne et Contemporain d'Alger.

Faidi 2008. Façade Sud.



**Annexe10 :** Voici en images les étapes de création d'une application en Réalité augmentée dans Unity 3D et Vuforia.

### 1. Générer un marqueur :

Pour traduire une image en un marqueur AR (cible) il faut d'abord la télécharger dans le serveur de la plateforme en ligne de Vuforia. Rendez-vous sur <https://developer.vuforia.com>, Inscrivez-vous puis naviguez vers l'onglet >Develop pour créer une licence « developer » ou accédez directement à cette page via le lien <https://developer.vuforia.com/vui/develop/licenses>.

La licence « developer » permet d'activer le mode RA dans Unity3D. Cliquez sur « *Get Developer key* » indiquez un nom à la licence > *Confirm*. Le numéro de série s'affiche dans le menu « *License Manager* » sous le nom que vous avez indiqué. Copiez la licence.

**License Manager** Target Manager

Back To License Manager

**Add a free Development License Key**

License Name  
App MAMA  
You can change this later

**License Key**

Develop  
Price: No Charge  
Reco Usage: 1,000 per month  
Cloud Targets: 1,000  
VuMark Templates: 1 Active  
VuMarks: 100

☒ By checking this box, I acknowledge that this license key is subject to the terms and conditions of the Vuforia Developer Agreement.

Cancel Confirm

License Manager > App MAMA

**App MAMA** Edit Name Delete License Key

License Key Usage

Please copy the license key below into your app

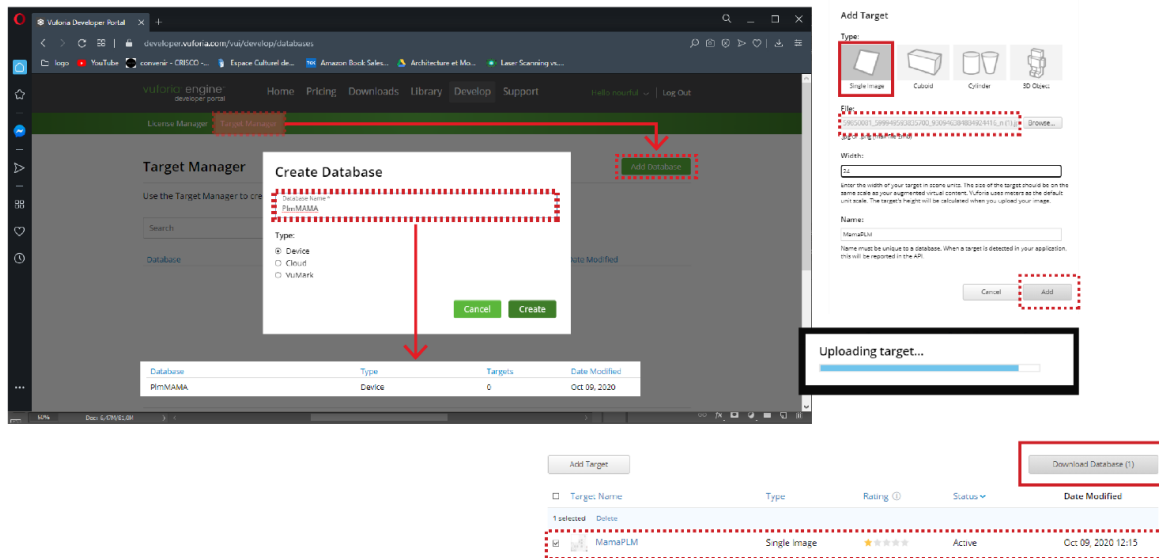
```

ATP7J12/ /// AAAABwL3wv7A2D#D0=2F61P0g8P7L5eTq42#0u0T2q8P8aE0Z0C7+4k3Dw#dF0711P0F7aYh7REpRb3Fga3o02FC12d9
p3B-u0uT7Eg70+ /18V707N7ET7Q0u7011e#3D07u73d4e#214Q0u7F0e#A: P0q7PpRw077Mg0T0D0e#7u7B0u72D0q46u177p0Fw#e0T
g#0W3h4q#073k4W07B057y75#E#D32E#00u0908Q17y7p73h3h3u0g#d#7#y#A#E0S0D8#6u0GL0n3D0: g07/2g7y#q#q#4u0B707u7B0B0k3#0Fg5Y0
C0u070e7p20:770V1u0q#LT0XVuv7p12u0B0u0q#k#1#0W07/28u0Z0T0u0T0p4
  
```

Dans la même page, allez dans l'onglet **Target Manager** > **Add Database**, indiquez un nom à votre base de données > **Confirmez**. Ouvrez la base de données en cliquant sur son nom puis **Add Target** > **Single image** puis indiquez sa taille en chiffres > attribuez un nom à votre marqueur > **Add**.

