

République Algérienne Démocratique et Populaire

*Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mohamed Seddik Benyahia – Jijel
Faculté des Sciences et de la Technologie*

Département d'Architecture



Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de :

MASTER ACADEMIQUE

Filière :

ARCHITECTURE

Spécialité :

ARCHITECTURE

Présenté par :

Yousra LAKHLEF

Rostan BOUNAR

THEME :

**L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE : QUEL ROLE JOUE-T-ELLE
DANS L'EVOLUTION DE LA MAITRISE D'ŒUVRE A JIJEL ?**

Date de la Soutenance : 15/07/2021

Composition du Jury :

Hocine Tebbouche	MAA, Département d'architecture, université MSB-Jijel, Président du jury
Ammar Bouchair	Professeur, Département d'architecture, université MSB-Jijel, Encadreur
Fateh Nedjar	MAA, Département d'architecture, université MSB -Jijel, Examineur

Année universitaire : 2020-2021

REMERCIEMENT

NOS sincères remerciements s'adressent avant tout à "ALLAH", le tout puissant qui nous a donné la force et le courage durant notre cursus universitaire.

"Un bon professeur guide ses étudiants vers un chemin de lumière"

Nos chaleureux remerciements s'adressent à notre encadreur professeur "Ammar BOUCHAIR" pour sa gentillesse et sa bienveillance qui nous a donnée l'envie de développer ce travail, pour l'encouragement, les conseils et les critiques constructives tout au long de cette belle année.

Nous tenons à remercier les honorables membres du jury qui ont accepté de participer à l'évaluation de notre travail.

Toutes nos expressions de reconnaissances et de gratitude sont présentées à tous les enseignants pour leurs apports de qualité durant notre formation universitaire, et le personnel administratif.

Finalement, nous exprimons nos sincères remerciements à toute personne ayant participé de près ou de loin à la réalisation de cet travail.

A tous, un grand merci.

"Nous sommes souvent tombés amoureux de devenir architectes, et nous voici"

ROSTAN&YOUSRA.

Dédicaces

Je dédie ce travail à ceux qui, quelque soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère. En premier lieu, à la mémoire de mon défunt cher grand-père "SAID" parti trop tôt et que je l'aime trop, ma chère grand-mère "TAOUES", mon cher oncle "MOHAMMED", et à mes beaux-parents "SAMIA" et "ABDELHAFID" qui auraient bien voulu voir cet instant, que leurs âmes reposent en paix (Amen).

A la femme la plus chère de ma vie, qui a souffert sans me laisser souffrir, qui m'a arrosé de tendresse et d'espoir, à la source d'amour incessible "Ma mère".

A mon support de vie, qui a toujours été à mes cotés pour me soutenir et m'encourager, qui m'a supporté et m'a dirigé vers la gloire "Mon père".

A mon bijou, mon frère qui a partagé avec moi tous les moments d'émotions durant mes études et lors de la réalisation de ce travail "ABDERAHMANE".

A mon émeraude, mon ami, mon binôme, mon homme "ROSTAN", qui sait toujours comment procurer le sourire, le bonheur et la joie à ma vie, pour sa patience, son soutien et sa compréhension durant tous mes moments difficiles.

A mes beaux-parents "ZAHIRA" et "ABDELKAMEL" avec lesquels dieu nous a dédommagé, pour leur amour, et à mon beau-frère "REDA" et son adorable femme "SOFIA"

Que dieu les protèges (Amen).

A mon encadreur "MR.AMMAR BOUCHAIR" avec qui j'ai été honorée de pouvoir travailler avec, parce que c'est l'un des meilleurs professeurs que j'ai rencontré pendant mes études, et pour son aide et sa patience lors de l'élaboration de ce travail.

A mon professeur "MR.TEBBOUCHE HOCINE" pour son aide et ses conseils précieux lors de mes études.

A mes amies "KAWTAR", "CHAHINEZ", et "NARDJAS" pour leur amour sincère.

Sans oublier mon beau chat "OSCAR" qui est resté éveillé tout le long de mes nuits de travail et c'est pour ses intérêts personnels.

A ma grande famille, mes proches et à toute personne qui m'aime de près ou de loin et qui ont été gentils avec moi, je vous aime et vous dis merci.

YOUSRA.

Dédicaces

Je dédicace ce travail à mes défunts chers parents que je garde toujours dans mon âme

« Allah yarhamhoum » que dieu vous donne une énorme place dans le paradis.

A mes nouveaux chers parents que dieu m'a béni avec dans ce monde et que dieu les garde et les protège pour moi.

Au meilleur frère qui existe ainsi qu'a son épouse.

A la plus belle et merveilleuse et drôle et intelligente femme de tout l'univers qui est ma fiancée.

A toute ma famille et mes proches, et à mes amis qui sont devenus plus qu'une famille.

Que dieu vous gardent tous pour moi.

ROSTAN.

TABLE DES MATIERES

Table des matières	I
Liste des figures.....	V
Liste des tableaux	VIII
Liste des abréviations.....	VIII

INTRODUCTION GENERALE

Préambule.....	1
Choix et intérêt du thème	1
Problématique.....	2
Hypothèses de recherche	2
Objectifs de l'étude	3
Méthodologie de recherche	3
Structure du mémoire	4

PARTIE I : CONTEXTE THEORIQUE

CHAPITRE I : L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE : CONCEPTS ET PRINCIPES GENERAUX

Introduction.....	6
I.1.Histoire et sémantique.....	6
I.1.1.Histoire : voyage éternel ou aboutissement ?	6
I.1.2.Définition et segmentation de l'intelligence artificielle	7
I.2. États des lieux.....	10
I.3.Algorithmes et logiciels de l'IA.....	12
I.4.Applications génériques de l'IA.....	15
I.4.1.Vision.....	15
I.4.2.Langage.....	16
I.4.3.Marketing et vente.....	18
I.4.4.Cybersécurité.....	19
I.4.4.1.Sécuriser en présence d'apprentissage machine.....	20
I.4.5.robotique.....	21
I.4.5.1.Classes de robots.....	21
I.5.Applications métiers de l'intelligence artificielle.....	23
I.5.1.La médecine.....	23
I.5.2.Le transport.....	25
I.5.3.L'agro-alimentation.....	26
I.5.3.L'agro-alimentation	

I.5.4.La finance.....	27
I.5.5.Le bâtiment et les travaux publics.....	28
I.5.5.1.Dans le bâtiment.....	28
Conclusion.....	31
CHAPITRE II : LES PRATIQUES DE LA MAITRISE D'ŒUVRE ARCHITECTURALE AU NIVEAU LOCALE ET SES LIMITES	
Introduction.....	33
II.1.Définitions des concepts.....	33
II.1.1.Le concept de projet.....	33
II.1.2.Le concept de gestion du projet.....	34
II.1.3.Le concept de Management par projet.....	35
II.2.Pourquoi la gestion de projet est-elle indispensable?.....	36
II.2.1.La gestion de projet permet d'éviter de faire des erreurs.....	36
II.2.2.La gestion de projet permet de cibler et structurer vos activités.....	36
II.2.3.La gestion de projet permet de réduire les incertitudes.....	36
II.2.4.La gestion de projet concerne tous les projets.....	36
II.3.Le triangle d'or du projet.....	37
II.3.1.Le respect de la performance.....	37
II.3.2.Le respect des délais.....	37
II.3.3.Le respect des couts.....	38
II.4.La maitrise financière.....	39
II.5.Le projet architectural.....	40
II.5.1.Les acteurs principaux du projet.....	40
II.5.2.Interaction entre les acteurs du bâtiment.....	41
II.6.Les rôles des acteurs principaux du projet.....	43
II.6.1.Le maitre d'œuvre en bâtiment.....	44
II.6.1.1.Définition du maitre de l'œuvre.....	44
II.6.1.2.Définitions du maitre de l'œuvre avant le projet.....	44
II.6.1.3.Les rôles du maitre de l'œuvre lors des travaux du chantier.....	45
II.6.2.Le maitre de l'ouvrage en bâtiment.....	45
II.6.2.1.Définition du maitre de l'ouvrage.....	45
II.6.2.2.Le rôle du maitre de l'ouvrage.....	45
II.6.3.L'entreprise de réalisation.....	46
II.6.3.1.Définition de l'entreprise de réalisation.....	46
II.7.Le déroulement des prestations de maitrise d'œuvre.....	47

II.7.1.La programmation.....	47
a) Besoins.....	47
b) Terrain.....	47
c) Equipement.....	47
d) Enveloppe financière.....	47
e) Délais de réalisation.....	47
II.7.2.L'esquisse.....	48
II.7.3.Les études d'avant-projet.....	48
II.7.3.1.Les études d'avant-projet sommaire (APS).....	48
II.7.3.2.Les études d'avant –projet définitif (APD).....	48
II.7.4.Le permis de construire.....	49
II.7.5.Projet d'exécution.....	49
II.7.5.1.L'importance des plans d'exécutions.....	49
II.7.5.2.Les éléments d'un plan d'exécution	49
II.7.6.Le choix de l'entreprise de réalisation.....	50
II.7.7.Le suivi des travaux.....	51
II.7.8.La réception du chantier.....	51
Conclusion.....	52

CHAPITRE III : L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE DANS LE DOMAINE DE L'ARCHITECTURE

Introduction.....	54
III.1.Définition des concepts.....	54
III.1.1.BIM : l'idée derrière l'acronyme.....	54
III.1.2.Acronymes BIM.....	55
III.1.3.La maquette numérique.....	55
III.2.Les dimensions de BIM.....	58
III.3.Le processus BIM.....	61
III.3.1.Les niveaux du BIM.....	63
III.4.Les niveaux de détails en modélisation.....	64
III.4.1.Définition du mot « LOD ».....	65
III.4.2.Les différents niveaux du « LOD ».....	65
III.4.2.1.Le « LOD100 ».....	65
III.4.2.2.Le « LOD200 ».....	65
III.4.2.3.Le « LOD300 ».....	66
III.4.2.4.Le « LOD400 ».....	66

III.5.La place de l'architecte dans le BIM.....	67
III.5.1.Le BIM ; un atout pour les architectes.....	67
III.5.2.L'intégration des BIM aux bureaux des architectes.....	68
III.5.3.Les BIM dans les petits bureaux d'architecture.....	68
III.5.4.Les avantages des BIM pour les acteurs du projet.....	69
III.6.La mise en place du processus BIM.....	70
III.7.Les risques associés à la mise en place du processus BIM.....	71
Conclusion.....	72

PARTIE II : LA PARTIE OPERATIONNELLE

CHAPITRE IV : PRESENTATION DU CAS D'ETUDE

Introduction.....	74
IV.1.Enquête par questionnaire.....	74
IV.1.1.Présentation du périmètre d'étude.....	74
IV.1.2.Présentation de la méthode d'investigation.....	75
IV.1.3.L'enquête par questionnaire.....	75
IV.1.4.Le choix de l'échantillon.....	77
IV.1.4.1.Définition de la taille de l'échantillon.....	77
IV.1.4.2.Méthode de calcul de la taille de l'échantillon.....	78
IV.1.5.Le mode d'administration des questionnaires.....	79
IV.2.Exemple d'une estimation de prix global avec un logiciel BIM.....	80
Conclusion.....	85

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Introduction.....	87
V.1.Analyse et interprétation des résultats du formulaire des questions.....	87
V.1.1.Les catégories de notre échantillon.....	87
V.1.2.Le niveau de suivi de la technologie (IA) dans le domaine de l'architecture.....	87
V.1.3.La présence du BIM comme idée dans les BET.....	88
V.1.4.Les pratiques BIM (logiciels) dans les BET.....	89
V.1.5.L'apport de l'utilisation des logiciels BIM.....	89
V.1.6.L'intégration des matériaux dans les outils BIM.....	90
V.1.7.La contribution des outils BIM dans les estimations quantitatives.....	91
V.1.8.Contribution des outils BIM dans le respect des contrats financiers.....	92
V.1.9.L'utilisation des plateformes BIM.....	92
V.1.10.L'utilisation des outils BIM dans la démarche de modélisation.....	93
V.1.11.L'intégration du processus BIM à l'échelle locale.....	94

V.1.12.Les pratiques BIM (logiciels) dans les BET.....	95
V.2.Recommandations.....	96
Conclusion.....	97
Conclusion générale.....	98
Liste des références.....	100
Annexes	
Résumé	
Abstract	
ملخص	

Liste des figures

Chapitre I:

Figure I.1: Science fiction from 1953, 1954 and 1957.....	7
Figure I.2: Les sciences liées à l'IA.....	8
Figure I.3: Segmentation du camp de l'intelligence artificielle.....	10
Figure I.4: Segmentation de l'IA.....	10
Figure I.5 : Comparaison des capacités de la machine face à celle de l'homme.....	11
Figure I.6 : Segmentation des usages de l'IA avec les outils de raisonnement automatique.....	13
Figure I.7 : Imagerie médicale.....	16
Figure I.8 : Visages détectés.....	16
Figure I.9 : Télédétection.....	16
Figure I.10 : Empreinte.....	16
Figure I.11 : Chatbot.....	17
Figure I.12 : Traduction.....	17
Figure I.13 : Agent vocal.....	17
Figure I.14 : Reconnaissance de parole.....	17
Figure I.15 : Logos utilisés pour le marketing des produits.....	18
Figure I.16 : Sephora réservation assistant.....	19
Figure I.17: Avira Free Security.....	21
Figure I.18 : Moyens de commande des robots.....	22
Figure I.19 : Rayon X d'une main avec calcul automatique de l'âge osseux par un logiciel informatique.....	23
Figure I.20 : Imagerie médicale avec un algorithme pour détecter les signes de déclin cognitif en s'appuyant sur l'IRM cérébrale.....	23
Figure I.21 : Schéma d'utilisation du système COVIA au CHU de Liège.....	25

Figure I.22 : Emplacement et types de capteurs d'une voiture autonome de niveau 4/5.....	26
Figure I.23 : Robot agricole.....	26
Figure I.24 : Une image satellite Quickbird classifiée en utilisant les indices de végétation.....	26
Figure I.25 : Proportion de l'organisation mettant en œuvre l'automatisation Intelligente à grande échelle, par pays.....	27
Figure I.26: Génération de plans d'école à partir de l'original (1), pour optimiser l'espace et le matériel (2), pour optimiser les parcours en cas d'incendie (3).....	29

Chapitre II :

Figure II.1 : Le concept de Management par projet.....	36
Figure II.2 : Le triangle d'or.....	37
Figure II.3 : Rôle des acteurs entre eux et par rapport à l'ouvrage.....	40
Figure II.4 : La coordination entre le maître de l'ouvrage et l'entrepreneur.....	41
Figure II.5 : Interaction habituelle client/architecte/entrepreneur.....	42
Figure II.6 : Domaines d'intervention des différents acteurs de la construction.....	46
Figure II.7 : L'organisation théorique de la conception.....	49

Chapitre III :

Figure III.1 : Exemple écran du logiciel « Revit ».....	56
Figure III.2 : Exemple écran du logiciel « Sketchup ».....	56
Figure III.3 : Ouverture dans le mur de la modélisation avec ArchiCad.....	57
Figure III.4 : Fiches techniques avec données relatives à l'élément à modéliser.....	57
Figure III.5 : BIM appliqué aux plans 2D « ArchiCad2016 ».....	58
Figure III.6 : Représentation BIM en 3D « ArchiCad ».....	59
Figure III.7 : Représentation BIM en 4D à l'aide du logiciel « Edificius ».....	59
Figure III.8 : Planification d'un projet de construction en 5D « Edificius ».....	60
Figure III.9 : Schéma du développement des BIM à travers le temps.....	61
Figure III.10 : La maquette numérique au centre du cycle de vie du bâtiment.....	62
Figure III.11 : L'autonomie de modélisation entre les acteurs du projet.....	63
Figure III.12 : La collaboration basée sur la maquette numérique.....	63
Figure III.13 : Le travail sur la même maquette numérique en temps réel.....	64
Figure III.14 : Le développement des détails « LOD » d'une modélisation 3D.....	64
Figure III.15 : Le niveau « LOD100 » sous forme de « BOX ».....	65
Figure III.16 : Le niveau « LOD200 » avec les détails des murs.....	66
Figure III.17 : Le niveau « LOD300 » avec les détails des ouvertures.....	66
Figure III.18 : Le niveau « LOD400 » avec les détails d'aménagement et de ventilation.....	67

Figure III.19 : Les acteurs qui peuvent utiliser le BIM.....	70
--	----

Chapitre IV :

Figure IV.1 : La carte de la situation de la wilaya de JIJEL dans l'espace Nord-est.....	74
Figure IV.2 : Zones d'investigation adaptées à partir de Google Maps.....	79
Figure IV.3 : Dimensionnement des murs de la pièce.....	80
Figure IV.4 : Configuration des paramètres des murs de la pièce.....	81
Figure IV.5 : Configuration relative aux matériaux de construction.....	81
Figure IV.6 : Configuration relative au cout de la porte de la pièce.....	82
Figure IV.7 : Configuration relative au cout des fenêtres de la pièce.....	82
Figure IV.8 : Configuration relative à l'ensemble des éléments de menuiserie.....	83
Figure IV.9 : Spécification des éléments à estimer.....	83
Figure IV.10 : Spécification des paramètres additionnels des éléments à estimer.....	84
Figure IV.11 : Estimation de prix global de la menuiserie de la pièce.....	84

Chapitre V :

Figure V.1 : Les catégories de l'échantillon.....	87
Figure V.2 : Le suivi de la technologie (IA) dans le domaine d'architecture.....	88
Figure V.3 : La présence du BIM comme idée dans les BET.....	88
Figure V.4 : Les outils BIM dans les BET locaux.....	89
Figure V.5 :L'apport des outils BIM.....	89
Figure V.6 :L'apport des outils BIM sur les facteurs du triangle d'or.....	90
Figure V.7 :L'intégration des matériaux dans les outils BIM.....	90
Figure V.8 : La contribution des outils BIM dans les estimations quantitatives.....	91
Figure V.9 : Les niveaux de précision des estimations quantitatives grâce aux outils BIM.....	91
Figure V.10 : La contribution des outils BIM dans le respect des contrats financiers.....	92
Figure V.11 : L'utilisation des plateformes BIM.....	92
Figure V.12 : Sollicitation de la maquette numérique par les autres acteurs du projet.....	93
Figure V.13 : Le niveau d'utilisation des outils BIM pour la modélisation 3D.....	93
Figure V.14 : La volonté d'implication du processus BIM par les maitres de l'œuvre.....	94
Figure V.15 : La perspective du processus BIM à l'échelle locale.....	95
Figure V.16 : Les freins d'adoption du processus BIM.....	95

Liste des tableaux

Tableau IV.1 : Organisation administrative de la wilaya de JIJEL

Liste des abréviations

APD	Avant-projet définitif
APS	Avant-projet sommaire
BET	Bureau d'études techniques
BIM	Building Information Modeling
BTP	Secteur économique du bâtiment et travaux publics
CAO	Conception assistée par ordinateur
CHU	Centre hospitalier universitaire
CLOA	Conseil local de l'ordre des architectes
CNC	Computer Numerical Control
DAO	Dessin assisté par ordinateur
GM	General Motors
IA	Intelligence artificielle
LOD	Level of detail
PAW	Plan d'aménagement de la wilaya
PV	Procès-verbal
TNOA	Tableau national de l'ordre des architectes
2D	2 Dimensions
3D	3 Dimensions
4D	4 Dimensions
5D	5 Dimensions
6D	6 Dimensions
7D	7 Dimensions

INTRODUCTION GENERALE

Préambule

L'évolution est une force remarquable qui a permis de commencer la vie d'un simple organisme unicellulaire dans les tubes digestifs des mammifères par exemple et jusqu'à des organismes plus complexes multicellulaires comme les plantes, les animaux et la plupart des champignons sur terre et même aux fonds des océans.

La biologie dans cet égard représente un génie humain très excellent, d'un autre égard on trouve les bombes atomiques, le vaccin contre le Coronavirus, le nouveau télescope d'Arecibo, l'impression 3D ou usinage CNC, toutes ces innovations impressionnantes sont à l'origine d'une seule source ; le réel pouvoir du cerveau humain et à vrai dire le truc gris dans notre crâne.

Lorsqu'on parle de l'intelligence, les jeux d'échecs, les équations mathématiques et les raisonnements philosophiques... sont des facultés qui entrent dans ce vaste sujet progressif qui a généré des grands débats sur une nouvelle perspective appelée « l'intelligence artificielle ». Une belle promesse mais aussi une réalité très concrète se résume dans la révolution actuelle de cette intelligence artificielle ; faire fonctionner la technologie et les robots qui font par la suite des tâches phénoménales sans fatigue, repos, ni vacances. Cette nouveauté technologique apporte des changements révolutionnaires dans plusieurs domaines et notamment le domaine d'architecture.

L'adoption de l'intelligence artificielle dans cette industrie créative a permis aux architectes de travailler sur des problèmes plus compliqués et d'améliorer l'efficacité de leurs productions architecturales. Les logiciels et les programmes peuvent porter à l'heure actuelle à la main des architectes une facilité d'analyse et de gestion assurant l'élaboration des meilleures propositions architecturales basées principalement sur des milliers de connexions du génie humain d'un architecte.

La maîtrise d'œuvre peut être renforcée dans ce contexte d'innovation technologique à fin de garantir un meilleur rendement créatif basé sur des outils bien définis, c'est la raison pour laquelle il est très important de faire appel à ce genre de démarche technologique dont le but est l'amélioration de la notion de la maîtrise d'œuvre en matière de conception et construction qualitative. En effet ceci améliore la production et la performance des organismes d'architecture, c'est pour cela que nous avons souhaité développer ce sujet novateur dans le cadre de notre recherche.

1. Choix et intérêt du thème

De Google à Microsoft en passant par Apple, Twitter ou Facebook et bien d'autres entreprises dans le monde travaillent au moment actuel sur l'intelligence artificielle, cette notion d'actualité

visant à permettre aux machines d'imiter la matière grise du cerveau avec une neurobiologie computationnelle à caractère artificiel permettant de faire des calculs lourds en une seconde de temps grâce à des bases de données avec une énorme capacité de stockage des informations ,les algorithmes entrés par l'homme dans les logiciels peuvent se développer et apprendre eux-mêmes .Toute cette fantaisie nous a donné la motivation pour l'adoption de ce sujet et de faire jumeler le domaine de la technologie avec celui de l'architecture, vous pensez peut être que l'intelligence artificielle et le bâtiment sont deux mondes à part qui n'ont rien à voir ? Mais la réalité est tout autre ; l'intelligence artificielle devient une opportunité et créera la valeur pour plusieurs secteurs et donc pourquoi pas pour la productivité architecturale, la curiosité sur le bâtiment de demain nous a conduit sur le chemin de cette recherche.

2. Problématique

Dans la maîtrise d'œuvre, l'analyse et la planification financière sont un processus très sensible pour la réalisation d'un projet architectural. Actuellement, la plupart des projets à travers l'Algérie nécessitent les mains des meilleures équipes de travail pour assurer l'élaboration d'un budget définitif précis. L'enveloppe financière prévisionnelle et l'estimation préalable sont des tâches qui entrent sous le terme de « Financement de projet », la détermination d'un décompte final correcte nécessite la comparaison et le contrôle de plusieurs enveloppes financières primaires (devis, devis corrigé...), la gestion économique précise englobe la gestion des coûts et des quantités à la fois, dès la naissance de l'idée et jusqu'à la réception de l'ouvrage.

L'ensemble des montants définitifs consacrés pour les tâches constructives de l'ouvrage sont justifiés par des formules de calculs en fonction d'autres valeurs définies (dimensions, poids...), ce processus d'analyse économique va conduire le maître de l'œuvre à effectuer des bordereaux de prix pour une réalisation correcte du projet. Dans ce stade-là, la réalisation doit être normale avec des attachements et des situations sans problèmes jusqu'à la fin des travaux, mais la réalité est tout autre. Des prestations supplémentaires non prévues sur le devis initial entrent en jeu, malgré que l'ensemble des commissions de vérification financière réalisent leur contrôle. Ce qui mène directement à l'adoption d'un ou plusieurs avenants pour la continuation des travaux et qui ne sont pas toujours acceptables par le maître de l'ouvrage.

Dans ce sens-là, l'importance de bien quantifier et chiffrer le décompte final est mise en lumière et une question principale de recherche peut être soulevée :

- ✓ Dans quelles mesures l'utilisation de l'intelligence artificielle participe-t-elle dans l'élaboration des devis quantitatifs précis ?
- ✓ En d'autres termes : L'IA améliore-t-elle le rendement qualitatif des BET ?

3. Hypothèses de recherche

Afin de répondre aux questionnements posés dans la problématique, une piste de recherche va être explorée à travers les hypothèses suivantes :

- Une première hypothèse : utiliser l'intelligence artificielle peut être un moyen efficace pour améliorer la précision des devis définitifs.
- Une deuxième hypothèse : la quantification chiffrée des éléments constructifs à l'aide de l'intelligence artificielle peut être un accélérateur de production et de rendement dans un BET.
- Une troisième hypothèse : l'intelligence artificielle peut être un facteur d'aide à l'amélioration du respect contractuel entre le maître de l'œuvre et le maître de l'ouvrage durant la construction du bâtiment.

4. Objectifs de l'étude

Le but principal de notre recherche est de découvrir à quels points les compétences et les rendements des BET peuvent être améliorés en introduisant l'IA comme nouvelle dimension.

D'autres sous-objectifs sont envisagés à savoir :

- Connaître la notion de l'intelligence artificielle en architecture
- Exprimer la relation entre l'intelligence artificielle et le domaine de maîtrise d'œuvre en architecture.
- Démontrer les potentialités de l'intelligence artificielle à produire des solutions extrêmement efficaces aux défis des erreurs produites durant la production architecturale.
- Mettre en valeur l'intérêt de l'utilisation de l'intelligence dans le processus estimatif du projet.

5. Méthodologie de recherche

Dans le but de bien mener ce mémoire, on adopte une démarche méthodologique très claire pour assurer une bonne maîtrise du sujet, alors ce travail est divisé en deux approches qui sont les suivantes :

✓ L'approche théorique

C'est une partie basée sur la critique des théories existantes et des données théoriques obtenues par l'exploration de l'état de l'art, analyse de la documentation (livres, revues, site web...) dont l'intérêt est de savoir la position et le cadre théorique du problème, l'extraction des explications claires et précises à propos de notre sujet.

✓ L'approche opérationnelle:

- Une enquête par questionnaire destiné aux maitres de l'œuvre architecturale à l'échelle de la wilaya de Jijel qui a touché précisément 51 BET entre la commune de JIJEL et EL-OUANA.
- L'utilisation du logiciel BIM « ArchiCad » comme technique supplémentaire et complémentaire pour faciliter la compréhension du thème et de renforcer encore plus.
- L'analyse et l'interprétation des données et éclaircissements des résultats.

6. Structure du mémoire

Ce mémoire est divisé en deux parties principales y compris cinq chapitres entre la théorie et la pratique. L'ouverture se fait avec une introduction générale qui pose la problématique de notre recherche avec ses hypothèses ainsi que les objectifs à atteindre à travers cette initiation à la recherche.

✓ La première partie :

C'est l'approche thématique qui se compose de 3 chapitres principaux :

- 1. Le premier chapitre :** qui contient un aperçu sur la notion de l'intelligence artificielle, ses concepts et ses principes généraux, ainsi que ses applications dans les différents domaines de notre vie quotidienne.
- 2. Le deuxième chapitre :** qui traite les pratiques de la maîtrise d'œuvre architecturale à l'échelle locale son importance et ses limites, ainsi que le rôle et l'interaction de ses différents acteurs pour la gestion du projet.
- 3. Le troisième chapitre :** qui porte sur l'intelligence artificielle dans le domaine de l'architecture et ses concepts, en prenant le processus « BIM » comme un de ses exemples les plus intéressants en ce moment actuel.

✓ La deuxième partie :

C'est une approche analytique qui contient 2 chapitres principaux :

Le quatrième chapitre : consacré pour la représentation de notre cas d'étude avec la méthode d'investigation utilisée qui s'agit d'une enquête par questionnaire qui s'adresse à un ensemble de BET à l'échelle de la wilaya de JIJEL, en addition on utilise un logiciel BIM « ArchiCad » comme outil supplémentaire pour renforcer ce travail et nos résultats obtenus.

4. Le cinquième chapitre : Pour la présentation des résultats avec un ensemble de recommandations données.

On termine ce travail par une conclusion générale qui dresse le bilan et les enseignements de l'étude, les principales réponses à la problématique, les limites de notre recherche et les travaux futurs.

CHAPITRE I :

L'intelligence artificielle : concepts et principes généraux

Introduction

Définir l'intelligence artificielle n'est pas simple. Depuis ses origines en tant que domaine d'étude spécifique, il a toujours formé au XXe siècle une frontière, repoussée. En fait, l'intelligence artificielle désigne moins un domaine bien défini qu'un programme, fondé autour d'un objectif ambitieux : de comprendre le fonctionnement de la cognition humaine et de la recréer ; générer des processus cognitifs comparables à ceux existants c'est-à-dire de l'être humain (Cédric, 2018).

Le domaine est donc naturellement extrêmement vaste, tant au niveau des procédés d'ingénierie utilisés que des disciplines: mathématiques, informatique, sciences cognitives... Les méthodes d'IA sont nombreuses et variées (ontologique, apprentissage par renforcement, réseaux de neurones...) et ne sont pas nouvelles : de nombreux algorithmes utilisés aujourd'hui ont été développés il y a plusieurs décennies (Cédric, 2018).

Ce chapitre est consacré à l'intelligence artificielle, son histoire, son matériel et ses algorithmes mathématiques ainsi qu'aux logiciels utilisés dans ce domaine et leurs applications métiers.

I.1.Histoire et sémantique

I.1.1 Histoire : voyage éternel ou aboutissement ?

L'expression «intelligence artificielle» a été inventée le 31 août 1955 par l'un des initiateurs de ce camp, John McCarthy¹ dans une note de 13 pages sur l'organisation du camp d'été de Dartmouth (Ezratty, 2018).

Elle englobe les sciences et technologies qui nous permettent d'imiter et / ou d'augmenter l'intelligence humaine avec des machines. Une autre définition actuelle de l'IA² est le domaine de la création de logiciels et de matériels dotés de formes d'intelligence (Ezratty, 2018).

Selon Grace Solomonoff, épouse de Ray Solomonoff³, l'un des participants du camp d'été de Dartmouth, le terme IA a été choisi par John McCarthy car il est neutre par rapport aux sciences existantes comme la cybernétique⁴. Elle évoque également les sources de science-fiction qui ont inspiré son mari (ci-dessous) (Ezratty, 2018).

¹ Est le principal pionnier de l'intelligence artificielle, il incarne le courant mettant l'accent sur la logique symbolique.

² C'est l'abréviation du mot « intelligence artificielle »

³ L'un des grands chercheurs et informaticien américain.

⁴ Science des la communication et de la régulation dans l'être vivant et la machine



Figure I.1: Science fiction from 1953, 1954 and 1957. (Source: les usages de l'intelligence artificielle 2018).

Plus de 60 ans plus tard, l'IA décrit également ce qui est possible aujourd'hui dans ces domaines comme une tâche constante et ne se contente pas d'incorporer différents aspects de l'intelligence humaine dans les machines. L'IA a atteint l'âge de la retraite, mais elle est adolescente et désordonnée (Ezratty, 2018).

Le nom le plus approprié serait probablement «l'intelligence humaine augmentée», l'IA vise principalement à démultiplier les compétences humaines ,Comme tous les outils numériques a ce jour, même si dans certains cas l'IA peut remplacer efficacement le travail humain pour certaines tâches de base, comme à moyen terme, conduire un véhicule⁵ (Ezratty, 2018).

