

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE MOHAMED SEDDIK BENYAHIA JIJEL

Faculté des sciences et de la technologie

Département d'Architecture

N° :...../2023

MEMOIRE DE MASTER

DOMAINE : Architecture Urbanisme et Métiers de la Ville

FILIERE: Architecture

SPECIALITE : Architecture

Thème

**LA REALITE VIRTUELLE ET AUGMENTEE POUR UNE MEILLEURE
APPROPRIATION POST-OCCUPATIONNELLE DE L'ESPACE
ARCHITECTURAL INTELLIGENT CAS DE LA RADIO LOCALE DE
JIJEL**

Présenté Par : Douaa BRIHOUM

Djihane NOUASRA

Encadré Par : Hocine TEBBOUCHE

Mustapha BLIBLI

Date de soutenance : 26/06/2023

Jury de Soutenance

Président : Salima DJEHAICHIA

Encadreur : Hocine TEBBOUCHE

Co -encadreur : Mustapha BLIBLI

Examineur : Amina AOUCI

Grade : MAA

Grade : MAA

Grade : MAA

Grade : MAA

Univ MSB jijel

Univ MSB jijel

Univ MSB jijel

Univ MSB jijel

Promotion : 2022 /2023

Dédicaces :

« À tous ceux qui ont cru en moi. ...

À tous ceux qui m'aime.....

*À moi-même **Merci** ».*

Douaa.

Dédicaces :

Je tiens à dédier ce travail à toutes les personnes qui ont été à mes côtés à chaque étape de mon cursus universitaire. Leur présence et leur soutien ont été inestimables, et je suis profondément reconnaissante de l'amour et du soutien qu'ils m'ont offerts.

À mon père, homme d'une exemplarité inouïe, dont le soutien moral m'a été avantageux au possible. À ma mère, qui a toujours fait tout son possible pour garantir mon bonheur et mon confort. À mes frères et ma sœur, qui ont partagé avec moi les moments de joie et les défis de cette aventure.

À ma binôme ma meilleure amie, avec qui je partage ce travail. Sans sa foi inébranlable en moi et son soutien inconditionnel, je n'aurais jamais pu atteindre ce que je suis devenue aujourd'hui. Je suis profondément reconnaissante pour son amour, sa guidance et son encouragement tout au long de ce voyage.

À mes encadreurs MR. TEBBOUCHE HOCINE et MR. BLIBLI MUSTAPHA Je vous exprime toute ma gratitude pour votre orientation, votre expertise et votre sagesse. Vos observations et commentaires m'ont été d'une valeur inestimable pour mener à bien ce travail.

À ma grande famille, mes amis et à chaque personne qui m'a offert un mot gentil, une main secourable ou une oreille attentive, je vous remercie d'avoir été là pour moi. Votre soutien a été une source d'inspiration et de motivation.

Djihane.

Remerciements :

Nous tenons avant tout à exprimer notre gratitude envers Allah Tout-Puissant pour nous avoir donné la force, le courage et la volonté nécessaires pour mener à terme ce mémoire de fin d'étude qui vient couronner tout un travail de recherche et de rédaction.

On tient aussi à exprimer notre profonde gratitude envers nos encadrants de mémoire : Mr **TEBBOUCHE Hocine** et Mr **BLIBLI Mustapha** pour leurs soutiens, encouragements, conseils et orientations tout au long de la réalisation de notre mémoire de recherche. « *Sans votre expertise et votre disponibilité, on n'aurait pas été en mesure de réussir ce projet avec succès* ».

Nos chaleureux remerciements vont également aux honorables membres du jury qui ont pris le temps d'évaluer et d'examiner attentivement notre travail.

Nous sommes particulièrement reconnaissantes envers Mme **KHELLAF Amel** qui nous a soutenus avec ses nobles conseils, son encouragement d'aller de l'avant, et qui nous a généreusement partagé toutes ses connaissances dans le domaine. Ainsi qu'envers Mr **BAHBOUH Nasreddine** d'avoir pris la peine de lire et corriger soigneusement ce travail.

On termine par remercier toute personne qui a participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail, que ce soit en nous soutenant, en nous conseillant ou en nous encourageant tout au long du processus.

TABLE DES MATIÈRES	
Dédicaces	I
Remerciements	III
Table des matières	IV
Liste des figures	IX
Liste des tableaux	XII
Liste des abréviations	XIII
INTRODUCTION GENERALE	01
Problématique	02
Hypothèses de la recherche	03
Objectifs de la recherche	03
Démarche méthodologique	04
Structure du Mémoire	04
<i>Chapitre 1 : Notions et définitions des concepts</i>	06
1.1 Introduction	06
1.2 Les Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication « NTIC »	06
1.2.1 Définitions et notions des NTIC	06
1.2.2 Historique	07
1.2.3 Les équipements audiovisuels	10
1.3 Le Building Information Modeling « BIM »	10
1.3.1 Définition	11
1.3.2 Historique et évolution	11
1.3.3 Les composants du BIM	12
1.3.4 Les rôles résultant du BIM	16
1.3.5 BIM et réalité virtuelle et augmentée	16
1.4 La réalité virtuelle "RV" et la réalité augmentée "RA"	16
1.4.1 Définition de la réalité virtuelle	16
1.4.2 La réalité virtuelle une immersion variable	17
1.4.3 Les outils de la réalité virtuelle	17
1.4.4 Définition de la réalité augmentée	18

1.4.5 Les outils de la réalité augmentée	19
1.5 L'appropriation de l'espace architectural	19
1.5.1 Définition de l'espace architectural	19
1.5.2 Définition du concept "appropriation"	19
1.5.3 L'appropriation de l'espace architectural	20
1.5.4 Formes d'appropriation de l'espace architectural	20
1.5.4.1 L'adaptation et la persistance	20
1.5.4.2 La réappropriation et la transformation	20
1.6 L'intelligence artificielle dans le bâtiment	20
1.6.1 Définition d'un bâtiment intelligent	20
1.6.2 Aperçu historique	20
1.6.3 Les caractéristiques d'un bâtiment intelligent	20
1.6.4 Les composants du bâtiment intelligent	20
1.6.4.1 Les systèmes intelligents : l'immotique	20
1.6.4.2 Les matériaux intelligents	21
1.6.4.3 Les façades intelligentes	21
1.7 Conclusion	21
<i>Chapitre 2 : L'usage des NTIC dans le domaine de la construction intelligente</i>	23
2.1 Introduction	23
2.2 Les outils traditionnels utilisés dans le domaine de construction	23
2.2.1 Les dessins de traités d'architecture	23
2.2.2 Les dessins de voyageurs	23
2.2.3 Les dessins d'assemblage, de restitution et d'interprétation	23
2.2.4 Les dessins « Prix de Rome »	25
2.3 Les outils numériques utilisés dans le domaine de construction	25
2.3.1 Les outils d'acquisitions	25
2.3.1.1 Le télémètre laser	25
2.3.1.2 Le télémètre 3D	26
2.3.1.3 Le scanner laser 3D	26
2.3.2 Les outils de modélisation CAO / BIM	27

2.3.2.1 Les logiciels CAO	27
2.3.2.2 Les logiciels BIM	27
2.3.3 Les outils de création de l'image réelle : l'impression 3D	29
2.3.3.1 Définition de l'impression 3D	29
2.3.3.2 Type d'impression 3D	29
2.3.4 Les outils de visualisation	30
2.3.4.1 Les logiciels de rendu	30
2.3.4.2 La photo et vidéo 360	31
2.3.4.3 La maquette numérique	31
2.3.4. La réalité virtuelle	31
2.3.4.5 La réalité augmentée	32
2.4 L'intégration de l'intelligence dans le bâtiment en utilisant les NTIC	32
2.4.1 L'immotique	32
2.4.2 Principe de l'immotique	33
2.4.3 Les types d'immotique	33
2.4.4 Les acteurs d'un système immotique	35
2.5 L'intégration des NTIC dans le domaine de la construction	35
2.6 L'intégration des NTIC dans le domaine de la construction en Algérie	36
2.6.1 La réglementation algérienne en matière des NTIC	37
2.7 Conclusion	38
<i>Chapitre 03 : L'appropriation de l'espace architectural, BIM, RV & RA</i>	39
3.1 Introduction	39
3.2 Les problèmes de transformations post-occupationnelles de l'espace architectural intelligent	39
3.2.1 Transformations partielles	39
3.2.1.1 Transformations formelles	39
3.2.1.2 Transformations fonctionnelles	40
3.2.2 Transformations globales	40
3.2.2.1 Transformations évolutives	40
3.2.2.2 Les démolitions	41

3.2.2.3 Les transformations des matériaux techniques de construction	41
3.2.3 Causes des transformations architecturales	41
3.3 L'intégration de BIM, RV & RA dans la conception architecturale	42
3.3.1 Processus de la conception architecturale	42
3.3.2 BIM dans le processus de la conception architecturale	43
3.3.3 Les rôles du BIM dans le cycle d'un projet	44
3.3.3.1 Prise de décision	44
3.3.3.2 La documentation	44
3.3.3.3 Estimation des couts	44
3.3.3.4 Approvisionnement et planification	44
3.3.3.5 Coordination	44
3.3.3.6 Rentabilité	44
3.3.4 La RV dans le processus de conception architecturale	45
3.3.4.1 Les étapes d'intégration	46
3.3.4.2 Les avantages et les contraintes	47
3.3.5 La RA dans le processus de conception architecturale	48
3.3.5.1 Son intégration	49
3.3.5.2 Les avantages et les contraintes	50
3.4 Phase d'intégration du maitre de l'ouvrage et du maitre utilisateur durant ce processus de conception	52
3.4.1 Le rôle du maitre de l'ouvrage et utilisateur dans le processus de conception	53
3.5 Les méthodes d'intégration du maitre de l'ouvrage et utilisateur	53
3.5.1 L'implication informative	53
3.5.2 L'implication consultative	54
3.5.3 L'implication participative	54
3.6 Le résultat attendu pour résoudre le problème des transformations post-occupationnelles de l'espace architectural intelligent	54
3.6.1 L'adaptation de la RV et la RA	54
3.7 Conclusion	56
<i>Chapitre 04 : cas d'étude</i>	58
4.1 Introduction	58

4.2 Objectifs de l'enquête	58
4.3 Présentation de la méthode d'investigation	59
4.4 Choix de l'échantillon	59
4.5 Présentation des projets et intégration de VR et AR dans le futur projet	60
4.6 L'enquête par questionnaire	61
4.6.1 Questionnaire sur l'état de fait	61
4.6.1.1 Informations générales	61
4.6.1.2 Avis sur l'état actuel du siège de la radio locale de la wilaya de Jijel	64
4.6.1.3 Evaluation de la configuration spatiale du siège	66
4.6.1.4 L'adéquation de ce siège aux besoins professionnels	66
4.6.1.5 L'efficacité du siège actuel pour soutenir les divers espaces de travail nécessaires	67
4.6.1.6 Les transformations post-occupationnelles effectuées après l'installation dans le siège actuel.	68
4.6.2 Questionnaire sur le projet futur de la radio-télévision locale	70
4.6.2.1 Informations générales	70
4.6.2.2 Avis sur l'utilisation de l'expérience de la RV visualiser les projets futurs	72
4.6.2.3 L'adéquation du futur siège aux besoins professionnels	72
4.6.2.4 L'efficacité de la RV pour la compréhension de la configuration spatiale	73
4.6.2.5 L'adéquation du futur siège pour soutenir les différents espaces de travail nécessaires	74
4.7 L'apport et la contribution de l'utilisation du VR et AR dans la conception des projets	75
4.8 L'intégration de la RV et la RA dans le processus de la conception architecturale : limites et perspectives	76
4.9 Recommandations	77
4.10 Conclusion	78
CONCLUSION GENERALE	79
Références bibliographiques	81
Annexes	I
ملخص	VII
Résumé	VIII
Abstract	IX

Liste des figures

Figure 01	Péroglyphe	07
Figure 02	Alphabet Phénicien	07
Figure 03	1 ^{er} système de numérotation	08
Figure 04	Le boulier	08
Figure 05	La règle à calcul	08
Figure 06	La Pascaline	08
Figure 07	Le moteur de différence	08
Figure 08	Le télégraphe	09
Figure 09	Le code Morse	09
Figure 10	Le 1 ^{er} téléphone	09
Figure 11	Le 1 ^{er} ordinateur	09
Figure 12	Comparaison entre le travail sans et avec BIM	11
Figure 13	Niveau de détail de BIM	13
Figure 14	Dimension du BIM	14
Figure 15	Casque Oculus Rift	17
Figure 16	Casque HTC Vive	17
Figure 17	Casque PS VR	17
Figure 18	Google Glass	18
Figure 19	Lunette HoloLens	18
Figure 20	Les dessins de traités d'architecture	24
Figure 21	Les dessins des voyageurs	24
Figure 22	Les dessins d'assemblage, de restitution et d'interprétation	24
Figure 23	Les dessins Prix de Rome	25
Figure 24	Le télémètre laser	26
Figure 25	Le télémètre laser 3D	26
Figure 26	Le scanner laser 3D	26
Figure 27	Logiciel Autocad	28
Figure 28	Logiciel 3ds Max	28
Figure 29	Logiciel Fusion360	28

Figure 30	Logiciel Rhinoceros	28
Figure 31	Logiciel Revit	29
Figure 32	Logiciel Sketchup	29
Figure 33	Logiciel ArchiCad	29
Figure 34	Logiciel Dynamo Bim	29
Figure 35	Dépôt de filament fondu	30
Figure 36	Stéréolithographie	30
Figure 37	Frittage Laser Sélectif	30
Figure 38	Lumion	30
Figure 39	Enscape	30
Figure 40	V-ray	30
Figure 41	La gestion technique du bâtiment	35
Figure 42	La gestion technique centralisée	35
Figure 43	Exemple de transformation fonctionnelle	40
Figure 44	Cycle de vie d'un projet	45
Figure 45	"Les incroyables façons dont Honeywell utilise la réalité virtuelle et augmentée pour....."	45
Figure 46	Démonstrations de communication de design en réalité virtuelle	45
Figure 47	Exemple de panorama 360	47
Figure 48	Processus de création d'une scène	47
Figure 49	La réalité virtuelle dans le processus de conception architecturale	48
Figure 50	Exemple d'une application de réalité augmentée pour l'architecture	49
Figure 51	Une application de RA étant utilisée sur un chantier de construction de gratte-ciel	49
Figure 52	Processus d'acquisition de données de terrain et d'informations de conception dans le domaine de la construction à l'aide de technologies de réalité augmentée	51
Figure 53	Schéma expliquant l'intégration de la RV et la RA dans le processus de conception architecturale	56
Figure 54	Pourcentage des catégories participants à notre enquête	62
Figure 55	Pourcentage du sexe des participants à notre enquête	66

Figure 56	Pourcentage des tranches d'âge des participants à notre enquête	63
Figure 57	Échelles d'évaluation proposée dans le questionnaire	63
Figure 58	Pourcentage de l'évaluation de l'état du siège actuel	64
Figure 59	Siege de la radio locale Soummam Bejaïa	64
Figure 60	Distributions des services de la radio locale de Bejaïa	65
Figure 61	Aménagement des services de la radio locale de Bejaïa	65
Figure 62	Pourcentage de l'évaluation de la configuration spatiale du siège actuel	66
Figure 63	Pourcentage de l'évaluation de l'adéquation du siège actuel aux besoins professionnels	67
Figure 64	Pourcentage de validation du bon fonctionnement des espaces nécessaires pour exercer la profession	68
Figure 65	Pourcentage des confirmations de réalisation des transformations post-Occupationnelles du siège actuel	69
Figure 66	Pourcentage des catégories participants à notre enquête	70
Figure 67	Pourcentage du sexe des participants à notre enquête	71
Figure 68	Pourcentage des tranches d'âge des participants à notre enquête	71
Figure 69	Pourcentage des avis sur l'utilisation de la RV pour visualiser les projets futurs	72
Figure 70	Pourcentage de l'évaluation de l'adéquation du futur siège	73
Figure 71	Pourcentage de l'évaluation de l'efficacité de la RV pour la compréhension de la configuration spatiale	74
Figure 72	Pourcentage de validation du bon fonctionnement des espaces nécessaires pour exercer la profession	75

Liste des tableaux		
Tableau 01	Les avantages et les contraintes de la RV dans le processus de conception architecturale	47
Tableau 02	Les avantages et les contraintes de la RA dans la conception architecturale	50
Tableau 03	Les différentes taches dédiées au maitre d'ouvrage et l'utilisateur	52
Tableau 04	Les avantages de la réalité augmentée (RA) et de la réalité virtuelle (RV) par cas d'utilisation	54

Liste des abréviations	
3D	Troisième Dimension
ABS	Acrylonitrile Butadiène Styène
AEC	Architecture, Engineering & Construction
API	Application Programming Interface
AR	Augmented Reality
BIM	Building Information Modeling
CAO	Conception Assistée par Ordinateur
CAD	Computer Aided Design
DAO	Dessin Assisté par Ordinateur
FDM	Fused Deposition Modeling
FAO	Fabrication Assistée par Ordinateur
GTB	Gestion Technique de Bâtiment
GTC	Gestion Technique Centralisée
IAO	Ingénierie Assistée par Ordinateur
IFC	Industry Foundation Classes
ISO	International Organization for Standardization
LiDAR	Light Detection And Ranging
LOD	Level Of Detail
NTIC	Nouvelle Technologie de l'Information et de la Communication
PLA	Acide Lolyactique
PS	Play Station
RA	Réalité Augmentée
RV	Réalité Virtuelle
SLA	StereoLithography Apparatus
SLS	Selective Laser Sintering
TGBT	Tableau Général Basse Tension
TIC	Technologie de l'Information et de la Communication
VR	Virtual Reality

INTRODUCTION GENERALE

En un peu plus d'un siècle, les nouvelles technologies de l'information et de la communication ont pris une place considérable dans notre quotidien. Certes, elles sont devenues indispensables aussi bien dans notre vie professionnelle que personnelle. Les outils de l'information et de la communication ont connu ces dernières années une véritable révolution avec l'apparition de nouvelles technologies dont : la Réalité Virtuelle « RV » et la Réalité Augmentée « RA » qui créent un environnement immersif et une expérience à la fois visuelle et auditive.

La réalité virtuelle est une simulation artificielle qui se réfère à la création d'un monde virtuel dans lequel l'utilisateur peut interagir avec son environnement. La réalité augmentée est une technologie basée sur des couches générées par ordinateur et qui sont rajoutées par-dessus de la réalité existante afin de rendre cette dernière plus significative.

« La réalité virtuelle et la réalité augmentée seront dans l'avenir prochain la plateforme majeure de l'information après les smartphones » dixit Mark Zuckerberg (2019), qui rajoute :

« Quand vous avez un bon système de réalité virtuelle ou augmentée, vous n'avez plus besoin d'un téléphone, d'une télévision et de plein d'autres objets physiques ». Aujourd'hui, ces deux nouvelles technologies ont fait une entrée remarquable dans le secteur du bâtiment surtout avec l'adaptation de la modélisation BIM « Building Information Modeling » qui offre une maquette numérique capable d'être observée sous toutes ses coutures bien avant sa réalisation. Cette observation virtuelle permettra aux utilisateurs de vivre leurs espaces architecturaux avant même leurs réalisations.

L'intégration de ces deux technologies dans le domaine du bâtiment garantit plusieurs avantages : pour la réalité virtuelle, elle permet de simuler et de visualiser un environnement réaliste tout au long du projet avant sa construction. Elle représente une excellente ressource pour la présentation. Elle facilite la détection des erreurs vu qu'elle offre la possibilité de se déplacer dans tous les coins à l'intérieur et à l'extérieur du projet. Donc, on pourra détecter tout problème caché, mais aussi elle aide à surmonter les limites physiques en améliorant la communication pendant le travail. En ce qui concerne la réalité augmentée, elle facilite la planification en visualisant les modèles 3D avant et pendant le processus de construction, elle offre une meilleure compréhension du projet et une amélioration du contrôle de la qualité. De plus elle anticipe les problèmes et se présente comme une option intéressante pour la promotion et le marketing d'un projet qui va améliorer sa perception, minimiser les coûts sur chantier et éviter le problème des transformations post-occupationnelles des différents espaces.

L'utilisation de ces deux technologies repose sur la modélisation BIM qui offre une maquette numérique exploitable avec les différents outils spécifiques tels que les casques de la réalité

virtuelle ou les lunettes pour réalité augmentée. Cela a fait que ces deux technologies arrivent progressivement à s'intégrer dans le domaine du bâtiment.

Ces technologies ont vu le jour en 2016 avec l'apparition du jeu Pokémon Go, mais aujourd'hui leurs utilisations ne se limitent plus à l'univers du gaming : elles existent dans tous les secteurs d'activité. Elles sont devenues au fil du temps des outils innovants dans le domaine du bâtiment. Ainsi, la réalité virtuelle et augmentée révolutionnent les pratiques du monde entier, et elles sont utilisées par les plus grandes marques mondiales ce qui fleurissent les investissements dans ce domaine. L'application de la réalité virtuelle et augmentée en architecture nécessite une maquette numérique résultante d'un parcours de travail collaboratif : BIM.

En Algérie, les acteurs qui interviennent dans le secteur du bâtiment continuent aujourd'hui à travailler séparément sur un ensemble de différents logiciels et plateformes, ce qui représente une contrainte par rapport au concept du BIM. De plus, ces intervenants se basent généralement sur la représentation graphique 2D ou une simple volumétrie et cela mène vers une mauvaise communication et compréhension de l'espace conçu ce qui résulte dans certains cas des transformations post-occupationnelles importantes de l'espace vécue.

Vu que ces technologies sont toujours en cours de développement, leurs utilisations en Algérie sont encore bénignes, ce qui prendra du temps à les intégrer dans un contexte précis et de manière immédiate.

Problématique

L'espace architectural est conçu pour répondre aux besoins de l'occupant selon une fonction précise. Les outils de conception de cet espace peuvent influencer son appropriation à court et long terme. Cette influence peut nous garantir une appropriation directe et satisfaisante, ou elle peut mener vers une réappropriation de cet espace, cette dernière nécessite des transformations post-occupationnelles faites par l'utilisateur.

La majorité des bâtiments conçus par les architectes en Algérie, qu'ils soient des constructions publiques ou privées, connaissent beaucoup de transformations, après leurs occupations. Ces transformations résultent de la non compatibilité de l'espace avec sa fonction ou avec les besoins des utilisateurs à cause d'une mauvaise communication entre le concepteur et l'occupant en absence des outils de conception et de visualisation qui facilitent la compréhension de l'espace architectural avant même sa réalisation, et c'est là que nos interrogations se portent sur les aspects suivants :

- 1) Pourquoi les projets d'architecture en Algérie connaissent d'importantes transformations post-occupationnelles pour une meilleure réappropriation des espaces ?

- 2) Comment pourrions-nous résoudre le problème des changements post-occupationnels effectués par les utilisateurs pour garantir une meilleure appropriation de leur espace architectural ?
- 3) L'utilisation des nouvelles technologies d'information et de communication notamment, la réalité virtuelle et la réalité augmentée dans la conception des projets d'architecture pourrait-elle contribuer à résoudre le problème posé ?

Hypothèse de la recherche

Nous supposons que les transformations post-occupationnelles faites sur les projets architecturaux en Algérie résultent d'une mauvaise superposition des besoins de l'occupant avec l'espace et sa fonction, et ceci provient de l'utilisation des anciennes méthodes de conceptions dans la traduction des idées, ce qui mène vers une indifférence de compréhension et donnera un résultat distinct par rapport à l'entendement du client et lui conduisent à des changements pour satisfaire ses besoins.

Ainsi, nous estimons que, la généralisation de l'utilisation des nouvelles technologies d'information et de la communication dans la conception des projets en Algérie, pourrait être une des solutions pour diminuer le phénomène de transformations post-occupationnelles des espaces architecturaux par leurs futurs utilisateurs.

Objectifs de la recherche

- L'objectif principal de notre recherche est de montrer que l'utilisation de la réalité virtuelle et augmentée dans la conception des projets d'architecture apporte beaucoup d'avantages et réduit le recours aux transformations post-occupationnelles de l'espace architectural pour garantir une meilleure appropriation.
- L'intérêt de cette recherche est aussi d'étudier et de comprendre les différents outils technologiques et nouvelles méthodes utilisés dans le domaine du bâtiment.
- La maîtrise des logiciels des conceptions BIM et les nouveaux outils technologiques dont les casques de la réalité virtuelle tout en mettant en valeur l'intérêt de l'utilisation de ces technologies (RV, RA et BIM) dans le processus de la production architecturale en démontrant leurs apports et potentialités à produire des solutions efficaces et rapides faces aux problèmes et aux erreurs qui se produisent durant ce processus.
- En plus de ces objectifs de recherche, nous visons la mise en place d'un projet start-up qui consiste en la création d'un bureau de prestation de service dans le domaine du BTPH notamment l'utilisation des nouvelles technologies dans la conception des projets.

Démarche méthodologique

Pour traiter cette recherche, et afin d'apporter des éléments de réponses aux questions posées, on utilisera les trois approches méthodologies suivantes :

- **Approche Analytique** : consiste à dresser un état de l'art sur le sujet à travers l'examen des données et des informations collectées à partir de plusieurs documents et sources bibliographiques pour la compréhension des concepts abordés, et la formation d'un soubassement théorique qui permettra la constitution d'un cadre de recherche approprié.
- **Approche comparative** : dans cette étude, nous examinerons la différence entre le siège actuel de la radio locale de Jijel, qui a été réaménagé pour répondre à sa nouvelle fonction, et le futur siège de la radio-télévision conçu par nous-même en utilisant les nouvelles technologies du domaine du bâtiment, en particulier le BIM, la réalité virtuelle et augmentée. L'objectif de cette étude est de renforcer la recherche afin de mieux comprendre l'utilisation de ces technologies avancées et les avantages qu'elles offrent dans le processus de travail architectural, ainsi que les résultats attendus.
- **Approche empirique** : dans cette phase, il est question d'opter pour la réalité virtuelle et augmentée comme exemple des dernières technologies utilisées dans le domaine de la construction, puis évaluer et vérifier l'apport de ces outils par leurs applications sur le cas d'étude. Cette approche se basera sur une conception avec le logiciel REVIT et l'intégration du VR et AR appui d'un questionnaire pour collecter un ensemble de données pour pouvoir évaluer l'efficacité de ces technologies.

Structure du Mémoire :

Notre mémoire de recherche est divisé en deux parties principales : théorique et pratique. Composé de quatre chapitres, ils commencent tout d'abord par une introduction générale qui pose la problématique de notre recherche suivie par les hypothèses et les objectifs à atteindre. Le contenu de notre mémoire est structuré comme suit :

Le premier chapitre : intitulé « **notions et définitions** », traite toutes les définitions des concepts : NTIC, appropriation de l'espace et l'intelligence du bâtiment ainsi leurs aperçus historiques et leurs différents composants et caractéristiques.

Le deuxième chapitre : intitulé « **l'usage des nouvelles technologies de l'information et de la communication dans le domaine de la construction intelligente** ». Traite les différents types d'outils utilisés dans le domaine de construction (traditionnels et numériques) ainsi que leurs

composants, l'intégration de l'intelligence du bâtiment à travers ces outils et leur utilisation à l'échelle mondiale et locale dans le domaine de la construction.

Le troisième chapitre : intitulé « **L'appropriation de l'espace architectural, BIM, RV & RA** », ce chapitre comporte les types des transformations post-occupationnelles de l'espace architectural intelligent ainsi que la manière d'intégration des outils technologiques pour résoudre le problème de ces transformations, de plus l'étape et les méthodes d'intégration du maître de l'ouvrage et des utilisateurs dans le processus de la conception et enfin le résultat attendu pour trouver les solutions aux contraintes rencontrées.

Le quatrième chapitre : sera consacré à la présentation de notre cas d'étude, le choix de la RV et la RA comme outils d'interventions suivis de leurs présentation et intégration dans le cas d'étude et en parallèle l'utilisation d'un logiciel BIM : Revit comme outil de conception pour renforcer le travail. De plus, la présentation des méthodes d'investigation utilisé qui s'agit de deux questionnaires : un sur l'état de fait et l'autre sur le projet projeté et qui seront adressés aux employés de la radio locale de Jijel. A La fin de ce chapitre on va présenter et interpréter les résultats.

Notre mémoire aboutira enfin à une conclusion générale qui mettra en évidence les principaux résultats de notre recherche pour en tirer les recommandations nécessaires.

Chapitre 01 : Notions et définitions des concepts

1.1 Introduction

Les NTIC occupent une place importante dans le quotidien notamment dans le domaine professionnel et aujourd'hui elles font partie intégrante de notre quotidien. Ces dernières allègent la charge de travail et apportent du gros sur le long terme, elles ont ouvert les voies à un large éventail de méthodes de communication, permettant à la fois de rapprocher les distances, réduire les délais et minimiser les coûts.

L'évolution de ces technologies est étroitement liée d'un côté à leurs usages et leurs appropriations par les acteurs humains et d'autre côté au périmètre fonctionnel qu'elles couvrent et aussi à la performance technique qu'elles réalisent au sein des organisations.

L'utilisation des NTIC dans le domaine de la construction permettra son innovation et sa transformation digitale qui pourra éliminer dans le futur, des différents problèmes rencontrés lors du processus du travail comme les problèmes des transformations de l'espace architectural qui lui-même sera un espace architectural intelligent et cela par l'intégration de l'intelligence du bâtiment à travers l'appui sur les NTIC.

1.2 Les Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication

« NTIC »

1.2.1 Définitions et notions des NTIC Définition des NTIC

Selon Larousse (2022) : NTIC est l'ensemble des techniques utilisées pour le traitement et la transmission des informations (câble, téléphone, Internet, etc.)

Technologie de l'information et de la communication "TIC" désigne l'ensemble des technologies permettant de traiter des informations numériques et de les transmettre. L'expression « nouvelles technologies de l'information et de la communication » "NTIC" désigne donc une combinaison d'informatique et de télécommunications, mais elle s'est plus spécialement répandue dans le contexte du réseau Internet et du multimédia, c'est-à-dire de l'information audiovisuelle numérisée (images et sons, par opposition aux données de type texte et chiffres, moins volumineuses, qui constituaient l'essentiel des données transitant par les réseaux jusqu'au développement du web et du protocole (Braudo, 2023)

On peut dire que les NTIC sont le résultat d'une convergence des télécommunications, de l'informatique et de l'audiovisuels tout en ayant en commun l'emploi des données numériques, ces technologies ne se limitent pas à internet mais représentent des supports qui permettent son développement c'est pour cela qu'aujourd'hui leur utilisation devient primordiale

1.2.2 Historique

Les toutes premières formes de TIC et toutes celles qui ont conduit aux formes actuelles : NTIC font de nos technologies actuelles ce qu'elles sont aujourd'hui. L'évolution des premières TIC jusqu'à notre forme actuelle passe par quatre étapes : pré mécanique, mécanique, électromécanique et électronique. Ces 4 étapes ont permis aux TIC d'évoluer et de s'adapter aux dernières formes : NTIC

L'âge pré-mécanique de la technologie est la forme la plus ancienne connue des TIC. Elle peut être définie comme la période comprise entre 3000 avant J.-C. et 1450 après J.-C., c'est à cette époque que les humains ont commencé à communiquer et ont essayé de le faire de plusieurs manières, notamment en utilisant le langage ou des symboles simples et des images connues sous le nom de pictogrammes, généralement gravées dans la roche. Les premiers alphabets ont été développés, comme l'alphabet phénicien (White, 2013).



Figure 1 : Pictogramme

Source : Guffroy (2007)

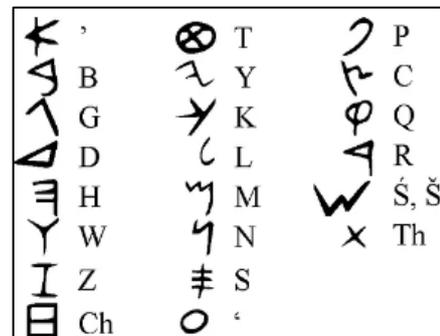


Figure 2 : Alphabet phénicien

Source : Crabben (2011)

Au fur et à mesure que les alphabets sont devenus plus populaires et plus couramment utilisés pour écrire des informations, les stylos et le papier ont commencé à se développer. Au départ, il s'agissait de marques sur de l'argile humide, mais plus tard, le papier a été créé à partir du papyrus. Maintenant que les gens écrivaient beaucoup d'informations, ils avaient besoin de moyens pour les conserver de façon permanente. C'est là que sont nés les premiers livres et les premières bibliothèques. Certaines personnes relient même les informations sous forme de livre. C'est également à cette époque qu'apparaissent les premiers systèmes de numérotation.

C'est vers l'an 100 de notre ère que le premier système de 1 à 9 a été créé par des Indiens. Cependant, ce n'est qu'en 875 après J.-C. (775 ans plus tard) que le chiffre 0 a été inventé. Maintenant que les nombres ont été créés, les gens voulaient avoir quelque chose à faire avec eux et ont donc créé des calculatrices dont le modèle populaire de l'époque était le boulier.

L'ère mécanique est celle où nous commençons à voir des liens entre notre technologie actuelle et ses ancêtres. L'ère mécanique peut être définie comme la période comprise entre 1450 et 1840. Cette époque a connu une énorme explosion d'intérêt, ce qui a entraîné le développement de nouvelles technologies comme la règle à calcul. Blaise Pascal a inventé la Pascaline, un ordinateur

mécanique très populaire. Charles Babbage a mis au point le moteur à différences qui calculait les équations polynomiales à l'aide de la méthode des différences finies. De nombreuses machines différentes ont été créées à cette époque et, bien que nous ne soyons pas encore parvenus à une machine capable d'effectuer plus d'un type de calcul en une seule fois (White, 2013).