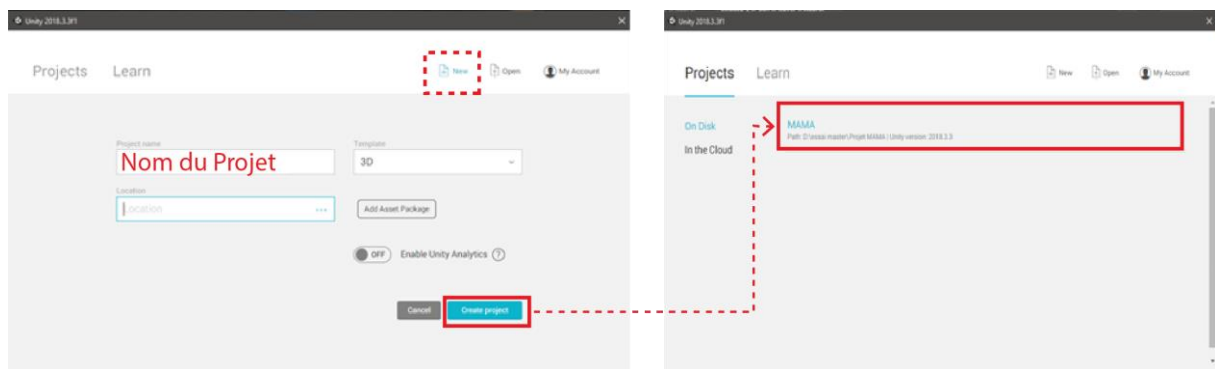
Quand le marqueur est téléchargé, des étoiles s'affichent dans la case « Rating » : ces étoiles évaluent la performance du marqueur ; Cinq Etoile étant un marqueur très performant et facilement reconnaissable.

Vous pouvez maintenant **exportez** votre base de données (dans un format « unitypackage »), afin de l'ouvrir dans le logiciel Unity3D.



## 2. Aller dans Unity3D

**Sur Unity :** Au démarrage du logiciel, un menu s'affiche, cliquez sur **Projects> New**, puis introduisez le nom de votre projet et sélectionnez un Template **3D**



Voici comment se présente l'interface de Unity3D :

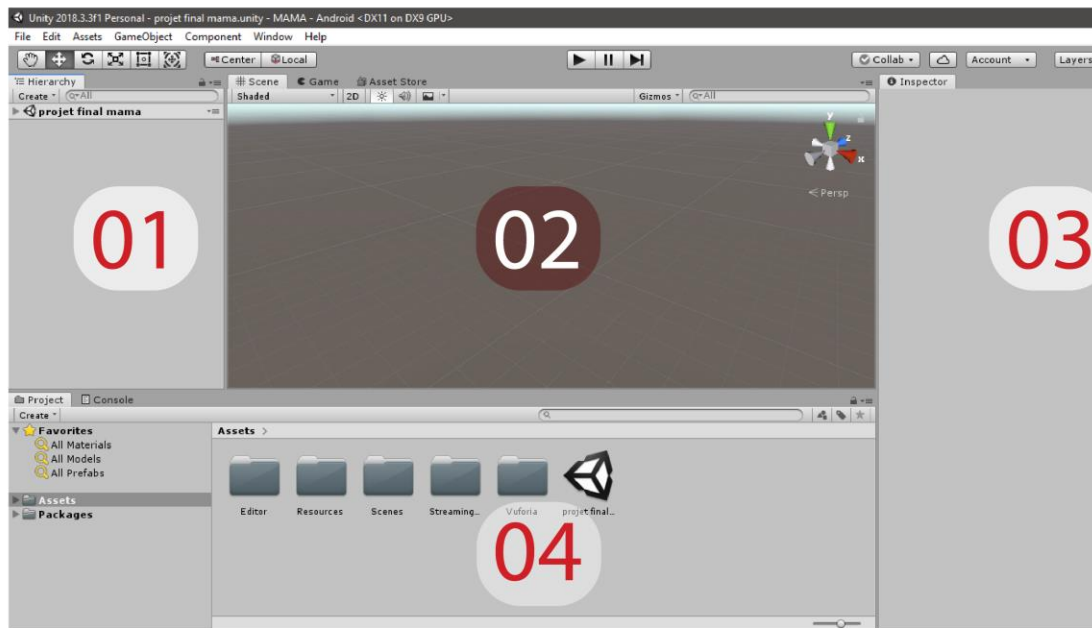
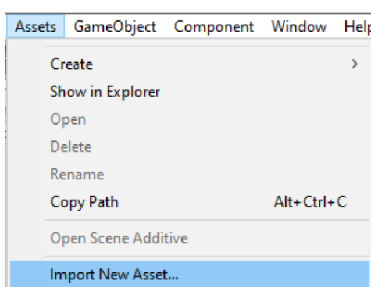