Dans le champ du raisonnement automatisé, l'IA est censée être rationnelle a tout les coups, chose que l'homme ne font pas toujours preuve. Ici encore on est dans l'ordre de la complémentarité (Ezratty, 2018).

1.1.2 Définition et segmentation de l'intelligence artificielle

Le nom « intelligence artificielle » fut proposé en 1956 par John McCarthy. Il recouvre les sciences et technologies qui permettent d'imiter, d'étendre et/ou d'augmenter l'intelligence humaine avec des machines. Ce terme, toujours sujet à débat sur sa sémantique⁶, était plus une déclaration d'intention pour la création d'une nouvelle discipline qui voulait se différencier de champs plus formalisés comme les mathématiques ou l'informatique qu'une véritable science aboutie (Pallanca and Read, 2020).

⁵ Ce qui sert a transmettre, a faire passer d'un lieu a un autre, a communiquer.

⁶ Etude du sens, de la signification des signes, notamment dans le langage.

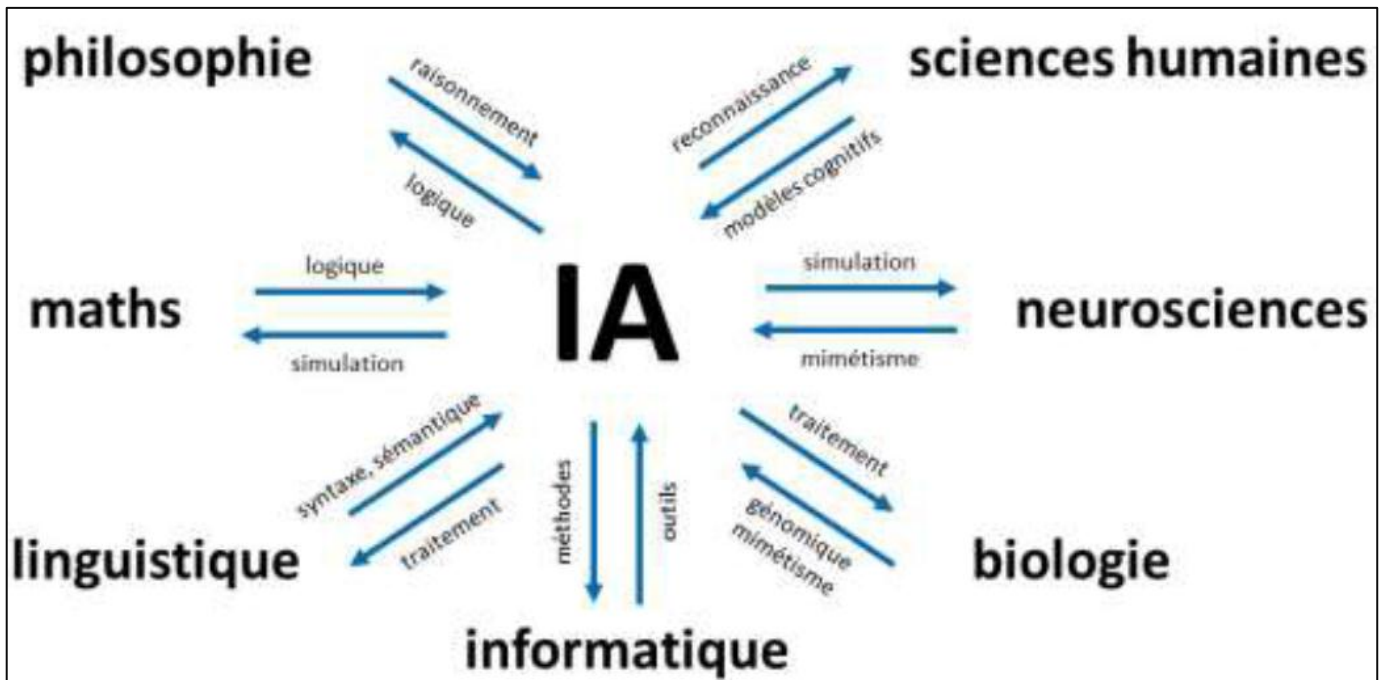


Figure 2 : les sciences liées à l'IA. (Source : les usages de l'intelligence artificielle, 2018).

L'intelligence artificielle est une branche de l'informatique qui est étroitement liée à d'autres sciences : les mathématiques, la logique et les statistiques qui lui servent de base théorique, les sciences humaines (sciences cognitives, psychologie, philosophie, linguistique ...) et la neurobiologie⁷ qui contribue à recréer des composantes de l'intelligence humaine grâce au biomimétisme⁸, et enfin, les technologies matérielles qui servent de véhicule physique pour l'exécution des logiciels d'IA (Ezratty, 2018).

L'IA est un ensemble de techniques qui permettent de trouver des solutions à des problèmes en s'inspirant de mécanismes cognitifs⁹ humains, qui fonctionnent d'une façon rationnelle on se basant sur les faits, données et de l'expérience, et capables d'atteindre un ou plusieurs objectifs de manière optimale (Ezratty, 2018).

À haut niveau, nous pouvons diviser l'IA en trois domaines :

- **Le symbolisme** se concentre sur la pensée abstraite et la gestion des symboles, des algorithmes et de la logique. Le symbolisme est spécifiquement la modélisation de concepts sous une forme liée entre eux par des prédicats logiques. C'est une approche " macro¹⁰ " de résolution de problèmes. Et c'est dans cette catégorie, que l'on peut mettre de côté les systèmes experts et les moteurs de règles qui les font fonctionner, dans une certaine mesure, le web sémantique (Ezratty, 2018)

⁷ Etude du fonctionnement des cellules et des tissus nerveux.

⁸ Imitation technique des processus mis en œuvre par la nature.

⁹ Les mécanismes cognitifs sont les différents modes à travers lesquels un système traite l'information en y répondant par une action.

¹⁰ C'est l'un des niveaux d'analyse qui consiste à une approche globale du sujet à analyser.

- **Le connectivisme** se concentre sur la cognition, y compris la vision, la reconnaissance de formes, et spécifiquement basé sur des réseaux de neurones artificiels qui se reproduisent à petite échelle et se rapprochent de la fonction cérébrale générale. C'est une perspective «micro» et probabiliste de la résolution de problèmes. C'est la que nous pouvons stocker le deeplearning¹¹, utilisé pour la vision artificielle ou le traitement de la parole. Cette IA est également associée aux méthodes stochastiques¹² et heuristiques¹³ de l'apprentissage automatique (machine learning¹⁴) (Ezratty, 2018).

- **Le comportementalisme** qui concerne les pensées subjectives de la perception. C'est dans ce dernier domaine que l'on peut y'ajouter l'informatique affective (ou affective computing) qui étudie les moyens de reconnaissance, d'exprimer, et de synthétiser et modéliser les émotions humaines. C'est une aptitude qu'IBM¹⁵ Watson¹⁶ est censé apporter au robot Pepper¹⁷ de Softbank Robotics¹⁸ (Ezratty, 2018).

Reprenant plus ou moins ce découpage, cette autre segment sous forme d'arbre se compose de trois grandes branches : l'une pour les **tâches spécialisé (d'expertise)**, la seconde pour les **tâches courantes** (perception, sens commun, raisonnement, langage) et la troisième pour les **tâches formelles** (mathématiques, jeux) (Ezratty, 2018).

Cette autre segment largement utilisée comprend l'apprentissage automatique (machine learning), l'apprentissage profond (deeplearning), le traitement du langage, les systèmes experts, la robotique et la vision (Ezratty, 2018).

Comme bon nombre tentatives de segmentation du domaine de l'IA, elle se place comme par hasard au même niveau des outils génériques comme la machine learning et le deeplearning et tout ce qui lui est propre comme la vision artificielle ou le traitement du langage. La robotique quand t'a elle, intègre de son côté tous les autres faces du schéma plus quelques autres qui lui sont dédiées comme les capteurs, les matériaux, la mécanique, les moteurs électriques et autres batteries (Ezratty, 2018).

¹¹ Ou apprentissage profond est un sous domaine de l'IA , et il désigne l'ensemble des techniques d'apprentissage automatique.

¹² Traitement des données statistiques, par le calcul des probabilités.

¹³ Partie de la science, qui a pour objet les procédures de recherches et de découvertes.

¹⁴ Est une technologie d'IA permettant aux ordinateurs d'apprendre sans avoir été programmés

¹⁵ International Business Machines Corporation, connue sous le signe de « IBM », qui est une société multinationale américaine présente dans les domaines du matériel informatique, du logiciel et des services informatiques.

¹⁶ Watson est un programme informatique d'IA conçu par la société IBM dans le but de répondre à des questions formulées en langage naturel. Il s'intègre dans un programme de développement plus vaste.

¹⁷ Le premier robot humanoïde au monde capable d'identifier les visages et les principales émotions humaines.

¹⁸ Le leader mondial de la robotique humanoïde.

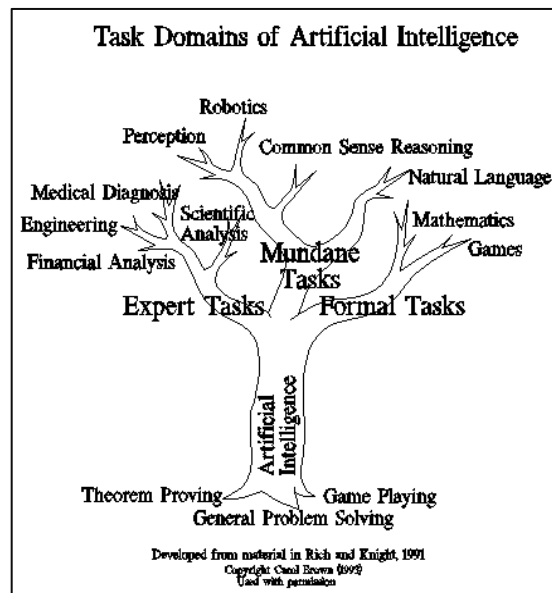


Figure I.2 : Segmentation du camp de l'intelligence artificielle. (source :(Ezratty, 2018))

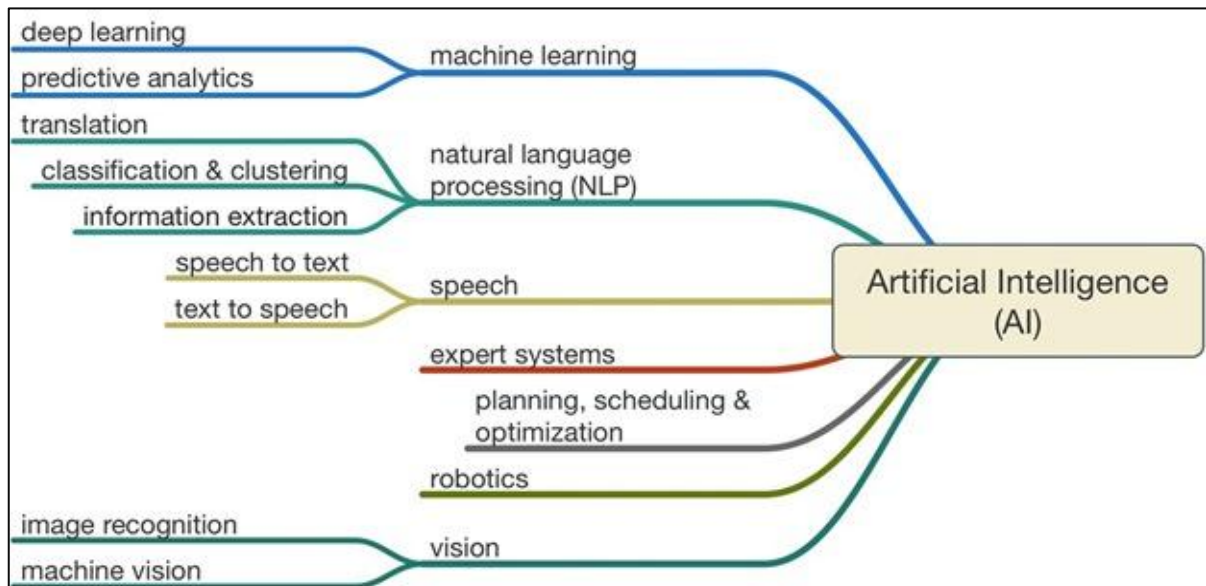


Figure I. 4 : Segmentation de l'IA. (source :(Ezratty, 2018))

I.2.États des lieux :

Faisons le point sur la situation de l'IA en 2018. Le schéma suivant positionne de manière approximative la comparaison des capacités des machines par rapport à celles de l'Homme. Cette méthode anthropomorphique¹⁹ de l'IA n'est pas la seule qui soit pertinente, mais elle nous permet de remettre les choses en ordre (Ezratty, 2018).

¹⁹ L'attribution de caractéristiques du comportement ou de la morphologie humaine à d'autres entités comme des animaux, des objets, des phénomènes, des idées et voire même à des êtres d'un autre monde le cas échéant.

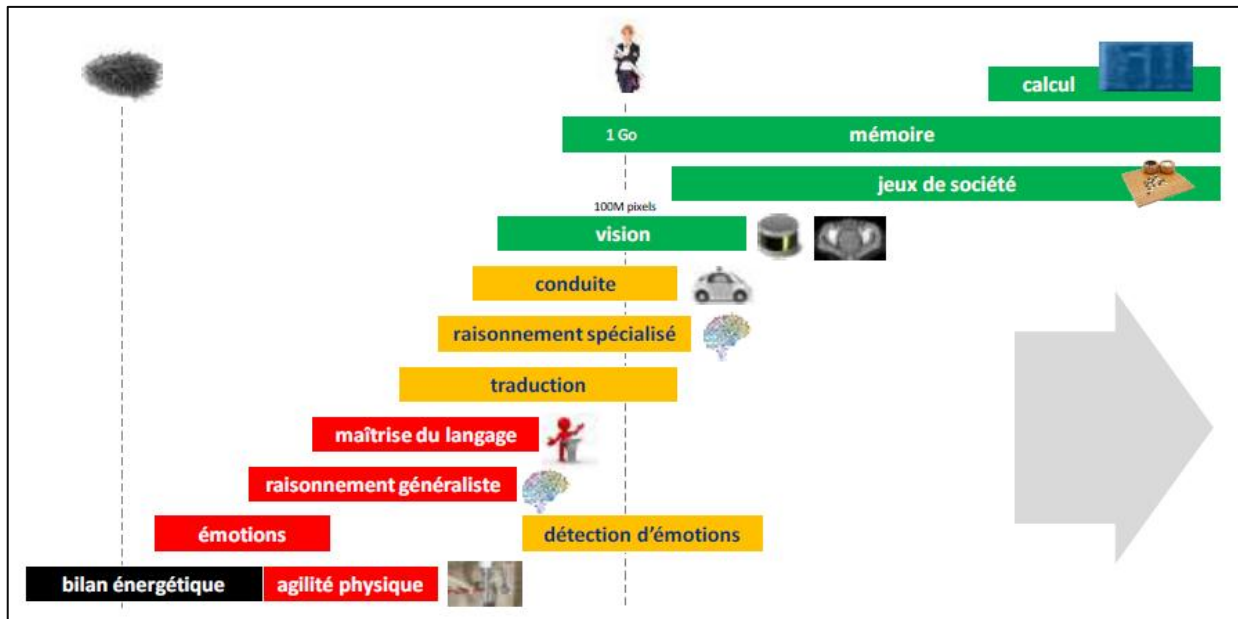


Figure I.5 : Comparaison des capacités de la machine face à celle de l'homme. (Source : (Ezratty, 2018))

Les domaines de l'IA et les outils numériques en général dans les quels elle est plus compétente et dépassent déjà l'Homme sont ceux qui concerne le calcul, comprenant aussi les applications « data » de la machine learning pour donner des prévisions ou de la segmentation, tout ce qui relève et concerne la mémoire, notamment lors de l'accès à de gros volumes d'information, les jeux de société qui sont maintenant la plupart gagnés par l'IA face à l'Homme, les derniers en date était le Go et le Poker, et enfin, la vision artificielle, notamment celle qui est appliquée à des fonctions spécifique spécialisées comme celle du diagnostic médical. Dans les domaines où nous sommes qui peut dire exaequo (égaux), par exemple la conduite autonome dans certaines conditions et le raisonnement spécialisé. La traduction dépasse les capacités générales de l'être humain, mais pas celle des experts en la matière qui sont les spécialistes. Pour les autres, même si les progrès sont constants, l'IA a encore du chemin à faire pour atteindre les capacités total de l'humaine. Tout ce qui concerne la maîtrise du langage elle est encore derrière les capacités humaines. Pour ce qui est de la traduction, un véritable bilingue fera toujours mieux qu'un système automatique (Ezratty, 2018).

L'AI actuelle n'est pas encore prête pour le raisonnement généraliste. Le service fourni par Les agents vocaux est réussi, mais il est loin d'égalé un spécialiste humain, comme par exemple dans un test de Turing²⁰, même Google Duplex réservant pour vous votre rendez vous chez le docteur. L'agilité d'un point de vue général des robots reste finalement très limitée par rapport a celle de l'homme, même si l'on peut qu'admirer les capacités et les prouesses de certains robots de

²⁰ Le teste de Turing est une proposition de test d'IA fondée sur la faculté d'une machine à imiter la conversation humaine.

Boston Dynamics²¹, qui sont quand même en partie « fake ». C'est pourquoi nous ne sommes pas prêts de voir des robots d'aussi tôt s'occuper des patients dans les hôpitaux ou les maisons de retraites. Il faut aussi parler de deux points fondamentales sur l'AI : la gestion des émotions, et le Bilan énergétique. Les IA bien évidemment consomment en général beaucoup plus d'énergie que l'être humain avec son cerveau qui ne consomme que 20W par heure. L'IA nous rend quand même de très nombreux services au quotidien, au grand public comme aux entreprises, mais sans forcément relever de l'imitation de l'intelligence humaine, notamment sa capacité de raisonnement. Il en va ainsi pour les systèmes à base de machine learning qui nous propose minutieusement le bon film sur Netflix ou le bon produit sur Amazon en prenant compte d'exploiter votre historique d'usage et celui des autres Internauts (Ezratty, 2018).

Ces techniques de machine learning sont comme on le sait déjà basées sur des méthodes et outils probabilistes qui ne correspondent pas aux sens humains. Cela permet de modérer à court terme ses frayeurs sur l'IA. Autre limite à prendre en considération, ils n'ont aucun moyen donc incapable d'intégrer un effet de surprise dans leurs recommandations, car ils ne sont dirigé et ne s'inspire que de votre consommation passée, et pas par d'autres sources d'inspiration qui n'ont jamais été capturées en ligne. Il y'a aussi d'autres segmentations de l'IA par rapport a certaines capacités humaines comme par exemple ces quatre catégories de systèmes : qui pensent comme des humains, qui agissent comme des humains, qui pensent rationnellement (donc, pas forcément comme des humains) et qui agissent rationnellement (itou). Plus simplement, on peut utiliser trois catégories : les sens, le raisonnement et l'action (Ezratty, 2018).

I.3. Algorithmes et logiciels de l'IA :

Pour la description de l'univers des algorithmes, logiciels et outils de développement de l'IA, nous allons utiliser une segmentation simplifiée de ce domaine avec les outils du raisonnement automatique, ceux du machine learning qui intègrent les réseaux neuronaux et du deep learning et pour finir, la couche d'intégration des briques de l'IA qui constituent les notions d'agents et de réseaux multi-agents .Cette segmentation couvre les principaux usages actuels de l'IA puisque l'essentiel des solutions de traitement de l'image, du langage naturel et de la perception relèvent du deep learning, celles qui gèrent les données structurées et notamment celles de la prévision qui relèvent du machine learning de base et aussi celles qui relèvent du raisonnement et de la planification qui relèvent de différentes variations de moteurs de règles, solveurs²² et outils associés (Ezratty, 2018).

²¹ Une entreprise américaine spécialisée dans la robotique, notamment a usage militaire.

²² Un logiciel mathématique, éventuellement sous la forme d'un programme informatique autonome ou d'une bibliothèque de logiciel, qui résout un problème mathématique.

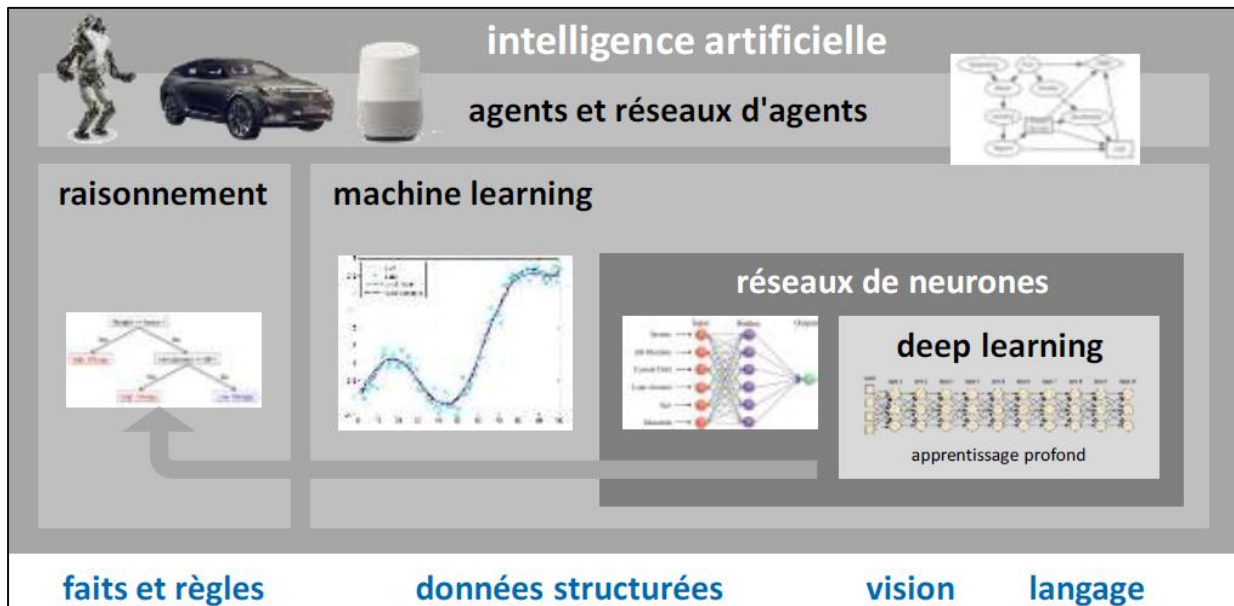


Figure I.6 : Segmentation des usages de l'IA avec les outils de raisonnement automatique. (Source : (Ezratty, 2018))

De nombreuses parties de l'AI n'apparaissent pas dans ce diagramme exploitent ses différentes briques :

- **Les algorithmes évolutionnaires** ou génétiques qui s'appuient sur du deep learning et qui testent de nombreuses solutions pour ne conserver que les meilleures (Ezratty, 2018).
- **La représentation de connaissances** qui est les extraits de données textuelles non structurées, par exemple, via du deep learning, et les exploite ensuite le plus souvent dans du raisonnement automatique avec les outils de l'IA symbolique. C'est la signification de la flèche latérale dans le schéma. Mais cette représentation des connaissances, utilisée aussi dans les agents conversationnels, peut-être pleinement exploitée dans des réseaux de neurones, notamment les réseaux à mémoire (Ezratty, 2018).
- **L'IA affective** qui utilise une variété large d'outils de la machine learning et du deep learning voire du raisonnement automatique pour capturer et classer des facteurs ou éléments extérieurs des émotions humaines et agir en conséquence (Ezratty, 2018).
- **Le transfert learning**, ou apprentissage par transmission, est une variante de ce qu'on appelle « deep learning », qui permet d'entraîner un réseau de neurones à partir d'un réseau de neurones déjà entraîné pour le compléter, et aussi pour le mettre à jour ou l'utiliser dans un domaine voisin du domaine de base (initial) (Ezratty, 2018).

Reprenons ces grandes briques une par une :

- **Les briques du raisonnement et de la planification** qui aident à résoudre les problèmes de logique où nous avons des éléments d'informations factuels sous forme de règles, de faits et de contraintes, qui doivent être disponibles au préalable pour les exploiter. Ces problèmes peuvent être liés à la maintenance, à la manière de conduire un véhicule autonome, au fonctionnement d'un

robot ou d'une machine à commande numérique dans une usine ou de l'optimisation de l'utilisation des ressources multiples pour accomplir des tâches. Les outils les plus connus dans ce domaine sont les systèmes experts construits grâce à des solveurs, on exploitant des bases de règles et de faits formelle. Les moteurs de règles sont maintenant connus sous le nom de « BRMS » qui veut dire « Business Rules Management Systems », et elles sont souvent intégrées dans des DMS, connu comme « Décision Management Systems ». Ces systèmes peuvent incorporer une logique floue pour gérer des faits et règles imprécis (Ezratty, 2018).

- **Le machine learning** ou apprentissage automatique sert à faire des prévisions, de la classification et de la segmentation automatiques en exploitant des données en général multidimensionnelles, comme une base de données clients ou un log de serveur Internet. La machine learning relève d'une approche probabiliste. Les outils de la machine learning servent à exploiter les gros volumes de données des entreprises, autrement dit le « big data ». La machine learning peut s'appuyer sur des réseaux de neurones simples pour les tâches complexes portant sur des données multidimensionnelles (Ezratty, 2018).
- **Les réseaux de neurones** forment un sous-domaine du machine learning pour effectuer des tâches identiques, mais lorsque l'espace de probabilité géré est plus complexe. Ce biomimétisme élémentaire est utilisé lorsque la dimension du problème à résoudre est raisonnable. Sinon, on va rapidement se retrouver dans du deep learning, notamment pour le traitement de l'image et du langage (Ezratty, 2018).
- **Le deep learning** ou apprentissage profond, permet d'aller plus loin que le machine learning pour reconnaître des objets complexes tels que les images, l'écriture manuscrite, la parole et le langage. Le deep learning utilise des réseaux de neurones multicouches, on sachant qu'il en existe de très nombreuses variantes. Ce n'est cependant pas la solution à tous les problèmes que l'IA cherche à traiter. Le deep learning permet aussi de générer des contenus ou d'améliorer des contenus existants, comme pour colorier automatiquement des images en noir et blanc. Deep veut dire profond. Mais le deep learning ne réfléchit pas. Il est profond parce qu'il exploite des réseaux de neurones avec de nombreuses couches de filtres. C'est tout ! Par contre, le deep learning n'est pas dédié exclusivement au traitement de l'image et du langage. Il peut servir dans d'autres environnements complexes comme en génomique²³. On l'utilise aussi dans des approches dites multimodales qui intègrent différents sens comme la vision et le langage (Ezratty, 2018).

²³ La science des génomes, elle étudie les séquences d'ADN des êtres vivants.

- **Les réseaux d'agents ou systèmes multiagents** sont un domaine méconnu qui englobe la science de l'orchestration des briques techniques de l'IA, pour générer et créer des solutions complètes. Un chatbot²⁴ en tant que robot est toujours un assemblage hétéroclite des briques du dessous avec des moteurs de règles, de la machine learning et plusieurs techniques de deep learning. Les réseaux d'agents sont à la fois des objets conceptuels et des outils d'assemblage de briques logicielles de l'IA. Le principe d'un agent est qu'il est conceptuellement autonome, avec des entrées et sorties. L'assemblage d'agents dans des réseaux multi agents est une version « macro » de la création de solutions d'IA (Ezratty, 2018).

Cette classification n'est pas la seule du marché. Il y en a plusieurs, quasiment autant que de spécialistes et non-spécialistes du champ de l'IA (Ezratty, 2018).

I.3. Applications génériques de l'IA :

Après avoir décrit les techniques de base de l'intelligence artificielle côté logiciel, cette section est consacrée aux applications génériques de l'IA qui sont généralement transversales aux entreprises de tous secteurs d'activité (Ezratty, 2018).

Selon Ezratty elles sont organisées en deux grandes catégories :

- **La vision, le langage et la robotique** qui sont basés sur les briques fondamentales de l'IA vues précédemment.
- **Le marketing, les ressources humaines, la comptabilité et la cybersécurité**²⁵ qui sont des fonctions horizontales dans les entreprises et font appel aux briques technologiques de l'IA ainsi qu'aux trois domaines précédents, en fonction des besoins.

I.3.1 Vision

La vision artificielle est l'application la plus utilisée, populaire et diversifiée de l'IA. C'est d'ailleurs l'une des principales applications du deep learning. Et c'est dans ce domaine que l'évolution de l'IA a été le plus manifeste et réussi ces 10 dernières années. La recherche continue d'évoluer dans ce domaine, surtout dans les techniques de reconnaissance d'images pour améliorer au maximum le niveau sémantique de l'identifier des personnes, objets et même terrains dans le contexte de la télédétection²⁶ (Ezratty, 2018).

²⁴ Aussi nommé dialoguer ou agent conversationnel, est un agent qui dialogue avec un utilisateur.

²⁵ Consiste à protéger les ordinateurs, les serveurs, les appareils mobiles, les systèmes électroniques, les réseaux et les données contre les attaques malveillantes.

²⁶ Ensemble des techniques utilisées pour déterminer à distance les propriétés d'objets naturels ou artificiels à partir des rayonnements qu'ils émettent ou réfléchissent.

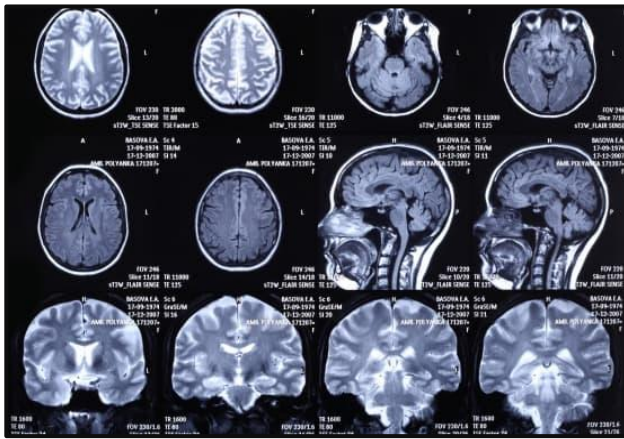


Figure I.7 : imagerie médicale (source : <https://www.larousse.fr/encyclopédie/divers/imagerie/59906>)



Figure I.8 : visages détectés (source : <https://pythonawesome.com/face-detection->)



Figure I.9 : Télédétection (source : <https://seos-project.eu/agriculture/agriculture-c03-p03.fr.htm>)



Figures I.10 : Empreinte (source : <http://afoc-locataires-arcade.eklablog.fr/biometrie-a-destination-du-grand-public-quelles-sont-les-regles-a148069356>)

I.3.2 Langage

Le traitement du langage et la deuxième plus grande application de l'IA avec le traitement d'image. Il comprend de nombreuses fonctions, notamment celle de la reconnaissance vocale, la robotique conversationnelle, la traduction automatique, l'extraction de données, la création de résumés et la génération de textes. Ces outils englobent tout le champ, de la compréhension du langage à son interprétation, son exploitation puis à la création de textes ou de paroles. Il comprend aussi les outils et méthodes de représentation des connaissances (Ezratty, 2018).

