

Ministère De l'Enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique

Université Mohamed Seddik Benyahia- Jijel

Faculté Des Sciences Et De La Technologie

Département D'architecture



Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de :

MASTER ACADEMIQUE

Filière :

ARCHITECTURE

Spécialité :

ARCHITECTURE ET PATRIMOINE

Présenté par :

Khaled CHATOUK

Rami KAOUACHE

Noufel KESSOUR

THEME :

**L'APPLICATION DES OUTILS NUMERIQUES POUR LA
CONSERVATION DU PATRIMOINE**

Date de la soutenance : 25 Juin 2018

Composition du Jury :

Mme. AIDAT Adila, M.A.A, Université MSB-Jijel, Présidente du jury.

Mme. AOUCI Amina, M.A.B, Université MSB-Jijel, Encadreur.

Mme. DJABER Khadidja, M.A.A, Université MSB-Jijel, Membre du jury.

Année Universitaire : 2017_2018

DÉDICACES

A nos chers parents pour tous

Leurs efforts et leurs sacrifices.

A nos frères et sœurs.

A nos familles.

A nos amis.

REMERCIEMENTS

Nous remercions dieu le tout puissant qui nous a donné le courage et la volonté de mener à bien notre travail.

Ainsi que nos famille de nous avoir soutenus et supporter pendant notre cursus universitaire.

Nous tenons à remercier notre encadreur M^{me} Amina AOUICI que nous remercions pour ses efforts, sa patience et la justesse de ses orientations.

Ainsi que les membres de jury M^{me} Adila AIDAT et M^{me} Khadîdja DJABER.

SOMMAIRE

| | |
|------------------------------------|------|
| REMERCIEMENT | I |
| DEDICACES | II |
| SOMMAIRE | III |
| LISTE DES CARTES | VII |
| LISTE DES TABLEAUX | VII |
| LISTE DES FIGURES | VII |
| LISTE DES PHOTOS | VIII |
| LISTE DES ABREVIATION | IX |

Chapitre introductif :

| | |
|---|----|
| Introduction générale | 01 |
| Problématique | 02 |
| Hypothèses de la recherche | 03 |
| Objectifs | 03 |
| Méthodologie d’approche | 04 |
| Structure du mémoire | 04 |

Chapitre I :

La conservation du patrimoine notion et définition

| | |
|--|----|
| Introduction | 07 |
| I.1. Patrimoine : notion et définition | 07 |
| I.1.1. Définition de la notion du patrimoine | 07 |
| I.1.2.L’Evolution et élargissement de la notion du patrimoine | 08 |
| I.2. Les composants du patrimoine | 09 |
| I.2.1. Le patrimoine naturel | 10 |
| I.2.2. Le patrimoine culturel | 11 |
| I.2.2.1. Le patrimoine culturel immatériel | 11 |
| I.2.2.2. Le patrimoine culturel matériel | 12 |
| I.2.2.3. Le patrimoine culturel subaquatique | 13 |
| I.3. La conservation du patrimoine : notion et définition | 14 |

Sommaire

| | |
|---|-----------|
| I.3.1. Définition de la conservation..... | 14 |
| I.3.2. La conservation du patrimoine selon les chartes | 15 |
| I.3.3. Les types de la conservation..... | 17 |
| I.3.3.1. La conservation préventive | 17 |
| I.3.3.2. La conservation curative | 18 |
| I.3.3.3. La conservation-restauration | 18 |
| I.3.3.4. La conservation intégrée | 18 |
| I.3.4. Le processus conservatoire | 20 |
| I.3.4.1. Enquête et prospection | 20 |
| I.3.4.2. Définition de la signification et des valeurs | 20 |
| I.3.4.3. Analyse | 20 |
| I.3.4.4. Formulation des stratégies et de la mise en œuvre | 20 |
| I.4. La conservation numérique du patrimoine | 21 |
| I.4.1. La définition de numérisation | 21 |
| I.4.2. Pour quoi numériser ? | 21 |
| I.4.2.1. Voir l'aspect passé d'un site | 22 |
| I.4.2.2. L'ouverture des sites au tourisme et à la médiation culturelle | 22 |
| I.4.3. L'apport de numérisation dans le domaine de valorisation du patrimoine | 23 |
| I.4.3.1. Faciliter l'accès au patrimoine | 23 |
| I.4.3.2. La conservation des œuvres | 24 |
| I.4.3.3. Préparer, prolonger et mémoriser la visite | 24 |
| I.4.4. Visite virtuelle ou visite réelle ? | 25 |
| Conclusion | 26 |

Chapitre II :

Usages des outils numériques dans la conservation du patrimoine

| | |
|---|-----------|
| Introduction | 27 |
| II.1. Les outils traditionnels de conservation du patrimoine | 27 |
| II.2. Les outils numériques (innovant) de conservation du patrimoine | 29 |
| II.2.1. Les outils d'acquisition | 29 |

Sommaire

| | |
|--|-----------|
| II.2.1.1. La technique de la lasergramétrie | 29 |
| II.2.1.1 .a. Le laser-principe général | 30 |
| II.2.1.1 .b. Les capteurs laser à triangulation | 31 |
| II.2.1.1 .c. Les lasers à temps de vol (télémétrie) | 32 |
| II.2.1.2. La technique de la photogrammétrie numérique | 32 |
| II.2.1.2.a. La photogrammétrie multi image | 33 |
| II.2.1.2.b. La photogrammétrie : les photos rectifiées..... | 34 |
| II.2.1.2.c. La photogrammétrie : les ortho-photos (images) | 35 |
| II.2.2. Les outils de modélisation | 35 |
| II.2.2.1. Les logiciels assistés par ordinateur | 36 |
| II.2.2.1.a. Le logiciel AutoCAD | 36 |
| II.2.2.1.b. Le logiciel ArchiCAD | 36 |
| II.2.2.1.c. Le logiciel Sketchup | 37 |
| II.2.2.1.d. Le logiciel Revit | 38 |
| II.2.2.2. Les outils de reconstitution de l’image réelle (L’impression 3D) | 38 |
| II.2.2.2.a. Présentation | 38 |
| II.2.2.2.b. Impression 3D au service du patrimoine (du virtuel au réel) | 38 |
| II.2.3. Les outils de visualisation | 41 |
| II.2.3.1. La photo panoramique à 360° | 42 |
| II.2.3.2. La vidéo 360° ou immersive | 43 |
| II.2.3.3. Les jeux vidéo | 43 |
| II.2.3.4. La maquette numérique 3D | 44 |
| II.2.3.5. La réalité virtuelle | 45 |
| II.2.3.6. La réalité augmentée | 46 |
| Conclusion | 47 |

Chapitre III :

La réalité virtuelle au service de la pérennité et l’accessibilité du patrimoine culturel

| | |
|--|-----------|
| Introduction | 48 |
| III.1. La réalité virtuelle | 48 |

Sommaire

| | |
|---|-----------|
| III.1.1. Définition de la réalité virtuelle | 48 |
| III.1.2. Les composantes de système de la réalité virtuelle | 49 |
| III.1.2.1. Le casque de réalité virtuelle | 49 |
| III.1.2.2. Les salles de la réalité virtuelle | 50 |
| III.1.3. Les domaines d'application de la réalité virtuelle | 50 |
| III.1.3.1. L'architecture et l'urbanisme | 51 |
| III.1.3.2. La médecine | 51 |
| III.1.3.3. La simulation Militaire | 51 |
| III.1.3.4. Jeux vidéo | 51 |
| III.1.3.5. Les musées | 51 |
| III.1.4. La réalité virtuelle au service du patrimoine | 52 |
| III.1.4.1. Le cas du plateau de Giza | 53 |
| III.1.4.1.a. Présentation du plateau | 53 |
| III.1.4.1.b. Le processus de reconstruction virtuelle de Giza | 53 |
| III.1.4.1.c. L'intervention de mis en valeur par la réalité virtuelle de Giza | 55 |
| III.1.4.2. Le cas de Notre-Dame de Paris | 57 |
| III.1.4.2.a. Présentation de la cathédrale | 57 |
| III.1.4.2.b. L'intervention de mis en valeur par la réalité virtuelle | 57 |
| Synthèse | 58 |
| III.2. L'essai d'application de la réalité virtuelle sur la grande mosquée | |
| de Constantine | 59 |
| III.2.1. Situation | 59 |
| III.2.2. synthèse de diagnostic | 60 |
| III.2.2.1. Scenarios d'intervention | 62 |
| III.2.2.2. les interventions | 62 |
| III.2.3. Le processus de reconstruction virtuelle de la grande mosquée | 63 |
| III.2.4. Réalisation d'un questionnaire | 66 |
| III.2.4.1. Analyse des résultats du questionnaire | 67 |
| Conclusion | 71 |
| Conclusion générale | 73 |

Sommaire

| | |
|------------------------------|----|
| Recommandations | 74 |
| Bibliographies | |
| Résumé | |
| Abstract | |
| ملخص | |

Liste des cartes:

| | |
|---|----|
| Carte.III.1 : plan d'action sur la grande mosquée de Constantine..... | 63 |
|---|----|

Liste des tableaux:

| | |
|---|----|
| Tableau.III.1 : Les différentes valeurs présentes dans la grande mosquée de Constantine | 62 |
|---|----|

Liste des figures:

| | |
|---|----|
| Figure. II. 1: principe de l'acquisition laser par triangulation..... | 31 |
| Figure. II. 2: le scanner SOISIC-les zones de travail utiles | 31 |
| Figure. II. 3: le capteur à temps de vol_principe | 32 |
| Figure. II. 4 : Le château de Beaufort au Liban: mesures de structures archéologiques sur des photographies de 1936 et comparaison avec des photos de 2003. | 34 |
| Figure. II. 5 : Exemple d'images rectifiées | 34 |
| Figure. II. 6 : "Europe montant le taureau" : du modèle numérique à l'ortho photo en passant par l'image raster..... | 35 |
| Figure. II. 7 : Capture de l'interface logicielle AutoCAD | 36 |
| Figure. II. 8 : Capture de l'interface logicielle ArchiCAD | 37 |
| Figure. II. 9 : Capture de l'interface logicielle Sketchup | 37 |
| Figure. II. 10 : Capture de l'interface logicielle Revit | 38 |
| Figure. II. 11 : les outils de visualisations numériques | 41 |
| | |
| Figure.III.1 : Les domaines d'application de système réalité virtuelle. | 50 |
| Figure.III.2: Des exemples d'application de réalité virtuelle. | 52 |
| Figure.III.3 : situation de la grande mosquée de Constantine | 59 |
| Figure.III. 4 :Plan 2D Autocad de la grande mosquée | 65 |
| Figure.III.5: Modèle 3D Sketchup de la grande mosquée | 65 |
| Figure.III. 6 : Le modèle 3D de la mosquée dans le programme Kubity | 65 |
| Figure.III. 7 : Le code QR de la mosquée dans le programme Kubity | 65 |
| Figure.III.8 : Scan du code QR par l'application Kubity | 66 |
| Figure.III.9 : la connaissance de la grande mosquée de Constantine | 67 |
| Figure. III. 10 : la connaissance de la réalité virtuelle | 67 |
| Figure. III. 11 : prendre une idée sur la mosquée à travers le dossier graphique | 67 |
| Figure. III. 12 : la compréhension des différentes interventions sur la mosquée | 68 |
| Figure. III. 13 : La réalité virtuelle assure une meilleure lisibilité | 68 |
| Figure. III. 14 : La réalité virtuelle motive les acteurs pour visiter l'œuvre original | 68 |
| Figure.III.15 : L'avantage de la réalité virtuelle dans un processus de conservation | 69 |
| Figure. III. 16 : la réalité virtuelle assure une restitution proche à la réalité dans le cas d'absence de document graphique et la présence de document écrit ou récit | 69 |

| | |
|---|----|
| Figure. III. 17 : La méthode préférée..... | 70 |
| Figure. III. 18 : l'usage de la réalité virtuelle donne une valeur ajoutée dans le processus de conservation..... | 70 |
| Figure. III. 19 : Evaluation de l'emploi des nouvelles technologies dans le secteur du patrimoine en Algérie..... | 70 |

Liste des photos :

| | |
|--|----|
| Photo. I. 1: Le gouffre d'Esparros..... | 10 |
| Photo. I. 2: Cathédrale de Leon, Espagne..... | 11 |
| Photo. I. 3: Mawlid al-Nabi celebrations..... | 11 |
| Photo. I. 4: Bureau estampillé Teuné (Me en 1766) | 12 |
| Photo. I. 5 : château de Versailles..... | 13 |
| Photo. I. 6: patrimoine culturel subaquatique à sansalvador (El Salvador) | 13 |
| Photo. I. 7 : Stockage des peintures dans des porte-folios de polypropylène (conservation préventive)..... | 17 |
| | |
| Photo. II. 1 : l'arc de triomphe de Palmyre restitué en Italie | 39 |
| Photo. II. 2 : les statues des « grottes de Yungang », en Chine..... | 39 |
| Photo. II. 3 : « Dame de Cao », avant et après la restitution | 40 |
| Photo. II. 4 : La statue de la Victoire de Samothrace après la restauration | 41 |
| Photo. II. 5 : Photo panoramique de l'Arc de Triomphe du Carrousel..... | 42 |
| Photo. II. 6 : Capture d'un vidéo à 360° de la ville de Chicago..... | 43 |
| Photo. II. 7 : Jeu vidéo "mystère dans ma ville" | 44 |
| Photo. II. 8 : Visite virtuelle au cathédral de Strasbourg..... | 45 |
| Photo. II. 9 : La reconstitution virtuelle en réalité augmentée de l'abbaye de Cluny..... | 47 |
| | |
| Photo.III.1 : Le casque de réalité virtuelle..... | 49 |
| Photo.III. 2: Une salle de réalité virtuelle immersive..... | 50 |
| Photo.III.3: Plateau du Giza..... | 53 |
| Photo.III. 4: La reconstruction virtuelle du plateau de Giza | 54 |
| Photo.III. 5: Le sphinx numérisé par rapport à l'actuel..... | 55 |
| Photo.III. 6: La salle immersive du musée du Boston..... | 56 |
| Photo.III. 7: Giza en 3D avec le casque de réalité virtuelle..... | 57 |
| Photo.III. 8: La cathédrale Notre-Dame de Paris..... | 58 |
| Photo.III.9: La simulation 3D de Notre-Dame de Paris..... | 58 |
| Photo.III.10 : Dégradation de l'enduit des murs..... | 60 |
| Photo.III.11 : Pourrissement du plafond..... | 60 |
| Photo.III.12 : Dégradation du bois..... | 60 |
| Photo.III.13 : Fissure entre la nouvelle et l'ancienne structure..... | 60 |

| | |
|---|----|
| Photo.III.14 : Le mihrab de la mosquée..... | 61 |
| Photo.III.15 : Colonne et mur intérieur de la salle de prière | 61 |
| Photo.III.16 : La cour couverte..... | 61 |
| Photo.III.17 : Installation de système de chauffage et climatisation..... | 61 |
| Photo.III.18 : Etudes de restauration de la grande mosquée | 64 |
| Photo.III.19 : Plan de la grande mosquée de Constantine | 64 |
| Photo.III.20:La projection du modèle 3D par l'application Kubity sur ANDROID..... | 66 |
| Photo.III.21 : Casque VR BOX..... | 66 |

Liste des abréviations :

UNESCO: Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture.

ICOMOS: Conseil international des monuments et des sites.

PCI: Le Patrimoine Culturel Immatériel.

FFCR : La fédération française des professionnels de la conservation et de la restauration.

3D : Trois dimensions.

Laser : Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

CAO : Conception Assistée par Ordinateur.

DTC : Direct Torque Control (Commande Directe du couple).

CCD : Coupled Charged Device.

LiDAR : Light Detection And Ranging.

DWG : DraWinG.

2D : Deux dimensions.

MFA :Museum of Fine Arts.

UNIX : Système d'exploitation multitâche et multi-utilisateur.

BIM : Building Informations Mödling.

VR : Réalité Virtuelle (Virtual Reality).

AR : Réalité Augmenté (Augmented Reality).

QR : Quick Response.

IOS : Internet work Operating System.

Introduction générale :

Au cours des dernières décennies, l'avènement de nouvelles technologies, l'évolution de l'électronique et la démocratisation de l'informatique ont provoqué de profonds changements dans les sociétés modernes. Ainsi le monde d'aujourd'hui connaît une évolution importante dans tous les domaines de la vie et de la science où l'emploi de l'informatique et de l'électronique sont étendus de manières fulgurantes.

En effet, les découvertes, le développement en informatique, la communication et les technologies que le monde connaît quotidiennement et dont les résultats se sont transformés en industries ; permettant l'émergence de nouveaux concepts scientifiques et un changement radical de ces sciences qui sont maintenant remplacées par d'autres sciences nouvelles. Cette évolution ne se caractérise pas par son émergence rapide et ses changements quantitatifs et qualitatifs seulement, mais aussi elle devient le noyau de la naissance d'une nouvelle ère et **un monde moderne**.

En d'autre part ; Il est à noter que ce qui est applicable sur les spécialités scientifiques et techniques est aussi applicable sur **l'architecture** et notamment le patrimoine (patrimoine bâti et sa conservation). A titre d'exemple, les années quatre-vingt du siècle dernier ont vu la diffusion de plusieurs programmes et applications au service de l'architecture et du patrimoine, notamment le programme (CAD), qui a ensuite créé une révolution numérique dans le monde de la conception et de l'architecture. Dans ce domaine ; l'outil numérique nous permet aujourd'hui un degré de précision et de réalisme jamais atteint auparavant. On pourrait presque dire que l'ordinateur nous permet de faire tout ce qu'on souhaite en termes de rendu de l'image. Cependant, le rôle de l'architecte aujourd'hui n'est pas de montrer son projet sous une face la plus réaliste possible mais de communiquer le ou les documents graphiques qui permettront de transmettre et communiquer au mieux toute sa pensée et le concept du projet.

D'autre part ; la manipulation des outils numériques a pris un élan considérable notamment dans le domaine de la conservation du patrimoine bâti. Le numérique est toujours là, comme outil d'investigation, comme support de conservation, comme vecteur d'échange et de communication. Il génère lui-même des recherches et une filière économique sur la modélisation en 3D, la réalité augmentée, l'immersion, les nouveaux usages des publics. L'enjeu actuel, reconnue par tous les acteurs du patrimoine culturel : archéologues, architectes, conservateurs, restaurateurs, et autres professionnels des monuments historiques et des œuvres d'arts, et de rendre l'information patrimoniales, une mémoire inaltérable et accessible. Il est temps que cette information patrimoniale sera abordée selon **une perspective**

nouvelle ; celle de **sa mise en valeur par des nouvelles méthodes technologiques** ; et avec **des outils numériques performants** ; qui permettent de transmettre ces connaissances et ces savoirs et assurent le prolongement du public dans le sujet patrimonial abordé. De ce fait ; dans le cadre de notre recherche Nous nous intéressons à l’outil informatique appréhendé en tant que dispositif d’aide pour la connaissance, la compréhension et la conservation du patrimoine notamment bâti.

Problématique :

Le patrimoine sous ses diverses formes, est souvent fragile et vulnérable. Il nécessite une multitude d’interventions mais aussi plusieurs techniques pour être préservé. La connaissance, la compréhension et finalement la conservation de cet héritage, au sens large du terme, appellent des méthodes qui ne cessent de se renouveler et de se développer au rythme des découvertes, du développement et des approches innovantes du patrimoine.

Il est vrai que depuis l’apparition de la notion du patrimoine, des outils pour sa valorisation, sa vulgarisation et pour sa diffusion ont été mise en place ; le but étant de sensibiliser le large public (différents acteurs) sur l’intérêt de le préserver pour les générations futures. Ainsi de nombreux efforts ont été consentis pour protéger le patrimoine (reconnaisances, protection, édicition de législation, études élaborés, travaux de restauration et consolidation des monuments, moyens financiers mise en œuvre ...), néanmoins malgré l’intérêt et les mobilisations que les différents sites patrimoniaux suscitent ; ces derniers restent menacés et leur pérennité n’est pas totalement assurée.

D’ailleurs ; depuis quelques décennies, de nombreux rapports ont contribué à souligner les lacunes des politiques dans le domaine du patrimoine. Ces facteurs ne se résument pas aux aléas budgétaires mais s’étend au manque d’entretien, à la dégradation de l’environnement mais surtout à la non mise en œuvre des chartes et des conventions internationales. Ces modalités d’intervention classiques auxquelles sont venues s’ajouter des méthodes théoriques et pratiques qui s’avèrent de plus en plus obsolètes ; nous poussent à **réfléchir à de nouvelles techniques de conservation du patrimoine**.

Dans cette perspective et avec la mondialisation, les nouvelles pratiques qui s’imposent et les innovations technologiques, de nouveaux moyens viennent changés les pratiques culturelles dans le patrimoine. Tell que **le numérique** qui soit utilisé pour valoriser un patrimoine disparu ou qu’il s’agisse de numériser un patrimoine existant, les intersections et croisements ne manquent pas entre patrimoine et numérique. D’ailleurs ; les nouvelles technologies offrent des éventualités innovantes dans la recherche et dans la vulgarisation du

Introduction générale

patrimoine, ils permettent à la fois une description statique et dynamique de ce dernier, ainsi que sa visualisation à son état original.

C'est pourquoi ; et vu la fragilité du patrimoine (notamment architectural et archéologique) nous envisageons de mettre en valeur **le rôle des outils numériques en faveur du patrimoine**. De ce fait, dans cette recherche nous posons les questionnements suivants :

- **Quel est l'apport des outils numériques dans le domaine de la conservation et la mise en valeur du patrimoine ?**
- **L'application de ces outils numériques peut être un levier décisif pour la connaissance, la compréhension, et la conservation du patrimoine bâti ?**

Hypothèses de la recherche :

Les hypothèses adoptées pour cette recherche, s'appuient sur ce qui va suivre :

- La gestion du patrimoine culturel est un processus complexe qui nécessite une base d'information conséquente et une grande coordination entre les différents acteurs mais aussi l'intégration de différentes nouvelles techniques et technologies numériques.
- Le monde s'est ouvert progressivement aux nouvelles technologies, aujourd'hui une grande majorité a accès à l'information et à ses outils de diffusion, donc, l'intégration des outils numériques dans le domaine du patrimoine peut être une solution pour capter le public vers ce dernier et renforcer en lui la culture patrimoniale.
- En Algérie, les procédés de la réalité virtuelle comme étant une technologie innovante peut-être efficace pour la mise en valeur de notre patrimoine sa conservation et sa pérennité.

Objectifs :

- L'intérêt de notre travail de recherche, serait d'étudier et de comprendre les différentes outils et techniques de conservation du patrimoine culturel.
- Dans cette recherche nous mettons l'accent succinctement ; d'une part sur les outils classiques de conservation du patrimoine, d'une part ; il convient de s'interroger et d'étudier la question de **l'emploi des outils numériques** (nouvelles méthodes et de nouveaux outils) et leurs différentes applications d'autre part.
- Comprendre le passage de la conservation traditionnel vers la conservation numérique du patrimoine.

Introduction générale

- Aborder les différents outils numériques innovants utilisés pour la conservation et la mise en valeur du patrimoine notamment en mettant en lumière l'apport de la réalité virtuelle au service de l'accessibilité et la pérennité du patrimoine.
- Essai d'application de la réalité virtuelle pour la conservation du patrimoine et l'évaluation de cette technologie par des étudiants d'architecture. Afin de sensibiliser à son importance et encourager à sa mise en œuvre.

Méthodologie d'approche :

Afin de répondre aux questions de recherche et de confirmer ou infirmer la validité des hypothèses élaborées, nous sommes appuyés sur la démarche méthodologique suivante :

Notre présent travail va être structuré **en trois phases successives**. Dans un premier temps à travers une approche conceptuelle qui permet d'exploiter les fondements, les concepts théoriques et les différentes définitions en relation avec le thème de la recherche. Constitution d'une bibliographie sur les concepts théoriques de base (patrimoine, conservation, numérisation du patrimoine, les différents outils, ...etc.) en s'appuyant sur des ouvrages, thèses, mémoire, rapport sur internetetc.

La deuxième étape consiste à étudier les différents usages des outils traditionnels de conservation du patrimoine ; mais aussi l'accent est mis particulièrement sur la question de **l'emploi des outils numériques** (nouvelles méthodes et de nouveaux outils) et leurs différentes applications. L'étude d'expériences étrangères qui traitent le sujet de la conservation du patrimoine par les outils innovants ; viennent renforcer notre recherche ; afin d'arriver par la suite à mieux comprendre le processus et les apports de ces outils.

Dans la troisième phase, il est question de faire le choix de la réalité virtuelle comme un exemple des outils numériques pour la conservation du patrimoine (présenter des exemples sur des expériences étrangères dans cette technologie) ensuite de vérifier et évaluer cet outil par un essai d'application sur notre cas d'étude à savoir : la grande mosquée de Constantine. En se basant sur les techniques suivantes :

- Investigation du terrain par deux techniques : l'affichage d'un dossier graphique et une restitution virtuelle et l'évaluation par un questionnaire pour collecter un ensemble de données et pouvoir évaluer l'efficacité de cette technologie.

Enfin, pour terminer cette phase, on tentera d'analyser et interpréter les données pour répondre à la problématique et arriver aux objectifs de la recherche.

Structure du mémoire :

Notre recherche se scinde principalement en trois chapitres successifs, prélués d'une **introduction générale**. Le travail de mémoire se terminera enfin par une conclusion générale permettant d'affirmer ou non nos hypothèses de départ

Chapitre I : La conservation du patrimoine notion et définition

- Nous avons abordé les notions et définition du patrimoine avec la conservation et les types de conservation du patrimoine ; ainsi que la notion de conservation numérique.

Chapitre II : Usages des outils numériques dans la conservation du patrimoine

- Distinguer le sujet de recherche à travers la description des outils de conservation du patrimoine et leurs différents usages. On abordera les outils traditionnels et ensuite l'accent sera mis sur **l'emploi des outils numériques** (nouvelles méthodes et de nouveaux outils) et leurs différentes applications notamment : **outils d'acquisition, de modélisation et de visualisation**.

Chapitre III : La réalité virtuelle au service de la pérennité et l'accessibilité du patrimoine culturel

- Il a été question de faire le choix de « la réalité virtuelle » de présenter des expériences étrangères d'application de cette technologie innovante sur le patrimoine et à la fin un essai d'application sur notre cas d'étude pour renforcer notre travail.

Le mémoire aboutira enfin à une **conclusion générale** permettant de vérifier notre hypothèse de départ.