Figure 51 : interface du logiciel Unity3D

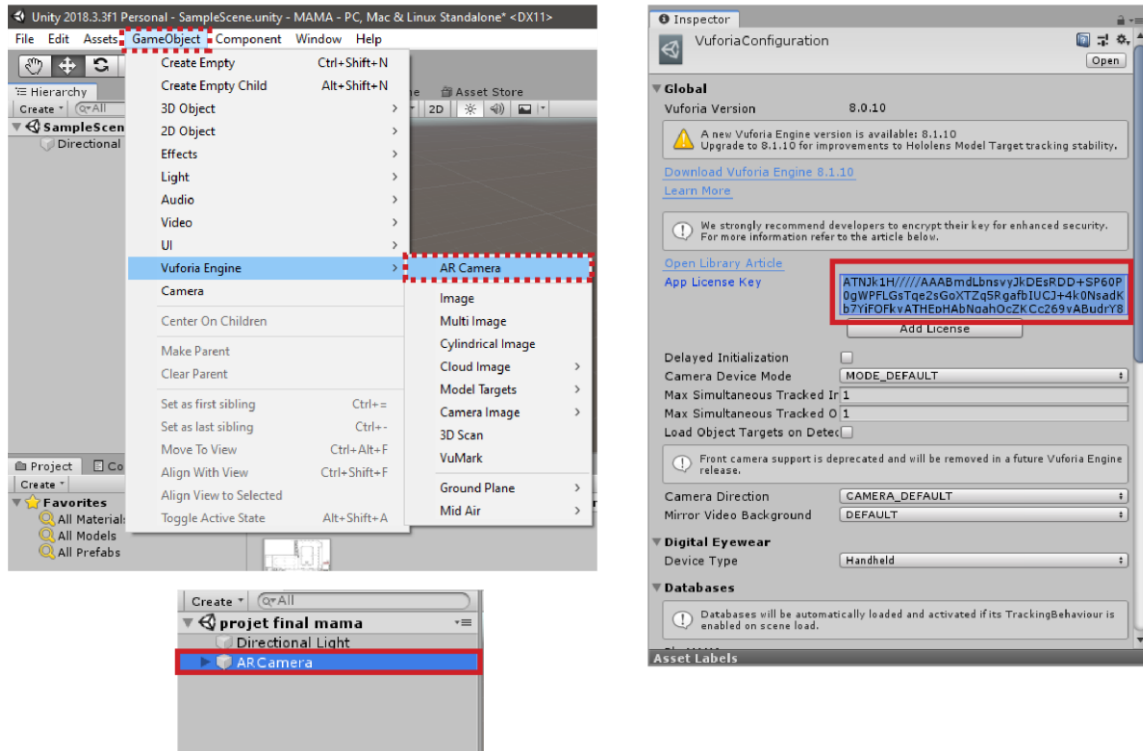
1. **Menu d'arborescence du projet** : affiche les « GameObject » c'est-à-dire composantes de jeux 2D/3D
2. **Navigateur 3D** : l'espace de travail tridimensionnel qui affiche les scènes et les éléments modélisés.
3. **Inspecteur d'élément** : affiche les informations de chaque élément sélectionné.
4. Panneau de structure des dossiers.