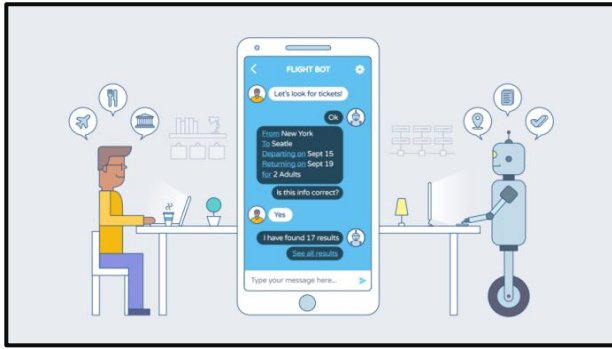


Figure I.11 : Chatbot (source : <https://chatbotsmagazine.com/why-the-world-needs-chatbots-ae0c4abc33d5?gi=3a8673985d44>)



Figure I.12 : Traduction (source : <https://www.tomsguide.fr/google-traduction-gerera-bientot-la-traduction-de-contenus-audios/>)



Figure I.13 : Agent vocal (source <https://anticip.paritel.fr/se-projeter/5-outils-de-reconnaissance-vocale-pour-booster-votre-productivite/>)

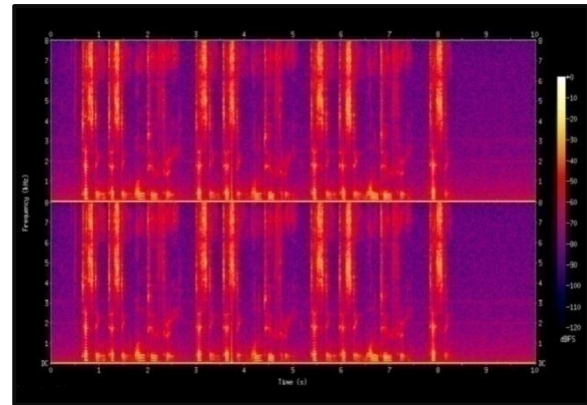


Figure I.14 : Reconnaissance de parole (source : <https://www.hisour.com/fr/speech-recognition-42804/>)

Ce domaine exploite principalement le deep learning et les réseaux récurrents et à mémoire. Ce domaine de l'IA est par ailleurs un peu moins mature que celui de l'image. A titre d'exemple, peut-on dire qu'une IA de diagnostic dans l'imagerie médicale équivaut à celle d'un spécialiste, autant un chatbot est encore loin de passer avec succès le test de Turing et d'arriver à se faire passer pour un Humain. Ou tout simplement, à conduire une discussion cohérente de bout en bout pour des demandes élémentaires, même dans l'environnement calme de son logement (Ezratty, 2018).

Le deep learning appliqué au langage est aussi probabiliste que celui qui est appliqué aux images. Celui-ci a permis de faire d'énormes progrès dans tous les domaines du traitement du langage, en gros, entre 2012 et 2017. Le domaine du traitement du langage et de la représentation des connaissances est très riche et en constante évolution. Il est très difficile à suivre pour les néophytes²⁷. Les concepts sont constamment renouvelés (Ezratty, 2018).

²⁷ Personne qui a récemment adhéré à une doctrine, un parti, une association.

I.3.3 Marketing et vente :

Le marketing et la vente, en particulier en ligne, sont l'un des marchés les plus promettant des applications de l'IA. Elles sont mises en œuvre dans toutes les étapes du cycle de vente, et l'offre de startups²⁸ y est tellement abondante, que cela en devient risible (Ezratty, 2018).

Dans le marketing amont²⁹ et le planning, l'IA nous aide à classifier ses clients, à comprendre et connaître leurs besoins, à bien cerner et définir les marchés et clients cibles, et à interagir directement avec eux. Le profil des utilisateurs dans les réseaux sociaux permet de faire du micro ciblage³⁰ d'offres (Ezratty, 2018).



Figure I.15: Logos utilisés pour le marketing des produits (source : <https://consonews.ma/10814.html>)

Bref, les équipements de l'IA en marketing et vente est très large, notamment pour les sites de vente en ligne. Donc la question qui reste à se poser, Quel est l'impact de ces outils sur les métiers du marketing ?

Dans la plupart des cas, ils constituent une boîte à outils étendue pour les spécialistes du marketing, comme l'ont été de nombreux outils de productivité depuis l'invention de la bureautique et du tableur.

L'impact est considéré plus important dans le cas des chabots, car ils peuvent entraîner une substitution partielle des tâches vis-à-vis du personnel de centres d'appels, en particulier pour les

²⁸ Entreprise en démarrage en français, est une entreprise innovante nouvellement créée, généralement en recherche d'importants fonds d'investissement.

²⁹ L'ensemble des actions pour convaincre des cibles en amont de la production, par exemple les fournisseurs. Il s'agit donc surtout de B to B.

³⁰ Méthode qui consiste à utiliser les données disponible sur les caractéristiques géographique, démographique, comportementales ou psychologique des clients grâce à leurs profils sur les réseaux sociaux.

appels entrants, et le support technique en appels entrants (Ezratty, 2018).

✓ Sephora automatise l'engagement des clients avec les chatbots :

Pour la plupart des détaillants, traiter un grand nombre de demandes de renseignements et de commentaires de la part des consommateurs via plusieurs canaux comme le téléphone, l'e-mail ou encore les médias sociaux peut s'avérer agaçant, même pour les services les mieux équipés.

Et pour contrer cela, la chaîne de magasins de beauté de renommée mondiale « Sephora », est devenu l'un des premiers dans le secteur du commerce à employer, pas un seul, mais deux chatbots sur Messenger (Virfollet, 2018).

Sephora Reservation Assistant : qui permet aux clients d'avoir des rendez-vous avec des esthéticienne (spécialistes de la beauté), avec un simple message a chatbot.

Sephora Color Match : en réalité augmentée, et un algorithme qui associe les traits du visage à la teinte adéquate, le chatbot aide les clients à définir et à trouver les couleurs qui leurs correspondent le mieux à chaque personne (Virfollet, 2018).

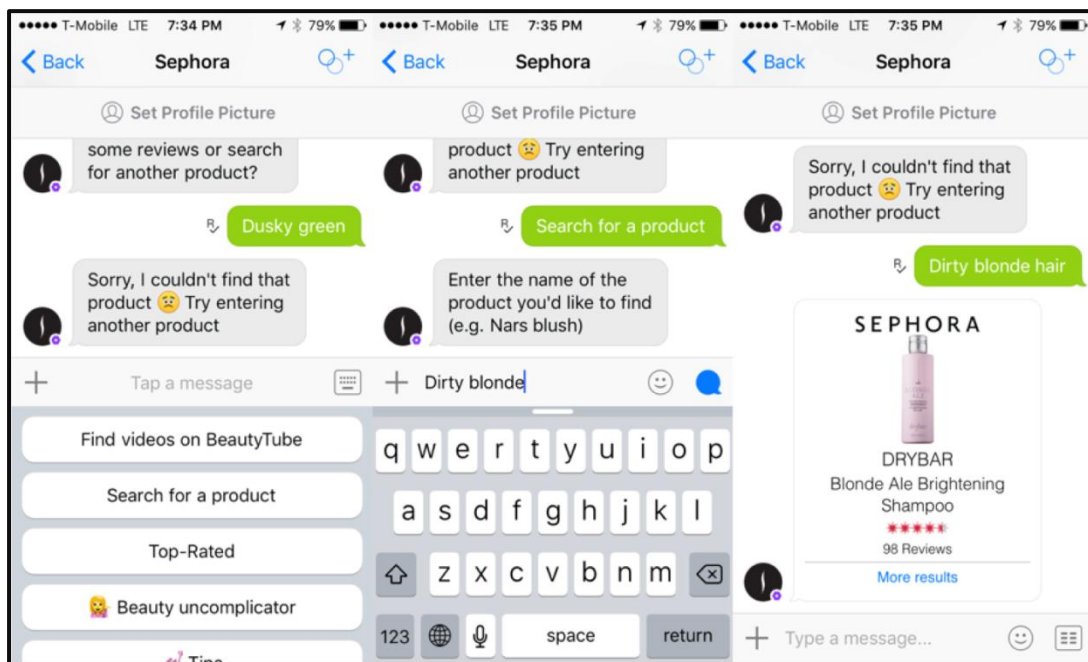


Figure I.16 : Sephora réservation assistant (source :<https://www.devisedaily.com/pin/sephora-chatbot-on-facebook-messenger-to-aid-in-search-discovery/>)

I.3.4Cybersécurité :

La cybersécurité est un très bon terrain de jeu pour l'IA, pour détecter les menaces qu'il s'agisse d'un spam³¹ d'email, ou de mail de l'hameçonnage³², ou d'identifier de vulnérabilités diverses dans les réseaux et système d'informations notamment les « non malware attacks »

³¹ Envoi répété d'un message électronique, souvent publicitaire, a un grand nombre d'internautes sans leur consentement

³² Une technique frauduleuse destinée à leurrer l'internaute pour l'inciter à communiqué des données personnelles en se faisant passer pour un tiers de confiance.

(remote login, attaques par scripts et macros, etc.). Mais elle génère aussi ses propres menaces et vulnérabilités, surtout dans les réseaux de neurones qui peuvent être contournés et trompés par des adversaires mal intentionnés (Ezratty, 2018).

I.3.4.1 Sécuriser en présence d'apprentissage machine :

Les systèmes dits d'intelligence artificielle d'aujourd'hui, sont souvent basés sur l'apprentissage statistique. Et ces systèmes apportent deux grandes menaces : La première est en rapport avec la protection des données personnelles: quelles informations sur les données d'apprentissage est-il possible de tirer d'un réseau de neurones entraîné sur ces données, selon que l'attaquant ait ou n'ait pas accès aux valeurs internes de ce réseau? Et la seconde menace est liée à la confiance que l'on peut avoir dans les sorties de ces systèmes. En effet, on sait que l'ajout à une image d'un bruit soigneusement choisi et indiscernable à l'œil nu, peut clairement entraîner une classification incorrecte de cette image, et donc nous conduire à une prise de décision erronée (on parle d'apprentissage antagoniste³³, ou adversaire learning) (Kirchner and Mé, 2019).

Un défi de recherche pour assurer la protection des données d'apprentissage, est d'étudier comment ces données devraient/peuvent être modifiées avant stockage et l'utilisation. Bien entendu, cette modification ne doit pas trop affecter les éléments nécessaires et indispensables à l'apprentissage, et donc à la réalisation de la tâche attendue du réseau entraîné. On peut également noter que de manière connexe, que d'autre piste de recherche consiste à étudier une forme d'apprentissage distribué, afin de ne pas avoir à stocker toutes les données d'apprentissage au même endroit et, et tout ça pour cause de atténuer et limiter les conséquences d'une attaque potentielle (Kirchner and Mé, 2019).

La lutte contre l'apprentissage antagoniste nécessite d'abord de comprendre les faiblesses des stratégies d'apprentissage, pour repérer avec précision les attaques possibles, leurs mode d'action ou mode opératoire, pour ensuite trouver la manière de les contrer. Il est également nécessaire d'étudier, comment la surveillance et la supervision des interactions internes entre les couches d'un réseau, pourrait nous permettre d'observer et de caractériser d'éventuels artefacts illégitimes. Une telle étude nous permettra également de comprendre, comment rendre ces interactions entre classe ou couches plus puissantes et robustes (Kirchner and Mé, 2019).

³³ Sont une classe d'algorithmes d'apprentissage non supervisé, introduites par Goodfellow et al.2014, et ils permettent de générer des images avec un fort degré de réalisme.

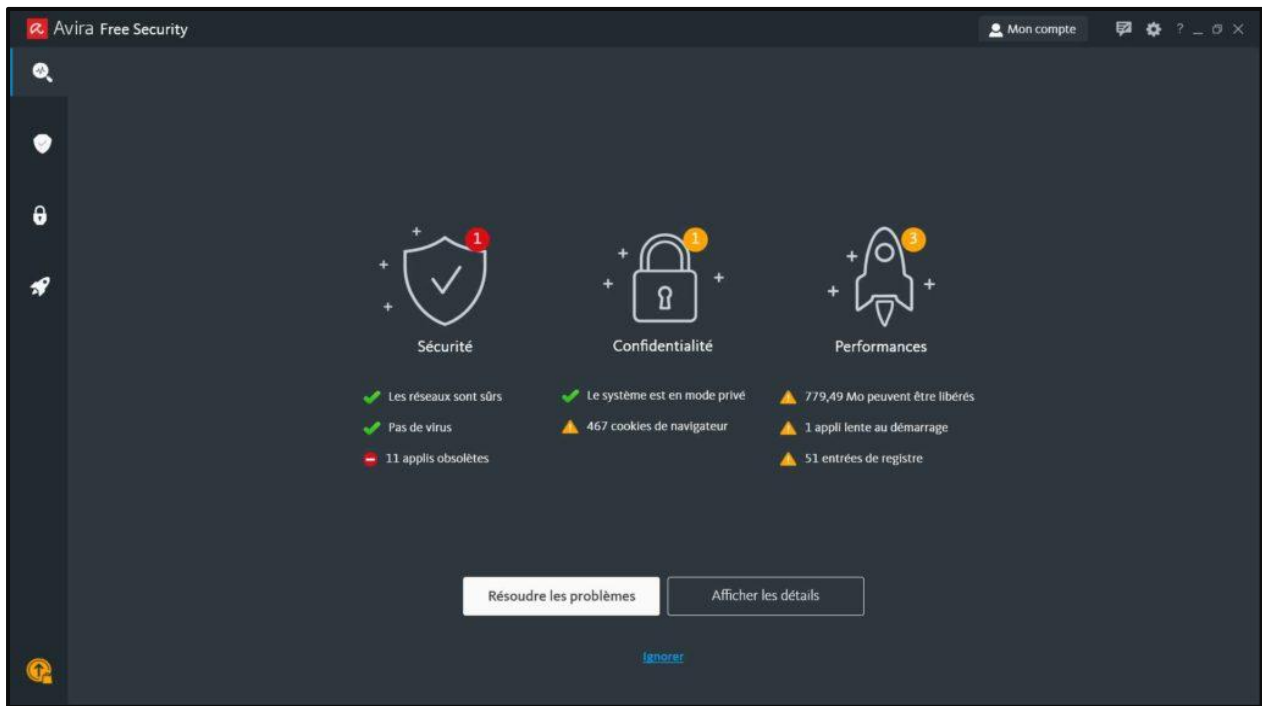


Figure I.17: Avira Free Security (Source: <https://cdn.tomsguide.fr/content/uploads/sites/2/2020/11/image3-1-1024x576.jpg>)

I.3.5 La robotique

La robotique est un domaine à part entière, faisant de plus en plus parti des briques techniques de l'IA. Au même titre d'exemple que l'IA, la robotique est une science intégrative, car elle associe capteurs, mécanique, batteries et logiciels (Ezratty, 2018).

Le concept de robot remonte à l'antiquité, mais le mot est apparu dans une pièce de l'écrivain tchèque Karel Capek en 1920. Le premier robot mobile qui pouvait s'adapter à son environnement portait le nom de Shakey (1966-1972). Il était muni de divers capteurs, dont une caméra, et des détecteurs de proximité et relié à des mini-ordinateurs DEC PDP³⁴-10 et PDP-15 via une liaison radio (Ezratty, 2018).

I.3.5 .1 Classes de robots

Les définitions d'un robot ont évolué au fil des années. Aujourd'hui, on parle d'un appareil qui interagit avec le monde physique, pour accomplir différentes tâches, et qui s'adapte à l'environnement (Ezratty, 2018).

Automate³⁵ : il répète exactement un geste programmé, soit par un logiciel ou par la saisie d'un geste humain. C'est là que nous pouvons ranger les machines d'usinage à commande numérique, les robots dessinateur qu'on peut aussi appeler robot de peinture, qui effectuent systématiquement le même geste, ainsi que les imprimantes 3D. Le robot chirurgical

³⁴ Un model d'ordinateur de la gamme des PDP «Programmable Data Processor » construit par Digital Equipement Corporation « DEC ».

³⁵ Un dispositif reproduisant en autonomie une séquence d'actions prédéterminées sans l'intervention humaine, le système fait toujours la même chose, c'est un objet programmé.

télécommandés sont également dans cette catégorie (Ezratty, 2018).

Type de commande	Commande vocale	Commande par pédale	Commande manuelle	Guidage par la direction du regard
Avantages	Systèmes fiables Faible encombrement du système Apprentissage rapide	Apprentissage rapide Rapidité de mise en œuvre	Fonctionnement intuitif	Mouvement rapide Mouvements possibles en diagonale
Inconvénients	Nécessite un apprentissage de la voix Atmosphère silencieuse nécessaire Erreurs de reconnaissance Port d'un casque microphone	Encombrement de la pédale Apport d'une pédale supplémentaire	Pour le robot LAPMAN, position dans la paume nécessitant un repositionnement de la main.	Apprentissage L'espace entre l'émetteur et le récepteur doit être libre Port d'un casque
Systèmes utilisant le moyen de commande	AESOP ZEUS LER	AESOP DA VINCI	LAPMAN DA VINCI ZEUS	EndoAssist

Figure I.18: moyens de commande des robots (Source : <https://www.urofrance.org/base-bibliographique/utilisation-de-la-robotique-en-chirurgie-laparoscopique-urologique-etat-de-l-art>)

Robot : qui donne à l'automate la capacité de réagir à son environnement avec des règles programmées d'une façon traditionnelle par logiciel. Comme par exemple le cas d'un robot d'embouteillage, qui sait s'arrêter en cas d'incident détecté par des capteurs simples. Les premiers robots de cette catégorie ont vu le jour grâce à Unimation³⁶ et ont été installés chez GM en 1961. De nombreux robots industriels manipulateurs ont été créés tout au long des années 1970, aux États-Unis (Cincinnati Milacron³⁷, Unimation), au Japon (Hirata) et en Suède (ASEA) (Ezratty, 2018).

Robot : qui réagit à son entourage (environnement), et ça c'est grâce à des sens qui font appel à l'intelligence artificielle et aussi la vision. C'est le cas de la plupart des catégories de drones et de certains robots humanoïdes³⁸. Cette catégorie de robots progresse donc en liaison étroite avec l'évolution récente de l'IA, notamment en ce qui concerne l'apprentissage profond (Ezratty, 2018).

Robot : qui en plus des fonctions précédentes, elle est dotée de capacités d'apprentissage et d'adaptation. Ils sont assez rares (Ezratty, 2018).

Les robots sont souvent réservés à des tâches dangereuses (centrales nucléaires, déminage), répétitives (peinture), stressantes (assemblage en usine), fatigantes (manutention, BTP, tonte de la pelouse), ennuyeuses (vissage), répugnantes (nettoyage) ou impossibles à faire de manière classique (revers sur Mars, drones aériens). Ils interviennent également là où ils sont moins chers que des opérateurs humains en prenant compte le facteur de temps. La technologie robotique nécessite l'intégration de nombreuses disciplines : la mécanique, les moteurs, les capteurs et les sens artificiels (vision, toucher, ouïe, gaz, humidité, pression, température, proximité), la

³⁶ Une société américaine, qui a créé le premier robot industriel « Unimate ».

³⁷ Société à responsabilité limitée américaine qui fabrique et distribue des équipements de traitement du plastique pour des domaines tels que le moulage par injection et le moulage par extrusion.

³⁸ Se terme signifie « ressemblant à l'humain » il évoque la bipédie, la présence de deux bras et d'une tête. Il s'agit donc uniquement d'un critère phénotypique et plus précisément morphologique.

planification et le raisonnement (Ezratty, 2018).

I.4. Applications métiers de l'intelligence artificielle :

I.4.1 La médecine

La future pratique de la médecine devrait en être bouleversée. Dans un scénario possible, dire plausible, le patient devra répondre à l'avenir, à un questionnaire interactif en ligne, puis se tournera vers un système d'imagerie corps entiers par ultra-sons, qui sera capable d'analyser des paramètres physiques des organes. Des photographies cutanées seront, le cas échéant, traitées par analyse d'image, les bruits enregistrés du corps subissant un traitement spécifique. Ensuite des robots feront comme aujourd'hui, une batterie standard d'examens biologiques. Et Après avoir comparé les résultats avec la totalité des données connues, la machine pourra prescrire, et même parfois réaliser, des investigations complémentaires. Au final, elle posera le diagnostic le plus probabiliste, et prescrira le meilleur traitement selon les circonstances. Grâce à l'apprentissage profond, ces nouvelles machines apprendront de leurs hésitations, de leurs lacunes, insuffisances et s'amélioreront sans cesse us haut. Enfin, les approches de l'analyse prospective s'applique dans le domaine de l'éducation a la santé, et de la prévention. L'incertitude persistante quant au déroulement de ce scénario m'apparait être surtout d'ordre économique; il pourrait accentuer les inégalités de santé (Kahn, 2018).



Figure I.19 : Rayon X d'une main, avec calcul automatique de l'âge osseux par un logiciel informatique (Source : wikipedia)



Figure I.20 : Imagerie médicale avec un algorithme pour détecter les signes de déclin cognitif en s'appuyant sur l'IRM cérébrale (source : <https://docteurimago.fr/actualites/medicale-et-technique/intelligence-artificielle-et-imagerie-font-la-paire-pour-predire-la-maladie-dalzheimer/>)

Aujourd'hui, encore plus demain, de plus en plus en « pilotage automatique ». Les techniques d'épidémiologie³⁹ s'appuient déjà de manière croissante, sur un suivi numérique, qui avec le temps devient autonome, et le sera sûrement encore plus à mesure qu'y seront connectées les « machines à diagnostics » envisagées plus haut. Enfin, les approches de l'analyse prospective s'appliquent dans le domaine de l'éducation à la santé, et de la prévention. L'incertitude persistante quant au déroulement de ce scénario, m'apparaît être surtout d'ordre économique; il pourrait accentuer les inégalités de santé (Kahn, 2018).

✓ Intelligence artificielle et COVID-19

À ce jour, plusieurs modèles d'intelligence artificielle en progressés dans le monde, notamment en vue d'aider au diagnostic de l'infection par COVID-19, mais aussi d'évaluer le pronostic grâce à une automatisation de l'évaluation de l'extension lésionnelle des patients atteints du virus (Guiot et al., 2020).

Au CHU de Liège, nous utilisons un modèle d'intelligence artificielle, capable de réaliser une segmentation automatisée et analysé l'ensemble du parenchyme pulmonaire⁴⁰, afin de définir si le scanner thoracique est compatible, ou non, avec une infection par COVID-19 («COVIA») (6). Le système COVIA, développé sur un groupe de 181 patients comparés à 1.200 cas contrôles, permet d'identifier une infection par COVID-19 avec une valeur prédictive positive de 53,6 % et une valeur prédictive négative de 97,1 %. Le modèle permet d'identifier l'infection par COVID-19 avec une précision de 89,7 % (IC 95 % : 84,0-93,9). La particularité du COVIA est d'intégrer une segmentation automatisée dans un modèle basé sur cinq caractéristiques principales : l'intensité moyenne de l'image des poumons, une matrice de cooccurrence de niveaux de gris, des modifications des textures en intensité ou localisation. Une des forces de ce modèle, est sa valeur prédictive négative excellente, qui est utile comme aide à la prise de décision dans la gestion des flux de patients hospitalisé (Guiot et al., 2020).

Il n'existe pas, à ce jour, de modèle parfait ou idéal, et l'ensemble de ces outils doit être utilisé en complément d'une analyse radio-clinique intégrée (Guiot et al., 2020).

³⁹ Une discipline scientifique qui étudie les ennuis de santé dans les populations humaines, leur fréquence, leur distribution dans le temps et dans l'espace, ainsi que les facteurs influant sur la santé et les maladies de populations.

⁴⁰ La partie intime du poumon composée des bronchioles respiratoires, des conduits alvéolaires et des alvéoles.

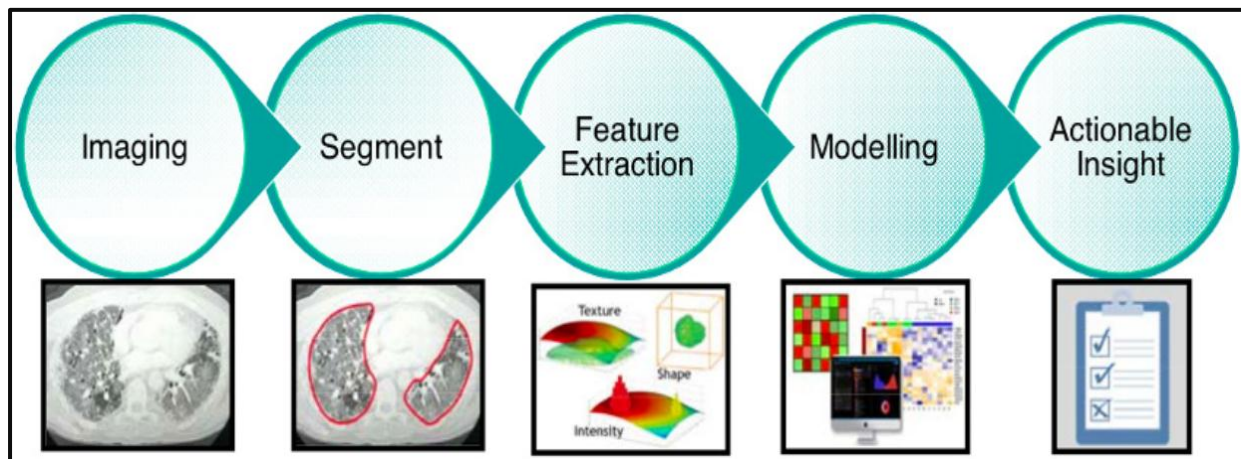


Figure I.21 :Schéma d'utilisation du système COVIA au CHU de Liège (source :(Guiot et al., 2020))

I.4.2 Transport

L'intelligence artificielle par exemple, peut être appliquée au développement de véhicules automatisés, et de systèmes d'aide à la conduite, de sécurité, de système anticollision et de transports publics. Compte tenu du problème que pose le transport individuel en termes de durabilité, tout développement en matière de transports publics intelligents sera capital dans les prochaines décennies. Selon les prédictions de l'American Federal Aviation Administration⁴¹, quelque 40% du fret aérien seront transportés par des avions sans pilote d'ici quarante ans (SOMMES-NOUS, 2015).

✓ Les véhicules autonomes

Les véhicules autonomes sont rattachés aux STI⁴², en d'autre terme participant de l'écosystème de transport intelligent qui se développe. La voiture autonome se définit comme étant « un véhicule à moteur équipé d'un système autonome, c'est-à-dire un système capable de conduire un véhicule sans l'intervention d'un être humain ».A vrai dire, les voitures présentant un certain degré d'automatisation sont déjà en circulation, dans de nombreux pays ou régions (Cassart, 2018).

D'après la classification de la National Highway Traffic Safety Administration américaine⁴³, les véhicules dotés de régulateur de vitesse adaptatif ou d'aide au stationnement, sont déjà dans le niveau 2 de l'automatisation (Cassart, 2018).

⁴¹ Une agence gouvernementale chargée des réglementations et des contrôles concernant l'aviation civile aux Etats-Unis.

⁴² Le terme STI signifie « Solutions Technologiques Industrielles »

⁴³ Une agence fédérale américaine chargée de la sécurité routière, elle dépend du département des transports des Etats-Unis.

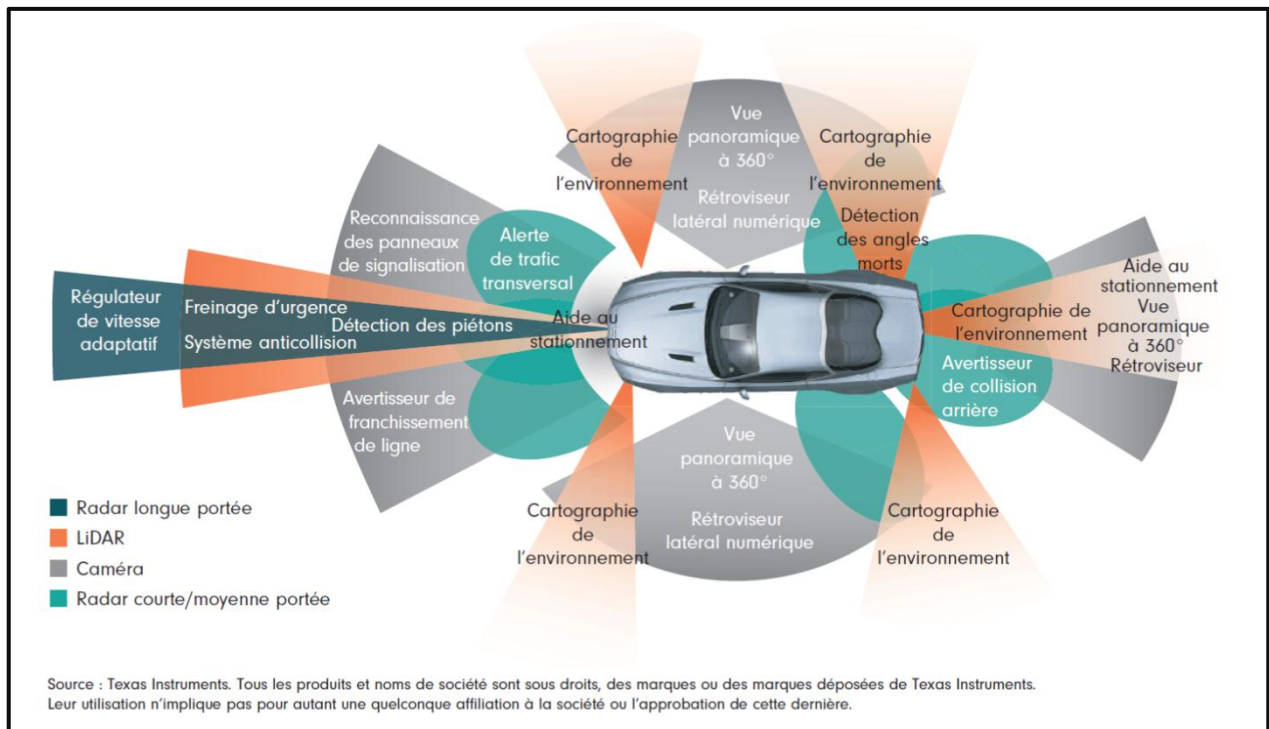


Figure I.22 : Emplacement et types de capteurs d'une voiture autonome de niveau 4/5 (source : <https://www.investir.ch/article/voiture-autonome-mise-circulation-possible-dici-5-ans/>)

I.4.3 agro alimentation

L'agriculture est un autre grand terrain où l'IA a plusieurs applications, et surtout en robotique, mais également en amont, avec les outils de la télédétection qui sont épaulées de plus en plus par la reconnaissance d'image à base de deep learning, et aussi sur l'agriculture de précision qui combine les objets connectés à l'IA ainsi que des robots (Ezratty, 2018).



Figure I.23 : robot agricole (Source : <https://www.hisour.com/fr/agricultural-robot-40798/>).



Figure I.24 : une image satellite (Source : <http://palebluedotllc.com/?p=938>).

L'AI de l'agriculture pratiquée est basée essentiellement sur le traitement d'image, des données sourtées d'objets connectés et de la robotique (Ezratty, 2018).

➤ Alimentaire

L'IA peut s'utiliser dans plein de registres différents dans les industries agroalimentaires. Elles réexploitent des techniques déjà vues et utilisées dans la rubrique sur l'industrie à propos de la fabrication de produits en usine, ne serait-ce que pour la robotisation et le contrôle qualité. C'est d'ailleurs ce que propose Dataswati⁴⁴ (2016, France), dans une startup qui utilise une IA multimodale, exploitant de l'imagerie et des données de capteurs divers (humidité ...) pour faire du contrôle qualité, et surtout dans les chaînes de production agroalimentaires⁴⁵ (Ezratty, 2018).