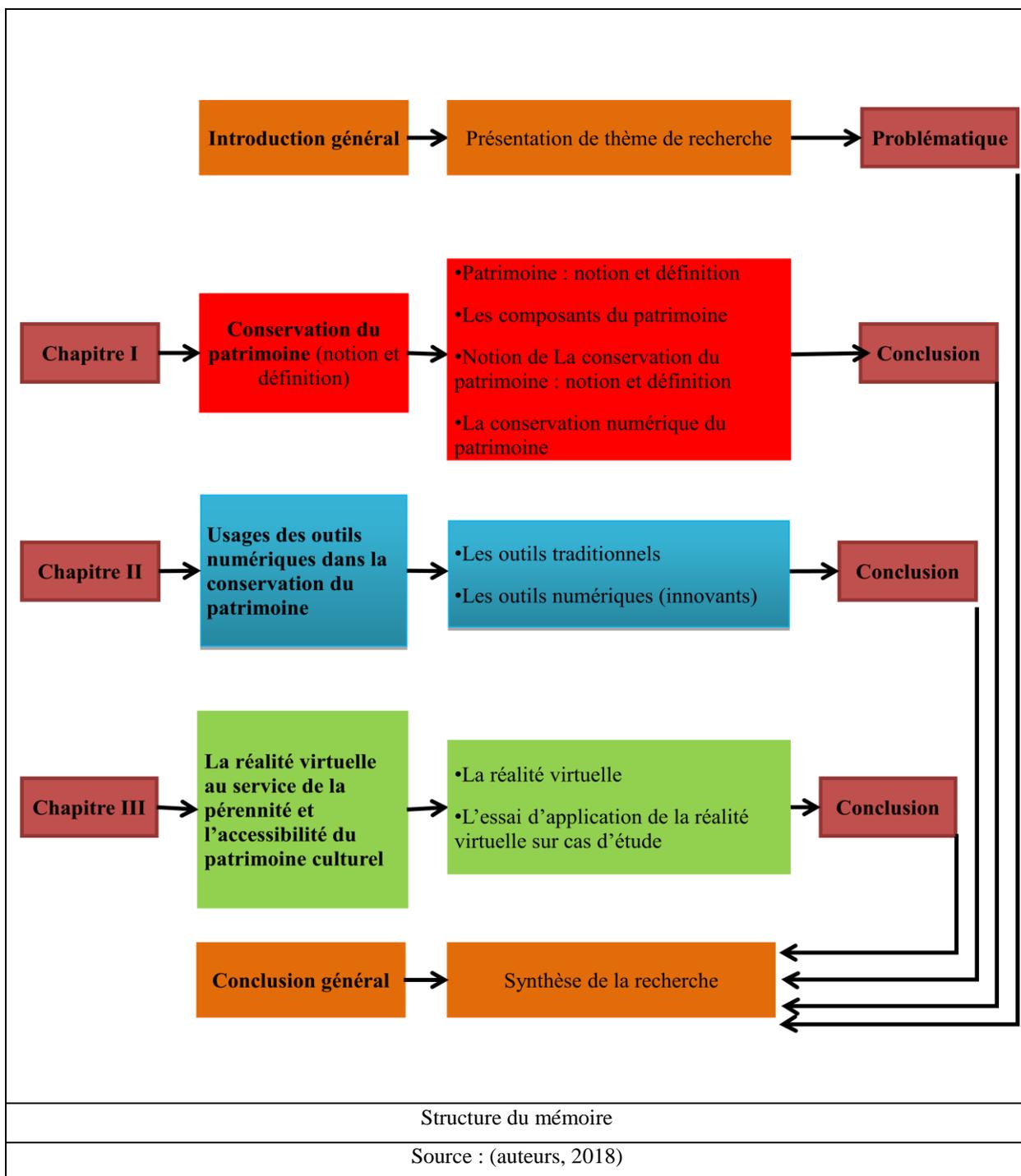
Structure du mémoire :

Notre recherche se scinde en trois chapitres successifs, prélués d'une **introduction générale**.

- **Chapitre I :** nous avons parlé sur les notions et définition du patrimoine avec la conservation et les types de conservation du patrimoine.
- **Chapitre II :** distinguer le sujet de recherche la description des outils de conservation du patrimoine, une introduction contient les outils traditionnels et un grand titre sur les outils numérique ou bien innovant divisé par trois sous-titres on a outils d'acquisition, outils de modélisation et à la fin outils de visualisation.
- **Chapitre III :** nous avons choisi la réalité virtuelle sous le grand titre l'application de la réalité virtuelle sur le patrimoine et à la fin une application pour renforcer notre travail.

Introduction générale

Le mémoire aboutira enfin à une **conclusion générale** permettant de vérifier notre hypothèse de départ.



Introduction :

Legs des anciens, le patrimoine a suscité l'intérêt de l'homme depuis plusieurs siècles. L'homme est attaché à son passé, à ses racines par l'intermédiaire des biens matériels et immatériels laissés par ses anciens sous forme de patrimoine. Avec l'évolution de l'homme ; la notion du patrimoine a elle aussi évolué en gagnant en complexité. Son domaine s'est décloisonné en s'ouvrant à d'autres disciplines scientifiques. La définition du patrimoine s'est enrichie recouvrant ainsi un éventail important de composantes telles que, lieux, bâtiments, objets, monuments, documents, traditions...etc. Aujourd'hui, la notion du patrimoine possède une panoplie de définitions établies par les historiens et les différentes chartes.

En effet, les chartes et les déclarations les plus récentes reposent sur cette nouvelle définition de la notion du patrimoine. Depuis plusieurs années les organismes internationaux, et notamment l'UNESCO, ont participé à la « *prise de conscience* » de l'importance du patrimoine et **sa médiatisation universelle**. L'attitude légitime préconisée pour le patrimoine est celle qui stipule que le patrimoine est la responsabilité et le devoir de transmettre aux générations futures la mémoire du passé. En d'autres termes ; le patrimoine est porteur des messages du passé, son importance a été reconnue mondialement, **sa conservation** est donc **une responsabilité commune** qui se veut **être permanente**. Néanmoins cette manière de considérer le patrimoine est issue de plusieurs définitions présentées dans ce qui suit.

I.1. Patrimoine : notion et définition

I.1.1. Définition de la notion du patrimoine :

Le patrimoine au sens où on l'entend aujourd'hui dans le langage officiel et dans l'usage commun est une notion toute récente qui couvre tout ce qui est hérité et transmis par les ancêtres : patrimoine culturel, naturel, archéologique, religieux.....etc.

Du dictionnaire de la langue française d'Emile Littré, le patrimoine représente le « *Bien d'héritage qui descend suivant les lois des pères et des mères aux enfants* ». Cependant, d'après N. Oulebsir, citant A. Chastel, au-delà du fait qu'il s'agisse de biens à transmettre, cette notion qui à l'origine, « *puise ses racines dans le concept chrétien de l'héritage sacré de la foi et se matérialise par le culte d'objets privilégiés : les écritures sacrées, les reliques, les icônes* »¹, associe au fondement du patrimoine le caractère de vénération.

F. Choay, quant à elle, définit le patrimoine comme « *l'expression qui désigne un fond destiné à la jouissance d'une communauté élargie aux dimensions planétaires et constitué par*

¹OULEBSIR Nabila, « *Les usages du patrimoine, monuments, musées et politique coloniale en Algérie (1830-1930)* », Ed. Maison des sciences de l'homme, 2004, p.13.

l'accumulation continue d'une diversité d'objets qui rassemble leur commune appartenance au passé : œuvres et chefs-d'œuvre des beaux-arts et des arts appliqués, travaux et produits de tous les savoir-faire des humains. »².

Actuellement, si on se réfère à la définition de Patrice Beghain³, chaque objet ayant une empreinte temporelle et faisant référence à une époque historique ou culturelle d'un endroit, possède une dimension patrimoniale, et est le témoin d'une étape dans l'évolution du territoire et donc de l'homme. Il est le vecteur de l'identité entre les générations qui ont vécu sur un même territoire, le seul lien qui perdure, mais qui évolue à travers le temps.

I.1.2. Evolution et élargissement de la notion de patrimoine :

Le patrimoine est un concept qui a connu une évolution, passant **des monuments à différents types de biens patrimoniaux** relevant non seulement du domaine de l'archéologie mais touchant différents édifices urbain ou rural, industriel ou religieux, public ou privé..., allant aujourd'hui aux ensembles bâtis, et embrassant toutes les périodes historiques, y compris la période contemporaine.

- **L'Antiquité :**

Les origines de la notion de patrimoine semblent remonter à **la Grèce antique**, ou ce terme désignait la terre qui satisfaisait les besoins de base d'une famille. Cette terre était transmise de père en fils et d'une génération à une autre, sans être ni vendue, ni échangée⁴. Avec **le droit Romain**, elle fut renforcée comme l'indique l'origine latine de terme « patrimonium », qui vient de « pater monère » : ce qui appartient au père de famille.

- **Le Moyen-âge et la Renaissance :**

Au Moyen-âge, la transmission des biens est exclusivement liée au Sacré et l'œuvre des puissants religieux ou laïcs. Toute la Chrétienté est secouée d'une fièvre des reliques et elle s'organise, alors, autour de leur géographie, générant pèlerinages, prospérité et prestige. Il faut attendre la Renaissance pour que la valeur fondatrice du passé s'affirme réellement.

- **A partir du XVI^{ème} siècle**, l'intérêt pour le passé ne se limite plus aux seuls vestiges grecs et romains, et fini par inventorier un immense corpus d'objets regroupant tout le

² CHOAY Françoise, « *L'allégorie du patrimoine* », Éd du Seuil, Paris, 1992, p 275.

³FAIZA. KHALDI, « *Requalification Des Abords Des Centres Historiques* », Université AboubakrBelkaïd – Tlemcen –, 2017, p11.

⁴LAUDY DOUMIT, « *la valorisation du patrimoine endokarstique libanais* », Thèse de Doctorat de Géographie Option « Aménagement Touristique et Culturel », université Saint-Joseph, Beyrouth, 2007, p33.

nécessaire de la vie quotidienne, publique et privée, du monumental (temples, théâtres...) au minuscule (monnaies et bijoux), passant par les équipements (aqueducs, thermes, ...) etc.

▪ **Vers le XVIII^{ème} siècle** : Le monument historique⁵ devient un phénomène de masse et non uniquement celui d'une élite, il est essentiellement lié à l'essor de la Nation (symbole de l'histoire d'un peuple). Cette notion couvre, aussi, les catégories de monuments historiques constitués par les restes de l'antiquité, les édifices religieux du moyen- âge et quelques châteaux. Des listes d'édifices protégés ont été établies dans les pays européens constituant le patrimoine monumental.

▪ Après la fin de la deuxième guerre mondiale, l'expansion typologique et géographique des biens patrimoniaux ont considérablement évolué. Ainsi une nouvelle vision du « patrimoine » plus élargie et complexe s'est affirmée, notamment en Europe. Cette évolution est bien mise en évidence par les différentes « chartes » et conventions internationales, publiées par le **Conseil international des monuments et des sites** ou **ICOMOS**.

En fait, c'est avec la **Charte de Venise (1964)**, que la définition du patrimoine s'est élargie intégrant le « monument » à son « environnement rural et urbain ». Ensuite c'est à travers les actes de la charte de **Washington (1987)**, que le patrimoine s'est élargi englobant ainsi « les villes historiques », ces dernières avec leur environnement naturel ou anthropique sont considérées comme « *documents historiques* » et expression des « *cultures urbaines traditionnelles* ». Cependant, il existe d'autres chartes telles que : La charte Internationale pour la Gestion du Patrimoine Archéologique (1990), la charte Internationale sur la Protection et la Gestion du Patrimoine culturel subaquatique (1996), la charte Internationale du Tourisme Culturel (1999), la charte du Patrimoine Bâti Vernaculaire (1999), soutenues par d'autres publications qui ont été d'un apport considérable complétant la charte de Venise et celle de Washington.

En effet ; La notion du patrimoine a évolué en fonction des théories et des doctrines qui définissent les critères de son identification et de sa protection. La notion du patrimoine a connu des expansions variées **d'ordre typologique** et **géographique**. Dans le cas de l'ordre typologique, le patrimoine est passé du monument historique en tant qu'objet, au patrimoine comme ensemble historique. Quant à l'**ordre géographique**, le patrimoine est passé du national à l'universel.

⁵ CHOAY F. « *l'Allégorie du patrimoine* », édition du seuil, Paris (France), 1992.p23

I.2. Les composants du patrimoine :

Conçue dans une acception **large**, la notion de patrimoine englobe, aujourd'hui, un ensemble de lieux, de monuments, d'objets matériels et immatériels, à travers lesquels une société fonde son histoire et son identité. On parle de patrimoines architecturaux, archéologiques, ruraux, religieux, maritimes, industriels, urbains, scientifiques, linguistiques... Dans tous ces contextes, il s'agit, toujours, de **transmettre** d'une génération à une autre un patrimoine qui est **valorisé** à chaque étape.

I.2.1. Le patrimoine naturel :

Le patrimoine naturel est constitué par les formations physiques, biologiques et hydrographiques. Il peut contenir également des aires naturelles (marais, forêts anciennes, etc.), qu'elles soient protégées ou non. C'est pour leur rareté, leur valeur écologique ou leurs qualités paysagères que les milieux naturels sont reconnus comme des éléments patrimoniaux à protéger.

Sélectionnés à l'origine pour leur caractère remarquable, ces espaces ont progressivement suscité un vif intérêt bien

que peu spectaculaires. En effet, « *ces milieux sont vivants, évolutifs et fragiles, et méritent à ce titre d'être gérés et préservés, non seulement des dégradations ou perturbations naturelles, mais également des modes d'utilisation du sol et des activités risquant de leur porter atteinte* »⁶.

Le patrimoine naturel a fait l'objet de reconnaissance à l'échelle internationale principalement à travers la convention concernant la protection du patrimoine naturel, établie par l'U.N.E.S.C.O. en Novembre 1972 (convention du *patrimoine* mondial) et que l'Algérie avait ratifié avec l'ordonnance 73-38 du 25 juillet patrimoine naturel est identifié avec l'article 2 de cette convention.

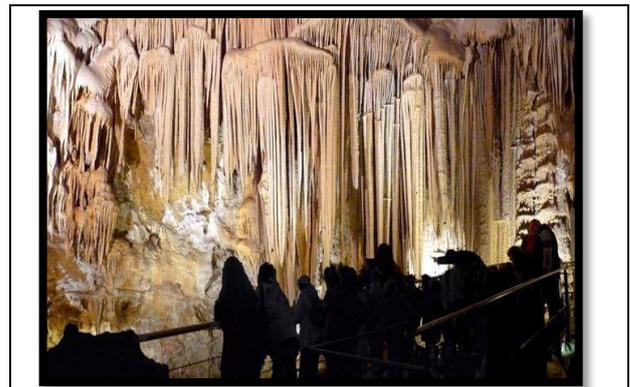


Photo. I.1: Le gouffre d'Esparros

Source :(En ligne)

<https://www.ladepeche.fr/article/2017/08/03/2622413-le-gouffre-d-esparros-un-joyau-souterrain-preserve.html>

⁶Chantal Aousseur-Dolléans« *Guide de la protection des espaces naturels et urbains* », Edition ; la Documentation française, 1991.

I.2.2. Le patrimoine culturel :

Le patrimoine culturel « est tout bien - site, monument, vestige, objet, valeur ou mœurs - meuble ou immeuble, matériel ou immatériel, légué par nos ancêtres, qu'il soit découvert, recherché, en terre ou en mer, ou reproduit et qui, en raison de son importance pour les sciences, les arts, les croyances, les traditions, la conservation, ou la vie quotidienne, présente un intérêt pour la civilisation nationale ou universelle. »⁷



Photo. I.2: Cathédrale de Leon, Espagne

Source :(En ligne)

<https://fr.dreamstime.com/photo-stock-cath%C3%A9drale-de-leon-Espagne-image26221110>

I.2.2.1. Le patrimoine culturel immatériel :

Le patrimoine culturel immatériel (PCI) est une catégorie de patrimoine issue de la Convention pour la sauvegarde du patrimoine culturel immatériel adoptée par l'UNESCO en 2003.

La notion de patrimoine culturel immatériel est apparue au début des années 1990, après les recommandations de 1989 sur la protection des cultures traditionnelles, et en contrepoint du patrimoine mondial tourné essentiellement vers les aspects matériels de la culture. L'expression « patrimoine culturel immatériel » est officialisée en 1993 lors de la conférence internationale sur les nouvelles perspectives du programme du patrimoine immatériel de l'Unesco⁸



Photo. I.3: Mawlid al-Nabi celebrations

Source : (En

ligne)<http://www.middleeasteye.net/fr/multimedia/photo-galleries/mawlid-al-nabi-celebrations-across-middle-east-91412975>

La Convention pour la sauvegarde du patrimoine culturel immatériel adoptée par l'UNESCO en 2003 propose cinq grands « domaines » dans lesquels se manifeste le patrimoine culturel immatériel :

⁷LA MINISTERE DE LA CULTURE MAROCAIN. « Définition du patrimoine culturel et ses composantes », Ed. Dar Al Manahil, Maroc, 2010, p38

⁸Christian Hottin .« Le patrimoine culturel immatériel : premières expériences en France », Arles, Actes Sud, 2011, p365.

- Les traditions et expressions orales, y compris la langue comme vecteur du patrimoine culturel immatériel ;
- Les arts du spectacle ;
- Les pratiques sociales, rituels et événements festifs ;
- Les connaissances et pratiques concernant la nature et l'univers ;
- Les savoir-faire liés à l'artisanat traditionnel.

I.2.2.2. Le patrimoine culturel matériel :

Le patrimoine dit « matériel » est surtout constitué des paysages construits, de l'architecture et de l'urbanisme, des sites archéologiques et géologiques, de certains aménagements de l'espace agricole ou forestier, d'objets d'art et mobilier, du patrimoine industriel (outils, instruments, machines, bâti, etc).

- **Le patrimoine culturel mobilier :**

Sont considérées composantes du patrimoine culturel mobilier : « *vestiges archéologiques, les objets ethnographiques, les créations artistiques, les œuvres artisanales, les œuvres de culture populaire, les archives, les manuscrits, les collections privées et publiques qui, du point de vue scientifique, historique, anthropologique, artistique, esthétique ou traditionnel, ont une valeur nationale et/ou universelle, qu'ils soient des éléments isolés ou des collections.* »⁹



Photo. I. 4: Bureau estampillé Teuné (Me en 1766)

Source : (En ligne) <http://www.sppef.fr/category/nos-combats/08-la-sauvegarde-du-patrimoine-mobilier/>

- **Le patrimoine culturel immobilier :**

*Les monuments : « *œuvres architecturales, œuvres de sculpture ou de peinture monumentale, éléments ou structures à caractère archéologique, tels que inscriptions, gravures ou peintures rupestres, grottes, monuments funéraires ou tout autre élément, qui présentent une valeur pour l'art, l'histoire ou la civilisation nationale et/ou universelle.* »¹⁰

⁹LE MINISTERE DE LA CULTURE MAROCAIN. « *Définition du patrimoine culturel et ses composantes* », Ed. Dar Al Manahil, Maroc, 2010, p38

¹⁰Opcit ,p39.

Chapitre I : Conservation du patrimoine notion et définition

*Les sites : « œuvres de l'homme ou œuvres conjuguées de l'homme et de la nature, y compris les paysages culturels et sites archéologiques qui présentent pour l'art, l'histoire ou la tradition une valeur nationale et/ou universelle. »¹¹

*Les ensembles historiques et traditionnels : « Immeubles construits ou non, isolés ou réunis tels que les médinas, les villages, les ksour, les casbahs, les quartiers urbains et ruraux, les constructions à caractère militaire, telles que les forteresses ou les murailles, ou civils, tels que les ponts, les aqueducs, les greniers, les sites sacrés, les lieux de cultes, les mines, les usines....etc. Qui, en raison de leur architecture, de leur unicité, harmonie et intégration dans leur environnement, présentent une valeur nationale et/ou universelle. »¹²



Photo. I.5 : château de Versailles

Source : (En ligne) <http://jardins-chateaux.paris.com/fr/chateaux/chateau-de-versailles/>

I.2.2.3. Le patrimoine culturel subaquatique :

Toutes les traces d'existence humaine se trouvant sous les eaux territoriales et qui correspondent notamment aux sites, structures, objets, vestiges humains ou fauniques, épaves de navires, aéronefs ou autres véhicules ou engins, en partie ou en totalité avec leur cargaison ou autre, ainsi que leur contexte archéologique et naturel.¹³



Photo. I. 6: patrimoine culturel subaquatique à sansalvador (El Salvador)

Source : (En ligne) <http://jardins-chateaux.paris.com/fr/chateaux/chateau-de-versailles/>

¹¹LE MINISTERE DE LA CULTURE MAROCAIN. « Définition du patrimoine culturel et ses composantes », Ed. Dar Al Manahil, Maroc, 2010, p39

¹²Op cit , p39.

¹³Op cit , p40.

I.3. La conservation du patrimoine : notion et définition

I.3.1. Définition de la conservation :

La conservation se définit comme étant l'ensemble des processus et des actions entrepris sur un objet, ayant pour objectif le maintien de sa signification¹⁴. Elle traite des questions d'entretien permanent du patrimoine matériel et d'écarter toute cause d'altération effective ou potentielle afin de lui prolonger la vie, c'est à dire la forme et le style et/ou ses matériaux constitutifs.

La conservation se réfère également aux questions de **l'identification, de politique, de réglementation et de sensibilisation** liées à l'ensemble du patrimoine culturel et de l'environnement bâti. Cependant, les démarches de la conservation se diversifient selon des contextes spécifiques et peuvent répondre à des objectifs précis. « *Un des objectifs de la conservation est de ne pas abaisser les niveaux de vie des occupants des aires historiques ; ainsi il peut être nécessaire de réhabiliter, en fonction de standards et de lignes directrices adéquats* »¹⁵. La conservation a également changé de point de vue : hier centrée uniquement sur **le seul bien**, de par la méconnaissance des incidents environnementaux, elle aborde aujourd'hui **le bien dans son environnement**, faisant de la conservation et du patrimoine ce que l'écologie est à l'homme.

Sans doute, la notion de conservation du patrimoine a plusieurs définitions ; on notera (sans prétendre à l'exhaustivité) ce qui suit :

- **Selon la charte de Venise (1964) :** « *La conservation des monuments est toujours facilitée par leur réemploi dans un but utile à la société. Un tel usage est donc désirable mais il ne doit pas modifier l'apparence ou la décoration du bâtiment. Ce n'est que dans ces limites que des modifications exigées par un changement de fonction peuvent être envisagées et autorisées* »¹⁶.
- **Selon la Conférence de NARA (1994) :** la conservation « *est l'ensemble d'opérations visant à comprendre une œuvre, à connaître son histoire et sa signification, à assurer sa sauvegarde matérielle et, éventuellement, sa restauration et sa mise en valeur* ». ¹⁷
- **Selon la Charte de Cracovie (2000) :** la conservation « *est l'ensemble des comportements d'une communauté qui contribuent à faire perdurer le patrimoine et*

¹⁴ Kevin L. Jones, « *Caring for archaeological sites* », Edition. Département of conservation, New Zélande, 2002, p18

¹⁵ FEILDEN B.M., ET JOKILEHTO J, « *Guide de gestion des sites du patrimoine culturel mondial* ». Première édition, Rome, 1993, p3

¹⁶ « *Charte de Venise* », Venise, Mai 1964, Article 5.

¹⁷ Ministère Culture Communication, « *Termes relatifs aux interventions sur les monuments historiques* », direction générale des patrimoines - janvier 2013, p6.

ses monuments. La conservation est obtenue en se référant à la signification de l'entité, avec les valeurs qui lui sont associées ».¹⁸

- **Selon la déclaration d'engagement éthique des membres de l'ICOMOS (2002) :** « On entend par conservation tous les processus d'entretien d'un lieu dans le but d'en conserver l'importance culturelle. Cela peut comprendre, selon les circonstances, les processus de maintien ou de réintroduction d'un usage, les processus de maintien de souvenirs et de significations, les processus de maintenance, de préservation, de restauration, de reconstruction, d'adaptation et d'interprétation et implique le plus souvent une association de plusieurs de ces processus »¹⁹.

I.3.2. La conservation du patrimoine selon les chartes :

- **La charte de Venise 1964 appelée charte internationale pour la conservation et la restauration des monuments et des sites historiques :**

La charte de Venise est le fruit du II^{ème} congrès des architectes et des techniciens des monuments historiques, tenu à la ville citée entre le **25** et **31 mai 1964** sous l'égide de l'UNESCO. En fait, la charte de Venise (1964) est l'unique charte considérée en tant que tel, vu que celle d'Athènes de 1931 (et celle de la restauration italienne de 1932) ont été élaborées dans des conditions historiques spécifiques et s'étaient déroulées plutôt sous forme de réunion amicale entre professionnels, au cours de laquelle des problèmes ont été exposés en attendant d'avoir des propositions de solutions.²⁰

Il est utile de rappeler qu'à partir de la II^e guerre mondiale jusqu'au début des années 60 un large débat sur la protection des villes historiques a été mené en Italie, à travers plusieurs congrès et publications. Les réflexions menées vont permettre l'extension du champ patrimonial et la reconnaissance : des **centres historiques**.

Effectivement, l'intérêt patrimonial va connaître une évolution remarquable avec les actions et le travail soutenus des organismes internationaux. Du **monument isolé** et de son abord à la reconnaissance de **la ville historique**. Le champ du patrimoine a étendu ses limites s'imposant dans tous les domaines de la vie des nations, ainsi la réclamation de la valeur de « *l'ambiente* » représente un anéantissement définitif de la culture de l'isolement du monument, et un reflet du développement d'une culture patrimoniale vaste incluant les jardins, les paysages, et la valeur de l'architecture vernaculaire et spontanée.

¹⁸Ibid

¹⁹ ICOMOS, « *Déclaration d'engagement éthique des membres* », Madrid, 2002.

²⁰F.BORSI, « *Ventianni di beniculturali* », édition scientifique 1995, Italie, 1995, page 42.

- **La charte européenne du patrimoine architectural ou charte d'Amsterdam 1975 :**

Après de longues années de préparation, cette charte initiée par le conseil d'Europe, a été proclamée par le congrès du patrimoine européen en octobre 1975 à Amsterdam. L'année en question proclamant en outre cette année comme l'année européenne du patrimoine architectural. Dorénavant, la protection du patrimoine architectural est intégrée dans les politiques relatives à l'urbanisme et l'aménagement du territoire. Cette vision vient en réaction aux effets désastreux des opérations de « rénovations urbaines » qui ont dénaturé profondément le caractère des quartiers anciens. Par ailleurs, l'ampleur de la croissance urbaine en cette période a rendu nécessaire la mise en place d'une nouvelle méthode de programmation du développement de l'environnement urbain ou naturel, en intégrant les servitudes nécessaires à la protection du patrimoine.

Cette charte relative à la protection du patrimoine historique a eu le mérite d'innover en instituant une nouvelle méthode dénommée « *conservation intégrée* »²¹. Cette dernière agit à différents niveaux d'action et elle prend en charge différents aspects tels que l'économique, le social etc. Elle comporte en elle des mécanismes administratifs et des instruments législatifs pour assurer la mise en œuvre. Cette démarche reflète le lien profond qui existe entre **le domaine bâti et le domaine humain**.

Le monument architectural qui a fait l'objet de soin particulier de restauration et d'entretien, se trouve aujourd'hui face à un nouveau défi celui d'acquiescer une fonction active au sein de son contexte pour pouvoir survivre et d'assurer sa protection. Cette démarche est appliquée de façon similaire à l'échelle de l'ensemble historique, où il s'agit dorénavant de réfléchir sur les modalités de préservation du cadre bâti, en y apportant les réponses aux différents problèmes posés par les activités développées par la population résidant dans cet espace. **La conservation intégrée** se définit ainsi « *comme étant une action active et dynamique dans le processus de développement d'une société, fondée sur la recherche d'un équilibre permanent entre l'épanouissement culturel, intellectuel et moral, et la progression apportée par les nouvelles technologies.* »²²

²¹ G H Bailly " *Le patrimoine architectural -les pouvoirs locaux dans la politique de conservation intégrée* " Ed Delta Vecv, 1975, page 30.

²²BENSEDDIK, Souki- Habiba, « la valorisation des monuments historiques en Algérie », Université de Constantine, 2012, p21.