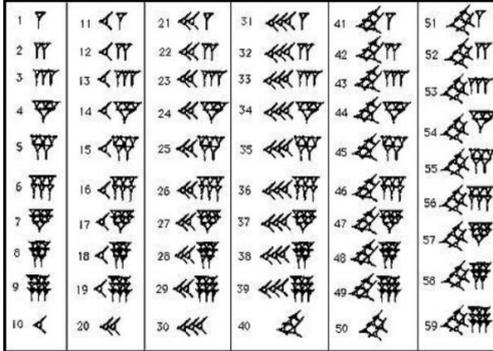


Figure 3 : 1^{er} système de numérotation

Source : Ben Dhia et al (2020)

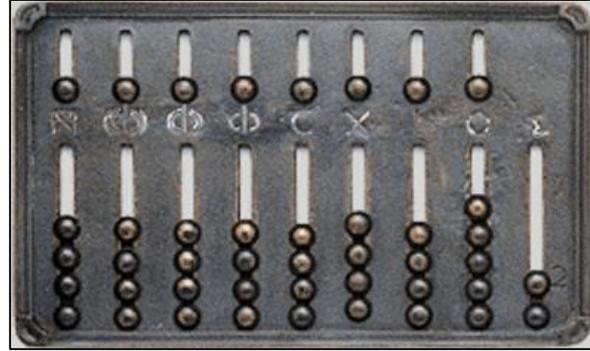


Figure 4 : le boulier

Source : Mariotti (2010)

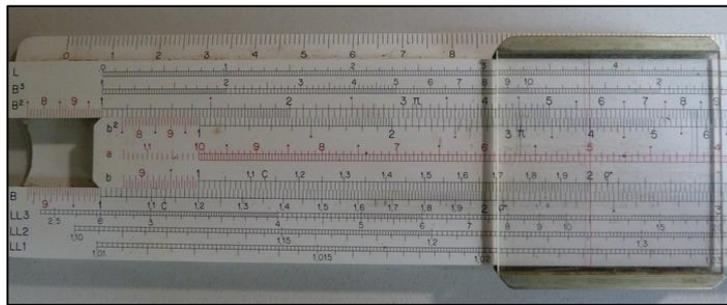


Figure 5 : la règle à calcul

Source : Rousseau (2018)



Figure 6 : la Pascaline

Source : Ben Dhia et al (2020)

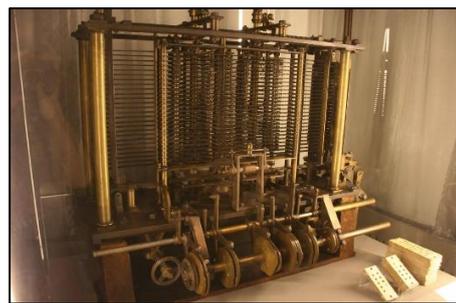


Figure 7 : le moteur de différence

Source : Ben Dhia et al (2020)

Dans les années 70, il commence à parler des technologies de l'information et de la communication. Le grand saut technologique survenu au cours de ces années entraîne l'incorporation définitive de la technologie de l'information dans les communications, qui est le point de départ de l'ère numérique actuelle, c'est qu'on appelle la période électromécanique là où le télégraphe a été créé au début des années 1800. Le code Morse a été créé par Samuel Morse en

1835. Le téléphone a été créé par Alexander Graham Bell en 1876. La première radio a été développée par Guglielmo Marconi en 1894.

Dans ces années, les premiers ordinateurs commencent à être construits, et le premier est l'ordinateur numérique automatique à grande échelle aux États-Unis « le Mark 1 » créé par l'université de Harvard vers 1940. Au début, ces ordinateurs étaient énormes, occupant des pièces entières, mais peu à peu ils commençaient à rétrécir (Bonilla, 2019).

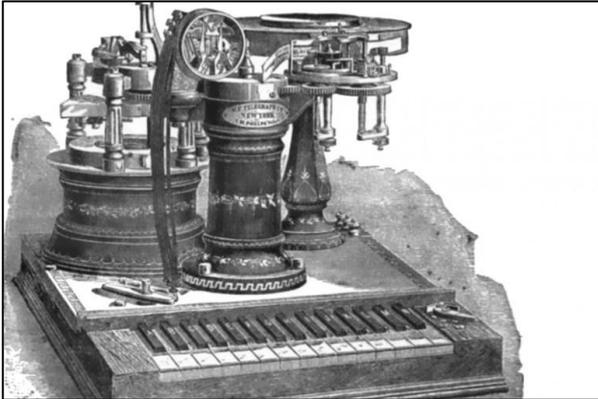


Figure 8 : le télégraphe

Source : Monier et Farge (2016)

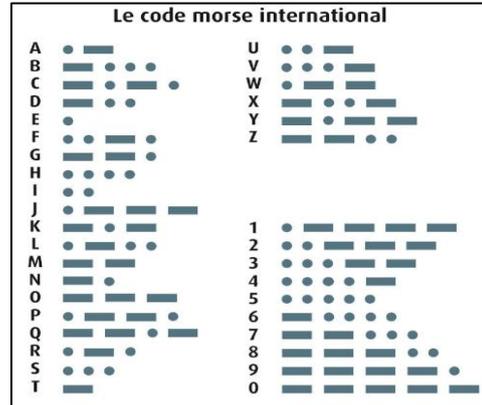


Figure 9 : le code Morse

Source : Pomella (2019)



Figure 10 : le 1^{er} téléphone

Source : cité des telecoms (2023)

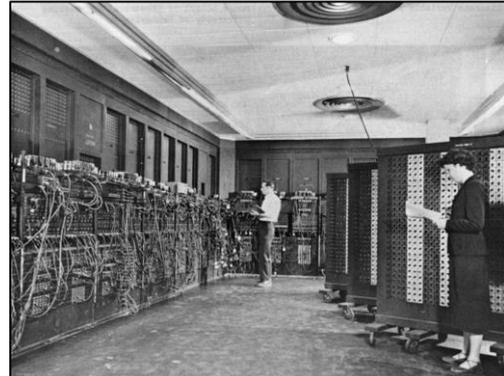


Figure 11 : le 1^{er} ordinateur

Source : Ben Dhia et al (2020)

Une fois les outils prêts, la dernière impulsion manquait pour que ces technologies caractérisent une époque entière. Et cet élan est venu avec Internet et le World Wide Web. À partir de la décennie 90, son utilisation a été tellement étendue qu'elle atteint aujourd'hui toute la surface de la planète. De cette façon, tout le monde est interconnecté pour la première fois. A cela, il faut ajouter les améliorations techniques des appareils existants, tels que les téléphones.

De même, le passage au numérique a été une avancée majeure en termes de rapidité et de qualité de la transmission des données, la rendant instantanée (Bonilla, 2019).

Le développement des outils de la télécommunication revient à la volonté réelle d'assurer l'accès à tout endroit dans le monde et il peut s'expliquer par la diversité des informations et l'accessibilité par les acteurs humains au centre informationnel.

Cette évolution à entrainer de grands changements d'usage, on peut dire qu'avant l'usage du numérique se limitait à un périmètre fonctionnel dans un contexte professionnel alors que de nos jours, cet usage s'est élargi au domaine personnel. Le rapprochement de l'informatique et des télécoms dans les dernières décennies, a bénéficié de la miniaturisation des composants permettant de produire des appareils « multifonctions » à caractéristiques importantes. Et depuis le développement et les usages des TIC ne cessent de s'étendre.

1.2.3 Les équipements audiovisuels

➤ **Les sièges de la radio-télévision :** selon le Larousse, la radiotélévision désigne l'ensemble des services, des installations et des programmes de radiodiffusion sonore ou de télévision.

Un siège de radiotélévision désigne un établissement contenant un ou plusieurs studios de radiodiffusion pour la diffusion par voie hertzienne, par câble ou par satellite de programmes de radio ou de télévision, ou des studios pour l'enregistrement audio ou vidéo ou le tournage de spectacles musicaux, de programmes de radio ou de télévision ou de films. Ce terme n'inclut pas une tour de transmission (Insider, 2023).

➤ **Les instituts audiovisuels :** c'est un établissement qui produit, édite, cède, collecte, protège et conserve les contenus audiovisuels. Il forme aussi aux métiers de l'audiovisuel, des médias et du numérique.

➤ **Les stations de production audiovisuelle :** selon l'école internationale des métiers de la culture et du marché de l'art : la production audiovisuelle désigne l'industrie de la conception et la fabrication des œuvres audiovisuelles.

On peut dire aussi société de production , une maison de production , studio de production ou équipe de production , elle se définit par une personne ou un établissement produisant un programme ou fournissant ou rendant divers services, facilités, utilités ou avantages en relation avec la production du programme (Insider, 2023).

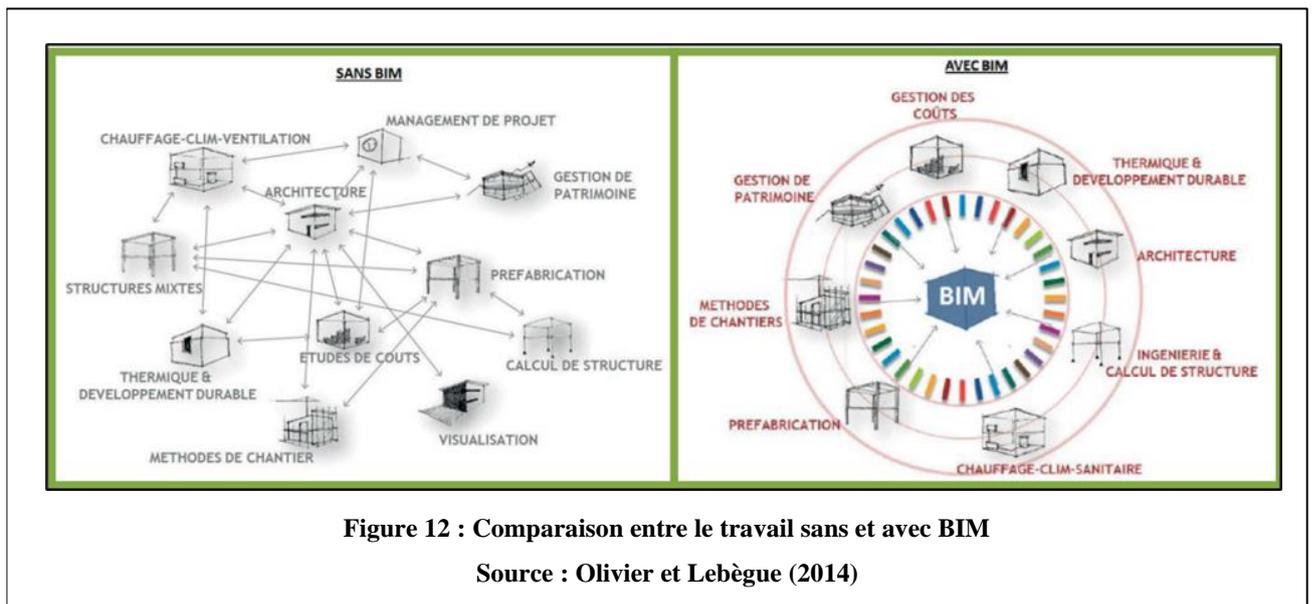
1.3 Le Building Information Modeling « BIM »

1.3.1 Définition : pour le BIM, trois définitions semblent ressortir. Si le « B » (Building) et le « I » (Information) ne laissent place à aucune interprétation. Le « M » de l'acronyme peut selon les cas signifier model, modeling ou management :

- Building Information Model : le fichier créé avec un logiciel métier spécifique, alliant objets, géolocalisation, géométrie, informations, sémantique...

- Building Information Modeling : le processus de travail de ceux qui utilisent ces outils, dans un esprit de constitution de base de données du projet et d'échanges entre les acteurs.
- Building Information Management : le processus de gestion du projet, à travers des outils tels que la maquette numérique, le management de l'information et des acteurs (Olivier and Lebègue, 2015).

Le BIM (Building Information Modeling), traduit par « modélisation numérique des projets de bâtiment et d'infrastructure » est aujourd'hui une nouvelle de marche de développement, de réalisation et de suivi des projets de construction. Le BIM permet, en phase de conception, de construction et d'exploitation de simuler le comportement d'un projet de construction par la création d'une maquette numérique (Hoyet et al., 2016).



1.3.2 Historique et évolution : Jean-Yves Bresson gérant d'Almadéa qui est une société de conseil stratégique en systèmes d'information immobilier créée en Février 2010, explique la naissance du BIM : En 1995, aux USA, 12 entreprises de la filière bâtiment engagent une réflexion pour améliorer la communication des données entre logiciels qui débouche sur la création d'un langage informatique commun : les IFC¹ (Industry foundation classes). Ils décrivent les objets nécessaires pour concevoir un bâtiment tout au long de son cycle de vie et selon différents points de vue (architecture, structure, thermique, estimatifs, acoustique...). Ainsi, 700 classes d'objets (dont 400 normalisées) ont été répertoriées. La mise en œuvre progressive des IFC se fait dans le cadre d'un référentiel unique et partagé par tous les acteurs : le BIM. C'est un assemblage

¹ Le format IFC est un format d'échange créé pour assurer l'interopérabilité entre les logiciels qui permet de décrire de manière universelle les « éléments » qui composent un bâtiment tout au long de son cycle de vie (conception, construction, exploitation) et selon différents points de vue (architecture, structure, thermique, estimatif, etc.). Les IFC sont inclus dans un fichier dont le format est prédéfini selon une norme internationale (STEP)ISO 10303-21

d'objets (les composants) avec une représentation graphique, des attributs et un comportement. Par exemple : une porte est représentée battante ou coulissante, elle est en aluminium avec un double vitrage (attribut), elle s'ouvre et « troue » le mur (comportements). Comme on navigue sur son smartphone qui utilise différentes applications, les acteurs de la filière vont bénéficier d'une interopérabilité. Que ce soit pour un projet de construction, de rénovation ou de gestion technique, ils n'ont plus à traduire ou à enrichir, souvent manuellement, des données d'un format à l'autre.

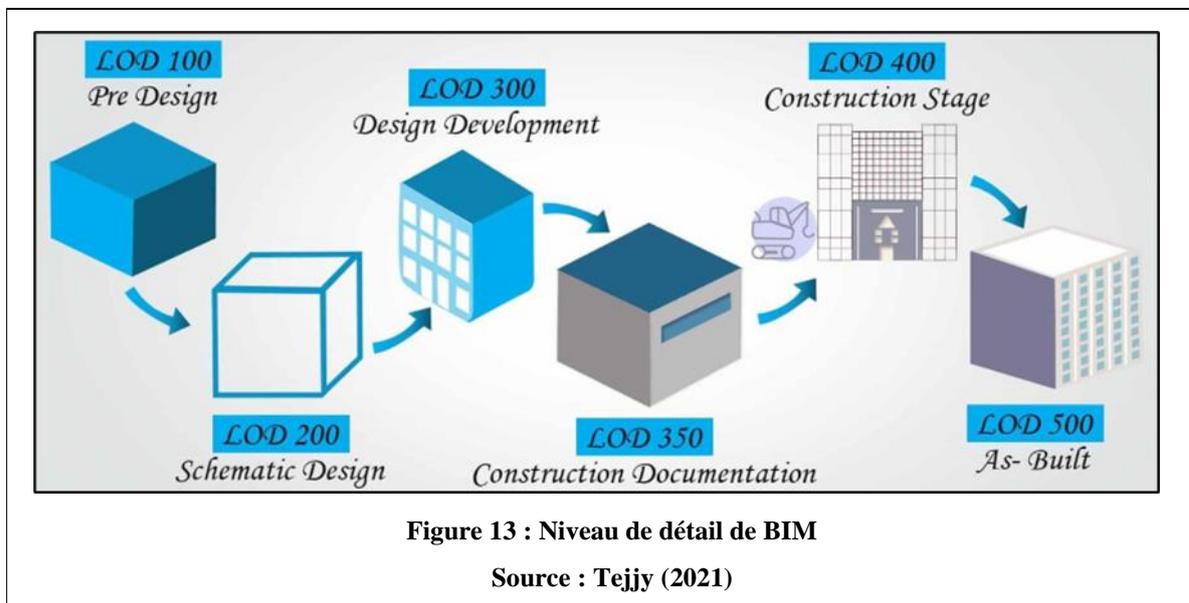
François Appéré a publié sur LinkedIn un article tiré et traduit de l'anglais d'un très riche reportage posté par Vanessa Quirk sur le blog "archidaily.com" le 07 décembre 2012 : Le travail en maquette numérique n'est pas une nouveauté puisque les premiers logiciels basés sur le concept de « bâtiment virtuel » remontent au début des années quatre-vingt. Le terme BIM est devenu omniprésent dans le monde de la construction depuis plus de 20 ans, mais d'où vient-il ? Son histoire est riche et complexe, développée ci-dessous, avec des acteurs des États-Unis, d'Europe Occidentale et du bloc Soviétique, alors en concurrence pour la solution logicielle architecturale optimale pour mettre fin aux processus de travail associés à la CAO 2D. Les bénéfices d'un modèle de conception architectural associé à une base de données ont été prouvés, les entrepreneurs devenant les pilotes de la technologie BIM pour la première fois en 2012.

1.3.3 Les composants du BIM

- **La maquette numérique :** ou « Building Information Model » contient une représentation numérique 3D de l'ouvrage associée à une base de données. La richesse de la maquette réside dans le fait qu'elle intègre (presque) l'ensemble des données nécessaires au projet en fonction du cycle de vie de l'ouvrage (de l'évaluation/ programmation à la déconstruction) (Hoyet et al., 2016).
- **Le niveau de détail :** Level Of Detail " LOD"² : Ils définissent le niveau de renseignement attendu pour les éléments constituant la maquette numérique selon l'avancement du projet (Promodul, 2016).
- ✚ **LOD 100 :** L'élément de modèle peut être représenté graphiquement dans le modèle à l'aide d'un symbole ou d'une autre représentation générique.
- ✚ **LOD 200 :** L'élément de modèle est représenté graphiquement dans le modèle comme un système, un objet ou un assemblage générique avec des quantités approximatives, la taille, la forme, l'emplacement et l'orientation.

² LOD est parfois interprété comme le niveau de détail plutôt que le niveau de développement. Le niveau de détail est essentiellement la quantité de détails inclus dans l'élément de modèle. Le niveau de développement est le degré auquel la géométrie de l'élément géométrie de l'élément et les informations qui y sont attachées ont été réfléchies

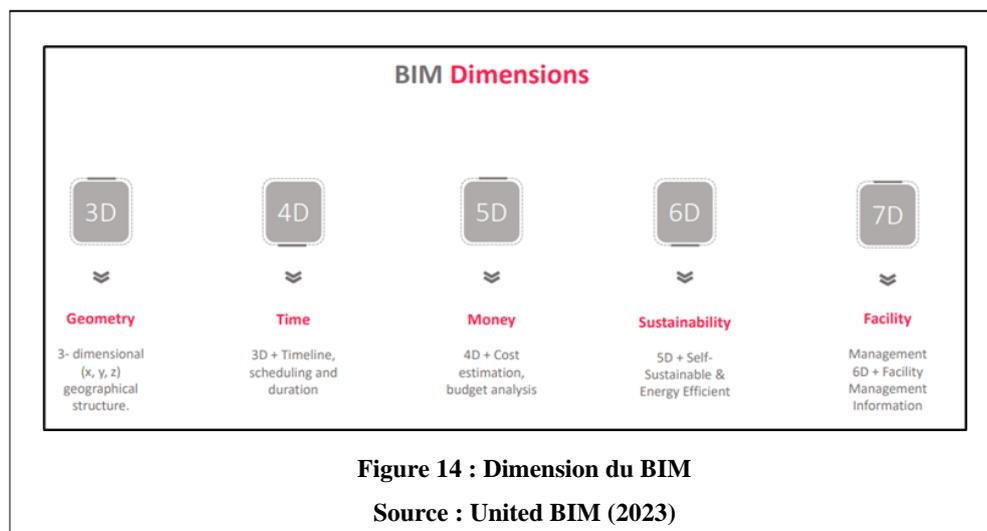
- ✚ **LOD 300** : L'élément du modèle est représenté graphiquement dans le modèle comme un système, un objet ou un assemblage spécifique en termes de quantité, de taille, forme, emplacement et orientation.
- ✚ **LOD 350** : L'élément du modèle est représenté graphiquement dans le modèle comme un système, un objet ou un assemblage spécifique en termes de quantité, de taille, forme, emplacement, orientation et interfaces avec d'autres systèmes de construction.
- ✚ **LOD 400** : L'élément du modèle est représenté graphiquement dans le modèle comme un système, un objet ou un assemblage spécifique en termes de taille, de forme, l'emplacement, la quantité et l'orientation, avec des informations sur les détails, la fabrication, l'assemblage et l'installation.
- ✚ **LOD 500** : L'élément du modèle est une représentation vérifiée sur le terrain en termes de taille, de forme, d'emplacement, de quantité et d'orientation (FORUM, 2015).



➤ **Les dimensions :**

- ✚ **La 3D** : La 3D, comme nous le savons tous, représente les trois dimensions géographiques (x, y, z) d'une structure de bâtiment. Le BIM 3D permet à toutes les parties prenantes de collaborer efficacement pour modéliser et résoudre les problèmes structurels typiques. De plus, comme tout est stocké à un endroit central, c'est-à-dire le modèle BIM, il devient plus facile de résoudre les problèmes à un stade ultérieur.
- ✚ **La 4D** : est liée à la planification du chantier de construction en ajoutant un nouvel élément, à savoir le temps. Le BIM 4D est un outil de planification des activités sur le site. Elle peut contribuer à la détection précoce des conflits en gérant de manière transparente les informations relatives à l'état du site et en visualisant l'impact des changements entrepris pendant toute la durée du projet.

- ✚ **La 5D** : est utile dans les cas où l'analyse et l'estimation du budget sont nécessaires dès le début d'un projet. La BIM 5D peut aider à prévoir avec précision les exigences budgétaires ainsi que les modifications de la portée, des matériaux, de la main d'œuvre ou de l'environnement. De plus, on peut facilement extraire les coûts associés à un scénario et prendre en compte les changements en cours de route.
- ✚ **La 6D** : permet d'analyser la consommation d'énergie d'un bâtiment et d'obtenir des estimations énergétiques dès les premières étapes de la conception. La technologie 6D BIM permet au secteur de franchir une étape supplémentaire par rapport à l'approche conventionnelle qui se concentre uniquement sur les coûts initiaux associés à un projet. Cette approche permet d'avoir une idée du coût total d'un bien et de la manière dont l'argent doit être utilisé.
- ✚ **La 7D** : concerne les opérations et la gestion des installations par les gestionnaires et les propriétaires de bâtiments. La dimension est utilisée pour suivre les données importantes sur les biens, telles que leur état, les manuels d'entretien et d'exploitation, les informations sur la garantie, les spécifications techniques, etc. Le BIM 7D est une approche unique dans laquelle tout ce qui est lié au processus de gestion des installations est rassemblé en un seul endroit dans le cadre du BIM 7D (BIM, 2019).



- **Les outils** : à la différence des logiciels CAO 3D qui manipulent des entités dont la géométrie et les propriétés sont figées, les outils BIM sont fondés sur des objets paramétriques, c'est-à-dire des objets dont la géométrie peut être pilotée par des paramètres et des formules logiques, et des objets capables de véhiculer de l'information et d'interagir avec leur contexte d'une manière dynamique (Chiali, 2019).

- **Les normes :** Clare Naden a oublié sur le site officiel de l'ISO³ le 21/01/2019 un article qui parle de la normalisation du BIM : La BIM permet aux architectes, aux ingénieurs et aux professionnels de la construction de planifier, de concevoir et de gérer leurs projets de construction plus efficacement, pour répondre à ce besoin, l'ISO vient tout juste de publier les deux premières parties d'ISO 19650. Cette norme fournit désormais un cadre pour la gestion de l'information par la BIM dans l'optique d'un travail collaboratif.

Et selon Jons Sjogren, président du sous-comité technique de l'ISO chargé de l'élaboration des différentes parties de la norme, donner un cadre de dimension internationale à la BIM permettra « non seulement une collaboration plus efficace sur des projets internationaux, mais aussi, pour les concepteurs et les sous-traitants amenés à travailler sur tous types de projets de construction, une gestion plus claire et plus efficace de l'information. »

1.3.4 Les rôles résultant du BIM

- **Le BIM manager :** Il est indispensable dès qu'une maquette numérique est réalisée, y compris sur des petits chantiers. Son rôle est double : Il met en place le plan BIM du projet et ses règles de réalisation : comment découper le projet en zones, quelles sont les familles d'objets à utiliser, qui fait quoi et à quel rythme. Lors de points réguliers, il récupère les maquettes de chacun, prépare les réunions de coordination, assemble les maquettes et réalise les rapports de conflits consacrés aux interférences des différentes copies de la maquette.
- **Le BIM modeleur :** Personne qui dessine en 3D l'ouvrage. Il applique les règles établies par le BIM Manager et travaille sous la supervision de son supérieur hiérarchique, le BIM Coordinateur. Très à l'aise avec l'informatique et les logiciels de modélisation 3D, le BIM Modeleur doit savoir dessiner avec une grande rigueur afin que la maquette numérique soit exploitable par tous (Promodul, 2016).
- **Le BIM coordinateur :** Il prend connaissance des règles et chartes de modélisation définie par son interlocuteur le BIM Manager et veille à ce que ses collaborateurs, les BIM Modeleurs les respectent et les appliquent. Il est le garant de la qualité de la maquette numérique (Promodul, 2016).

1.3.5 BIM et réalité virtuelle et augmentée : le BIM devient de plus en plus

une norme industrielle pour le secteur de l'architecture, de l'aménagement et de la construction, qui peut fournir une approche intégrée pour gérer efficacement les données et les informations tout au long du cycle de vie d'un projet. Les phases de planification, de conception et de construction de

³ L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une organisation internationale non gouvernementale, indépendante, dont les 167 membres sont les organismes nationaux de normalisation.

différents types de projets peuvent bénéficier de l'intégration d'autres technologies, telles que la réalité virtuelle (RV) et la réalité augmentée (AR) avec le BIM afin d'améliorer ses fonctionnalités, notamment la visite virtuelle, la visualisation du calendrier, la détection des conflits et la modélisation de l'ouvrage fini. En outre, les fonctions de gestion des actifs pendant la phase de maintenance et d'exploitation des installations et des infrastructures peuvent considérablement bénéficier de ce type d'intégration (SALEM et al., 2020).

1.4 La réalité virtuelle "RV" et la réalité augmentée "RA"

1.4.1 Définition de la réalité virtuelle : la réalité virtuelle est un environnement 3D simulé qui permet aux utilisateurs d'explorer et d'interagir avec un environnement virtuel d'une manière qui se rapproche de la réalité, telle qu'elle est perçue par les sens des utilisateurs. L'environnement est créé à l'aide de matériel et de logiciels informatiques, mais les utilisateurs peuvent également être amenés à porter des dispositifs tels que des casques ou des lunettes pour interagir avec l'environnement (Sheldon, 2022).

La réalité virtuelle 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 (Sciences, 2022).

1.4.2 La réalité virtuelle une immersion variable : les systèmes de RV peuvent varier considérablement d'un système à l'autre, en fonction de leur objectif et de la technologie utilisée, mais ils entrent généralement dans l'une des trois catégories suivantes :

- **Non-immersive :** Ce type de RV fait généralement référence à un environnement simulé en 3D auquel on accède par un écran d'ordinateur. L'environnement peut également générer du son, selon le programme. L'utilisateur a un certain contrôle sur l'environnement virtuel à l'aide des dispositifs, mais l'environnement n'interagit pas directement avec l'utilisateur (Sheldon, 2022).
- **L'immersion partielle :** ce type de RV offre une expérience virtuelle partielle à laquelle on accède par le biais d'un écran d'ordinateur ou d'un type de lunettes ou de casque. Il se concentre principalement sur l'aspect visuel 3D de la réalité virtuelle et n'intègre pas le mouvement physique comme le fait l'immersion totale (Sheldon, 2022).
- **L'immersion totale :** Ce type de RV offre le plus haut niveau de réalité virtuelle, immergeant complètement l'utilisateur dans le monde 3D simulé. Il intègre la vue, le son et, dans certains cas, le toucher et même avec l'ajout de l'odorat. Les utilisateurs portent des équipements spéciaux tels que des casques, des lunettes ou des gants et sont en mesure d'interagir pleinement avec l'environnement et celui-ci peut également intégrer des équipements tels que des tapis roulants ou des bicyclettes stationnaires pour permettre aux utilisateurs de se déplacer dans l'espace 3D. Mais la RV totalement immersive n'en est qu'à ses débuts (Sheldon, 2022).

1.4.3 Les outils de la réalité virtuelle : il est nécessaire, pour se plonger

dans un environnement virtuel, de disposer d'un matériel spécifique permettant une immersion totale. Exceptées les vidéos 360, consultables depuis un ordinateur ou une tablette, la plupart des applications développées en RV nécessitent l'utilisation d'un visiocasque.

On distingue 02 catégories de casque :

- ✚ **Les casques passifs** : fonctionnent sans système électronique et sert uniquement de passerelle entre l'environnement 3D et l'utilisateur, exemple : Le Google Cardboard.
- ✚ **Les casques actifs** : fonctionnent à partir d'un système électronique qui permet de faire apparaître un environnement virtuel aux yeux de l'utilisateur.

Trois casques actifs se détachent parmi ceux fonctionnant à l'aide d'un ordinateur ou d'une console : l'Oculus Rift, le casque HTC Vive ainsi que le casque PS VR.

Ces casques sont tous utilisables avec des manettes qui permettent d'interagir avec l'environnement et de se déplacer plus rapidement dans différentes zones en « cliquant » sur ces zones afin de s'y rendre. Certains comportent également un système audio qui renforce le caractère immersif de l'expérience (Gosciniak, 2018).



Figure 15 : Casque Oculus Rift

Source : Oculus (2022)



Figure 16 : Casque HTC Vive

Source : Vive (2023)



Figure 17 : Casque PS VR

Source : PlayStation (2023)

1.4.4 Définition de la réalité augmentée : selon Chaimbault Thomas (2015),

la réalité augmentée pouvant être qualifiée comme une passerelle entre la réalité « physique » et la réalité « virtuelle ».

La réalité augmentée peut être considérée comme une variante de la réalité virtuelle. Au lieu de plonger l'utilisateur dans un environnement artificiel, elle enrichit sa perception du monde réel en y superposant des informations numériques. Elle ne remplace pas l'environnement réel comme le fait la réalité virtuelle, mais le complète. Si techniquement la perception des cinq sens devrait pouvoir être augmentée, cette technologie est utilisée aujourd'hui principalement dans le but de superposer des informations visuelles sur la réalité (Kipper and Rampolla, 2013).

1.4.5 Les outils de la réalité augmentée : les contraintes matérielles sont

bien moindres dans le domaine de la RA. Cette technologie se déploie en effet sur des supports technologiques utilisés quotidiennement par le grand public, tels que les smartphones et les tablettes. Il n'est donc pas indispensable d'acquérir du matériel spécifique afin d'accéder aux applications en RA.

Seules les lunettes HoloLens, dotées d'écrans semi-transparents et développées par Microsoft, sont disponibles depuis la fin de l'année 2016 et permettent d'accéder à des expériences qualifiées de « réalité mixte » : des éléments apparaissent en superposition sur l'environnement réel grâce aux verres des lunettes (Gosciniak, 2018).

Il existe aussi les lunettes Google Glass qui sont des lunettes connectées à la réalité augmentée.



Figure 18 : Google Glass

Source : Flickr (2019)



Figure 19 : Lunettes HoloLens

Source : Microsoft (2023)

1.5 L'appropriation de l'espace architectural

1.5.1 Définition de l'espace architectural : l'espace architecturale naît de la relation entre des objets ou entre des bornes et des plans qui définissent des limites. Ces limites peuvent être plus ou moins explicites, constituer des surfaces formant une frontière sans

interruption, ou au contraire, constituer uniquement quelques repères que l'observateur interprète comme limites (LOBIYED, 2023)

1.5.2 Définition du concept "appropriation" : selon Larousse (2022) :

L'appropriation est l'action d'approprier quelque chose à quelque chose d'autre.

1.5.3 L'appropriation de l'espace architectural :

Elle désigne l'ensemble des pratiques lesquels confèrent à un espace limité, les qualités d'un lieu personnel ou collectif. Cet ensemble de pratiques permet d'identifier le lieu : ce lieu permet d'engendrer des pratiques. L'appropriation repose donc sur une symbolisation de la vie sociale (Nicolas, 1981)

1.5.4 Formes d'appropriation de l'espace architectural :

L'appropriation de l'espace spécifie la relation que maintient l'homme avec son environnement pour garder et assurer sa continuité à travers, soit l'adaptation qui permet à l'environnement bâti de persister, soit la réappropriation qui consiste à le transformer.(Angadi, 2014)

1.5.4.1 L'adaptation et la persistance :

L'homme possède à la fois des données naturelles et des données culturelles qui jouent le rôle le plus déterminant dans l'interaction de l'homme avec son espace. Donc en fonction de ces données naturelles et culturelles, l'appropriation de l'espace s'effectue à travers une action d'adaptation qui se traduit dans l'espace par la persistance de certains aspects, (naturels, artificiels, réels et symboliques), pour permettre à l'homme d'exprimer sa présence, d'identifier son appartenance et affirmer sa possession dans l'environnement bâti afin de révéler un caractère culturel (Angadi, 2014).

1.5.4.2 La réappropriation et la transformation :

Pour saisir la réappropriation, il suffit de définir la notion de transformation et ses caractéristiques : Si la transformation sert « d'ordonner un ensemble d'éléments morphologiques divergents en une totalité » pour créer un environnement bâti, la transformation n'est pas seulement nécessaire, elle doit en faire partie, car il représente le contexte principal des modifications provoquées par les facteurs culturels.

Ce principe engendré par la réappropriation de l'espace construit et privatisé s'effectue sous forme d'un processus logique et continu, dans lequel se manifeste des mécanismes inhérents à la modification de l'environnement bâti pour permettre d'une part l'établissement et l'insertion des nouveaux éléments dans l'existant, et d'autre part, la disparition des éléments anciens (Angadi, 2014).

1.6 L'intelligence artificielle dans le bâtiment

1.6.1 Définition d'un bâtiment intelligent :

Selon la Commission de régulation de l'énergie : le bâtiment intelligent se définit comme un bâtiment à haute efficacité énergétique intégrant, dans la gestion intelligente du bâtiment les équipements consommateurs, les équipements producteurs et les éventuels équipements de stockage.

1.6.2 Aperçu historique sur le concept :

Le bâtiment intelligent est passé par trois étapes à travers son histoire ; ou chaque étape représente une période qui caractérise le développement du bâtiment intelligent ; en peut les résumer comme suit :

- **Bâtiment automation (Automation Buildings 1981-1985) :**

Les bâtiments automatisés de cette période ont été définis comme "un ensemble de technologies innovantes, dont les plus importantes sont les éléments de la communication sans fil".

- **Bâtiment responsif : (Responsive Buildings 1986-1991) :** Les bâtiments responsive de cette période étaient connus comme "un ensemble de techniques capables de modifier le système à travers le temps".

- **Bâtiment effectif : (Effective Buildings 1992- à nos jours-là) :** Le concept de bâtiment intelligent était radicalement différent des concepts précédents et visait vers les occupants du bâtiment et leurs fonctions plutôt que les systèmes informatiques (So and Chan, 1999)

1.6.3 Les caractéristiques d'un bâtiment intelligent :

On peut résumer les principales caractéristiques d'un bâtiment intelligent dans les points suivants :

- Le bâtiment maîtrise et contrôle l'espace intérieur et extérieur grâce à des systèmes automatisés permettant au bâtiment de répondre aux conditions et variables internes et externes ; tels que le changement climatique, un incendie...etc
- Le bâtiment détermine le moyen le plus efficace et efficient et fourni un environnement pratique et confortable aux occupants.
- Le bâtiment répond aux besoins des occupants grâce à des systèmes de communication avancés (Mikki, 2017).

1.6.4 Les composants du bâtiment intelligent

1.6.4.1 Les systèmes intelligents : l'immotique

L'immotique est la domotique à l'échelle d'un grand bâtiment, immeuble ou grand site industriel ou tertiaire. Ce qui implique des solutions techniques de domotique visant à gérer des

quantités de modules plus importantes que pour un simple domicile de particulier (Nicolas and Thomas, 2009).