I.4.4 Finance

Le domaine de la finance est un terrain très propice à l'usage de techniques de machine learning, dans tous ses métiers, du front office au back-office en passant par la relation clients grâce à des chatbots, l'analyse de risques et l'optimisation de portefeuille, sans compter les techniques de base pratiquées depuis longtemps, comme par exemple la reconnaissance automatique de l'écriture manuscrite dans les chèques. Le but est toujours d'améliorer les opérations, d'en diminuer les coûts, de personnaliser les offres et d'optimiser la relation client (Ezratty, 2018).

Les technologies de l'IA ont démontré qu'elles figuraient parmi les meilleurs outils en matière de spéculation des fluctuations des cours boursiers. Les prédictions de marché de l'IA s'appuient sur des algorithmes prédictifs en amélioration et évolution constante, et ces systèmes apprennent de nouveaux modèles et établissent des liens entre les données anciennes et nouvelles. On estime que les technologies de l'IA généreront des outils fonctionnels et plus précis à l'aide de modèles logiques de prise de décision non linéaire, et révolutionneront ainsi la bourse (SOMMES-NOUS, 2015).

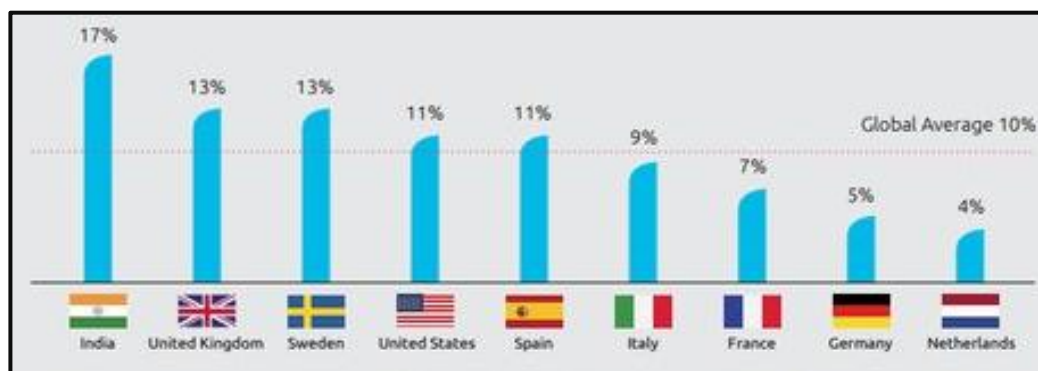


Figure I.25 : proportion de l'organisation mettant en œuvre l'automatisation Intelligente à grande échelle, par pays (source :<https://www.latribune.fr/>)

⁴⁴ Une start-up spécialisée dans la résolution de problèmes dans des processus industriels complexes (physique, biologique, chimique)

⁴⁵ Secteur d'activité correspondant à l'ensemble des entreprises des secteurs primaire qui produisent des aliments et secondaire qui transforment ceux-ci en aliments industriels ; transformer les matières premières agricoles en produits alimentaires simples.

I.4.4 Bâtiments et travaux publics

Le marché du BTP comprend plusieurs sous-catégories avec celui du gros œuvre et du sous-œuvre dans la construction de bâtiments d'habitation comme dans le tertiaire, et celui de la promotion immobilière, et aussi celui du génie civil pour les gros ouvrages d'art ainsi que pour la construction de routes (Ezratty, 2018).

I.4.4.1 Dans le bâtiment

Dans le domaine du bâtiment, des milliers de projets ont déjà été mis en œuvre, et les données disponibles (comptabilité, documents officiels, rapports internes, modèles numériques, etc.) offrent un large éventail de possibilités d'entraînement et de renforcement de l'IA. Des méthodes dites « d'apprentissage par renforcement » s'améliore et se développe de plus en plus : ces dernières consistent à simuler un grand nombre de situations à partir des contraintes du projet, et des buts et objectifs à réaliser et à atteindre pour générer plusieurs solutions optimisées (Panissod, 2019).

Ces approches se lancent au défi de conquérir la conception du bâtiment à différentes échelles :

- En immobilier, pour simuler des projets sur un terrain (parcelle), ou encore pour automatiser et optimiser la programmation de logements (comme le propose par exemple la start-up TestFit)(Panissod, 2019).
- Pour la planification et l'aménagement des espaces intérieurs, l'architecte Stanislas Chaillou a créé et formé des algorithmes d'IA en les entraînant pour proposer des solutions comprenant l'agencement des différents types de pièces, des portes et fenêtres, le mobilier, tout cela à partir de la surface d'un bâtiment. Il promeut ainsi un volet encore plus ambitieux de tout un champ de recherche et développement du numérique dans la conception automatique des bâtiments (Panissod, 2019).
- Pour la conception et la recherche des équipements techniques : des projets s'approchent dans le périmètre de la génération de réseaux d'électricité, chauffage, ventilation et climatisation en partant de la maquette numérique du bâtiment. C'est d'ailleurs le cas de la start-up Building Automation Systems, qui propose depuis 2017 une extension et une amélioration du logiciel de conception Revit, permettant de générer des réseaux d'électricité (Panissod, 2019).
- Pour la plupart des recherches et études qui englobe un projet avant sa construction, l'IA est un outil qui est en cours d'appropriation par les logiciels de conception, et notamment ce qui concerne l'optimisation énergétique, le chiffrage des opérations, la génération automatique du ferrailage (Panissod, 2019).

Les plans proposés et générés sont originaux et inattendus. En partant des mesures de l'espace original, le logiciel propose et produit des propositions pour optimiser l'espace et le matériel, ou pour optimiser les parcours en cas de problème d'incendie ou autre chose (Panissod, 2019).

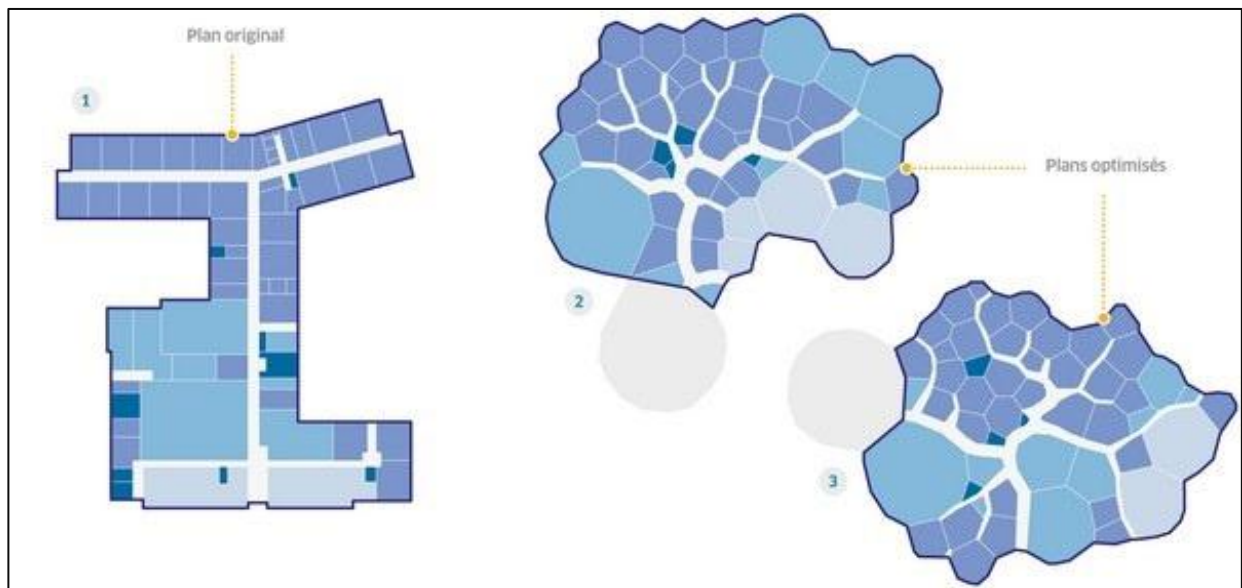


Figure I.26 : Génération de plans d'école à partir de l'original (1), pour optimiser l'espace et le matériel (2), pour optimiser les parcours en cas d'incendie (3) (source : Joe Simon, chercheur et entrepreneur en bio-informatique - www.joelsimon.net, juin 2019)

L'approche de l'apprentissage par renforcement peut être intéressante pour déboucher sur des résultats ou des conceptions que les humains n'ont pas l'habitude de penser. Joel Simon, chercheur aux États-Unis, a expérimenté un modèle similaire à de l'apprentissage par renforcement pour générer les plans d'une école. Les plans proposés sont originaux et inattendus. À partir des mesures de l'espace original, le logiciel produit des propositions pour optimiser l'espace et le matériel, ou pour optimiser les parcours en cas d'incendie (Panissod, 2019).

Plus les briques d'IA seront à disposition, plus il s'avérera essentiel d'intégrer dans ces outils l'ensemble du cycle de vie du bâtiment et des besoins des usagers (Panissod, 2019).

Cet exemple illustre la capacité de l'IA à générer de nouvelles solutions. En revanche, elle remet en question les usages actuels au-delà des plans, puisqu'il s'agirait dans cet exemple d'une structure bien plus complexe et potentiellement plus coûteuse à construire que ce qui existe aujourd'hui. De plus, au-delà des défis techniques qui sont posés, les habitudes des résidents sont également remises en question (Panissod, 2019).

Dans l'exemple de ces nouveaux plans d'école, on sort complètement des schémas cartésiens d'organisation de l'espace hérité de la conception millénaire de la ville grecque, dont la configuration en damier a inspiré nombre de planificateurs urbains en Amérique du Nord par exemple. Saurions-nous nous orienter et nous épanouir dans ces nouvelles architectures ? Plus les briques d'IA seront à disposition, plus il s'avérera essentiel d'intégrer dans ces outils l'ensemble du cycle de vie du bâtiment et des besoins des usagers pour confronter aux calculs de l'IA toutes les contraintes du projet, quelle qu'en soit l'étape de vie (Panissod, 2019).

- Les solutions d'intelligence artificielle aujourd'hui en test à l'échelle d'un chantier restent complétées et contrôlées par des humains. Ces applications ne sont pas encore réellement matures (Panissod, 2019).
- L'IA offre la possibilité d'optimiser la gestion du bâtiment en s'abreuvant des données à disposition : maquette numérique, capteurs de température, données météo, plannings, occupation de l'espace, etc (Panissod, 2019).
- L'IA relevant encore de démarches exploratoires dans le secteur du bâtiment, il faut coordonner l'ensemble des programmes de recherche, d'innovation et de gestion des systèmes d'information des entreprises pour développer des solutions d'IA intégrées aux entreprises et véritablement utiles aux opérationnels (Panissod, 2019).

En termes de transparence, les algorithmes d'intelligence artificielle rendent parfois difficile l'explication d'une solution proposée par le logiciel : l'IA fait souvent effet de boîte noire. Comment expliquer les choix et processus ayant conduit le logiciel à choisir certains matériaux pour la conception d'un bâtiment au détriment d'autres ? Qui est responsable d'une décision lors d'un litige sur une solution fournie par l'IA ? De plus, l'IA reproduit, voire caricature, les biais des données sur lesquelles elle s'entraîne : comment garantir une certaine diversité des données et quelle gouvernance donner à cet enjeu ? Ces questions s'accumulent à mesure que de nouveaux projets apportent de nouvelles découvertes, l'IA reflète la réalité des données qu'on lui soumet : lorsqu'elle sera utilisée, elle remettra certaines problématiques générales du bâtiment sur la table. (Panissod, 2019)

Les usages de l'IA dans le domaine d'architecture sont variés et touchent différentes échelles, elle peut fournir une aide spéciale aux responsables du secteur de la construction ; cette aide qu'on va développer dans les prochains chapitres.

Conclusion :

Les technologies de l'intelligence artificielle sont immenses et ont des impacts sur de nombreux domaines techniques et même sociaux ; cette dernière modifie plusieurs métiers avec des progrès considérables, malgré sa complexité, cette technologie émergente qui est en vogue devient présente dans notre vie quotidienne ; jeux vidéo, logiciels de diagnostic, cyber sécurité. En clair, cette intelligence touchant autant à l'informatique qu'aux mathématiques et qui s'appuie principalement sur des algorithmes dont les possibilités offertes semblent illimitées et ne cessent de s'améliorer avec le temps, l'avenir de cette technologie est aujourd'hui à nos portes pour pouvoir acquérir du bien-être, du confort sur une base d'imitation cognitive de notre intelligence humaine, plusieurs domaines sont mis en lumière pour atteindre ce but par cet engagement ambitieux vers l'humanité et la planète en général.

CHAPITRE II :

Les pratiques de la maîtrise d'œuvre architecturale au niveau local

Introduction

L'homme crée et gère des projets depuis la nuit des temps. Qu'il s'agisse de l'œuvre de la Grande Muraille, d'un tableau de la Joconde, d'un voyage sur la Lune ou de la construction de la tour Eiffel, tous les bâtiments - bien que différents - ils - sont nombreux! Et, à votre insu, ce sont d'énormes succès, même si le délai et le budget ont été largement dépassés! Si nous regardons l'étymologie du mot "", nous trouvons "projectum", qui vient de "ou" jette quelque chose en avant ". Bref, être chef de projet, c'est prédire l'avenir en échelonnant: les ressources, les dates et les budgets. Pourquoi le thème de la gestion de projet est-il pour tout le monde aujourd'hui? La réponse est simple: le public est passé à des enjeux plus élevés. Avec la prolifération constante de projets énormes, complexes et ardues dans notre société actuelle, il est important que, pour réussir, les gens donnent tout, leur carrière, pour planifier et gérer ces grandes aventures. Cependant, au cours des 25 ou 30 dernières années, le nombre de projets a explosé dans divers domaines professionnels. Les projets, de tous types et de toutes tailles, sont désormais la voie à suivre pour les entreprises (Portny and Sandrine, 2011).

II.1.définitions des concepts

II.1.1.le concept du projet

Le terme «projet» a été utilisé pour la première fois au 16ème siècle et vient du latin «projicere» qui signifie «lancer en avant». Ses racines latines évoquent un mouvement, une orbite et le rapport à l'espace et au temps. Le processus impliqué est le suivant : (de l'Europe, 2001).

- Un point de départ
- Sur lequel on se base
- Pour se lancer en avant
- Vers un but

Le mot et le concept ont été pour la première fois employés par des architectes. Au 15ème siècle, Filippo Brunelleschi a introduit deux nouveaux modes architecturaux de l'époque . La construction de l'église de Florence a été interrompue au 14ème siècle, et Brunelleschi a été chargé de continuer à construire le dôme. Avant de commencer, il a dessiné le dôme, en utilisant différentes perspectives pour créer une représentation géométrique de la structure futuriste comme il l'imaginait; à travers l'interaction de ces perspectives, le dôme représente la réalité historique et politique de la ville, il se compose de deux couches, l'une à l'intérieur, l'autre à l'extérieur (de l'Europe, 2001).

Brunelleschi a ainsi rationalisé l'architecture en la décrivant dans une approche provisoire dans laquelle il pourrait isoler les fourmis. Quelle architecture appartient à la conception et ce qui est impliqué dans sa mise en œuvre, ce qui est lié au projet et ceci est lié à sa mise en œuvre. Cet exemple nous permet de repenser le terme «projet» et de le considérer comme un concept d'organisation de l'action (de l'Europe, 2001).

Un projet qui vise à utiliser plus efficacement les ressources humaines et techniques disponibles, à fournir un service ou un produit particulier, dans un environnement donné, à un moment défini et avec un budget limité. Il a une raison d'être dans un but juste et unique: l'équipe de projet n'existait pas auparavant et n'existe pas après (Fernandez, 2003).

II.1.2. Le concept de gestion de projet

Un projet est un processus donc un ensemble d'étapes consiste à diriger, planifier, coordonner et contrôler pour la finalité. C'est la gestion de projet (Bellenger and Couchaere, 1994). La gestion de projet comprend un plan d'action et un plan animé, dans lequel les bases du projet sont bien établies. Il découle de l'accent mis sur les aspects organisationnels humains: la question du leadership d'équipe, de la planification, du suivi, de la communication, de la planification de la construction (Mlouka and Ouinniche, 2011).

Il apparaît ainsi que le projet a deux aspects, l'aspect organisationnel et l'aspect humain. En termes d'organisation de projet, il est utile que la gestion de projet soit considérée par de nombreux experts comme une méthode de présentation des phases qui ont fait l'objet de plusieurs articles. En général, nous distinguons deux phases: la définition et la planification du projet (définir les objectifs du projet, définir les produits finaux pour les clients et évaluer la demande en ressources humaines et financières) (Mlouka and Ouinniche, 2011).

Le projet doit être revu, étudié et géré comme un système «en direct» complexe, dynamique et dédié pour un changement de système projet est un système «vivant» dans une structure sociale relativement autonome échangeant avec un étranger actif et frontalier, une structure et une structure qui lui sont propres, en même temps être capable d'apprendre et de s'auto-organiser pour le nombre de nombreux facteurs affectant leur existence, numériquement et les interactions entre ces facteurs. La motivation est associée aux crises et finira par se désintégrer lorsque le but sera atteint. Le système de projet est un système dédié au changement, en choisissant la stratégie d'une entreprise et en transmettant un esprit de changement et d'apprentissage. Comme le montre la figure, le système du projet interagit avec l'environnement externe et interne (Corriveau, 1996)

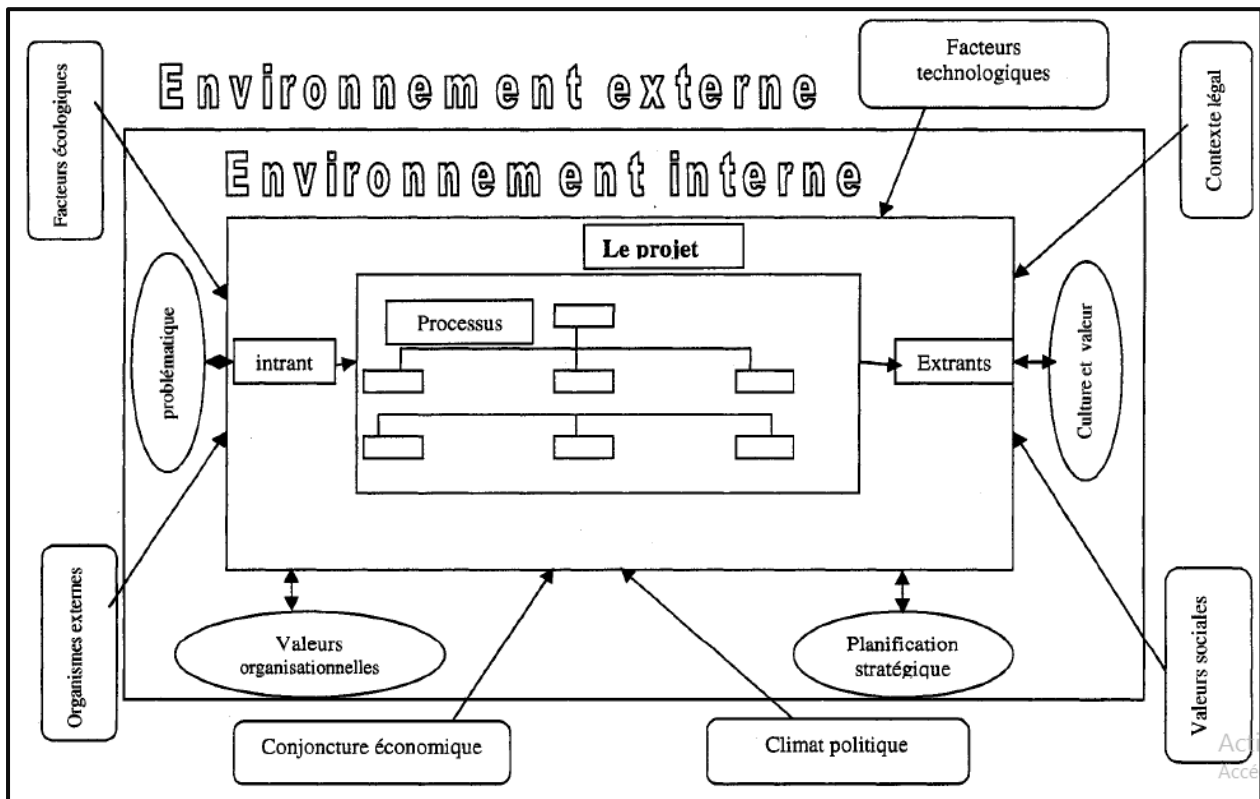


Figure II.1. le projet est un système (source: (Grandmont and O'shaughnessy, 1990)).

II.1.3. Le concept de Management par projet

En tant que discipline de gestion formelle, le management par projet est encore relativement récent. Il a été formellement développé au milieu du siècle lorsque le premier programme PERT a marqué le début d'une nouvelle discipline. Au fil du temps, les outils et les techniques se sont normalisés dans tous les secteurs et de plus en plus d'organisations commencent à constater les avantages de l'organisation du travail autour des projets. La formation de l'institut du management par projet en 1969 en tant que première association professionnelle a joué un rôle important dans le développement de la discipline (Mlouka and Ouinniche, 2011). Le management de projet est défini comme les activités de gestion qui sont utiles à la réussite d'un projet (Shenhar and Dvir, 2007).

Il s'agit de différencier l'entreprise en considérant les projets comme de multiples unités distinctes d'une part et de projets «intégrés» au sein de l'entreprise d'autre part (Leroy, 1996). Ces projets peuvent être gérés indépendamment ou combinés avec d'autres projets en fonction des ressources allouées et de la technologie à disposition, du savoir-faire utilisé et du résultat souhaité. On peut différencier les projets de tarification et de développement des compétences, les projets qui améliorent et repositionnent les produits et services existants, ou le développement de nouveaux produits, les projets d'organisation interne et projets de recherche spécifiques (Fernex-Walch and Triomphe, 2004).

II.2. Pourquoi la gestion du projet est-elle indispensable?

Après la Seconde Guerre mondiale, les humains ont cherché à développer des techniques de gestion dans un esprit de rendement et d'efficacité. Il entre en vigueur dans les années 50, lorsque les techniques actuelles de gestion de projet voient le jour. Ils permettraient aux hommes de produire de plus grandes quantités plus rapidement, et d'augmenter considérablement leurs ventes. Depuis, ces techniques se sont améliorées, mais l'esprit demeure: meilleure structure pour une bonne production et plus de travail! La gestion de projet d'aujourd'hui est essentielle pour ceux qui choisissent d'atteindre des objectifs avec des ressources et un calendrier bien défini. Cette approche résout de nombreux problèmes, voici quelques exemples:(Portny and Sandrine, 2011).

II.2.1. La gestion du projet permet d'éviter de faire des erreurs

Dans les situations critiques, vous disposez de très peu de temps pendant lequel vos ressources sont limitées à la gestion des problèmes essentiels. Vous ne pouvez vraiment pas vous permettre de faire une erreur .Et si vous agissez sous le stress et sous l'influence émotionnelle, vous pouvez être sûr que vous ferez des erreurs. Vous ne pouvez donc pas vous passer de planification (Portny and Sandrine, 2011).

II.2.2. La gestion du projet permet de cibler et structurer vos activités

Quelle que soit la taille du projet, les informations pour son achèvement restent intactes. Que vous faut-il produire ? Quelles tâches doivent être effectuées ? Qui fera ça ? Quand les travaux seront-ils terminés ? Avez-vous répondu aux attentes ?(Portny and Sandrine, 2011). Parfois, il faut des semaines ou des mois pour donner des réponses satisfaisantes à ces questions lorsque le projet est grand. Pour les petits projets d'une durée de quelques jours, cela peut même prendre aussi peu que 15 minutes, mais vous ne ferez pas l'économie de ces questions(Portny and Sandrine, 2011).

II.2.3. La gestion du projet permet de réduire les incertitudes

Certains projets sont plus faciles à prévoir que d'autres projets. Cependant, ceux qui bénéficient d'un projet ont des attentes quant à la nature du résultat final et au moment où ils y parviendront. Par conséquent, lorsqu'il y a beaucoup d'incertitude, les chefs de projet doivent élaborer et communiquer des plans, puis évaluer et rapporter les conséquences de projets imprévus (Portny and Sandrine, 2011).

II.2.4. La gestion du projet concerne tous les projets

Construire des maisons, organiser des événements personnels, acheter / vendre et / ou immobilier, développement de logiciels ... gestion partout ! (Portny and Sandrine, 2011)

II.3. Le triangle d'or du projet

Le triangle est l'image encore retenue pour caractériser les paramètres fondamentaux d'un projet, La réussite passe par les critères suivants: (Aïm, 2011)

- ✓ Performance (qualité technique).
- ✓ Coûts (qualité économique).
- ✓ Délais (qualité temporelle).

Ce triptyque incontournable qui caractérise le projet est aussi appelé qualité globale (Aïm, 2011).

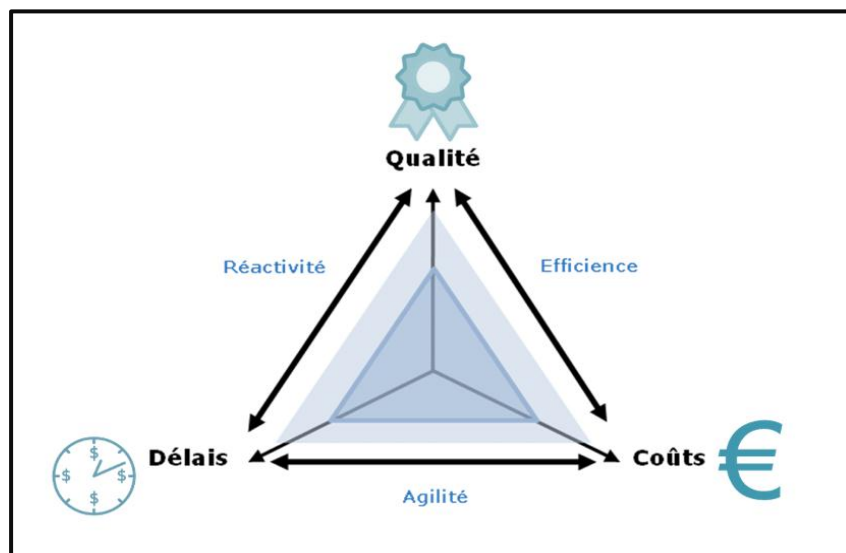


Figure II.2 : Le triangle d'or (source: <https://storebyopen.global/fr/offre-public/operations-1/optimisation>)

II.3.1 Le respect de la performance

Dans ce type de voyage, le paramètre « performance » est l'objet du projet, c'est-à-dire sa réalisation technique. La maîtrise des performances garantit la réussite d'un projet, car deux autres paramètres, cout et délais, en dépendent directement. Sauter le travail de préparation lié au paramètre « performance » entraînera des erreurs de nature technique ou organisationnelle, qui donneront suite à un retard et un surcoût pour la réparation (Aïm, 2011).

II.3.2. Le respect des délais

Le paramètre « délai » est essentiel et il représente le respect de la date de livraison du projet, il décrit le succès ou l'échec calendaire du projet, et ce paramètre sera respecté si : (Aïm, 2011).

✓ Nous estimons avec précision le temps d'exécution et la durée de toutes les missions du projet, une estimation précise est basée sur une connaissance précise du développement du projet.

✓ Nous contrôlons les heures supplémentaires pouvant survenir au cours de la vie du projet.

✓ Nous reflétons, dans l'échéancier du contrat, toutes les nouvelles requêtes exprimées par le client interférant avec les discordances contractuelles (Aïm, 2011).

Le respect des délais de la livraison limite est l'une des bases du contrat conclu pour le projet, mais la petite minorité des entreprises de réalisation qui peuvent le respecter sans excès, ce problème est dû à une faille de coordination au sein de l'entreprise elle-même et entre l'entreprise et le reste des membres actifs du projet, et ce malgré tous les efforts déployés pour atteindre cet objectif, mais il est souvent éloigné, et cela nécessite de recourir à de nouvelles méthodes de planifications et de suivi pour assurer que les termes du contrat sont respectés dans ce cadre particulier.

II.3.3. Le respect des coûts

Le paramètre «coût» est l'objectif économique du projet, qu'il soit lié aux revenus ou aux dépenses. Ce paramètre fondamental caractérise la réussite ou l'échec économique du projet, et on peut dire qu'il est respecté si: (Aïm, 2011)

✓ Les détails sont estimés avec précision, article par article, le coût du projet: bonne estimation basée sur une connaissance correcte du développement du projet, achat pour exécuter les travaux à effectuer.

✓ Nous contrôlons les coûts internes et externes qui dépassent et qui peuvent survenir pendant la durée de vie d'un projet en les renégociant.

✓ Nous négocions financièrement toutes les nouvelles demandes exprimées par les clients, et qui s'écartent du contrat (Aïm, 2011).

L'enveloppe financière est un point très important surtout pour le maître d'ouvrage qui s'efforce toujours d'obtenir la meilleure qualité d'exécution au coût le plus bas possible, de la part du maître d'œuvre qui s'occupe de la réalisation des estimations quantitatives cherchera à son tour à compléter avec précision ces estimations pour réduire les surcoûts durant la réalisation, mais la réalité entre nos mains aujourd'hui indique le contraire de ce qui est souhaité, aujourd'hui nous voyons de nombreux problèmes dont la base est la mauvaise évaluation et estimation quantitative des éléments du projet, qui entraîne parfois l'arrêt du flux des travaux et d'autres moments achèvements, mais avec une mauvaise qualité.

II.4. La maîtrise financière

La maîtrise du coût et de la durée d'un projet nécessite l'ensemble des règles de gestion. Le respect des principes dans ces domaines couvre toutes les phases du projet et revêt une importance particulière dans les phases amont. En effet, si les coûts sont principalement enregistrés lors des étapes de développement, de production ou d'utilisation, ils sont générés par le projet et par les décisions ultérieures. Les coûts et les délais sont étroitement liés, et l'extension du délai augmente le coût général du projet (Benhacine et al., 2015).

Mis en place en amont du projet de construction, le devis global devient la référence à long terme du projet. Il permet de mesurer, et éventuellement de corriger les écarts constatés. Ce budget global constitue soit un objectif prioritaire, soit une enveloppe modulable. Un coût par tâche doit ensuite être estimé pour chaque ressource ou support utilisé. Pour cela, il convient d'établir des estimations de coûts pour les tâches qu'il entreprend en concertation avec les autres acteurs impliqués. Par conséquent, un budget temporaire peut être établi pour chaque processus, mais le coût n'est ajusté que pendant l'avancement du projet. Nous pouvons comparer le coût prévu avec le coût de réalisation de chaque objectif. Par conséquent, des écarts peuvent être reconnus et des coûts supplémentaires peuvent être estimés. En plus de votre budget ordinaire, des frais supplémentaires devraient être prévus. Enfin, il convient de noter que tout retard dans l'atteinte d'un objectif se traduit souvent par une augmentation du budget dont le planning d'engagement affecte à son tour sur les délais. Notez que le budget global ainsi que le projet sont déterminés pendant la période d'identification, tandis que les estimations de coût et de durée sont faites après avoir déterminé l'arborescence des tâches pendant la phase de planification. Les coûts d'investissement pour la construction d'un projet sont généralement fixés par le client avant l'étape de conception et exprimés sous forme de budget de construction. Du point de vue de la prestation des services architecturaux, on ne saurait surestimer l'importance de l'établissement dans la mise en place initiale du coût du projet, ni de la gestion ultérieure de celui-ci. Les clients n'ont pas tendance à laisser leurs architectes dans le projet sans avoir leurs micro-indications avant le coût estimé ni sans le vérifier fréquemment par la suite (Benhacine et al., 2015).