- **Recommandation relative à la sauvegarde des ensembles historiques ou traditionnels et leur rôle dans la vie contemporaine-Nairobi, 26 novembre 1976 :**

Adoptée par la conférence générale de l'UNESCO, en sa dix-neuvième session, qui s'est déroulée à Nairobi le 26 novembre 1976, cette recommandation a été établie en obéissant à la même logique que la démarche de **la conservation intégrée** déjà présentée par la charte d'Amsterdam. L'apport principal de cette recommandation réside dans **la pleine reconnaissance des abords des ensembles historiques en qualité de figure spatiale à mettre sous tutelle patrimoniale au même titre que les ensembles historiques ou traditionnels.**

Par conséquent, ces ensembles sont définis par tout groupement constitué de constructions et d'espaces y compris les sites archéologiques et paléontologiques composant un établissement humain en milieu urbain ou en milieu rural, dont la cohésion et la valeur sont reconnues du point de vue archéologique, architectural, historique, préhistorique, esthétique ou socioculturel. Ainsi, L'"environnement" de ces ensembles est défini par "*le cadre naturel ou construit qui affecte la perception statique ou dynamique de ces ensembles ou qui leur est rattaché de façon immédiate ou par des liens sociaux, économiques ou culturels*"²³es différentes chartes et recommandations ont permis d'enrichir le sens donné au patrimoine.

I.3.3. Les types de la conservation :

On notera la conservation préventive, curative ; la conservation-restauration et la conservation intégrée.

I.3.3.1. La conservation préventive :

La conservation préventive est une démarche globale qui recouvre l'ensemble des mesures prises afin de prolonger la vie des objets en prévenant, dans la mesure du possible, leur dégradation naturelle ou accidentelle, tout en garantissant son accessibilité aux générations présentes et futures. En d'autres termes « *c'est toute action directe ou indirecte ayant pour but*



Photo. I. 7 : Stockage des peintures dans des portefeuilles de polypropylène (conservation préventive)

Source ::(En ligne)

<https://journals.openedition.org/ocim/1306>

²³UNESCO, « *Recommandation concernant la sauvegarde des ensembles historiques ou traditionnels et leur rôle dans la vie contemporaine* », (En ligne), <http://portal.unesco.org/fr/ev.php> URL_ID=13133&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html, (consulté le 31-05-2018).

d'augmenter l'espérance de vie d'un élément ou ensemble d'éléments du patrimoine. »²⁴

La conservation préventive consiste à agir indirectement sur un bien culturel ou un ensemble de biens culturels, **afin d'éviter ou de retarder les détériorations**. Elle s'exerce aussi, de manière impérative, lors de la manipulation, l'utilisation, le transport, le contrôle des conditions climatiques, l'entreposage et l'exposition des biens culturels. Les objectifs de la conservation préventive c'est de concevoir, de planifier et de mettre en œuvre des systèmes et des procédures efficaces pour assurer la sauvegarde des collections (voir photo n 7 ci-dessus).

I.3.3.2. La conservation curative :

La conservation curative l'ensemble des actions directement entreprises sur un bien culturel ou un groupe de biens ayant pour objectif d'arrêter un processus actif de détérioration ou de les renforcer structurellement. Ces actions ne sont mises en œuvre que lorsque l'existence même des biens est menacée, à relativement court terme, par leur extrême fragilité ou la vitesse de leur détérioration. Ces actions modifient parfois l'apparence des biens. ²⁵

I.3.3.3. La conservation-restauration :

La fédération française des professionnels de la conservation et de la restauration (FFCR)²⁶a définit la conservation-restauration comme suit : c'est une discipline qui se donne pour mission de sauvegarder la pérennité, le sens et l'intégrité matérielle des biens culturels au bénéfice des générations présentes et futures. Elle s'attache donc à mettre en œuvre tout ce qui est nécessaire pour transmettre notre patrimoine dans le meilleur état et dans les meilleures conditions possibles. Elle précise que cette discipline regroupe des interventions bien spécifiques de sauvegarde d'un objet ou d'un monument dans le respect de sa signification à la fois culturelle, historique, esthétique, éthique et artistique...

I.3.3.4. La conservation intégrée :

La conservation intégrée, idée novatrice du Conseil de l'Europe, peut être définie comme :

²⁴Gaël de Guichen, « *Vade-mecum de la conservation préventive* », Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France, 6 juillet 2006, p6

²⁵ICOM-CC, « Terminologie de la conservation-restauration du patrimoine culturel matériel », l'occasion de la XVe Conférence triennale, New Delhi, 22-26 septembre 2008,p2

²⁶FFCR : La fédération française des professionnels de la conservation et de la restauration, association, 1992.

Chapitre I : Conservation du patrimoine notion et définition

- « Une approche systématique (holistique) qui traite des éléments et des valeurs, mais aussi des systèmes dynamiques dans le temps et de leur impact sur le patrimoine »²⁷. Cette nouvelle politique qui va au-delà de l'idée largement répandue de **la protection ponctuelle** du patrimoine bâti, elle consiste en outre à **prendre en charge l'environnement dans lequel s'insère** celui-ci.
- « Le résultat de l'action conjuguée des techniques de la restauration et de la recherche de fonctions appropriées »²⁸.

Elle « consiste à traiter (conserver, restaurer, réhabiliter) les constructions et les ensembles anciens pour les rendre utilisables pour la société moderne et à les intégrer dans les plans d'aménagement urbains et ruraux, de l'échelon de l'îlot à celui du territoire »²⁹.

En effet ; la notion de conservation intégrée exige de définir simultanément deux notions³⁰ :

D'abord **la conservation** : Elle englobe toutes les mesures ayant pour objectif de préserver les objets patrimoniaux contre les activités destructrices, l'abandon et l'exploitation indue. Mais, il est impératif de ne pas considérer les éléments du patrimoine culturel comme étant des œuvres d'art uniquement plastiques. Les édifices ont constitué l'enveloppe d'une activité qu'elle soit culturelle, religieuse, commerciale, etc.

De ce fait, construction et fonction sont intimement liées voire indissociables.

Ensuite, la conservation intégrée induit une autre notion, celle de : **l'intégration**. Cette dernière peut être définie comme étant la réinsertion économique et sociale du patrimoine culturel dans le cadre de vie des sociétés, et ce à travers l'attribution de nouvelles fonctions et la mise en œuvre de programmes de :

- **Revitalisation** : c'est-à-dire rendre vie aux monuments, aux ensembles architecturaux et urbains grâce à un choix de fonctions compatibles avec la prise en compte du potentiel réceptif de ces derniers. L'appropriation et l'appréciation des structures du patrimoine culturel par le public est une meilleure garantie de leur conservation.
- **Réhabilitation** : on peut la définir comme étant l'ensemble des opérations exercées sur les constructions affectées spécialement à l'habitat. Ces opérations visent à rendre

²⁷ MOUMOUNI Charles, SIMARD Cyril, « Journalisme et patrimoine mondial », presse de l'université Laval, 2007, p39.

²⁸ Conseil de l'Europe, « Patrimoine culturel européen », Ed. Conseil de l'Europe, Strasbourg, 2003, p204.

²⁹ MOUMOUNI Charles, SIMARD Cyril, « Journalisme et patrimoine mondial », presse de l'université Laval, 2007, p39.

³⁰ Conseil de l'Europe, « Patrimoine culturel européen », Ed. Conseil de l'Europe, Strasbourg, 2003, p204.

des constructions anciennes compatibles avec les exigences actuelles en matière de confort et de facilité l'exploitation.

I.3.4. Le processus conservatoire :

Le processus conservatoire consiste en l'identification, la compréhension, l'interprétation et la présentation du patrimoine bâti. Il inclut différentes phases :

I.3.4.1. Enquête et prospection :

Inspecter et décrire l'objet patrimonial : monument, sites, ensembles urbains ou ruraux, afin de donner une vision claire sur ses conditions historiques, physiques, culturelles et environnementales. Ces patrimoines impliquent des valeurs et des significations propres à prendre en compte, impérativement, dans tout processus de conservation.³¹

I.3.4.2. Définition de la signification et des valeurs :

A travers une approche critique, cette phase tente d'évaluer la signification et les valeurs du bien culturel pris dans son contexte en tenant compte des critères d'ordre culturel, social ou économique. Cependant, la conservation ne répond pas uniquement à des préoccupations d'ordre théorique, elle implique aussi des procédures techniques et scientifiques.³²

I.3.4.3. Analyse :

Cette phase s'attache à examiner soigneusement le bien culturel en s'appuyant sur des méthodes scientifiques. Elle établit un diagnostic détaillé du bien contenant des informations sur son intégrité physique, l'état des matériaux constitutifs, sa vulnérabilité, les menaces et les risques ainsi que sa signification spirituelle. Une fois le bien culturel soigneusement analysé, il conviendra, d'inscrire le bien patrimonial dans une stratégie projetée à long terme, afin de réussir le processus de conservation.³³

I.3.4.4. Formulation des stratégies et de la mise en œuvre :

Considérée comme phase finale, elle constitue l'aboutissement qui finalise le processus de réflexion effectuées dans les phases précédentes. En effet, Au cours de cette phase, des plans et des programmes de conservation et de gestion du bien culturel sont projetés à court, à moyen ou à long-terme tout en s'appuyant sur les informations recueillies lors de l'enquête et

³¹Mouhtadi KHELAFI, Djamal eddine KHELFA, « La valorisation du patrimoine urbain en Algérie », Université de jjel, 2016, p31.

³²Op cit, p32

³³Ibid

la prospection, de la définition de la signification et des valeurs et bien sûr l'analyse. Ces programmes édictent des principes et des opérations à entreprendre sur le bien : maintenance, entretiens périodiques. Ils visent à assurer un environnement stable propice à sa survie en contrôlant ses paramètres et en maîtrisant les changements indésirables.³⁴

I.4. La conservation numérique du patrimoine :

Depuis près de vingt ans, l'émergence et la démocratisation **des nouvelles technologies numériques** bouleversent les modes de vie, de travail, de communication. Ce développement touche tous les domaines, y compris le monde de **la culture et du patrimoine**. Les projets de numérisation sont multiples, ils touchent de fonds papier, les images, les musées avec de nombreuses initiatives innovantes. En effet, le patrimoine peut également être numérisé grâce des techniques qui visent à reproduire, conserver et valoriser numériquement des œuvres, des sites dégradés ou inaccessibles. Ces techniques offrent de nombreuses possibilités au patrimoine notamment avec des outils de partage et de diffusion des connaissances très puissants.³⁵

I.4.1. La définition de numérisation :

Le Dictionnaire encyclopédique de l'information et de la documentation définit la numérisation comme : « *un procédé électronique de production de signaux électriques numériques soit à partir d'un document ou d'un objet physique. Le fichier numérique permet des traitements informatiques et, notamment, la réplique illimitée et sans perte de qualité indispensable à l'archivage et à la diffusion des documents* ». ³⁶

Donc, la numérisation est un procédé qui consiste à coder et enregistrer l'œuvre sur un support électronique (disque dur, bande magnétique, Cédérom...) à l'aide des scanners qui effectuent des relevés photographiques d'haute-fidélité, tant au niveau du rendu de la texture que des couleurs. L'objectif du modèles 3D est d'apporter aux collectionneurs, aux conservateurs, aux restaurateurs, aux historiens ; une documentation complète qui améliore la compréhension du monument et participera à sa conservation.

I.4.2. Pour quoi numériser ?

La numérisation du patrimoine peut toucher les monuments, les sites archéologiques, les musées, les bibliothèques. Cette partie vise à s'interroger sur les raisons qui ont motivé la

³⁴ibid

³⁵ JAQUET, Amélie, « *Valorisation du patrimoine sur Internet : des visites virtuelles pour l'Inventaire* », sciences de l'information et des bibliothèques. Lyon : Université de Lyon, 2011, p66.

³⁶Le Dictionnaire encyclopédique de l'information et de la documentation.

conduite de numérisation. On peut résumer les raisons de la conservation numérique du patrimoine en deux points primordiales :

I.4.2.1. Voir l'aspect passé d'un site :

La raison principale pour numériser un monument ou un site virtuellement est l'offre qu'elle permet aux historiens, aux archéologues et au grand public, de voir à quoi ressemblait un site dans le passé que ce soit avant sa dégradation ou sa destruction totale, avant des travaux effectués au cours de son histoire, ou bien avant sa restauration à l'époque contemporaine. Lorsque l'on se trouve devant un site incomplet, il arrive souvent de se demander quel aspect avait celui-ci dans le passé.

Selon l'administrateur de l'Abbaye de Cluny, Gérard Poteau, « *les visiteurs qui se rendent sur les lieux s'attendent à voir le monument sur pied, et lorsqu'ils s'aperçoivent ou se rappellent qu'il est détruit en grande partie, ils ressentent une frustration. Il est permis de penser que l'imagination et la curiosité sont deux facteurs poussant le public à vouloir voir le monument dans son intégralité, dans l'état correspondant bien souvent à l'apogée de son histoire, donc une numérisation serait tout à fait imaginable pour permettre de visualiser l'intérieur de la grotte à volonté.* »³⁷

I.4.2.2. L'ouverture des sites au tourisme et à la médiation culturelle :

Il est en effet difficile pour le public d'imaginer l'ampleur et l'histoire d'un site lorsqu'il est enfoui, partiellement ou totalement détruit. Reconstitué virtuellement, le monument devient accessible à tous, son évolution et son identité sont plus claires, ainsi le public comprend plus facilement. Derrière la numérisation se cache donc une nouvelle manière, plus visuelle et ludique, de communiquer sur le patrimoine bâti. Utiliser cette reconstitution c'est aussi participer à la valorisation touristique du site en renouvelant la muséographie et en enrichissant l'offre culturelle, **la numérisation est un outil de médiation et un outil de visite.**

En effet, on peut dire que « *le principe virtuel permet également de valoriser le patrimoine d'un monument, un site et peut-être une ville, le virtuelle permet aussi de retracer l'histoire autrement que dans le confinement d'une salle d'exposition, ceci lorsque le dispositif de visualisation utilisé est mobile.* »³⁸

³⁷ MERCIER, Julie. « *La reconstitution virtuelle : outil de valorisation touristique des sites patrimoniaux* », master professionnel Valorisation Touristique des Sites Culturels. Paris 1 : Panthéon Sorbonne, 2010, p14.

³⁸Ibid

I.4.3. L'apport de numérisation dans le domaine de valorisation du patrimoine :

Habituellement, le déplacement était le seul moyen pour visiter des musées ou des sites archéologiques ou même entrer dans les bibliothèques pour lire des livres, maintenant la révolution numérique ouvre des voies encore inédites en proposant de nouvelles lectures, de nouveaux modes d'exploitation. On peut résumer ce nouvel apport en trois points essentiels :

I.4.3.1. Faciliter l'accès au patrimoine :

Le mot « accessible » recouvre à la fois un triple sens, il signifie en premier lieu la possibilité effective d'atteindre ou visualiser l'œuvre, et en deuxième lieu la gratuité ou des tarifs qui ne créent un obstacle à personne, mais en troisième lieu, accessible signifie aussi lisible, aisé à comprendre par tous. Ce dernier est le plus essentielle pour que la condition de diffuser « au plus grand nombre » devienne réalité.³⁹

Cette facilité d'accès est traduite par des nouvelles plateformes qui offrent au monde culturel des possibilités nouvelles d'échange, de création, d'éducation et de partage des connaissances en permettant à l'utilisateur l'expérience la plus complète et la plus innovante du patrimoine numérisé. Il s'agit sur des sites Internet, qui permet de simuler une expérience de visite, de confrontation ou de consultation réelle, que ce soit en offrant à l'utilisateur la possibilité de se déplacer virtuellement au sein d'une salle ou d'une exposition, de tourner autour d'une œuvre et un monument reconstituée en trois dimensions, ou même de feuilleter fictivement les pages d'un livre numérisé. De plus, le ministère de la culture et de la communication français considère que : « *La numérisation et l'accessibilité en ligne des contenus culturels sont essentielles à la valorisation du patrimoine, au dynamisme de la création de contenus et à l'émergence de nouveaux services en ligne. Elles contribuent à la démocratisation de l'accès à la culture, au développement de la société de l'information et de l'économie de la connaissance* ». ⁴⁰

A titre d'exemple, « *le Musée du Louvre offre des visites virtuelles et il donne la possibilité de visualiser en permanence plus de 30 000 œuvres représente dix millions de visites sur le site du Louvre. Le Château de Versailles a également expérimenté en juin 2007 un système de visite virtuelle qui permet aux internautes de prendre gratuitement à distance les commandes d'un robot surmonté d'une caméra haute définition pour déambuler pendant 25 minutes dans différentes pièces du Château.* » ⁴¹

³⁹ ORY-LAVOLLEE Bruno. « *La diffusion numérique du patrimoine, dimension de la politique culturelle. Rapport à Mme la Ministre de la Culture et de la Communication* », France, 2002,p28.

⁴⁰ BOURGEAUX, Laure. « *Musées et bibliothèques sur Internet : le patrimoine au défi du numérique* ». Master2 Histoire et politique des musées et du patrimoine. Paris : Université Panthéon Sorbonne, 2009,p162.

⁴¹DUMOLIN, Benoît. « *Valoriser le patrimoine culturel l'apport du numérique* », France, 2008, p65.

Donc, l'accessibilité en ligne des contenus culturels est devenue très facile, cette facilité renverse l'attention du public à l'égard du patrimoine, et cela montre la réelle capacité de l'internet à être le vecteur du savoir de future en matière de valorisation du patrimoine et de rendre accessibles au grand nombre de public les œuvres capitales et assurer la plus vaste audience à notre patrimoine culturel.

I.4.3.2. La conservation des œuvres :

La numérisation est venue comme un outil incontournable pour une volonté d'offrir de nouveaux points d'accès à des œuvres héritées du passé, les rendre accessibles à tous, essentiellement dans le but d'assurer une conservation de ces œuvres et de lutter contre la menace de disparition, l'enregistrement de ces dernières œuvres sur des supports numérisés constitue une archive qui contient des copies exactes destinée à représenter la recherche et la divulgation.⁴²

Ory-Lavollée ajoute à ce propos : « *La numérisation, en permettant de reproduire des œuvres d'art sans dégradation et à l'infini, et de les diffuser à l'échelle planétaire, semble offrir des conditions presque idéales, et jusqu'ici jamais atteintes, à leur circulation. [Par ailleurs], la numérisation sert le patrimoine culturel de nombreuses façons, et notamment en permettant sa préservation : [...] la copie numérique permet une préservation des œuvres, mais également de faire diminuer la pression du public sur celles-ci* ». ⁴³

I.4.3.3. Préparer, prolonger et mémoriser la visite :

Les contenus numériques ont un rôle à jouer, ils permettent aux visiteurs de préparer, prolonger et mémoriser leur visite, en permettant à ceux qui veulent visiter l'œuvre réelle de se faire une idée, en sélectionnant les œuvres qu'ils iront voir, les horaires... Ils offrent aussi une possibilité de revenir après la visite sur le site internet pour revoir les œuvres qu'ils ont vues pendant la visite réelle, ou celles qu'ils n'ont pas eu la possibilité de les voir, en offrant enfin à un large public la possibilité d'acquérir des connaissances nouvelles. Dans ce contexte, des grandes institutions telles que le Louvre ou le Château de Versailles ont obtenu un grand succès auprès du public, donc l'ère de la numérisation offre sans doute des perspectives nouvelles pour se comporter avec le patrimoine.⁴⁴

⁴²JAUQUET, Amélie, « *Valorisation du patrimoine sur Internet : des visites virtuelles pour l'Inventaire* », sciences de l'information et des bibliothèques. Lyon : Université de Lyon, 2011, p66

⁴³ORY-LAVOLLEE Bruno. « *La diffusion numérique du patrimoine, dimension de la politique culturelle. Rapport à Mme la Ministre de la Culture et de la Communication* », France, 2002, p21.

⁴⁴IN SLIDESHARE, « *La diffusion numérique du patrimoine* », [En ligne] : <https://www.slideshare.net/ArchiGuelma/la-diffusion-numrique-du-patrimoine>

I.4.4. Visite virtuelle ou visite réelle ?

La contradiction existante entre le réelle et le virtuelle nous amène à s'interroger sur la place que prend l'expérience culturelle sur internet à l'égard de la visite réelle. La crainte soulevée de voir la fréquentation baisser à la suite de la mise en ligne de contenus paraît en tout état de cause infondée, car l'expérience a montré que le disque compact n'avait pas vidé la salle de concert, et que la télévision et la vidéo n'ont pas tué le cinéma en salle, il paraît donc plus probable que les fréquentations culturelles virtuelles non seulement ne feront pas diminuer les pratiques réelles, mais les stimuleront.

On peut donc constater que les visites virtuelles sont utilisées comme un complément plutôt que comme un substitut pour l'expérience culturelles réelles malgré l'offre que nous donne le numérique, les théories sur la consommation culturelle se joignent à ce constat pour écarter la crainte de la substitution. La recherche nous dit que les biens culturels appartiennent à la catégorie des « biens d'expérience » contrairement aux autres biens, la consommation entraîne un sentiment de satiété, plus on consomme un bien d'expérience, plus on a envie d'en consommer, donc, avoir une expérience culturelle sur Internet n'amène pas le sentiment de satiété qui pourrait faire renoncer à la visite réelle. Au contraire, elle peut en éveiller le désir.

Ces constats viennent à l'appui des théories et des preuves, pour autant qu'on puisse le mesurer. En tout cas, Pour le château de Versailles, depuis la mise en place des nombreux dispositifs multimédia accessibles en ligne, et qui reçoivent beaucoup de visites (plus de 5,5 millions de visiteurs uniques par an), le nombre de visiteurs réels du Château n'a pas baissé, il est même en légère augmentation.

Ainsi, le Ministère de la Culture a fait une enquête sur " Publics des musées en ligne et publics des musées réels : quels liens ? ". L'enquête a montré l'envie des visiteurs d'un musée virtuel a visité l'ouvre réelle et que l'image virtuelle ne peut remplacer une œuvre physique ou une scénographie d'exposition et l'émotion est bien plus grande lorsqu'on est face aux œuvres originales. Selon M. Alfandari, responsable du service internet du musée de Louvre : « *les enquêtes prouvent que plus on donne d'informations au public sur une exposition via internet, plus il éprouve l'envie de la voir physiquement* »⁴⁵

⁴⁵DUMOLIN, Benoît. « Valoriser le patrimoine culturel l'apport du numérique », France, 2008, p65.

Conclusion :

Ce chapitre a pour but d'éclairer théoriquement et d'enrichir les chapitres suivants, ou le comportement théorique est une tâche nécessaire pour valoriser et mieux gérer la succession du travail. C'est pourquoi aborder le thème du **patrimoine** sa définition, ses typologies et sa conservation s'avère primordiale. En effet, la notion de patrimoine, d'abord cantonnée à la conservation de monuments et d'objets mobiliers, a considérablement évolué et continue de s'étendre de nos jours.

Parler du patrimoine comme legs de l'histoire et de sa place dans la culture, c'est décliner toute l'étendue de son importance pour la société qui en fait l'héritage. Aussi, pour s'inscrire dans la durée, le patrimoine devrait figurer parmi les préoccupations majeures des acteurs (architectes, conservateurs, organisme internationaux, ...etc.). Les actions de ces acteurs sur le patrimoine doivent être réfléchies et étudiées avec sérieux.

Pareillement avec le développement technologique de nos jours, la numérisation a engendré des nouvelles pratiques culturelles et des nouvelles manières de diffusion de l'information, elle permet de garantir la bonne préservation des œuvres, sa mise à disposition en format numérique permet de protéger mieux l'œuvre originale, ou même de compenser sa perte. Aujourd'hui, de nombreuses institutions du patrimoine culturel ont passé à numériser leurs œuvres, ceci confirme que la numérisation a fait ses preuves dans le cadre de **la conservation et la mise en valeur du patrimoine** afin de le transmettre aux générations à venir.

L'œuvre numérisé est donc un support technique pour d'autres technologies innovantes qui servent le patrimoine tels que les différentes **outils d'acquisition, de modélisation et de visualisation** ces outils ont commencé à émerger de plus en plus dans les pratiques patrimoniales, c'est ce que nous allons décrire dans le chapitre suivant.

Introduction :

Le patrimoine est porteur des messages du passé, son importance a été reconnue mondialement ; sa conservation est donc une responsabilité commune qui se veut être permanente. Le patrimoine doit aujourd'hui relever un double défi, en apparence contradictoire : les éléments patrimoniaux sont, par définition, des héritages qui se transmettent d'une génération à l'autre, et nous faisons tous partie de cette chaîne de transmission ; en s'assignant comme objectif ne pas trahir ou subvertir leur sens, d'une part. La survie du patrimoine, sa pérennisation, sa transmission à des générations futures, dépend pour beaucoup de son intégration dans la société actuelle, contemporaine d'autre part.

Aujourd'hui avec les nouvelles pratiques qui s'imposent et afin d'assurer la pérennité des sites patrimoniaux, **la recherches de nouvelles techniques de conservation** du patrimoine s'avèrent primordiales. C'est pourquoi dans le présent chapitre ; nous mettons l'accent succinctement ; d'une part sur les outils classiques de conservation du patrimoine, ensuite dans un deuxième temps ; il convient de s'interroger et d'étudier la question de **l'emploi des outils numériques** (nouvelles méthodes et de nouveaux outils) et leurs différentes applications notamment : **outils d'acquisition, de modélisation et de visualisation.**

II.1. Les outils traditionnels de conservation du patrimoine :

Depuis le premier intérêt qui s'est manifesté pour les biens patrimoniaux, des stratégies et des méthodes de leur conservation ont été mise en place. De ce fait nous pouvons citer (la reconnaissance, la protection, l'édiction de législation, la mise en place de chartes et de conventions, les explorations archéologiques, les études d'inventaires, études élaborées, restauration et consolidation des principaux monuments, moyens financiers affectées.....etc.

Certes la gestion du patrimoine ; en se basant sur ces stratégies et méthodes classiques est bénéfique ; mais rendue plus difficile de nos jours (avec les nouvelles pratiques) par l'insuffisance de moyens financiers dans certains cas, le manque de compétences techniques, l'augmentation du volume de données à gérer...etc. A titre d'exemple nous citons :

- **Dans le domaine de la prospection archéologique, les techniques de levé :**

Les archéologues et les architectes spécialisés dans la recherche archéologique sont confrontés à d'importants *problèmes de représentation et de simulation* des hypothèses de reconstitution des monuments. Les moyens graphiques traditionnels ne peuvent plus remplir tous les besoins qui se font jour dans cette discipline. On distingue généralement trois méthodes de relevé graphique : **Le relevé manuel** consiste à prendre des mesures directes en utilisant les instruments de mesure classique : décamètre, niveau à eau, jalons d'alignement,

fil à plomb, boussole, etc. **Le relevé topographique** consiste à utiliser les instruments de mesure optique : théodolite, tachéomètre, goniomètre, etc. **Le relevé photogrammétrique** consiste à utiliser la photographie et les programmes informatiques dans l'élaboration du relevé.

C'est pourquoi il convient de s'interroger sur les services que peuvent rendre les nouvelles techniques de l'informatique graphique, et de penser au développement d'outils adaptés qui pourraient aider au développement du champ de questionnement de la discipline archéologique, faire émerger des outils et de nouvelles méthodes aujourd'hui à des relevés tridimensionnels précis extrêmement fiables et rapides à exécuter. Ces possibilités sont à l'origine d'une demande de modèles numériques 3D générés à partir de ces mesures et relevés. L'archéologie et l'architecture par essence, n'échappent pas à ce développement qui nécessite un grand nombre de modèles 3D et une modélisation spécifique que nous appellerons la modélisation architecturale. Les maquettes numériques tridimensionnelles ainsi obtenues vont ensuite constituer le support de représentations diverses.

- **Dans le domaine de la numérisation de patrimoine architectural et urbain :**

Avant l'ère de la numérisation, la préservation du patrimoine architectural se limitait à sa conservation en le muséifiant, ou en l'investissant en changeant sa vocation et en renouvelant ses matériaux et les méthodes de ses constructions par la simulation de ses formes originales, ses styles et ses images architecturales. Ce processus se basait sur des méthodes analytiques utilisant des outils analogiques traditionnels qui requièrent un équipement lourd et coûteux et nécessitent beaucoup d'efforts quant à la réalisation de sa conservation.