1.6.4.2 Les matériaux intelligents :

Un matériau intelligent est sensible, adaptatif et évolutif. Ils possèdent des fonctions qui lui permettent de se comporter comme un capteur (détecter des signaux), un actionneur (effectuer une action sur son environnement) ou parfois comme un processeur (traiter, comparer, stocker des informations). Ce matériau est capable de modifier spontanément ses propriétés physiques, par exemple sa forme, sa connectivité, sa viscoélasticité ou sa couleur, en réponse à des excitations naturelles ou provoquées venant de l'extérieur ou de l'intérieur du matériau - variations de température, contraintes mécaniques, champs électriques ou magnétiques.

Ces matériaux peuvent répondre aux changements d'électricité, de chaleur ou d'ondes magnétiques. Elles sont capables de percevoir et de ressentir les stimuli de l'environnement ainsi que de leur intérieur, de réagir aux stimuli et de s'adapter pour eux par l'intégration de fonctionnalités dans leurs structures (ROSNAY, 2000).

1.6.4.3 Les façades intelligentes :

La « façade intelligente » fait partie intégrante de la nouvelle conception intelligente bâtiment, se référant à cet élément qui remplit la fonction d'enveloppement l'intérieur habité. En acceptant les métaphores biologiques, il semble plus approprié de qualifier cet élément de « peau intelligente », en soulignant son affinité avec l'épiderme humain (Wigginton and Harris, 2002).

1.7 Conclusion

Dans ce chapitre, on a pu expliquer les différentes notions utilisées dans notre travail afin d'éclairer théoriquement et d'enrichir les chapitres qui suivent. Ce chapitre comporte les définitions des NTIC avec leur passage de TIC vers NTIC et démontrent les équipements tirés de la thématique de l'audiovisuel, ensuite on expose les principales technologies utilisées dans le domaine de la construction en commençant par le BIM avec ses composants et les rôles qui résultent de ce dernier puis les 02 technologies liées au BIM : la RV et la RA, celle-ci connaîtront une explication et une présentation de leurs outils.

Par la suite on a décrit la notion d'appropriation de l'espace architectural et les différentes formes de cette appropriation et au final on a pu traiter l'intelligence du bâtiment avec sa définition, son historique, ses caractéristiques et ses composants.

On a pu voir que le passage vers le digital et l'intégration du BIM et ses technologies dans le processus du travail peut affecter les formes d'appropriation de l'espace et être un alibi pour la création d'un espace architectural intelligent qui répondra à tous les besoins de l'homme.

Pour conclure, il est indéniable que les NTIC représentent aujourd'hui un outil important dans le processus du travail dans le domaine de la construction et leur développement ne cesse et ne cessera de s'arrêter et cela fait de l'œuvre numérisée un support technique pour la conception architecturale intelligente.

Chapitre 02 : L'usage des NTIC dans le domaine de la construction intelligente

2.1 Introduction

La numérisation des travaux de construction apportera au domaine de la construction un avantage concurrentiel grâce à l'innovation et l'instantanéité. De nos jours, ces technologies vont bien au-delà de la numérisation de plans et de documents.

Les nouvelles technologies numériques employées dans le secteur de la construction permettent de suivre en temps réel les différentes phases des travaux tout en évitant les contretemps. Elles permettent également d'améliorer la communication en interne et de faciliter la collaboration entre les différents participants aux projets.

L'œuvre numérisée est aujourd'hui un support technique pour les technologies innovantes qui servent le domaine de la construction tels que les différents outils d'acquisition, de modélisation et de visualisation. Ces outils ont commencé à émerger de plus en plus au cours de ces dernières années. Cette évolution technologique a changé fondamentalement la façon dont les architectes conçoivent et fournissent des projets de construction.

Aussi, l'apport des NTIC est incontestable. Ces dernières contribuent à une exploitation rationalisée et performantes du bâtiment et de ses divers systèmes techniques et jouent un rôle important en facilitant le traitement des données recueillies par les objets connectés et cela va faire l'objet d'une description dans le chapitre suivant.

2.2 Les outils traditionnels utilisés dans le domaine de construction

2.2.1 Les dessins de traités d'architecture :

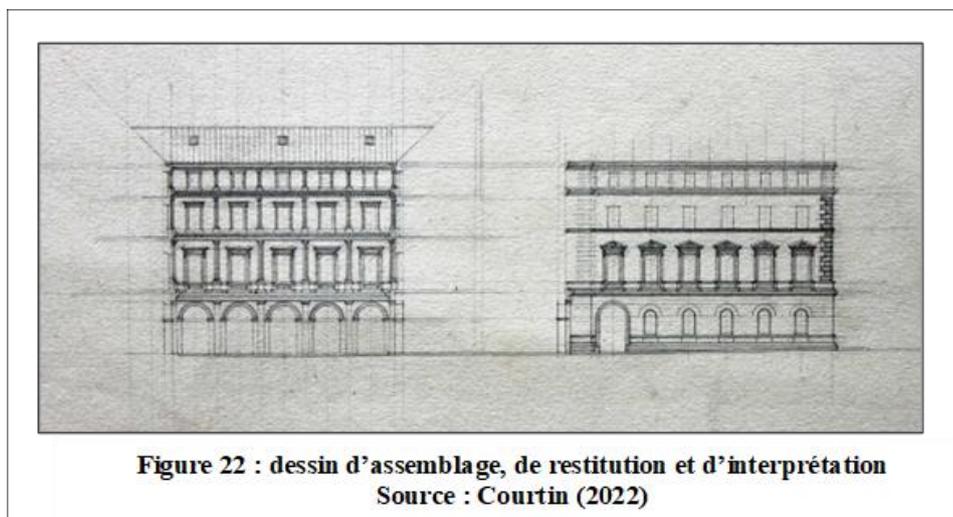
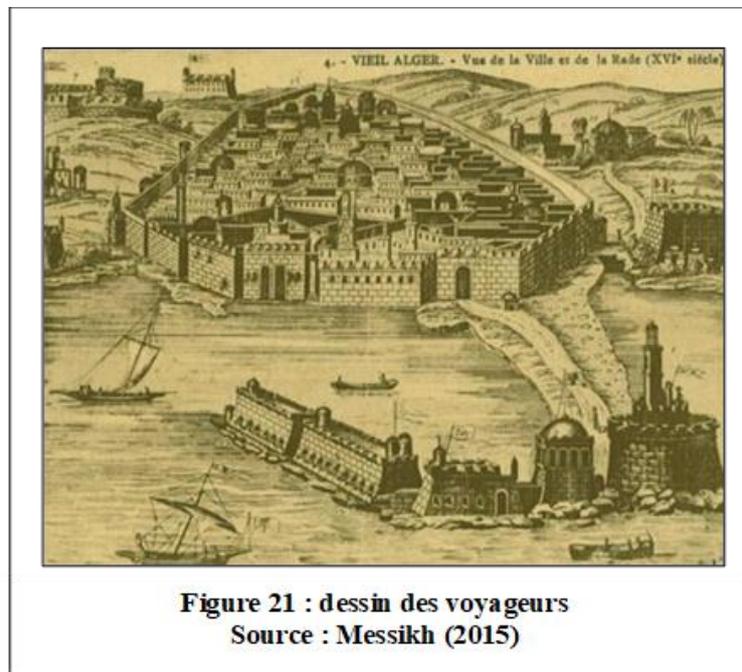
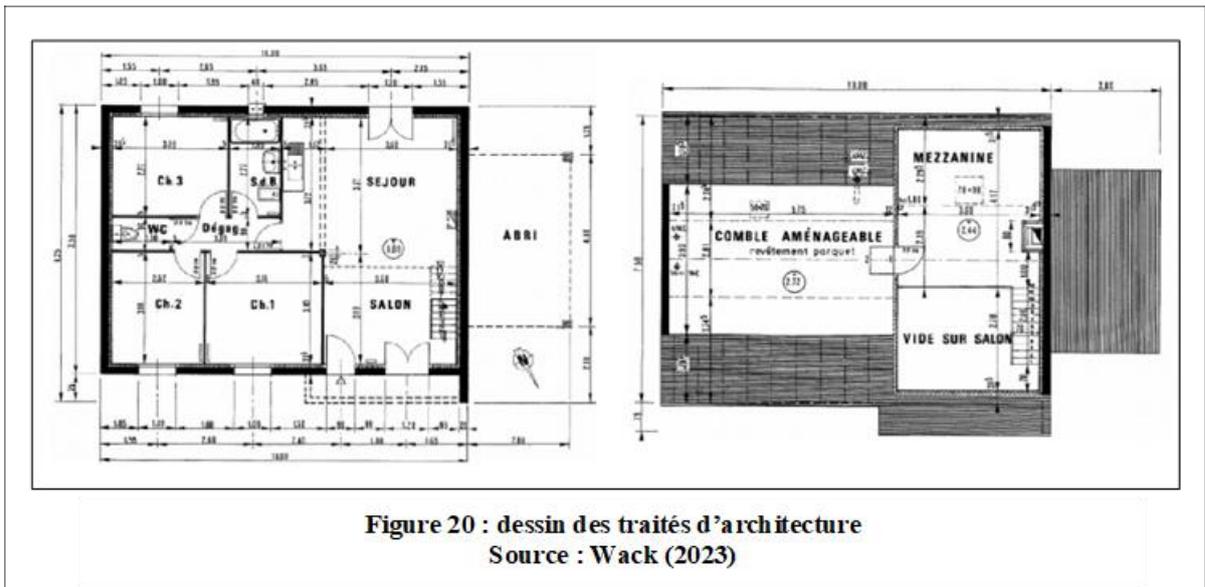
Ce type de dessins s'appuient sur des relevés techniques respectant les critères de proportions, de rapport et de conformité à la réalité (Kihal, 2021).

2.2.2 Les dessins de voyageurs :

Ces dessins sont souvent idéalisés et imprécis, qui adoptent une structure à la Piranèse, et sont toutefois fondés uniquement sur des récits, mais qui donne de l'époque une certaine vision, loin d'être négligeable (Kihal, 2021).

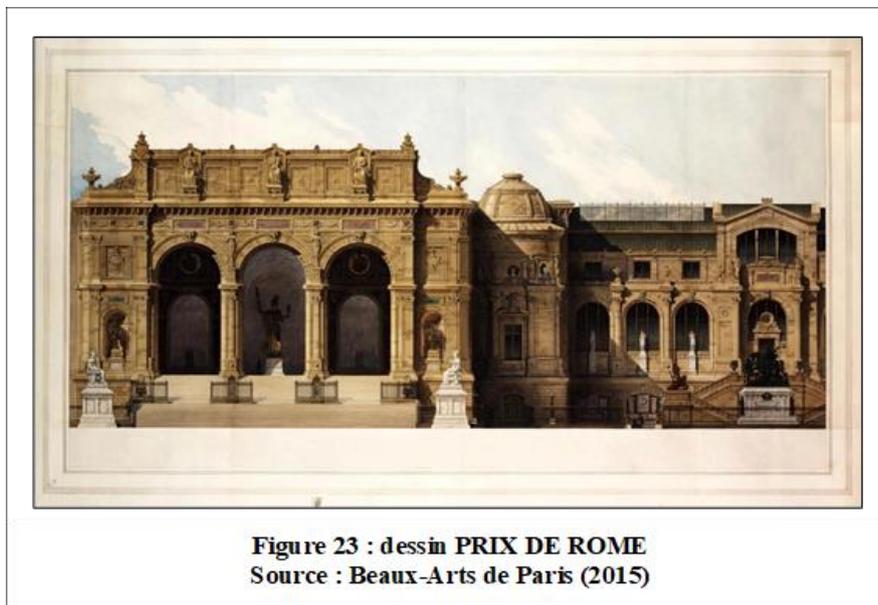
2.2.3 Les dessins d'assemblage, de restitution et d'interprétation :

Ce genre de dessin est utilisé pour l'analyse et la vérification des hypothèses de réalités spatiales à époques données (Kihal, 2021).



2.2.4 Les dessins « Prix de Rome » :

Sont des relevés et dessins d'interprétation idéale, d'une grande minutie, qui véhiculent des informations et des renseignements précieux et diverses exploitations. Le Prix de Rome en architecture fut créé en 1720, il désigne le concours des académies royales permettant aux jeunes artistes de se former en Italie (Kihal, 2021).



Tous ces types d'outils traditionnels repose sur une représentation graphique à main levée à l'aide d'objets de dessins tels que crayon, peinture Cette représentation s'appuyait sur la visualisation, l'imagination et parfois les dimensions et les descriptions.

2.3 Les outils numériques utilisés dans le domaine de construction

Aujourd'hui, l'enjeu des architectes et des intervenants du domaine de la construction est d'intégrer et définir des nouvelles méthodes dont des nouveaux outils et nouvelles technologies pour digitaliser ce domaine pour but de maîtriser toute faille existante durant tout le processus du travail depuis l'esquisse jusqu'à la réalisation et même l'exploitation du bâtiment

2.3.1 Les outils d'acquisitions :

Permettront d'accueillir de différentes informations nécessaires pour la conception des constructions telles que les dimensions et le volume dont on trouve :

2.3.1.1 Le télémètre laser :

C'est un instrument de mesure inestimable qui est utile lors de travaux de construction, il permet d'effectuer une mesure de distance efficace et d'autres mesures spatiales et il fonctionne grâce à l'émission par un système opto-électronique d'une impulsion électromagnétique sous la forme d'un faisceau laser. Le faisceau de lumière laser se réfléchit sur le plan mesuré et retourne à l'instrument de mesure (Elektronik, 2019).

2.3.1.2 Le télémètre 3D :

Ce laser permet de relever des points en manuel en les visant un par un à l'endroit exact ou par scan automatique sur un plan horizontal. Au fur et à mesure de l'enregistrement, le volume de l'espace se dessine sur l'écran de la tablette. Cette dernière permet également de piloter le laser à distance jusqu'à 25 mètres. Les données sont récupérées au format dxf 2D, dxf 3D, dwg, csv, txt et jpg. Les relevés sont donc exploitables sous différents logiciels (Praxi, 2023).

2.3.1.3 Scanners laser 3D :

Les scanners laser 3D sont des appareils de télémétrie de nouvelle génération. Ils permettent de générer différents types de données : nuage de points 3D, photos panoramiques, ou plus spécifiquement des données thermiques pour certains modèles. Le système de mesure des scanners laser 3D repose sur la technologie du LiDAR (Light Detection and Ranging). Chaque scanner sera équipé d'un ou plusieurs capteurs LiDAR, permettant de capturer l'environnement en 3D. Techniquement, chaque capteur émet un faisceau lumineux balayant horizontalement et verticalement l'environnement (Sibué, 2022).



Figure 24 : le télémètre laser
Source : Elektronik (2019)



Figure 25 : le télémètre laser 3D
Source : Praxi (2023)



Figure 26 : le scanner laser 3D
Source : Sibué (2022)

2.3.2 Les outils de modélisation

2.3.2.1 Les logiciels CAO / BIM

Le dessin assisté par ordinateur « DAO » est une discipline permettant de produire des dessins techniques avec un logiciel informatique. On le distingue de la synthèse d'image dans la mesure où il ne s'agit pas du calcul de rendu d'un modèle numérique, mais de l'exécution de

commandes graphiques (traits, formes diverses...). De ce fait, en DAO, la souris et le clavier remplacent le crayon et les autres instruments du dessinateur.

La conception assistée par ordinateur « CAO » comprend l'ensemble des logiciels et des techniques de modélisation géométrique permettant de concevoir, de tester virtuellement à l'aide d'un ordinateur et des techniques de simulation numérique et de réaliser des produits manufacturés et les outils pour les fabriquer (Akabli, 2018).

Parfois interchangeables, **CAO** et **BIM** visent les mêmes objectifs d'efficacité, de précision et d'anticipation sur un projet de construction. Il s'agit d'outils et de procédures numériques qui accompagnent tous les acteurs du projet depuis la conception du bâtiment jusqu'à son exploitation. Contrairement au BIM, la CAO n'est pas une méthode de conception collaborative. Elle se limite à la conception des graphiques simples. Par ailleurs, à la différence du BIM, la CAD ne spécifie pas les caractéristiques en ce qui concerne les performances des objets qui constituent les dessins et schémas réalisés. Il est également impossible d'utiliser la CAO pour recréer un modèle virtuel du bâtiment (DesignCAD, 2021).

On cite quelques logiciels les plus utilisés dans le domaine de la construction :

➤ **Logiciels CAO :**

○ **AutoCAD :**

Est un logiciel de conception créé en 1982 par Autodesk utilisé par les architectes, les ingénieurs et les professionnels de la construction pour concevoir et modifier des géométries 2D et des modèles 3D avec des solides, des surfaces et des objets de maillage, automatiser des tâches telles que la comparaison de dessins, le comptage d'objet... (Autodesk, 2023c).

○ **3ds MAX :**

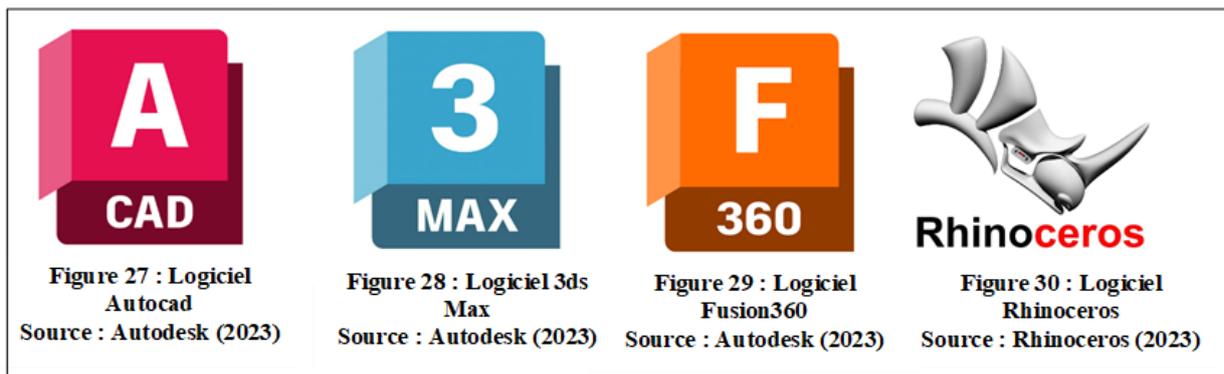
Est un logiciel de modélisation, d'animation, de rendu et de visualisation 3D développé par la société Autodesk. Il crée des environnements de jeu, des visualisations de conception et des expériences de réalité virtuelle remarquables (Autodesk, 2023a).

○ **Fusion 360 :**

Est une plate-forme logicielle 3D cloud de modélisation, de CAO, de FAO « Fabrication Assistée par Ordinateur », d'IAO « Ingénierie Assistée par Ordinateur » et de conception de circuits imprimés destinée au design et à la fabrication de produits sortie en 2013 et développée par Autodesk. Elle permet la réalisation des conceptions et l'ingénierie des produits (Autodesk, 2023b).

○ **Rhinoceros :**

Est un logiciel de conception assistée par ordinateur créé en 2012 utilisé dans le milieu du design industriel ou de l'architecture, développé par Robert McNeel & Associates. Il sert essentiellement à concevoir des formes complexes comme celles de navires, de véhicules terrestres ou d'objets divers (Rhinoceros, 2023).



➤ **Logiciels BIM :**

○ **Revit :**

Le logiciel de BIM Revit créé par Autodesk en 2000, permet aux équipes d'architecture, d'ingénierie et de construction (AEC) de créer des bâtiments et des infrastructures de haute qualité en modélisant des formes, des structures et des systèmes en 3D avec une exactitude et une précision paramétriques, rationalisation du travail de documentation et donner aux équipes pluridisciplinaires les moyens d'accéder à des jeux d'outils spécialisés et à un environnement de projet unifié (Autodesk, 2023e).

○ **Sketchup :**

Est un logiciel de conception 3D de pointe qui rend la modélisation 3D accessible à tous, avec un ensemble d'outils facile à manipuler, édité initialement en 2000 par Last Software et développé par Trimble (Trimble, 2022).

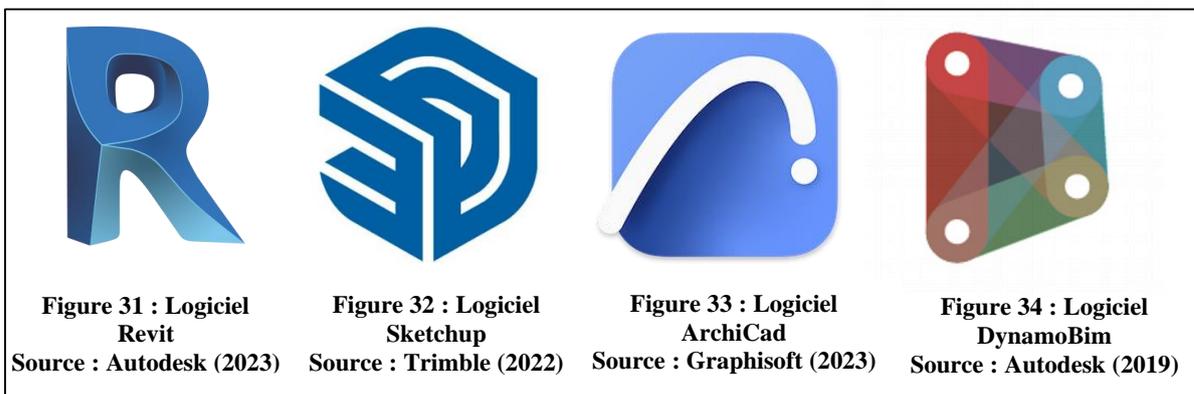
○ **ArchiCAD :**

Est un logiciel d'architecture édité par la société hongroise Graphisoft, qui permet de concevoir avec une liberté de création, de visualiser en animant le projet, de collaborer et de documenter en publiant et partageant toute la documentation du projet en un seul clic (Graphisoft, 2023).

○ **Dynamo BIM :**

L'application Dynamo est un logiciel développé par Autodesk qui peut être téléchargé et exécuté en mode "Sandbox" autonome ou en tant que plug-in pour d'autres logiciels, il est conçu comme un outil de programmation visuelle pour les concepteurs, qui permet de créer des outils qui utilisent des bibliothèques externes ou tout produit Autodesk doté d'une API⁴ (Dynamo, 2019).

⁴ API : (application programming interface ou « interface de programmation d'application ») est une interface logicielle qui permet de « connecter » un logiciel ou un service à un autre logiciel ou service afin d'échanger des données et des fonctionnalités.



2.3.3 Les outils de création de l'image réelle : l'impression 3D

2.3.3.1 Définition de l'impression 3D :

L'impression 3D, aussi appelée fabrication additive, désigne un ensemble de procédés destinés à produire des objets en ajoutant des couches de matériaux correspondant aux coupes successives d'un modèle 3D. Les plastiques et les alliages métalliques, comme l'impression 3D du métal, sont les matériaux les plus couramment utilisés pour l'impression 3D, mais elle peut fonctionner sur quasiment tout, qu'il s'agisse de béton ou de tissus vivants (Autodesk, 2023d)

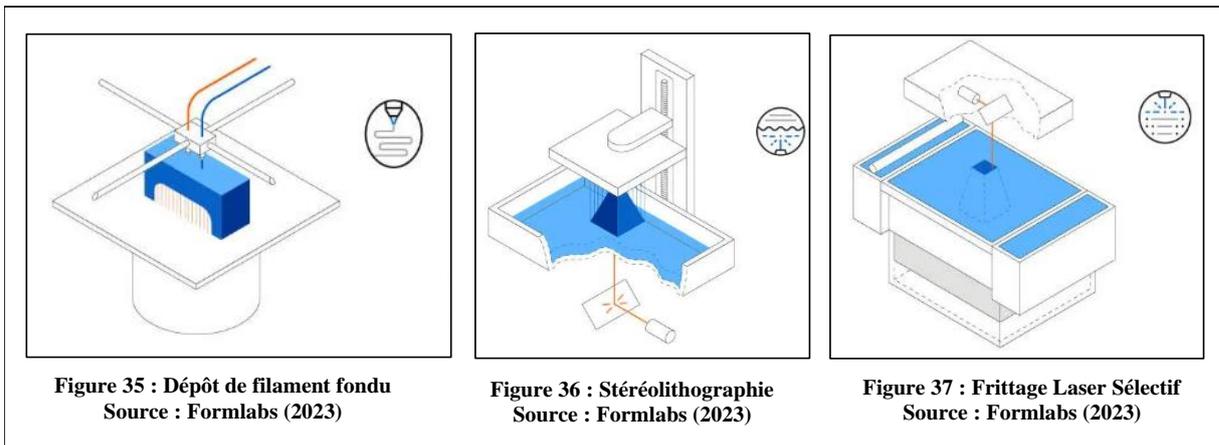
2.3.3.2 Type d'impression 3D

Il existe 03 procédés les plus courants pour l'impression 3D en matières plastiques :

Le dépôt de fil fondu « FDM » : Ce procédé fonctionne avec plusieurs thermoplastiques, comme l'ABS et le PLA, et des mélanges des deux. Ce procédé convient bien aux modèles de démonstration de faisabilité, ainsi qu'au prototypage rapide et peu coûteux de pièces simples, typiquement celles qui devraient être usinées.

La stéréolithographie « SLA » : Inventée dans les années 80, la stéréolithographie fut la première technologie de fabrication additive, et reste aujourd'hui l'une des technologies les plus prisées par les professionnels. Le SLA utilise un laser afin de transformer une résine liquide en un plastique solide, grâce au procédé de photopolymérisation.

Le frittage laser sélectif « SLS » : Les imprimantes 3D SLS utilisent un laser haute puissance pour faire fusionner de petites particules de poudre polymère. La poudre non fusionnée supporte la pièce pendant l'impression, ce qui élimine le besoin de supports spéciaux. C'est pourquoi le procédé SLS convient parfaitement aux pièces à géométrie complexe, notamment lorsqu'elles présentent des détails internes, des parois minces ou des formes négatives (Formlabs, 2023).



2.3.4 Les outils de visualisation

2.3.4.1 Les logiciels de rendu

- **Lumion :**

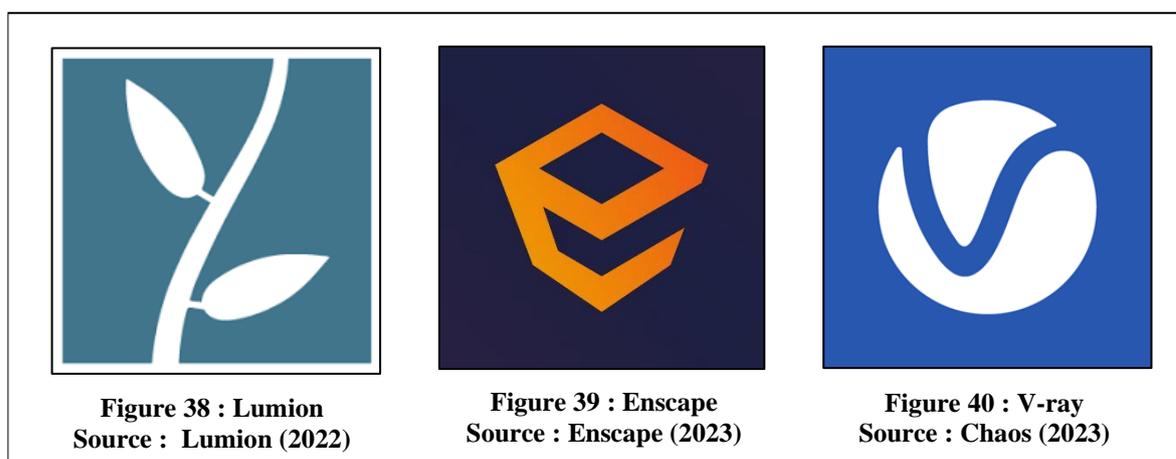
Est un logiciel de visualisation Temps Réel et rendus 3D photo-réalistes qui permet de créer des perspectives, des images de dépôt de permis ou de communication, et préparer des concours simplement et rapidement. Il est ainsi au cœur des différentes phases d'un projet d'architecture ou d'aménagement paysager et compatible avec la plupart des logiciels de modélisation 3D (Lumion, 2022)

- **Enscape :**

Est un moteur de rendu en 3D temps réel utilisé comme extension pour plusieurs logiciels de modélisation 3D. Il est principalement utilisé dans les domaines de l'architecture, de l'ingénierie et de la construction. Il est développé et entretenu par Enscape GmbH, fondée en 2013 et basée à Karlsruhe, en Allemagne (Enscape, 2023)

- **V-Ray :**

Est un logiciel de rendu 3D qui combine le rendu en temps réel et le rendu photo réelle dans une suite complète d'outils de visualisation. De l'architecture à la conception de produits.... fondée en 1997 et basée à Sofia en Bulgarie (Chaos, 2023) .



2.3.4.2 La photo et vidéo 360°

La photo 360° : 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 (Bailly, 2013).

La vidéo 360° : ce format de vidéo a pris son essor fin d'année 2014 et début 2015, notamment grâce aux diffusions sur YouTube. S'il est possible d'en profiter depuis un smartphone ou un ordinateur, le mieux est d'utiliser un casque de réalité virtuelle. Le spectateur ne se contente alors plus de regarder une vidéo et peut orienter l'objectif de la caméra où bon lui semble. Dans une vidéo à 360°, le spectateur peut voir tout autour de la caméra, ce qui se passe en temps réel. Impossible donc d'en faire une avec une caméra « classique », il en faut une spéciale, qui possède plusieurs objectifs pour avoir une vue à 360° (Renaud, 2023).

2.3.4.3 La maquette numérique :

Est un outil de représentation virtuelle du projet : c'est le clone du bâtiment, son ADN, une agrégation de données contenant tous les renseignements et les détails du projet. On parle parfois d'avatar, d'une préfiguration numérique du bâtiment avant sa construction. Elle représente une opportunité pour renforcer le rôle de l'architecte, pour ouvrir le périmètre d'intervention et un accompagnement pour l'exploitation et la maintenance (Olivier and Lebègue, 2015)

2.3.4.4 La réalité virtuelle :

En raison de l'augmentation rapide de la disponibilité des technologies de RV de plus en plus de domaines d'application apparaissent dans le l'industrie. Il existe plusieurs solutions pour la visualisation des villes et des bâtiments. La plupart d'entre elles fournissent des modèles photoréalistes sur des moniteurs ou des écrans. En utilisant la technologie de la RV et les outils disponibles dans le commerce, comme les casques ou les cardboards qui transforment nos appareils mobiles en appareils de RV, nous pouvons obtenir une et plus précise des nouvelles constructions (Rácz and Zilizi, 2018)

- **Le casque du VR** : est un dispositif électronique portatif permettant de s'immerger dans un monde virtuel. Porté sur la tête, il permet d'accéder à un espace 3D. Pour ça, il dispose d'un écran stéréoscopique fournissant une image pour chaque œil, d'un son stéréo, de divers capteurs, de gyroscopes et d'accéléromètres. Une paire de contrôleurs est souvent fournie avec un casque VR (Futura, 2021).
- **Les salles du VR** : il existe aussi des salles de réalité virtuelle dans lesquelles les images sont projetées sur les murs, le sol et le plafond avec un système de capture des mouvements qui sert à ajuster la perspective en fonction des déplacements (Futura, 2021).

2.3.4.5 La réalité augmentée

Les progrès récents en matière d'interface informatique et de puissance du matériel ont favorisé la création de prototypes de réalité augmentée pour diverses applications d'architecture et de conception. Des plates-formes de visualisation plus intuitives sont nécessaires pour une utilisation efficace de l'information numérique dans les industries de l'architecture et du design. La technologie de la RA est envisagée pour améliorer les pratiques actuelles de visualisation de l'architecture, du processus de conception et de construction des bâtiments et des systèmes de gestion de l'ingénierie. Ces industries impliquent la génération de grandes quantités de données et d'informations qui doivent être accessibles aux utilisateurs. Plus précisément, le besoin d'accéder à ces données crée des conditions qui rendent l'utilisation de la RA en impliquant le personnel concerné dans l'espace de travail nécessaire. Les interfaces homme-machine qui mélangent une vue d'un espace de travail existant avec des informations pertinentes sur la conception ou le terrain sont très prometteuses (Kipper and Rampolla, 2013).

➤ **Les lunettes du AR :** les types d'appareils de réalité augmentée ne cessent d'ailleurs de se multiplier sur le marché. Parmi eux, il y a les lunettes de réalité augmentée. Ces dernières offrent d'innombrables possibilités aux utilisateurs. En les mettant, on peut tout d'abord transformer la réalité, comme par magie, mais pas que. En portant ce type de gadget, on peut également ajouter divers éléments, et même changer les couleurs de notre environnement.

Il est même possible de juxtaposer des images sur le monde réel. Il est bon de savoir que ces lunettes sont la combinaison d'un certain nombre de composants clés. Ceux-ci fonctionnent ainsi ensemble, ce qui crée l'effet d'éléments supplémentaires ajoutés au monde réel (Serge, 2020).

2.4 L'intégration de l'intelligence dans le bâtiment en utilisant les NTIC

2.4.1 L'immotique : immeuble intelligent

On peut définir le terme d'immeuble intelligent comme un immeuble capable de fournir une technologie avancée de l'information et de répondre aux besoins en service de ses occupants actuels ou à venir. L'immotique recouvre l'ensemble des services et des infrastructures de l'immobilier d'entreprise assuré par des systèmes réalisant plusieurs fonctions, pouvant être connectés entre eux et à des réseaux internes et externes de communication. Parmi ces fonctions, on trouve l'économie d'énergie et la gestion thermique, l'information et la communication, la maîtrise du confort, la sécurité, l'assistance et la gestion (Filloux, 2017) .

Sur le plan économique, l'immotique permet de répondre aux objectifs des responsables de bâtiments, à savoir :

- Accroître la productivité par l'amélioration du confort des occupants et par la faculté de s'adapter rapidement aux évolutions de l'environnement des entreprises, pour suivre et saisir les opportunités de marché (flexibilité) ;

- Augmenter la rentabilité en réduisant les coûts d'investissement (partage des ressources, en mettant en œuvre des outils de gestion performants et une bonne sécurité des installations pour garantir la pérennité des investissements.

Sur le plan organisationnel, le concept d'immotique doit intégrer la tendance des entreprises à se recentrer sur leurs métiers de base et à externaliser leurs activités non stratégiques. Il doit tenir compte des nouvelles formes d'organisation fondées sur le recours accru aux services externes et à distance (téléservices), grâce à l'utilisation intensive des outils de communication (Filloux, 2017) .

2.4.2 Principe de l'immotique

L'immotique est une dérivée de la domotique, car elle est beaucoup plus utilisée dans les constructions de grande taille. Elle permet de gérer de manière adéquate tous les appareils installés, tout en assurant une meilleure communication entre eux. Cette communication est assurée grâce à des interfaces et modules intelligents.