Dans le contexte financier du projet, on peut dire que la plupart des bureaux d'études aujourd'hui souffrent de nombreux obstacles, notamment dans la réalisation des travaux, car la majorité d'entre eux ont besoin d'autres montants financiers soit pour achever les travaux imprévus à l'avance, soit pour d'autres qui ont été planifiés, mais avec une estimation financière incontrôlée suffisamment pour les compléter avec la meilleure façon.

L'absence de la maîtrise financière pose maintenant de gros problèmes surtout pour le maître d'ouvrage et met ce dernier dans des situations critiques pour compléter les travaux de son projet, et ce changement d'enveloppe financière est considéré comme une violation flagrante et un manque de respect du contrat conclu antérieurement qui précisent tous les détails relatifs au projet et le montant financier alloué pour sa mise en œuvre.

II.5. le projet architectural

II.5.1. les acteurs principaux du projet

La préparation d'un projet architectural commence dès sa naissance par l'expression du besoin et de l'intention du maître d'ouvrage. Ce dernier identifie dans le programme les objectifs de l'opération et les besoins auxquels elle doit répondre, ainsi que les contraintes et exigences sociales, et d'urbanisme, la qualité architecturale, la fonctionnalité, la technique et l'économie, d'inséré dans le paysage et la protection de l'environnement, liés à la construction et l'utilisation de l'ouvrage. Le maître d'ouvrage doit être dirigé par l'entrepreneur et le maître d'œuvre pour se poser des questions pertinentes, pour façonner leurs besoins profonds et d'éviter de limiter la performance à des besoins de surface ou directement à partir des solutions.(Ango-Obiang, 2007)

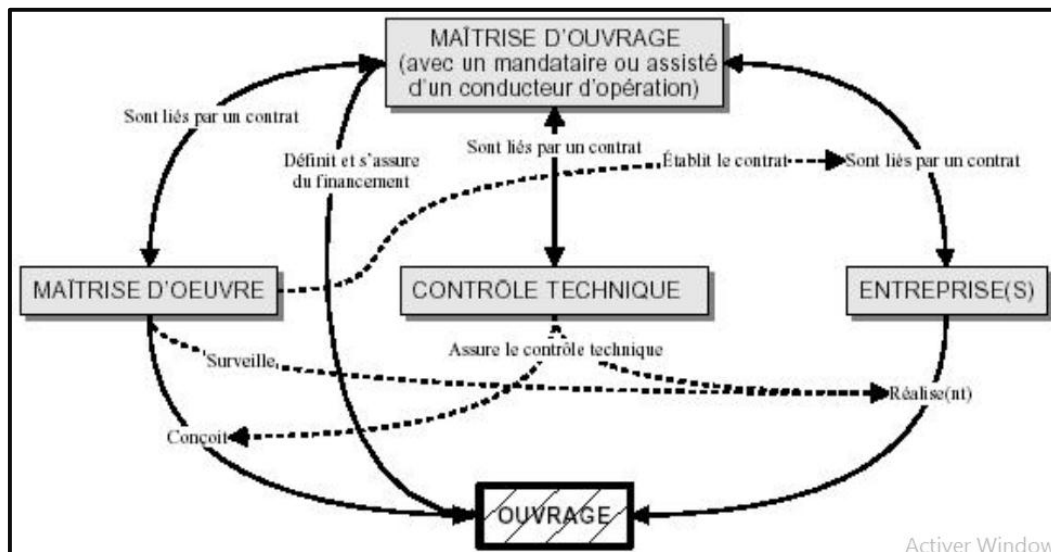


Figure II. 3 Rôle des acteurs entre eux et par rapport à l'ouvrage (Source :((Ango-Obiang, 2007))

Dès lors que le Maître d'Ouvrage a pu exprimer ces besoins réels, un cahier de charge sera établi précisément pour répondre à ces derniers correctement, le maître de l'œuvre prend à son tour la responsabilité pour donner des réponses architecturales et techniques satisfaisantes et l'entreprise de réalisation va s'occuper de la réalisation concrète dans les normes et les délais, mais la réalité est tout autre ,le processus du projet et malgré son organisation précise est exposé à de nombreux obstacles ;les personnes impliquées dans le projet ont mal à coordonner leurs travaux de manière infallible pour gagner de l'argent et du temps ,car nous constatons

que la plupart des projets achevés ont été délivrés en retard dans les délais spécifiés ou en utilisant des fonds supplémentaires ...donc le problème des projets ici ne dépend pas de leurs complexités, mais plutôt de l'efficacité des personnes en charge de les réaliser (Ango-Obiang, 2007).

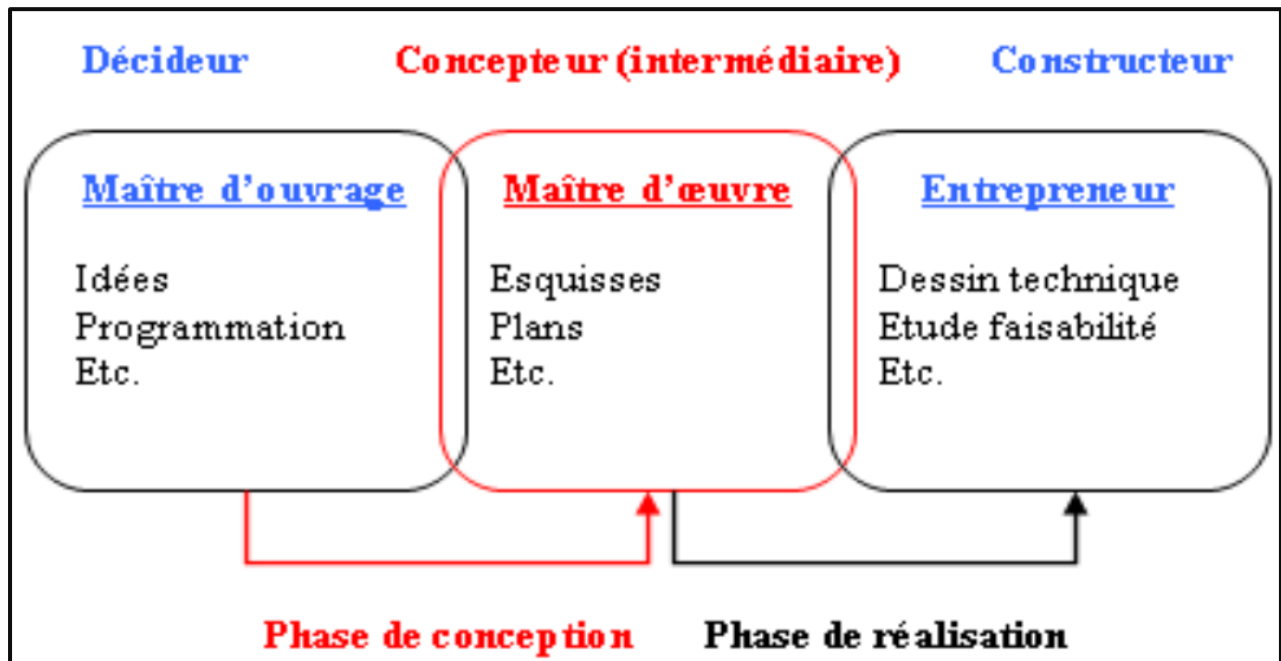


Figure II. 4 :La coordination entre le Maitre de l'ouvrage et l'entrepreneur(Source:(Ango-Obiang, 2007)).

Le maitre d'œuvre du projet et l'entrepreneur sont les acteurs qui permettent la réalisation du projet émis par le maitre d'ouvrage. Cela ne peut être fait que sur demande de ce dernier. Il est important de noter qu'aucun projet architectural n'est développé sans **pré-mise** en évidence des besoins et des attentes du maitre d'ouvrage. Par conséquent, ce dernier est l'acteur qui déclenche l'action qui conduit au développement d'un projet architectural(Ango-Obiang, 2007).

Donc on peut dire que le maitre de l'œuvre joue un rôle principal pour assurer la liaison entre le maitre de l'ouvrage et l'entrepreneur ; il fait la traduction des besoins et des souhaits de son client sous forme de plans techniques et les transmette à l'entrepreneur pour les réaliser sur terrain , ainsi il assure le suivi des travaux pour assurer une exécution parfaite selon ce qui est techniquement déterminé.

II.5.2. Interaction entre les acteurs du bâtiment

Selon un schéma conventionnel, le maitre d'ouvrage vient présenter au maitre d'œuvre une intention de vivre dans une maison, l demande prend forme très progressivement et graphiquement par l'architecte et son savoir-faire .Les discussions et négociations avec le maitre d'ouvrage permettront à l'architecte d'affiner sa proposition en fonction de ce qu'il perçoit dans la demande de son interlocuteur (Ango-Obiang, 2007).

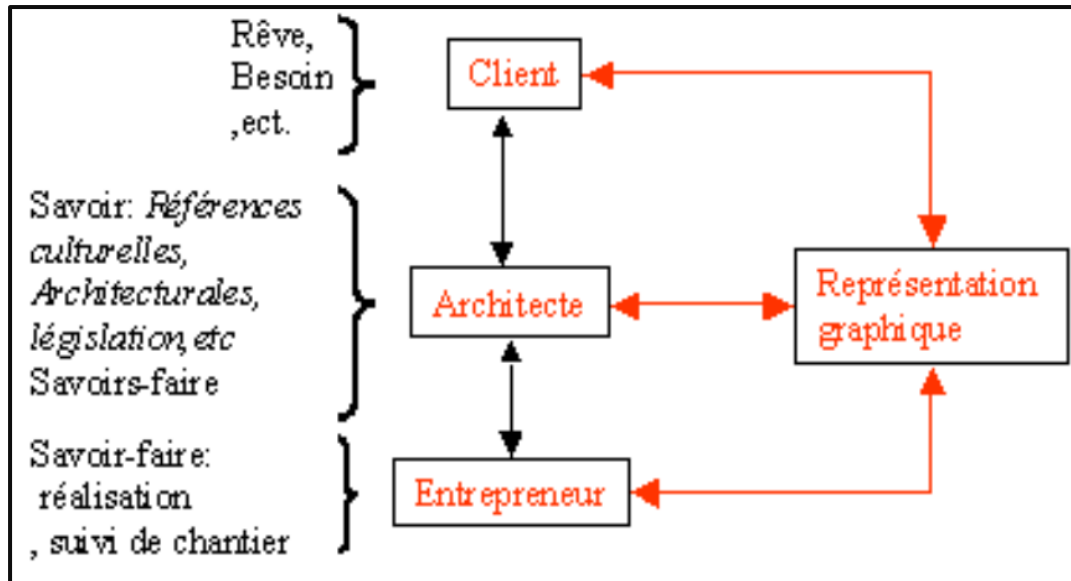


Figure II.5: Interaction habituelle client/architecte/entrepreneur (Source: (Ango-Obiang, 2007)).

L'interaction entre les membres actifs du projet est un moyen nécessaire pour atteindre les objectifs fixés, une communication continue entre eux permet l'échange d'information sur les l'état de fait du projet, la qualité et les conditions nécessaires pour mener à bien le reste de la mission de sorte que chaque acteur a un rôle actif pour assurer le bon déroulement du projet. Sur le plan théorique, on peut s'entendre sur tous les points mentionnés ci-dessus, mais malheureusement le domaine pratique du travail connaît une nette confusion et de nombreuses difficultés concernant les relations des acteurs du projet, ce qui traduit par une gestion incomplète pour ne pas dire mauvaise du projet. Cette gestion incomplète entraîne souvent un déficit de réalisation et de livraison et un écart par rapport aux plans dessinés. Nous ne disons pas que les acteurs n'ont pas des compétences et des qualifications insuffisantes, mais le rendement est quelque peu insatisfaisant et il est nécessaire de reconsidérer les méthodes et les techniques d'organisation et de coordination des détails les plus simples aux plus complexes pour assurer l'efficacité du projet de tous ses côtés. Maintenant des améliorations nouvelles et rapides doivent être apportées et la structuration des activités d'un projet quelque soit sa taille nécessite l'intervention de nouvelles techniques, c'est ce que nous ne remarquons pas aujourd'hui au niveau local qui doit être revitalisé en adoptant tout ce qui peut servir à avoir les réponses satisfaisantes pour le projet.

La relation entre les différents acteurs reste déséquilibrée à ce jour et cela est confirmé par les lacunes existantes, et le meilleur exemple sont les périodes qui entravent l'avancement du projet qui sont principalement causées par le manque de coordination entre les acteurs ce qui confirme que les techniques classiques de communication même si elles sont bien pensées, ont encore besoin de changement et de nouveaux ajouts afin d'éviter les obstacles qui maintiennent le projet hors périmètre de bon avancement et exécution.

Piloter le projet selon les méthodes habituelles n'est pas un point à changer, car il a certainement été étudié depuis plusieurs années et a présenté de nombreux résultats impressionnants qui ne font aucun doute, mais l'idée d'adopter des techniques émergentes est devenue aujourd'hui préalable à la réalisation des objectifs souhaitables par les acteurs du projet ,ceux qui ont besoin maintenant de se tenir au courant de tout ce qui est nouveau et moderne dans ce domaine ,et on parle notamment de bureaux d'études qui reposent encore sur des méthodes traditionnelles de gestion et d'étude ,et qui souffrent encore à cause de la faiblesse de coordination avec le reste des membres actifs du projet ,cette faiblesse entraîne de nombreuses pertes ,non seulement pour eux à travers des ré-études. . .mais aussi pour les maîtres d'ouvrages et les entreprises de réalisations sur le plan financier .

C'est dans ce cadre que l'on voit nécessaire de souligner l'idée de parvenir à une communication ininterrompue entre les acteurs durant tout le cycle du projet grâce aux technologies et aux logiciels modernes pour aider à connecter tout le monde et fournir tout ce qui est nouveau dans un court laps de temps et avec une précision élevée, parce que les réunions entre les membres n'ont pas toujours lieu avec la participation de tout le monde, ce qui pose souvent des problèmes de gestion entre l'approbation de certains et le rejet de certains d'autres des décisions émises par ces réunions concernant le projet dans ses différentes étapes .

Les mises à jour dans ce contexte sont devenues une nécessité qu'on doit l'accélérer pour les mettre en œuvre afin d'assurer le bon déroulement du projet et l'atteinte des objectifs fixés dans les délais et aux coûts les plus bas possible, afin de réduire les pertes qui menacent les responsables de la réalisation et permettre à ce domaine d'atteindre au mieux son noble objectif. Les techniques d'amélioration sont multiples et adopter ce genre de développement reste la responsabilité des acteurs du projet pour minimiser les dommages des anciennes méthodes utilisées dans ce domaine.

II.6. Les rôles des acteurs principaux du projet

II.6.1. Le maître d'œuvre en bâtiment

Dans le secteur du bâtiment, les travaux de constructions et de rénovations nécessitent l'intervention de nombreux experts en construction, dont le maître d'œuvre fait partie. Il est chargé par le maître d'ouvrage de réaliser des travaux de construction spécifiques. C'est l'homme à rechercher pour faire avancer votre projet, car il peut coordonner toutes les parties prenantes (VOOGT, 2020).

II.6.1.1. Définition du maitre de l'œuvre

Le maitre d'ouvrage représente l'acteur à qui l'immobilier sera conduit. C'est le terme légal (juridique) pour un client qui commence des travaux. Il est à la fois le demandeur et le propriétaire de l'immeuble en construction, c'est-à-dire le client. Le maitre d'œuvre, quant à lui, est défini comme la personne qui met en œuvre et dessine le projet. Il aura pour mission de coordonner et de diriger les travaux pour le compte du client tout en respectant les demandes de ce dernier. Il aura des rôles administratifs et logistiques pour coordonner les différentes entreprises qui opéreront sur le site. Par conséquent, cela est choisi par le client. Si le travail architectural (la maîtrise d'œuvre) est représenté par une entreprise, celle-ci devra nommer un chef de projet, qui sera chargé de s'assurer que le travail fonctionne correctement (VOOGT, 2020).

L'architecte est le responsable du bâtiment ; une personne physique qualifiée avec des compétences techniques et un bagage artistique très riche est une assurance de la réussite du processus de construction d'un bâtiment avec un ensemble de réponses architecturales (conception et implantation), économiques (devis estimatifs), techniques (plans et spécifications des détails. . .) et même sociales (demandes sociales du client. . .) et qui répondent des besoins du future propriétaire et utilisateur de l'œuvre à réaliser.

II.6.1.2. Définition du maitre de l'œuvre avant le projet

Il est chargé par le maître d'ouvrage de faire des études approfondies sur tous les aspects du projet. Il étudie tous les accidents ou erreurs de construction possibles. Il peut planifier l'avancement des travaux par étapes pour assurer la qualité. Comme le souligne Camif- Habitat, le maitre d'œuvre peut même être chargé de trouver les chantiers pour l'implantation de projet. Nous pouvons également lui déléguer tous les aspects administratifs du travail. À partir duquel, il peut obtenir le permis de construire auprès de l'administration compétente. Et il fera office d'intermédiaire entre l'initiateur du projet (maitre d'ouvrage) et les experts en construction. Il sera attentif à tous ses souhaits. Par conséquent, il doit les traduire en un croquis compréhensible pour les acteurs de la construction. Il est le coordinateur entre les désirs du propriétaire pour le nouveau bâtiment et leurs travaux de réalisation (VOOGT, 2020).

II.6.1.3. Les rôles du maitre de l'œuvre lors des travaux du chantier

Une fois les études préliminaires terminées, le maitre d'œuvre se gèrera de recruté les différents intervenants de la construction. Il s'occupera de leurs contrats de travail et de leurs salaires. La définition du maitre d'œuvre est de suivre les dépenses quotidiennes des matériaux,

c'est à lui de superviser tous les coûts de la construction basée sur le marché établi. Il choisit ensuite les matériaux pour chaque travail et organise la mise en œuvre des techniques de travail selon les normes en vigueur. Il montrera le rythme de travail par planification, pour les terminer dans les délais du contrat de l'initiateur. Le maître d'œuvre se caractérise également par sa présence lors de la mise à niveau si nécessaire. Il doit s'assurer auprès du maître d'ouvrage du respect du cahier des charges. C'est un véritable intermédiaire entre le maître d'ouvrage et les intervenants du chantier, la définition du maître d'œuvre est d'être utile pour coordonner toutes les étapes et travaux de la construction ou de rénovation (VOOGT, 2020).

II.6.2. Le maître de l'ouvrage en bâtiment:

II.6.2.1 Définition du maître de l'ouvrage

C'est la personne au compte de qui les travaux sont concrétisés. Lorsqu'il s'agit de travaux publics, c'est la personne pour laquelle l'œuvre est accomplie (Neufert, 2002).

Le maître d'ouvrage est appelé aussi le contractant sera le détenteur de cet ouvrage et il peut être une personne physique (un promoteur ou un simple citoyen employé) ou une personne morale ; un groupe de personnes étatique (les associations, les établissements caractère scientifique, économique ou même industriel. . .).

Le maître de l'ouvrage est un acteur essentiel pour garantir la performance de l'ouvrage ; car il intervient dans le processus de l'élaboration du projet depuis la programmation (la définition du programme selon ses besoins) et jusqu'à la livraison, tout en assurant les sources de financements nécessaires pour une meilleure qualité de réalisation.

II.6.2.2. Le rôle du maître de l'ouvrage

On trouve les missions suivantes :(Neufert, 2002)

- ✓ Identifier le programme et définir le financement,
- ✓ Désigner les participants au projet,
- ✓ Déterminer les conditions administratives de l'opération,
- ✓ Réception des ouvrages

Le maître d'ouvrage peut être assisté pour ces derniers par un mandataire de droit privé, et dans certains cas, par un directeur des opérations. Et ces choix sont défini par rapport à la personnalité du maître d'ouvrage (Neufert, 2002).

II.6.3. L'entreprise de réalisation:

II.6.3.1. Définition de l'entreprise de réalisation:

Comme il indique son nom, c'est le troisième acteur principal du projet et qui a le rôle de la réalisation des objectifs du maître de l'ouvrage ; des tâches de construction, de rénovation de luxe, d'aménagement ou même de réhabilitation sur une base technique de l'ensemble des plans d'exécutions établis par le maître de l'œuvre.

C'est une équipe de travail (comptables, plombiers, électriciens, maçons, carreleurs. . .) qualifiée et organisée sous la direction d'un coordonnateur qui assure la cohérence entre eux.

Le but principal de l'entreprise de réalisation est d'effectuer les travaux du chantier dans les délais précis de la livraison.

Ils ont conclu un accord avec le maître d'ouvrage. Ils sont responsables de la mise en œuvre physique du projet, de l'ensemble de la construction (entreprise générale), ou des organismes pour lesquels ils se spécialisent. Responsable de ses propres travaux, l'entrepreneur agit sous la direction de l'architecte (également chargé de vérifier la conformité de la réalisation aux documents du marché), mais aussi par le coordonnateur et le technicien. L'entrepreneur peut également être assisté par des sous-traitants (Neufert, 2002).

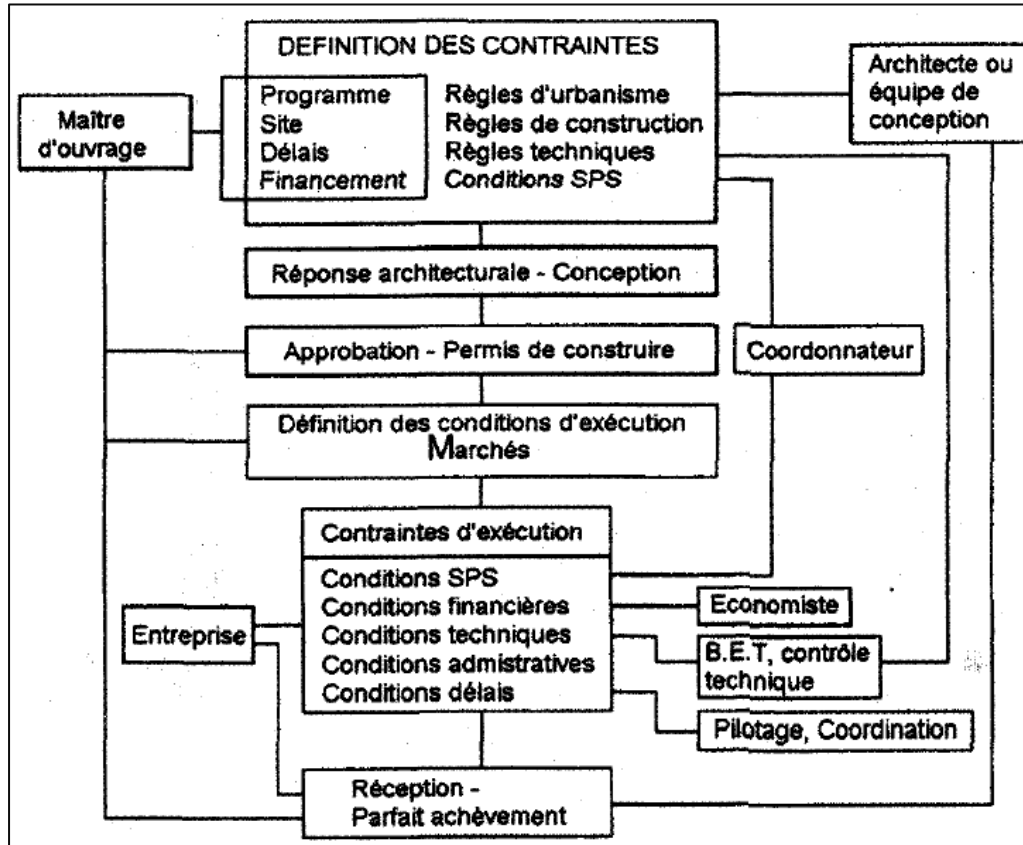


Figure II.6 : Domaines d'intervention des différents acteurs de la construction (source: (Neufert, 2002))

II.7. Le déroulement des prestations de maîtrise d'œuvre

II.7.1. La programmation

C'est une étape très importante pour la réalisation d'un projet de qualité sur la base d'un ensemble d'enquêtes, analyses et diagnostics des données collectées qui permettent d'assurer les bonnes décisions pour atteindre les objectifs souhaitables par le maître de l'ouvrage et d'arriver finalement à la réalisation d'un projet satisfaisant qualitativement. Durant la phase de la programmation, un ensemble de pistes sont proposées pour répondre aux besoins des usagers du futur projet sur plusieurs échelles ; sociales, environnementales, économiques. . C'est l'expression des futurs besoins des utilisateurs ; de plus, il est toujours de la responsabilité du maître d'ouvrage, même en tenant compte de l'importance des facteurs techniques, il doit pour cela être assisté par l'architecte s'il ne dispose pas du service ou des compétences nécessaires. Le programme prend en compte cinq points essentiels : (Neufert, 2002)

a) Besoins

Inventaire de la surface et de la masse requise volume nécessaire) , dessin de la connexion entre ces éléments, exigences particulières.

b) Terrain

Propriétés physiques, situation, plan, superficie, desserte (route, gaz, eau, égout, électricité, télévision, téléphone), nature du sous-sol, relief, niveau de l'nappe phréatique. Voir arpenteur G.D.F., E.D.F., T., et P. mairie, cadastre, constructibilité, caractéristique d'urbanisme , servitudes publiques et privées (mairie , notaire), règle d'implantation d'aspect.

c) Équipement souhaité

Climatisation, chauffage, équipement électrique et sanitaire, voire des meubles souhaités, propriété des machines ou outillages particuliers.

d) Enveloppe financière

En fonction de la capacité financière du maître d'ouvrage. Le coût global est la somme des éléments fonciers suivants : les coûts d'acquisition, les coûts de construction, les coûts routiers et divers réseaux, les équipements spécifiques, les paysages aménagés, les redevances, les taxes financières et les taxes géographiques.

e) Délais de réalisation

L'approche de programmation peut être divisée en deux principales phases :

A. Les études pré-opérationnelles :

Il est résumé en deux études principales : une, c'est la faisabilité, et deux, l'élaboration du préprogramme.

B. Les études opérationnelles:

C'est une mise à jour du préprogramme pour obtenir le programme qui va être respecté durant le processus du projet par les différents acteurs.

II.7.2. L'esquisse

Une réponse directe au contenu du programme retenu avec un parti architectural bien défini par le maître de l'œuvre par des présentations graphiques (2D, 3D).

L'esquisse débute par l'analyse du programme, et l'analyse des données juridiques et financières, et aussi la reconnaissance du site et pour le diagnostic, l'établissement d'inventaires d'architecture et d'ingénierie. Possédant tous ces éléments, l'architecte répond par des croquis montrant le volume global, les plans des niveaux critiques et éventuellement des détails caractéristiques. Cette première réponse est l'aboutissement d'un processus itératif, propre à chaque architecte, qui à partir du programme, il spécifie un ou des volumes à construire, et les relations entre les différents éléments se tiennent réciproquement (Neufert, 2002).

✓ L'esquisse comprend :

1. Le fichier ou dossier graphique (plans des différents niveaux, élévations. . .)
2. Une première estimation des coûts de l'opération (l'avant métré).

✓ L'esquisse est une phase très basique du projet, et nécessite un ensemble de modifications afin d'obtenir le programme satisfaisant.

II.7.3. les études d'avant-projet

À partir de cette phase, le maître de l'œuvre architecte fait appel aux différents partenaires d'ingénierie pour les calculs des descentes de charges, les études géotechniques...

Cette phase comprend principalement :

II.7.3.1. Les études d'avant-projet sommaire (APS)

Après avoir approuvé l'esquisse, l'architecte est à l'étape de l'avant-projet sommaire (APS), attribuant la conception générale en plans et volumes, examinant la comptabilité de l'esquisse avec diverses propositions techniques, établir un calendrier récapitulatif des travaux et une estimation temporaire de leurs coûts (Neufert, 2002).

II.7.3.2. Les études d'avant-projet définitif (APD)

Après que l'APS a été approuvé, l'architecte dessine les schémas du bâtiment (coupes, façades) et met en place une note descriptive précisant les matériaux à utiliser, définissant les surfaces détaillées de tous les éléments du programme, arrêter certains choix d'équipements et définir une estimation définitive d'environ 10%. Le niveau de définition des plans correspond graphiquement à l'échelle 1/100e avec des détails importants au 1/50e (Neufert, 2002).

II.7.4. Le permis de construire

Une pièce importante avant de commencer les travaux de construction et qui consiste à faire l'objet d'une autorisation étatique, après avoir déposé une demande complète signée par le propriétaire avec un ensemble de documents définis par la loi.

II.7.5. Projet d'exécution

II.7.5.1. L'importance des plans d'exécution

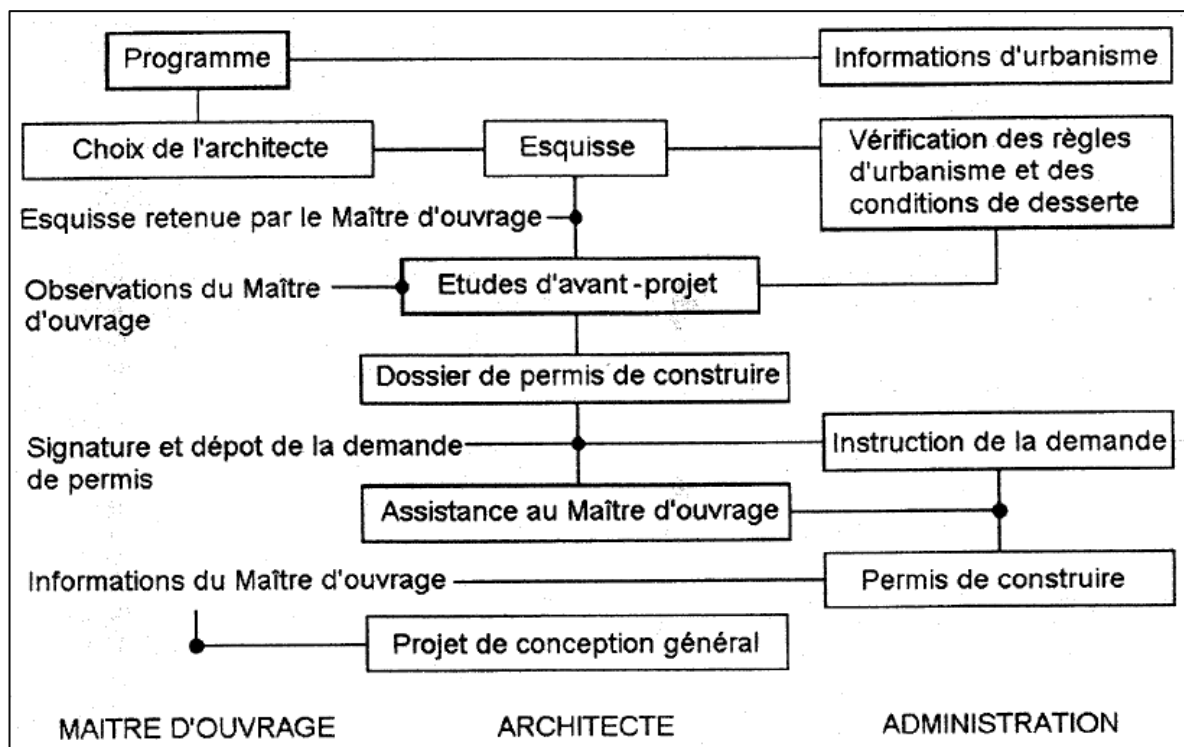


Figure II.7 : L'organisation théorique de la conception (source : (Neufert, 2002)).