Ainsi, l'avènement de l'outil numérique qui a grandement contribué à la révolution des méthodes de cueillette, d'archivage, de mise en valeur, d'interprétation et de transmission du patrimoine culturel, et à leur conversion directe en base de données numériques exploitables, en a fait un vecteur d'échange, de partage et de communication pour tous les acteurs concernés. Il est de plus en plus considéré comme une alternative pour prendre les mesures appropriées aux éventuelles recherches et interventions afin d'assurer et de garantir le transfert intergénérationnel du patrimoine. « *La numérisation apporte un nouveau moyen d'accès au patrimoine, tant pour le public que pour les chercheurs, grâce à la possibilité de mettre en réseau les données numérisées.* »⁴⁶

⁴⁶Sophie Aubin « *La numérisation du patrimoine culturel. Bibliothèques, musées : des savoir-faire à partager* » mémoire ; Le DESS EN SCIENCES DE L'INFORMATION ET DE LA DOCUMENTATION SPECIALISEES, le 24 novembre 2003. (En ligne) https://memsic.ccsd.cnrs.fr/mem_00000146/document.

II.2. Les outils numériques (innovants) de conservation du patrimoine :

L'enjeu actuel des architectes, archéologues, historiens, chercheurs, conservateurs et amoureux du patrimoine est de définir **de nouvelles méthodes et de nouveaux outils** pour la restauration et pour la mise en valeur des sites (archéologiques, architecturales, patrimoniaux...) dans une perspective de meilleure conservation de l'œuvre d'art que du témoin de l'histoire. En effet dans cette partie il est question de mettre l'accent sur les outils d'acquisition ; de modélisation et enfin de visualisation.

II.2.1 Les outils d'acquisition :

*« L'acquisition, le traitement et le rendu d'informations dimensionnelles concernant le patrimoine bâti a connu, dans ces dernières années, un progrès significatif ; grâce à l'introduction de **nouveaux dispositifs de mesure** et à **l'exploitation des outils numériques de traitement des données** »⁴⁷.*

L'évolution récente des techniques liées à l'apport de l'informatique et l'électronique a permis de mettre à la disposition des différents acteurs du patrimoine ; des instruments de levé et d'acquisition de données qui ont donné naissance à des représentations intéressantes et attirantes. On citera notamment la technique de **la Lasergrammétrie**⁴⁸ et la technique de **la photogrammétrie**.

II.2.1.1. La technique de la lasergrammétrie :

Cette technique est aujourd'hui considérée comme un outil primordial pour **la documentation des sites archéologiques complexes**. *« Un dispositif précis, rapides et économique qui met à la disposition des acteurs du patrimoine culturel ; une couverture complète et des informations détaillées, où on peut extraire toutes les mesures métriques interactives directement à partir du modèle »*.⁴⁹ Les différents dispositifs de mesure de distance utilisant des lasers employés lors des relevés d'architecture ; impliquent la mise en œuvre de principes physiques relativement complexes et de technologies évoluées.

Avec les numérisations rapides de bâtiments et d'environnement entiers, les scanners laser 3D fournissent des modèles CAO (Conception Assistée par Ordinateur) pour de

⁴⁷Livio De Luca « *Relevé et multi-représentations du patrimoine architectural Définition d'une approche hybride pour la reconstruction 3D d'édifices* » thèse de doctorat de l'école nationale supérieure d'arts et métiers. Le 31 mars 2006. (En ligne) <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-00263717/document>.

⁴⁸Lasergrammétrie Ou le relevé par capteur laser 3D est la technique d'acquisition –à priori- appropriée pour confectionner un modèle numérique de terrain dans les différents domaines de relevés terrestres.

⁴⁹WidedArfaoui « *vers un patrimoine culturel accessibles et durables par des nouvelles technologies* » doctorante à l'école nationale d'architecture et d'urbanisme, Tunis.

multiples applications. « *Le processus de restitution est établi en un premier temps par l'acquisition de données spatiales enregistrées sous forme de nuages de points. Ces enregistrements, qui décrivent la forme de la construction scannée seront ensuite stockés et transformé en une forme virtuelle concrète, qui sera en fin de parcours partager sur le Net.* »⁵⁰

II 2.1.1.a. Le Laser : principe général

Le terme « *Laser* » constitue l'acronyme des mots anglais « *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* »⁵¹ qui signifie amplification de lumière par émission stimulée de rayonnement. Les lasers sont des sources nouvelles de rayonnement, mettant en œuvre une technique spéciale d'émission, dite « stimulée », par opposition à celle des sources usuelles de lumière, qui est « spontanée »⁵². La source de rayonnement correspond au sens employé en physique, c'est-à-dire aux radiations électromagnétiques. Pour plus de précision ; on note **les notions essentielles** à la compréhension du **fonctionnement du laser** à savoir :⁵³

- La première notion est **la notion d'onde** : qui ne correspond pas à une entité matérielle mais à un mode de propagation. Une onde est caractérisée par sa fréquence (f) et sa longueur d'onde (λ).
- La seconde notion qu'il convient de cerner est celle **de la lumière** : La lumière correspond à une onde électromagnétique composée de photons. Les photons sont des particules sans masse se déplaçant à la vitesse de la lumière dans l'espace (vide) et un peu plus lentement dans un milieu (solide, liquide ou gazeux). C'est la formule d'Albert Einstein, $E=MC^2$, qui permet de poser l'équivalence entre la masse et l'énergie⁵⁴.

Le principe général du laser consiste à exciter un atome pour lui faire atteindre un niveau d'énergie supérieur afin de provoquer un dégagement de ce surplus d'énergie sous la forme de l'émission d'un photon. L'atome restitue ainsi l'énergie qui lui a été fournie pour revenir à son état initial. La quantité de photons émise par un dispositif laser varie selon la quantité d'énergie apportée.

Les modules de balayage laser 3D applicables au relevé d'édifices se divisent en **deux catégories principales. Les scanners à longue portée (Les lasers à temps de vol :**

⁵⁰Anis Karaa « *outils numériques au service du patrimoine bâti* » doctorant à l'école nationale d'architecture et d'urbanisme, Tunis.

⁵¹FUCHS Alain, « *Outils numériques pour le relevé architectural et la restitution archéologique* », l'Université Henri Poincaré - Nancy I., 2006, p 16

⁵² Encyclopédie Universalis 2005. Version électronique sur DVD-ROM

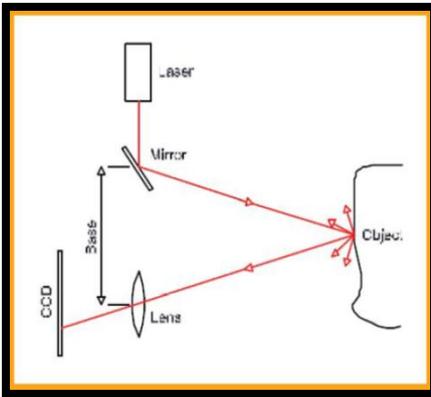
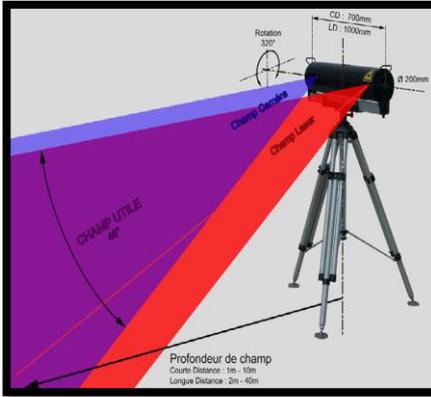
⁵³FUCHS Alain, « *Outils numériques pour le relevé architectural et la restitution archéologique* », l'Université Henri Poincaré - Nancy I., 2006, p 16

⁵⁴(En ligne):www.oniversity.com, université (Consulté le 25 mars 2018).

téléométrie). Les scanners par triangulation incluent une base et calculent le point d'impact du faisceau laser en utilisant une ou deux caméras DTC⁵⁵.

II.2.1.1.b. Les capteurs laser à triangulation :

La triangulation laser plane consiste à positionner la source laser à une distance donnée, la base, du capteur du rayonnement. La détermination de la position du point se fait par l'utilisation des règles trigonométriques. La réunion des deux rayons et de la base composent un triangle dont suffisamment de paramètres sont connus pour permettre un calcul des coordonnées du point à déterminer. Pour permettre un balayage de l'objet à mesurer, il faut intégrer le laser à un dispositif mécanique. Le capteur fait appel à un faisceau laser de faible puissance et à un miroir mobile couplé à des moteurs asservis de précision. Ce principe de mesure est simple mais prend du temps pour le calcul du point : 100 points/seconde pour le scanner laser Soisic série S de MENSI⁵⁶. Ensuite, l'image du point émis sur l'objet mesuré est relevée par une caméra CCD⁵⁷. En vue d'optimiser l'utilisation d'un scanner à triangulation tel que le Soisic, une lumière ambiante relativement faible est préférable. Pour les relevés d'extérieur, il faut rechercher une intensité lumineuse faible ; l'ambiance nocturne est idéale. Du fait de son principe à base de triangle, la profondeur de champ varie de 1 à 60 m environ. La précision atteinte dans cet intervalle est assez importante : 1mm à une distance de 5m.

| | |
|--|---|
|  |  |
| <p>Figure. II.1: principe de l'acquisition laser par triangulation</p> | <p>Figure. II.2: le scanner SOISIC-les zones de travail utiles</p> |
| <p>Source : ALBY Emmanuel, « <i>Elaboration d'une méthodologie de relèvement d'objets architecturaux</i> », l'Université Henri Poincaré - Nancy I, 2006, p81</p> | <p>Source : FUCHS Alain, « <i>Outils numériques pour le relevé architectural et la restitution archéologique</i> », l'Université Henri Poincaré - Nancy I, 2006, p 26</p> |

⁵⁵DTC : Direct Torque Control (Commande Directe du couple)

⁵⁶ALBY Emmanuel, « *Elaboration d'une méthodologie de relèvement d'objets architecturaux* », l'Université Henri Poincaré - Nancy I, 2006, p81

⁵⁷CCD : CoupledChargedDevice

II.2.1.1.c. Les lasers à temps de vol :

« Le laser à temps de vol ou la télémétrie appartient à l'ensemble d'appareil dénommé LiDAR Light Detection And Ranging. Le principe de fonctionnement du laser à temps de vol consiste à déduire la distance parcourue à partir de la mesure du temps de retour d'un faisceau lumineux de nature connue projeté sur un objet. Il s'agit donc d'appareils qui fonctionnent sur le principe de la tachéométrie mais à des vitesses plus élevées »⁵⁸. Associé à un mécanisme de balayage, ce type de dispositif permet de mesurer une scène dans son ensemble. Cette technologie prend l'avantage certain sur la triangulation en termes de précision et de vitesse d'acquisition pour les longues distances.

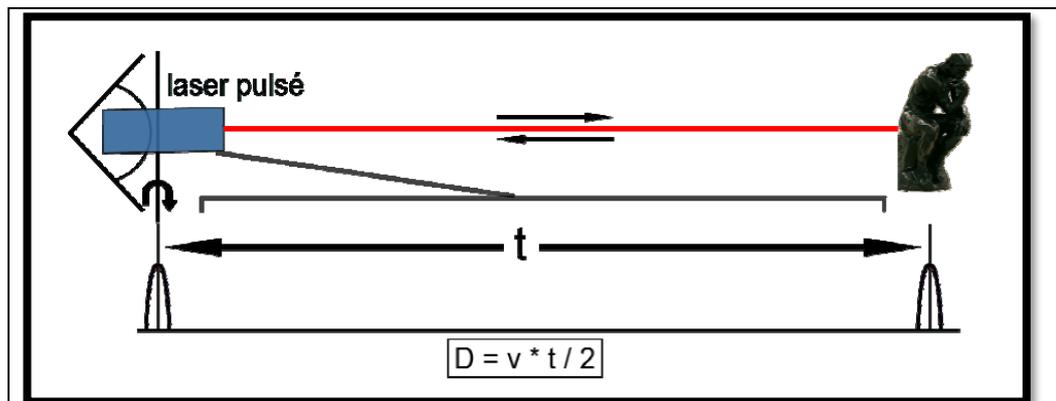


Figure. II.3: le capteur à temps de vol _principe

Les scanners à longue portée mesurent des angles horizontaux et verticaux et mesurent la distance en calculant le temps de vol ou en comparant le changement de phase de l'onde transmise et reçue d'un signal modulé

Source :CHENXin, « Introduction à la lasergrammétrie terrestre », Diaporama de la conférence au forum de photogrammétrie, Paris, 2003.

II.2.1.2. La technique de la photogrammétrie numérique :

« La photogrammétrie est la science ou la technique permettant d'obtenir des informations fiables sur l'espace naturel ou sur des objets physiques par l'enregistrement, la mesure et l'interprétation d'images photographiques »⁵⁹ En d'autre terme ; la photogrammétrie se définit comme une technique d'acquisition et de mesure qui permet de modéliser un espace ou un objet 3D en utilisant plusieurs images bidimensionnelles. Elle est idéale pour la saisie de tout environnement bâti.

La technique de la photogrammétrie s'est développée rapidement ces dernières années, elle permet une très haute qualité graphique et métrique et des modèles visuels en trois

⁵⁸FUCHS Alain, « Outils numériques pour le relevé architectural et la restitution archéologique », l'Université Henri Poincaré - Nancy I., 2006, p 29.

⁵⁹Livio De Luca « Relevé et multi-représentations du patrimoine architectural Définition d'une approche hybride pour la reconstruction 3D d'édifices » thèse de doctorat de l'école nationale supérieure d'arts et métiers. Le 31 mars 2006. Page 14 (En ligne) <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-00263717/document>.

dimensions avec un atout principal de rapidité d'exécution dans la saisie de relevés ainsi qu'une relative facilité de mise en application.

« **La photogrammétrie numérique** est la résultante à l'ère du numérique des développements de la photogrammétrie ainsi que du traitement automatisé des données: progressivement les outils de calcul numériques puis les outils d'acquisition d'images numériques remplacent les modèles analogiques ouvrant la voie à une automatisation plus poussée ainsi qu'à de nouvelles possibilités de traitement des données. »⁶⁰. **La restitution photogrammétrique** permet d'extraire des images un ensemble de coordonnées exprimées dans l'espace-objet. **Ces méthodes** diffèrent en fonction de la configuration de l'acquisition **mono, stéréo ou multi images**⁶¹.

II.2.1.2.a. La photogrammétrie multi image :

La photogrammétrie multi-image dite aussi monoscopique se base sur le traitement logiciel *semi automatisé* de clichés pris dans des conditions quasi aléatoires. A condition de remplir un certain nombre de règles lors de la prise de vue, les traitements logiciels appliqués permettent de constituer des blocs d'images, où la position de chaque image est déterminée par la voisine grâce à l'ajustement des faisceaux respectifs de chaque prise de vue. Les distorsions provenant des appareils de prise de vue sont corrigées afin d'obtenir des résultats métriques. Une fois le modèle 3D obtenu, le logiciel de photogrammétrie permet de projeter les fichiers raster pour en constituer la surface⁶².

⁶⁰Alain Fuchs « *Outils numériques pour le relevé architectural et la restitution archéologique* » thèse de doctorat ,2006 . ENSA Nancy.

⁶¹Livio De Luca « *Relevé et multi-représentations du patrimoine architectural Définition d'une approche hybride pour la reconstruction 3D d'édifices* » thèse de doctorat de l'école nationale supérieure d'arts et métiers.Le 31 mars 2006. Page 14 (En ligne)<https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-00263717/document>.

⁶²GRUSSENMEYER Pierre, « *Photogrammétrie architecturale et modélisation3D du patrimoine* », In Revue XYZ n°95, 2003, pp30-36.

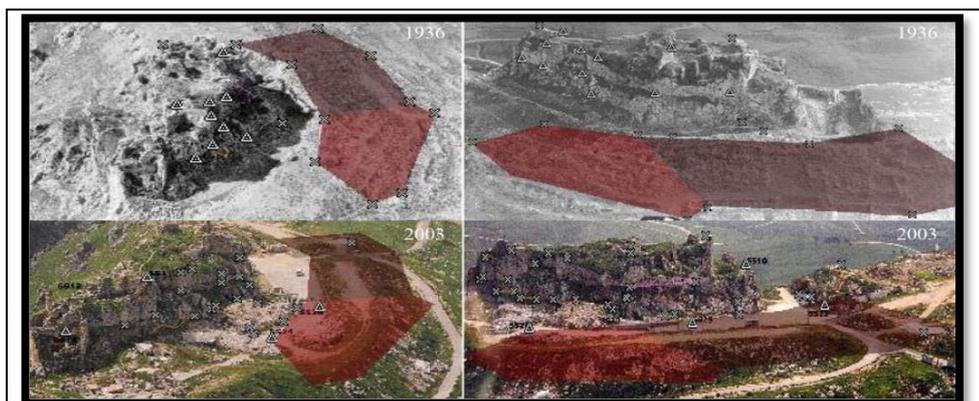


Figure. II.4 : Le château de Beaufort au Liban: mesures de structures archéologiques sur des photographies de 1936 et comparaison avec des photos de 2003.

photogrammétrie multi-image autorise le traitement d'anciennes photographies pour créer des modèles virtuels d'architectures aujourd'hui disparues. Ainsi des travaux récents du Map-Page permettent également de combiner des photographies anciennes à des prises de vue plus récentes.

Source : GRUSSENMEYER Pierre, « *The restoration of the Beaufort castle (south Lebanon) – A 3D restitution according to historical documentation* », actes du XIX Symposium International CIPA, Antalya, Turquie, 2003.

II.2.1.2.b. La photogrammétrie : les photos rectifiées :

L'usage fréquent du principe du redressement des images en architecture se base sur la présence de grand nombre d'objets plans. Ainsi une simple perspective permet de redresser et de mettre à l'échelle une image⁶³. A

l'origine les photos argentiques pouvaient déjà être rectifiées par une opération qui consiste à redresser l'angle de prise de vue lors du développement. Les interventions sur l'image furent grandement facilitées lors du passage à la **technologie numérique**. Une perspective peut ainsi être rectifiée à partir d'un minimum de quatre points de contrôle. Pour obtenir un résultat de bonne qualité, il faut favoriser les prises de vue proche d'un axe perpendiculaire à l'objet

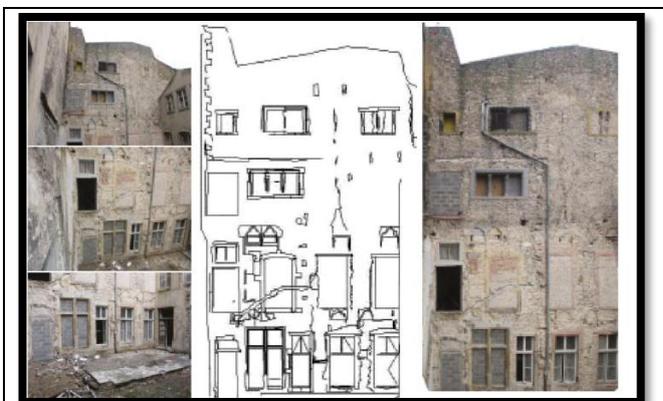


Figure. II.5 : Exemple d'images rectifiées

De gauches à droite, les photographies initiales, le relevé topographique de la façade et les photos redressées. Photos et relevé topographique de Louis Prieur, architecte du patrimoine.

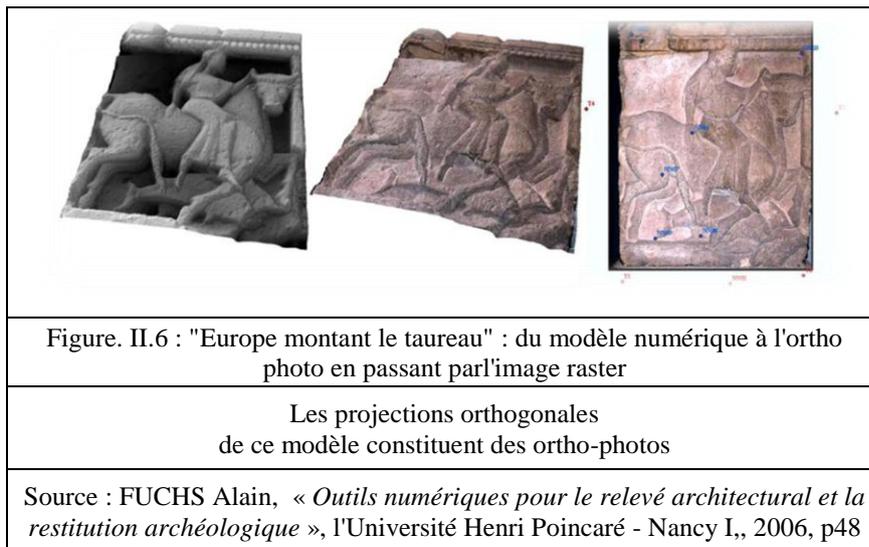
Source : GRUSSENMEYER Pierre, *Photogrammétrie architecturale et modélisation 3D du patrimoine*, Revue XYZ n°95, 2003, pp30-36.

mesuré. Cette méthode n'est toutefois compatible qu'avec des reliefs peu importants, c'est-à-dire dans le domaine bâti de façades relativement planes.

⁶³opcit, pp 30-36

II.2.1.2.c. La photogrammétrie : les ortho-photos :

L'ortho-photo, également appelée ortho image, répend à des principes où ;l'objet étudié est modélisé puis les multiples images issues des prises de vue sont plaquées sur le modèle. Les projections orthogonales de ce modèle constituent des ortho-photos. Il apparaît de façon évidente que pour obtenir une complétude des résultats, les prises de vue doivent être nombreuses, beaucoup plus que dans le cas des images rectifiées mais permettent la représentation de modèles bien plus complexes jusqu'à la statuaire par exemple (voir figure n°6 ci-dessous)⁶⁴.



II.2.2. Les outils de modélisations :

La technique de modélisation 3D peut être appréhendée comme méthode de recherche, de conception et d'analyse en architecture, en archéologie et en histoire ; elle développe aussi les possibilités d'interprétation et de comparaison relatives aux différentes théories qui touchent le patrimoine notamment bâti.

Les outils de modélisations consistent à créer des objets en trois dimensions, par ajout, soustraction et modifications de ses constituants, qu'il soit réel ou non. Ces outils posent plusieurs difficultés en relation avec la notion de mesure et l'état de connaissance lié à l'objet d'étude .il existe une panoplie de logiciel : **Blender** (un logiciel libre de modélisation 3D et de création d'animation). Les logiciels de **CAO** telle que : **Photoshop** (pour le traitement des photos numériques) **illustateur** (pour la mise au net des relevés) **Autocad, 3Dmax ou Maya** (pour la modélisation et la conception 3D). Ou encore des logiciels conçus avec un type

⁶⁴Andrews, D.P., Beckett, N.J.Clowes, M., Tovey, S.M. (2005) « *A comparison of rectified photography and orthophotography as applied to historic floors – with particular reference to croughton roman villa. In XXth CIPA* » International Symposium, Turin, Italie. Sept. 26th. Oct 1st, 2005. ISPRS International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Systems Vol. XXXVI-5/C34 ISSN 1682-1750 & CIPA International Archives for Documentation of Cultural Heritage, Vol. XX-2005 ISSN 0256-1840.

d'outillage spécialisé tel que le logiciel **faro scène**⁶⁵ (traitant les données acquises par le faro scanner laser focus 3D) **ou les logiciels** pour les simulations et l'usinage tel que **type3**, **Ucancam** ou autres.....etc.

II.2.2.1. Les logiciels assistés par ordinateur :

Les logiciels assistés par ordinateur sont destinés pour la modélisation et la conception 3D. Nous pouvons citer quelques logiciels réputés en architecture, on invoquera notamment :

II.2.2.1.a. Le logiciel AutoCAD :

Développé par Autodesk, c'est le logiciel le plus utilisé par tous les corps de métiers confondus ; dont l'extension de fichier principal est « **dwg** ». C'est un outil de « **CAO** » polyvalent et qui bénéficie de beaucoup d'extensions ou d'applicatifs pour des domaines d'activités spécifiques. L'une des premières incarnations du futur AutoCAD est le MicroCAD qui a été lancé en 1982 avec l'apparition de la génération de stations de travail SUN basées sur « **UNIX** ».⁶⁶ Sa fonction première est le tracé 2D, basé par des concepts géométriques comme : la ligne, le point, le rectangle, l'arc, le cercle et le polygone qui seront inscrits dans un système cartésien. Aujourd'hui, ce système a évolué par rapport au développement actuel des logiciels d'architecture essentiellement orientés vers la 3D.

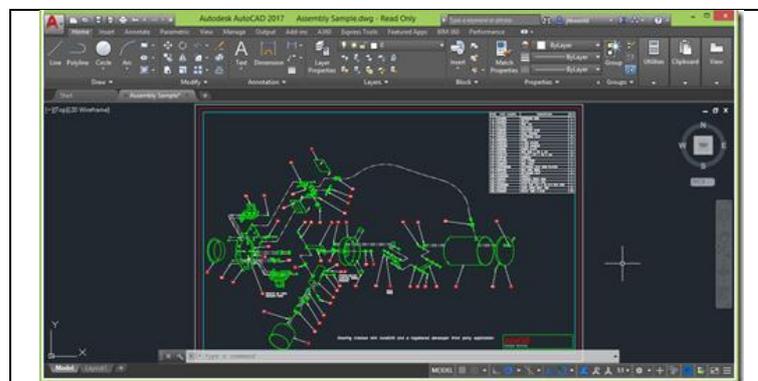


Figure. II.7 : Capture de l'interface logicielle AutoCAD
L'utilisation de logicielle AutoCad sa fonction première est le tracé
2D et 3D
Source : En ligne :<https://jtbworld.com/autocad-2017> [le 25-04-2018]

II.2.2.1.b. Le logiciel ArchiCAD :

Développé par GraphiSoft, une société hongroise. C'est un logiciel spécifique pour les architectes dont l'extension de fichier principal est **.plan**, format également très spécifique.

⁶⁵(En ligne) <https://www.faro.com/fr-fr/produits/construction-bim-cim/faro-focus/>

⁶⁶UNIX : *Système d'exploitation multitâche et multi-utilisateur*

ArchiCAD renforce sa suprématie dans sa catégorie. Choisi par près de 300 000 architectes et professionnels de la construction dans le monde, ArchiCAD est le logiciel BIM le plus complet et le plus souple du marché des logiciels de CAO Architecture. Exceptionnellement rapide et d'une grande modernité⁶⁷. Il assure également la gestion globale des étages, des niveaux de représentation en fonction de l'échelleetc.



Figure. II.8 : Capture de l'interface logicielle ArchiCAD

L'utilisation de logicielle ArchiCAD sa fonction première est le tracé 2D et 3D plan, format également très spécifique

Source : En ligne :<http://www.graphisoft.com/users/bim-case-studies/sarco-architects-magayon-house.html>[le 25-04-2018]

II.2.2.1.c. Le logiciel Sketchup :

Le logiciel Sketchup (Google) est considéré comme « *un des outils plus adaptés aux concepteurs et à leurs habitudes figuratives* »⁶⁸. Ce système de modélisation des données 3D permet facilement une adaptabilité fonctionnelle aux usagers et de créer des modèles réutilisables dans d'autres modèles.