Pour importer votre base de donnée et la 3D de votre projet, allez dans l'onglet **Assets>import New Asset**, choisissez l'emplacement de la data base que vous avez téléchargé ou bien sélectionnez et glissez vos fichiers directement dans la case n° 04 de la figure précédente (fig51)



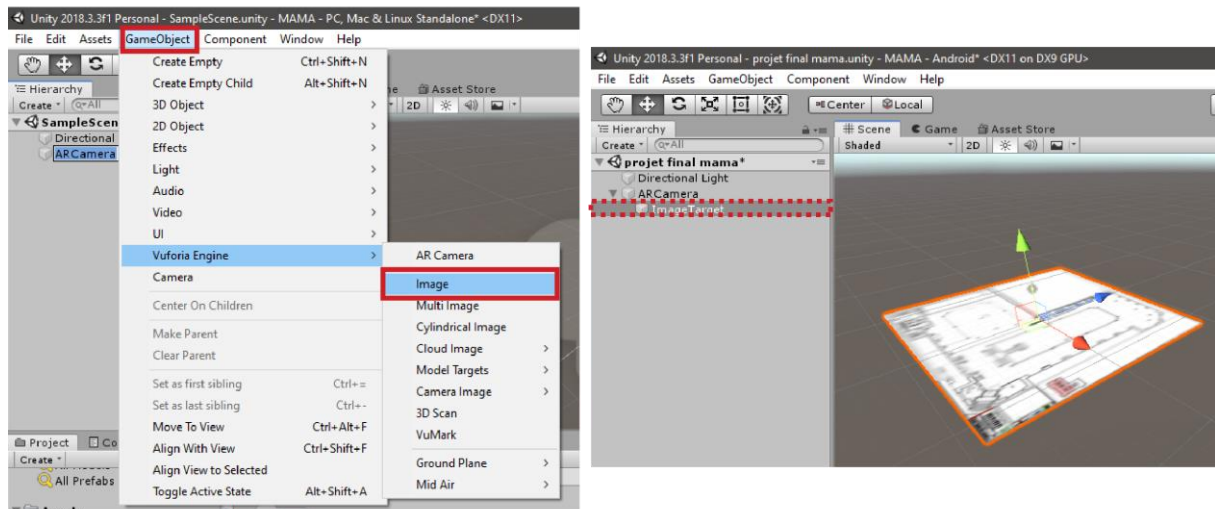
La caméra de la Réalité Augmentée (ARcamera) peut être insérée depuis l'onglet **GameObject > Vuforia Engine > AR camera**. La caméra s'affiche automatiquement dans la colonne d'arborescence n°01. Mais avant de pouvoir l'utiliser, il faut activer la licence de Vuforia.

En cliquant sur la caméra, l'inspecteur affiche la **VuforiaConfiguration**, insérer le numéro de série que vous avez copié (depuis le site vuforia) pour activer les caractéristiques de la caméra AR. (figure53)

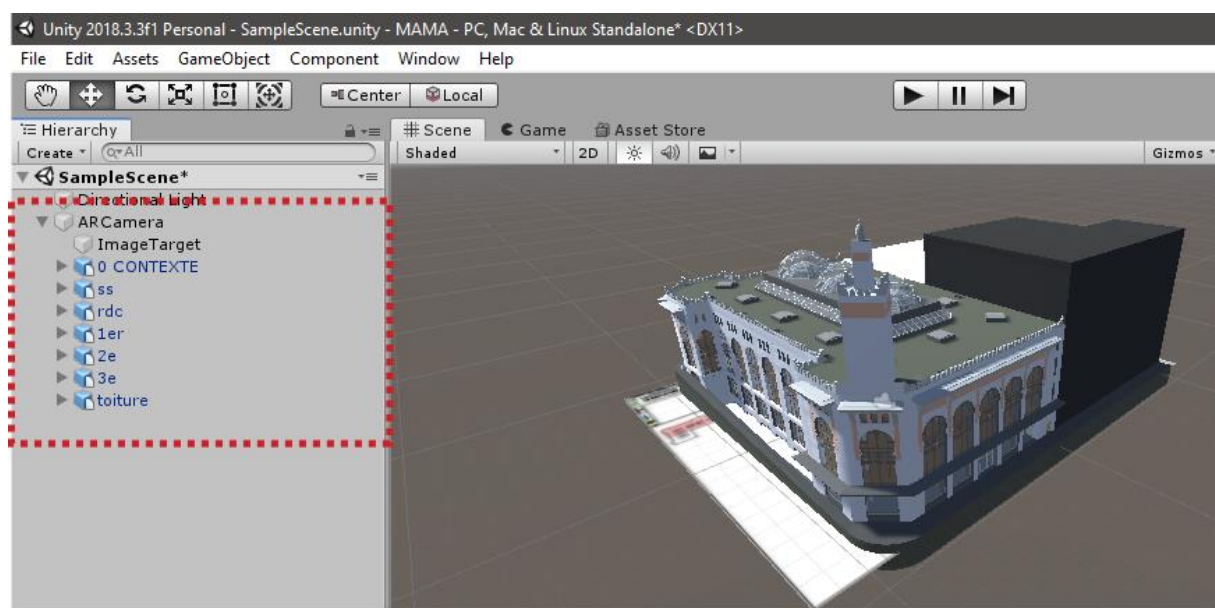


Pour définir le marqueur, rendez-vous dans l'onglet **GameObject > Vuforia Engine > Image**. Ceci affichera dans la barre d'arborescence une nouvelle composante : une image cible (ImageTarget) affiliée à la composante « ARcamera » créée précédemment.