Les plans d'exécution jouent un rôle essentiel pour s'assurer que la construction d'une maison ou d'un bâtiment est cohérente et conforme avec la conception de l'architecte. Pour une meilleure compréhension, il est important de rappeler les différentes phases d'un projet de construction. Pendant la phase de recherche, la conception structurelle est établie par l'architecte et l'équipe de maîtrise d'œuvre, en particulier les bureaux d'études dédiés nécessaires au projet (fluides, structure, géotechnique, etc.). Ces études de projet conduisent à l'achèvement de la maison. Le maître d'œuvre transmet ensuite ces documents aux entreprises de construction afin qu'elles codifient les travaux concernés par le projet. Cependant, à ce stade, les plans du projet doivent être affinés pour permettre la poursuite des travaux (Lelong, 2020).

II.7.5.2. Les éléments d'un plan d'exécution

Le dossier de l'exécution est composé de différents éléments. Voici une liste des plans requis selon le code de l'urbanisme : (Lelong, 2020)

1. Plan de masse: il représente la terre ou la structure vue d'en haut afin de se rendre compte de son emprise au sol.
2. Plan de façade, particulièrement importante pour montrer l'emplacement des portes et fenêtres.
3. Plan d'étage (niveau):il s'agit d'un dessin à l'échelle montrant les pièces de chaque étage vues de dessus.
4. Plan de coupe : la partie complémentaire du plan de masse qui représente la structure vue De profil.

Ces plans à l'échelle 1/50 montrent tous les matériaux utilisés et toutes les dimensions et cotes nécessaires pour déterminer le positionnement de chaque élément de construction du bâtiment ou de la maison. En fonction de la complexité du projet, des plans sont également dessinés pour clarifier les points techniques des ouvrages (Lelong, 2020).

II.7.6. Le choix de l'entreprise de réalisation

Une étape fondamentale pour assurer une réalisation qualitative des travaux, le choix doit être judicieux selon les prestations de travaux (un marché de travaux déconstruction , entretien, réhabilitation ,aménagement, réparation, démolition, rénovation...ou même un marché des travaux de pose de fournitures).Plusieurs relations contractuelles sont possibles pour les prestations de réalisation et on trouve :

1. L'entreprise unique

Une seule entreprise est chargée de réaliser toutes les prestations des travaux avec le suivi du maitre de l'œuvre jusqu'à la fin des travaux.

2. Entreprises multiples

Plusieurs entreprises sont chargées de réaliser les prestations ; chacune s'occupe d'un ensemble de tâches précises selon sa spécialité (travaux de terrassement, travaux d'électricité et de gaz, installation des équipements de ventilation, revêtements intérieurs et extérieurs, montage de charpente. ..), ces entreprises doivent être très organisées en matière d'intervention dont le but principal est de respecter les plannings des travaux et d'assurer la réalisation dans les délais précis des les contrats, la cohérence est très importante et organisée par le maitre de l'ouvrage après avoir consulté le maitre de l'œuvre. Cette interaction entre acteurs assure l'avancement organisé des travaux d'exécution et la détection des anomalies possibles durant la réalisation.

3. Entreprises sous-traitantes

L'entreprise principale fait un appel à plusieurs entreprises sous-traitantes pour participer à la phase de la réalisation de l'œuvre avec des critères définis dont le but principal est la garantir de la qualité et la performance. L'entreprise principale précise le calendrier à respecter et les

délais à ne pas dépasser pour la livraison ainsi qu'elle assure la cohérence entre les différentes entreprises sous-traitantes qui assurent de leur part les différents moyens humains et matériels pour l'exécution des marchés.

Le maître de l'œuvre fait l'objet d'un contrôle permanent et continu des travaux selon le planning d'exécution.

4. Entreprise intégrant des études

On appelle entreprise d'études et de réalisation un organisme qui assure les prestations d'études et de réalisations : elle regroupe une équipe d'ingénieurs ainsi que la main-d'œuvre pour les travaux d'exécution (électriciens, plombiers.. ..) dont le suivi est assuré par un bureau d'étude spécialisé

5. Entreprise en régie

C'est l'exécution de tout ou une partie des travaux par le maître de l'ouvrage avec son propre matériel.

II.7.7. Le suivi des travaux

C'est une des missions du maître de l'œuvre et qui consiste à contrôler d'une façon permanente l'avancement des travaux d'exécution sur chantier, la qualité des matériaux ainsi que le respect des normes. Les visites régulières du chantier permettent de résoudre les difficultés d'exécution (à l'aide des compétences du maître de l'œuvre) et chaque visite se termine par un PV (un compte rendu) sur le cahier de chantier qui contient l'ensemble des observations et les remarques et l'état d'avancement du chantier avec les signatures des membres présents et la date de la visite.

Le cahier de chantier permet au maître de l'œuvre de sauvegarder les données (date, numéro de PV, état d'avancement, observations...) de la visite du chantier précisément pour faciliter les vérifications et avoir un avancement régulier dans le planning d'exécution des travaux jusqu'à la réception des travaux.

II.7.8. La réception du chantier

La réception du chantier sur site est le summum du travail, qui veut dire l'aboutissement des travaux de construction. Elle caractérise l'acte par lequel le maître de l'ouvrage accepte les travaux réalisés. Cette acceptation peut être faite avec ou sans réserve. La réception permet au propriétaire de l'œuvre de vérifier la qualité apparente de l'œuvre fournie et de demander la réparation de l'œuvre si les travaux: (Finateu, 2020)

- ✓ Ne sont pas adaptés ou ne respectent pas les stipulations du marché.
- ✓ Ne sont pas faits selon les règles de l'art.

La réception est également très importante pour les constructeurs puisque: (Finateu, 2020)

- ✓ Elle donne la permission de règlement des comptes.
- ✓ Elle permet le transfert de la garde de l'ouvrage au maître de l'ouvrage.
- ✓ Elle inclut les défauts et vices de conformité apparents qui ne font pas l'objet réserve.

L'acquisition des travaux est une obligation de maître de l'ouvrage et peut être sanctionnée de dommages et intérêts en cas d'abus de refus. La réception du chantier se fait généralement sous la forme d'un rapport signé par le maître d'ouvrage et vérifié par l'entrepreneur et éventuellement par l'architecte. Cependant, la réception peut être implicite ou judiciaire. (finatou2020)

Conclusion:

La réalisation d'une œuvre architecturale n'est pas chose facile, c'est comme la musique et ses notes, ses échelles précieuses qui doivent être étudiées soigneusement pour atteindre l'objectif souhaitable ; l'harmonie, la cohérence et le bonheur de l'humain comme récepteur du produit.

L'œuvre architecturale est le fruit d'un processus défini avec une législation précise dont le but est la concrétisation des objectifs ciblés du domaine de la construction dont le principal est la qualité de vie de l'utilisateur. Un chemin orné par plusieurs acteurs, prestations, contraintes techniques, de cout et de délais impératifs va conduire à la métamorphose d'une idée en tête à un objet visuel et réel appelé «projet architectural».

Quelque soit le domaine de la production, la gestion et l'organisation restent toujours des éléments clés pour arriver à la réalisation des meilleurs œuvres au monde, et le domaine de la construction très vaste avec ses échelles techniques, artistiques, psychologiques...adopte ce principe de management avec sa propre méthodologie qui assure la réalisation des meilleurs œuvres architecturales au monde dont la seule condition est le respect des conditions du déroulement correct du processus architectural.

Aujourd'hui, les règles et les conditions de la gestion du projet restent toujours limitées, mais le développement des techniques et la technologie ne cessent jamais à faire les mises à jour, ce qui conduit les acteurs de ce domaine à suivre les tendances et d'être en courant avec toutes les nouveautés en vogue; logiciels, Programmes, méthodes...pour perfectionner ce domaine mystérieux et produire encore des œuvres inoubliables et percées à la mémoire mondiale comme il l'ai fait Filippo Brunelleschi à Florence.

CHAPITRE III :

L'intelligence artificielle dans le domaine de l'architecture

Introduction

Le projet architectural est le produit d'un processus très précis de plusieurs acteurs actifs durant tout son cycle de vie, depuis la naissance de son idée et jusqu'à son exploitation par son propriétaire. Maintenant avec le progrès de la technologie qui a touché le monde, cette discipline avec son aspect scientifique, technique et artistique ne cesse jamais d'évoluer ; le dessin à la main et ses instruments appartiennent au passé et le dessin assisté par ordinateur devient le prépondérant aujourd'hui, non seulement par sa facilité d'utilisation, mais aussi pour sa haute précision de performance qui ouvrent à ce domaine de nombreux horizons pour l'excellence et l'obtention de nombreux résultats impressionnants qui servent l'humanité dans son ensemble, et l'intelligence humaine aujourd'hui ne suffit pas pour atteindre cet objectif, ce qui a poussé l'homme à créer un outil d'aide pour réaliser son bénéfice selon ce qui est conforme aux exigences de cette époque contemporaine, et dans ce lieu nous pouvons parler de l'intelligence artificielle dans le domaine de l'architecture et la concentration d'un nouveau procédé dans le champ ; le « Building Information Modeling » autrement dit « Modélisation des informations du bâtiment ».

Cette méthode très innovante et fortement utilisée qui facilite le flux du travail pour son utilisateur donne aussi l'opportunité aux clients de voir leurs futurs projets avant l'heure et de familiariser avec les caractéristiques et les détails les plus simples pour donner leurs opinions pour changer ce qu'ils ne plaisent pas (formes, matériaux ...) selon ses besoins avant de commencer les travaux de construction.

Les futurs projets sont aujourd'hui visualisés virtuellement avec ce processus très développé qui permet de gérer, planifier, piloter...et vont introduire une nouvelle tournure comme vous ne l'avez jamais connu auparavant.

III.1.Définition des concepts

III.1.1. BIM : l'idée derrière l'acronyme

Les premières approches théoriques des BIM l'ont majoritairement assimilé à un modèle 3D ou à un outil informatique. L'aspect technologique de ce type de processus est très basique, mais il faut mentionner aussi que les informations générées par un tel processus strict et précis sont l'épine dorsale de ce processus, cette génération de données nécessite un utilisateur compétent pour maîtriser le processus, cependant les BIM ne peuvent remplacer ni la conception, construction ou l'immobilier, mais ils garantissent que chacun d'entre eux peut mettre à niveau vers son approche qualitative et pour être claire, les BIM combinent :(De Maestri, 2017)

- ✓ Les compétences et les capacités des professionnels.
- ✓ Une maquette numérique en trois dimensions 3D.

- ✓ Modélisation 3D-Modélisation numérique-développement de projets, mise à disposition d'informations organisées et vérifiées par les acteurs du domaine.

Les BIM sont donc des outils basés principalement sur la représentation en 3 dimensions qui assure l'aspect qualitatif d'exécution des travaux du projet à condition qu'il y ait une aptitude pour la main qui utilise ces logiciels pour pouvoir analyser ,contrôler, concevoir et comparer non seulement pour l'aspect qualitatif, mais aussi quantitatif.

III.1.2. Acronymes BIM

Selon les traductions différentes à travers le monde, on peut citer 3définitions du concept « BIM » :

- ✓ **Building Information Model** : maquette numérique du bâtiment. Le BIM est défini comme une collection structurée d'informations sur le bâtiment existant ou dans la maquette numérique du futur (Macher, 2017).
- ✓ **Building Information Modeling** :Un processus qui assure à toutes les parties prenantes d'avoir accès aux mêmes informations numériques simultanément grâce aux plates-formes interopérables(Macher, 2017).
- ✓ **Building Information Management** :Organiser et contrôler les processus en utilisant le contenu des modèles numériques pour partager des informations sur le cycle complet d'un bâtiment.(Macher, 2017).

III.1.3.La maquette numérique

Le modèle BIM contient des représentations 3D ,correspondant à l'ensemble des objets qui composent le bâtiment, ces derniers qui peuvent êtres des éléments de construction finaux comme les dalles, les portes...la représentation en 3D concerne aussi les objets utilisés dans la construction ;des camions, les pelles, niveleuses....et chaque élément à ses données spécifiques sous forme d'une fiche technique ;noms ,formes, matières ,date de création ...La maquette numérique est le produit d'un ensemble de recherches agrégées de toutes les professions du secteur de la construction .Autodesk et Bentley sont les principaux créateurs des logiciels BIM ,sans oublier Bouygues construction ,le logiciel Revit est le premier logiciel utilisé (Martin, 2016).

Quand on parle de la maquette numérique ,on peut avoir deux formes principales :(Boutemadja, 2017) :

- ✓ La maquette numérique est **sémantique**, dans le cas où on utilise les logiciels BIM, par exemple on trouve: Revit, ArchiCAD, AllPlan

CHAPITRE III : L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE DANS LE DOMAINE DE L'ARCHITECTURE

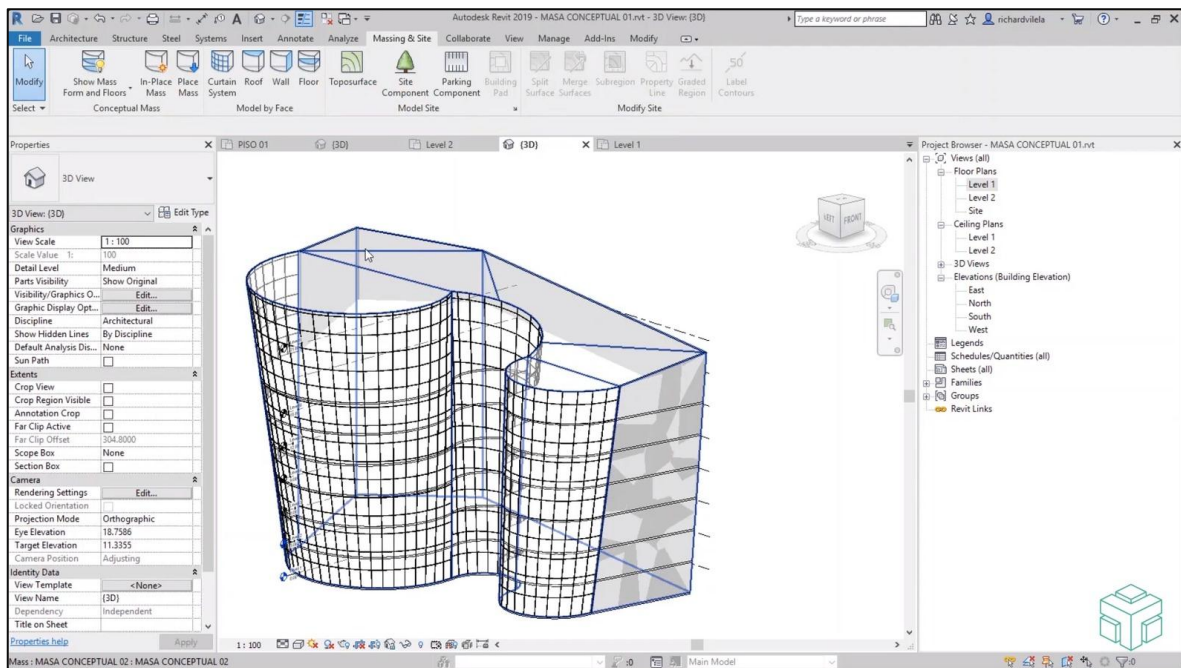


Figure III. 1 : Exemple écran du logiciel « Revit » (Source : <https://www.archdaily.com/940315/learn-revit-bim-with-this-free-online-introductory-course>).

✓ La maquette numérique **n'est pas sémantique**, dans le cas où on utilise des logiciels DAO-CAO_3D classique, par exemple on trouve :Catia, AutoCad, Sketchup...

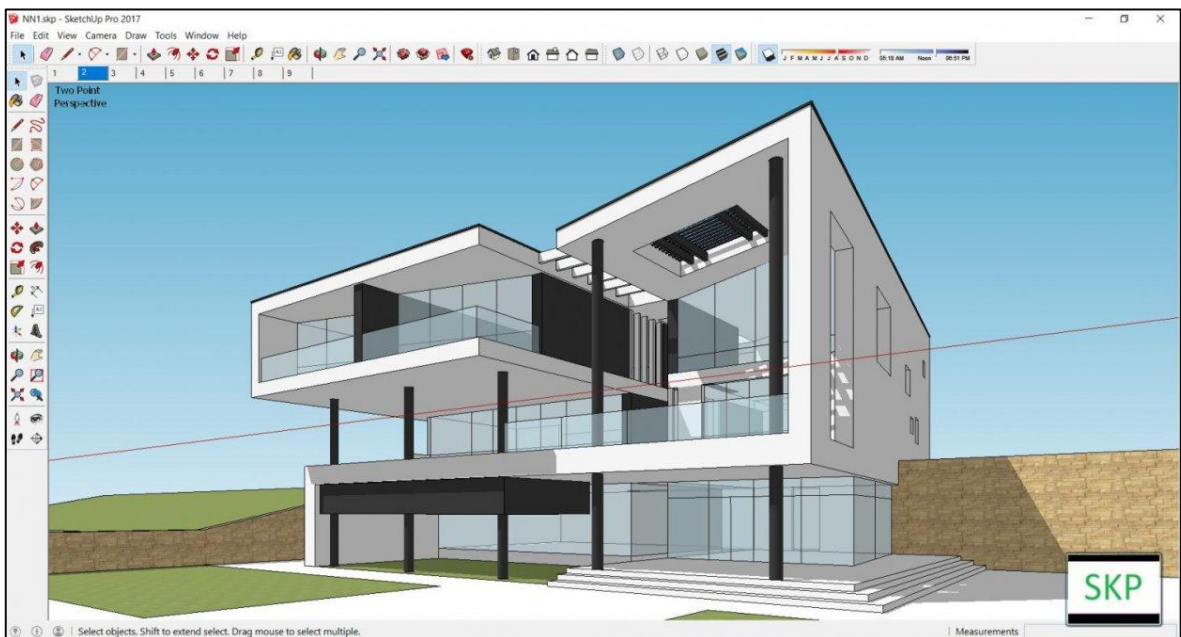


Figure III. 2 : Exemple écran du logiciel « Sketchup » (Source : <http://tardits.fr/architecture-3d-sketchup/>).

La plupart des logiciels BIM ont des interfaces très riches avec plusieurs options ; barre d'outils et de dialogues...permettant de créer, modifier et manipuler le travail.les possibilités de création sont nombreuses et la visualisation permet à l'utilisateur d'effectuer les bons choix Sur sa maquette numérique et puis sur terrain.

La maquette numérique est un terme qui ne peut pas synthétiser tous les aspects propres des BIM, car il ne décrit que le modèle numérique, c'est un modèle intelligent utilisé pour définir des objets et des éléments de la construction comme les planchers, les murs, les fenêtres, les murs... chaque objet a ses propres paramètres (dimensions, couleurs...) stockés dans une base de données spécifique du logiciel utilisé (Macher, 2017).

On prend l'exemple suivant d'une fenêtre pour mieux comprendre :

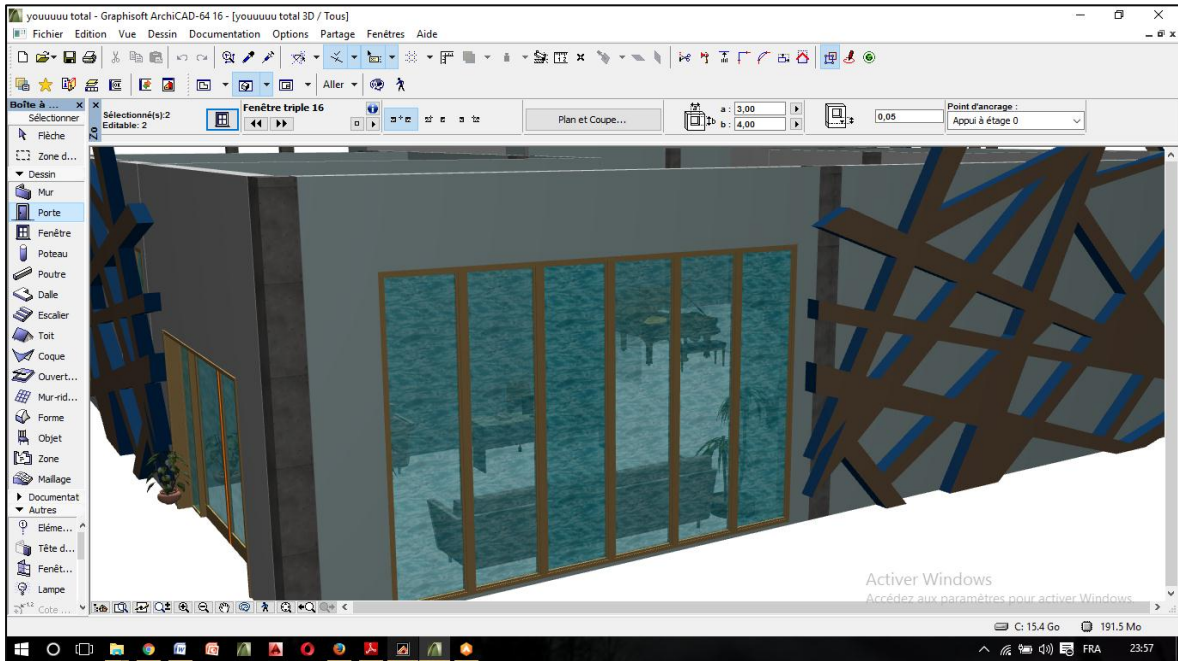


Figure III. 3 : Ouverture dans le mur de la modélisation avec ArchiCad (Source : traitement personnel)

Pour insérer un objet quelque soit sa nature, le logiciel BIM vous donner la main pour compléter une fiche technique pour avoir la modélisation souhaitable, et on va voir pas la suite l'exemplaire d'une fiche technique d'une fenêtre (et ça sera pareil pour n'importe quel élément ; portes, dalles ou même des objets d'aménagement intérieur ou extérieur).

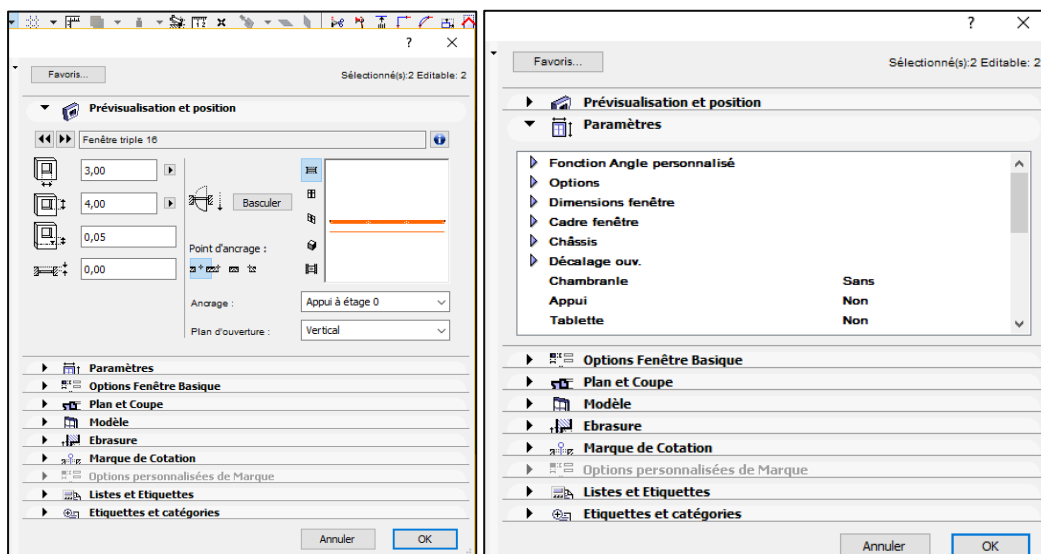


Figure III.4 : Fiches techniques avec données relatives à l'élément à modéliser (Source : traitement personnel)

III.2. Les dimensions de BIM

Dans les BIM nous avons ajouté aux dimensions d'autres critères définissant un ensemble de paramètres quantifiables ; comme le cout et le temps, tous ces paramètres sont nécessaires pour analyser, évaluer et définir les données dont nous pourrions avoir besoin pour la conception ,la construction et l'exploitation des projets, donc on peut rapprocher les BIM du concept de « dimensions » et aussi celui de « données ».En effet ,à chaque incrément un nouveau calque d'information est ajouté au calque précédent.(Cornu, 2018)

✓ La 2D :

Nous faisons toujours de la 2D avec les BIM, pour changer toujours un plan sur papier, un plan de cadre interne dans certains outils numériques. De plus, on trouve que de nombreux corps de travail fonctionnent et continueront de fonctionner avec des outils 2D. (Cornu, 2018)

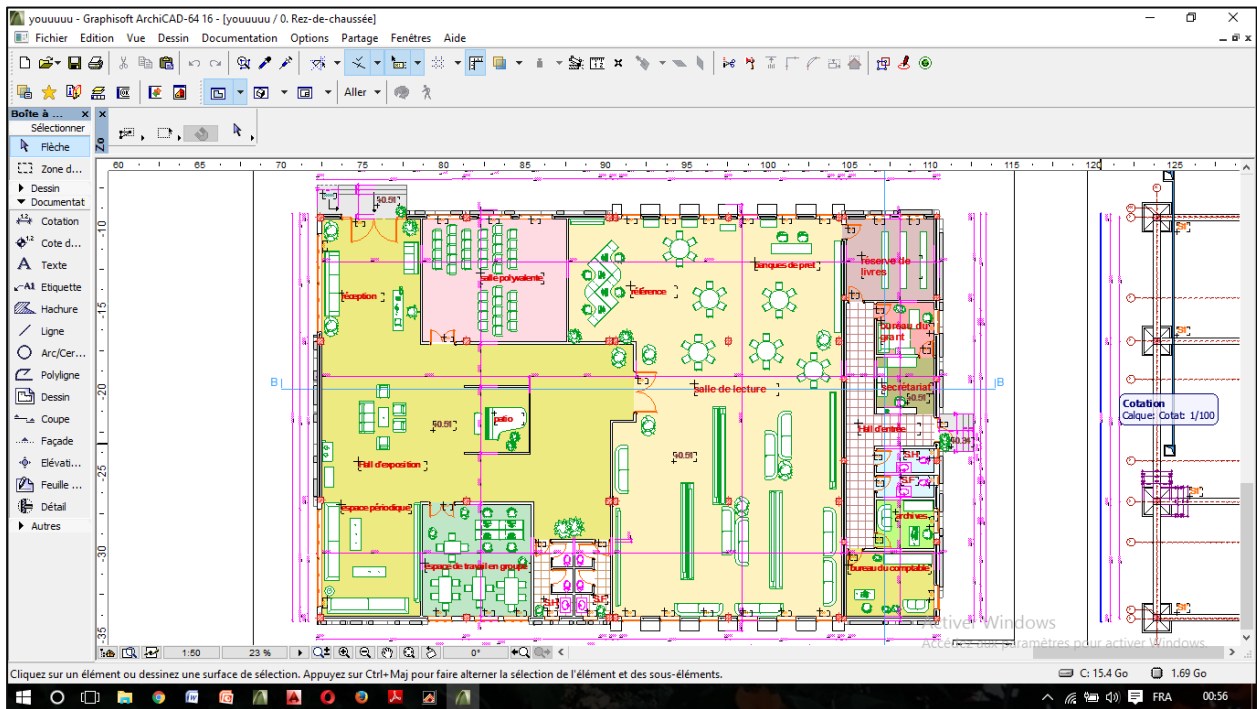


Figure III.5 : BIM appliqué aux plans 2D « ArchiCad 2016 » (Sources : traitement personnel)

✓ La 3D : La visualisation

Trois dimensions géométriques X.Y.Z ; c'est la base des outils numériques des BIM, il existe une multitude de logiciels populaires articulés sur la visualisation des constructions futures, mais il ya aussi la détection intelligente des collisions, la préfabrication, la compilation automatique des coupes et détails...(Cornu, 2018).

La forme et la position de n'importe quel élément peuvent entièrement et clairement décrites sur une géométrie tridimensionnelle (Koutamanis, 2020).

CHAPITRE III : L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE DANS LE DOMAINE DE L'ARCHITECTURE

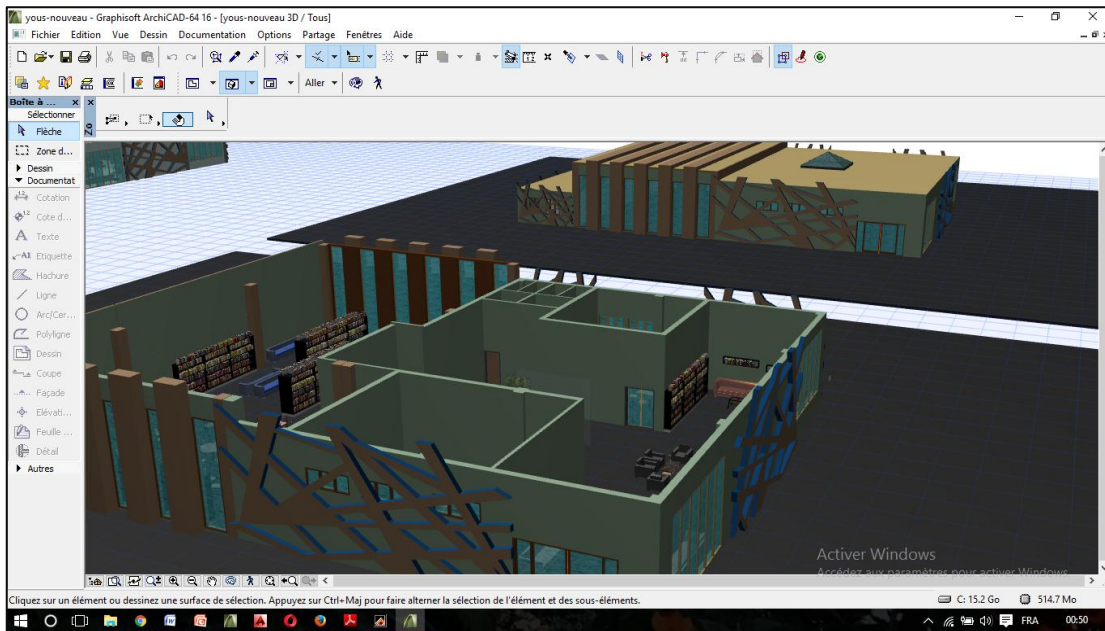


Figure III.6 : Représentation BIM en 3D « ArchiCad 2016 » (source : traitement personnel).

✓ 4D : Le temps

Nous ajoutons aux trois premières dimensions le paramètre de « temps », pour cela nous intégrons le planning d'un projet ou l'avancement d'une phase de la construction permettant aux différents acteurs du projet de prédire, planifier si les séquences des tâches des différents acteurs sont cohérentes entre eux. C'est le concept de « délais » que nous utilisons dans les outils numériques, c'est le lien entre le modèle de Gantt, nous pouvons donc voir la construction du bâtiment en visualisant l'ordre des phases de la construction (Cornu, 2018).