L'immotique comprend des solutions techniques qui s'appliquent principalement à ces domaines :

- La sécurité des occupants d'un bâtiment : alarmes, vidéosurveillance, contrôles d'accès...
- Le confort : gestion à distance ou automatisation des équipements d'éclairage ou de chauffage. En limitant le recours aux gestes pénibles elle contribue au maintien à domicile des personnes âgées.
- La maintenance et l'entretien : alertes en cas de panne, prévention des opérations d'entretien des équipements...
- L'augmentation des performances énergétiques : surveillance de la consommation d'énergie, systèmes de régulation thermostatiques, automatisation des systèmes de ventilation contrôlée ou de chauffage, adaptation de l'éclairage et de la température selon l'occupation des lieux, la saison...
- Mise en réseau de services techniques pour un contrôle à distance, via internet par exemple (Effy, 2019).

2.4.3 Les types d'immotique

On distingue deux types ou familles de solutions immotiques :

Gestion Technique de Bâtiment « GTB » : la GTB est un système informatique généralement installé afin de superviser l'ensemble des équipements équipant le bâtiment dans le but d'avoir une vue globale du bâtiment ou de l'installation industrielle.

Les données recueillies sont de diverses natures :

- Des alarmes (Panne, arrêt anormal, mesure dépassant un seuil)
- Des états (fonctionnement d'un équipement, position, retour de commande)
- Des mesures (température, temps de fonctionnement, nombre de pannes)

Les équipements supervisés peuvent être entre autres :

- L'alimentation électrique (TGBT, Tableaux divisionnaires).
- L'éclairage.
- Les circulations verticales.
- La Climatisation, Ventilation et Chauffage (CVC).
- La plomberie (pompes de relevage, cuves, ...).
- Le contrôle d'accès.
- La vidéosurveillance.

Gestion Technique Centralisée « GTC » : la GTC a pour principal objectif l'amélioration de la qualité du service offert par les services techniques en termes de maintenance et de sécurité des personnes. Ce système assistera les opérateurs de maintenance dans leur activité. Elle vise également :

La qualité du service :

- Améliorer la qualité du service de traitement des pannes par une intervention plus rapide.
- Disposer d'éléments de prescription fiables sur les nouveaux équipements.
- Rationaliser les visites de maintenance.

La maintenance :

- Améliorer l'entretien préventif.
- Faciliter les interventions sur les équipements.
- Vérifier les réparations.

La sécurité :

- Contrôle des dispositifs de sécurité incendie.
- Améliorer la sécurité intrusion.
- Faciliter le contrôle d'accès à certains locaux.

Les économies financières :

- Économies financières sur les consommations d'énergie.
- Économies financières sur les coûts d'interventions confiées à des entreprises.
- Économies financières sur les coûts des contrats d'entretien des équipements (Nicolas and Thomas, 2009)



Figure 41 : La GTB
Source : CSP Group (2023)

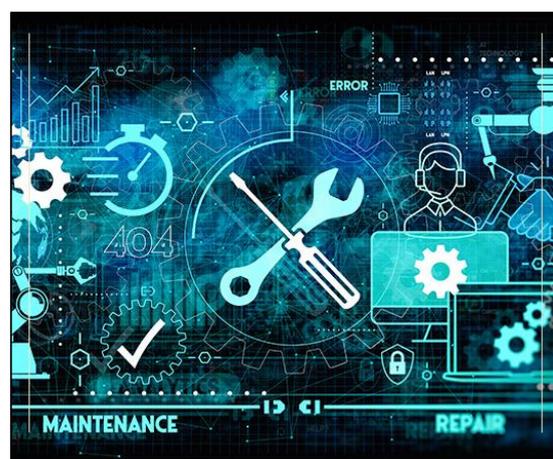


Figure 42 : La GTC
Source : CSP Group (2023)

2.4.4 Les acteurs d'un système immotique

Afin de bénéficier d'un système performant et fiable, vous devez pouvoir compter sur 5 éléments essentiels qui doivent communiquer efficacement entre eux :

- Les logiciels et centrales graphiques
- Les gestionnaires de réseaux
- Les régulateurs automatiques
- Les sondes et capteurs
- Les actionneurs

Tous ces acteurs travaillent de concert afin d'offrir aux occupants une expérience de qualité exceptionnelle et un confort inégalé. Grâce à toutes ces technologies interconnectées, nous pouvons maintenant profiter de bâtiments intelligents qui améliorent la vie de tous (Doyon, 2018).

2.5 L'intégration de ces technologies dans le domaine de la construction

L'évolution exponentielle de la technologie grâce à de nouvelles applications, de nouveaux produits et services, l'innovation technologique continue et l'évolution rapide de l'économie motivent la création d'un fondement allier une nouvelle architecture pour le 21ème siècle. Les modèles d'affaires architecturaux traditionnels, les méthodes de prestation et les systèmes de communication ont été orientés vers la satisfaction d'exigences rigoureuses et vers la réalisation de produits livrables bien définis mais finis et donc de services, avec des paramètres bien connus et bien définis. En conséquence, ces systèmes et méthodologies de fourniture d'architecture ont été plutôt limitatifs car il est devenu difficile d'adapter les services et les capacités à l'échelle des projets tout en améliorant considérablement la qualité, la commodité et en réduisant le temps au fil des ans (Senibi, 2019).

Anna-Caroline Thibout (2019) dit : « *L'architecture se renouvelle tous les jours. Les professionnels de ce domaine utilisent de plus en plus des outils techniques, disponibles grâce aux*

nouvelles technologies. Ces techniques leur permettent de gagner du temps dans les démarches et les analyses nécessaires pour mener leur projet à terme. »

Les nouvelles technologies, dont la visite virtuelle et augmentée, permettent des changements intéressants pour le domaine de la construction. Parmi les principaux points forts de ces techniques, ces derniers nous paraissent être les plus importants :

- La possibilité de “construire avant de construire”. Grâce à la visualisation 3D du projet, qui permet de vérifier tous les aspects importants du chantier avant de le mettre en œuvre tout en utilisant un seul fichier pour suivre toutes les recherches, ainsi que l’avancée du chantier pour garantir la cohérence.
- Représente un gain de temps et d’argent et c’est un moyen qui permet aussi une communication plus aisée entre les différents acteurs, et les personnes qui participent au projet (Thibout, 2019).

La recherche indique que nous sommes au seuil d’une période de rupture dans le processus de conception ; l’impact général de la (NTIC) sur l’architecture ne peut pas être évalué au niveau atomique élémentaire, ou isolé du processus traditionnel de l’architecture (c.-à-d. production de dessin ou modélisation), mais consiste plutôt en une évaluation généraliste et complète qui est nécessaire pour avoir une perspicacité significative des tendances architecturales évolutives à long terme (Chougui and Tachrift, 2007).

L’industrie de la construction adopte de nouvelles solutions numériques à une vitesse croissante. La question n’est plus de savoir si les entreprises de construction numériseront leurs stratégies, mais plutôt de savoir quand elles le feront. Les nouvelles technologies ont permis d’avoir des documents de construction en un clic. L’interopérabilité entre les différentes parties prenantes du projet permet aux différents professionnels de travailler plus facilement sur un projet. La technologie permet également aux employés de travailler plus facilement sur un projet et de respecter la portée et le budget d’un projet.

La plupart des gens attribuent les technologies de l’industrie de la construction à l’équipement lourd de pointe, mais au-delà de celles-ci se trouvent les percées que nous utilisons dans les bureaux, les champs et les salles de conférence. Nous canaliserons beaucoup de ressources dans les projets de construction, et trouver des moyens de tirer parti de ces données et d’augmenter l’efficacité du projet est primordial pour s’assurer qu’un projet reste sur la bonne voie (Gerardi, 2022).

2.6 L’intégration des NTIC dans le domaine de la construction en Algérie

Abdelkader Boutemadja, architecte et spécialiste BIM écrit dans un article publié le 17/02/2019 sur LinkedIn : « *Envisager le BIM pour l’Algérie, ne doit pas se faire de la même façon que dans un pays Européen par exemple. Il existe plusieurs raisons à cela :*

Avant toute chose, l'Algérie possède une richesse plus importante que celle du pétrole ou le gaz. Il s'agit de sa jeunesse. Cette jeunesse à en plus une très grande capacité s'assimiler les innovations technologiques, ayant soif de s'avoir notamment technologique et une volonté d'expérimentation impressionnante. La jeunesse algérienne est capable d'assimiler, d'expérimenter mais aussi d'adapter toute nouvelle technologie qui leur tombe entre les mains. Nous l'avons vue avec l'arrivée d'Internet que les jeunes en Algérie ont souvent fait le tour de la question des réseaux sociaux, des applications mobiles et autre système basés sur le net. Leur compétence de "débrouillardises" fait qu'ils voient toujours ces nouvelles technologies comme de nouveaux outils pour innover et aller un peu plus loin. Sans complexe et sans retenu, ils cherchent les limites de l'utilisation de ces nouvelles technologies. Ils ne peuvent voir dans le BIM qu'une nouvelle opportunité d'aller plus loin. Le BIM ne serait pas remis en question et il ne trouvera pas de résistance dans son usage comme nous le connaissant dans certains pays »

Jusqu'à nos jours, la mise en place de la technologie du BIM qui représente la première phase vers l'intégration des nouvelles technologies qui suivent : la réalité virtuelle et augmentée qui nécessite une maquette numérique n'a pas encore été aboutie car on rencontre des problèmes majeurs dans son intégration.

En effet l'expérience algérienne du BIM process (tournant principalement autour de la modélisation et de la quantification) permet d'affirmer que le BIM aide à mieux gérer un projet, en termes de temps et de qualité de production et ce durant tout le cycle de vie du bâtiment, du moment où il y a aboutissement a une maquette numérique exploitable contenant tous les détails du projet. La facilité d'accès à l'information est à pourvoir fortement ; car à ce stade, même les fournisseurs de matériaux pourraient développer leurs produits en modèle numérique exploitable et fournir une bibliothèque numérique des disponibilités sur le marché en temps réel (Haddad, 2022).

2.6.1 La réglementation algérienne en matière des NTIC

La règlementation des TIC en Algérie comprend des textes à caractère législatif et règlementaire :

- Décret exécutif n° 17-96 du 26 février 2017 :

Portant organisation de l'administration centrale du ministère de la poste et des technologies de l'information et de la communication.

- Décret exécutif n° 17-271 du 7 octobre 2017 :

Correspondant au fixant les attributions du ministre de la poste, des télécommunications, des technologies et du numérique.

- Décret exécutif n° 17-272 du 7 octobre 2017 :

Portant organisation de l'administration centrale du ministère de la poste, des télécommunications, des technologies et du numérique.

- Décret exécutif n° 17-273 du 7 octobre 2017 :

Portant organisation et fonctionnement de l'inspection générale du ministère de la poste, des télécommunications, des technologies et du numérique.

- Loi n° 09-04 du 5 août 2009 :

Portant règles particulières relatives à la prévention et à la lutte contre les infractions liées aux technologies de l'information et de la communication

- Loi n° 2000-03 du 05 août 2000 :

Fixant les règles générales relatives à la poste et aux télécommunications

- Décret n° 09-410 du 10 décembre 2009 :

Fixant les règles de sécurité applicables aux activités portant sur les équipements sensibles.

2.7 Conclusion

Il est possible d'affirmer que grâce à ces technologies innovantes dans le domaine de construction à l'heure actuelle, plus de la moitié des projets de construction pourraient être optimisés pour d'avantage de coordination et d'élimination des défauts et des erreurs. De plus, la communication entre les acteurs est souvent défailante à cause du cloisonnement des métiers , et pour tirer pleinement avantage des bénéfices liés à l'innovation, de nombreux défis devront être relevés, le plus important étant la forte résistance au changement de ce domaine et la difficulté à entreprendre le virage numérique car jusqu'à nos jours, l'utilisation des outils traditionnels dominant encore ce secteur et cela revient aussi aux exigences de l'emploi de ces technologies en commençant par le processus du travail vers les outils nécessaires pour leurs applications et aussi que ces technologies sont jusqu'à aujourd'hui en cours de développement.

Cette stratégie numérique assure le succès à long terme des projets. Les investissements dans la technologie semblent parfois coûteux, mais ne pas investir agit de manière contre-productive sur une entreprise.

En Algérie, la numérisation n'est pas employée de manière régulière et ces technologies sont loin d'être applicables, ce qui nous à motiver à la création d'une entreprise start-up qui vas favoriser l'utilisation de ces dernières technologies et outils dans notre secteur et qui vas offrir des prestations de service en se basant sur ces outils pour encourager et participer à intégrer la numérisation au sein du processus du travail architectural.

Chapitre 03 : L'appropriation de l'espace architectural en intégrant le BIM, RV & RA

3.1 Introduction

La réappropriation de l'espace architectural se fait quand l'utilisateur transforme ou personnalise l'espace pour l'adapter avec ses activités et le rendre plus adéquat. Cela peut impliquer la modification de certaines parties, lesquelles peuvent être légères ou plus importantes, allant de simples marquages à des transformations significatives, mais l'intégration de la technologie du BIM qui crée des modèles numériques en 3D détaillées avec l'ajout des outils de RV et RA dans le processus de conception peut avoir un impact significatif sur la façon dont les gens s'approprient l'espace architectural.

En effet, ces technologies permettent de visualiser et d'interagir avec l'espace architectural de manière immersive et en temps réel, ce qui peut améliorer la compréhension et l'expérience de l'espace et cela permettra aux utilisateurs de mieux comprendre et s'approprier l'espace architectural, et aussi à comprendre la conception du bâtiment. Les utilisateurs peuvent également expérimenter différentes options de conception, ce qui peut aider à optimiser l'utilisation de l'espace et à améliorer l'ergonomie et le confort des espaces et cela pourra conduire à des espaces mieux conçus et plus efficaces sur le plan fonctionnel. Cela peut également, faciliter la communication et la collaboration entre les parties prenantes, et contribuer à une meilleure appropriation de l'espace par les utilisateurs.

En somme, l'utilisation de ces technologies peut aider à résoudre le problème de réappropriation de l'espace architectural en offrant de nouvelles possibilités de visualisation et d'interaction avec l'environnement construit. En utilisant ces technologies, les professionnels de la construction et les utilisateurs peuvent mieux comprendre l'espace, expérimenter différentes options et évaluer leur impact sur l'environnement construit.

3.2 Les problèmes de transformations post-occupationnelles de l'espace architectural intelligent

3.2.1 Transformations partielles

3.2.1.1 Transformations formelles : Cela concerne tous les ajustements qui affectent l'enveloppe extérieure et la volumétrie, on distingue deux types :

- **Transformations formelles topologiques** : l'élargissement du volume en hauteur ou en saillies et l'occupation des espaces libres. Ces changements peuvent avoir un impact sur les infrastructures, la qualité du voisinage et la qualité de vie (Goubaa, 2018).
- **Transformations formelles de la façade** : le changement de la façade, sa composition et l'équilibre entre les parties pleines et vides. Ces interventions sont motivées par les raisons

suivantes : adapter les espaces ouverts aux besoins d'aération et d'éclairage naturel, exploiter les espaces semi-ouverts en les intégrant à l'espaces intérieur pour augmenter sa surface (Goubaa, 2018).

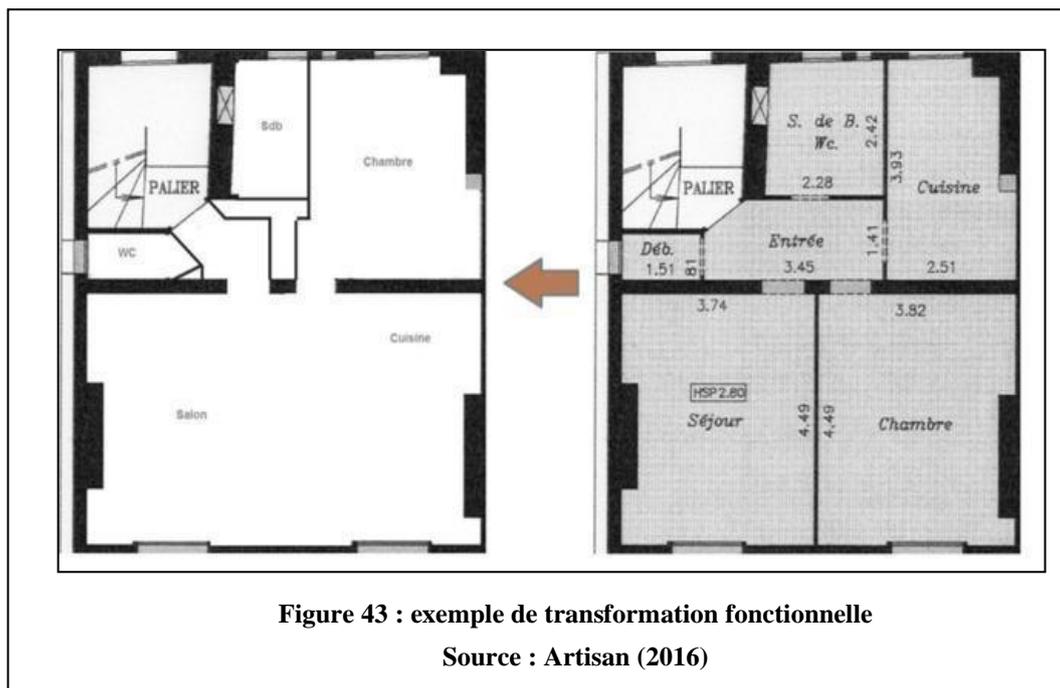
3.2.1.2 Transformations fonctionnelles :

Cela peut aller de simples changements dans l'agencement des meubles à la démolition des cloisons internes et la réaffectation des espaces à d'autres fonctions :

- L'intériorisation des espaces extérieurs ou semi-extérieurs (patio, cour, jardin...)
- Modification des surfaces des espaces existants on les divisant ou les fusionnant.
- La création de nouvelles unités/pièces.
- Réaffectation des espaces (Goubaa, 2018) .

Les transformations formelles au niveau de la structure peuvent avoir des conséquences typologiques graves, car elles modifient la structure porteuse et les communications verticales, affectant ainsi l'organisation interne et la hiérarchie de l'espace. Ces transformations sont motivées par divers objectifs : l'optimisation de l'utilisation de l'espace, l'amélioration de la rentabilité du bâtiment,

et l'agrandissement de l'espace en utilisant des franchissements moins encombrants (Djalel, 2021).



3.2.2 Transformations globales

3.2.2.1 Transformations évolutives :

Sous forme d'extensions, soit verticales (l'ajout d'un étage) ou horizontales (l'ajout d'une véranda ...) (Djalel, 2021).

3.2.2.2 Les démolitions :

La contrepartie de la création d'un espace marqué. Souvent, elles impliquent la construction d'une nouvelle structure pour un marquage plus approprié. Elles offrent l'opportunité de créer de nouveaux espaces en utilisant de nouvelles méthodes et de nouvelles formes d'appropriation (Veschambre, 2004).

3.2.2.3 Les transformations des matériaux techniques de construction

➤ Modification des éléments structurels :

Ce type de transformation touche les structures de franchissement (démolition des voutes, des planchers au mortier de terre ...) et les communications verticales (escaliers), ce qui résulte un dysfonctionnement de toute un système traditionnel sur le côté organisationnel et hiérarchique(Pinson, 2016).

➤ Modification des textures internes :

Ces types de modification sont des traitements qui touchent les murs, les planchers et les escaliers que ce soit revêtement ou peinture.la panoplie des matériaux utilisés pour l'adaptation aux nouveaux besoin familiaux, économiques et sociaux ne portent pas d'amélioration de l'espace habité dans les maisons traditionnelles mais plutôt une détérioration de ceux-ci (Angadi, 2014).

➤ Modification des textures externes :

Au niveau de ce type on peut se reconnaître avec d'autres transformations les suivantes :

- L'élimination des modénatures (moules d'une corniche autour d'une fenêtre, des angles);
- Pose de volet et grillage ;
- Badigeonnage de couleur différente (Pinson, 2016);

3.2.3 Causes des transformations architecturales :

Les transformations architecturales peuvent être causées par divers facteurs, tels que :

- Évolutions technologiques : Les avancées technologiques peuvent influencer les transformations architecturales en permettant de nouvelles techniques de construction, de nouveaux matériaux et de nouvelles conceptions (Garcés, 2020).
- Changements réglementaires : Les normes et les réglementations en matière de construction peuvent changer et affecter les transformations architecturales (Ching and Winkel, 2021).
- Changements dans les besoins et les attentes des utilisateurs : Les transformations architecturales peuvent être motivées par les besoins et les attentes des utilisateurs (De Botton, 2008).
- Préoccupations environnementales : Les transformations architecturales peuvent être influencées par les préoccupations environnementales, telles que la réduction de la consommation d'énergie et l'utilisation de matériaux durables (Kibert, 2016).

➤ **Préoccupations patrimoniales :** Les transformations architecturales peuvent être motivées par des préoccupations patrimoniales, telles que la préservation des bâtiments historiques ou la création de nouvelles constructions qui s'harmonisent avec l'environnement bâti existant (Semmes, 2009).

On peut dire que l'une des raisons principales des transformations post-occupationnelles est l'adaptation de l'espace aux besoins spécifiques des utilisateurs. Les occupants peuvent souhaiter réorganiser l'intérieur, par la modification de l'agencement des pièces ou même le changement des fonctions d'une zone particulière. Ces ajustements visent à rendre l'espace plus fonctionnel et mieux adapté aux activités et aux préférences des utilisateurs. Ces transformations peuvent prendre différentes formes, allant de modifications mineures à des rénovations structurelles plus importantes.

Dans l'ensemble, les transformations post-occupationnelles de l'espace architectural reflètent la nature évolutive de l'environnement bâti, qui doit s'adapter aux besoins des occupants, aux avancées technologiques, aux contraintes économiques et aux tendances socioculturelles. Ces transformations offrent la possibilité d'optimiser l'utilisation de l'espace, d'améliorer l'expérience des utilisateurs et de prolonger la durée de vie fonctionnelle des bâtiments.

3.3 L'intégration de BIM, RV & RA dans le processus de conception de l'espace architectural intelligent

3.3.1 Processus de la conception architecturale :

Dans sa présentation de l'approche théorique sur la conception architecturale, Philippe Boudon met en lumière plusieurs notions clés : l'idée, la perception, l'usage, système et discours. Il montre la réalité du travail de l'architecte et le passage qu'il fait dans la démarche de conception (Mokrani and Chekiel, 2019).

➤ **L'idée :** Il s'agit du premier pas de la Création (de tout projet réaliser), nécessitant un travail intellectuel de la part de L'architecte (le maître de cette idée) s'appuyant sur des pistes, qu'il trouve intéressant d'exploiter. (La conception d'un édifice est portée par des choix, des intentions, des décisions que permet, ou auxquelles renvoie, l'idée) (Ching, 2023)

➤ **La perception :** l'expérience en architecture est le résultat d'une combinaison complexe de perceptions, de visions et d'hypothèses, qui contribuent à façonner notre compréhension et notre appréciation des espaces architecturaux (Orillard, 2014).

➤ **L'usage :** L'architecte a la capacité de faire le lien entre l'image d'une conception qu'il visualise dans son esprit et la réalité en prenant en compte les dimensions temporelles. Cette capacité permet à l'architecture de passer d'un support existant à un objet spécifiquement à

concevoir, en prenant en compte des aspects tels que l'utilité, la commodité, la destination, la distribution et la fonction. Ces éléments ont évolué au fil de l'histoire et sont influencés par les doctrines et les tendances actuelles (Krier, 2009).

➤ **Système** : Chaque système du projet est étroitement lié à l'idée de conception, même s'il n'est pas immédiatement perceptible. L'architecte doit être réceptif aux différents systèmes impliqués dans le projet, tels que les choix constructifs, urbains, sociaux, économiques, etc. Tous ces éléments sont connectés les uns aux autres grâce à un niveau conceptuel d'organisation. En effet, la conception repose sur la variation des éléments considérés et sur leur mise en relation (Bhatt, 2010).

➤ **Discours** : Le discours nous aide souvent à la perception de l'esprit et à relier la production des idées au fil du temps, Le discours peut introduire une dimension narrative que l'image ne peut contenir, il autorise des continuités, des superpositions temporelles difficiles à réaliser au moyen de l'image (Mokrani and Chekiel, 2019).

L'approche pratique :

➤ **Programmation** : Avant de commencer le projet, il est important de définir les contraintes et le programme en effectuant une étude préliminaire. Cela permet de préprogrammer les choix possibles en ce qui concerne la fonctionnalité, les surfaces ainsi que les réglementations architecturales et urbaines (LaGro Jr, 2011).

➤ **Conception** : Répartie sur les étapes suivantes :

- Esquisse ;
- Avant-projet sommaire ;
- Avant-projet définitif « pour le permis de construction » ;
- Projet « pour consulter le projet avec les entrepreneurs et la préparation du dossier d'exécution » ;

➤ **Réalisation** : la préparation du chantier pour commencer la mission d'exécution et les suivis des travaux (Mokrani and Chekiel, 2019).

3.3.2 BIM dans le processus de la conception architecturale : la représentation de l'idée créatrice de la conception subit des changements de format et de contenu. Aujourd'hui, cette idée est souvent matérialisée sous forme de maquette numérique résultant de simulations. Ces changements entraînent des modifications dans les activités des acteurs-concepteurs ainsi que dans la répartition des rôles. Les technologies BIM permettent de nouvelles interventions ainsi qu'un mode de collaboration basé sur des pratiques modélisées intégrant les différentes disciplines concernées et des vecteurs informationnels enrichis. Cela sert non seulement dans la phase de conception, mais aussi dans les phases ultérieures (Sacks et al., 2018).

3.3.3 Les rôles du BIM dans le cycle d'un projet :

3.3.3.1 Prise de décision :

Le BIM joue un rôle clé en offrant une vision globale et détaillée de l'ensemble du projet. En utilisant le BIM, les architectes, ingénieurs, constructeurs et propriétaires peuvent collaborer pour prendre des décisions éclairées sur la conception.

3.3.3.2 La documentation :

Les informations relatives aux différents éléments du bâtiment sont centralisées et peuvent être facilement accessibles par l'ensemble des parties prenantes. Cela peut permettre de réduire les erreurs liées à la documentation et d'améliorer la communication entre les différentes équipes impliquées dans le projet (Sacks et al., 2018).

3.3.3.3 Estimation des coûts :

L'utilisation de la technologie 5D-BIM peut entraîner une plus grande précision et prévisibilité des estimations de projet, des changements de portée et des modifications de matériaux, d'équipements ou de main-d'œuvre. Le BIM 5D offre des méthodes d'extraction et d'analyse des coûts, d'évaluation des scénarios et d'impact des changements (Takiédine, 2017).

3.3.3.4 Approvisionnement et planification :

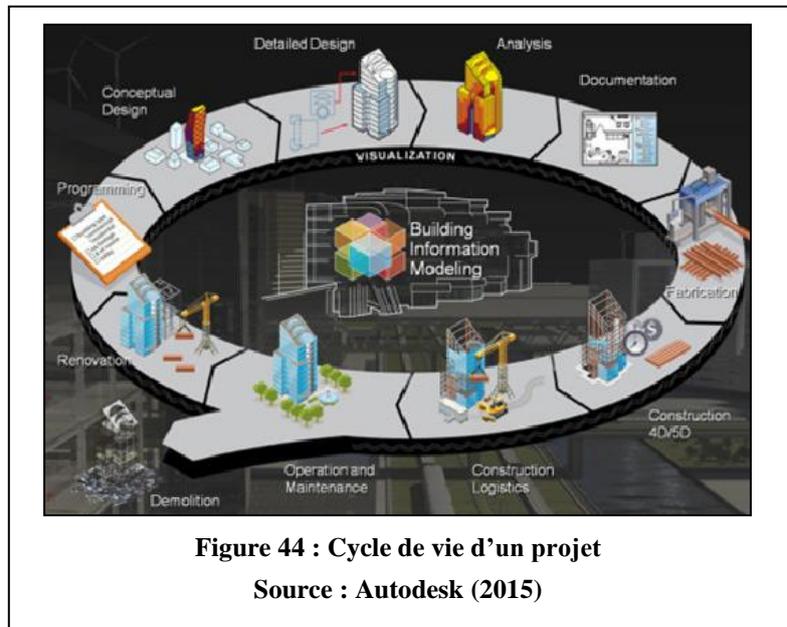
Le BIM permet de planifier et de gérer les ressources de manière plus efficace. Les modèles 3D permettent de déterminer la quantité exacte de matériaux nécessaires pour la construction, ce qui peut réduire les coûts. De plus, les échéanciers de construction peuvent être mieux gérés grâce à la visualisation du processus de construction dans le modèle (Mokrani and Chekiel, 2019).

3.3.3.5 Coordination :

En utilisant le BIM, les parties prenantes du projet peuvent collaborer de manière plus efficace et coordonnée. Cela peut aider à éviter les erreurs de conception coûteuses et à réduire les délais de construction (Sacks et al., 2018).

3.3.3.6 Rentabilité :

La réduction de l'impact sur les coûts des erreurs de coordination, d'une fabrication incorrecte et d'une mauvaise installation en adoptant un processus de travail prédéfini du concepteur au sous-traitant et en mettant en œuvre une précision d'installation supérieure améliore considérablement la rentabilité. L'utilisation du BIM dans le modèle IPD réduit également l'utilisation des heures supplémentaires et les dépenses générales, d'assurance et de coûts de portage en optimisant les calendriers de projet, ce qui accélère la construction (Mokrani and Chekiel, 2019).



3.3.4 La RV dans le processus de conception architecturale :

La réalité virtuelle apparaît alors comme une alternative pour compenser les lacunes évoquées précédemment dans la représentation architecturale. Elle permet de rendre claires et lisibles les articulations spatiales d'un édifice en nous immergeant dans cet espace. La réalité virtuelle propose au spectateur une déambulation dans un espace virtuel (en vue subjective), de la même manière qu'elle s'effectuerait dans un espace réel. Grâce à un accroissement de la puissance des ordinateurs, les balades virtuelles proposées sont de plus en plus convaincantes visuellement. Elles permettent notamment de rendre compte de l'éclairage et de la matérialité d'un édifice, mais peuvent également intégrer une dimension sonore afin de renforcer l'immersion et ainsi faciliter la compréhension d'un espace. Les architectes tiennent donc à leur disposition un outil qui facilite la communication avec des non-initiés, en proposant une représentation de l'espace qui peut être assimilable par tous (Fandard et al., 2021).



3.3.4.1 Les étapes d'intégration :

- Collecter les données : La collecte des données est la première étape dans la création d'un environnement virtuel. Cela peut inclure des plans architecturaux, des modèles 3D, des photographies et des scans de site (Wolfartsberger et al., 2017).
- Création du modèle 3D : Les données collectées doivent être utilisées pour créer un modèle 3D détaillé de l'environnement. Les logiciels de modélisation tels que SketchUp, Revit, 3D Studio Max et Blender peuvent être utilisés pour créer des modèles 3D (Fandard et al., 2021).
- Planification : Avant de commencer à créer les scènes, il est important de planifier l'itinéraire et le contenu de la visite virtuelle. Cela peut inclure la définition des points d'intérêt, la création d'un plan de l'itinéraire, et la collecte des ressources visuelles nécessaires, comme des images et des vidéos (Sankar, 2019).
- Création du contenu visuel : La création du contenu visuel pour chaque scène est une étape importante. Cela peut inclure la modélisation 3D d'objets et d'environnements, la prise de photos et de vidéos à 360 degrés, la création d'animations et d'effets spéciaux, et l'enregistrement de commentaires audio ou de descriptions écrites (Gandhi and Patel, 2018).
- Assemblage des scènes : Une fois que le contenu visuel est créé, il doit être assemblé pour créer la visite virtuelle. Cela peut être fait en utilisant un logiciel de création de visite virtuelle tel que cloudPano, Pano2VR, Kolor Panotour ou 3dvista . Les scènes peuvent être reliées les unes aux autres à l'aide de points d'ancrage ou de cartes interactives (Vilar et al., 2022).
- Ajout d'interactivité : Pour rendre la visite virtuelle plus engageante, il est possible d'ajouter des fonctionnalités interactives telles que des zones cliquables, des vidéos intégrées, des informations supplémentaires et des effets sonores. Il est également possible d'intégrer des éléments interactifs tels que des quiz ou des sondages (Sankar, 2019).
- Test et optimisation : Une fois que la visite virtuelle est créée, il est important de la tester pour s'assurer que tout fonctionne correctement et que l'expérience utilisateur est optimale. Des tests peuvent être effectués sur différents types de périphériques et de navigateurs pour garantir la compatibilité et l'accessibilité (Pamungkas et al., 2018).



Figure 47 : exemple de panorama 360°
Source : Enscape (2023)



Figure 48 : processus de création d'une scène
Source : Sankar (2019)

3.3.4.2 Les avantages et les contraintes :

Tableau 1 : les avantages et les contraintes de la RV dans le processus de conception architecturale

Les avantages	Les contraintes
<p>-Visualisation réaliste : La réalité virtuelle permet aux architectes de visualiser leur conception en 3D, de marcher dans leur environnement virtuel et de voir les détails de près. Cela peut aider à mieux comprendre l'aspect et la sensation d'un espace avant même qu'il ne soit construit, ce qui peut faciliter les prises de décisions.</p> <p>-Réduction des erreurs de conception : En visualisant leur conception en 3D à l'aide de la réalité virtuelle, les architectes peuvent repérer les erreurs de conception avant même que la construction ne commence, ce qui peut réduire les coûts et les retards.</p> <p>-Collaboration améliorée : La réalité virtuelle permet aux architectes, aux clients et aux parties prenantes de collaborer plus efficacement sur une conception en partageant une expérience immersive.</p> <p>-Réduction des coûts : La réalité virtuelle peut réduire les coûts liés à la construction en</p>	<p>- Financement et coûts : les coûts de support tels que la gestion du réseau et des données, les coûts de logiciels et de matériel, les coûts élevés pour l'évaluation et la mise en œuvre, les coûts d'apprentissage.</p> <p>-Dépendance matérielle : Les expériences plus simples et intuitives sont rendues possibles par d'autres logiciels indépendamment du matériel utilisé.</p> <p>-L'intégration de la réalité virtuelle dans les entreprises peut rencontrer des obstacles tels qu'une culture organisationnelle résistante au changement, une forte concurrence des startups et une réticence des consommateurs et des entreprises à adopter de nouvelles technologies.</p> <p>-Connaissances et expertise : Expérience utilisateur (en termes de matériel et de logiciel), manque de connaissances et d'informations dans le domaine de la réalité virtuelle manque d'experts suffisants dans ce</p>

permettant aux architectes de visualiser leur conception en 3D avant de construire le bâtiment. Cela peut réduire les changements de dernière minute et les erreurs de conception qui pourraient augmenter les coûts de construction.

domaine.

Source : Rokoei et al (2022).