Dans le navigateur, une étiquette portant l'image de votre marqueur s'affiche automatiquement dans la scène 3D, ajustez la taille et la position de celle-ci à volonté (fig54). Si l'étiquette ne comporte pas l'image du marqueur, cliquez puis glissez votre marqueur sur la surface de l'étiquette dans la scène 3D.



Sélectionner votre 3D puis cliquez et maintenez en glissant l'objet dans le menu d'arborescence. Ajustez la position de celle-ci sur la surface du marqueur cible. La composante 3D doit être affiliée à la camera AR (figure).

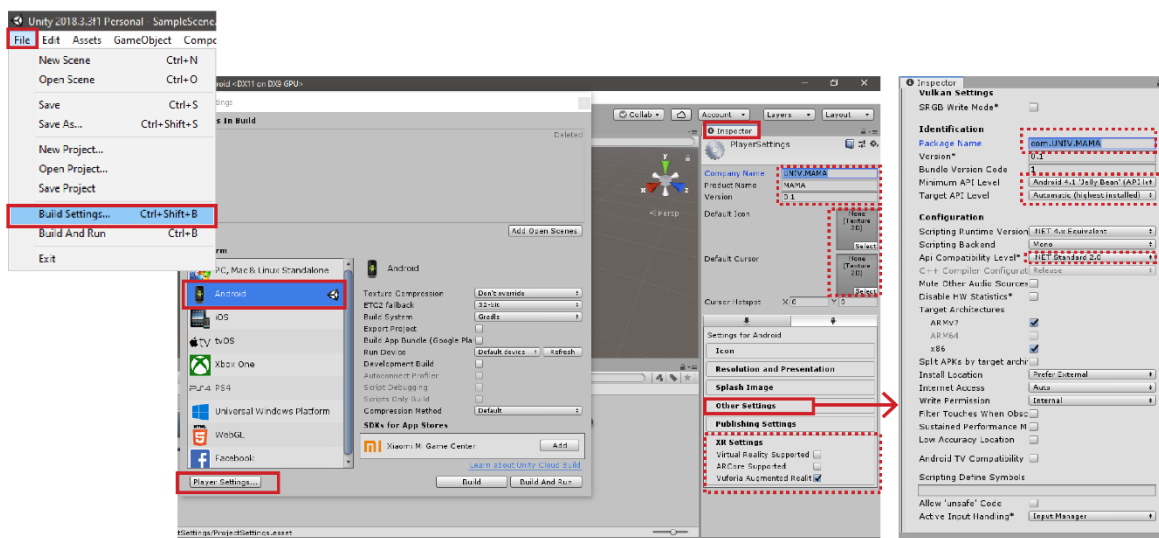


Vous pouvez essayé à présent de visualiser en RA votre model 3D, si vous disposez du marqueur imprimé. Cliquez sur le bouton « **Play** » au-dessus du navigateur3D. Ceci déclenchera la camera de votre ordinateur et vous pouvez faire défiler le marqueur pour voir si ça marche.

En cette dernière partie nous allons exporter notre modèle AR en format mobile compatible avec Android. Dans **fichier > Build settings > Android > Switch plateforme** pour convertir la compatibilité de notre projet actuel. Mais avant d'exporter le fichier, quelques paramètres sont à préciser : Cliquez sur **Player Settings** puis remplissez les cases suivantes :

- **Company name** : nom de votre entreprise (etablissement).
- **Product name** : nom de votre produit.

Plus bas dans l'onglet **Other Settings > identification** remplissez le nom de votre application dans le format **Com.CompanyName.ProductName**.



Assurez-vous que l'**API Compatibility Level** est réglé sur **.Net standard 2.0** puis cliquez sur Build pour exporter le fichier (sous format **.APK**) dans la localisation souhaitée. Maintenant, notre fichier est prêt à être installé sur le Smartphone.