✓ 5D : Les coûts

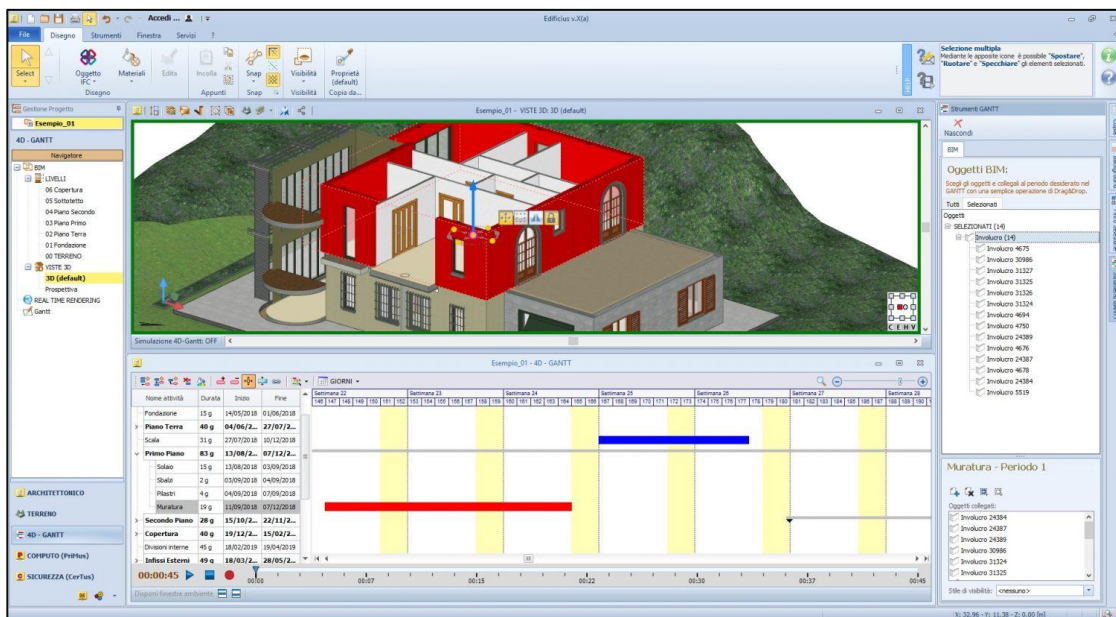


Figure III.7 : Représentation BIM en 4D à l'aide du logiciel « Edificius » (diagramme de Gantt) (source : <https://biblus.acasoftware.com/fr/bim-4d-quest-ce-que-cest-et-comment-affecter-la-propriete-temps-a-un-objet-du-modele-bim/>)

Après les grandeurs élémentaires, on arrive à d'autres dimensions ; ce sont plutôt des classes supplémentaires ou de données, c'est la 5^e dimension dite « financière » ou de « cout », elle permet d'estimer les couts de construction et de suivre la situation financière d'un projet à la fois. C'est la prérogative des économistes des projets (Cornu, 2018).

✓ 6D : la dimension verte

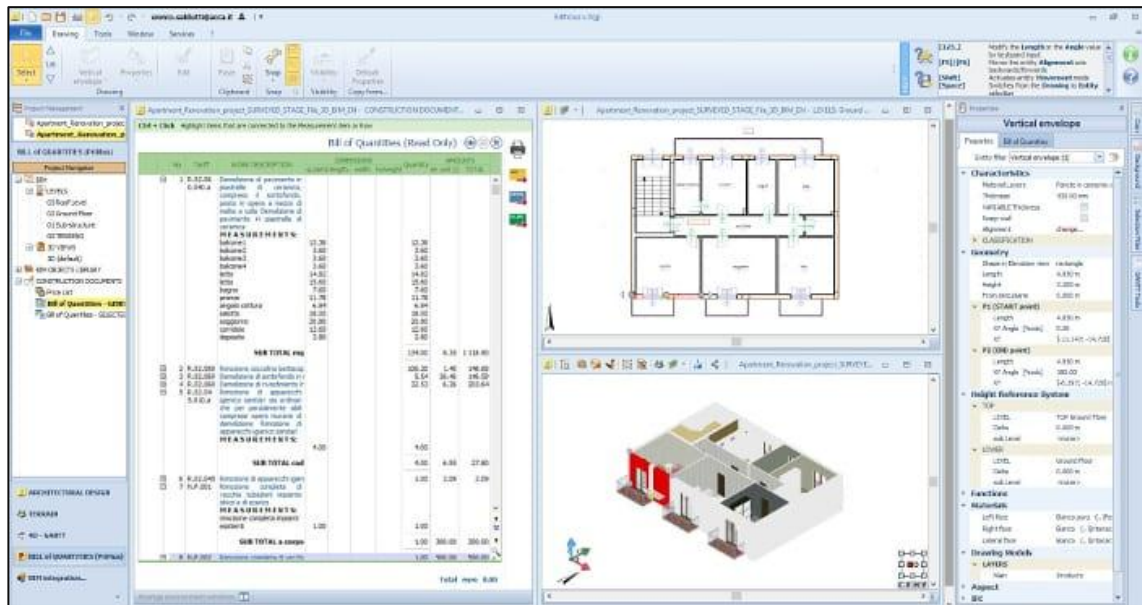


Figure III. 8 : Planification d'un projet de construction en 5D « Edificius » (Source : <https://biblus.accasoft.com/fr/lestimation-des-couts-un-voyage-dans-la-cinquieme-dimension-avec-le-bim-5d/>)

La durabilité est un enjeu majeur auquel le secteur du bâtiment est fréquemment confronté et ses questions apparaissent comme une recherche de performance à cause de son niveau de complexité , et pour apporter des réponses à la fois pertinentes à l'intervention et aux besoins des futurs résidents ,les experts ayant les meilleures solutions qui s'appuient sur la science ainsi que sur des données quantitatives très précises. La dimension « verte »intègre dans les concepts liés à la durabilité tels que l'énergie, l'évaluation du confort résidentiel, les exigences de surveillance liées à l'obtention de la certification environnementale, l'analyse du cycle de vie du projet....(Cantin, 2021).

Cette dimension implique tout ce qui concerne le développement durable ;l'analyse énergétique et/ou l'analyse d'impact sur l'environnement (Cornu, 2018).

La modélisation des informations du bâtiment 6D permet d'analyser la consommation d'énergie du bâtiment et de faire des estimations dès le début de la conception et la prise en compte des différentes étapes du cycle de vie du BIM 6D garantit une prédiction précise de la demande énergétique. La technologie 6D BIM permet d'avoir une image de l'actif total et de la manière dont l'argent sera utilisé pour la durabilité et la rentabilité(Bim-master, 2020).

▪ Les avantages de cette dimension :(Bim-master, 2020).

- 1) L'économie de la consommation énergétique à long terme.

- 2) La précision très élevée concernant l'installation des composants lors de la consommation.
- 3) L'analyse détaillée de la prise de décision et de l'impact sur l'ensemble des aspects et des activités durant la totalité du cycle de vie.
- 4) Une meilleure gestion opérationnelle d'un bâtiment ou d'une structure après la livraison.

✓ **7D : des informations pour la gestion globale des installations pour tout le cycle de vie.**

Cette dimension est utilisée pour suivre les données critiques des actifs telles que leur état, les instructions de maintenance opérationnelle, les informations de garantie, les spécifications ...pour une utilisation ultérieure. La 7D est une approche unique où tout ce qui concerne le processus de gestion des installations est rassemblé en un seul endroit dans le modèle d'information du bâtiment. De telles tactiques améliorent la prestation des services tout au long de la vie du projet. On peut dire que l'utilisation de la 7^e dimension BIM garantit que tout dans le bâtiment reste à son meilleur du premier jour jusqu'à ce qu'une structure soit démolie (Bim-master, 2020).

▪ **Les avantages de cette dimension : (Bim-master, 2020)**

- 1) L'optimisation de la gestion des installations depuis la conception et jusqu'à la démolition du projet.
- 2) La facilité et la simplicité des changements et des réparations durant tout le cycle de vie du projet.
- 3) Cette dimension fait l'objet d'une maintenance très facile pour les entrepreneurs et même pour les sous-traitants.

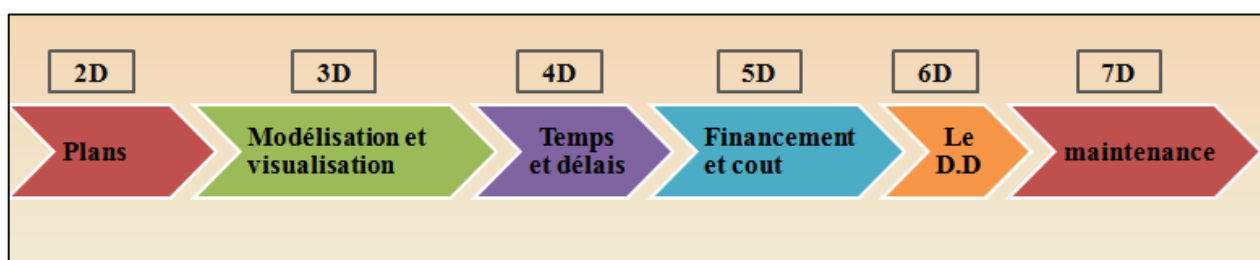


Figure III.9 : Schéma du développement des BIM à travers le temps (Source : traitement personnel)

On peut dire que ce domaine ne cessera jamais de se développer, et ce a est démontré par les nombreux changements qui s'y produisent de temps en temps, et c'est ce qui nous donne l'espoir de faire du domaine de la construction dans les rangs avancés du développement et de la qualité de production ,ce qui nous conduit par la suite de connaitre d'autres futures dimensions (xD) avec d'autres critères dont le but est toujours l'amélioration du produit architectural.

III.3. Le processus BIM

En plus de la volatilité générée par la nouvelle représentation des données du bâtiment, le BIM change fondamentalement la façon dont il fonctionne autour d'un projet. Le BIM est un processus basé sur la collaboration dont l'élément central est la maquette numérique, et les différents acteurs du projet peuvent fournir les informations et les données nécessaires pour alimenter la maquette numérique (Macher, 2017).

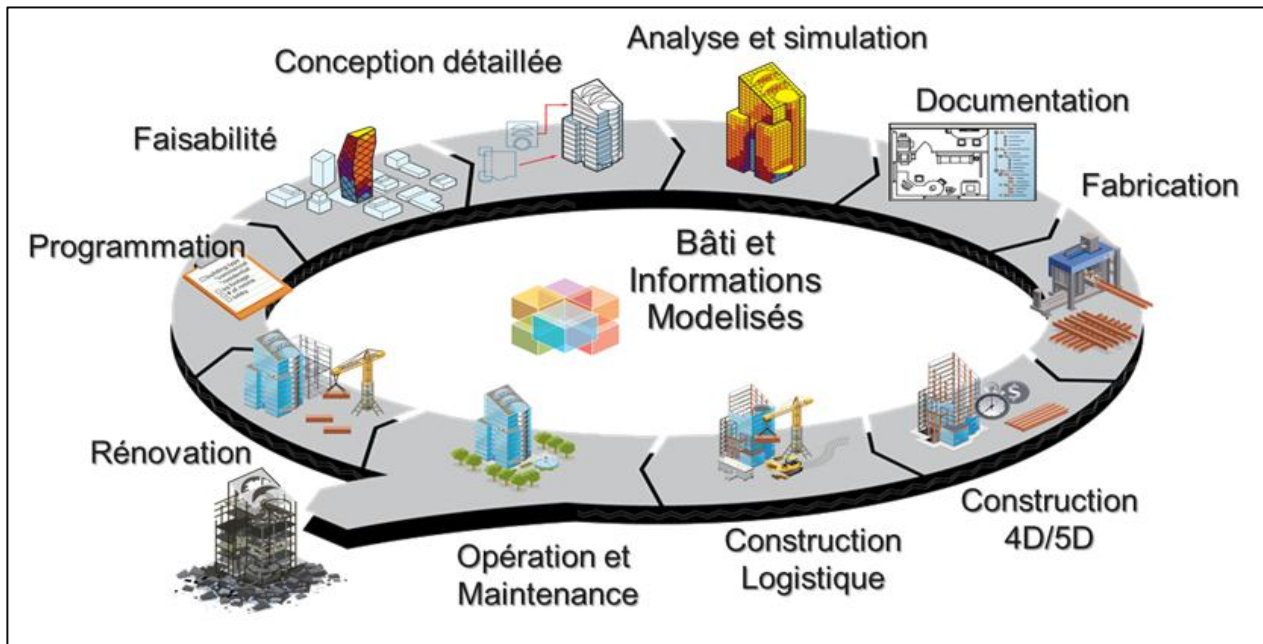


Figure III.10 : La maquette numérique au centre du cycle de vie du bâtiment (Source : <https://www.lemoniteur.fr/article/la-maquette-numerique-a-l-ere-du-bim.1349469>)

On note que :

- ✓ La phase de la conception en général est basée principalement sur la 2^e et la 3^e dimension pour une meilleure représentation technique des concepts et des détails des différents éléments du projet.
- ✓ Durant la phase de la construction, ce sont la 4^e et la 5^e dimension qui sont utilisées pour gérer le temps et respecter l'enveloppe financière ; le BIM est devenu un moyen efficace pour piloter le projet.
- ✓ La 6^e dimension assure l'enjeu du développement durable depuis la programmation du projet et jusqu'à la fin de son cycle de vie ; le BIM donne lieu pour la préservation de l'environnement.
- ✓ La phase opérative de la maintenance utilise la 7^e dimension des BIM pour assurer la simplicité des réparations et garantir le bon état général du projet durant son exploitation par ses usagers.

III.3.1. Les niveaux de BIM

On trouve trois niveaux qui sont :

✓ Le niveau 1 : La maquette numérique isolée

consiste à modéliser la maquette numérique et à faire les échanges au même sens à un instant « t », la maquette est dite isolée ; chaque intervenant du projet (maitre de l'œuvre, ingénieur, technicien ou autres fait la modélisation de sa propre maquette numérique pour ses propres finalités (DELCAMBRE, 2014).

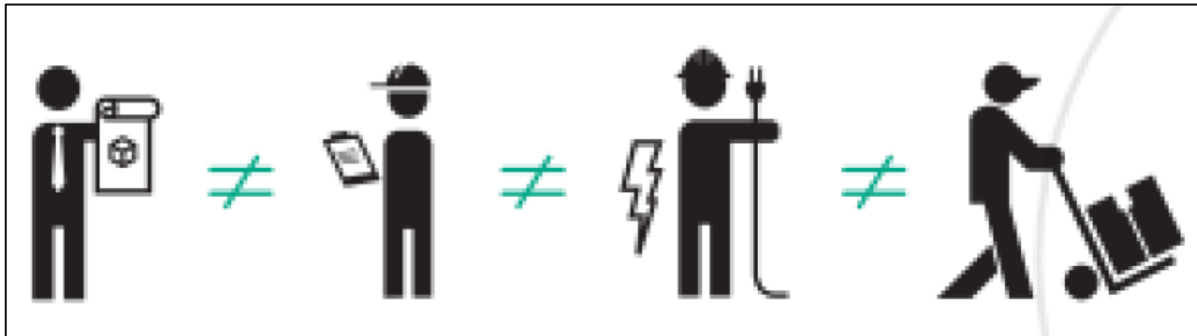


Figure III.11 : L'autonomie de modélisation entre les acteurs du projet (Source :(DELCAMBRE, 2014)).

✓ Le niveau 2:La maquette numérique collaborative

C'est le principe de collaboration avec l'échange à double sens entre les acteurs du projet (maitre de l'œuvre, entrepreneur, ingénieurs...) ,dont chaque intervenant d'entre eux prend sa copie de la maquette numérique pour travailler librement et à ce point-là on parle du BIM manager qui va mutualiser les synthèses sous forme de rapport de chaque intervenant, cette collaboration peut commencer avec deux acteurs et se développe à travers le temps (DELCAMBRE, 2014).



Figure III. 12 : La collaboration basée sur la maquette numérique (Source :(DELCAMBRE, 2014)).

✓ Le niveau 3 : La maquette numérique intégrée

A ce niveau, les différents acteurs du projet peuvent être connectés à tout moment à un réseau défini qui permet d'accéder et d'utiliser la maquette numérique pour faire des alimentations, changements...avec la coordination de ce qu'on appelle le BIM Manager, car chaque acteur travaille sur la même maquette en même moment (DELCAMBRE, 2014).

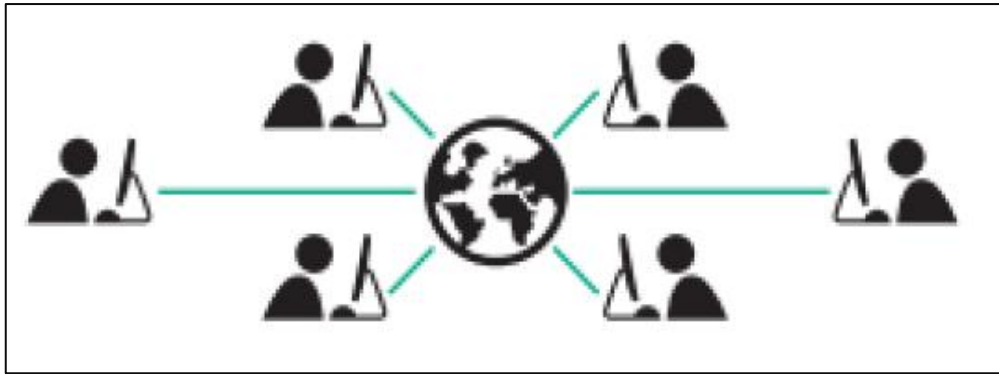


Figure III. 13 : Le travail sur la même maquette numérique en temps réel
(Source : (DELCAMBRE, 2014)).

III.4. Les niveaux de détails en modélisation

Le niveau de détail permet de déterminer la qualité de la représentation finale du projet une fois il est dessiné, ce concept est devenu très important dans le modèle BIM, il permet de décrire le projet dans ses différentes études .Il existe quatre niveaux de détails associés à différentes études :(MAIFFO et al., 2020)

- ✓ Le niveau 1 (LOD100) : la définition du concept à travers l'esquisse
- ✓ Le niveau 2 (LOD200): la définition des spécialités comme la stabilité, l'architecture...
- ✓ Le niveau 3 (LOD300) : la définition des détails des différents éléments du projet.
- ✓ Le niveau 4 (LOD350 et LOD400) :l'implémentation des éléments dans le logiciel BIM.

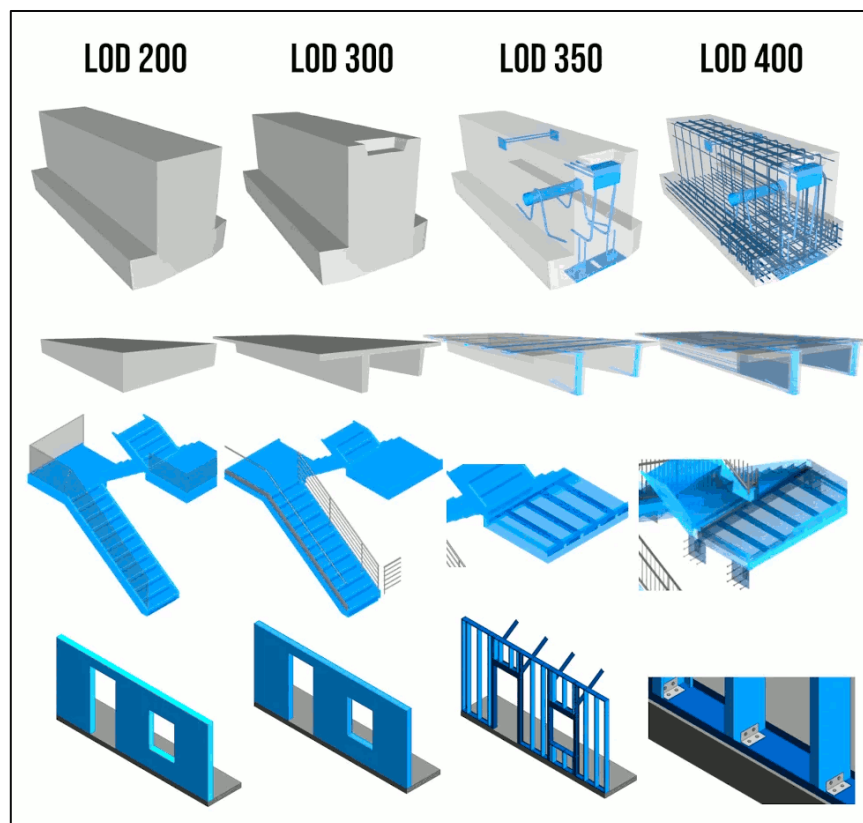


Figure III. 14 : Le développement des détails « LOD » d'une modélisation 3D
(Source : <https://numerisation3d.construction/scan-to-bim-scan-versus-bim/?v=fa3c7f2b5dae>)

III.4.1. Définition du mot « LOD »

C'est le niveau du détail nommé en Anglais « LOD » qui définit la précision de la géométrie d'une modélisation BIM à travers la précision des éléments 3d qui constituent la modèle global. Par extension, cette diversité géométrique permet d'obtenir un certain niveau de données pour les particularités d'un projet. Le concept « LOD » a été introduit par « American institute of architects » en 2008. Le niveau de détail est un outil pour la quantification des informations essentielles pour un intérêt défini (Mehamedi, 2020).

III.4.2. Les différents niveaux de « LOD »

III.4.2.1. Le « LOD100 »

Le niveau LOD100 correspond à la représentation géométrique la plus simple, à l'échelle du projet, la modélisation du contenu n'a pour but que de donner une image de l'extérieur et de ce qu'il ya à l'intérieur avec des volumétries très modestes. Pour les éléments intérieurs du projet ,ils sont modélisés sous forme des boites avec des limites précises qui représentent la volumétrie(Mehamedi, 2020).

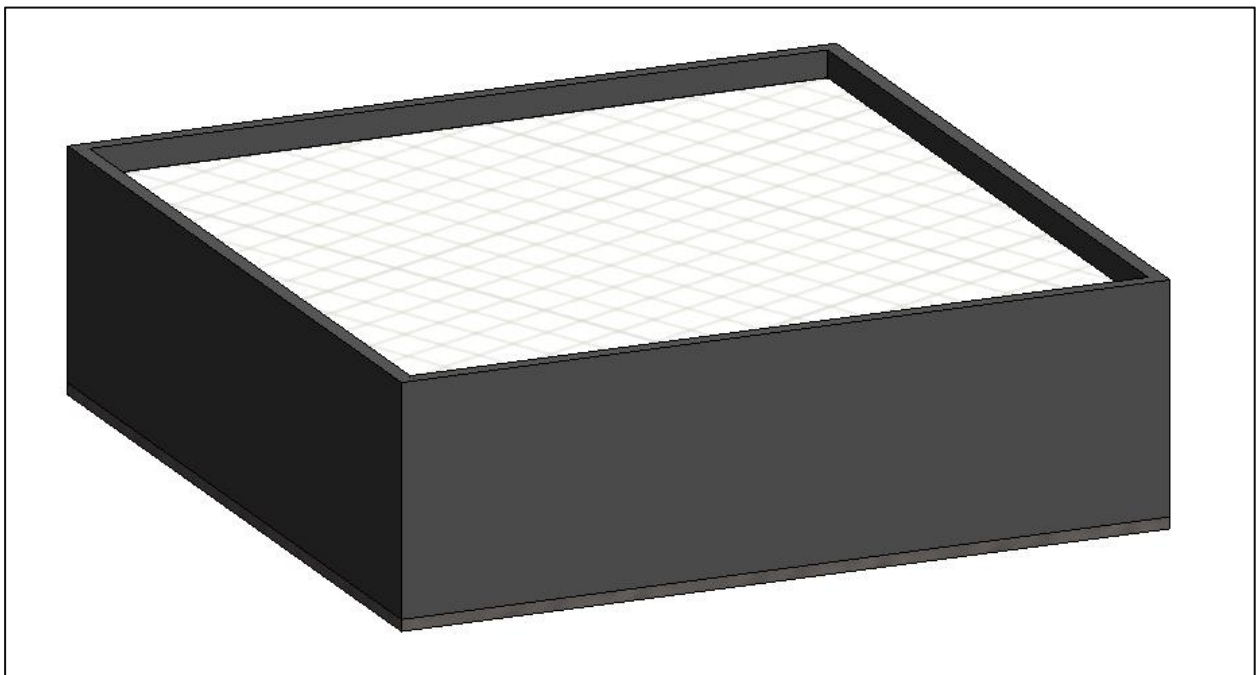


Figure III. 15 : Le niveau « LOD100 » sous forme de « BOX » (Source :(Mehamedi, 2020)).

III.4.2.2. Le « LOD200 »

Le niveau « LOD200 » est destiné à fournir une modélisation de la géométrie du bâtiment, y compris les éléments structurels comme les poteaux, les voiles. Cependant l'emplacement, l'orientation et la volumétrie sont approximatifs et ne peuvent être considérés comme des sources d'informations fiables. Nous utilisons « LOD200 » pour faire changer un concept en un modèle plus concret et détaillé, avant de synthétiser la première strate d'informations qui peuvent être exploitées lors de la phase préliminaire du détail (Mehamedi, 2020).

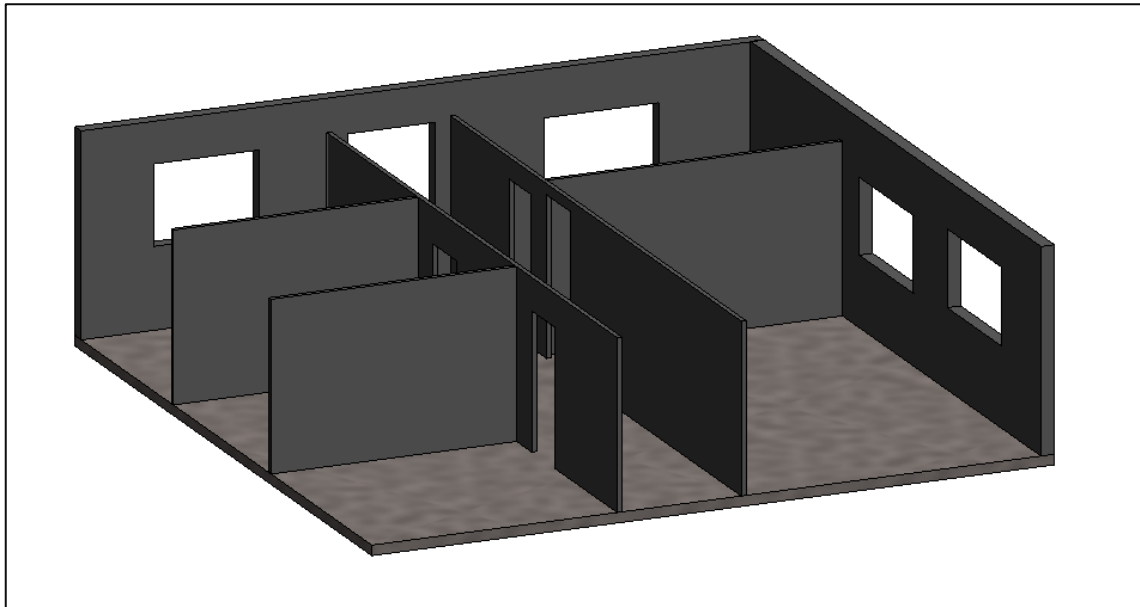


Figure III.16 : Le niveau « LOD200 » avec les détails des murs (Source :(Mehamedi, 2020)).

III.4.2.3.Le « LOD300 »

Le degré de détail « LOD300 » couvre aussi la gamme complète complète des murs et des cloisons qui définissent le projet, ainsi que les types de matériaux utilisés, la différence entre l'intérieur et l'extérieur du mur, et l'identification de la structure. A ce niveau de détail, divers éléments externes sont modélisés.les éléments modélisés ont une conception plus riche, par conséquent, on trouve que l'ensemble devient une référence avec un niveau de détail élevé pour pouvoir aménager ou simuler des projets plus complexes(Mehamedi, 2020).

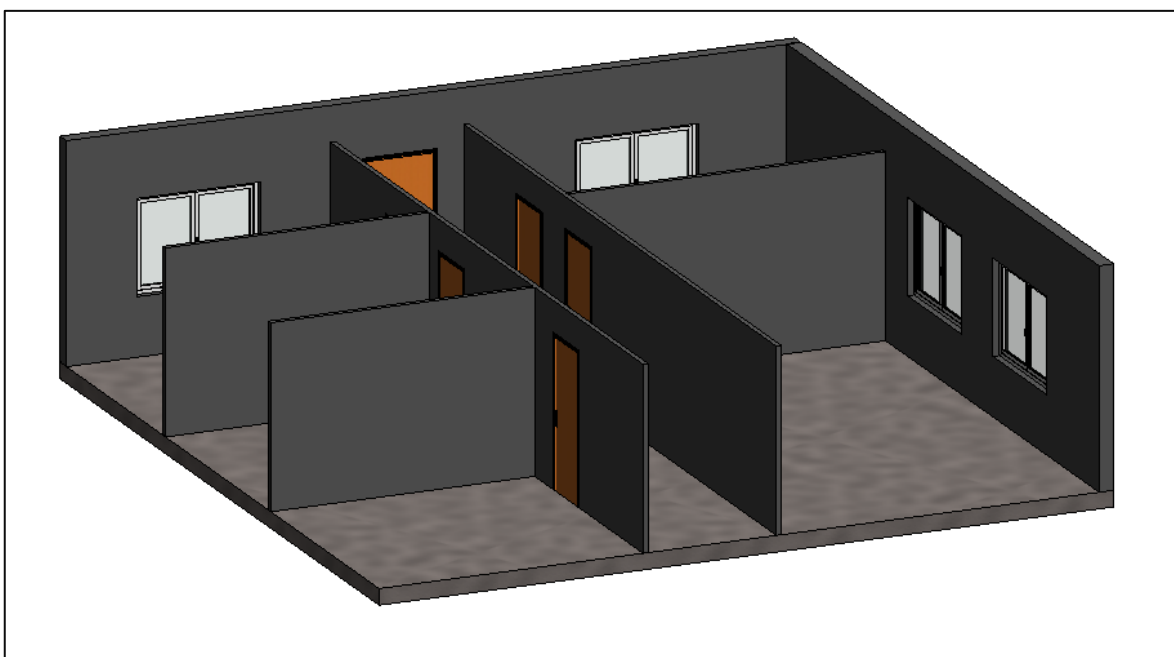


Figure III.18: Le niveau « LOD300 » avec les détails des ouvertures (Source :(Mehamedi, 2020)).

III.4.2.4.Le « LOD400 »

Dans le niveau de détail « LOD400 », on trouve que la volumétrie, l'orientation, la taille de l'objet modélisé sont mesurables d'une manière directe à travers le modèle, par conséquent, l'opérateur n'a plus à référencer des données non graphiques. Les murs et dalles sont modélisés avec la même manière de détail. Le but principal de ce niveau de détail est de donner des références de forme et de géométrie d'une manière suffisante et précise pour la construction d'un projet (Mehamedi, 2020).