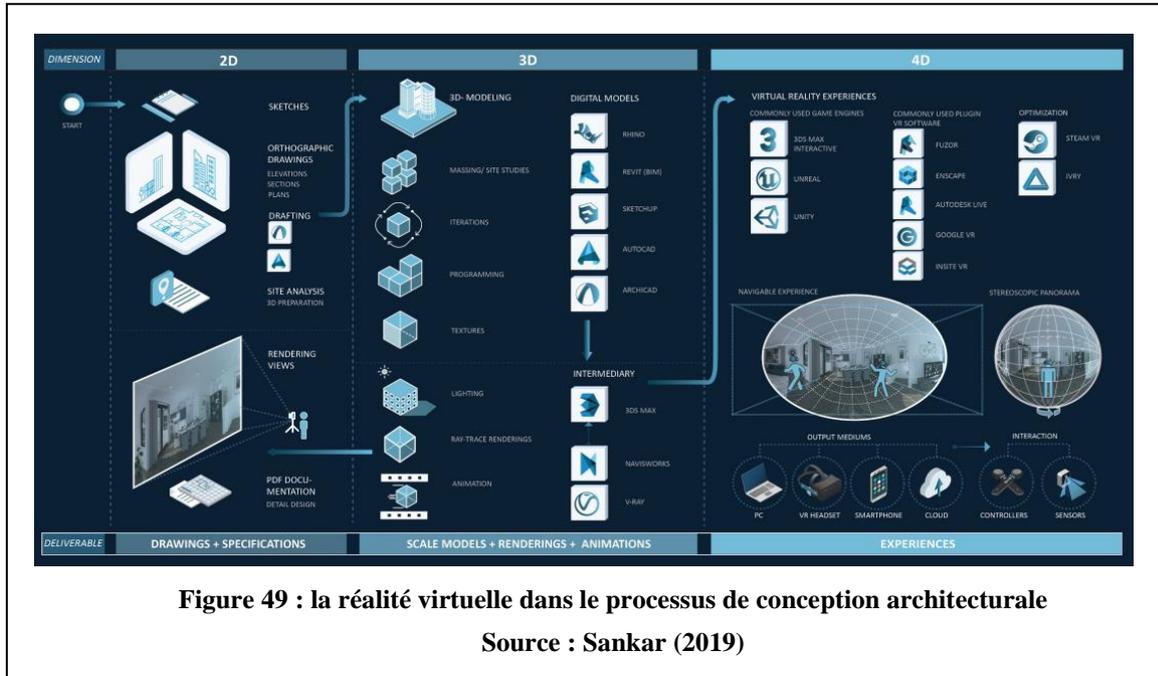


Figure 49 : la réalité virtuelle dans le processus de conception architecturale

Source : Sankar (2019)

3.3.5 La RA dans le processus de conception architecturale :

La réalité augmentée peut être un outil puissant dans le domaine de l'architecture, permettant aux concepteurs de visualiser à quoi ressembleraient leurs modèles dans l'environnement réel et de travailler sur la conception de manière intuitive et itérative. Elle peut également être utile pour présenter la conception aux parties prenantes du projet et même au grand public. Cette technologie peut également faire partie intégrante de l'éducation en architecture, permettant aux étudiants de mieux comprendre leurs modèles par rapport à l'environnement environnant. De plus, les applications de réalité augmentée peuvent également aider ceux qui travaillent avec des architectes, tels que les ingénieurs et les travailleurs de la construction, à visualiser leur travail et les objectifs finaux du projet de manière plus concrète (Tammela, 2021)



Figure 50 : Exemple d'une application de réalité augmentée pour l'architecture.

Source : Tammela (2021)



Figure 51 : Une application de RA étant utilisée sur un chantier de construction de gratte-ciel.

Source : Chen (2019)

3.3.5.1 Son intégration :

- Visualisation de la conception : La RA peut être utilisée pour visualiser des modèles 3D de la conception architecturale dans l'environnement physique réel. Cela peut aider les concepteurs et les parties prenantes à visualiser comment la conception s'intégrera dans le monde réel. Des outils de visualisation de la RA tels que SketchAR, ARki et Vuforia peuvent être utilisés pour cela (Wang et al., 2022).
- La collaboration : La RA peut faciliter la collaboration entre différentes parties prenantes d'un projet. Elle permet à chacune de voir les conceptions et les commentaires en temps réel. Cela peut également aider à résoudre les conflits de conception en permettant à toutes les parties prenantes de comprendre les aspects de la conception de manière plus précise. Le logiciel Unity peut être utilisé pour créer des environnements de collaboration en RA (Broschart and Zeile, 2015).
- Evaluation de la conception : La RA peut être utilisée pour évaluer les conceptions en temps réel. Elle permet aux concepteurs d'explorer différentes options de conception et de les évaluer en temps réel. Des outils tels que ARki ou ARchitect permettent de visualiser les modèles 3D dans l'environnement physique réel pour aider à prendre des décisions éclairées (Milovanovic et al., 2017).
- Formation et sensibilisation : La RA peut être utilisée pour former et sensibiliser les utilisateurs finaux aux nouvelles constructions. Elle peut être utilisée pour simuler des espaces et des interactions, permettant ainsi aux utilisateurs finaux de se familiariser avec les espaces avant même qu'ils ne soient construits. L'outil ARki peut être utilisé pour créer des présentations interactives en RA pour la formation et la sensibilisation (Russo et al., 2023).

3.3.5.2 Les avantages et les contraintes :

Tableau 2 : les avantages et les contraintes de la RA dans la conception architecturale

Les avantages	Les contraintes
<p>-Visualisation en temps réel : La RA permet aux architectes de visualiser leur conception en temps réel. Cela signifie qu'ils peuvent voir leur conception virtuelle superposée sur le monde réel, ce qui facilite la compréhension de l'échelle, de la proportion et de la relation entre les éléments physiques et virtuels.</p> <p>-Amélioration de la communication : La RA peut faciliter la communication entre les différents acteurs du projet, tels que les architectes, les ingénieurs, les clients et les entreprises. Elle peut aider à clarifier les idées et à résoudre les problèmes de manière plus efficace.</p> <p>-Réduction des coûts : La RA peut aider à réduire les coûts de développement en permettant aux architectes de visualiser et de tester leur conception avant la construction. Cela peut aider à identifier les erreurs et les problèmes potentiels, ce qui peut réduire le temps et les coûts de construction.</p> <p>-Innovation : La RA peut permettre aux architectes de créer des conceptions innovantes et créatives en intégrant des éléments virtuels dans le monde réel. Cela peut aider à créer des espaces uniques et à offrir de nouvelles expériences pour les utilisateurs.</p>	<p>-Coût et complexité de la technologie : L'utilisation de la RA nécessite des équipements spécifiques tels que des casques de réalité augmentée ou des tablettes, qui peuvent être coûteux. De plus, la mise en place de la technologie peut être complexe, ce qui peut nécessiter des compétences techniques avancées.</p> <p>-Fiabilité de la technologie : La RA est encore une technologie relativement nouvelle, ce qui signifie qu'elle peut être sujette à des pannes techniques. Si les équipements utilisés ne fonctionnent pas correctement, cela peut entraîner des retards dans le processus de conception.</p> <p>-Limitations de la résolution et de la qualité graphique : Bien que les technologies de RA aient considérablement évolué ces dernières années, il existe encore des limites en termes de résolution et de qualité graphique. Cela peut rendre la visualisation de certains détails architecturaux difficiles ou même impossibles.</p> <p>-Intégration avec les logiciels de conception existants : Pour que la RA soit efficace dans la conception architecturale, elle doit être intégrée à des logiciels de conception existants. Cela peut nécessiter des modifications importantes de ces logiciels, ce qui peut être coûteux et prendre du temps.</p>

Source : Tammela, (2021)

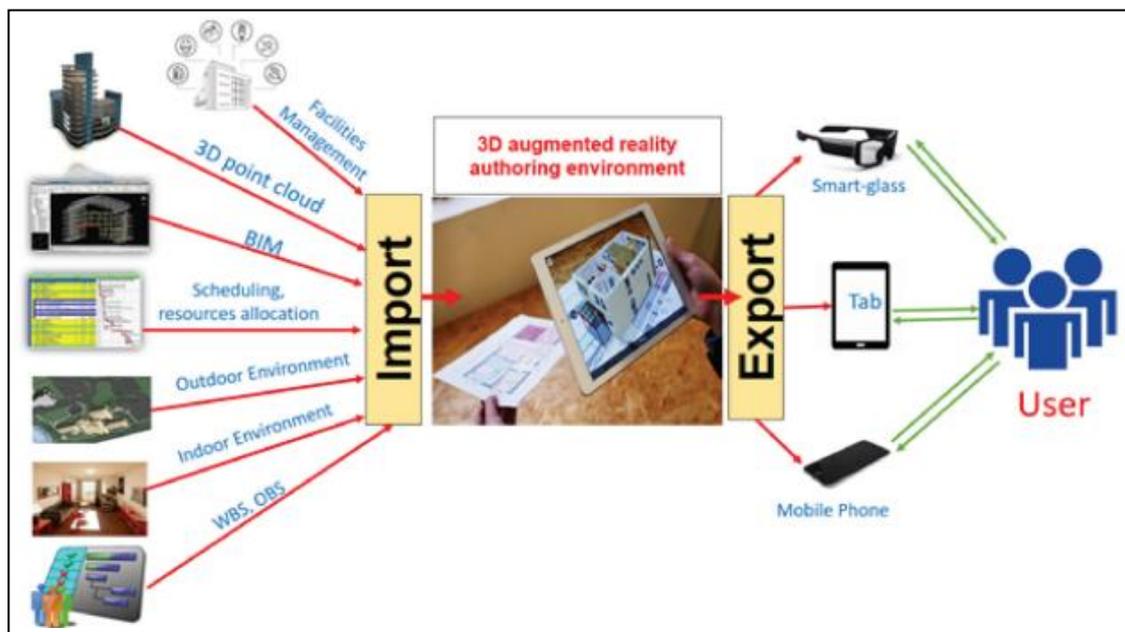


Figure 52 : Processus d'acquisition de données de terrain et d'informations de conception dans le domaine de la construction à l'aide de technologies de réalité augmentée.

Source : Ahmed (2018)

Aujourd'hui, l'utilisation des avancées technologiques dans le processus de conception architecturale présente de nombreux avantages et opportunités significatifs. Ces technologies, telles que la modélisation 3D, la réalité virtuelle, le BIM améliorent la visualisation et la communication des concepts architecturaux, facilitant ainsi la compréhension et l'appréciation des projets par les clients et les parties prenantes. De plus, elles permettent d'optimiser les conceptions en explorant différentes options et en détectant les erreurs ou les conflits potentiels avant la construction, réduisant ainsi les coûts et les retards.

Les outils technologiques offrent des moyens précieux pour réduire les problèmes liés aux changements post-occupationnels des espaces architecturaux. Ils permettent une meilleure compréhension de l'espace, une coordination efficace et une surveillance en temps réel. En utilisant ces outils dès les premières phases de conception, il est possible de minimiser les modifications coûteuses et les problèmes ultérieurs, améliorant ainsi l'efficacité, la durabilité et la satisfaction des occupants.

En somme, l'utilisation des nouvelles technologies offre une approche plus efficace, précise et innovante de la conception architecturale, avec des avantages tangibles en termes de communication, d'optimisation, de collaboration, de coûts et d'innovation.

3.4 La phase d'intégration du maître de l'ouvrage et du maître utilisateur durant ce processus de conception :

Le lien qui se forme entre un architecte et son client est le résultat d'un équilibre complexe entre la confiance, le degré d'autonomie et de lâcher-prise de l'architecte et l'implication du client. (Defays and Elsen, 2018).

L'intégration du maître d'ouvrage et du maître d'utilisateur dans le processus de conception architecturale est essentielle pour assurer la réussite du projet, ces intervenants ont des besoins différents en ce qui concerne le bâtiment, et il est important de prendre en compte ces besoins dès le début de la conception. L'implication de ces deux parties permet de mieux comprendre les exigences du projet et de s'assurer que la conception répond aux besoins des utilisateurs. Cette manière d'intégration et de travail pourra mener à mieux comprendre les besoins et les exigences du projet. Cela permet de créer une conception qui répond aux attentes de toutes les parties prenantes et qui est fonctionnelle, efficace et agréable à utiliser. Ça peut également aider à éviter les erreurs coûteuses dans la conception du bâtiment, ce qui peut entraîner des dépassements de coûts et des retards dans le calendrier du projet, mais aussi des transformations post-occupationnelles des espaces architecturaux (Luck, 2018).

L'intégration de ces deux acteurs dans le processus de conception architecturale peut se faire de plusieurs manières : consultations, visite sur chantiers, revus de conceptions Mais aussi dans plusieurs phases : analyse des besoins, conception, construction et post-construction. Ces deux parties prenantes s'intègrent dans un processus collaboratif qui doit avoir lieu tout au long du projet et qui peut se différencier dans certaines tâches (Saffer, 2006) :

Tableau 03 : les différentes tâches dédiées au maître d'ouvrage et l'utilisateur

<u>Pour le maître de l'ouvrage</u>	<u>Pour le maître utilisateur</u>
<ul style="list-style-type: none">• L'identification des objectifs du projet• La définition du budget• L'évaluation des risques• La sélection de l'équipe de conception• La validation des plans et des spécifications• La gestion des approbations réglementaires• La supervision de la construction	<ul style="list-style-type: none">• L'identification des besoins et des préférences• La validation des plans et des spécifications• La sélection des finitions et des matériaux• La validation des fonctionnalités et de l'ergonomie• La réalisation de tests et de simulations

Source : Saffer (2006)

3.4.1 Le rôle du maître d'ouvrage et utilisateur dans le processus de conception :

La majeure partie du travail du maître d'ouvrage est effectuée en amont de la conception et de la réalisation du bâtiment, lors des études préalables. Il doit travailler en étroite collaboration avec l'équipe de conception pour s'assurer que les besoins et les objectifs de l'opération sont bien compris et que le programme est adapté à l'environnement dans lequel le bâtiment sera construit (Dridi and Moudjari, 2019).

Une fois la phase de conception terminée, le maître d'ouvrage supervise et approuve chaque étape de la réalisation du projet. Il doit s'assurer que les coûts sont conformes au budget prévu, que les délais sont respectés et que les normes de qualité sont satisfaites. Il peut également être amené à gérer les changements de programme ou de budget, ainsi que les conflits éventuels entre les parties impliquées dans le projet (Caixeta et al., 2013).

Le maître d'usage, quant à lui, est l'utilisateur final du bâtiment. Il est donc important qu'il soit impliqué dès le début du processus de conception pour que l'architecte puisse comprendre ses besoins spécifiques en termes d'espace, de fonctionnalités et d'esthétique. Le maître d'usage peut également fournir des informations sur les contraintes techniques et les exigences réglementaires qui doivent être respectées dans la conception du bâtiment.

La collaboration entre le maître d'ouvrage, le maître d'usage et l'architecte est essentielle pour assurer la réussite du projet. En travaillant ensemble, ils peuvent s'assurer que le bâtiment répond aux besoins et aux objectifs du client tout en répondant aux exigences réglementaires et en respectant les normes de conception (Folcher, 2015).

3.5 Les méthodes d'intégration du maître de l'ouvrage et utilisateur :

Le terme "implication" englobe divers degrés de participation, chacun représentant une relation différente entre les utilisateurs et les prestataires de services. On peut généralement distinguer trois niveaux de participation :

3.5.1 L'implication informative :

Correspond au niveau le plus bas d'implication, où le maître d'ouvrage fournit et reçoit uniquement de l'information. Dans ce cas, le maître d'ouvrage est considéré comme un client qui exprime ses besoins et ses exigences concernant le projet architectural à l'équipe de conception. Les architectes peuvent alors recueillir des informations sur le contexte du projet, telles que les contraintes légales, les limites budgétaires, les ressources disponibles, les préférences esthétiques et les besoins fonctionnels (Othmani, 2010).

3.5.2 L'implication consultative :

À ce niveau, le maître d'ouvrage est invité à donner son avis sur les différentes propositions de conception architecturale. Il peut ainsi exprimer ses préférences et ses attentes concernant les fonctionnalités et l'apparence de l'édifice en développement. Cette étape est importante pour les architectes car cela leur permet de connaître les besoins spécifiques du client et de les intégrer dans leur conception. Le maître d'ouvrage peut également fournir des informations sur le budget et les contraintes du projet, ce qui peut aider les architectes à adapter leur conception en conséquence (Kujala, 2003)

3.5.3 L'implication participative :

Cette approche implique la communication ouverte et le partage d'informations entre les parties prenantes tout au long du processus de conception. Le maître de l'ouvrage peut jouer un rôle clé dans la prise de décisions importantes telles que la sélection de l'équipe de conception, la définition du budget et du calendrier, ainsi que la validation des solutions proposées (Robertson and Simonsen, 2012).

3.6 Le résultat attendu pour résoudre le problème des transformations post-occupationnelles de l'espace architectural intelligent :

En combinant la RV et la RA, les utilisateurs peuvent créer des simulations numériques précises de l'espace architectural avant sa construction, puis utiliser la RA pour visualiser ces simulations dans l'espace réel une fois la construction terminée. Cela permet de comparer facilement l'espace réel avec le design initial et de détecter rapidement les éventuelles différences. Les utilisateurs peuvent également utiliser la RA pour accéder à des informations supplémentaires sur l'espace réel, telles que les plans électriques ou les données sur l'utilisation de l'énergie.

3.6.1 L'adaptation de la RV et la RA :

Tableau 04 : Les avantages de la réalité augmentée (RA) et de la réalité virtuelle (RV) par cas d'utilisation

Cas d'utilisation	Les avantages
Engagement des parties prenantes	<ul style="list-style-type: none">-Meilleure compréhension des exigences-Amélioration de l'expérience utilisateur-Augmentation de l'inclusivité-Retours d'information en temps opportun
Support de conception	<ul style="list-style-type: none">- Visualisation à l'échelle réelle des conceptions- Meilleure compréhension des impacts de la conception- Compréhension plus facile des résultats de simulation

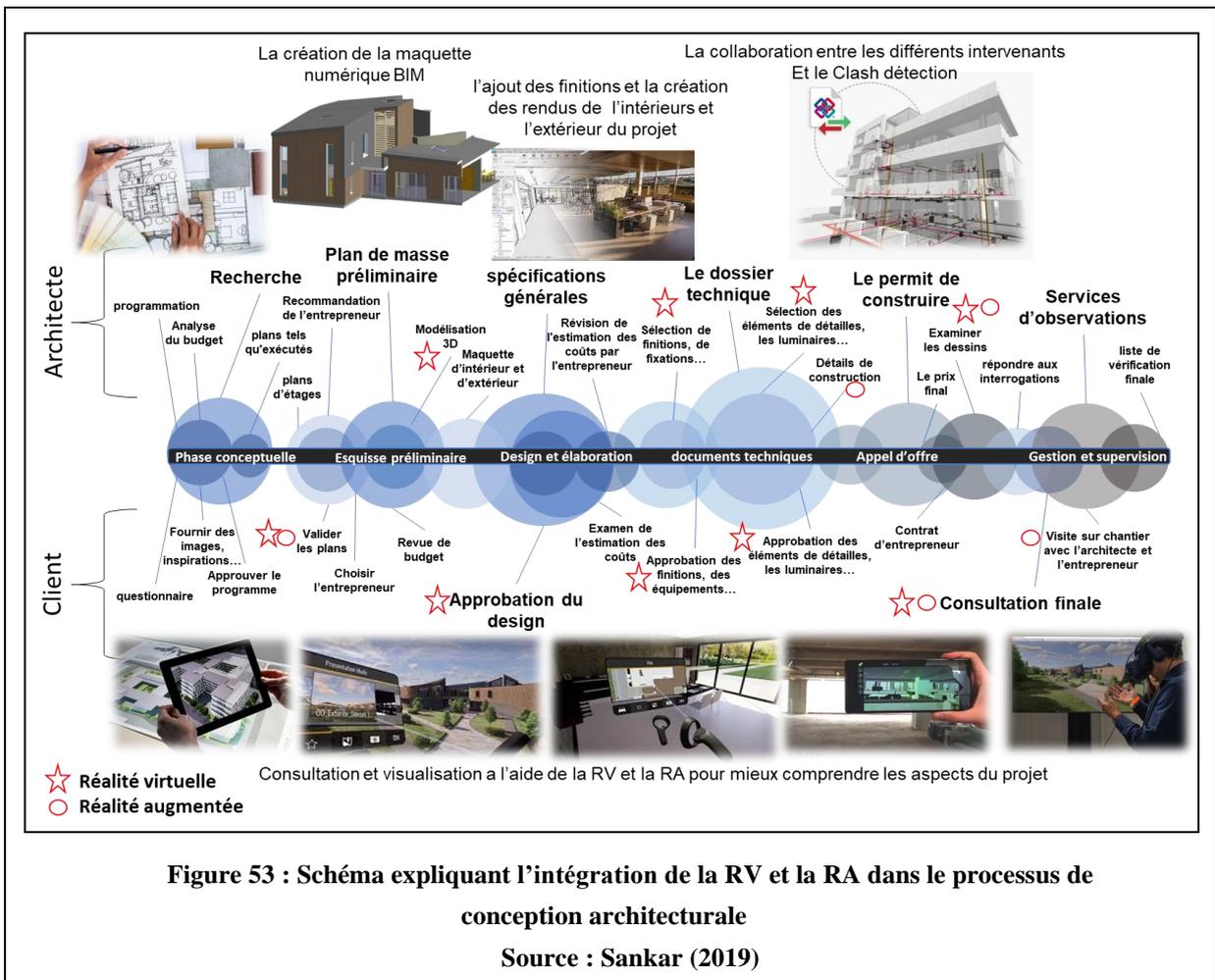
Revue de conception	<ul style="list-style-type: none">- Approbation plus rapide- Prise de décision efficace- Evaluation multidisciplinaire plus facile
Support de construction	<ul style="list-style-type: none">- Compréhension visuelle de l'avancement des travaux de construction- Analyses visuelles
Opérations et gestion	<ul style="list-style-type: none">- Minimiser les déplacements- Réduire les risques pour les techniciens- Soutenir la maintenance- Meilleure compréhension des besoins de l'établissement- Information visuelle en temps réel sur les actifs
Formation	<ul style="list-style-type: none">- Scénarios d'entraînement moins coûteux et plus efficaces (sécurité et tâches complexes)- Simulations d'opérations à grande échelle- Atténuation des risques liés au roulement du personnel

Source : Delgado et al (2020)

Grâce à la réalité virtuelle, les architectes peuvent simuler l'expérience d'être dans l'espace et peuvent ainsi comprendre comment les gens interagissent avec l'environnement construit. Cela permet aux architectes de concevoir des bâtiments qui répondent mieux aux besoins des occupants et qui sont plus faciles à transformer et à adapter au fil du temps.

En outre, la réalité augmentée peut être utilisée pour ajouter des informations utiles et pratiques à l'environnement construit, telles que des instructions de maintenance et de réparation, des informations sur les installations ou des itinéraires de navigation. Cela peut aider à garantir que l'espace est utilisé de manière efficace et que les occupants sont en mesure de maintenir le bâtiment en bon état, ce qui peut prolonger la durée de vie du bâtiment.

Le schéma suivant explique l'intégration de la réalité virtuelle et la réalité augmentée dans le processus de conception architecturale :



3.7 Conclusion

On conclut qu'en terme d'espace architectural intelligent, les transformations post-occupationnelles sont des changements qui se produisent dans les bâtiments après leur construction, dus aux besoins des utilisateurs et qui ne se sont pas pris en compte et étudiés au début des conceptions des projets. Ces transformations peuvent entraîner des coûts de maintenance élevés et des inefficacités dans l'utilisation de l'espace. Pour résoudre ce problème, il est alors important d'intégrer des technologies de pointe telles que le BIM, la RV et la RA dans le processus de conception architecturale.

Cette intégration permet une meilleure collaboration entre les différents acteurs du projet, tels que les maîtres d'ouvrage, les architectes, les ingénieurs, les entrepreneurs et les utilisateurs finaux. La phase d'intégration du maître de l'ouvrage et de l'utilisateur est particulièrement importante pour s'assurer que les besoins de toutes les parties sont pris en compte et que la conception répondra aux attentes.

Ainsi, les différentes méthodes d'intégration du maître de l'ouvrage et de l'utilisateur comprennent l'utilisation de modèles BIM pour simuler l'utilisation de l'espace avant la construction, la

réalisation de visites virtuelles pour permettre aux utilisateurs de visualiser et de commenter la conception, et l'utilisation de la réalité augmentée pour faciliter la communication entre les différentes parties et pour améliorer la compréhension des concepts.

En fin de compte, la finalité escomptée de l'intégration des technologies et des différents acteurs du projet, plus précisément le maître de l'ouvrage et l'utilisateur dans le processus de conception architecturale est une conception efficace et durable qui répond aux besoins des utilisateurs et minimise les coûts de maintenance et de transformation. Les maîtres d'ouvrage peuvent ainsi bénéficier d'une utilisation plus rentable de l'espace et les utilisateurs finaux peuvent bénéficier d'un environnement de travail ou de vie plus adapté à leurs besoins.

Chapitre 04 : Cas d'étude : siège de la radio-télévision locale de la wilaya de Jijel

4.1 Introduction

De nos jours, les transformations post-occupationnelles des espaces architecturaux en Algérie constituent un problème majeur, présentant des défis significatifs. Elles peuvent engendrer des perturbations, des dépenses supplémentaires et des retards dans la réalisation des projets. Ces transformations surviennent pour diverses raisons, principalement en raison d'une incompatibilité entre les espaces conçus et les besoins des occupants ou leurs fonctions, ce qui reflète une conception erronée dès le départ et une compréhension insuffisante de la part des occupants, souvent en raison de l'absence d'outils adéquats pour y remédier.

Ce chapitre présente les résultats de notre enquête visant à vérifier les hypothèses selon lesquelles l'intégration des outils technologiques, en particulier la RV et la RA, ainsi que l'anticipation des besoins futurs, peuvent créer des espaces architecturaux plus flexibles, adaptables, intelligents et durables. L'objectif de cette enquête était de démontrer que ces approches peuvent réduire les problèmes potentiels des transformations post-occupationnelles.

4.2 Objectifs de l'enquête

Lorsqu'on évoque la RV et la RA, les premières pensées qui viennent à l'esprit sont souvent les jeux vidéo ou le cinéma en 3D. Cependant, ces outils ont révolutionné plusieurs domaines, y compris celui de la construction. Ce secteur s'est aujourd'hui tourné vers la numérisation et la digitalisation afin, tout d'abord, d'adopter le concept "zéro papier" pour protéger l'environnement, et ensuite, de permettre la construction virtuelle avant la construction réelle.

En d'autres termes, ces technologies offrent aux clients la possibilité d'occuper et de vivre leurs espaces avant même qu'ils ne soient construits. Cela assure une meilleure compréhension des espaces, des couleurs et des aménagements, et constitue une étape essentielle pour éviter les problèmes des transformations post-occupationnelles. C'est précisément l'objectif de notre mémoire : prouver que cette innovation et ces technologies peuvent être la solution. Pour cela, nous avons élaboré deux questionnaires qui abordent tous les paramètres nécessaires pour évaluer la présence et l'absence de ces technologies dans le processus de conception.

Cette enquête va nous permettre de :

- Proposer des solutions au problème des transformations post-occupationnelles des espaces architecturaux.
- Présenter les outils technologiques utilisés, en mettant en avant la réalité virtuelle (RV) et la réalité augmentée (RA).

- Aborder les différentes potentialités qu'offrent la RV et la RA dans le domaine du bâtiment.
- Mettre en évidence les impacts significatifs de la RV et de la RA sur la conception architecturale.
- Effectuer une comparaison entre la conception architecturale avec et sans l'intégration des outils technologiques.

4.3 Présentation de la méthode d'investigation

Notre enquête cible les employés de la radio locale de la wilaya de Jijel, étant donné leur mode de travail spécifique. Nous avons opté pour une enquête par questionnaire, qui comprendra deux questionnaires distincts.

Le premier questionnaire : vise à évaluer l'état actuel du siège de la radio locale de la wilaya de Jijel, qui a subi plusieurs transformations post-occupationnelles afin de s'adapter aux besoins. Il permettra de recueillir des informations sur les problèmes rencontrés, les ajustements effectués et l'impact de ces changements sur le fonctionnement de la radio.

Le deuxième questionnaire : sera axé sur une maquette numérique d'un nouveau siège de radio avec une télévision locale, situé à Mezghitane, proposé en utilisant le logiciel Autodesk - Revit. Cette maquette sera visualisée à l'aide du logiciel de rendu et de visualisation Enscape, intégrant une visite virtuelle à l'aide du casque Oculus Rift. Ce questionnaire évaluera l'intégration de cette technologie en tant qu'outil permettant de vivre les espaces et de mieux les comprendre, afin de les adapter plus efficacement lors de la réalisation du projet.

L'objectif de ces questionnaires est de recueillir des données sur l'expérience des employés, leur perception des espaces actuels et futurs, ainsi que leur évaluation de l'efficacité de l'utilisation de la technologie pour mieux comprendre et adapter les espaces architecturaux.

4.4 Choix de l'échantillon

Lorsqu'une enquête est menée, il peut être difficile de collecter des données auprès de l'ensemble de la population concernée. C'est pourquoi il est courant de choisir un échantillon qui représente un sous-ensemble représentatif de la population plus large. L'échantillon est sélectionné de manière à ce que chaque individu de la population ait une chance égale d'être inclus, ce qui permet d'obtenir des résultats statistiquement significatifs et représentatifs de la population.

Dans notre enquête, nous avons opté pour l'échantillonnage aléatoire simple, qui est l'une des méthodes les plus couramment utilisées pour sélectionner un échantillon représentatif d'une population. Nous avons suivi les étapes suivantes pour effectuer notre échantillonnage :

- **Identification de la population :** Nous avons déterminé la population cible, qui comprend les employés du siège de la radio locale de la wilaya de Jijel, totalisant 45 personnes.
- **Définition de la taille de l'échantillon :** Dans notre cas, nous avons choisi de prendre un échantillon représentant 45% de la population cible, ce qui équivaut à 20 personnes. Cela nous permettra d'obtenir un nombre suffisant d'informations collectées.
- **Sélection aléatoire :** Pour choisir nos éléments, nous avons veillé à toucher la majorité des fonctions existantes au sein de la population, y compris les journalistes, les techniciens et l'administration.

L'utilisation de la méthode d'échantillonnage aléatoire simple permet de réduire les biais potentiels et d'obtenir un échantillon représentatif de la population. Ainsi, les résultats de l'enquête pourront être généralisés à l'ensemble des employés du siège de la radio locale.

4.5 Présentation des projets et intégration de la RV et la RA dans le futur projet

Le premier projet concerne le siège actuel de la radio locale de la wilaya de Jijel, un bâtiment qui a subi différentes transformations avant et après son occupation en raison du fait qu'il n'a pas été initialement conçu pour répondre aux besoins d'une radio locale. Ces modifications ont affecté les distributions intérieures, l'isolation et les aménagements du bâtiment.

Afin de recueillir un maximum d'informations sur l'état actuel du siège et d'évaluer dans quelle mesure il répond aux attentes des occupants pour mener leurs activités professionnelles, le premier questionnaire sera destiné aux employés. Ce questionnaire vise à collecter des données sur leur expérience et leurs impressions concernant le bâtiment actuel, en mettant l'accent sur les aspects liés à leur travail quotidien.

Le second projet est une proposition de conception pour le futur siège de la radio et de la télévision locale de la wilaya de Jijel. Une idée clé de ce projet est l'intégration du concept de télévision. Cette décision repose sur le fait que Jijel est une wilaya regorgeant de potentialités touristiques, gastronomiques et culturelles. En incorporant la télévision, le projet vise à promouvoir ces atouts sur le plan publicitaire, à la fois au niveau local et national. Cette mise en valeur permettrait à la wilaya de Jijel d'améliorer son économie et de profiter des retombées positives liées à une meilleure visibilité et à une augmentation de l'activité touristique, économique et culturelle.

La proposition de projet est prévue d'être située à Mezghitane, afin de bénéficier d'une position dominante sur l'ensemble de la ville. L'objectif est de faire du siège de la radio et de la

télévision locale un monument important sur les hauteurs de la ville, lui conférant ainsi un rôle de point d'appel majeur. Cette localisation stratégique permettra au bâtiment d'être facilement repéré et d'attirer l'attention des habitants et des visiteurs dès leur arrivée dans la ville de Jijel. En devenant un symbole emblématique à l'entrée ouest de la ville, le projet contribuera à renforcer l'identité de Jijel et à créer une image forte et distinctive de la wilaya.

Cette conception va reposer sur l'utilisation de la maquette numérique en s'appuyant sur le concept BIM avec le logiciel Revit d'Autodesk et elle va se composer des différents espaces nécessaires pour accomplir le travail de production radio et télévision et sera présenté aux employés de la radio locale de la wilaya de Jijel en utilisant la réalité virtuelle dans le cadre de la réalisation du second questionnaire, cette présentation en RV permettra aux employés de fournir des commentaires plus précis et pertinents sur les aspects de conception et d'adaptation des espaces, contribuant ainsi à la collecte d'informations essentielles pour évaluer l'apport des outils technologiques dans le processus de conception. L'utilisation de la réalité virtuelle offre une expérience interactive et immersive, permettant aux employés de se projeter dans le futur siège et d'évaluer son adéquation avec leurs besoins et leurs attentes. Cela facilitera également la communication et les échanges, favorisant ainsi une meilleure compréhension mutuelle et des échanges constructifs pour améliorer la conception du bâtiment.