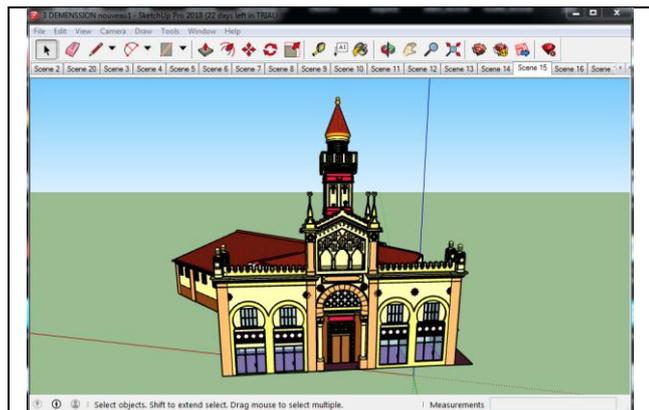


Figure. II.9 : Capture de l'interface logicielle Sketchup
Ce système de modélisation des données 3D

Source : Auteurs, 2018

⁶⁷ (En ligne) <http://www.cadcentre.ca/fr/archicad-19-fr>

⁶⁸ M Blibli, A Bouchair, F Hannouf. « Apport des technologies numériques à l'étude des fortifications du génie militaire français dans une ville d'Algérie au début de la colonisation : Djidjelli, 1839-1862 » Université de Jijel, p 294

II.2.2.1.d. Le logiciel Revit :

Le logiciel de conception de bâtiments **Revit** a été conçu spécifiquement pour la modélisation des informations du bâtiment « **Technologie BIM** »⁶⁹: il permet aux professionnels de la conception et de la construction d'amener leurs idées du concept à la construction, avec une approche cohérente et coordonnée basée sur le modèle.

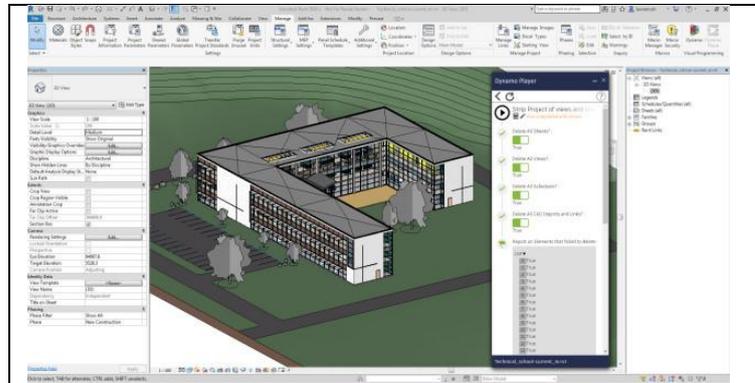


Figure. II.10 : Capture de l'interface logicielle Revit

Le logiciel Revit a été conçu spécifiquement pour la modélisation des informations du bâtiment

Source : En

ligne : <https://revitstructureblog.wordpress.com/2017/10/09/revit-stripping-views-and-sheets-from-the-model-prior-to-upload-to-cde/>
[le 25-04-2018]

II.2.2.2. Les outils de recomposition de l'image réelle (L'impression3D) :

II.2.2.2.a. Présentation :

Impression 3D appelé aussi « **La fabrication additive** », est un mode de production d'objets par ajout de matière en couches superposées. Elle s'oppose en cela aux méthodes de fabrication par extrusion de matière (sculpture, découpage laser etc.). L'opération nécessite donc l'emploi d'un logiciel spécialisé dans le traitement et la transcription de données 3D, d'une imprimante et d'une matière compatible. Pour fonctionner, l'imprimante doit recevoir une modélisation numérique de l'objet en volume via un logiciel.⁷⁰

II.2.2.2.b. Impression 3D au service du patrimoine (du virtuel au réel) :

Dans le domaine du patrimoine, notamment dans le cadre d'études archéologiques et de conservation-restauration, **l'impression 3D** est un **mode de reproduction** qui présente de nombreux avantages par rapport aux méthodes traditionnelles. En effet le premier emploi de **l'impression 3D** pour la conservation concernait les objets archéologiques les plus

⁶⁹**BIM** : *Building information Modeling*

⁷⁰(En ligne) https://cours.univ-paris1.fr/pluginfile.php/709148/mod_resource/content/0/ASTIER-CHOLODENKO_Dossier%20d%E2%80%99C3%A9pist%C3%A9mologie.pdf

sensibles⁷¹. On peut compter de nombreux usages de l'impression 3D au service du patrimoine (pour reproduire les œuvres originales, restaurer les œuvres lacunaires....)

- **Reproduire les œuvres originales :**

L'impression 3D est un outil non-invasive (et non-destructive), c'est-à-dire qu'elle ne porte pas atteinte à l'intégrité matérielle de l'œuvre originale. En effet, la technique ne nécessite aucun contact physique avec les objets, les données étant collectées au moyen de photographies et/ou de scans lasers⁷². Cette caractéristique est particulièrement appréciée dans le domaine de la conservation-restauration dans la mesure où elle offre un résultat fidèle tout en limitant l'apport de matériaux extérieurs⁷³.

Outre **la reproduction**, l'impression 3D fait également l'objet de nombreux intérêts concernant **la restitution, complète ou partielle**, d'éléments archéologiques disparus. En archéologie monumentale par exemple, une entreprise italienne (Tor Art) est parvenue à produire une restitution de « l'arc de triomphe de Palmyre » Syrie en 2016, à partir de documents iconographiques anciens ; ou encore, les statues des « grottes de Yungang »⁷⁴. Ces exemples témoignent d'applications de la technique dans des dimensions beaucoup plus importantes.

| | |
|--|--|
|  |  |
| <p>Photo. II.1 : l'arc de triomphe de Palmyre restitué en Italie</p> | <p>Photo. II.2 : les statues des « grottes de Yungang », en Chine</p> |
| <p>Une entreprise italienne (Tor Art) est parvenue à produire une restitution de l'arc de triomphe de Palmyre en 2016, à partir de documents iconographiques anciens</p> | <p>Une réplique des Grottes de Yungang créée grâce aux technologies 3D</p> |
| <p>Source : En ligne : http://www.exponaute.com/magazine/2016/04/25/a-londres-la-reproduction-de-l-arc-de-palmyre-au-centre-des-debats/ [le 20-04-2018]</p> | <p>Source : En ligne : https://www.3dnatives.com/grottes-de-yungang-28122017/ [le 20-04-2018]</p> |

⁷¹ G. GANTIER, « Souvenirs d'Indochine ? » *Etude et conservation-restauration d'un cabinet vietnamien d'époque coloniale (Paris, Musée du quai Branly). Etude de matériaux utilisés en impression 3D et de leur adaptabilité à un usage en conservation-restauration...*, 2016, page. 122.

⁷² Op.cit page. 123.

⁷³ N. ASTIER-CHOLODENKO, « L'utilisation des technologies d'imagerie 3D en conservation-restauration : quels apports à la logique de la discipline ? », Université de Sorbonne, 2018, p18.

⁷⁴ Mélanie RENARD, « Reconstruire et démocratiser l'Histoire grâce à la 3D, » (en ligne) <https://www.3dnatives.com/3d-ethistoire-reconstruction-18102017/>, consulté le 1 avril 2018.

20-04-2018]

Des restitutions d'une telle envergure requièrent habituellement plusieurs décennies de travail et des sommes considérables. Par rapport aux méthodes traditionnelles, la fabrication additive présente l'avantage de temps de production et de coûts bien moindre. De la même manière, en anthropologie, l'impression 3D peut être appliquée à restituer un corps physique (**voir photo n°3 ci-dessous**) à partir de restes humains comme dans le cas de la « Dame de Cao »⁷⁵. Ce type de reproduction peut être commandé par les musées pour une partie de sa collection ou les besoins d'une exposition. L'objectif est de permettre au public de **s'approcher et d'interagir avec l'œuvre**. À terme, le but est de pouvoir continuer à montrer des œuvres dont les altérations seraient trop importantes pour en permettre l'exposition.



Photo. II.3 : « Dame de Cao », avant et après la restitution

l'impression 3D peut être appliquée à restituer un corps physique à partir de restes humains comme dans le cas de la « Dame de Cao »

Source : En ligne : <https://www.pressreader.com/canada/le-journal-de-montreal/20170706/281861528532672>[le 22-04-2018]

La raison majeure motivant l'emploi de ces moyens de reproduction par les conservateurs de musée et de sites archéologiques est d'une part la diffusion des savoirs, l'appropriation des œuvres par les différents publics, et d'autre part, la reproduction à des fins de conservation.

- **Restaurer les œuvres lacunaires :**

L'impression 3D est employée par les services de restauration des grands musées nationaux. Pour citer l'exemple du Louvre, des parties du socle de la Victoire de Samothrace (**voir photo N° 4 ci-dessous**) qui ne peuvent pas sortir du territoire grec, ont été numérisés puis imprimés par fabrication additive, afin de poursuivre la restauration de la sculpture conservée au Louvre⁷⁶. La **numérisation** est également exploitée par les

⁷⁵Mélanie RENARD, « Reconstruire et démocratiser l'Histoire grâce à la 3D, », p19 (en ligne) <https://www.3dnatives.com/3d-ethistoire-reconstruction-18102017/>, consulté le 1 avril 2018.

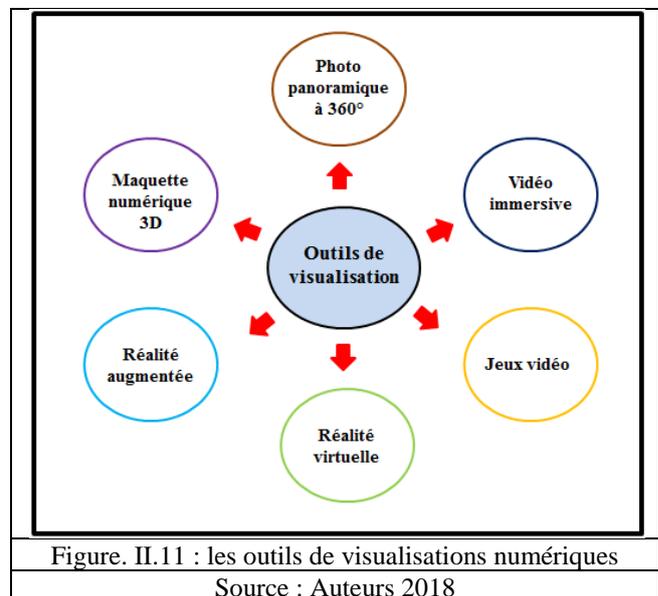
⁷⁶N. ASTIER-CHOLODENKO, « L'utilisation des technologies d'imagerie 3D en conservation-restauration : quels apports à la logique de la discipline ? », Université de Sorbonne, 2018, p20.

conservateurs pour faire des hypothèses virtuelles de remontage du bateau. Après impression en résine, les fragments sont moulés en plâtre pour des raisons de conservation. Ce sont néanmoins les restaurateurs engagés par le musée qui procèdent à la mise en place des pièces conformément à la méthodologie habituelle pour la restauration de sculptures⁷⁷.



II.2.3. Les outils de visualisation :

Au cours des dernières années, plusieurs outils ont montré une grande efficacité au service de **la visualisation numérique**, parmi ces outils on évoque quelques-uns sans prétendre à l'exhaustivité :



⁷⁷Ibid.

II.2.3.1. Photo panoramique à 360° :

Photo panoramique aussi appelé **visite virtuelle** est destinée à être visionnée sur les sites internet. Il s'agit en effet de prendre un ensemble de photos instantanées de l'environnement sous tous les angles à la fois. La photo 360 permet une visualisation totale de l'espace en haute définition.

Le photo-panorama à 360° est en pleine phase de diffusion, elle permet de déplacer une photo de gauche à droite (voir de bas en haut) autour d'un axe sur 360°. « *Pratiquement, il s'agit d'une série de photos réalisées au même endroit dans des axes différents. Ces photos sont ensuite assemblées numériquement et converties au format flash pour permettre à l'utilisateur d'interagir. Il est aussi possible de créer des liens entre différents points de vue, permettant à l'internaute de se déplacer virtuellement* »⁷⁸.

Dans le domaine du patrimoine cette technique a un grand intérêt, elle permet de proposer des visites panoramiques en haute définition dans tout type d'espace, en intérieure comme en extérieure, de jour comme de nuit, sans barrières et pour tout type du public. Elle est idéal pour montrer une vue globale d'un lieu du passé d'un site archéologique, d'un monument historique. Comme elle permet aussi de restaurer virtuellement un édifice ou un élément endommagé en retouchant les photographies.



Photo. II.5 : Photo panoramique de l'Arc de Triomphe du Carrousel

un monument datant de 1809 construit sous Napoléon Bonaparte. Il comporte des entrées sur chacune des quatre faces. Il se trouve sur la place du Carrousel, juste à l'ouest du Musée du Louvre.

Source : En ligne : <http://www.paris-360.com/front/fiche/171-arc-de-triomphe-du-carrousel-360-photos-paris-pyramide-du-louvre.html>

⁷⁸BAILLY, Marc (2013). « *La photo panoramique 360°* », *Photographie et site internet*, [en ligne]. [<http://www.mb-photographe-webmaster.fr/photo-entreprises/photo-panorama-360.html>]. (Consulté le : 20 Avril 2018)

II 2.3.2. La vidéo 360° ou immersive :

L'usage de la vidéo 360° est relativement récent ; le format de **vidéo 360°** a pris son essor fin d'année 2014 et début année 2015, avec « YouTube » qui a rendu compatible sa plateforme avec ce type de vidéo (importation et lecture possible). Même s'il est possible de les regarder depuis un smartphone ou un ordinateur, le mieux est d'utiliser un casque de réalité virtuelle pour profiter au maximum de l'immersion. Le



Photo. II.6 : Capture d'un vidéo à 360° de la ville de Chicago

La vidéo 360 ouvre de nouveaux horizons pour la production de films, mais offre aussi de nouvelles expériences aux consommateurs. Avec une bien plus grande immersion que la 3D, la 360 est certainement le futur de la vidéo.

Source : En ligne : <https://www.realite-virtuelle.com/tout-savoir-sur-video-360>

Le spectateur ne se contente plus de regarder une vidéo, il peut orienter l'objectif de la caméra où bon lui semble et ainsi voir à 360 degrés.

Dans une vidéo à 360°, le spectateur peut voir tout autour de la caméra, ce qui se passe en temps réel. Il est donc Impossible d'en faire une avec une caméra « classique », il en faut une spéciale, qui possède plusieurs objectifs pour avoir une vue à 360°. Il s'agit donc **des caméras360**⁷⁹. Cette nouvelle technologie a toute sa place dans le domaine de mise en valeur du patrimoine toute comme la photo panoramique 360, elle offre donc la possibilité de visiter virtuellement des musées et des lieux historiques patrimoniaux tout en se déplaçant dans la vidéo selon le désir personnelle grâce à la caméra 360°, cela permet de découvrir certain espace et de se focaliser sur certain détail dans la vidéo.

II.2.3.3. Les Jeux vidéo:

Afin de toucher une cible plus jeune et attirer de nouveaux visiteurs, les jeux vidéo présentent des aventures formidables dans des environnements historiques reconstitués (3D). Ces aventures permettent aux grands publics notamment la catégorie jeune de porter un nouveau regard sur les œuvres et de mieux les comprendre.Elle offre aussi la possibilité de découvrir les sites et les monuments historiques comme jamais il n'avait été possible de le faire.

⁷⁹RENAUD (2016). « Vidéo360° », *Réalité-virtuelle.com*, [en ligne]. [<http://www.realite-virtuelle.com/tout-savoir-sur-video-360>]. (Consulté le 20 Avril 2018)

A titre d'exemple, « **mystère dans ma ville** » un jeu vidéo pour valoriser le patrimoine de la ville de Limoge en France. Le jeu se déroule à l'époque médiévale et met en avant des monuments historiques incontournables ainsi que des éléments peu perceptibles, voire disparus, cela permet la découverte du patrimoine médiévale de la ville de Limoge⁸⁰.



Photo. II.7 : Jeu vidéo "mystère dans ma ville"

découvrir et valoriser le patrimoine et le territoire de la ville de limoge en France

Source : En ligne : <http://www.club-innovation-culture.fr/jeu-video-mystere-limoges-tablette-smartphone/>[le 20-04-2018]

II.2.3.4. La maquette numérique 3D:

La maquette numérique 3D « est une représentation géométrique d'un produit, généralement en 3D, réalisée sur ordinateur en vue de l'analyser, de le contrôler et d'en simuler certains comportements »⁸¹.

La maquette numérique 3D est une technologie innovante utilisée dans plusieurs secteurs (Industrie, architecture, géomètres...etc.). Mais aussi dans le domaine du patrimoine pour le but de le conservé et le valorisé par **la représentation numérique en 3D** des sites ou des monuments patrimoniaux qui existent ou par **la restitution virtuelle** s'ils sont disparu, elle offre aussi la possibilité de voir leurs évolutions au fil des siècles tout en permettant d'appréhender par la visualisation et par la mesure, la volumétrie de l'objet ou l'espace d'un lieu.

Cette technologie est accessible facilement à l'aide des supports et outils numériques (pages web, applications sur ordinateur, applications mobiles, visionnant un dispositif muséographique ...etc.). Elle permet à l'utilisateur de visiter et de découvrir des œuvres et des lieux. La navigation peut être effectuée à l'aide des différentes fonctionnalités-t-elle que navigation avec la souris et les boutons qui sont les plus utile pour les utilisateurs débutants,

⁸⁰POULAIN, Guillaume (2015). « *La ville de limoge* », *Le média de tourisme digital*, [En ligne]. [<http://www.tom.travel/2015/11/04/limoges-lance-un-jeu-video-pour-valoriser-son-patrimoine/>] (Consulté le : 20 Avril 2018).

⁸¹ANDRIEUX Peggy, DEGUILLAGE Luc, DELASSUS Alain (2011). « *Technologie et maquettes* ». Centres Académiques de Ressources Technologie Collègere. Lille : Université de Lille, p31. (En ligne) « http://clg-argousiers.fr/cartec/pages/Programme/Technologie%20et-%20Maquettes_site.pdf ». (Consulté le 20 Avril 2018).

elle peut également être effectuée de manière tactile lors d'une visualisation avec des écrans d'ordinateurs ou des supports mobiles tactiles , aussi la rotation automatique qui est un système d'autorotation ou la vue tourne lentement ; ceci est fortement utilisé notamment dans les musées ⁸².

II.2.3.5. La réalité virtuelle :

La réalité virtuelle (en anglais, *Virtual reality* ou VR) est une technologie qui permet de plonger une personne dans un monde artificiel créé numériquement. Il peut s'agir d'une **reproduction du monde réel** ou bien **d'un univers totalement imaginaire**.

L'expérience est à la fois visuelle, auditive ...etc., Lorsque la personne est équipée des interfaces adéquates comme des gants ou des vêtements, elle peut alors éprouver certaines



Photo. II.8 : Visite virtuelle au cathédral de Strasbourg

Ce prestataire de services, qui réalise des panoramas à 360°, innove en les transformant en visites virtuelles immersives

Source: En

ligne : <https://www.pointecoalsace.fr/Region/Trajectoires/Un-casque-pour-visites-virtuelles-01705.html> [le 22-04-2018]

sensations liées au toucher ou à certaines actions (coup, impact...).....etc.⁸³.

La réalité virtuelle de dernière génération apporte une nouvelle dimension à l'expérience muséale et patrimoniale. Elle donne **une nouvelle dimension à la visite muséale standard** en offrant la possibilité au visiteur d'enrichir sa visite par des contenus complémentaires et par le vécu d'une expérience sensorielle. Elle est efficace pour valoriser des sites culturels et rendre possible la visite de lieux inaccessibles ou disparus. C'est aussi un moyen supplémentaire d'attirer de nouveaux visiteurs en proposant des expériences de qualité déployées sur site ou à distance⁸⁴. Au cours de la visite, le visiteur muni de casque de réalité virtuelle s'immerger dans des maquettes 3D des sites archéologiques ou des monuments historiques, dans cette maquette la précision historique, architecturale et la qualité des détails est presque la même que celui de monde réel.

⁸²JAUQUET, Amélie (2011). « *Valorisation du patrimoine sur Internet : des visites virtuelles pour l'Inventaire* », sciences de l'information et des bibliothèques. Lyon : Université de Lyon, 66p.

⁸³FUTURA-SCIENCES (2015). « *Tech-réalité virtuelle* », *Futura-Sciences*, [en ligne]. [<http://www.futura-sciences.com/tech/definitions/technologie-realite-virtuelle-598>]. (Consulté le 20 Avril 2018).

⁸⁴XAVIER (2016). « week end : patrimoine en immersion », *Club innovation et culture France*, [en ligne]. [<http://www.club-innovation-culture.fr/week-end-patrimoine-immersion-regards-experts/>] (Consulté le 20 Avril 2018).

De ce fait l'enjeu principal de la réalité virtuelle est de pouvoir reconstruire le patrimoine qui a disparu, qui a été détruit de pouvoir garder une trace et de permettre au public d'y accéder à distance. De permettre aussi aux personnes à mobilité réduite de pouvoir faire des expériences qu'elles ne pouvaient par réaliser dans la réalité.

II.2.3.6. La réalité augmentée :

La réalité augmentée « consiste à superposer en temps réel une image virtuelle en deux ou trois dimensions sur les éléments de notre réalité, le tout médiatisé par une plateforme informatique, tablette tactile, écran d'ordinateur ou téléphone mobile le plus souvent. »⁸⁵

En effet, la réalité augmentée (**AR**) est une technologie faisant coexister un monde virtuel sur le monde réel. Concrètement l'utilisateur pourra visualiser des informations créées numériquement coïncidant avec le monde réel. « *La réalité augmentée est interdisciplinaire et s'appuie sur le traitement du signal, la vision artificielle, la synthèse d'images, les interfaces homme /application, les technologies portables et l'informatique.*

Cette technologie a connu un fort développement depuis quelques années avec la démocratisation des Smartphones et des tablettes, embarquant une caméra et un environnement matériel assez puissant afin de créer l'environnement virtuel »⁸⁶.

La réalité augmentée est une technologie qui trouve tout son sens pour donner à voir l'invisible où son utilisation se diffuse de plus en plus largement dans les lieux du patrimoine. Elle est un intéressant vecteur pour attirer de nouveaux publics et renforcer l'attractivité d'un site. Dans les musées, elle peut permettre de voir les repentirs d'un peintre, de gamifier un parcours enfants⁸⁷. La création et la mise en ligne des applications qui offrent des visites virtuelles en réalité augmentée aux sites et aux monuments rendent le patrimoine accessible à tout le public sans exception. La reconstitution de l'abbaye de Cluny en Italie et la visite virtuelle du château de Cherbourg disparu, sont considérés comme les exemples les plus célèbres et les plus réussis, dont leurs applications ont connu une forte diffusion entre le public.

⁸⁵Association des villes et pays d'art et d'histoire et des sites patrimoniaux « *Valorisation numérique des patrimoines* » guide page39, France, Edition mars 2017.

⁸⁶MAURY, Yohann et THANG, Rémi (2013). Rapport final « *La Réalité Virtuelle et la Réalité Augmentée dans la représentation de la ville.* » Projet de veille technologique. Nantes : Ecole Centrale de Nantes, France, 27p.

⁸⁷XAVIER (2016). « *week end : patrimoine en immersion* », *Club innovation et culture France*, [en ligne]. [<http://www.club-innovation-culture.fr/week-end-patrimoines-immersion-regards-experts/>] (Consulté le 20 Avril 2018).



Photo. II.9 : La reconstitution virtuelle en réalité augmentée de l'abbaye de Cluny

la visite virtuelle de château de Cherbourg disparu.

Source : En ligne : <http://www.lefigaro.fr/culture/2009/07/27/03004-20090727ARTFIG00227--cluny-des-fenêtres-sur-le-xiesiècle-.php>

Conclusion :

La gestion du patrimoine culturel constitue un enjeu majeur et important pour les pays soucieux de leurs développements. Cette gestion est rendue difficile avec les nouvelles pratiques qui s'imposent dans nos sociétés d'aujourd'hui. En effet les outils classiques n'ont pas l'efficacité souhaitée. Les organismes chargés de cette mission demeurent confrontés à des problèmes liés à l'augmentation du volume de données à gérer, aux processus de gestion qui semblent souvent lents et manquent de coordination, aux difficultés de partage et d'accès simultané aux données ; aux pertes de temps dues parfois à des traitements manuels et à l'archivage.

C'est pourquoi la question de l'emploi des outils numériques dans la conservation du patrimoine s'avère primordiale. Ces outils numériques ont apporté des nouvelles pratiques culturelles, des nouvelles manières de traitement et diffusion de l'information, elles permettent de garantir la bonne conservation des œuvres, sa mise à disposition en format numérique pour mieux protéger l'œuvre originale, ou même de compenser sa perte. Les outils numériques sont des technologies innovantes qui servent le patrimoine tels que **la réalité virtuelle et la réalité augmentée**, ces deux dernières ont commencé à émerger de plus en plus dans les pratiques patrimoniales. De ce fait nous mettons l'accent un peu plus sur **la réalité virtuelle** dans le prochain chapitre.

Introduction :

Au cours des dernières années, plusieurs outils ont montré une grande efficacité au service de **la visualisation numérique**, parmi ces outils on évoque « la réalité virtuelle ». Cette dernière est une technologie relativement jeune, et son utilisation est en croissance continue. Le développement de cette technologie à toucher des domaines divers tels que les sciences, les jeux, l'éducation, l'art...etc. le domaine du patrimoine n'a pas été épargné, il a été influencé par la forte émergence de cette technologie innovante (notamment dans les pays développés). Actuellement il est désormais possible d'exploiter la réalité virtuelle pour mettre le patrimoine en valeur dans le but d'attirer un maximum de public.

En effet dans le présent chapitre il est question d'acquérir des connaissances générales sur cette technologie « la réalité virtuelle ». Ensuite, il est important de comprendre comment cette dernière est utilisée pour conserver et valoriser le patrimoine. Ensuite l'accent sera mis sur l'usage de cette nouvelle technologie dans les sites et les monuments ; de ce fait deux sites patrimoniaux (expériences étrangères) seront étudiés pour mener à bien cette étude sur l'application de la réalité virtuelle pour la mise en valeur d'un bien patrimoniale.

Enfin nous terminerons ce chapitre par un cas d'étude local « *La grande mosquée de Constantine* » qui est la plus ancienne des mosquées Constantinoises ; elle présente l'identité musulmane grâce au grand nombre de tradition présentée dans son architecture. Il a été question dans ce chapitre de faire un essai d'application de la réalité virtuelle sur ce monument et évaluer l'efficacité de cette technologie pour la conservation et la mise en valeur du patrimoine.

III.1. La réalité virtuelle :

III.1.1. Définition de la réalité virtuelle :

La réalité virtuelle (en anglais, *Virtual reality* ou VR) Selon le Grand Larousse est : « *la simulation d'un environnement réel par des images de synthèse* »⁸⁸.

Proposée par B. Arnaldi, P. Fuchs et J. Tisseau dans le traité de la réalité virtuelle :

« *La réalité virtuelle est un domaine scientifique et technique exploitant l'informatique et des interfaces comportementales en vue de simuler dans un monde virtuel le comportement*

⁸⁸LAROUSSE. (En ligne), <http://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/virtuel/101856> (consulté le 29-04-2018)

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.»⁸⁹

D'une manière général La réalité virtuelle est une technologie permettant d'immerger une ou plusieurs personnes dans un environnement réel ou imaginaire créé numériquement et permettant une interaction avec cet environnement.⁹⁰

III.1.2. Les composantes de système de la réalité virtuelle :

Dans l'univers de la réalité virtuelle, on constate l'usage d'un certain nombre d'équipement nécessaire. Il existe plusieurs types de systèmes permettant l'application de cette technologie ; les plus courants seront brièvement décrits ci-dessous :

III.1.2.1. Le casque de réalité virtuelle :

Un casque de réalité virtuelle est un appareil à poser sur la tête, permettant de vivre les expériences vidéo ludiques 3D en réalité virtuelle. Il est doté de lentilles, indispensable pour visionner les vidéos. Aussi, il comprend des capteurs de mouvement servant à repérer le déplacement de la tête. À chaque fois que l'utilisateur bouge sa tête, le même effet est appliqué à la vidéo où il s'y sent comme projeté. Cela lui fait croire qu'il est bel et bien en train de vivre quelque chose d'unique dans cet autre monde.⁹¹



Photo.III.1 : Le casque de réalité virtuelle

Commentaire : Un dispositif d'affichage qui permet à la personne qui le porte de vivre une expérience sensorielle dans un monde virtuel numérique.