4.6 L'enquête par questionnaire

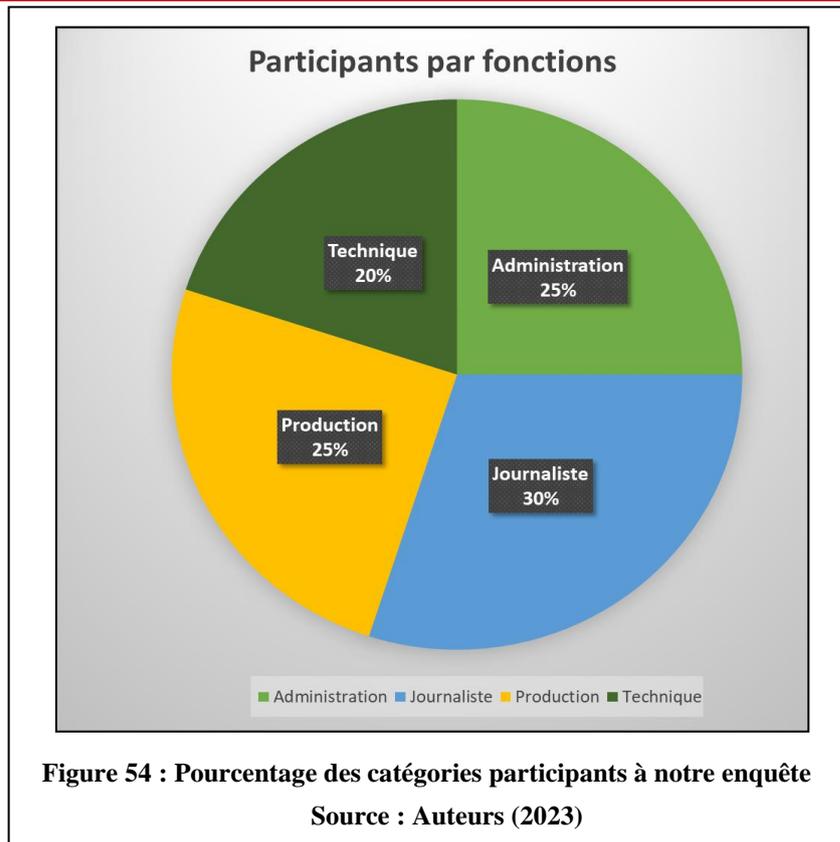
Ce questionnaire a été spécifiquement conçu pour les employés de la radio locale de la wilaya de Jijel, notamment les techniciens, les producteurs, les journalistes, et autres membres du personnel. Au total, nous avons questionné 45% de cette population cible. La composition des membres est montrés dans les figures suivantes :

4.6.1 Questionnaire sur l'état de fait

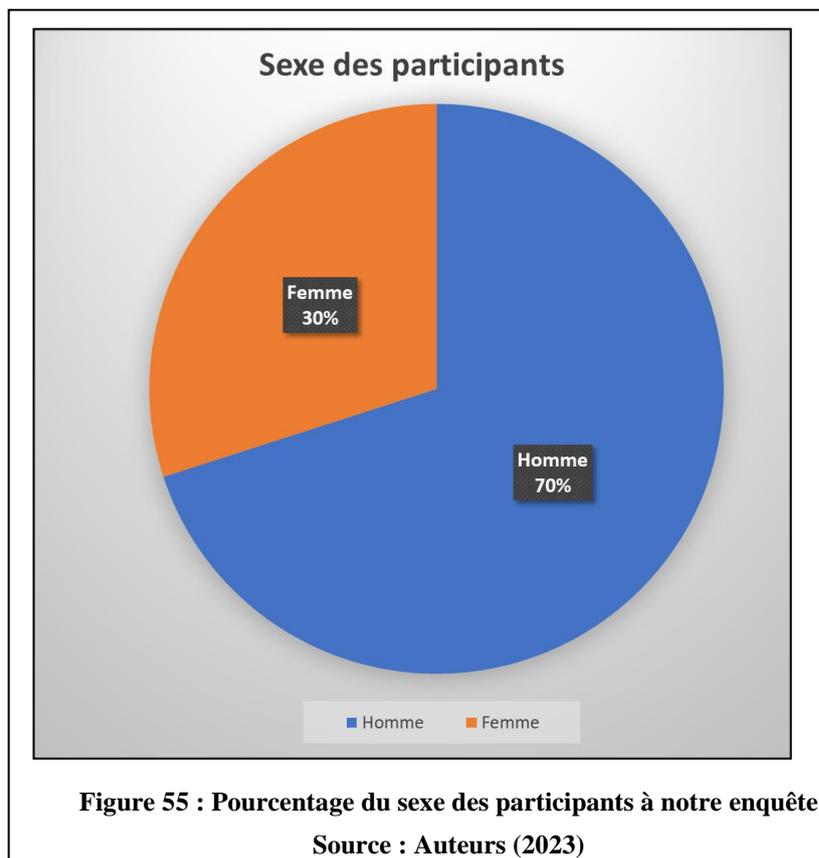
4.6.1.1 Informations générales

Les figures 54, 55 et 56 illustrent clairement que notre échantillon présente une diversité notable dans les aspects suivants :

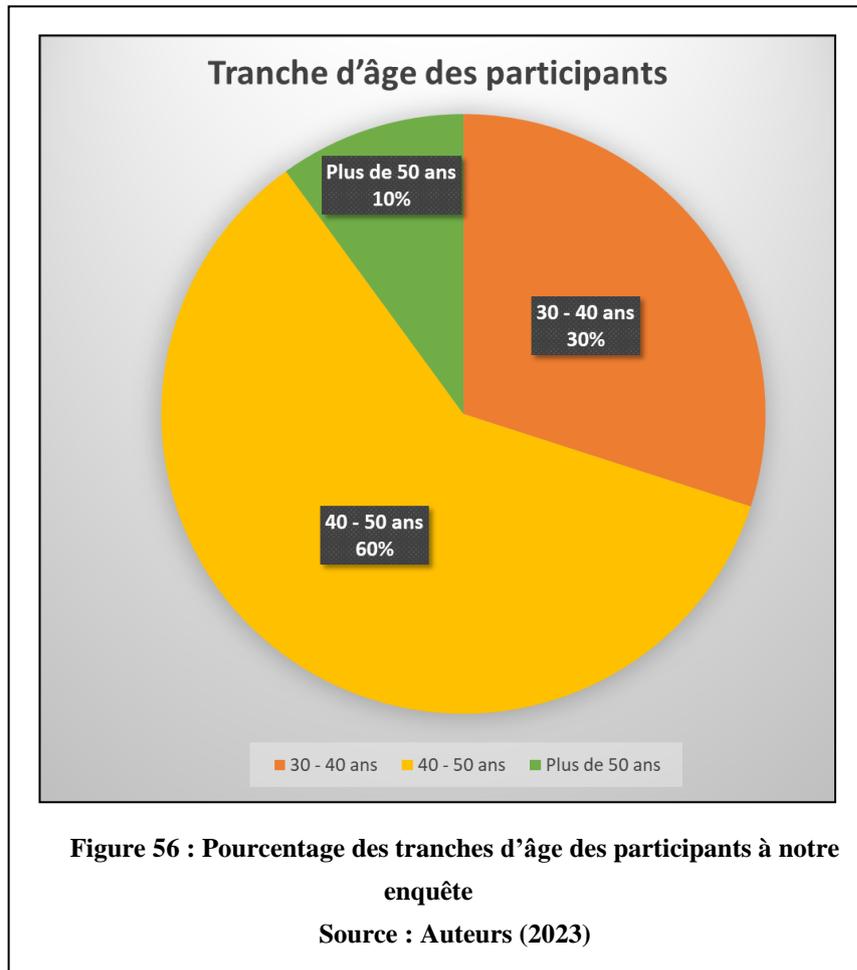
- ✓ **Composition des fonctions :** Nous avons inclus différentes fonctions présentes au sein du siège de la radio (selon la figure 54), avec une proportion significative de journalistes par rapport aux autres fonctions. Cette prépondérance s'explique par leur utilisation fréquente du siège et leur connaissance des exigences spécifiques liées à leurs tâches



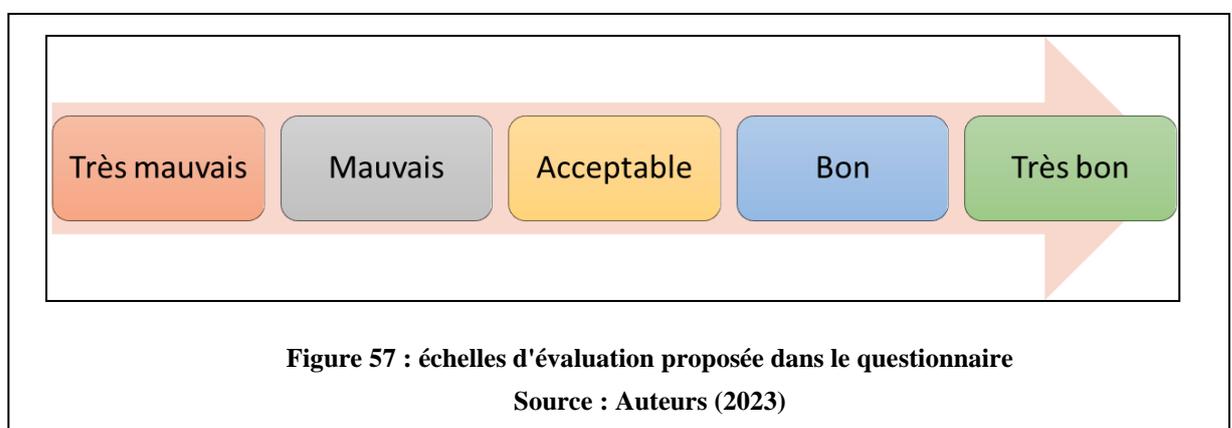
- ✓ **Répartition par sexe** : d'après la figure 55, l'échantillon est majoritairement composé d'hommes, avec une proportion de 70 %. Cette sélection est motivée par la correspondance entre les postes disponibles au siège et la méthode de travail qui s'aligne davantage avec les hommes.



- ✓ **Répartition par tranche d'âge** : L'échantillon couvre une gamme d'âges parmi les employés, mais nous avons principalement ciblé la tranche d'âge de 40 à 50 ans, qui représente 60 % de l'échantillon (figure 56). Cette décision s'explique par le fait que cette tranche d'âge possède une expérience et des connaissances plus approfondies du siège.

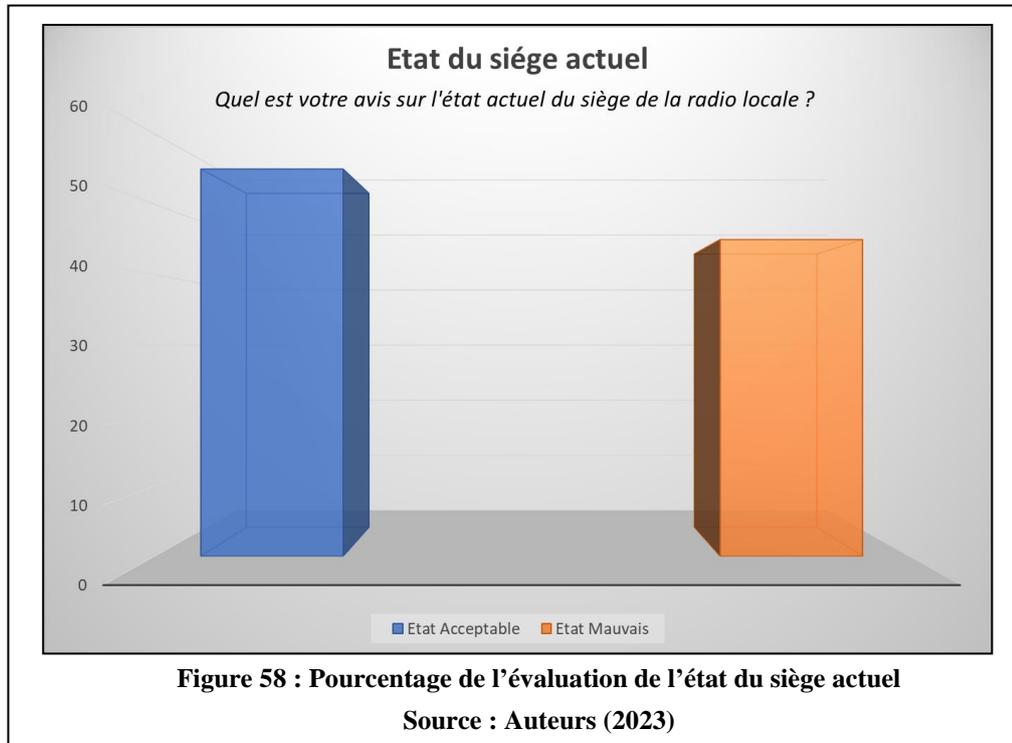


- ✚ Afin d'évaluer l'état et l'espace du siège actuel de la radio locale, nous avons soumis les questions suivantes à notre échantillon sélectionné, leur demandant d'évaluer de très mauvais à très bon.



4.6.1.2 Avis sur l'état actuel du siège de la radio locale de la wilaya de Jijel

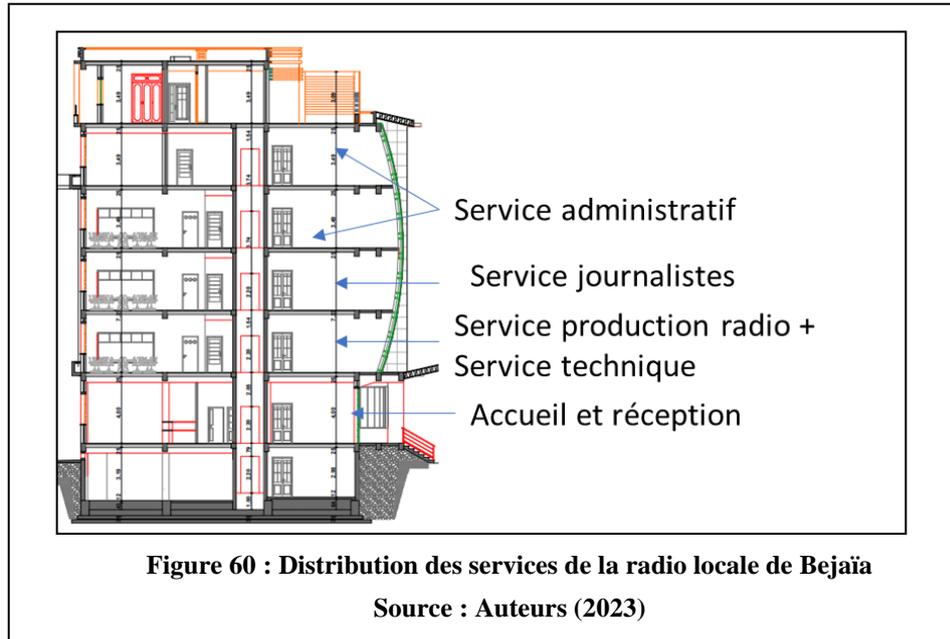
Selon les informations présentées dans la figure 58, on constate que les employés expriment des avis presque équivalents concernant l'état actuel du siège, se répartissant principalement entre un état mauvais et un état acceptable, avec des pourcentages de 45 % et 55 % respectivement. Cette répartition peut être attribuée à plusieurs facteurs.



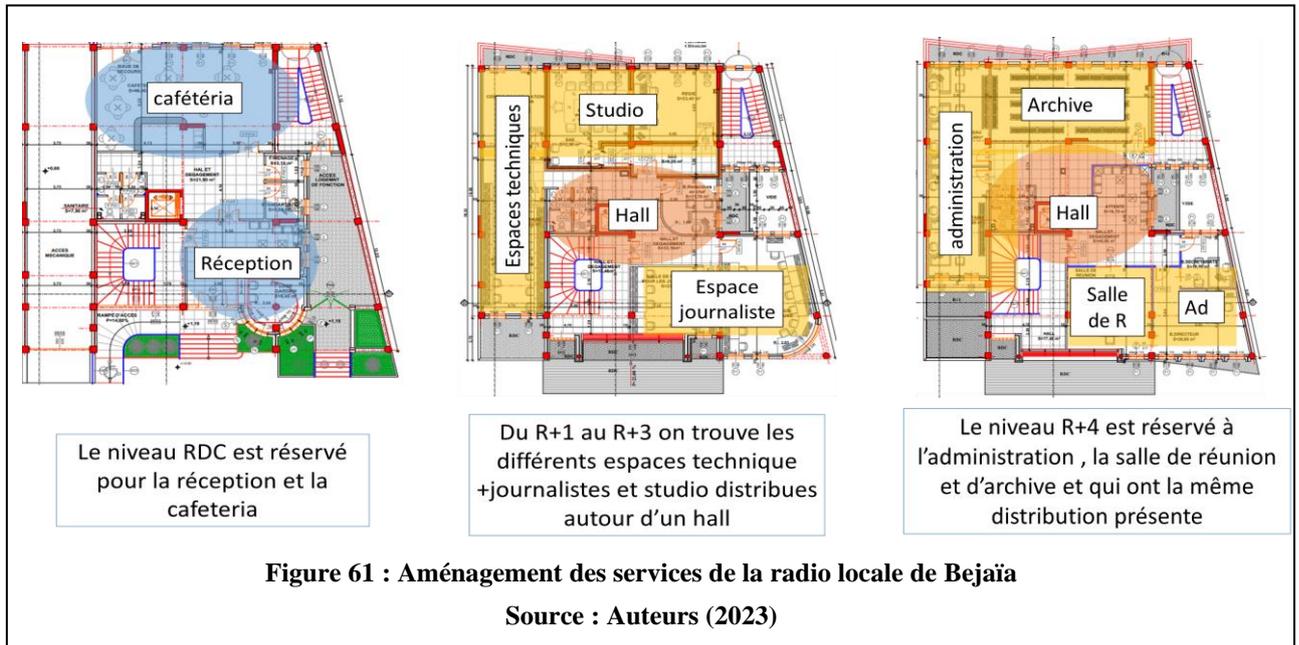
Il est possible que certains aspects du siège présentent des **défauts**, des **problèmes** ou des **insuffisances**, ce qui peut revenir à l'occupation d'un bâtiment qui n'est pas dédié à une fonction précise dès le départ et ce qui expliquerait pourquoi une part significative des employés considère l'état comme mauvais et ce qu'on a pu noter lors de notre analyse du siège de la radio SOUMMAM de Bejaïa situé à boulevard Krim Belkacem par la société AURA DZ.



Ce siège est conçu de manière à répondre aux besoins spécifiques de la radio. Il se compose de plusieurs étages, chacun ayant des fonctions distinctes pour assurer un fonctionnement efficace de la station, ces services sont distribués comme montré dans les figures ci-dessous :



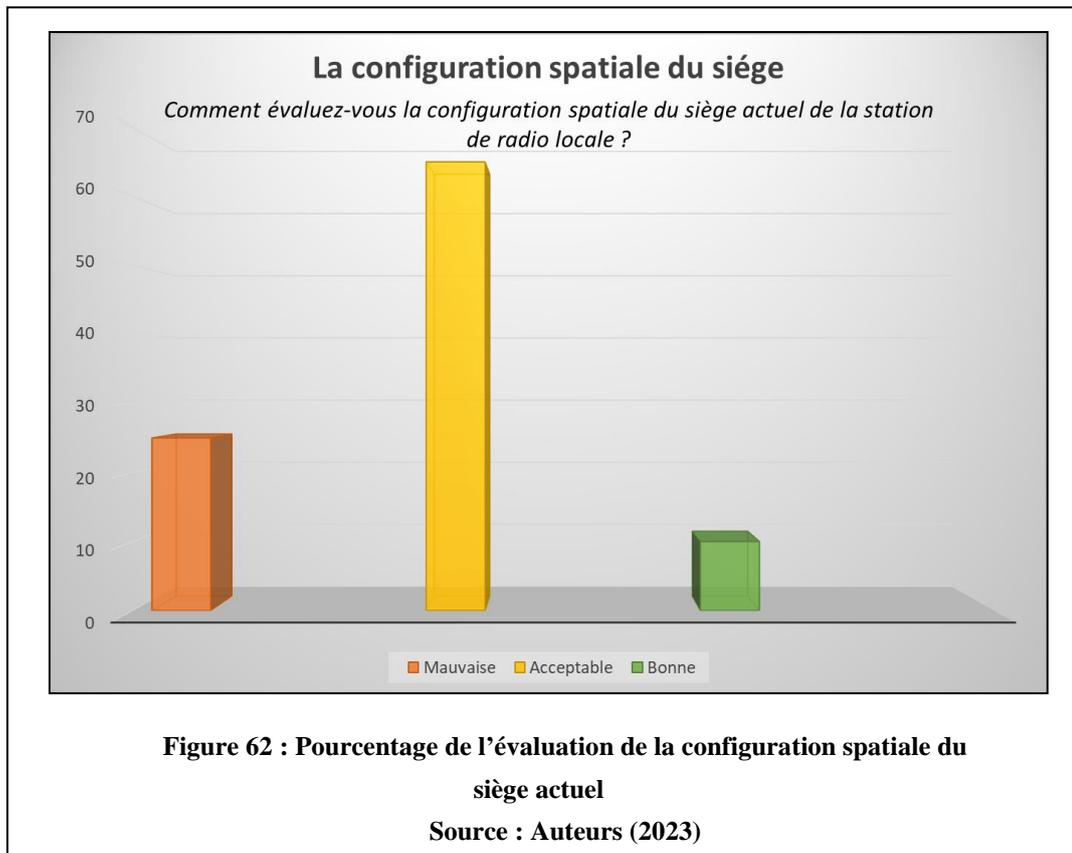
Les illustrations suivantes démontrent de manière visuelle comment chaque service est aménagé avec soin et réflexion pour offrir des espaces appropriés, favorisant un fonctionnement intérieur harmonieux et répondant aux besoins des employés.



D'autre part, il est également probable que certaines caractéristiques du siège soient jugées acceptables par une majorité d'employés, compensant ainsi les aspects moins satisfaisants. Cette évaluation mitigée souligne l'importance de prendre en compte les préoccupations et les opinions des employés pour identifier les domaines spécifiques qui nécessitent une attention particulière et des améliorations.

4.6.1.3 Evaluation de la configuration spatiale du siège

D'après les données présentées dans la figure 62, la configuration spatiale actuelle du siège est acceptée par la majorité des répondants (65 %). Cet avis est suivi des réclamations concernant les studios situés au rez-de-chaussée du bâtiment, près de l'accès principal.

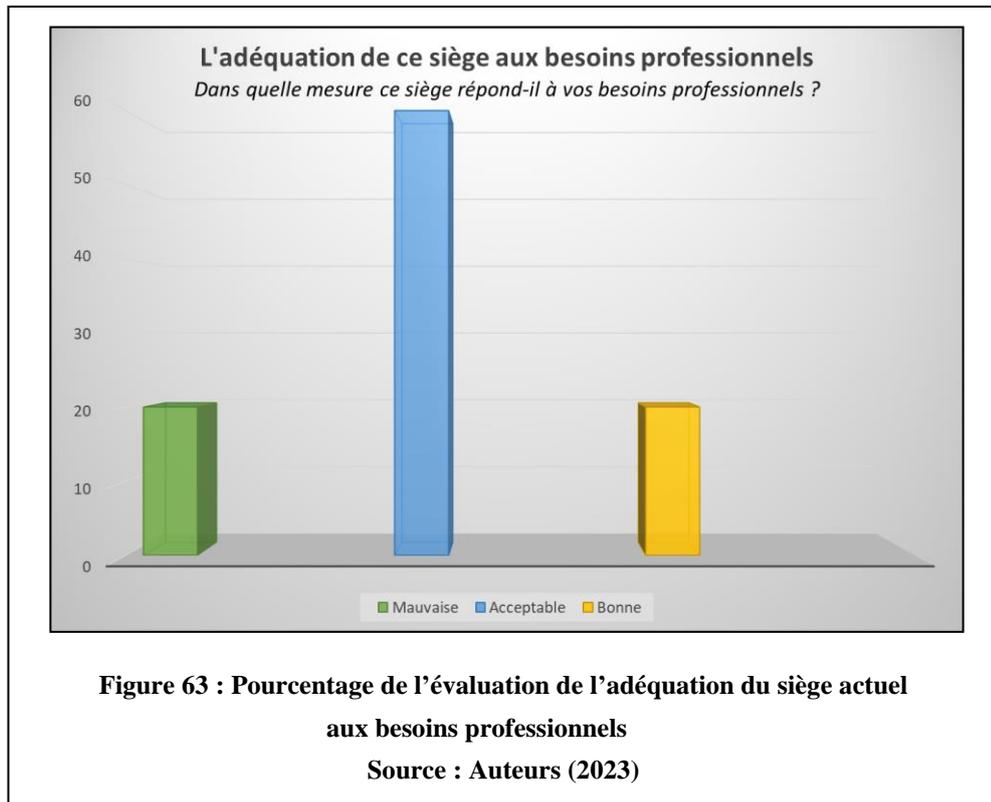


Environ 25 % des répondants considèrent que la configuration est mauvaise et mal conçue en termes d'espaces et de leurs fonctions. Ces critiques sont principalement liées au problème d'occupation d'un espace qui n'est pas spécifiquement dédié à sa fonction principale, ce qui souligne notre objectif de démontrer de collaborer et intégrer les occupants d'un espace et l'importance d'étudier dès le départ leurs fonctions.

La minorité restante, représentant 10 % des répondants, évalue la configuration comme étant bonne. Il s'agit principalement des employés de l'administration qui n'ont besoin que d'un bureau et n'exigent pas d'espaces ou de matériaux spécifiques.

4.6.1.4 L'adéquation de ce siège aux besoins professionnels

La figure 63 consolide les données recueillies dans la question précédente (figure 59). L'adéquation des espaces du siège aux besoins professionnels est jugée acceptable à hauteur de 60 %, indiquant une configuration spatiale acceptable. Cependant, ces réponses sont toujours accompagnées du problème d'aménagement des espaces intérieurs, en particulier des studios, ce qui confirme l'importance de notre objectif d'étudier les fonctions des espaces dès le départ.



Environ 20 % des répondants ont évalué l'adéquation comme étant bonne, principalement les employés de l'administration (comme mentionné précédemment) ou les techniciens qui ne fréquentent pas régulièrement le siège.

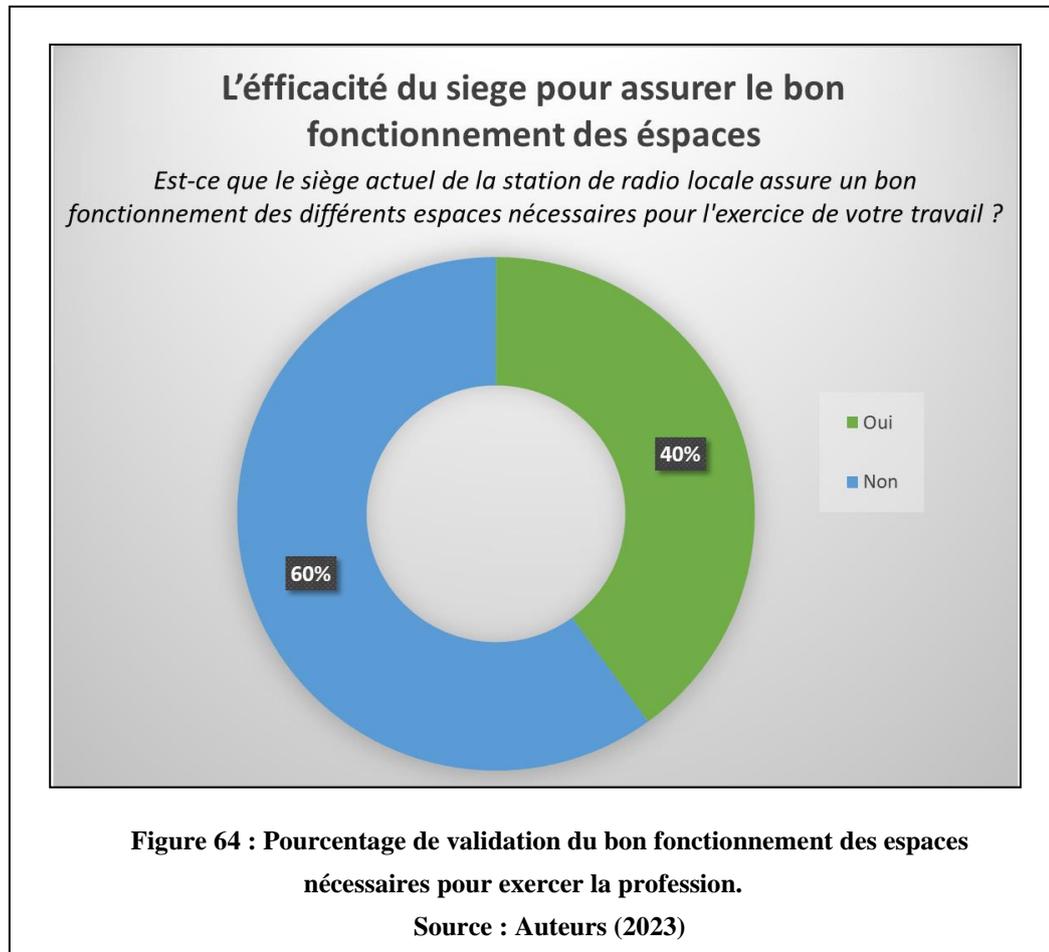
Les 20 % restants ont évalué l'adéquation comme étant mauvaise, ce qui confirme notre hypothèse qui démontre qu'existence d'un conflit entre les besoins des occupants et la fonction de l'espace peut mener vers les transformations post-occupationnelles nécessaires pour résoudre ces problèmes.

- ✚ Les questions suivantes permettront d'évaluer si ce siège assure le bon fonctionnement des espaces, tout en examinant les transformations réalisées pour garantir un fonctionnement adéquat.

4.6.1.5 L'efficacité du siège actuel pour soutenir les divers espaces de travail nécessaires

La totalité des personnes sondées (60 %) déclarent la non-confirmation du bon fonctionnement des espaces du siège actuel de la radio pour exercer leur profession, comme le montre la figure 64.

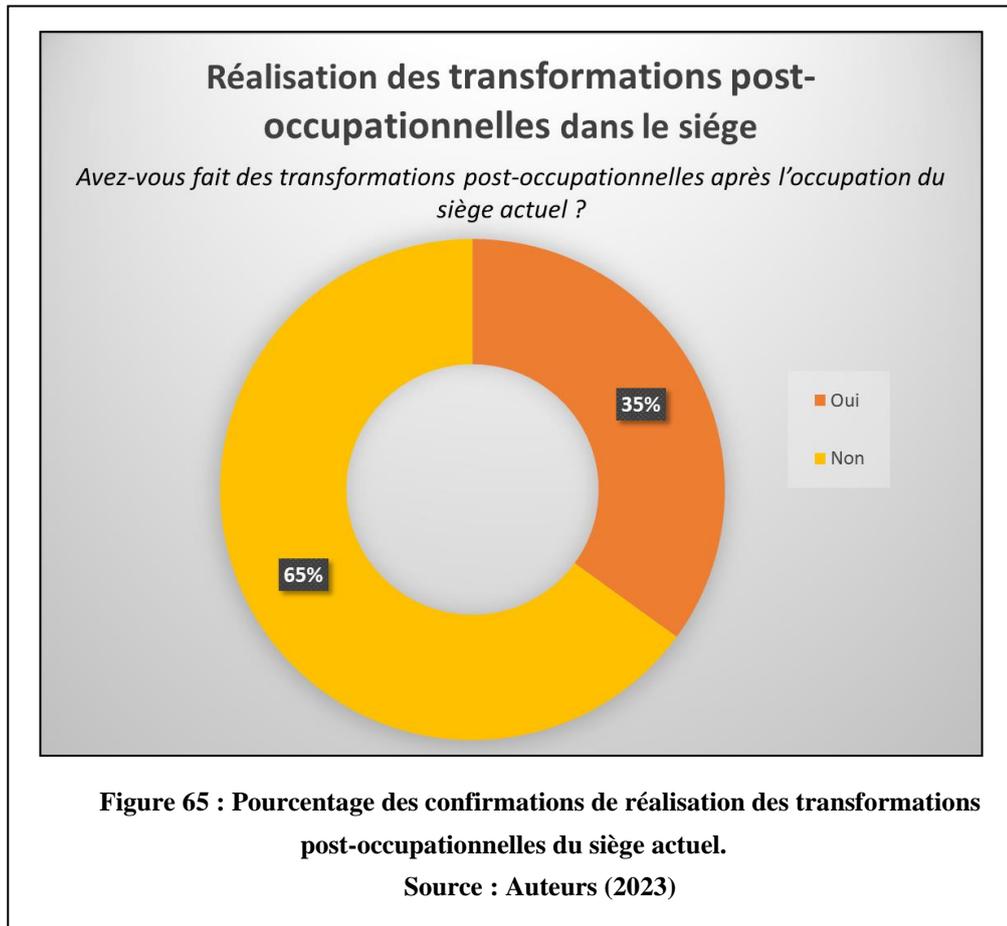
En revanche, la minorité de 40 % des personnes valident le bon fonctionnement des espaces. Cela soulève le même problème de mauvaise conception et de superposition des espaces avec leurs fonctions.



La majorité des répondants renforcent leur avis en proposant une rénovation des espaces intérieurs, en particulier des studios, ainsi que des espaces extérieurs qu'ils considèrent comme des espaces perdus, alors qu'ils ont besoin de plus d'espace pour effectuer leur travail.

4.6.1.6 Les transformations post-occupationnelles effectuées après l'installation dans le siège actuel.

Les données fournies par la figure 65 confirment que la majorité des répondants ont indiqué que le siège n'a pas subi de transformations post-occupationnelles, du moins depuis leur arrivée. Il est important de souligner que cette affirmation est basée sur leur propre expérience et ne couvre pas nécessairement l'ensemble de la période post-occupationnelle du siège. Cependant, ces résultats suggèrent que, selon leur perception, le siège est resté relativement stable et n'a pas subi de changements significatifs depuis leur installation.



Les 35 % restants confirment que le siège a subi différentes transformations. Cette catégorie représente les personnes les plus anciennes et les plus familières avec le bâtiment. Parmi ces transformations, on trouve la réappropriation de certains espaces en restaurants, le changement de certains espaces en bureaux pour les spécialistes, ainsi que la création de salles de production et de création de contenu.

Toutes ces transformations font suite aux grandes modifications apportées au bâtiment existant afin de le rendre conforme aux exigences d'un siège de radio, telles que l'aménagement intérieur, l'isolation et les espaces nécessaires.

La collecte de ces informations et données auprès des occupants du siège de la radio nous a permis de confirmer notre hypothèse initiale selon laquelle la mauvaise conception des espaces, en excluant les occupants, ainsi que l'absence d'étude approfondie des fonctions et des exigences de chaque espace, conduisent à des problèmes majeurs de transformations post-occupationnelles des espaces architecturaux.

Ces transformations entraînent des dépenses supplémentaires qui auraient pu être évitées si le processus initial avait été correct et basé sur le principe de collaboration et d'intégration des utilisateurs. Nous pouvons également établir un lien avec l'hypothèse selon laquelle l'absence d'outils spécialisés dans la conception pourrait augmenter le risque de rencontrer les problèmes de transformations, car toutes ces dernières ont été basées sur d'anciens outils traditionnels.

- ✚ Pour vérifier cette deuxième hypothèse, nous avons élaboré un deuxième questionnaire qui comprendra les questions nécessaires pour mettre en évidence l'importance d'intégrer les nouvelles technologies et les outils dans le domaine de la construction afin d'éviter le problème des transformations des espaces architecturaux.

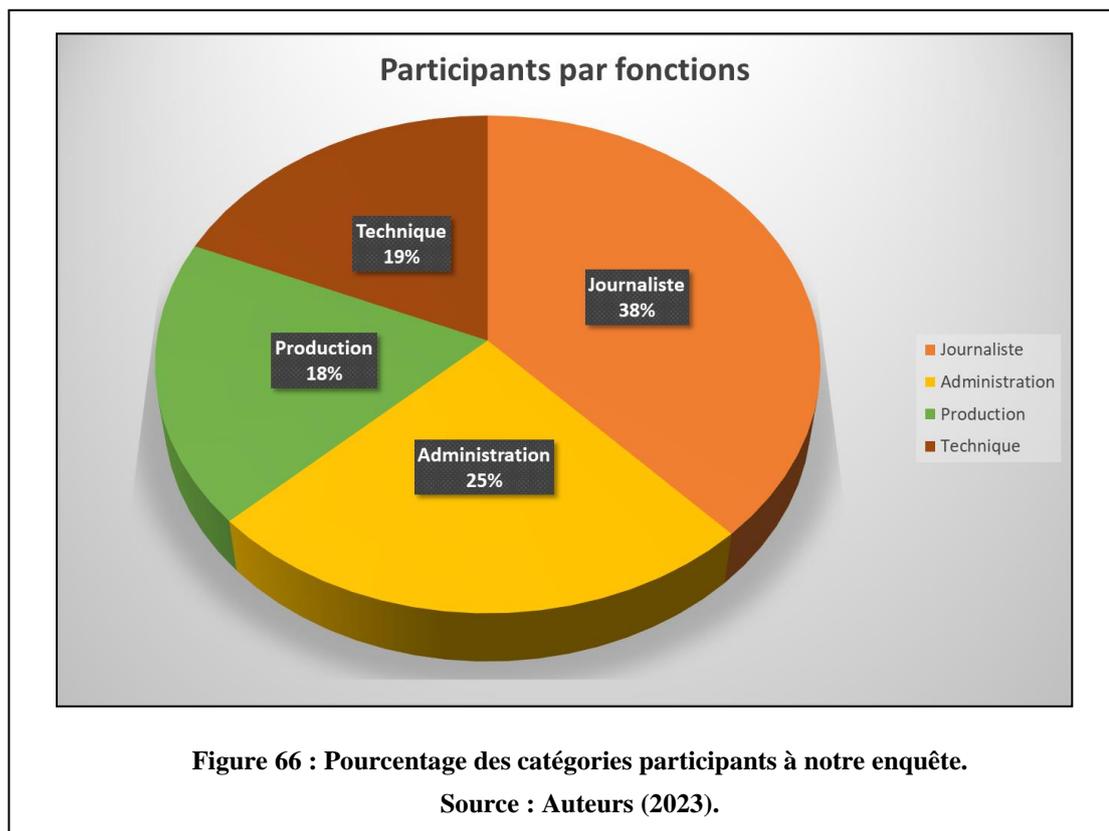
4.6.2 Questionnaire sur le projet futur de la radio-télévision locale

4.6.2.1 Informations générales

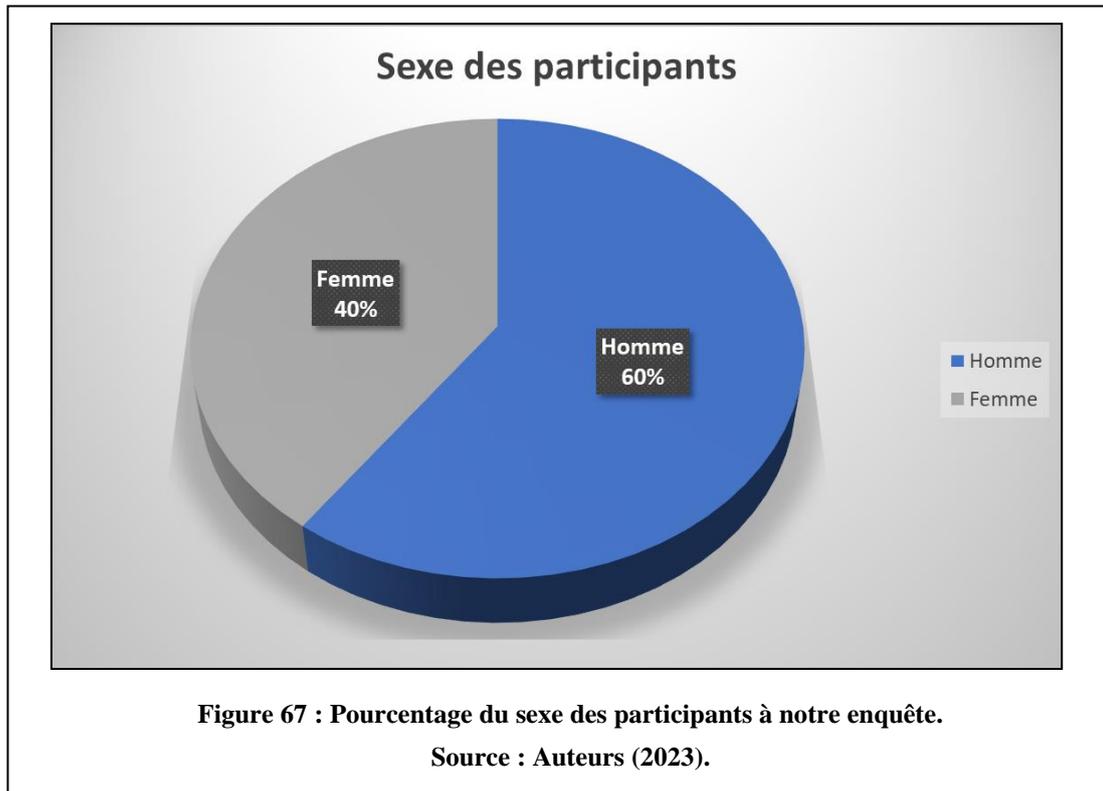
Ce deuxième questionnaire a été conçu pour les employés de la radio locale de la wilaya de Jijel. Au total, nous avons questionné 35% de cette population cible. La composition de ces membres est montrée dans les figures suivantes :

Les figures 66, 647 et 68 ci-dessous illustrent la diversité de notre échantillon en fonction des critères suivants :

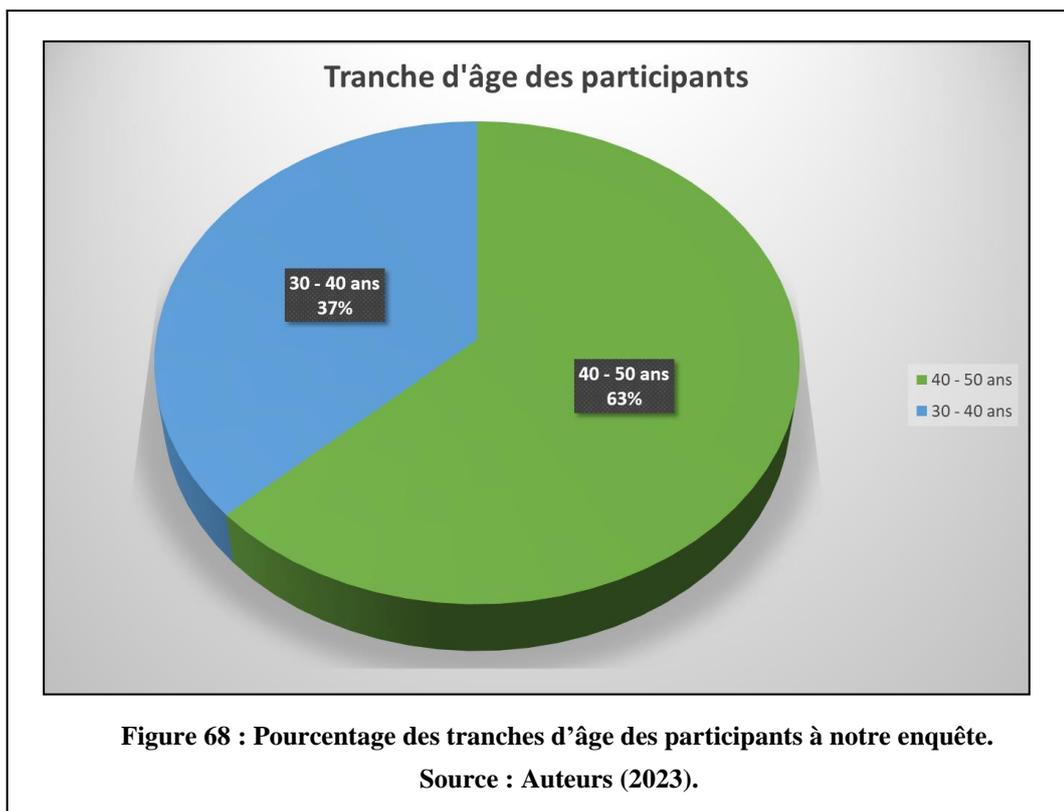
- ✓ **La répartition des fonctions** : nous avons essayé d'inclure la plupart des fonctions présentes dans le siège, en mettant l'accent sur une proportion importante de journalistes : 38%, car ils représentent la fonction principale de ce siège.



- ✓ **La répartition par sexe** : contrairement au premier échantillon, le deuxième était presque équitable entre les hommes 60 % et les femmes 40 %, car nous avons choisi des heures de travail adaptées aux deux genres.



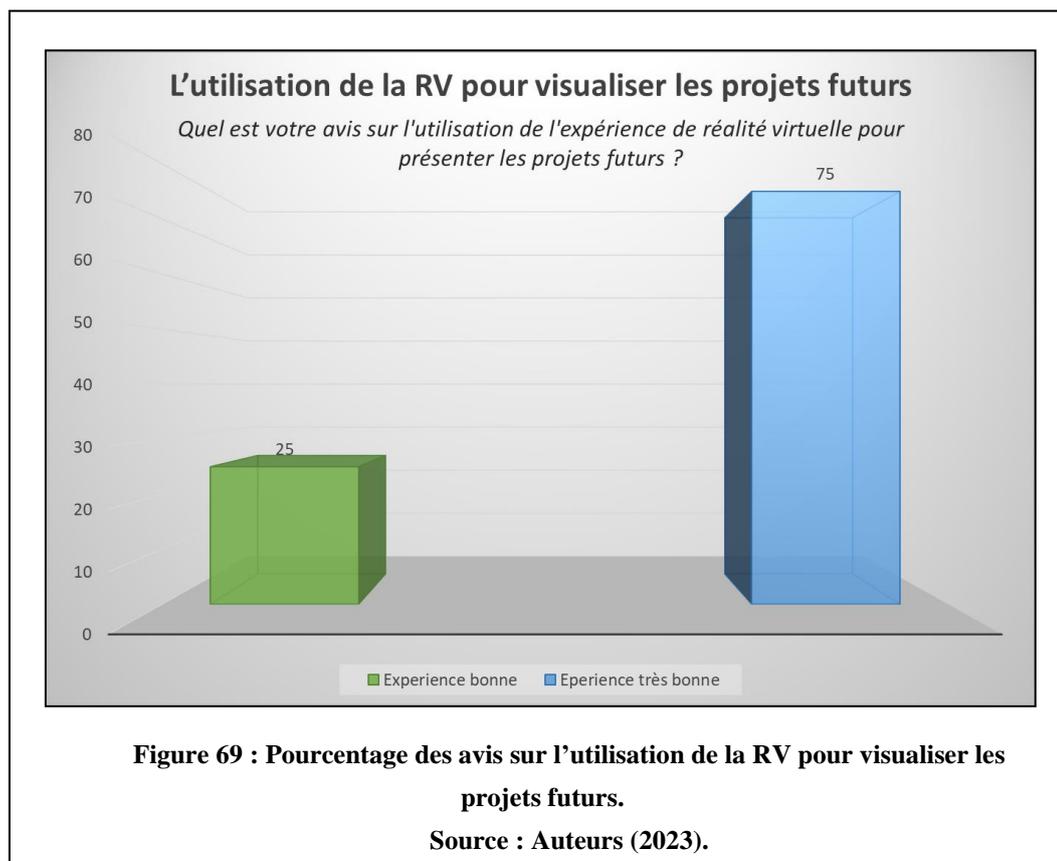
- ✓ **La répartition par âge :** notre échantillon a touché les deux principales tranches d'âge : 30 – 40 ans et 40 – 50 ans, mais nous avons particulièrement ciblé la tranche de 40 à 50 ans avec un pourcentage de 63 % en raison de leur expérience et de leur connaissance des besoins de la profession, ainsi que de leur intérêt et de leur impression vis-à-vis de la technologie utilisée : la réalité virtuelle (RV).



✚ Afin d'orienter notre enquête vers notre objectif principal : la vérification nos hypothèses, nous avons posé les questions suivantes à l'échantillon sélectionné et avons recueilli leurs évaluations selon l'échelle présentée dans la figure 57.

4.6.2.2 Avis sur l'utilisation de l'expérience de la RV visualiser les projets futurs

D'après les données présentées dans la figure 66, on peut observer que la majorité des employés (75%) ont indiqué que leur expérience avec la RV pour visualiser les projets était très bonne. Les 25% restants l'ont notée comme bonne, ce qui démontre que cette expérience est globalement positive et bien perçue.

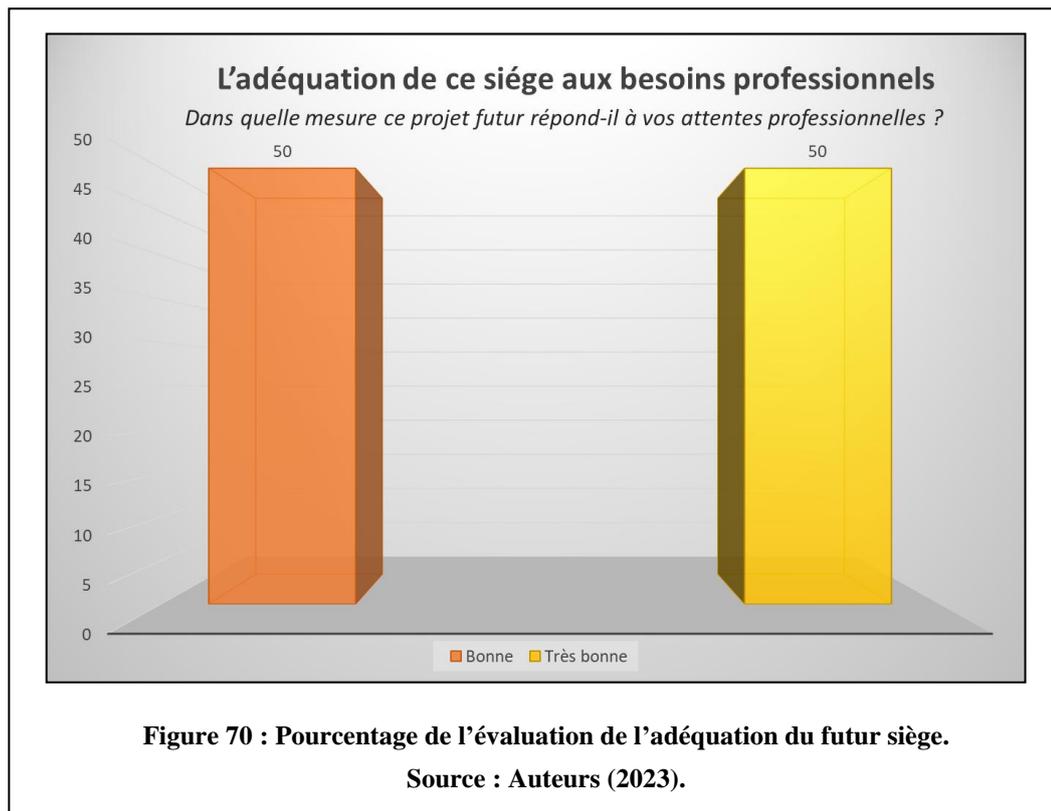


Cela renforce notre hypothèse selon laquelle l'utilisation de la RV permet une meilleure compréhension des espaces. En comprenant mieux l'espace, il devient possible de prendre des décisions plus éclairées pour son aménagement et son utilisation optimale.

4.6.2.3 L'adéquation du futur siège aux besoins professionnels

Selon les données présentées dans la figure 67, l'adéquation du siège proposé, telle qu'évaluée par l'échantillon sélectionné, était répartie de manière équitable entre bonne et très bonne, avec un pourcentage de 50%. Cela indique que l'adéquation du siège a été réussie, en

prenant en compte les exigences exprimées par les utilisateurs (questionnaire 01). En revanche, le siège actuel de la radio ne répondait qu'acceptablement à leurs attentes.



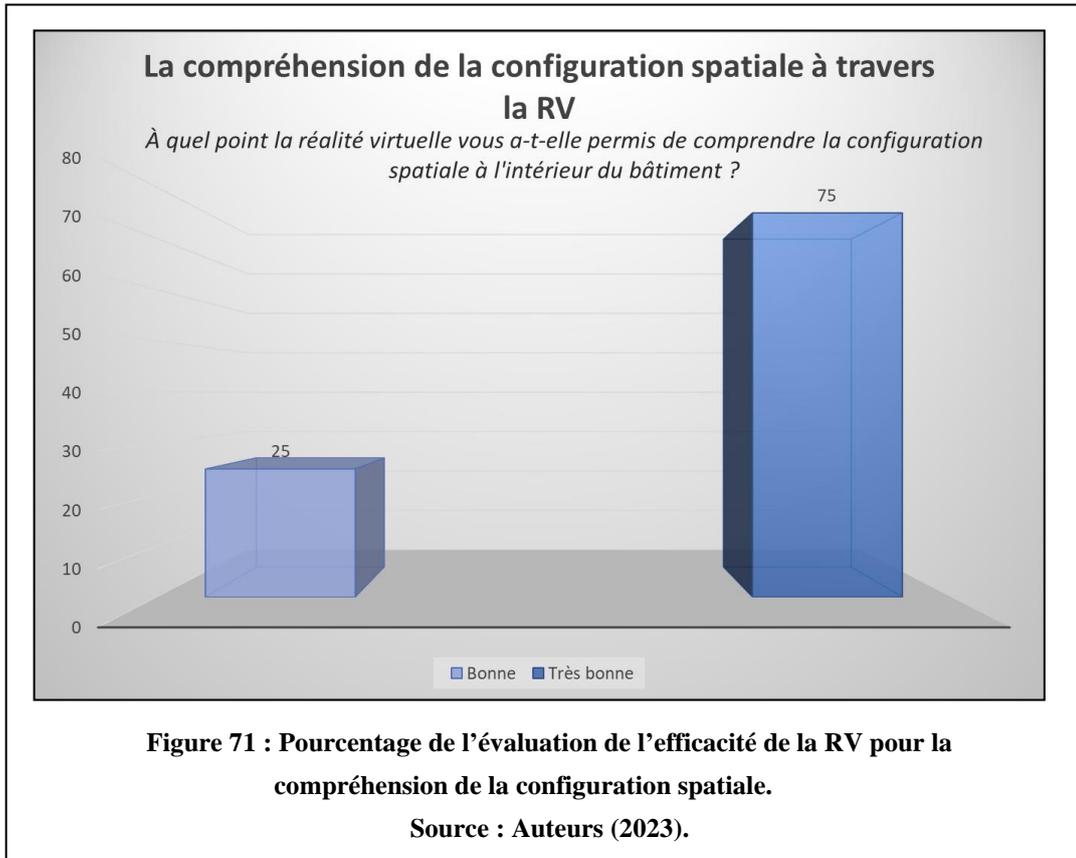
Tout cela est dû à la façon dont les deux projets ont été conçus : le premier consistait en la reconversion d'un bâtiment existant et la réalisation de diverses transformations post-occupation, tandis que le siège futur a été conçu en conformité avec les normes, les exigences et les recommandations des occupants toute en intégrant les technologies nécessaires et les utilisateurs, tels qu'abordés dans notre mémoire de recherche.

Les deux points essentiels, à savoir les utilisateurs et les technologies, jouent un rôle crucial et peuvent constituer une solution pour résoudre les problèmes liés aux transformations post-occupation. Les données recueillies nous ont permis de renforcer notre objectif de démontrer l'importance de ces facteurs et leur rôle dans la conception d'espaces adaptés aux besoins des utilisateurs. En tenant compte des exigences et des attentes des occupants dès la phase de conception, il devient possible de créer des environnements qui répondent mieux à leurs besoins, ce qui contribue à minimiser les problèmes de transformation ultérieure et à améliorer la satisfaction globale des utilisateurs.

4.6.2.4 L'efficacité de la RV pour la compréhension de la configuration spatiale

D'après les données présentées dans la figure 68, il ressort que la compréhension de la configuration spatiale des espaces intérieurs et extérieurs du projet futur du siège de la radio-télévision, en utilisant la technologie de la RV, a été évaluée comme très bonne par la majorité des

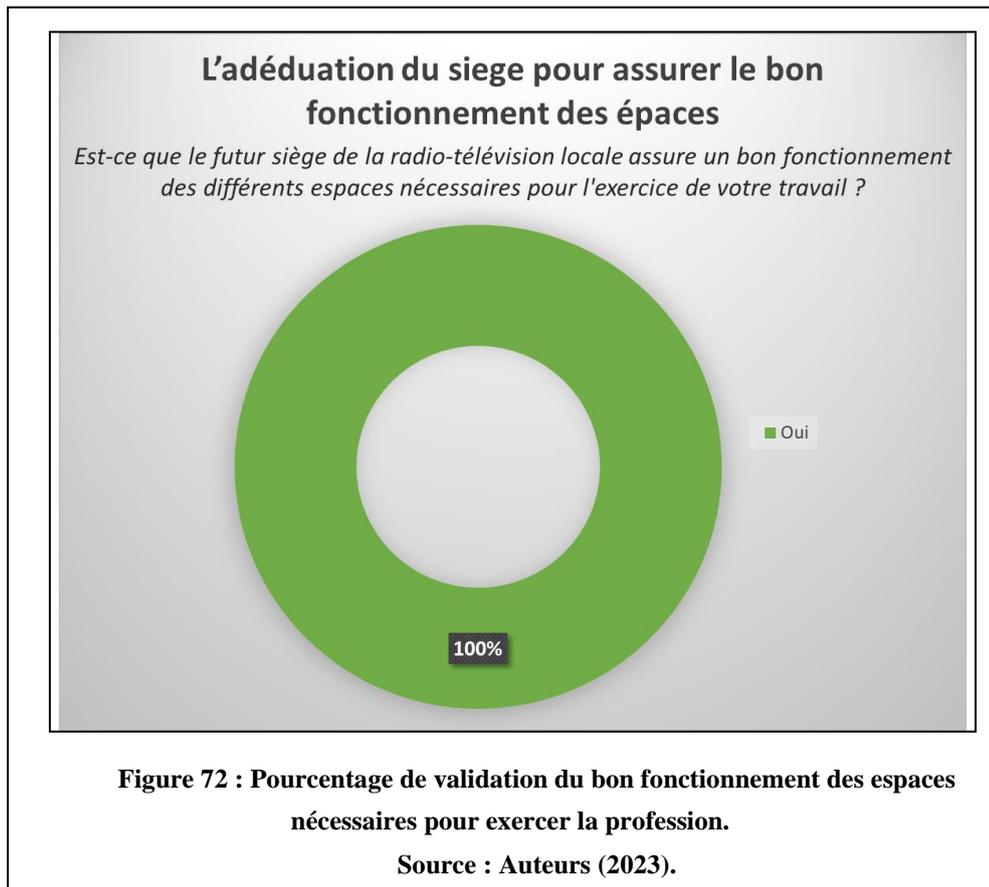
répondants, soit 75%. Les 25% restants l'ont notée comme bonne. Ces résultats indiquent que la compréhension a été bien prise en compte et bien assimilée grâce à l'utilisation de la RV, qui a permis aux employés de vivre l'espace proposé de manière immersive et en temps réel.



Les réponses concernant la bonne compréhension grâce à l'intégration de la technologie de RV dans la visualisation du projet servent de solide argument en faveur de notre hypothèse, qui propose ces outils comme une des solutions aux problèmes de transformations post-occupation grâce à la meilleure compréhension des espaces et de leur configuration. Cela renforce nos objectifs de démontrer les avantages et les potentialités que ces outils peuvent apporter tout au long du processus de conception architecturale.

4.6.2.5 L'adéquation du futur siège pour soutenir les différents espaces de travail nécessaires

Le projet futur a été validé par l'ensemble des répondants, avec 100% de réponses positives selon la figure 69. Cette adéquation a été visualisée à l'aide de l'outil de RV, notamment le casque Oculus Rift, au sein du siège actuel (voir les annexes page VI).



Ce taux de réponse positif de 100% a été rendu possible grâce à la collaboration des utilisateurs de ce projet, à l'utilisation des dernières technologies et à la prise en compte des recommandations proposées par les répondants lors du premier questionnaire.

Les données collectées nous permettent d'affirmer que notre enquête a abouti aux résultats attendus pour confirmer nos hypothèses et pour pousser nos objectifs vers la réussite et la progression continue.

4.7 L'apport et la contribution de l'utilisation de la RV et la RA dans la conception des projets futurs

L'utilisation de la RV et de la RA dans la conception des projets futurs représente une avancée majeure dans le domaine de la construction. Ces technologies offrent des possibilités uniques pour visualiser et expérimenter les espaces avant même leur construction physique. Grâce à la RV, les concepteurs et les utilisateurs peuvent se plonger dans des environnements virtuels réalistes, permettant une exploration immersive et une compréhension approfondie de l'espace. Cela permet de mieux évaluer l'agencement, l'ergonomie, les matériaux et l'ambiance des lieux, ce qui facilite la prise de décision et contribue à des résultats finaux plus satisfaisants.

La RA, quant à elle, offre la possibilité d'enrichir les espaces réels avec des éléments virtuels. Elle permet de superposer des informations numériques, des maquettes virtuelles ou des simulations visuelles sur l'environnement physique, offrant ainsi une expérience interactive et informative.

L'une des grandes forces de la RV et de la RA réside également dans leur capacité à faciliter la collaboration et la communication entre les membres de l'équipe de conception, les clients et les utilisateurs finaux. Grâce à ces technologies, les parties prenantes peuvent explorer et interagir avec les modèles virtuels en temps réel, fournir des commentaires précis et contribuer activement au processus de conception. Cela favorise une approche plus participative et une meilleure compréhension mutuelle, ce qui conduit à des résultats plus satisfaisants pour toutes les parties impliquées et pourra constituer une solution efficace pour prévenir les problèmes de transformations post-occupation des espaces architecturaux, évitant ainsi des dépenses supplémentaires et des retards dans les délais initialement prévus.

En somme, l'intégration de la VR et de l'AR dans le processus de conception des projets futurs offre de multiples avantages, allant de la visualisation immersive à la collaboration accrue, en passant par l'amélioration de l'expérience utilisateur. Ces technologies révolutionnent la manière dont les concepteurs conçoivent et communiquent leurs idées, ouvrant de nouvelles perspectives pour une conception plus efficace, créative et centrée sur les besoins des utilisateurs.

4.8 L'intégration de la RV et la RA dans le processus de la conception architecturale : limites et perspectives

Durant notre expérience dans l'utilisation de technologies de la RV et la RA dans notre domaine et durant notre enquête, nous avons pu identifier plusieurs obstacles majeurs. Parmi les principaux problèmes rencontrés est le malaise que peuvent ressentir les utilisateurs lorsqu'ils sont plongés dans des expériences immersives liées à ces technologies. De plus, le coût élevé du matériel requis pour la réalisation de visites virtuelles constitue un autre défi majeur. Les casques de RV et les ordinateurs dotés d'une grande capacité de traitement sont souvent nécessaires pour offrir des environnements virtuels de haute qualité. Cela peut représenter un investissement financier conséquent, limitant ainsi l'accessibilité de ces technologies pour de nombreux utilisateurs et concepteurs.

En outre, une bonne maîtrise et une manipulation adéquate des logiciels et des outils associés sont essentielles pour exploiter pleinement le potentiel de la RV et de la RA. Il est indispensable de posséder une expertise technique solide afin de créer des expériences immersives convaincantes et de résoudre d'éventuels problèmes techniques.

C'est là que notre idée a pris position de créer notre start-up spécialisée, qui va agir en tant qu'intermédiaire entre les concepteurs et ces technologies. Notre objectif est de faciliter l'accès à la

RV et à la RA en proposant des services de sous-traitance. Nous mettons notre expertise à disposition pour aider les concepteurs à surmonter les obstacles liés à ces technologies. Nous nous chargeons de la gestion du matériel coûteux et de la maîtrise des logiciels nécessaires, permettant ainsi aux concepteurs de se concentrer sur leur processus de conception sans être freinés par les contraintes techniques

4.9 Recommandations

- ❖ Inclure les utilisateurs finaux, les clients et les parties prenantes dans le processus de conception dès le début. Leur participation active permet de mieux comprendre leurs besoins et leurs attentes, ce qui réduit les risques de mécontentement et de modifications majeures après l'occupation.
- ❖ Utiliser la RV pour permettre aux utilisateurs de vivre une expérience immersive dans les espaces conçus virtuellement. La RA peut être utilisée pour superposer des éléments numériques dans l'environnement réel, permettant ainsi une meilleure compréhension de l'interaction entre les éléments architecturaux et les occupants potentiels.
- ❖ L'utilisation de la RV pour explorer et tester différentes configurations d'espace, matériaux, couleurs, éclairages, etc. Cela permet de visualiser et de comparer les différentes options avant la construction physique, évitant ainsi les erreurs coûteuses et les modifications post-occupationnelles.
- ❖ Faciliter la maintenance et la gestion des bâtiments en utilisant ces outils car ils permettent de travailler de manière plus efficace, améliorer la précision des interventions, réduire les temps d'arrêt et prolonger la durée de vie des équipements. Ces technologies contribuent à une gestion plus proactive et à une maintenance préventive, permettant ainsi une meilleure performance et une gestion plus durable des bâtiments.
- ❖ L'exploitation des outils de RV et de RA pour faciliter la collaboration et la communication entre les membres de l'équipe de conception et les utilisateurs finaux. Cela permet d'obtenir des commentaires précis et en temps réel, d'identifier les problèmes potentiels et de les résoudre avant l'occupation.
- ❖ Favoriser l'innovation et la créativité en encourageant les architectes et les concepteurs en à exploiter pleinement les possibilités offertes par la RV et la RA pour explorer de nouvelles idées, des formes architecturales innovantes. Ces outils stimulent la créativité en offrant des moyens plus immersifs et interactifs d'expérimenter et de visualiser les idées de conception.
- ❖ Accompagner les intervenants du secteur de la construction dans l'adoption des nouvelles technologies en offrant des programmes de formation et de soutien aux architectes et aux

concepteurs pour les aider à maîtriser les outils de RV et de RA qui est l'un des principaux piliers de notre entreprise start-up proposée.

- ❖ L'exploitation de la RV et la RA pour simuler et évaluer l'impact environnemental des bâtiments dès les premières étapes de conception. Cela permet d'optimiser l'efficacité énergétique, de minimiser la consommation d'eau, de promouvoir l'utilisation de matériaux durables et de réduire l'empreinte carbone des bâtiments.

4.10 Conclusion

On a constaté que le non-recours aux outils technologiques numériques et le manque d'intégration des occupants dans le processus de production des espaces architecturaux sont des lacunes importantes qui entraînent des transformations post-occupationnelles coûteuses et désastreuses.

Aujourd'hui, avec les avancées technologiques et les exigences en matière de développement durable, il est impératif de suivre la voie de la numérisation et de la digitalisation du domaine du bâtiment, offrant de grandes opportunités aux acteurs du secteur et aux utilisateurs, tout en améliorant l'efficacité et la durabilité. Cette avancée permet de renforcer la cohérence entre la conception et l'environnement, tandis que l'utilisation d'outils numériques garantit une superposition efficace de l'espace avec sa fonction et les besoins des occupants. Ces outils permettent d'optimiser les processus de conception, de visualiser les performances énergétiques, d'anticiper les problèmes potentiels et de réduire les coûts de construction et d'exploitation, facilitant également la gestion et la maintenance des bâtiments tout au long de leur cycle de vie.

Nos recherches et les résultats obtenus mettent en évidence l'importance de l'intégration des utilisateurs et de la collaboration étroite entre les architectes et les clients. De plus, ils démontrent le potentiel des nouvelles technologies pour une meilleure compréhension des espaces et leur efficacité face aux défis des transformations post-occupationnelles des espaces architecturaux.

En adoptant ces approches, les acteurs de l'architecture peuvent éviter les erreurs coûteuses et les problèmes fonctionnels liés aux transformations post-occupationnelles. Ils peuvent créer des espaces architecturaux qui répondent véritablement aux besoins des occupants, offrant une expérience positive et durable. Il est donc crucial d'adopter et de mettre en œuvre ces méthodes de travail axées sur l'intégration des utilisateurs et l'utilisation des technologies numériques dans l'industrie architecturale. Cela permettra de relever les défis actuels, d'améliorer les résultats et de contribuer au développement durable du secteur du bâtiment.

CONCLUSION GENERALE

Ces dernières années, le développement technologique des outils utilisés dans le domaine de la construction a connu une avancée impressionnante. L'intégration des outils numériques a permis aux acteurs de ce domaine de créer et de révolutionner les conceptions architecturales intelligentes en un temps record. La digitalisation et la numérisation du secteur du bâtiment sont devenues des solutions primordiales pour résoudre les problèmes et les conflits rencontrés lors du processus de conception architecturale, et le principal problème rencontré est celui des transformations post-occupationnelles de nos espaces. Nous avons constaté que ces transformations sont le résultat de mauvaises conceptions qui négligent la fonction spatiale, l'utilisateur et ses propres besoins. Bien que certains architectes y accordent de l'importance, les outils de visualisation et de transmission des travaux ne sont pas adéquats et mal utilisés. Il est difficile de faire comprendre à un client le plan de sa maison avec un simple dessin en 2D ou même une modélisation 3D. Les outils technologiques tels que la réalité virtuelle (RV) et la réalité augmentée (RA) permettent à l'utilisateur **de vivre son espace avec une immersion totale**, ce qui lui permet de le comprendre et de s'y situer afin de déterminer s'il convient à ses besoins ou s'il nécessite des modifications. De telles modifications ne nécessiteront pas de dépenses supplémentaires, comme cela serait le cas si l'utilisateur rencontrait ces problèmes lors de l'occupation de son espace.

Dans le cadre de notre recherche, nous avons examiné plusieurs hypothèses visant à résoudre le problème majeur des transformations post-occupationnelles des espaces architecturaux. À travers notre étude de cas axée sur une catégorie spécifique d'occupants, à savoir les employés de la radio locale de la wilaya de Jijel, nous avons pu obtenir des résultats pertinents grâce à notre échantillon et à notre enquête approfondie.

Nous avons constaté que l'une des principales raisons des transformations indésirables dans les espaces architecturaux est l'inadéquation entre la conception des espaces et leurs fonctions réelles. Ce problème découle souvent d'un manque d'intégration adéquate des utilisateurs dans le processus de conception. Bien que les architectes prennent généralement en compte les besoins des clients, il existe parfois un écart entre les besoins globaux exprimés par les clients et la conception finale des espaces. Cette négligence de l'intégration des utilisateurs peut entraîner des problèmes ultérieurs, car les espaces ne répondent pas pleinement aux exigences spécifiques des occupants.

Un deuxième facteur contribuant à ces transformations est l'utilisation d'outils traditionnels dans le processus de conception. Les méthodes de consultation et de visualisation des projets architecturaux peuvent se limiter à des dessins en deux dimensions ou à des modélisations 3D basiques. Cela limite la capacité des clients à visualiser et à comprendre pleinement les espaces proposés. En conséquence, des problèmes potentiels peuvent émerger une fois les espaces occupés, car les attentes des utilisateurs ne sont pas entièrement satisfaites.

Les résultats de notre enquête ont renforcé notre objectif principal, qui est d'intégrer les outils technologiques dans le processus de conception architecturale, tout en favorisant une collaboration fluide avec les utilisateurs des espaces. Les réponses recueillies ont mis en évidence la nécessité d'adopter des approches plus innovantes et interactives pour la conception des espaces architecturaux.

En intégrant les outils technologiques tels que la RV dans le processus de conception, nous pouvons offrir aux utilisateurs une expérience plus immersive et participative, ce qui leur permet d'explorer virtuellement les espaces proposés, de visualiser les aménagements intérieurs, de tester les fonctionnalités et d'apporter des modifications en temps réel. Cela favorise une meilleure compréhension des concepts architecturaux et permet aux utilisateurs de prendre des décisions plus éclairées. Mais aussi, la collaboration de manière fluide avec les utilisateurs tout au long du processus de conception, permet de recueillir des informations précieuses sur leurs besoins spécifiques, leurs préférences et leurs contraintes. Cette collaboration étroite permet d'adapter la conception des espaces pour répondre de manière optimale aux attentes des utilisateurs. Ces démarches mentionnées pourront faciliter la communication et la visualisation des idées, ce qui favorise une meilleure compréhension mutuelle et évite les malentendus pouvant conduire à des transformations post-occupationnelles coûteuses.