Source : (realite-virtuelle.com (2016). «Casque VR», [en ligne]. [http://www.realite-virtuelle.com/produits/casque-vr] [le : 29-04- 2018].

⁸⁹FLEURY, Cédric (2015 /2016). « *Cour réalité Virtuelle et Interactions* », Université Paris-Sud.

⁹⁰MAURY, Yohann et THANG, Rémi (2013),« *Rapport final –La Réalité Virtuelle et la Réalité Augmentée dans la représentation de la ville* »,Projet de veille technologique, Ecole Centrale de Nantes, France, 27p.

⁹¹REALITE-VIRTUELLE.COM (2016). « Casque VR », *realite-virtuelle.com*, [En ligne]. [http://www.realite-virtuelle.com/produits/casque-vr] (Consulté le : 29 Avril 2018).

III.1.2.2. Les salles de la réalité virtuelle :

Les salles de la réalité virtuelle sont des salles dans lesquelles s'applique des projections sur les murs, le sol et le plafond avec un système de capture des mouvements qui sert à ajuster la perspective en fonction des déplacements.⁹²



Photo.III. 2: Une salle de réalité virtuelle immersive

Source : journal du net (2018). « *Réalité virtuelle immersive* », [En ligne], <https://www.journaldunet.com/solutions/dsi/1170033-inria-les-projets-en-images/1171272-realite-virtuelle-immersive>. [le : 20-05- 2018].

III.1.3. Domaines d'applications de la réalité virtuelle :

La réalité virtuelle est une technologie nouvelle, avec 15 ans d'expérience à peine. Malgré son jeune âge, elle s'est imposé dans des secteurs divers (voir figure.III.1 ci-dessous) et de plus en plus nombreux, parmi lesquels on mentionne :

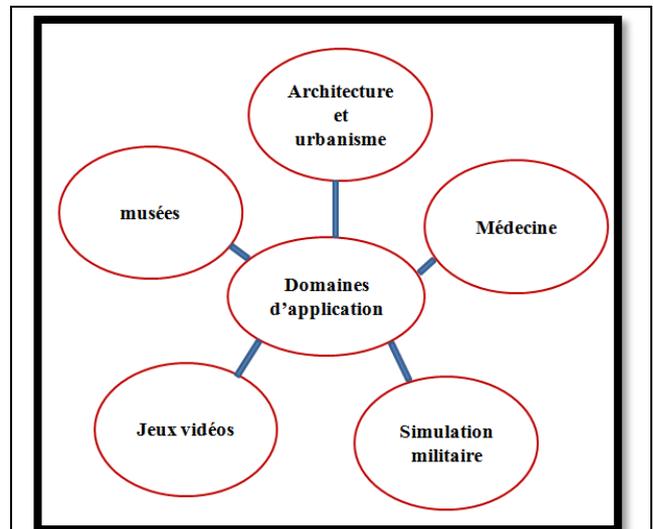


Figure.III.1 : Les domaines d'application de système réalité virtuelle.

Commentaire : La Grande diffusion de la réalité virtuelle dans tous les domaines de vie

Source : (Auteurs, 2018).

⁹²Ibid

III.1.3.1. L'architecture et l'urbanisme :

La réalité virtuelle commence à être utilisée dans le domaine d'urbanisme par les conseils généraux et régionaux, Cette technique est très utile pour les grands projets architecturaux pour monter l'œuvre, afin d'éviter tous les défauts lors de la mise en construction du projet. La RV est un véritable outil pour aider à **la prise de décision**.⁹³

III.1.3.2. La médecine :

L'expansion de la réalité virtuelle a touché autres domaines comme la médecine, cette expansion permettra une amélioration du diagnostic et facilitera surtout les interventions chirurgicales. La réalité virtuelle ouvre de grandes perspectives dans le domaine médical⁹⁴.

III.1.3.3. La simulation Militaire :

L'armée Américaine qui est toujours à la pointe de la technologie utilise énormément la réalité virtuelle ⁹⁵:

- Simulation de combats.
- Entraînement au tir.
- Formation de pilotage pour les engins de guerre.
- Lors de vrai combat la réalité virtuelle sert de technique stratégique pour prévoir les plans de bataille.

III.1.3.4. Les Jeux vidéo :

La réalité virtuelle a connu son grand succès dans le domaine des jeux vidéo, notamment avec l'apparition des captures mouvement, qui servent à reproduire les gestes que l'on fait au réel sur l'écran. Plusieurs entreprises de jeux vidéo ont utilisé le système de réalité virtuelle pour enrichir le succès commercial de ces produits à titre d'exemple, on cite les jeux vidéo les plus populaires en réalité virtuelle comme « **MineCraft et Rocket League** »⁹⁶

III.1.3.5. Les musées :

Comme internet est en train d'imposer de nouveaux modèles de travail, vu la numérisation croissante du patrimoine culturel et devant la demande de rendre les collections

⁹³E-MONSITE (2016). « *La réalité virtuelle en 3D* », *E-MONSITE*, [En ligne]. <http://realite3d.e-monsite.com/pages/domaine-d-utilisation/domaines-d-applications-de-la-rv-3d.html> (Consulté le : 29 Avril 2018).

⁹⁴Ibid

⁹⁵Ibid

⁹⁶Ibid

muséales plus accessibles : Les institutions muséales commencent à en tirer parti et la perspective de passer en mode virtuel est devenue une évolution primordiale. Ainsi, les musées commencent à utiliser les systèmes de **la réalité virtuelle (VR)** « pour concevoir leurs futures expositions ainsi que pour organiser des visites interactives à distance notamment à l'égard des personnes handicapés. »⁹⁷

III.1.4. La réalité virtuelle au service du patrimoine :

Les progrès rapides de la technologie de la réalité virtuelle offrent des qualités immersives et interactives au contenu du patrimoine. De nombreux projets du patrimoine virtuel ont vu le jour au cours des dernières années, car de nombreux sites patrimoniaux ont disparu ou sont sur le point de disparaître. La technologie VR nous permet non seulement de recréer les sites virtuellement, mais aussi de recréer les différents moments telle qu'ils étaient avant leur dégradation, un autre avantage majeur de la technologie VR est d'explorer les objets patrimoniaux d'une manière non destructive sans manipuler ou endommager la pièce ou le cadre d'origine.⁹⁸

Deux sites patrimoniaux seront étudiés pour mener à bien cette étude sur l'application de la réalité virtuelle pour la mise en valeur d'un bien patrimoniale.

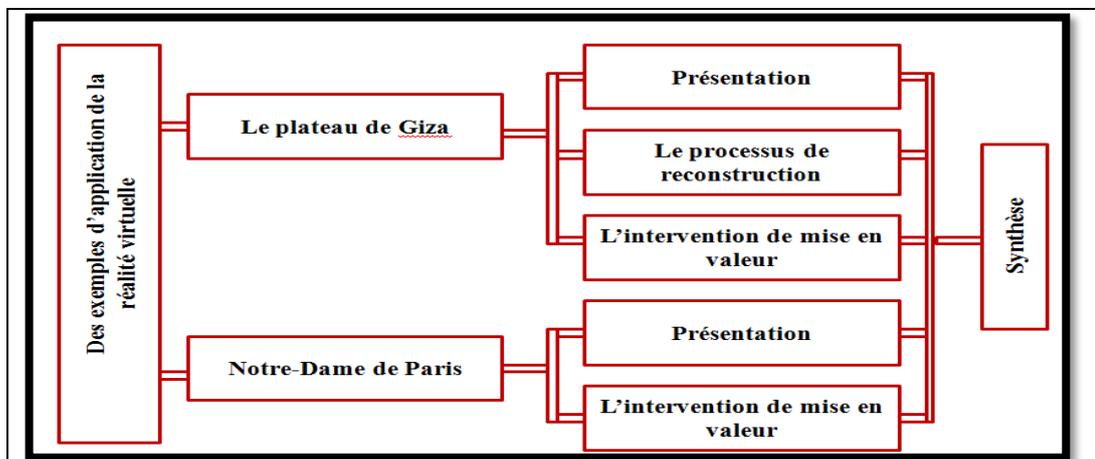


Figure.III.2: Des exemples d'application de réalité virtuelle.

Commentaire : des exemples sur les expériences étrangères sur la conservation du patrimoine par la réalité virtuelle.

Source : (Auteurs, 2018).

⁹⁷E-MONSITE (2016). « La réalité virtuelle en 3D », E-MONSITE, [En ligne]. <http://realite3d.emonsite.com/pages/domaine-d-utilisation/domaines-d-applications-de-la-rv-3d.html> (Consulté le : 29 Avril 2018).

⁹⁸SONG Meehae (2006). « VirtualReality for Cultural Héritage Application, Master of Engineering, Nanyang », Nanyang TechnologicalUniversity, p180.

III.1.4.1. Le cas du plateau du Giza(Égypte):

III.1.4.1.a. Présentation du plateau :

Le plateau du Giza est l'un des plus importants sites archéologiques dans le monde, il contient les trois célèbres pyramides **Khéops, Khephren et Mykérinos**, dont la grande construite par Khéops, fait partie des sept merveilles du monde antique. Autour de ces monuments s'organisent différentes structures, également installées au cœur du plateau : pyramides satellites, temples funéraires et champs de tombeaux abritant les sépultures des hauts fonctionnaires ou des personnages proches de la famille du roi. Plus loin, vers l'est, apparaissent les édifices situés en contrebas du plateau, à la limite entre le désert et les terres cultivées : les uns, en particulier les temples de la vallée et le sphinx gardien de la nécropole, sont directement attachés aux complexes funéraires ; les autres, notamment les installations portuaires et le village des ouvriers, répondent à des besoins liés au fonctionnement quotidien de la nécropole⁹⁹.



Photo.III.3: Plateau du Giza.

Commentaire : Le plateau du Giza est l'un des plus importants sites archéologique dans le monde ce qui est très populaire auprès des visiteurs.

Source : En ligne : <https://worldstoria.com/pyramids-egypt>, (Consulté le 25-04-2018).

III.1.4.1.b. Le processus de reconstruction virtuelle de Giza :

- Le projet « Giza Archives » est une initiative numérique menée par le Musée de MFA de Boston (Museum of Fine Arts), l'un des plus importants musées d'art encyclopédique au

⁹⁹PASSION EGYPTIENNE (2006). « *Le plateau de Gizeh* », Passion égyptienne [en ligne]. [<http://www.passion-egyptienne.fr/Gizeh%20site.htm>]. (Consulté le 25-04-2018).

Chapitre III : La réalité virtuelle au service de la pérennité et l'accessibilité du patrimoine culturel

monde, avec collaboration avec Dassault Systèmes le leader des logiciels 3D. En avril 2010 les deux partenaires ont signé un contrat stratégique d'innovation destiné à mettre la puissance de la 3D industrielle et expérientielle au service de l'archéologie.¹⁰⁰

- Ce projet a commencé par des recherches et des collections d'archives méticuleusement recoupées prises lors d'expéditions, des journaux, des carnets de fouilles, des cartes, des plans, ainsi que des croquis relatifs aux tombeaux et aux pyramides du plateau de Giza.¹⁰¹

- En 2012, et après deux années de travail, le spécialiste des logiciels de conception 3D Dassault Systèmes a mis au point ce projet ambitieux, Le résultat de ces travaux constitue la base de données numérique à propos du plateau de Giza, cet outil exceptionnel est disponible gratuitement sur le site « 3ds.com/giza3D ».



Photo.III. 4: La reconstruction virtuelle du plateau de Giza

Commentaire : la reconstruction virtuelle de plateau Giza donne à tous l'opportunité de l'explorer même si sans visite réel.

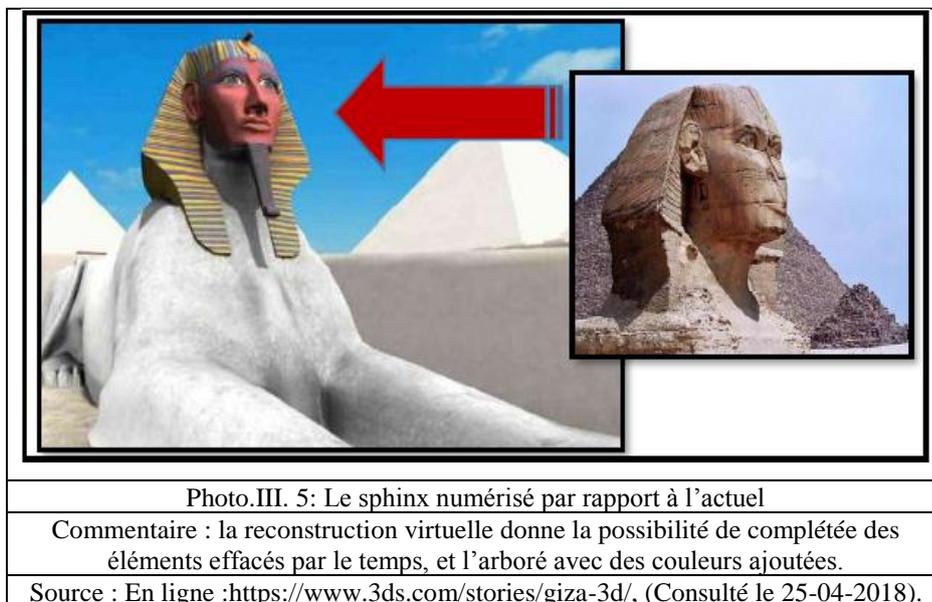
Source : En ligne :<https://www.3ds.com/stories/giza-3d/>, (Consulté le 25-04-2018).

- Le mérite du travail est qu'il n'est pas concentré seulement sur l'aspect extérieure du plateau, il s'intéresse à accéder vers des recoins physiquement inaccessibles, aux galeries souterraines et aux tombeaux, parfois enfouis profondément jusqu'aux niches où sont déposés les sacrifices.

¹⁰⁰DASSAULT SYSTEMES (2010). « *Dassault Systèmes et le Museum of Fine Arts de Boston signent un partenariat stratégique dans les domaines du contenu archéologique, de la simulation et de la visualisation en 3D* », Dassault Systèmes, [en ligne]. [<https://www.3ds.com/fr/communiques-de-presse/detail-des-communicues-de-presse/dassault-systemes-et-le-museum-of-fine-arts-de-boston-signent-un-partenariat-strategique-dans-les/>] (Consulté le 25-04-2018).

¹⁰¹ DASSAULT SYSTEMES (2010). « *Dassault Systèmes et le Museum of Fine Arts de Boston signent un partenariat stratégique dans les domaines du contenu archéologique, de la simulation et de la visualisation en 3D* », Dassault Systèmes, [en ligne]. [<https://www.3ds.com/fr/communiques-de-presse/detail-des-communicues-de-presse/dassault-systemes-et-le-museum-of-fine-arts-de-boston-signent-un-partenariat-strategique-dans-les/>] (Consulté le 25-04-2018).

• Les chercheurs archéologues veulent numériser le plateau tel qu'il était à l'époque pharaonique, pour cette raison qu'ils ont complétée aussi des éléments effacés par le temps, et l'arboré avec des couleurs ajoutées, la reconstruction ne laisse rien, même les trésors que contenait les chambres funéraires de la reine, les fresques présentées au sein des tombes pharaoniques.¹⁰²



• Le projet est en perpétuel développement, et ils faits des innovations et mises à jour chaque fois « *Le contenu évolue en permanence au fur et à mesure de l'avancement de nos connaissances. Il n'y a rien de figé. Pour l'heure, moins de 10 % du site a été reconstitué, nous avons des années de travail devant nous* ». Explique Peter Der Manuelian, titulaire de la prestigieuse chaire d'égyptologie du projet.¹⁰³

III.1.4.1.c. L'intervention de mis en valeur par la réalité virtuelle de Giza :

Après la reconstruction, Dassault Systèmes et le MFA (Museum of Fine Arts) ont imaginé de nouvelles formes d'expériences multiplateformes, qu'elles soient individuelles, collectives, sur internet ou dans les dispositifs les plus complexes, il s'agit de la réalité virtuelle.¹⁰⁴

¹⁰²MOTTEZ, Vincent (2014). « *Pharaons et nouvelles technologies* », France : Historia, p6.

¹⁰³MENNESSIER, Marc (2012). « *Le plateau de Gizeh et ses pyramides reconstitués en 3D* », Le figaro, [en ligne]. [<http://www.lefigaro.fr/sciences/2012/05/09/01008-20120509artfig00377-le-plateau-de-gizeh-et-ses-pyramides-reconstitues-en-3d.php>]. (Consulté le 19-12-2017).

¹⁰⁴DASSAULT SYSTEMES (2010). « *Dassault Systèmes et le Museum of Fine Arts de Boston signent un partenariat stratégique dans les domaines du contenu archéologique, de la simulation et de la visualisation en 3D* », Dassault Systèmes, [en ligne]. [<https://www.3ds.com/fr/communiques-de-presse/detail-des-communiques-de-presse/dassault-systemes-et-le-museum-of-fine-arts-de-boston-signent-un-partenariat-strategique-dans-les/>] (Consulté le 25-04-2018).

Chapitre III : La réalité virtuelle au service de la pérennité et l'accessibilité du patrimoine culturel

La visite avec la réalité virtuelle est disponible au sein du musée du Boston dans une salle de projection immersive, ses visiteurs équipés de lunettes 3D peuvent se transporter virtuellement sur le plateau de Giza, pourtant situé à des dizaines de milliers de kilomètres de Boston, déambuler à volonté dans les innombrables galeries et chambres funéraires du site ou encore pénétrer à l'intérieur pour ou observer en coupe la pyramide de Kheops. Plus étonnant encore, la simulation offre la possibilité de plonger dans les profondeurs de la nécropole et de visualiser les centaines de puits funéraires creusés sur le site au fil des générations. Le tout à différentes époques.¹⁰⁵

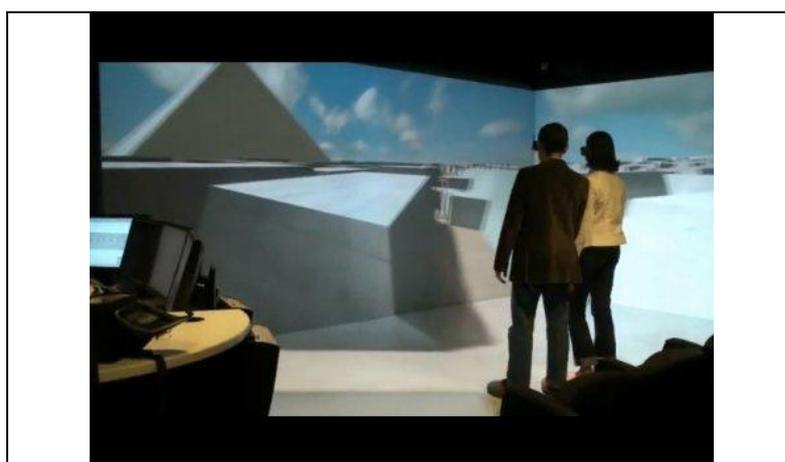


Photo.III. 6: La salle immersive du musée du Boston

Commentaire : visite virtuelle de plateau Giza donne à tous l'opportunité de l'explorer même si sans visite réel.

Source : En ligne : <http://www.club-innovation-culture.fr/dassault-systemes-et-le-museum-of-fine-arts-de-boston-sassocient-autour-de-gizeh-en-3d/>(Consulté le 06-05-2018).

L'expérience immersive est installée ainsi dans le bureau du département de Peter Der Manuelian à l'intérieur de l'université de Harvard. Le déplacement se fait par les mouvements de la tête et la manette et avec la présence d'un casque de réalité virtuelle et un écran de télé 3D. Les étudiants en égyptologie de l'université bénéficient d'un cours hors-norme à l'aide de cette technologie, Der Manuelian explique à ce propos : « *Je pensais que mes étudiants, habitués aux jeux vidéo, ne seraient pas forcément très impressionnés par cette technologie. Mais non : ils trouvent cela passionnant, parce que justement ce n'est pas un jeu mais la réalité* »¹⁰⁶

¹⁰⁵MENNESSIER, Marc (2012). « *Le plateau de Gizeh et ses pyramides reconstitués en 3D* », Le figaro, [en ligne]. [[Http://www.lefigaro.fr/sciences/2012/05/09/01008-20120509artfig00377-le-plateau-de-gizeh-et-ses-pyramides-reconstitues-en-3d.php](http://www.lefigaro.fr/sciences/2012/05/09/01008-20120509artfig00377-le-plateau-de-gizeh-et-ses-pyramides-reconstitues-en-3d.php)]. (Consulté le 19 Décembre 2017).

¹⁰⁶DUMAS, Cécile (2012). « *Gizeh en 3D : l'égyptologie virtuelle à portée de main* », Sciences et avenir[en ligne]. [[Https://www.sciencesetavenir.fr/archeo-paleo/gizeh-en-3d-l-egyptologie-virtuelle-a-portee-de-main_21458](https://www.sciencesetavenir.fr/archeo-paleo/gizeh-en-3d-l-egyptologie-virtuelle-a-portee-de-main_21458)]. (Consulté le 20-01-2018).



III.1.4.2. Le cas de Notre-Dame de Paris:

III.1.4.2.a. Présentation de la cathédrale :

Notre-Dame de Paris est une cathédrale gothique construite durant le XIII^{ème} siècle, elle est l'une des cathédrales les plus connues du monde. Cette cathédrale de 900 ans a initialement pris plus de 200 ans pour construire et elle est toujours dans un état de reconstruction ou de préservation, car il attire plus de 50.000 visiteurs chaque jour avec environ 13,5 millions de pèlerins et visiteurs par an. Notre-Dame de Paris, est le monument de France et peut-être d'Europe le plus visité, cette cathédrale est connue dans le monde entier depuis plus de cinq siècles.¹⁰⁷

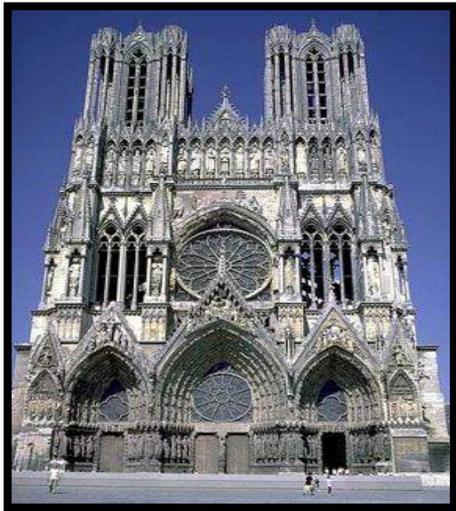
III.1.4.2.b. L'intervention de mise en valeur par la réalité virtuelle :

La visite virtuelle de la cathédrale Notre-Dame de Paris en réalité virtuelle est faite pour découvrir la cathédrale telle qu'elle était auparavant, ainsi pour mettre en valeur les différentes statues et pour faire zoomer les parties inaccessibles que l'immense hauteur de la cathédrale empêche de visualiser tels que la fameuse cloche de Bourdon.

¹⁰⁷SONG, Meehae (2006). « *Virtual Reality for Cultural Heritage Application, Master of Engineering, Nanyang* »: Nanyang Technological University, p21. (en ligne), <https://repository.ntu.edu.sg/bitstream/handle/10356/35750/MeehaeSong06.pdf> (Consulté le 20 Novembre 2016).

Chapitre III : La réalité virtuelle au service de la pérennité et l'accessibilité du patrimoine culturel

Le travail a été fait par des chercheurs qui ont recréé numériquement la cathédrale en utilisant la modélisation 3D de haute qualité. Le mérite de leur travail est qu'il est multiutilisateur et accessible au public en temps réel de n'importe où dans le monde par la technologie de réalité virtuelle, en plus ils ont incorporé l'idée d'un guide touristique virtuel et ont présenté leur travail sur des cédéroms qui permet l'accès global de cette belle cathédrale.¹⁰⁸

| | |
|--|---|
|  |  |
| <p>Photo.III. 8: La cathédrale Notre-Dame de Paris</p> | <p>Photo.III.9: La simulation 3D de Notre-Dame de Paris</p> |
| <p>Commentaire : La cathédrale Notre-Dame de Paris qui est témoin d'une grande fréquentation du visiteur.</p> | <p>Commentaire : la simulation 3D donne la possibilité d'accessible au public en temps réel de n'importe où dans le monde par la technologie de réalité virtuelle</p> |
| <p>Source : En ligne : https://www.pinterest.com/igori/notre-dame-de-paris/</p> | <p>Source : En ligne : pierregable.fr/portfolio/notre-dame-de-paris/</p> |

Synthèse :

L'analyse des deux projets de « Giza archives » et « Notre Dame de Paris » nous a permis de constater la possibilité qu'offre la réalité virtuelle de voyager dans le temps et l'espace au cœur des deux exemples, pour visiter les grands monuments des civilisations précédentes. De ce fait on peut déduire que « **la réalité virtuelle** » dépasse tous les obstacles de distance et de temps, ainsi le site est devenu accessible au public alors qu'il est loin de milliers de kilomètres. De plus la réalité virtuelle et les expériences 3D présente l'un des plus importants supports d'information au service de **l'éducation et de la recherche**. Donc c'est un outil contemporain qui permet **d'enseigner aux utilisateurs la culture et le patrimoine** et de le **vulgariser**.

¹⁰⁸Ibid

III.2. Essai d'application de la réalité virtuelle : cas de la grande mosquée de Constantine

Dans le cadre de notre recherche nous nous intéressons à l'outil numérique appréhendé en tant que dispositif d'aide pour la connaissance, la compréhension et la conservation du patrimoine notamment bâti. L'étude d'un cas d'étude videra renforcer notre travail ; celui de « **La grande mosquée de Constantine** » ; considérée comme la plus ancienne des mosquées constantinoise¹⁰⁹ ; elle présente l'identité musulmane grâce au grand nombre de tradition présenté dans son architecture. Accueillant des fidèles à nos jours ; elle dévoile des caractéristiques historiques et un aspect architectural unique et monumental.

Cette mosquée a subi de nombreuses modifications durant les passages des différentes civilisations et continu à subir jusqu'à nos jours avec des travaux d'entretien qui peuvent être considéré comme non professionnel dans le domaine de la préservation du patrimoine. Ils ont altéré le cachet original de la mosquée, d'où une perte de son authenticité et sa valeur d'ancienneté. Notre essai a été choisi afin de vérifier la possibilité d'application de la réalité virtuelle au service du patrimoine, en faisant des interventions virtuelles pour la conservation et la mise en valeur de la mosquée en respectant les exigences de l'actualité et celle de l'authenticité.

III.2.1.Situation :

« **La grande mosquée de Constantine** » est située sur l'ancienne rue Clémenceau, actuelle rue Larbi Ben Mhidi, édifiée dans un lieu qui semble depuis l'antiquité être consacré au culte.



Figure.III.3 : situation de la grande mosquée de Constantine

Source : Auteurs (Traitement personnel)

¹⁰⁹Construite sous les Hammadides en 633 de l'hégire, 1236 de l'ère chrétienne. Restaurée par les Turcs, elle garde jusqu'à nos jours une valeur historique exceptionnelle par son statut de pôle important dans la vie religieuse des Constantinois

III.2.2. Synthèse de diagnostic :

La grande mosquée historique de Constantine a subi des travaux d'entretien qui peuvent être considéré comme non professionnel dans le domaine de la préservation du patrimoine, qui ont altéré son cachet original ; donc une perte de son authenticité.