Il est essentiel de prendre en considération les recommandations concernant l'intégration de ces démarches dans le processus de conception architecturale, compte tenu du développement continu des technologies. La digitalisation et la numérisation du domaine du bâtiment ont déjà tracé leur chemin dans les pays développés, ce qui nécessite de prendre une longueur d'avance et de suivre cette voie. Il est important de souligner l'importance d'étudier les stratégies d'adoption de l'utilisation de ces technologies afin de les mettre en œuvre correctement sur le terrain. Cela implique de comprendre les avantages potentiels, d'identifier les outils technologiques les plus pertinents pour chaque étape du processus de conception, de former les professionnels du domaine à leur utilisation et de développer des méthodologies adaptées. L'adoption de ces démarches nécessite une volonté de changement et une ouverture d'esprit pour embrasser les nouvelles possibilités offertes par les technologies.

On peut en conclure, qu'en adoptant une approche collaborative et en utilisant les outils technologiques adaptés, il est possible de réduire les transformations post-occupationnelles et d'assurer une meilleure adéquation entre les espaces architecturaux et les besoins réels des occupants. Cette approche permettra de minimiser les coûts supplémentaires liés aux modifications ultérieures et d'améliorer la satisfaction globale des utilisateurs vis-à-vis de leurs espaces de travail.

Références bibliographiques

- Akabli, M. 2018. Logiciel DAO, CAO, PAO (différence et définition). Available: <https://btp-cours.com/logiciel-daocaopao-difference-e/>. Consulté le 24/11/2022
- Angadi, H. 2014. Ré-appropriation par les usagers de l'espace habité : cas de la ville de Tlemcen. Available: <http://dspace.univ-tlemcen.dz/handle/112/10769>. Consulté le 15/12/2022
- Autodesk. 2023a. *3ds Max : créez de vastes univers et des conceptions de haute qualité* [Online]. Available: https://www.autodesk.fr/products/3ds-max/overview?us_oa=dotcom-us&us_si=04918e40-0c8c-4735-b5fd-8b140b708fd7&us_st=3ds%20Max&us_pt=3ds%20Max. Consulté le 20/02/2023
- Autodesk. 2023b. *Conception, ingénierie, électronique et fabrication unifiées dans Fusion 360* [Online]. Available: https://www.autodesk.fr/products/fusion-360/overview?us_oa=dotcom-us&us_si=0fe1095b-9b96-4b33-b5d7-ceb165e7ddb7&us_st=fusion%20360&us_pt=Fusion%20360&term=1-YEAR&tab=subscription&plc=F360. Consulté le 20/02/2023
- Autodesk. 2023c. *Logiciel de CAO 2D et 3D AutoCAD* [Online]. Available: https://www.autodesk.fr/products/autocad/overview?us_oa=dotcom-us&us_si=79c7f14b-8684-4506-9096-8ebcc81f51db&us_st=autocad&us_pt=AutoCAD&term=1-YEAR&tab=subscription&plc=ACDIST. Consulté le 20/02/2023
- Autodesk. 2023d. *Qu'est-ce que l'impression 3D?* [Online]. Available: <https://www.autodesk.ca/fr/solutions/3d-printing>. Consulté le 20/02/2023
- Autodesk. 2023e. *Revit : logiciel BIM pour les concepteurs, les constructeurs et les créateurs* [Online]. Available: https://www.autodesk.fr/products/revit/overview?us_oa=dotcom-us&us_si=bb3bb178-2ee1-4537-8e05-b119a42bb67f&us_st=revit&us_pt=Revit&term=1-YEAR&tab=subscription&plc=RVT. Consulté le 20/02/2023
- Bailly, M. 2013. La photo panoramique 360°. Available: <http://www.mb-photographe-webmaster.fr/photo-entreprises/photo-panorama-360.html>. Consulté le 03/02/2023
- Bhatt, R. 2010. Christopher Alexander's pattern language: an alternative exploration of space-making practices. *The Journal of Architecture*, 15, 711-729. Consulté le 06/11/2022
- Bonilla, M. 2019. Histoire et évolution des TIC. Available: <https://www.thpanorama.com/blog/tecnologia/historia-de-las-tics-desde-su-origen-hasta-la-actualidad.html>. Consulté le 17/11/2022
- Braudo, S. 2023. Dictionnaire du droit privé. In: BAUMANN, S. B. A. (ed.) *Dictionnaire juridique de Serge Braudo*
- Broschart, D. & Zeile, P. 2015. Architecture: augmented reality in architecture and urban planning. *Peer reviewed proceedings of digital landscape architecture*, 2015, 111.

-
- Caixeta, M., Fabrico, M. M. & Tzortropoulos, P. 2013. User Involvement at the Early Stages of Design: a case study in healthcare. *International Postgraduate Research Conference* [Online], 11. Available: https://www.researchgate.net/profile/Michele-Caixeta/publication/279749508_User_Involvement_at_the_early_stages_of_Design_A_Case_Study_in_Healthcare/links/55f84f5708ae07629dd2d2ea/User-Involvement-at-the-early-stages-of-Design-A-Case-Study-in-Healthcare.pdf. Consulté le 05/03/2023
 - Chaos. 2023. The all-in-one visualization solution for Rhino and Grasshopper. Available: <https://www.chaos.com/vray/rhino>. Consulté le 20/02/2023
 - Ching, F. D. 2023. *Architecture: Form, space, and order*, John Wiley & Sons.
 - Ching, F. D. & Inkel, S. R. 2021. *Building Codes Illustrated: A Guide to Understanding the 2021 International Building Code*, John Wiley & Sons.
 - Chougui, A. & Tachrift, A. 2007. VERS UNE ARCHITECTURE INTEGRATIVE : L'IMPACT DE LA NTIC* SUR LA CONCEPTION ARCHITECTURALE, PROCESSUS & PRODUIT. Available: <https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/409/0/26/58216>. Consulté le 06/12/2022
 - De botton, A. 2008. *The architecture of happiness*, Vintage.
 - Defays, A. & Elsen, C. 2018. Architecte et maître d'ouvrage: main dans la main, ou dos à dos? *Archinews*, 18.
 - Delgado, J. M. D., Oyedele, L., Demain, P. & Beach, T. 2020. A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction. *Advanced Engineering Informatics* [Online], 45. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474034620300914>. Consulté le 06/01/2023
 - Designcad, P. 2021. CAO et BIM, quelles différences ? Available: https://www.cogistem.com/actualites/19_cao-bim-quelles-differences#:~:text=Parfois%20interchang%C3%A9s%20CAO%20et%20BIM,b%C3%A2timent%20jusqu'%C3%A0%20son%20exploitation.
 - Djalel, G. 2021. *Mutations architecturales et fonctionnelles dans les quartiers d'habitat intermédiaire. Cas d'étude: 72 logements semi-collectifs, ZHUN n° 03, POS 10 à Tébessa.*
 - Doyon, M. 2018. Et si votre immeuble devenait intelligent? Available: <https://www.baulne.ca/batiments-intelligents-immotique/>. Consulté le 21/01/2023
 - Dridi, A. & Moudjari, M. 2019. Approche pluridisciplinaire. Réussir la maîtrise d'ouvrage intégrée d'un projet architectural et urbanistique. Available: <http://bib.univ-oeb.dz:8080/jspui/handle/123456789/12086>. Consulté le 18/01/2023
 - Dynamo. 2019. *Guide Dynamo* [Online]. Available: <https://primer.dynamobim.org/fr/>. Consulté le 20/02/2023

-
- Effy. 2019. L'immotique : les solutions domotiques à grande échelle. Available: <https://www.quelleenergie.fr/economies-energie/domotique/immotique>. Consulté le 12/02/2023
 - Elektronik, T. M. 2019. TÉLÉMÈTRE LASER – COMMENT FONCTIONNE-T-IL ET COMMENT LE CHOISIR? Available: <https://www.tme.eu/fr/news/library-articles/page/21956/Telemetre-laser-comment-fonctionne-t-il-et-comment-le-choisir/>. Consulté le 02/03/2023
 - Enscape. 2023. *Industry-leading real-time visualization for architects* [Online]. Available: <https://enscape3d.com/>. Consulté le 20/02/2023
 - Fandard, C., Albuquerque, M., Lima DE, Vezien, J., Safin, S. & Nelson, J. 2021. La Réalité Virtuelle au service de la conception architecturale participative : une étude exploratoire. *ERGO'IA 2021*. Bidart, France.
 - Filloux, A. 2017. Applications de l'immotique. Available: <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/archives-th12/archives-droit-et-organisation-generale-de-la-construction-tiacb/archive-1/immotique-c3782/>. Consulté le 19/01/2023
 - Folcher, V. 2015. Conception pour et dans l'usage: la maîtrise d'usage en conduite de projet. *Journal of Human Mediatized Interactions/Revue des Interactions Humaines Médiatisées*, 16.
 - Formlabs. 2023. *Impression 3D : FDM, SLA ou SLS ?* [Online]. Available: <https://formlabs.com/fr/blog/impression-3D-fdm-sla-sls/>. Consulté le 02/03/2023
 - Futura. 2021. Casque de réalité virtuelle : qu'est-ce que c'est ? Available: <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/technologie-casque-realite-virtuelle-15064/>. Consulté le 26/01/2023
 - Gandhi, R. D. & PATEL, D. S. 2018. Virtual reality—opportunities and challenges. *Virtual Reality*, 5, 2714-2724.
 - Garcés, M. 2020. *Escuela de aprendices*, Galaxia Gutenberg Barcelona.
 - Gerardi, J. 2022. TENDANCES EN MATIÈRE DE TECHNOLOGIE DE CONSTRUCTION. ProEst.
 - Gosiniak, C. 2018. Réalité virtuelle et Réalité augmentée en bibliothèque : panorama et perspectives.
 - Goubaa, A. 2018. *Genèse des transformations de l'habitat dans les quartiers planifiés cas de 500 logements participatifs à Chetma*. Université Mohamed Khider–Biskra.
 - Graphisoft. 2023. Archicad, l'Architecture partagée. Available: <https://archicad.fr/>.
 - Haddad, N. M. 2022. Un plongeon dans le BIM. *LIBERTE*.
 - Hoyet, N., Duchene, F. & Fouquet, M. D. 2016. *BIM et architecture*
 - Insider, L. 2023. *Law Insider Law Insider*
 - Kibert, C. J. 2016. *Sustainable construction: green building design and delivery*, John Wiley & Sons.

-
- Kihal, H. 2021. cour introduction - Histoire de l'architecture algérienne1 (XIXe-XXe Siècles). Available: <http://elearning.univ-jijel.dz/mod/resource/view.php?id=25477>. Consulté le 25/12/2022
 - Kipper, G. & Rampolla, J. 2013. *Augmented Reality An Emerging Technologies Guide to AR First Edition*, Syngress.
 - Krier, L. 2009. *The architecture of community*, Island Press.
 - Kujala, S. 2003. User involvement: a review of the benefits and challenges. *Behaviour & information technology*, 22, 1-16.
 - Lagro JR, J. A. 2011. *Site analysis: A contextual approach to sustainable land planning and site design*, John Wiley & Sons.
 - Lobiyed, A. 2023. Espace en Architecture 1.
 - Luck, R. 2018. Participatory design in architectural practice: Changing practices in future making in uncertain times. *Design Studies* [Online], 59. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0142694X18300693>. Consulté le 24/03/2023
 - Lumion. 2022. *Lumion Logiciel de visualisation temps réel & rendus 3D photo-réalistes* [Online]. Available: <https://www.lumion3d.fr/>. Consulté le 20/02/2023
 - Mikki, A. 2017. Mechanisms for Applying Smart Architecture Requirements to Administrative Buildings.
 - Milovanovic, J., Moreau, G., Siret, D. & Miguet, F. Virtual and augmented reality in architectural design and education. 17th international conference, CAAD futures 2017, 2017.
 - Mokrani, O. & Chekiel, A. 2019. Le Role du" BIM" dans la gestion des projets architecturaux durant la phase de conception.
 - Nawari, N. O. & Kuenstle, M. 2015. *Building information modeling: Framework for structural design*, CRC Press.
 - Nicolas & Thomas. 2009. L'immotique et la domotique (Gestion de l'énergie dans les bâtiments). *ecologie.net* [Online]. Available: <http://economie.over-blog.net/article-33471533.html>. Consulté le 13/01/2023
 - Nicolas, F. G. 1981. *La psychologie de l'espace*.
 - Oliver, C. & LEBÈGUE, E. 2015. *BIM et maquette numérique: Pour l'architecture, le bâtiment et la construction*.
 - Orillard, C. 2014. Kevin Lynch et l'innovation dans les systèmes de visualisation urbaine. *Communication & langages*, 63-77.
 - Othmani, M. N. 2010. *Etude des interactions maître d'œuvre-maître d'ouvrage dans un processus de conception architecturale*. Université Mohamed Khider-Biskra.

-
- Pamungkas, L. S., Meytasari, C. & Trieddiantoro, H. Virtual Reality As A Spatial Experience For Architecture Design: A Study of Effectiveness for Architecture Students. SHS Web of Conferences, 2018. EDP Sciences, 05005.
 - Pinson, D. 2016. L’habitat, relevé et révélé par le dessin: observer l’espace construit et son appropriation. *Espaces et sociétés*, 49-66.
 - Praxi. 2023. STATION LASER LEICA 3D DISTO (V6.0). Available: <https://www.praxi.fr/station-laser-leica-3d-disto-v60-c2x14099112>. Consulté le 03/03/2023
 - Racz, A. & Zilizi, G. 2018. VR aided architecture and interior design.
 - Renaud, A. 2023. Tour d’horizon de la vidéo 360 : Guide, Définition, Usage, Création,.... Available: <https://www.realite-virtuelle.com/tout-savoir-sur-video-360>. Consulté le 12/03/2023
 - Rhinoceros. 2023. New in Rhino 7. Available: <https://www.rhino3d.com/7/new/>.
 - Robertson, T. & SIMONSEN, J. 2012. Participatory Design: an introduction. *Routledge international handbook of participatory design*. Routledge.
 - Rokoei, S., JAVAN, B. & NAZARI, A. Explore Challenges and Benefits of Virtual Reality in Construction Projects. Creative Construction e-Conference 2022, 2022. Budapest University of Technology and Economics, 288-295.
 - Ronsay, J. D. 2000. LES MATERIAUX INTELLIGENTS
 - Russo, M., Giugliano, A., Flenghi, G., Carnevali, L., Martone, M., Marrela, A. & Sapio, F. 2023. Augmented Geometry in university education. *INTED PROCEEDINGS*, 1787-1796.
 - Sacks, R., Eastman, C., Lee, G. & Teicholz, P. 2018. *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers*, John Wiley & Sons.
 - Saffer, D. 2006. Designing for Interaction: Creating Smart Applications And Clever Devices New Riders Pub; 1st edition.
 - Sankar, A. 2019. *Design Architecture in Virtual Reality*. University of Waterloo.
 - Sciences, F. 2022. Réalité virtuelle : qu'est-ce que c'est ? Available: <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/technologie-realite-virtuelle-598/>. Consulté le 07/01/2023
 - Semes, S. W. 2009. *The future of the past: A conservation ethic for architecture, urbanism, and historic preservation*.
 - Senibi, J. 2019. The Role of Technology in the Architecture of the 21st Century. Available: <https://medium.com/@senibijames/the-role-of-technology-in-the-architecture-of-the-21st-century-3dd301e9dc50>. Consulté le 16/01/2023
 - Serge, R. 2020. Lunettes de réalité augmentée : c’est quoi et comment ça marche ? Available: <https://www.realite-virtuelle.com/lunettes-de-realite-augmentee/>. Consulté le 16/12/2023
 - Sheldon, R. 2022. virtual reality. Available: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/virtual-reality>. Consulté le 21/12/2023

-
- Sibué, H. 2022. Scan 3D, définition et usages dans le bâtiment. Available: <https://www.mydigitalbuildings.com/blog/scan-3d-definition-et-usages-dans-le-batiment>. Consulté le 05/03/2023
 - So, A. T.-P. & Chan, W. L. 1999. *Intelligent Building Systems*, Springer.
 - Takieddine, T. 2017. *The added value of interoperability and communication between the actors in the BIM project*. UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA.
 - Tammela, T. 2021. *Augmented Reality in Architecture*.
 - Thibout, A.-C. 2019. Les nouvelles technologies au service de l'architecture. Available: <https://matterport.com/fr/blog/les-nouvelles-technologies-au-service-de-larchitecture#:~:text=Comme%20vous%20avez%20pu%20le,%E2%80%9Cconstruire%20avant%20de%20construire%E2%80%9D>.
 - Trimble. 2022. Sketchup , là où les meilleures idées se concrétisent. Available: <https://www.sketchup.com/fr>. Consulté le 20/02/2023
 - Veschambre, V. 2004. Appropriation et marquage symbolique de l'espace: quelques éléments de réflexion. *ESO: travaux et documents de l'UMR, 6590*, 73-77.
 - Vilar, E., Rebelo, F., Noriega, P., Filgueiras, E. & Duarte, E. 2022. Virtual Reality in Architecture and Design. *Virtual and Augmented Reality for Architecture and Design*. CRC Press.
 - Wang, K., Guo, F., Zhang, C., Hao, J. & Schaerffer, D. Digital Technology in Architecture, Engineering, and Construction (AEC) Industry: Research Trends and Practical Status toward Construction 4.0. *Construction Research Congress 2022*, 2022. 983-992.
 - White, H. 2013. The evolution stages of ICT. Available: <https://prezi.com/xn5vc5twbijq/the-evolution-of-ict/>. Consulté le 26/11/2022
 - Wigginton, M. & Harris, J. 2002. *Intelligent Skins*, Architectural Press.
 - Wolfartsberger, J., Zenisek, J., Sievi, C. & Silmbroth, M. A virtual reality supported 3D environment for engineering design review. 2017 23rd International Conference on Virtual System & Multimedia (VSMM), 2017. IEEE, 1-8.

ANNEXES

Questionnaire sur l'état actuel du siège de la radio locale de la wilaya de Jijel

استبيان حول الحالة الحالية لمقر الإذاعة المحلية لولاية جيجل

Ce questionnaire s'inscrit dans le cadre de préparation d'un mémoire de fin d'études de master 02 en Architecture qui porte sur l'utilisation des nouvelles technologies dans le domaine du bâtiment afin de résoudre les problèmes de transformations post-occupationnelles de l'espace architectural. Nous les étudiantes : BRIHOUM Douaa et NOUASRA Djihane vous prie de bien vouloir répondre à ce questionnaire afin de nous aider dans notre enquête et on vous remercie pour votre collaboration.

يأتي هذا الاستبيان في إطار إعداد أطروحة ماستر 02 في الهندسة المعمارية تتناول استخدام التقنيات الحديثة في مجال البناء لحل مشاكل التحويلات بعد استغلال المساحة المعمارية. نحن الطالبتان: دعاء بريهوم وجيهان نواصرة نطلب منكم الإجابة على هذا الاستبيان للمساهمة في بحثنا ونشكركم على تعاونكم.

I. Cochez la réponse qui vous convient :

اشطب الإجابة الملائمة

1. Quelle est votre tranche d'âge ?

ما هي فئتك العمرية ؟

- Moins de 30 ans Entre 30 – 40 ans Entre 40 – 50 ans Plus de 50 ans
أقل من 30 سنة بين 30 – 40 سنة بين 40 – 50 سنة أكثر من 50 سنة

2. Votre sexe est :

ما هو جنسك ؟

- Masculin Féminin
مذكر مؤنث

3. Quel poste occupez-vous au sein de la radio locale ?

ما هي الوظيفة التي تشغلها داخل الإذاعة المحلية؟

- Directeur Journaliste Employé Autre :
مدير صحفي موظف وظيفة أخرى:

4. Quel est votre avis sur l'état actuel du siège de la radio locale ?

ما هو رأيك حول الحالة الحالية لمقر الإذاعة المحلية؟

- Très mauvais Mauvais Acceptable Bon Très bon
سيئ جدا سيئ مقبول جيد جيد جدا

5. Comment évaluez-vous la configuration spatiale du siège actuel de la station de radio locale ?

كيف تقيّم توزيع المساحات / الأماكن داخل مقر المحطة المحلية الحالي؟

Très mauvais Mauvais Acceptable Bon Très bon
سيئ جدا سيئ مقبول جيد جيد جدا

6. Dans quelle mesure ce siège répond-il à vos besoins professionnels ?

الى أي مدى يلبي هذا المقر احتياجاتك المهنية؟

Très mauvaise Mauvaise Acceptable Bonne Très bonne
سيئ جدا سيئ مقبول جيد جيد جدا

7. Est-ce que le siège actuel de la station de radio locale assure un bon fonctionnement des différents espaces nécessaires pour l'exercice de votre travail ?

هل يضمن المقر الحالي لمحطة الإذاعة المحلية توفير المساحات المختلفة اللازمة لسير عملك بشكل جيد؟

Oui Si non, pourquoi ?.....
نعم إذا كانت الإجابة لا فلماذا؟.....

8. Avez-vous fait des transformations post-occupationnelles après l'occupation du siège actuel ?

هل قمتم بإجراء تعديلات بعد الاستقرار في المقر الحالي للإذاعة؟

Non Oui, lesquelles ?.....
لا نعم، اذكرها؟.....

II. Prières de répondre brièvement

الرجاء الإجابة باختصار

1. Pouvez-vous nous indiquer les espaces dont vous avez besoin dans le cadre de votre travail au sein du siège actuel de la radio locale ?

هل يمكنكم تحديد أهم الاحتياجات من حيث المساحات التي تحتاجونها في مقر الإذاعة المحلية الحالي لأداء عملكم؟

.....
.....

2. Auriez-vous des propositions pour réorganiser les espaces afin d'améliorer le fonctionnement du siège de la radio locale ?

هل لديكم أي اقتراحات لإعادة تنظيم المساحات لتحسين سير العمل في مقر الإذاعة المحلية؟

.....
.....

Annexe n° 02 : Deuxième questionnaire posé aux employés de la radio locale de la wilaya de Jijel sur le projet future de la radio-télévision locale de la wilaya de Jijel.

Questionnaire sur le futur projet du siège de la radio-télévision locale la wilaya de Jijel.
استبيان حول مشروع مقر الإذاعة والتلفزيون المحلي لولاية جيجل المستقبلي.

Ce questionnaire s'inscrit dans le cadre de préparation du mémoire de fin d'études de master O2 en Architecture qui porte sur l'utilisation des nouvelles technologies dans le domaine du bâtiment afin de résoudre les problèmes de transformations post occupationnelles de l'espace architectural. Nous les étudiantes : BRIHOUM Douaa et NOUASRA Djihane vous prie de bien répondre à ce questionnaire afin de collaborer dans notre enquête et on vous remercie pour votre collaboration.

يأتي هذا الاستبيان في إطار إعداد أطروحة ماستر O2 في الهندسة المعمارية تتناول استخدام التقنيات الحديثة في مجال البناء لحل مشاكل التحويلات بعد استغلال المساحة المعمارية. نحن الطالبتان: دعاء بريهوم وجيهان نواصرة نطلب منكم الإجابة على هذا الاستبيان للمساهمة في بحثنا ونشكركم على تعاونكم.

Ce questionnaire porte sur le projet qui concerne le futur siège de la radio-télévision locale de la wilaya de Jijel, situé à Mezghitane. L'idée du projet vient des ondes sonores provenant du signal de diffusion, et ce projet vas se basé sur le principe de la fluidité, la technologie et l'intelligence du bâtiment.

Pour pouvoir répondre à ce questionnaire une expérience d'immersion en réalité virtuelle à l'intérieur et à l'extérieur du projet sera faite avec une exposition de la maquette du projet futur.

هذا الاستبيان يتعلق بالمشروع الذي يتعلق بمقر الإذاعة والتلفزيون المحلي في ولاية جيجل، والذي يقع في مزغيطان. تأتي فكرة المشروع من الموجات الصوتية الناتجة عن إشارة البث، وسيتم هذا المشروع على مبدأ السلاسة والتكنولوجيا ونكاء المبنى. للإجابة على هذا الاستبيان سيتم إجراء تجربة بالواقع الافتراضي داخل وخارج المشروع، مع عرض نموذج للمشروع المستقبلي.

I. Cochez la réponse qui vous convient :

اشطب الإجابة الملائمة

1. Quelle est votre âge ?

ما هي فننك العمرية ؟

- Moins de 30 ans Entre 30 – 40 ans Entre 40 – 50 ans Plus de 50 ans
أقل من 30 سنة بين 30 – 40 سنة بين 40 – 50 سنة أكثر من 50 سنة

2. Votre sexe est :

ما هو جنسك ؟

- Masculin Féminin
مذكر مؤنث

3. Quel poste occupez-vous au sein de la radio locale ?

ما هي الوظيفة التي تشغلها داخل الإذاعة المحلية؟

- Directeur Journaliste Employé Autre :
مدير صحفي موظف وظيفة أخرى:.....

4. Quel est votre avis sur l'utilisation de l'expérience de réalité virtuelle pour présenter les projets futurs ?

ما هو رأيك في استخدام تجربة الواقع الافتراضي لتقديم المشاريع المستقبلية؟

- Très mauvais Mauvais Acceptable Bon Très bon
سيئ جداً سيئ مقبول جيد جيد جداً

5. Dans quelle mesure ce projet futur répond-il à vos attentes professionnelles ?

ما هي درجة تلبية هذا المشروع المستقبلي لتوقعاتك المهنية؟

- Très mauvaise Mauvaise Acceptable Bonne Très bonne
سيئة جداً سيئة مقبولة جيدة جيدة جداً

6. À quel point la réalité virtuelle vous a-t-elle permis de comprendre la configuration spatiale à l'intérieur du bâtiment ?

إلى أي مدى سمحت لك التجربة الافتراضية بفهم التكوين المكاني داخل المبنى؟

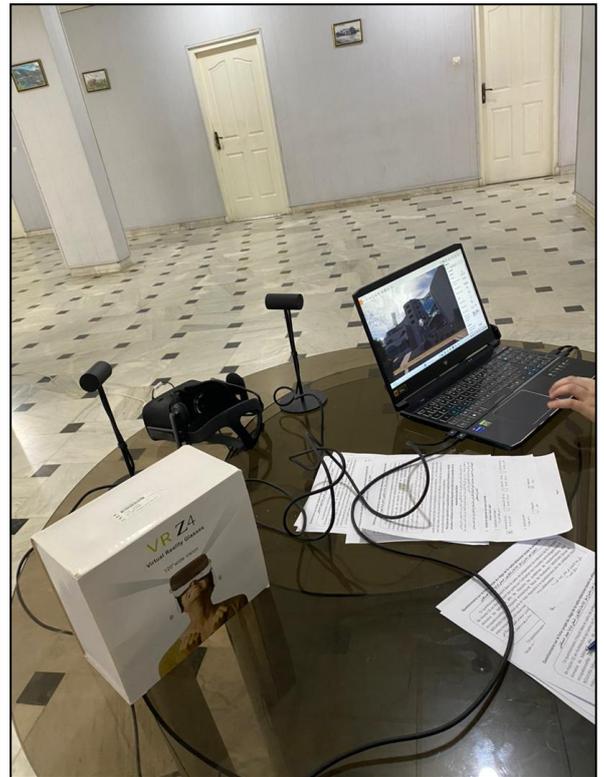
- Très mauvais Mauvais Acceptable Bon Très bon
سيئ جداً سيئ مقبول جيد جيد جداً

7. Est-ce que le futur siège de la radio-télévision locale assure un bon fonctionnement des différents espaces nécessaires pour l'exercice de votre travail ?

هل يضمن مقر الإذاعة والتلفزيون المحلي المستقبلي عملاً جيداً للمساحات المختلفة اللازمة لممارسة عملك؟

- Oui Si non, pourquoi ?.....
نعم إذا كانت الإجابة لا فلماذا؟.....

Annexe n° 03 : images prises lors de la présentation du projet future aux employés de la radio locale de la wilaya de Jijel au sein de leur siège.



ملخص:

يتميز مجال العمارة بإبداعه الواسع، حيث تعد تصميم المباني والمساحات مهمة معقدة. ومع ذلك، فإن أحد التحديات الرئيسية التي يواجهها المهندسون المعماريون هو ضرورة تحويل المساحات المعمارية بعد استخدامها، مما يتسبب في تكاليف إضافية ومشاكل وظيفية. بفضل التقدم التكنولوجي، استطاع محترفو العمارة الابتكار وتحسين أعمالهم بشكل أكثر كفاءة. النمذجة المعلوماتية للمباني والواقع الافتراضي والواقع المعزز هم التقنيات المستخدمة بشكل رئيسي في هذا المجال، والتي تسمح بإنشاء نماذج رقمية مفصلة وتفاعلية، وتسهل تصور واستكشاف المساحات.

للتغلب على هذه التحديات، اعتمد قطاع العمارة التقدم التكنولوجي، وبخاصة التقنيات الافتراضية والواقع المعزز، لتحسين عملية التصميم. يعزز دمج هذه الأدوات التكنولوجية التعاون الوثيق بين المصممين والمستخدمين طوال عملية التصميم. في بحثنا، استخدمنا ثلاثة نهج منهجية: نهج تحليلي، نهج مقارنة استند إلى مقر الإذاعة المحلية لولاية جبل الحالي والمقر المستقبلي الذي قمنا بتصميمه، بالإضافة إلى نهج تجريبي باستخدام استبيانيين يتعلقان بالمقرين المذكورين. قمنا بدمج استخدام هذه التقنيات لتقييم أثرها ودرجة رضا المستخدمين عن المساحات. هذا يساهم في تقليل أخطاء التصميم، وتحسين الكفاءة، وتقليل التكاليف الإجمالية. من الأهمية بمكان أن يستفيد ليس فقط المهندسون المعماريون من دمج المستخدمين واستخدام أحدث التقنيات، بل أيضًا العملاء ومستخدمو المساحات المعمارية. يمكن للمستخدمين المشاركة بنشاط في إنشاء بيئتهم، مما يضمن توافقاً أفضل بين المساحة المصممة واحتياجاتهم الحقيقية. تؤكد نتائج بحثنا أهمية هذا النهج التعاوني واستخدام أحدث التقنيات، وخاصة الواقع الافتراضي والواقع المعزز، لضمان فهم أفضل للمساحات وتجنب المشاكل الرئيسية للتحويلات بعد الاستخدام. من الضروري اعتماد هذه الطريقة العمل في الجزائر اليوم، لمواكبة خطى الدول الأخرى المتقدمة في تحويل قطاع البناء إلى العصر الرقمي.

كلمات مفتاحية: عملية التصميم المعماري، الطرق المنهجية، عمليات التحول بعد الاستقرار، المساحات المعمارية، الواقع الافتراضي، الواقع المعزز، نمذجة المعلومات للمباني (BIM)، نموذج رقمي، الانغماس، التحول الرقمي.

Résumé :

Le domaine de l'architecture se distingue par sa créativité débordante, où la conception de bâtiments et d'espaces représente un défi complexe. Cependant, un des défis majeurs auxquels les architectes sont confrontés est la nécessité de transformer les espaces architecturaux après leur occupation, entraînant des coûts supplémentaires et des problèmes fonctionnels. Grâce aux avancées technologiques, les professionnels de l'architecture ont pu innover et améliorer leur travail de manière plus efficace. Le BIM, la RV et la RA sont les technologies principalement appliquées dans le domaine, permettant de créer des maquettes numériques détaillées et interactives, facilitant la visualisation et l'exploration des espaces.

Pour surmonter ces défis, le secteur de l'architecture a adopté les avancées technologiques, en particulier la RV et la RA, afin d'améliorer le processus de conception. L'intégration de ces outils technologiques favorise une collaboration étroite entre les concepteurs et les utilisateurs tout au long du processus de conception. Dans notre recherche, nous avons utilisé 03 approches méthodologiques : une approche analytique, une approche comparative basée sur le siège actuel de la radio locale de la wilaya de Jijel et le futur siège que nous avons conçu, ainsi qu'une approche empirique utilisant deux questionnaires portant sur ces deux sièges. Nous avons intégré l'utilisation de ces technologies pour évaluer leur impact et le degré de satisfaction des utilisateurs des espaces. Cela permet de réduire les erreurs de conception, d'améliorer l'efficacité et de réduire les coûts globaux.

Il est essentiel de souligner que l'intégration des utilisateurs et l'utilisation des dernières technologies ne profitent pas seulement aux architectes, mais également aux clients et aux occupants des espaces architecturaux. Les utilisateurs peuvent participer activement à la création de leur environnement, assurant ainsi une meilleure adéquation entre l'espace conçu et leurs besoins réels. Les résultats de notre enquête confirment l'importance de cette approche collaborative et de l'utilisation des technologies de pointe, en particulier la RV et la RA, pour une meilleure compréhension des espaces et pour éviter les problèmes majeurs de transformations post-occupationnelles. Il est crucial que cette méthode de travail soit adoptée en Algérie, afin de suivre les pas des autres pays développés dans la numérisation et la digitalisation du secteur du bâtiment.

Mots clés : processus de conception architecturale, approches méthodologiques, transformations post-occupationnelles, espaces architectural, réalité virtuelle, réalité augmentée, BIM, maquette numérique, immersion, numérisation.

Summary:

The field of architecture is characterized by its vast creativity, where the design of buildings and spaces represents a complex challenge. However, one of the major challenges that architects face is the need to transform architectural spaces after their occupation, resulting in additional costs and functional problems. Thanks to technological advancements, architecture professionals have been able to innovate and improve their work more effectively. Building Information Modeling (BIM), Virtual Reality (VR), and Augmented Reality (AR) are the technologies primarily applied in the field, enabling the creation of detailed and interactive digital models that facilitate visualization and exploration of spaces.

To overcome these challenges, the architecture sector has embraced technological advancements, particularly VR and AR, to enhance the design process. The integration of these technological tools promotes close collaboration between designers and users throughout the design process. In our research, we utilized three methodological approaches: an analytical approach, a comparative approach based on the current headquarters of the local radio station in the Jijel province and the future headquarters that we designed, and an empirical approach using two questionnaires focused on these two headquarters. We incorporated the use of these technologies to assess their impact and the level of user satisfaction with the spaces. This helps minimize design errors, improve efficiency, and reduce overall costs.

It is essential to highlight that the integration of users and the use of the latest technologies benefit not only architects but also clients and occupants of architectural spaces. Users can actively participate in creating their environment, ensuring a better fit between the designed space and their actual needs. The results of our survey confirm the importance of this collaborative approach and the use of cutting-edge technologies, especially VR and AR, for a better understanding of spaces and to avoid major post-occupancy transformation issues. It is crucial for this working method to be adopted in Algeria, in order to follow in the footsteps of other developed countries in the digitization and digitalization of the building sector.

Keywords: architectural design process, methodological approaches, post-occupancy transformations, architectural spaces, virtual reality, augmented reality, Building Information Modeling (BIM), digital model, immersion, digitization.