• **Les principales dégradations sur la mosquée :**

| | |
|--|---|
|  |  |
| Photo.III.10 : Dégradation de l'enduit des murs | Photo.III.11 : Pourrissement du plafond |
| Commentaire : gonflement du revêtement au niveau des murs | Commentaire : l'apparition d'une verdure dans le plafond |
| Source : CEAT EL MEDINA | Source : CEAT EL MEDINA |

| | |
|---|--|
|  |  |
| Photo.III.12 : Dégradation du bois | Photo.III.13 : Fissure entre la nouvelle et l'ancienne structure |
| Commentaire : linteaux des fenêtres endommagés | Commentaire : mauvaises finitions sur les côtés du versant ce qui donne par conséquent une mauvaise liaison entre les deux piliers |
| Source : CEAT EL MEDINA | Source : CEAT EL MEDINA |

- les zones d'interventions non professionnelles subies :

| | |
|---|---|
|  |  |
| <p>Photo.III.14 : Le mihrab de la mosquée</p> | <p>Photo.III.15 : Colonne et mur intérieur de la salle de prière</p> |
| <p>Commentaire : mauvaise traitement de mihrab</p> | <p>Commentaire : la couverture des colonnes et de mur par le bois qui a caché son originalité</p> |
| <p>Source : Auteurs 2018</p> | <p>Source : Auteurs 2018</p> |

| | |
|---|--|
|  |  |
| <p>Photo.III.16 : La cour couverte</p> | <p>Photo.III.17 : Installation de système de chauffage et climatisation</p> |
| <p>Commentaire : perde l'authenticité et originalité de la mosquée</p> | <p>Commentaire : la mosquée n'a pas besoin de se système puisque il y a un confort thermique</p> |
| <p>Source : Auteurs 2018</p> | <p>Source : Auteurs 2018</p> |

III.2.2.1. Scenarios d'intervention:

Pour mettre en valeur cette mosquée nous allons évoquer et renforcer les valeurs suivantes à travers l'implantation d'un nouvel équipement assurant la continuité symbolique, fonctionnelle (cultuelle et culturelle):

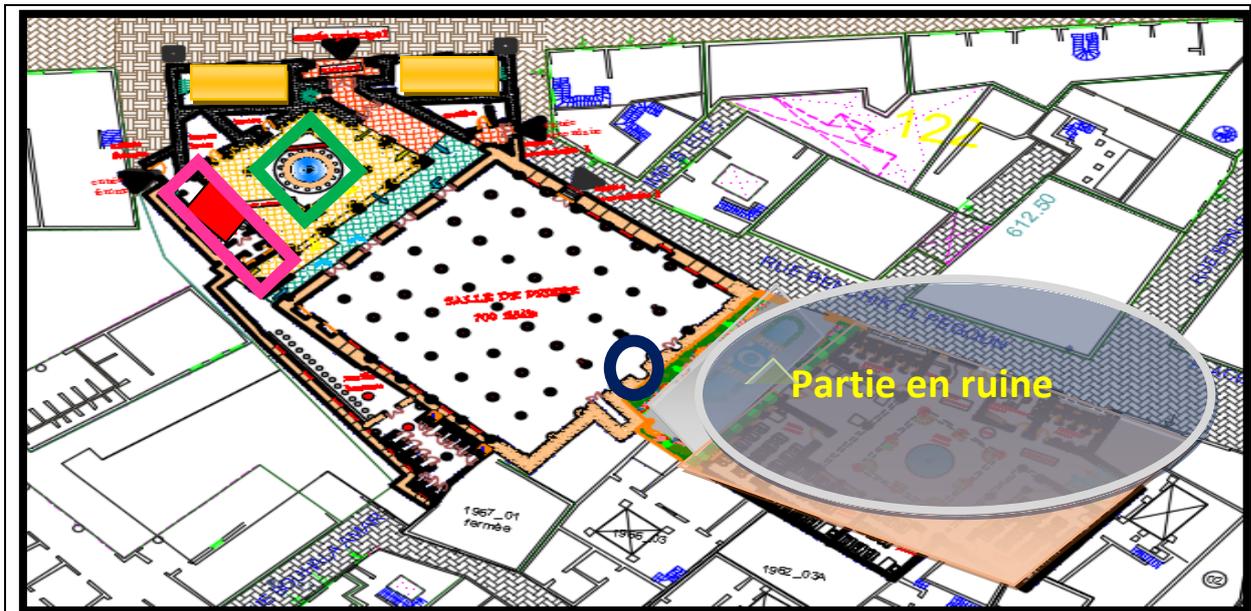
| Valeur cultuelle | Valeur Architectural | Valeur D'usage | Valeur social | Valeur Historique |
|--|--|---|---|--|
| - La grande mosquée était au passé un pôle religieux - Ne contient pas des tombeaux | - Un carrefour culturel et civilisationnel - Témoigne le langage de la culture ou de la communauté musulmane. | - Rôle cultuel, comme lieu de prière - Muséale : elle reçoit des visiteurs ayant une certaine curiosité. - c'est un Lieu d'enseignement | - L'attachement des habitants est fort avec cette mosquée. - Représente le cœur de la médina (vieille ville) | -Elle est le centre des composants urbains de la vieille ville -Situé dans la plus grande zone religieuse à l'époque. |

Tableau.III.1 : Les différentes valeurs présentes dans la grande mosquée de Constantine

III.2.2.2. Les interventions :

- ❖ Enlevé la couverture en bois sur les colonnes.
- ❖ Faire un parcours pour la *Maida* et un autre pour salle de prière.
- ❖ Enlevé le système de chauffage et de climatisation moderne.
- ❖ Agrandir la salle de prière pour les femmes, avec création d'une *Maida*.
- ❖ Procéder à l'ouverture de la cour et faire un jet d'eau, donc rendre la vraie sensation de la mosquée.
- ❖ Traitement du mihrab : stuc : écriture épigraphique – Faïence.
- ❖ Réaffectation des magasins par d'autres activités religieuses.
- ❖ Élargir la porte de la *Maida*.
- ❖ Enlevé la couverture en bois sur le mur et la remplacer par faïence.
- ❖ Implantation d'un jardin afin d'assurer la liaison entre la mosquée et l'école pour récupérer la valeur spirituelle et symboliser le paradis.

- ❖ projection d'une école coranique pour renforcer l'identité, et assurer la continuité fonctionnelle et symbolique de la mosquée.



Carte.III.1 : plan d'actions sur la grande mosquée de Constantine

Source : Auteurs (traitement personnel)

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|--|
|  | Réaffectation des magasins par d'autres activités |  | Parcours pour la <i>Maida</i> |  | Parcours pour la salle de prière |
|  | Création d'une <i>Maida</i> pour les femmes |  | Agrandir la salle de prière pour les femmes |  | L'ouverture de la cour et faire un jet d'eau |
|  | Traitement du mihrab |  | Jardin |  | Ecole coranique |

III.2.3. Le processus de reconstruction virtuelle de la grande mosquée :

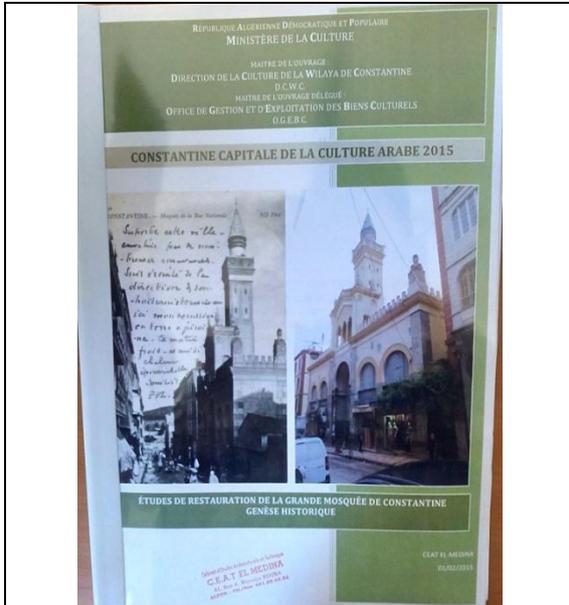
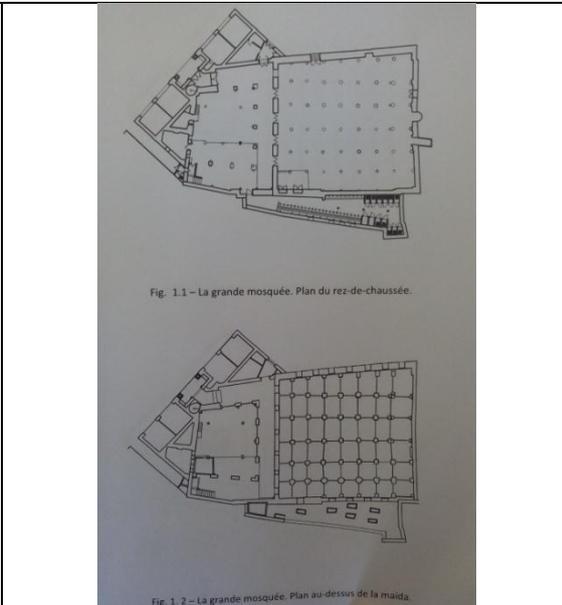
Afin de vérifier la possibilité d'application de « la réalité virtuelle » au service du patrimoine et d'évaluer son importance. On va faire des interventions virtuelles pour la conservation et la mise en valeur de la mosquée en respectant les exigences de l'actualité et celle de l'authenticité.

De ce fait notre méthodologie de travail consiste dans un premier temps à **la Collecte des données** nécessaires pour une meilleure compréhension de l'œuvre architecturale ; ensuite **la Modélisation 3d du projet** en utilisant deux logiciels connus et accessibles par les architectes (Autocad et sketshup).

Une fois les modèles réalisés il est question de procéder à la **diffusion de modèle 3D** de la grande mosquée **en VR**. Pour finaliser notre travail on procèdera à l'établissement d'un **questionnaire** et analyser ensuite les résultats.

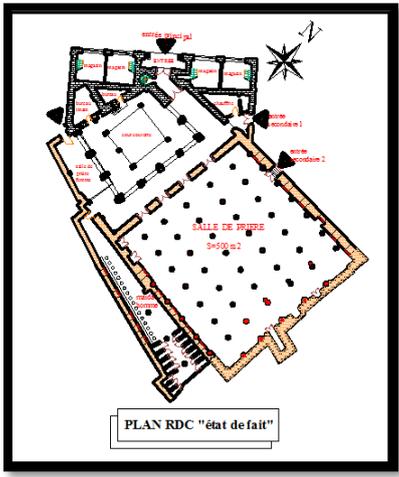
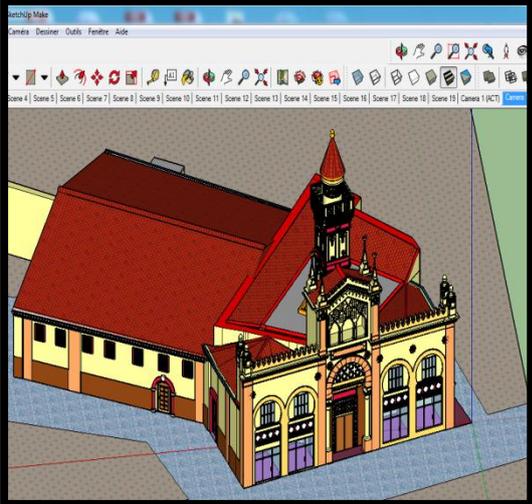
- **Collecte des données :**

Ce projet a commencé par des recherches, des collectes de données et des relevées sur la grande mosquée. Auprès des différents services (notamment OGOBC) et en se basant sur une documentation iconographique, des photos des plans anciens... etc.

| | |
|--|--|
|  |  |
| <p align="center">Photo.III.18 : Etudes de restauration de la grande mosquée</p> | <p align="center">Photo.III.19 : Plan de la grande mosquée de Constantine</p> |
| <p align="center">Source : CEAT EL MEDINA, « études de restauration de la grande mosquée de Constantine genèse historique », OGOBC, Constantine, 2015.</p> | <p align="center">Source : CEAT EL MEDINA, « études de restauration de la grande mosquée de Constantine genèse historique », OGOBC, Constantine, 2015.</p> |

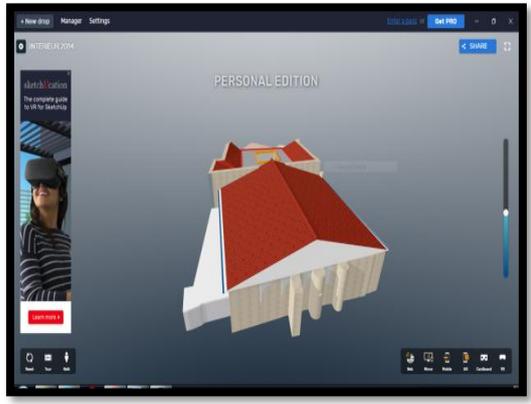
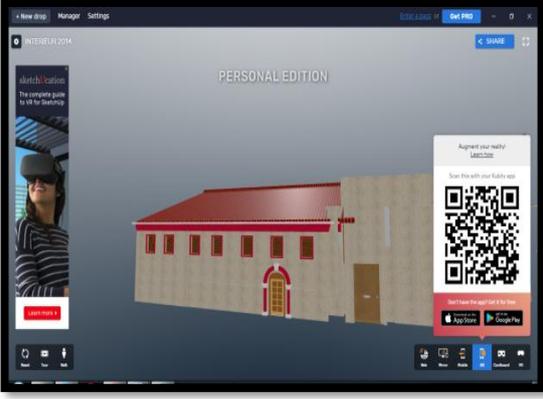
- **Modélisation 3D du projet :**

Par l'utilisation de différents programmes de modélisation **AutocadetSketchup** qui consistent à créer des objets 2D et 3D, par ajout, soustraction et modification de ses constituants, qu'il soit réel ou non.

| | |
|--|--|
|  <p>PLAN RDC "état de fait"</p> |  |
| <p>Figure.III. 4 :Plan 2D Autocad de la grande mosquée</p> | <p>Figure.III.5: Modèle 3D Sketchup de la grande mosquée</p> |
| <p>Source : Auteurs 2018</p> | <p>Source : Auteurs 2018</p> |

• **Diffusion de modèle 3D de la grande mosquée en VR :**

- Update le modèle 3D sous format « *sketchup* » sur le programme **Kubity**¹¹⁰ pour obtenir le modèle **VR**¹¹¹ du projet.

| | |
|---|--|
|  |  |
| <p>Figure.III. 6 : Le modèle 3D de la mosquée dans le programme Kubity</p> | <p>Figure.III. 7 : Le code QR de la mosquée dans le programme Kubity</p> |
| <p>Source : Auteurs 2018</p> | <p>Source : Auteurs 2018</p> |

- Scan le code QR du projet par l'application Kubity sur ANDROID ou IOS.

¹¹⁰Kubity : c'est une application et service permettant la messagerie instantanée de fichiers 3D sur plusieurs appareils

¹¹¹VR : Réalité virtuelle

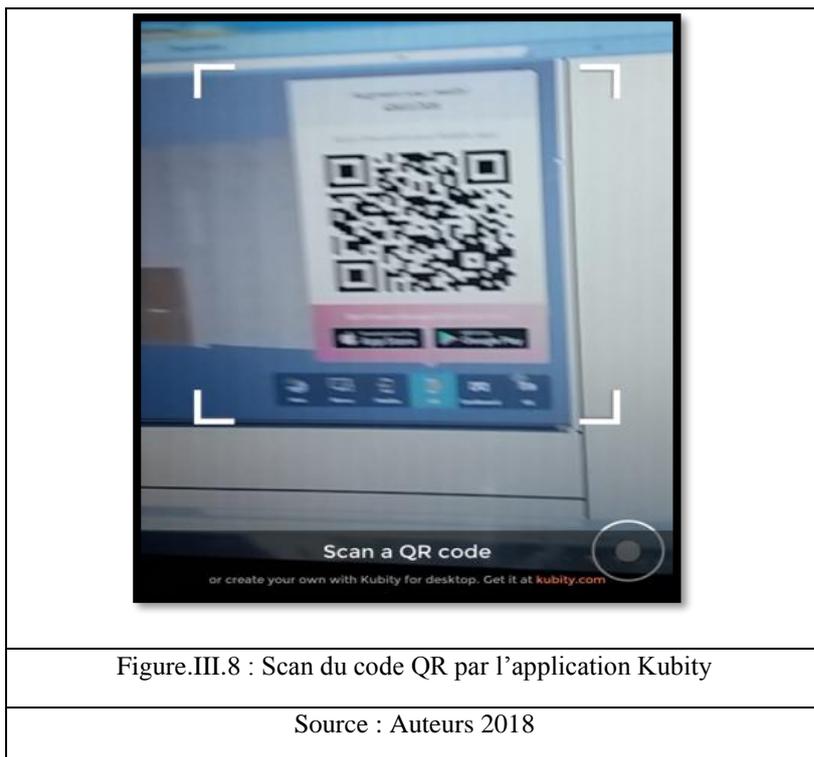


Figure.III.8 : Scan du code QR par l'application Kubby

Source : Auteurs 2018

- L'utilisation du casque VR pour la diffusion virtuelle du projet.

| | |
|--|-------------------------------------|
| | |
| <p>Photo.III.20:La projection du modèle 3D par l'application Kubby sur ANDROID</p> | <p>Photo.III.21 : Casque VR BOX</p> |
| <p>Source : Auteurs 2018</p> | <p>Source : Auteurs 2018</p> |

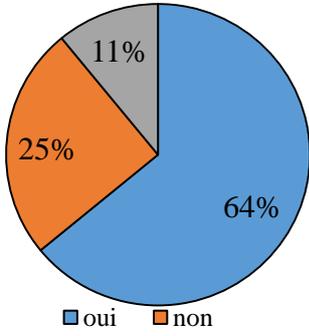
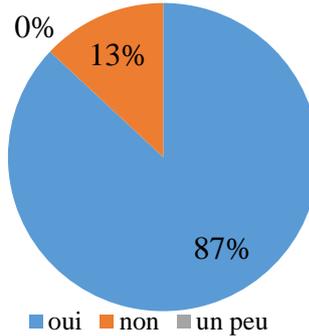
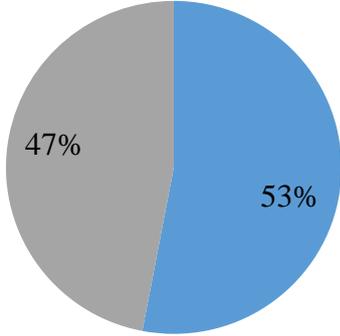
III.2.4. Réalisation d'un questionnaire :

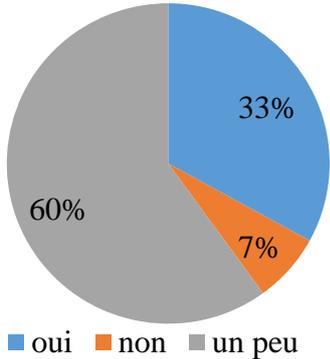
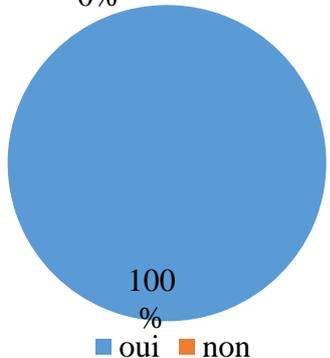
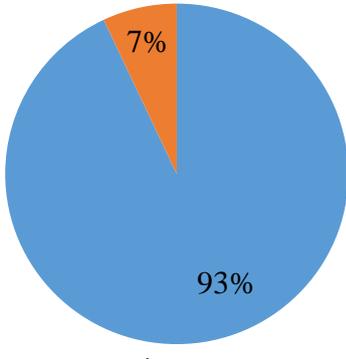
Pour finaliser notre essai, il a été question d'étayer notre travail par un questionnaire¹¹² qui porte sur l'usage de la réalité virtuelle au service du patrimoine. Ainsi cela vas nous permettre **de comparer deux méthodes** :la description du patrimoine avec des informations

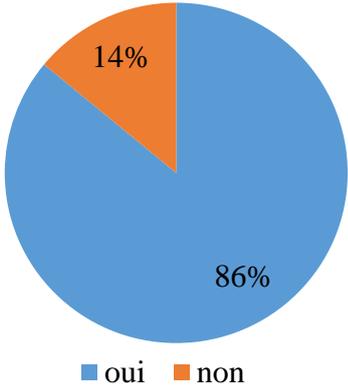
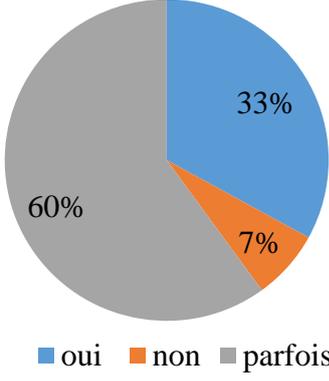
¹¹²Le questionnaire sera destiné principalement pour des étudiants en architecture ; et pour les acteurs du patrimoine.

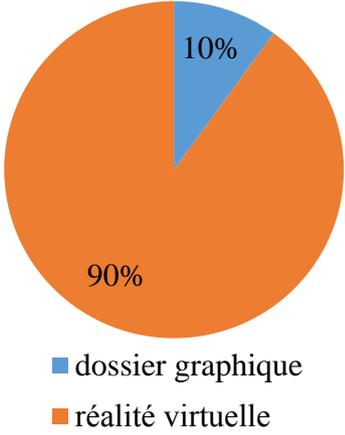
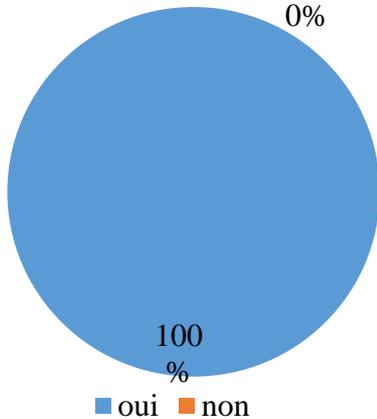
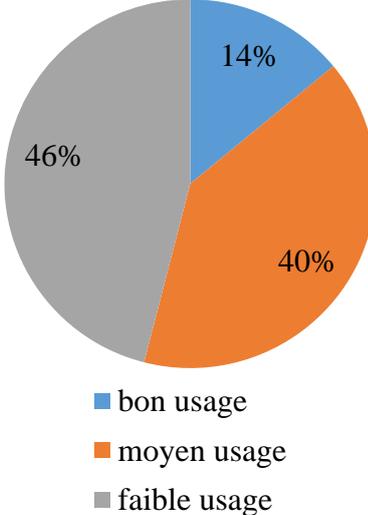
sur papier (outils classique) et la description en se basant sur des données sur support informatique (avec la réalité virtuelle).

III.2.4.1. Analyse des résultats du questionnaire :

| Question | Les statistiques | Synthèse |
|---|---|--|
| <p>1-Avez-vous des connaissances (culturel, historique, architectural...ou autres) à propos de la grande mosquée de Constantine ?</p> |  <p>Figure.III.9 : la connaissance de la grande mosquée de Constantine</p> <p>Source : Auteurs 2018</p> | <p>Parce qu'elle est classée comme patrimoine national et a une grande valeur : historique ou architecturale donc elle est connue par la plupart des étudiants du patrimoine.</p> |
| <p>2-Avez-vous auparavant entendue parler de « la réalité virtuelle » ?</p> |  <p>Figure.III. 10 : la connaissance de la réalité virtuelle</p> <p>Source : Auteurs 2018</p> | <p>Evidemment qu'elle soit connue à cause de la forte diffusion de la technologie ces dernières années « la mondialisation » donc la réalité virtuelle offre beaucoup d'avantages dans le futur.</p> |
| <p>3-La description du patrimoine (notamment la grande mosquée objet de notre étude) peut se faire avec des informations sur papier. D'après vous est-elle suffisante pour une bonne compréhension de l'œuvre architecturale ?</p> |  <p>Figure.III. 11 : prendre une idée sur la mosquée à travers le dossier graphique</p> <p>Source : Auteurs 2018</p> | <p>Le questionnaire est posé sur des étudiants d'architecture donc ils peuvent lire et comprendre le dossier graphique. Mais l'usage du dossier graphique doit être associé avec d'autres outils pour une meilleure compréhension.</p> |

| | | |
|--|---|---|
| <p>4-Est-ce que le dossier graphique s'avère-il efficace pour bien comprendre l'histoire et les différentes interventions sur la mosquée ?</p> |  <p align="center">■ oui ■ non ■ un peu</p> <p align="center">Figure.III. 12 : la compréhension des différentes interventions sur la mosquée</p> <p align="center">Source : Auteurs</p> | <p>Ils se trouvent que le dossier graphique n'est pas suffisant pour mieux comprendre les différentes interventions, donc il doit être renforcé par d'autre présentation (d'autres outils)</p> |
| <p>5-Après « la visite virtuelle » de la mosquée ; trouvez-vous que la réalité virtuelle sert le patrimoine et lui assure une meilleure lisibilité et accessibilité ?</p> |  <p align="center">■ oui ■ non</p> <p align="center">Figure. III. 13 : La réalité virtuelle assure une meilleure lisibilité</p> <p align="center">Source : Auteurs 2018</p> | <p>La réalité virtuelle offre un avantage d'une dimension émotionnelle qui permet une compréhension simplifiée de la mosquée dans sa création, sans avoir le besoin de se déplacer. Elle procure à l'homme un environnement virtuel dans lequel il devient acteur, et avec lequel il interagit.</p> |
| <p>6-Avec « la visite virtuelle » de la mosquée êtes-vous plus motivé pour visiter l'œuvre original ?</p> |  <p align="center">■ oui ■ non</p> <p align="center">Figure. III. 14 : La réalité virtuelle motive les acteurs pour visiter l'œuvre original</p> <p align="center">Source : Auteurs 2018</p> | <p>La technologie de réalité virtuelle a montré à travers l'étude pratique ses potentialités à être un redoutable vecteur pour attirer les gens et renforcer l'attractivité pour visiter la mosquée.</p> |

| | | |
|--|---|--|
| <p>7-Est-ce que la réalité virtuelle offre des avantages et des éclaircissements ; lors de la prise des décisions dans un processus de conservation ? Notamment pour le choix des interventions préconisées pour la mosquée objet de notre étude.</p> |  <p align="center">■ oui ■ non</p> <p>Figure.III.15 : L'avantage de la réalité virtuelle dans un processus de conservation</p> <p align="center">Source : Auteurs 2018</p> | <p>La Réalité Virtuelle est un moyen de communication qui aide à combler le déficit d'informations nécessaires lors d'une opération de restauration, conservation. Puisque il y'a possibilité de pouvoir faire des interventions virtuelles sur la mosquée, les évaluer et les consulter avant l'application sur terrain pour être mieux efficace et précis.</p> |
| <p>8-Dans le cas d'absence de document graphique et la présence de document écrit ou récit comme seul témoignage du passé d'une construction ou d'un site .Est ce qu'une simulation peut assurer une restitution proche à la réalité ?</p> |  <p align="center">■ oui ■ non ■ parfois</p> <p>Figure. III. 16 : la réalité virtuelle assure une restitution proche à la réalité dans le cas d'absence de document graphique et la présence de document écrit ou récit</p> <p align="center">Source : Auteurs 2018</p> | <p>Le résultat obtenu s'avère que la simulation est efficace par fois à savoir la quantité et l'importance de ces documents écrits et récits et aussi par rapport au type du projet.</p> |
| <p>9-Quelle est la différence entre les deux méthodes de représentation utilisées (graphique et numérique) ?</p> | <p>La présentation graphique ne donne pas les vraies contraintes du projet par rapport à la présentation numérique qui est plus précise ; plus détaillée, et plus réelle.</p> | <p>L'avantage de la méthode numérique c'est d'être facile à comprendre et accessibles pour différents acteurs de la société (professionnels ou simple citoyens) ; par contre la méthode graphique c'est juste pour les gens du domaine(architecte...)</p> |

| | | |
|--|--|---|
| <p>10-Quelle est la méthode de représentation que vous préférez ?</p> |  <p align="center"> ■ dossier graphique ■ réalité virtuelle </p> | <p>La méthode numérique dépasse la méthode graphique par rapport à la facilitée, la clarté, la compréhension puisque elle est la plus réel et la rapidité.</p> |
| <p align="center">Figure. III. 17 : La méthode préférée Source : Auteurs 2018</p> | | |
| <p>11-Dans le cadre de projet de conservation et valorisation du patrimoine (notamment pour le cas de la grande mosquée de Constantine) l'usage de la réalité virtuelle constitue-il une valeur ajoutée dans le processus de conservation ?</p> |  <p align="center"> ■ oui ■ non </p> | <p>La réalité virtuelle offre des avantages et des éclaircissements lors de la prise de décision dans le processus de la conservation. Aussi l'enjeu est de pouvoir reconstruire le patrimoine disparu, qui a été détruit, de pouvoir garder une trace, de permettre au public d'y accéder à distance et offrir des expériences uniques aux personnes à mobilité réduite.</p> |
| <p align="center">Figure. III. 18 : l'usage de la réalité virtuelle donne une valeur ajoutée dans le processus de conservation Source : Auteurs 2018</p> | | |
| <p>12-Comment qualifiez-vous l'emploi des nouvelles technologies dans le secteur du patrimoine, de nos jours en Algérie ?</p> |  <p align="center"> ■ bon usage ■ moyen usage ■ faible usage </p> | <p>Malgré la forte diffusion de la technologie ces dernières années, mais son usage dans le domaine du patrimoine reste faible en Algérie ; à cause du manque de spécialistes et l'utilisation des méthodes anciennes et traditionnelles.</p> |
| <p align="center">Figure. III. 19 : Evaluation de l'emploi des nouvelles technologies dans le secteur du patrimoine en Algérie Source : Auteurs 2018</p> | | |

| | | |
|--|--|--|
| | | |
|--|--|--|

Conclusion :

Récemment, la réalité virtuelle est devenue une technologie bien acceptée et approuvée parmi les spécialistes du patrimoine et le grand public, elle donne des nouvelles possibilités de faire revivre des histoires uniques et que le public peut vivre différemment. La réalité virtuelle nous permet à travers ses applications de découvrir et de visiter des espaces inaccessibles n'importe où dans le monde donc elle dépasse tous les obstacles de distance et de temps, et permet aussi d'examiner des objets, enseigner la culture du patrimoine et de le vulgariser.

La Réalité Virtuelle est un moyen de communication qui aide à combler le déficit d'informations nécessaires aux activités des partenaires lors d'une restauration (travaux de conservations). Nous avons donc eu recours à elle dans le cas d'étude de la grande mosquée de Constantine comme une réponse à ces problématiques et pour permettre à plusieurs personnes physiquement séparées l'une de l'autre (architectes, restaurateurs décideurs...), d'interagir de collaborer et de proposer les meilleures solutions. On a procédé aussi à l'élaboration d'un questionnaire, ce dernier nous a permis de mesurer à quel point la réalité virtuelle peut être applicable et efficace dans le domaine du patrimoine. A partir de l'analyse de ces résultats quantitatifs nous avons soulevé les points suivants :

- La représentation numérique renforce et complète le dossier graphique qui n'est pas suffisant pour mieux comprendre les différentes interventions notamment lors des opérations de restauration, conservation...etc.
- Ce nouveau dispositif contribue à faire des simulations à la présence juste de document écrit ou récit comme seul témoignage
- La réalité virtuelle offre des avantages et des éclaircissements de différentes vue comme la prise de décision dans le processus de la conservation, la facilitée, la clarté et la compréhension pour toutes les tranches de la société sans avoir le besoin de se déplacer puisque elle est la plus réel.
- La réalité virtuelle ; offre aux différents acteurs (visiteurs..) une dimension supplémentaire en lui procurant un environnement virtuel dans lequel il devient acteur, et avec lequel il interagit. Elle l'attire et le motive pour visite des lieux même situé très loin.

Malgré la place importante qu'occupe la réalité virtuelle dans le domaine du patrimoine, ils existent quelques obstacles qui peuvent entraver le développement et l'application de cette technologie et sa divulgation auprès du grand public. De ce fait la gestion du patrimoine

Chapitre III : La réalité virtuelle au service de la pérennité et l'accessibilité du patrimoine culturel

culturel nécessite une base d'information conséquente et une grande coordination entre les différents acteurs mais aussi l'intégration de différentes nouvelles techniques et technologies.

Conclusion générale :

Le patrimoine sous ses diverses formes, est souvent fragile et vulnérable. Il nécessite une multitude d'interventions en se basant sur différents méthodes et outils pour être préservé. Ainsi la conservation du patrimoine appelle des méthodes qui ne cessent de se renouveler et de se développer au rythme des découvertes et des nouvelles technologies. De ce fait ce mémoire était consacré à mettre la lumière sur les nouveaux outils de la conservation et la mise en valeur du patrimoine qui sont **les outils numériques**. En d'autres termes, la problématique de notre recherche porte sur l'apport des outils numériques dans le domaine de la conservation et la mise en valeur du patrimoine, ainsi que la possibilité d'appliquer ces outils numériques pour être un levier décisif pour **la connaissance, la compréhension, et la conservation** du patrimoine notamment bâti.

Dans un premier temps il a été question d'expliquer le passage de la conservation matérielle vers la conservation numérique du patrimoine. Aujourd'hui, de nombreuses institutions du patrimoine culturel ont passé à numériser leurs œuvres, ceci confirme que la numérisation a fait ses preuves dans le cadre de **la conservation et la mise en valeur du patrimoine** afin de le transmettre aux générations à venir. Donc nous déduisant à la fin que la numérisation constitue un support technique important à partir duquel les outils innovants ont pu émerger et se prêter au domaine de la conservation du patrimoine.

Dans un deuxième temps, nous avons abordés les outils traditionnels de conservation du patrimoine, ensuite présenté et classé les différents outils numériques selon trois catégories : **acquisition, modélisation et visualisation**. Il s'est avéré à travers notre recherche que la gestion du patrimoine est rendue difficile avec les nouvelles pratiques qui s'imposent dans nos sociétés d'aujourd'hui. En effet **les outils classiques** n'ont pas l'efficacité souhaitée (processus de gestion qui semblent souvent lents et manquent de coordination, aux difficultés de partage et d'accès simultané aux données ; aux pertes de temps dues parfois à des traitements manuels et à l'archivage). C'est pourquoi la question de **l'emploi des outils numériques** dans la conservation du patrimoine s'avère **très essentielle**. Ces outils numériques ont apporté des nouvelles manières de traitement et diffusion de l'information, ils permettent de garantir la bonne conservation des œuvres, sa mise à disposition en format numérique pour mieux protéger l'œuvre originale, ou même de compenser sa perte.

Pour finaliser notre travail ; on s'est orienté à expliquer l'usage de l'un de ces outils numériques qui est « **la réalité virtuelle** » pour la conservation et la mise en valeur du patrimoine en appuyant cela par des exemples existants. A cet égard nous avons conclu que la

Conclusion générale

réalité virtuelle constitue un pont entre le réel et notre volonté de voir ce qui n'existe plus. En effet, grâce à elle, il devient possible de revenir des centaines d'années en arrière et redécouvrir des monuments et des sites historiques qui ont été endommagés ou détruits par le facteur temps. Ainsi il sera possible de voir l'évolution d'un tel monument ou d'un site archéologique et voir son aspect passé, même si on est chez soi et loin des milliers de kilomètres. « **La réalité virtuelle** » est devenue une technologie bien acceptée et approuvée parmi les spécialistes du patrimoine et le grand public ; elle implique la mise en place des casques, de terminaux mobiles ou d'espaces d'immersion avec une gestion spécifique.

Nous avons aussi tenté de vérifier l'efficacité de « **la réalité virtuelle** » au service de la conservation du patrimoine au sein de la grande mosquée de Constantine à travers une investigation, à savoir l'entretien auprès des acteurs professionnels et le questionnaire auprès des étudiants d'architecture et patrimoine. Les résultats obtenus nous ont permis de démontrer l'efficacité de cette technologie innovante pour conserver, valoriser, et contribuer à une meilleure connaissance et compréhension du patrimoine. Au finale, il est à noter que notre initiation à la recherche se veut en aucun cas exhaustive. Néanmoins elle ouvre de nombreuses perspectives sur la réflexion à de nouvelles techniques de conservation du patrimoine.

Recommandations :

Après avoir étudié, analysé, enquêté, et à travers nos conclusions, nous avons pu mettre en place quelques recommandations qui puissent permettre d'améliorer et de renforcer l'approche de la conservation et la mise en valeur du patrimoine par les nouvelles technologies. Donc il faut procéder à :

- La mise en place de nouvelles stratégies de valorisation et conservation du patrimoine ; à travers l'intégration de différents **nouvelles techniques et technologies** dans une approche **multidisciplinaire** et en intégrant des acteurs multiples (architectes, conservateurs, archéologues ; informaticiens, organisme internationaux,...etc.)
- Passage de l'utilisation des outils traditionnels à la généralisation de l'utilisation des nouvelles technologies dans le domaine de la conservation et la mise en valeur du patrimoine.
- La mise en place d'une **politique adéquate** qui prend en charge **la numérisation du patrimoine** algérien disparu ou endommagé, pour permettre au grand public d'y accéder à ce patrimoine et de comprendre ses valeurs multiples.

Conclusion générale

- Encouragé l'organisation **de conférences et journée d'études** pour sensibiliser les acteurs sur les enjeux et les différents apports des nouvelles technologies pour la conservation du patrimoine bâti.
- L'élaboration **des programmes de formation** en matière d'usage des outils numériques, en faveur de la gestion du patrimoine.
- La création des plateformes internet spécialement pour l'exploitation du patrimoine algérien afin de permettre au public d'effectuer des visites virtuelles qui peuvent motiver une visite réelle. Ou inversement, ces sites internet permettent aux visiteurs de revoir les œuvres qu'ils ont explorées pendant une visite réelle.
- Le patrimoine devait être abordé selon des perspectives nouvelles, celle de sa mise en valeur par les outils de visualisations et de diffusions notamment « *la réalité virtuelle* » et « *la réalité augmentée* », à travers la mise en place de ces deux technologies innovantes au niveau des monuments et sites archéologiques qui permettent au grand public de voir l'aspect passé et l'évolution de ces biens patrimoniaux à travers le temps.
- Prévoir une stratégie qui vise à adopter la technologie de la réalité virtuelle à la conservation du patrimoine par la formation des stagiaires spécialistes et de simulé des interventions virtuelles avant de les appliqués dans la réalité (en pratique).

Bibliographies :

Ouvrage :

Association des villes et pays d'art et d'histoire et des sites patrimoniaux « *Valorisation numérique des patrimoines* », Edition mars 2017, France.

BAILLY, G H. " *Le patrimoine architectural -les pouvoirs locaux dans la politique de conservation intégrée* " Ed Delta Vevcv, 1975.

BORSI, F. « *Ventianni di beniculturali* », édition scientifique 1995, Italie, 1995.

CHANTAL, Ausseur-Dolléans. « *Guide de la protection des espaces naturels et urbains* », Edition ; la Documentation française, 1991.

CHOAY, Françoise. « *L'allégorie du patrimoine* », Éd du Seuil, Paris, 1992.

DUMOLIN, Benoît. « *Valoriser le patrimoine culturel l'apport du numérique* », France, 2008.

FEILDEN B.M., ET JOKILEHTO J. « *Guide de gestion des sites du patrimoine culturel mondial* ». Première édition, Rome, 1993.

Gaël de Guichen. « *Vade-mecum de la conservation préventive* », Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France, 6 juillet 2006.

HOTTIN, Christian. « *Le patrimoine culturel immatériel : premières expériences en France* », Arles, Actes Sud, 2011.

Kevin L. Jones. « *Caring for archaeological sites* », Edition. Département of conservation, New Zélande, 2002.

Le ministère de la culture marocain. « *Définition du patrimoine culturel et ses composantes*», Ed. Dar Al Manahil, Maroc, 2010.

Ministère Culture Communication. « *Termes relatifs aux interventions sur les monuments historiques* », direction générale des patrimoines - janvier 2013.

MOTTEZ, Vincent (2014). « *Pharaons et nouvelles technologies* », France : Historia.

Mémoires et thèses :

ALBY Emmanuel. « *Elaboration d'une méthodologie de relève d'objets architecturaux* », l'Université Henri Poincaré - Nancy I, 2006.

ANDREWS, D.P, BECKETT, N.J.CLOWES, M., TOVEY, S.M. (2005) « *A comparison of rectified photography and orthophotography as applied to historic floors – with particular reference to croughton roman villa. In XXth CIPA* » International Symposium,

Turin, Italie. Sept. 26th. Oct 1st, 2005. ISPRS International Archives of Photogrammetry, RemoteSensing and Spatial Information Systems Vol. XXXVI-5/C34 ISSN 1682-1750 & CIPA International Archives for Documentation of Cultural Heritage, Vol. XX-2005 ISSN 0256-1840.

ASTIER-CHOLODENKO. N. «*L'utilisation des technologies d'imagerie 3D en conservation-restauration : quels apports a la logique de la discipline ?*», Université de Sorbonne, 2018.

BENSEDDIK, Souki- Habiba. « La valorisation des monuments historiques en Algérie », Université de Constantine, 2012.

Bibli M , Bouchair A , Hannouf F. « Apport des technologies numériques à l'étude des fortifications du génie militaire français dans une ville d'Algérie au début de la colonisation : Djidjelli, 1839-1862 » Université de Jijel.

BOURGEAUX, Laure. « *Musées et bibliothèques sur Internet : le patrimoine au défi du numérique* ». Master2 Histoire et politique des musées et du patrimoine. Paris : Université Panthéon Sorbonne, 2009.

FUCHS, Alain. « *Outils numériques pour le relevé architectural et la restitution archéologique* », l'Université Henri Poincaré - Nancy I, 2006.

GANTIER, G. « *Souvenirs d'Indochine ?* » *Etude et conservation-restauration d'un cabinet vietnamien d'époque coloniale (Paris, Musée du quai Branly). Etude de matériaux utilisés en impression 3D et de leur adaptabilité à un usage en conservation-restauration...*, 2016.

JAQUET, Amélie. « *Valorisation du patrimoine sur Internet : des visites virtuelles pour l'Inventaire* », sciences de l'information et des bibliothèques. Lyon : Université de Lyon, 2011.

KHALDI, faiza. « *Requalification Des Abords Des Centres Historiques* », Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –, 2017.

KHELAFI Mouhtadi, KHELFA Djamel eddine. « La valorisation du patrimoine urbain en Algérie », Université de jijel, 2016.

LAUDY, Doumit. « *la valorisation du patrimoine endokarstique libanais* », Thèse de Doctorat de Géographie Option « Aménagement Touristique et Culturel », université Saint-Joseph, Beyrouth, 2007.

MAURY, Yohann et THANG, Rémi (2013). *Rapport final « La Réalité Virtuelle et la Réalité Augmentée dans la représentation de la ville. »* Projet de veille technologique. Nantes : Ecole Centrale de Nantes, France.

MERCIER, Julie. « *La reconstitution virtuelle : outil de valorisation touristique des sites patrimoniaux* », master professionnel Valorisation Touristique des Sites Culturels. Paris 1 : Panthéon Sorbonne, 2010.

MOUMOUNI Charles, SIMARD Cyril. « *Journalisme et patrimoine mondial* », presse de l'université Laval, 2007.

OULEBSIR Nabila. « *Les usages du patrimoine, monuments, musées et politique coloniale en Algérie (1830-1930)* », Ed. Maison des sciences de l'homme, 2004.

SONG Meehae (2006). « *Virtual Reality for Cultural Héritage Application, Master of Engineering, Nanyang* », Nanyang Technologic al University.

Mémoires et thèses format électroniques :

ANDRIEUX Peggy, DEGUILLAGE Luc, DELASSUS Alain (2011). « *Technologie et maquettes* ». Centres Académiques de Ressources Technologie Collègere. Lille : Université de Lille. (En ligne) « http://clg-argousiers.fr/cartec/pages/Programme/Technologie%20et-%20Maquettes_site.pdf ». (Consulté le 20 Avril 2018).

AUBIN, Sophie « *La numérisation du patrimoine culturel. Bibliothèques, musées : des savoir-faire à partager* » mémoire ; Le DESS EN SCIENCES DE L'INFORMATION ET DE LA DOCUMENTATION SPECIALISEES, le 24 novembre 2003. (En ligne) https://memsic.ccsd.cnrs.fr/mem_00000146/document.

BAILLY, Marc (2013). « *La photo panoramique 360°* », *Photographie et site internet*, [en ligne]. [<http://www.mb-photographe-webmaster.fr/photo-entreprises/photo-panorama-360.html>]. (Consulté le : 20 Avril 2018)

Livio De Luca « *Relevé et multi-représentations du patrimoine architectural Définition d'une approche hybride pour la reconstruction 3D d'édifices* » thèse de doctorat de l'école nationale supérieure d'arts et métiers. Le 31 mars 2006. (En ligne) <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-00263717/document>.

POULAIN, Guillaume (2015). « *La ville de limoge* », *Le média de tourisme digital*, [En ligne]. [<http://www.tom.travel/2015/11/04/limoges-lance-un-jeu-video-pour-valoriser-son-patrimoine/>] (Consulté le : 20 Avril 2018).

RENARD, Mélanie. « *Reconstruire et démocratiser l'Histoire grâce à la 3D,* », (en ligne) <https://www.3dnatives.com/3d-ethistoire-reconstruction-18102017/>, consulté le 1 avril 2018.

Rapports :

ORY-LAVOLLEE Bruno. « *La diffusion numérique du patrimoine, dimension de la politique culturelle. Rapport à Mme la Ministre de la Culture et de la Communication* », France, 2002.

Chartes et conventions :

Charte de Venise. Venise, Mai 1964, Article 5.

Conseil de l'Europe. « *Patrimoine culturel européen* », Ed. Conseil de l'Europe, Strasbourg, 2003.

ICOM-CC. « Terminologie de la conservation-restauration du patrimoine culturel matériel », l'occasion de la XVe Conférence triennale, New Delhi, 22-26 septembre 2008.

ICOMOS. « *Déclaration d'engagement éthique des membres* », Madrid, 2002.

UNESCO. « *Recommandation concernant la sauvegarde des ensembles historiques ou traditionnels et leur rôle dans la vie contemporaine* »

Colloques, rencontres, séminaires :

ARFAOUI Wided « *vers un patrimoine culturel accessibles et durables par des nouvelles technologies* » doctorante à l'école nationale d'architecture et d'urbanisme, Tunis.

FLEURY, Cédric (2015 /2016). « *Cour réalité Virtuelle et Interactions* », Université Paris-Sud.

KARAA Anis « *outils numériques au service du patrimoine bâti* » doctorant à l'école nationale d'architecture et d'urbanisme, Tunis.

Revue, quotidiens, journaux... :

GRUSSENMEYER Pierre, « *Photogrammétrie architecturale et modélisation3D du patrimoine* », In Revue XYZ n°95, 2003, pp30-36.

Site internet :

www.3ds.com/press-releases/single/dassault-systemes-et-le-museum-of-fine-arts-de-boston-signent-un-partenariat-strategique-dans-les/

www.cadcentre.ca/fr/archicad-19-fr

www.club-innovation-culture.fr/week-end-patrimoines-immersion-regards-experts/

www.cours.univ-paris1.fr/pluginfile.php/709148/mod_resource/content/0/ASTIER-CHOLODENKO_Dossier%20d%E2%80%99C3%A9pist%C3%A9mologie.pdf

www.faro.com/fr-fr/produits/construction-bim-cim/faro-focus/

www.futura-sciences.com/tech/definitions/technologie-realite-virtuelle-598/

www.larousse.fr/encyclopedie/divers/virtuel/101856

www.lefigaro.fr/sciences/2012/05/09/01008-20120509ARTFIG00377-le-plateau-de-gizeh-et-ses-pyramides-reconstitues-en-3d.php

www.onversity.com, université (Consulté le 25 mars 2018).

www.passion-egyptienne.fr/Gizeh%20site.htm

www.realite3d.e-monsite.com/pages/domaine-d-utilisation/domaines-d-applications-de-la-rv-3d.html

www.realite-virtuelle.com/produits/casque-vr

www.sciencesetavenir.fr/archeo-paleo/gizeh-en-3d-l-egyptologie-virtuelle-a-portee-de-main_21458

www.slideshare.net/ArchiGuelma/la-diffusion-numrique-du-patrimoine

Dictionnaire :

Le Dictionnaire encyclopédique de l'information et de la documentation.

Résumé :

Par réaction au processus de mondialisation et la dégradation flagrante de nombreuses ressources historiques au niveau mondial, la conservation du patrimoine et sa mise en valeur est devenu l'une des préoccupations majeures que les pays doivent relever pour préserver leur identité et la transmettre aux générations futures. En effet, l'avènement de la révolution numérique récemment, présente des atouts incontestables pour conserver et valoriser notre patrimoine. De ce fait, les outils numériques sont considérés parmi les innovations qui peuvent améliorer et renforcer la mise en valeur et la conservation du patrimoine.

Les nouvelles méthodes de préservation et valorisation du patrimoine architectural consiste à utiliser des technologies numériques innovantes. A ce titre, les outils d'acquisitions ,de modélisations et de visualisations ont apparu comme des outils importants pour faciliter l'accessibilité à des monuments et des sites archéologiques disparus ou endommagés, ce sont ainsi des moyens privilégiés pour attirer un nouveau public, tout en offrant des expériences patrimoniales immersives, ludiques et amusantes. Donc ces outils éliminent tous les obstacles de temps et de distance.

De ce fait ; dans le cadre de notre recherche nous intéressons à l'outil informatique en tant que dispositif d'aide pour la connaissance, la compréhension et la conservation du patrimoine notamment bâti.L'étude d'un cas d'études viendra renforcer notre travail ; celui deLa grande mosquée de Constantine ;considérée comme la plus ancienne mosquée en Algérie ; accueillantdes fidèlesà nos jours. Cette mosquée a subi des travaux d'entretien qui peuvent être considéré comme non professionnel dans le domaine de la préservation du patrimoine.Ils ont altéré le cachet original de la mosquée, d'où une perte de son authenticité et sa valeur d'ancienneté. Notre essai a été choisi afin de vérifier la possibilité d'applicationde la réalité virtuelleau service du patrimoine, ont faisant des interventions virtuelspour la conservation et la mise en valeur de la mosquée en respectant les exigences de l'actualité et celle de l'authenticité. Les résultats obtenus ont permis ainsi **de mesurer**l'importance de l'ouverture des architectes-restaurateurs sur la possibilité de l'application de cette technologieet son **efficacité** dans le domaine de la **conservation et la mise en valeur du patrimoine**.

Mots clés : Patrimoine, conservation, Mise en valeur, outils numériques, technologiesnumériques, réalité virtuelle, la grande mosquée de Constantine.

Abstract :

In response to the process of globalization and the massive deterioration of many historical sources in the world heritage, preservation and promotion of heritage will be one of the main concerns that countries must meet to preserve their identity as well as their transmission to future generations. In fact, the recent advent of the digital revolution has offered undeniable advantages in order to value and preserve our heritage. Digital tools are therefore among the innovations that can enhance the process of heritage valuation and conservation.

New methods of preserving and promoting architectural heritage are the use of innovative digital technologies. As such, acquisition, modeling and visualization tools have emerged as important tools to facilitate access to lost or damaged archaeological sites and sites, and thus they are excellent means of attracting new audiences. With all this, it offers interactive, fun and fun cultural experiences. Thus, these techniques eliminate all distance and time barriers.

Thereby ; as part of our research we are interested in the computer tool as a device of help for the knowledge, the understanding and the conservation of the built heritage. The study of a case will strengthen our work. The great historical mosque in the city of Constantine, as the oldest mosque in Algeria, is still used today. It has also been subjected to maintenance which can be regarded as unprofessional in the field of preservation of heritage, which changed the original form of the mosque and thus lost its originality and grandeur. Our experiment has verified the possibility of applying virtual reality technology to the service of this heritage. We have made virtual interventions to preserve and enhance the mosque while respecting the requirements and authenticity of the current events. The results obtained measure the extent to which the architect-restorer is able to apply virtual reality and its effectiveness in the field of preservation and promotion of heritage.

Keywords: Heritage, conservation, enhancement, digital tools, digital technologies, virtual reality, the great mosque of Constantine.

ملخص:

كرد فعل على عملية العولمة والتدهور الفادح للعديد من المصادر التاريخية في التراث العالمي، سيصبح الحفاظ على التراث وتعزيزه هو احدى من الاهتمامات الرئيسية التي يتعين على البلدان تلبيةها للحفاظ على هويتهم وكذا نقلها إلى الأجيال القادمة. والواقع أن مجيء الثورة الرقمية في الآونة الأخيرة، قدّمت مزايا لا يمكن إنكارها من أجل تثمين و الحفاظ على تراثنا. لذلك تعتبر الأدوات الرقمية من بين الابتكارات التي يمكنها تحسين وتدعيم عملية تثمين التراث وحفظه بتمثل الأساليب الجديدة المتبعة في الحفاظ على التراث المعماري وتعزيزه في استخدام التقنيات الرقمية المبتكرة.

على هذا النحو ، ظهرت أدوات الاقتناء والنمذجة والتصوير كأدوات مهمة لتسهيل الوصول إلى المعالم والمواقع الأثرية المفقودة أو التالفة ، وبالتالي فهم وسائل متميزة لجذب جمهور جديد. مع كل هذا تقدم هاتيه الوسائل تجارب ثقافية تفاعلية، ممتعة ومرحة. وبالتالي فإن هاته التقنيات تقضي على جميع حواجز المسافة والزمن.

وبالتالي؛ كجزء من بحثنا، نحن مهتمون بأداة الاعلام التي يمكنها المساعدة في المعرفة والفهم للحفاظ على التراث المبنى الموروث، ودرا سة حالة تعزيز عملنا. يعتبر المسجد التاريخي الكبير في مدينة قسنطينة كأقدم مسجد في الجزائر مازال يستعمل إلى اليوم ، كما أنه خضع أيضًا لأعمال الصيانة التي يمكن اعتبارها غير احترافية في مجال الحفاظ على التراث ، والتي غيرت من الشكل الأصلي للمسجد ، وبالتالي فقد جزء من أصالته. تقوم تجربتنا بالتحقق من إمكانية تطبيق تكنولوجيا الواقع الافتراضي في خدمة هذا التراث، وقد قمنا بإجراء تدخلات افتراضية للحفاظ على المسجد وتعزيزه مع احترام تلبية متطلبات الأحداث الجارية و أصالته ، أتاحت النتائج التي تم الحصول عليها قياس مدى انفتاح المعماري - المرمم على إمكانية تطبيق الواقع الافتراضي وفعاليته في مجال الحفاظ على التراث وتعزيزه.

الكلمات المفتاحية: التراث ، الحفظ ، إظهار القيمة، الأدوات الرقمية ، التكنولوجيا الرقمية، الواقع الافتراضي ، المسجد الكبير قسنطينة.