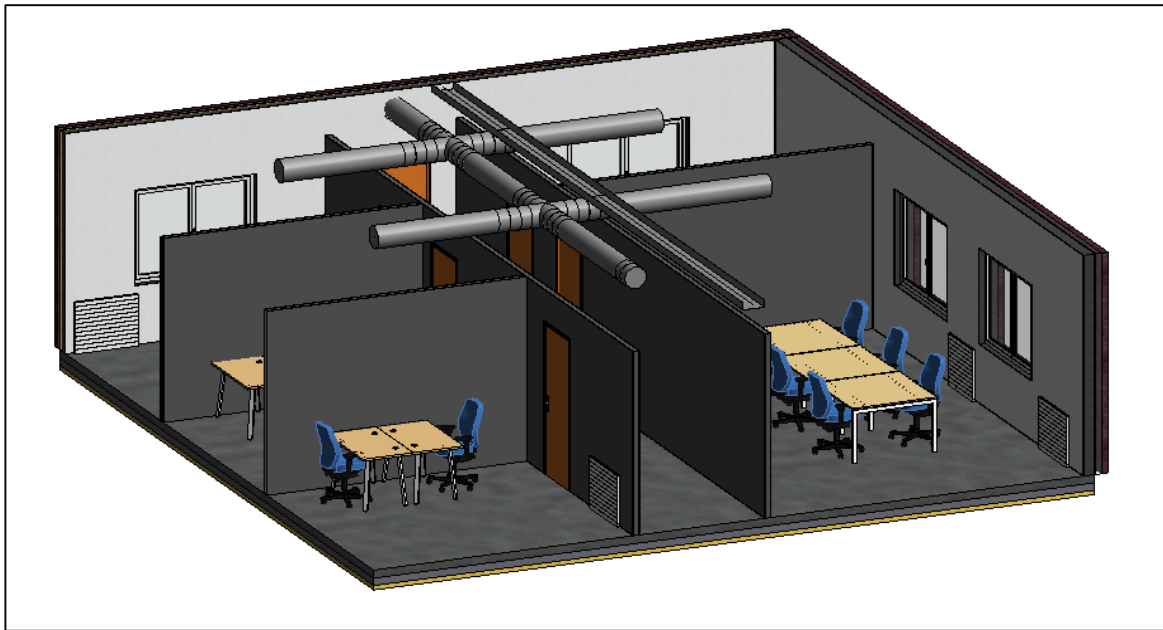


Figure III.17 : Le niveau « LOD400 » avec les détails d'aménagement et de ventilation (Source :(Mehamedi, 2020)).

Le concept de BIM vise principalement à assurer le bon déroulement des projets modélisés ; chaque niveau de détails nous donne un certain nombre de renseignements, par conséquent il est très important de prendre en considération les types de données motionnées pour chaque partie pour ne pas provoquer un problème de coût de modélisation causé par des éléments modélisés sans aucun intérêt.

III.5. La place de l'architecte dans le BIM

III.5.1. Le BIM ; un atout pour les architectes

Le BIM est un véritable atout pour les architectes d'aujourd'hui, le travail sur le modèle numérique (Boutemadja, 2016) permet de :

- ✓ Maîtriser tous les éléments de construction dans le processus de conception et aborder la construction.
- ✓ Fournit un outil unique de communication efficient.

- ✓ Assurer une meilleure harmonie des différentes phases du projet.
- ✓ Assurer que les différentes phases du projet sont simulées.
- ✓ Générer des documents graphiques qui facilitent le suivi sur le terrain.
- ✓ Engager dans la valorisation du travail d'un client tout en réalisant des économies significatives.

On peut dire que le BIM n'est pas un outil spécifique pour la spécialité d'architecte, mais c'est un processus général qui coordonne plusieurs acteurs de la construction, par conséquent il faut bien positionner la place de l'architecte dans ce processus pour améliorer son travail et bien identifier les frais associés à son utilisation pour créer des tâches supplémentaires aux architectes pour garantir un meilleur contrôle du projet (Boutemadja, 2016).

III.5.2.L'intégration des BIM aux bureaux des architectes

L'intégration des BIM dans les bureaux d'architecture doit être bien étudié, réglé et réfléchi, un bureau qui effectue des modélisations en 3D est déjà un pas d'adoption du processus, par conséquent, il est important d'analyser la méthode de travail du bureau afin de déterminer précisément les mesures à prendre pour adapter la méthodologie du processus (Boutemadja, 2016).

Passer d'une maquette numérique à un BIM suppose la mise en œuvre d'un modèle interne pour partager les différentes données avec d'autres acteurs du projet. Il est donc nécessaire d'identifier les données que les architectes fournissent et partagent. Il s'agit d'assurer que le logiciel autorise les données et les transmet pour l'échange. Les architectes ne sont pas les seuls à faire de la modélisation des données diverses (Boutemadja, 2016).

L'intégration des BIM dans votre bureau d'architecture doit se faire graduellement et avant de mettre en place cette stratégie de travail, il est très important de faire des tests sur un certain nombre de projets disponibles déjà.les bureaux d'architecture doivent travailler avec les BIM même sans projets spécifiques pour acquérir l'expertise nécessaire pour travailler facilement avec cette méthode (Boutemadja, 2016).

III.5.3.Les BIM dans les petits bureaux d'architecture

Généralement, les bureaux d'architecture qui s'intéressent par le BIM se sont joints à l'appel des grands projets, mais le BIM n'est pas consacré uniquement pour les grands projets. Ce processus est utilisé aussi dans les bureaux d'architecture de moyenne et petite taille qui représente plus de 70% des bureaux. Les BIM sont utilisés aussi pour les petits bureaux d'architecture et des études en Anglais à cet égard ont mis en évidence certains bénéfices comme :(Boutemadja, 2016)

- ✓ La collaboration entre les différents membres du bureau pour augmenter la productivité.

- ✓ L'amélioration de la capacité analytique et les simulations seront plus larges.
- ✓ L'amélioration de la précision de planification.

Le processus BIM est valable pour tout type de projet à n'importe quelle échelle, et les architectes peuvent créer des modèles numériques qui répondent aux besoins de leurs tâches, ils doivent partager le travail avec d'autres membres du projet afin de faciliter le déploiement futur (Boutemadja, 2016).

III.5.4. Les avantages des BIM pour les acteurs du projet

1. Le maître d'ouvrage, promoteur :

Le BIM favorise la gestion des coûts du projet, sa vente est soutenue par le respect des délais (LEROY, 2021).

2. La Maîtrise d'œuvre, Architecte, Architecte d'intérieur, BET, Bureau de Contrôle, Économiste, Coordonnateur

Le BIM assure une meilleure formation de concept de projet, réduit les délais grâce aux renseignements mis à jour, quel que soit l'état d'avancement, réduction des erreurs, contrôle des matériaux, gestion des coûts réels (LEROY, 2021).

3. Entreprises, artisans

Le BIM assure la réduction des coûts grâce à des interventions dans le projet, le pilotage et le contrôle sont plus faciles par le raccourcissement de la construction, l'optimisation du déploiement du site, un meilleur suivi du site et une meilleure gestion des relations avec les fournisseurs (LEROY, 2021).

4. Industriels

Les BIM assurent l'optimisation des prescriptions c'est-à-dire une meilleure publicité des produits selon des fiches techniques précises pour la réduction des risques des malfaçons pour une intégration rapide dans le projet (LEROY, 2021).

5. Assureurs

Les BIM favorisent la facilité pour réduire les coûts de litiges (LEROY, 2021).

6. Utilisateurs

Les BIM donnent la chance aux futurs usagers des projets pour une meilleure connaissance des différents aspects du bâtiment et son environnement (LEROY, 2021).

Chaque acteur profite de ses avantages qui dépendent de ses besoins pour arriver finalement à une meilleure productivité, la collaboration assurée par le processus BIM est un moyen efficace pour garantir le meilleur rendement c'est-à-dire la meilleure qualité du produit architecturale.

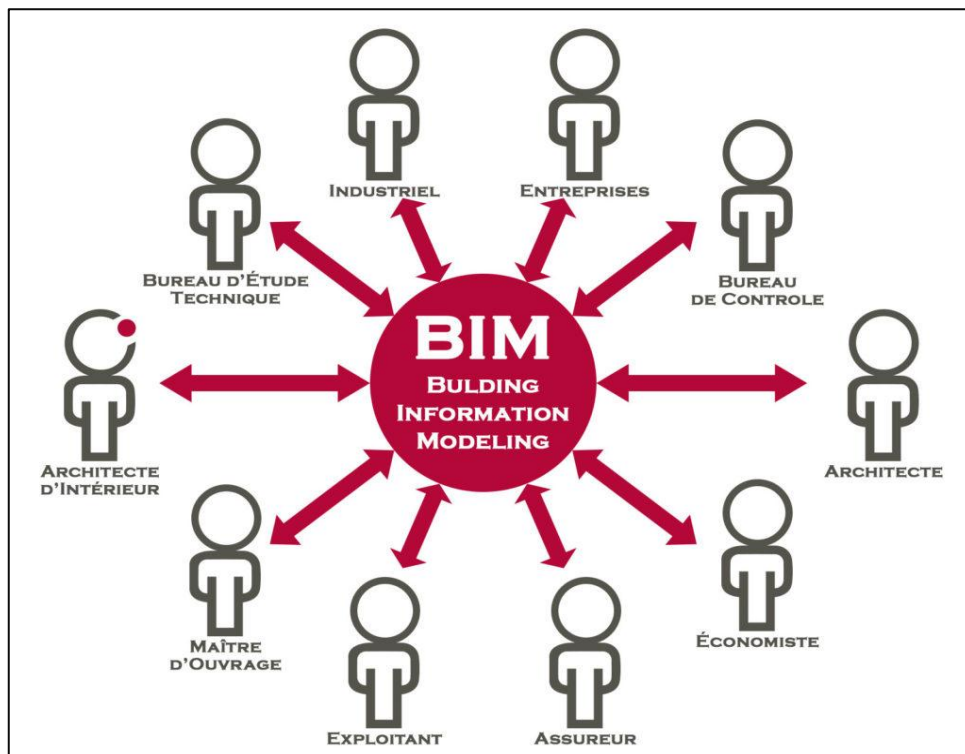


Figure III.19 : Les acteurs qui peuvent utiliser le BIM (Source : <https://copernic-archi-interieur.fr/revolution-bim-archi-interieur/>)

III.6. La mise en place du processus BIM

La mise en place d'un processus BIM n'est pas chose facile, c'est une étape longue et difficile, qui échouera probablement si le mécanisme d'établissement n'est pas organisé, donc il est important de fournir les moyens de la réussite avec la documentation et l'observation préalables. À partir de là, un plan d'exécution étudié peut être établi, et voilà les points clés qu'il faut abordés avant de commencer :(BENHASSINE et al., 2014)

1. La participation de tout le personnel

L'intégration d'un processus BIM doit être assurée par la volonté de l'entreprise ou par le groupe d'employés qui souhaitent introduire le BIM dans le processus du métier. Le BIM influence et modifie l'organisation et la gestion, ce qui ne peut être fait sans le consentement des personnes responsables. Par conséquent, il est essentiel pour tout le monde de croire que le BIM apporte une expertise significative à l'entreprise, et ajoute de la valeur aux projets, sinon en raison des difficultés, personne ne s'en chargera (BENHASSINE et al., 2014).

2. Mettre en place un gestionnaire approprié

À cause de son caractère collaboratif, le processus BIM nécessite pour son bon fonctionnement la présence d'un responsable capable et charismatique pour pouvoir rassembler les parties du travail et résoudre les conflits qui pourraient survenir dans le processus. Il est donc important d'attribuer le rôle ayant une expérience dans le domaine.(BENHASSINE et al., 2014)

3. L'identification des partenaires appropriés

La présence d'un responsable de gestion de processus est un point clé pour intégrer une telle méthode de travail, mais sa seule présence reste toujours insuffisante pour l'efficacité du processus, il est important de mentionner les autres parties prenantes impliquées dans le projet qui ont une certaine expérience dans le domaine. C'est pourquoi il est essentiel de préciser les interventions en fonction de l'expérience qu'elles ont acquise lors de l'utilisation de ce processus .Cette étape va réduire le risque d'erreurs et assure l'intégration des nouvelles idées dans la section « offres et contrats »(BENHASSINE et al., 2014).

4. La pratique de la gestion des courbes d'apprentissage

Comme processus compliqué, les implémentations du BIM se font souvent au fil du temps et à travers des projets testeurs, et il n'est pas judicieux de s'impliquer dans des grands projets lorsque l'employé vient de terminer sa formation en BIM. En plus, l'expertise des acteurs du BIM se développe à travers le temps en fonction de leurs expériences. Par conséquent, il est essentiel de contrôler la progression selon un plan cohérent avec des courbes d'apprentissage (BENHASSINE et al., 2014).

5. Garder les objectifs

Durant l'avancement du projet, il est essentiel de fixer les objectifs et de les mettre sous contrôle, et la résolution des problèmes d'un projet est inscrite dans la mission d'apprentissage du processus, donc il est primordial de partager le maximum d'expérience entre les partenaires et viser les objectifs d'efficience et d'efficacité dans le processus BIM (BENHASSINE et al., 2014).

III.7. Les risques associés à la mise en place du processus BIM

L'intégration d'un processus BIM n'est pas une garantie de succès, il faut d'abord étudier et analyser les expériences passées avec leurs conditions pour tirer les leçons qui servent comme guide pour une meilleure structuration de la démarche, et voici quelques points à aborder par les différents intervenants : (BENHASSINE et al., 2014)

1. L'investissement adéquat

Les ressources humaines et financières sont les points clés du processus BIM pour atteindre les objectifs tracés et la prévision des qualités d'un simple projet et d'un autre plus compliqué est très différente ,ce qui empêche les décideurs des projet d'éviter l'adoption directe de ce processus ,donc il vaut mieux aller doucement pour l'usage de BIM afin de garantir ton investissement (BENHASSINE et al., 2014).

2. Différence méthodologique

La collaboration est une condition nécessaire pour l'efficacité de ce processus, les utilisateurs de BIM doivent avoir des compétences spécifiques pour pouvoir suivre le cheminement et de travailler avec le même niveau et la même manière, sinon l'incohérence sera présente par excellence (BENHASSINE et al., 2014).

3. Différence méthodologique

L'augmentation du nombre de modélisation provoque l'augmentation de l'effort exercé pour la coordination et augmente les possibilités d'erreurs, il est donc préférable de travailler avec les filtres pour la visualisation spécialiser des éléments voulus et par conséquent la limitation de la multiplication de modélisation lors du travail (BENHASSINE et al., 2014).

4. Le niveau de détail souhaité

L'assurance de détail est l'un des objectifs de la modélisation, mais il faut tenir compte de ne pas alourdir les maquettes numériques travaillées avec un niveau élevé des détails qui sont parfois inutiles, donc il faut travailler intelligemment pour ne pas perdre le temps et alourdir les rendus sans intérêt (BENHASSINE et al., 2014).

Conclusion

Le processus BIM est une technologie très innovante et une méthodologie de travail très productive dont le but est l'amélioration du rendement avec plusieurs manières et à plusieurs échelles, les bénéfices de ce processus sont nombreux et qui conduisent toujours à produire avec une meilleure performance. L'intégration étudiée et concrète au niveau des bureaux d'architecture devient une nécessité à cause des différentes difficultés pour la gestion et le respect des contrats, car les méthodes classiques ne sont plus valables maintenant et les projets d'aujourd'hui avec leurs niveaux de complexité ont besoin de cette mise à jour qui garantit la performance et l'efficacité.

Malgré son expansion dans les pays développés, le processus BIM reste absent dans plusieurs entreprises et bureaux d'architecture et les problèmes de coût, délais, développement durable, de maintenance et aussi d'exécution des détails provoquent des conflits durant la réalisation et l'exploitation de leurs projets, donc il est nécessaire d'adopter cette méthodologie de travail avec ses dimensions et d'intégrer la collaboration comme principe essentiel entre les acteurs. Toutes ces conditions précitées vont garantir une meilleure maîtrise de projet et un rendement qualitatif merveilleux qui sont l'objectif principal de la mission de construction.

CHAPITRE IV :

Cas d'étude

Introduction

L'intelligence artificielle est une des tendances les plus adoptées aujourd'hui. Elle influence de nombreux domaines. Elle développe le cœur de plusieurs métiers et notamment le secteur de la construction. Maintenant l'adoption de cette notion à l'échelle locale et l'intérêt de son utilisation dans le processus quantitatif et estimatif des projets, ainsi que la capacité de produire les solutions architecturales avec la réduction des marges d'erreur sont les points à prouver à travers cette étude qui a pour but principal de démontrer la capacité de cette technologie pour l'amélioration des pratiques de la maîtrise d'œuvre architecturale au niveau local et ses limites actuelles ainsi que les potentialités futures probables dans ce sens. Dans le cadre de notre étude, une enquête par questionnaire sur les BIM est menée au niveau des entreprises et bureaux d'étude en architecture implantés dans la wilaya de Jijel en 2021. Ce questionnaire permet d'éclaircir l'état de fait de la perception des BIM par les BET actuelles afin d'arriver à nos objectifs sur la base d'un ensemble de résultats chiffrés précis.

IV.1. Enquête par questionnaire

IV.1.1. Présentation du périmètre d'étude

La wilaya de Jijel est située au nord-est de l'Algérie, avec une superficie de 2398 km², ses limites administratives sont : Au nord ; la mer méditerranéenne. À l'est ; la wilaya de Skikda. À l'ouest ; la wilaya de Bejaia. Au sud ; les wilayas de Mila et Sétif.

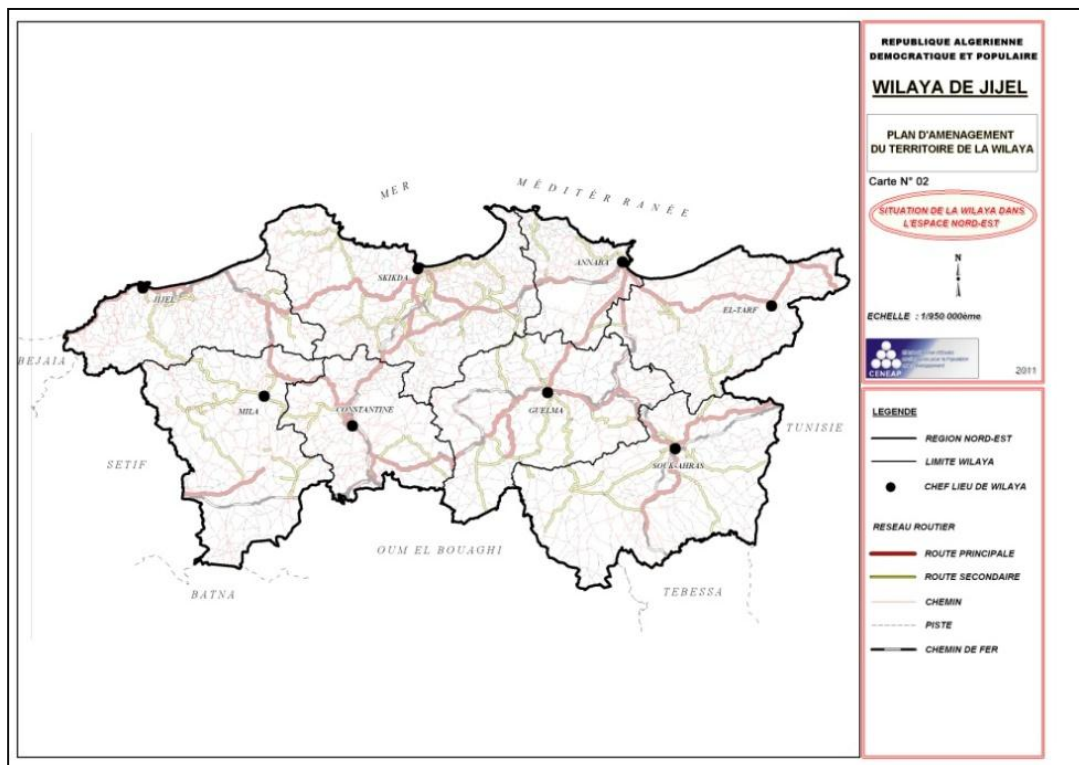


Figure IV. 1 : La carte de la situation de la wilaya de JIJEL dans l'espace Nord-Est (Source : PAW –JIJEL-).

Tableau IV. 1 : Organisation administrative de la wilaya de JIJEL

DAIRAS	COMMUNES	DAIRAS	COMMUNES
JIJEL	JIJEL	DJIMLA	DJIMLA, BOUDRIA BENI YADJIS
TEXENNA	TEXENNA, KAOUS	SATTARA	SATTARA, GHEBALA
TAHER	TAHER; EMIR ABDELKADER, CHAHNA, OULEDASKEUR, OULED YAHIA	EL-ANCER	AL-ANCER, BOURAOUI BELHADEF, KHEIRI OUED ADJOUL, DJEMAA BENI H'BIBI
EL-MILIA	EL-MILIA, OULED YAHIA	CHEKFA	CHEKFA, SIDI ABDELAZIZ, EL-KENNAR, BORDJ T'HAR
EL-AOUANA	EL-OUANA, SELMA BENZIADA	ZIAMA	ZIAMA MANSOURIAH,, ERRAGUENE
SIDI MAAROUF	SIDI MAAROUF, OULED RABAH		

(Source: PAW-JIJEL-).

IV.1.2. Présentation de la méthode d'investigation

Le questionnaire est l'un des trois principales méthodes de compréhensions des faits psychologiques .C'est une méthode qui consiste à collecter les informations pour pouvoir comprendre et interpréter les faits .Le questionnaire est totalement collectif et quantitatif avec des données statistiques qui garantissent que le questionnaire d'information obtenue est jugé fiable (Vilatte, 2007).

Le développement d'un questionnaire signifie la production des chiffres en fonction des partisans de cette méthode, en évitant la subjectivité. Cette méthode est basée sur l'idéal, l'idéalisme des mathématiques est tout à fait raisonnable ; la théorie au-delà de la réserve matérielle des faits. Il s'agit d'une approche méthodique qui doit répondre à un ensemble d'exigences strictes (Vilatte, 2007).

Les questionnaires de l'enquête ont été distribués au niveau des BET du périmètre d'étude et spécifiquement pour les architectes ; aucun questionnaire n'ayant reçu de réponses des autres intervenants des établissements visités, de sorte qu'après une semaine de la distribution, ils ont été restaurés pour analyser et interpréter les réponses reçues et extraire les résultats recherchés.

IV.1.3. L'enquête par questionnaire

Chaque construction de questionnaire doit être précédée d'une formule précise sur le problème; le but de l'étude, si les objectifs ont une portée limitée ou large .S'il n'y a pas de but, nous avons un questionnaire pour obtenir des informations et poser des questions par la suite, la valeur du questionnaire dépend des objectifs selon le type de recherche, il faut donc (Vilatte, 2007) :

- ✓ Définir l'objet de l'enquête :

L'objet de notre enquête porte sur les BIM et son état de fait actuel au niveau des bureaux d'étude en architecture, les dimensions adoptées et ses limites. Ce sujet va être développé à travers une enquête par questionnaire riche dont tous les points pertinents sont couverts.

✓ **Les objectifs et les hypothèses de l'enquête :**

La définition des objectifs est irréalisable sans définition des hypothèses générales de l'enquête. Si nous voulons que l'enquête ait lieu, nous avons besoin d'hypothèses qui seront testées à travers un ensemble spécifique de questions.

À travers cette enquête, nous essayons de regarder exactement tout ce qui concerne la confirmation ou l'infirmité des hypothèses avancées précédemment dont l'objectif principal est spécifiquement de découvrir les différents points relatifs aux possibilités des BIM qui peuvent augmenter le niveau de production des bureaux d'études. Outre, un ensemble d'objectifs supplémentaires qui préoccupe de la notion de l'intelligence artificielle et à son lien étroit avec le domaine de la maîtrise d'œuvre architecturale (les BIM) ainsi que la démonstration des potentialités de cette technologie face aux erreurs possibles durant le processus du projet architectural sont envisagés.

✓ **Les types des questions**

Dans le questionnaire, nous nous sommes appuyés sur une variété de questions sur lesquelles nous avons l'intention de contacter tous les points à étudier de manière pratique et méthodique afin de bien cibler l'enquête et pouvoir évaluer et obtenir des résultats fiables.

- 1. Les questions filtres :** âge, sexe, wilaya, nom de l'entreprise/bureau d'architecture, l'adresse... pour pouvoir cerner et créer des profils spécifiques des échantillons.
- 2. Les questions dichotomiques :** qui acceptent des réponses spécifiques par oui ou non.
- 3. Les questions conditionnelles ouvertes :** qui suivent des questions précédentes dont le but est l'amélioration de l'information donnée et en donnant de l'espace suffisant pour donner les réponses claires et précises en toute liberté.
- 4. Les questions conditionnelles fermées :** dont la réponse sera choisie uniquement de la liste des propositions.
- 5. Les questions fermées à choix unique :** une seule réponse sera choisie de la liste des propositions données pour bien cerner nos points étudiés.
- 6. Les questions fermées à choix multiple :** plusieurs réponses peuvent être choisies à la fois de la liste des propositions données.

✓ **La structuration des questions**

Nous formons des blocs logiques regroupés par thème pour améliorer la compréhension globale des personnes interrogées. La taille et la forme des questions sont essentielles pour assurer un profit maximum. Le questionnaire doit être court, mais efficace pour extraire les informations voulues (Maisonneuve and Fournier, 2012). Le questionnaire a une structure très précise, en commençant du général au détail et on trouve :

- 1. La première partie :** elle contient les données précises des participants à cette enquête pour donner plus de fiabilité.
- 2. La deuxième partie :** elle contient toutes les questions qui ont une relation étroite avec notre recherche en passant du plus général au plus détaillé ; de l'intelligence artificielle aux potentialités des BIM.

IV.1.4. Le choix de l'échantillon

Prendre une partie d'un tout et construire un échantillon a pour but principal la généralisation des résultats après l'étude et l'interprétation avec un moindre cout et délai. Il existe plusieurs méthodes d'échantillonnage ; probabiliste ou non probabiliste (raisonné) qui définissent le groupe d'individu dit « échantillon » qui doit avoir les mêmes caractéristiques de la population étudiée. Dans notre enquête, le questionnaire est destiné à une tranche précise de la société ; les maitres d'œuvre architectes, il peut être répondu par tout architecte qui remplit les conditions suivantes :

- ✓ Il doit être agréé et inscrit dans le tableau national de l'ordre des architectes (TNOA).
- ✓ Il doit faire partie de notre périmètre d'étude (l'échelle locale).

En raison de la typologie de notre étude, nous avons jugé opportun d'adopter un échantillonnage non probabiliste et précisément celui de la de convenance à cause de sa simplicité et parce qu'il n'y a aucune garantie que tous les membres impliqués dans cette enquête seront disponibles ; cette méthode conscrit que les participants disponibles (les BET d'architecture qui exercent actuellement leurs travaux et qui ne sont pas en congés ou suspendus de travail temporairement).

IV.1.4.1. Définition de la taille de l'échantillon :

Dans le cadre de cette enquête, on a distribué nos questionnaires au niveau de 51 BET d'architecture à travers la wilaya de JIJEL selon leur disponibilité (par convenance). Dans le cadre de l'absence de l'anonymat, le tableau obtenu du site CLOA-JIJEL (Annexe 02) contient la liste des architectes agréés de la wilaya (population totale) qui vont être interrogés durant notre enquête.

IV.1.4.2. Méthode de calcul de la taille de l'échantillon :

On commence premièrement par définir une population infinie en utilisant la formule (COCHRAN, 1977) :

$$Te = \frac{Z^2 \cdot P \cdot (1 - P)}{E^2}$$

✓ Ou :

Te : La taille de l'échantillon.

Z : La valeur critique qui dépend du niveau de confiance (NC) souhaité.

E : Niveau de précision ou marge d'erreur souhaité (inférieure ou égale à 10%)

P : Proportion de la population inconnue, on prend **P=0.5** qui produit la taille maximale possible de l'échantillon.

✓ On a donc :

Z= 1.96 pour un niveau de confiance de **95%** qui est généralement considéré comme seuil.

E= 0.05 (pour une marge de 5%)

P =0.5

✓ Application numérique :

$$Te = \frac{1.96^2 \cdot 0,5 \cdot (1 - 0,5)}{0,05^2} = 384$$

En deuxième lieu, en calcul la population finie par l'application de la formule corrigée (COCHRAN, 1977) :

$$Tec = \frac{Te}{1 + \frac{Te-1}{N}}$$

✓ Ou :

Tec=La taille de l'échantillon pour une population finie.

Te =La taille de l'échantillon pour une population infinie calculée précédemment.

N=La taille de la population finie qui vaut dans notre cas 219 personnes.

$$Tec = \frac{384}{1 + \frac{384-1}{219}} = 140$$

Compte tenu des délais pour cette étude que nous devons respecter, ainsi que de l'incapacité à garantir la présence permanente des architectes au niveau de leurs bureaux, nous avons jugé nécessaire de restreindre la taille de notre échantillon d'une manière scientifique et fiable en changeant le niveau de précision de 5% à 10% ($E=0.1$) et le niveau de confiance de 95% à 90% ($Z=1.64$) on trouve par conséquent les résultats suivants :

✓ Pour la population infinie et à travers la même formule de (COCHRAN, 1977)

$$Te = \frac{1.64^2 \cdot 0,5 \cdot (1 - 0,5)}{0,1^2} = 67$$

✓ Pour la population finie et à travers la même formule corrigée de (COCHRAN, 1977)

$$Tec = \frac{67}{1 + \frac{67-1}{219}} = 51$$

✓ Le nombre des architectes interrogés est donc =51

IV.1.5. Le mode d'administration des questionnaires

Sur la base de la méthode d'échantillonnage non probabiliste par convenance articulée principalement sur la disponibilité des membres interrogés, nous avons constaté que notre périmètre d'étude sera entre la commune d'EL-OUANA, JIJEL.

Après avoir contacter les BET par téléphone pour l'acceptation de notre visite, la distribution des questionnaires est faite manuellement avec des délais suffisants pour leur récupération, ils ont été remplis en toute autonomie par les personnes interrogées sans aucune intervention de notre part dont le but est l'assurance de la qualité de l'enquête avec des réponses et des expressions écrites libres et discriminatives que les expressions orales.

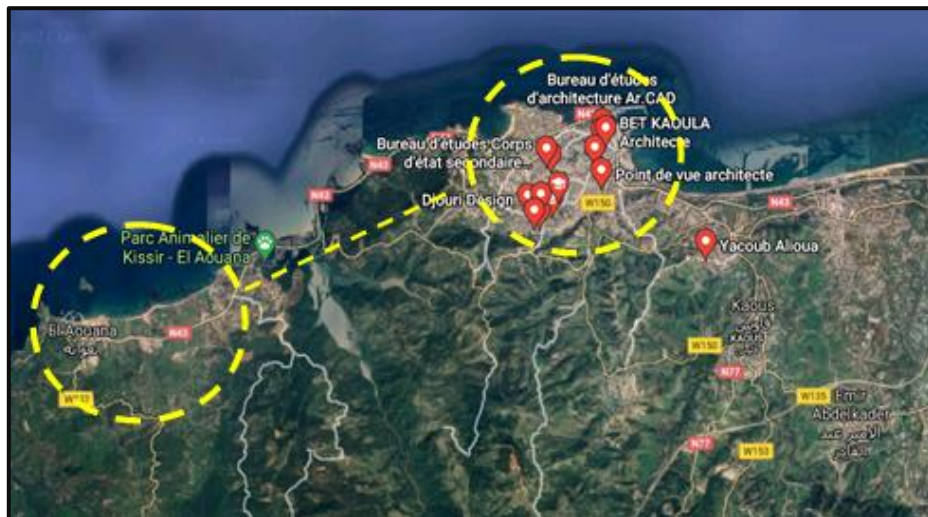


Figure IV.2 : Zones d'investigation adaptées à partir de Google Maps.

IV.2. Exemple d'une estimation de prix global avec un logiciel BIM

Dans cette partie on présente une méthode très pratique pour l'estimation d'une partie d'un projet de construction pour définir une enveloppe budgétaire dont la méthode est basée sur les prix par objet. Le recours à cette méthode permettra de voir rapidement si on est dans le respect du budget donné par le maître de l'ouvrage ou pas. Tout dépend la complexité du projet et les matériaux utilisés ainsi que les conditions de constructions. On prend comme exemple de calcul estimatif de la menuiserie une pièce de 30 m² avec une porte et deux fenêtres à l'aide d'ArchiCad 16.

a. Les étapes de l'opération

- ✓ On dessine en 2D la forme de la pièce à l'aide d'outil « Mur » en précisant l'épaisseur de 15cm.

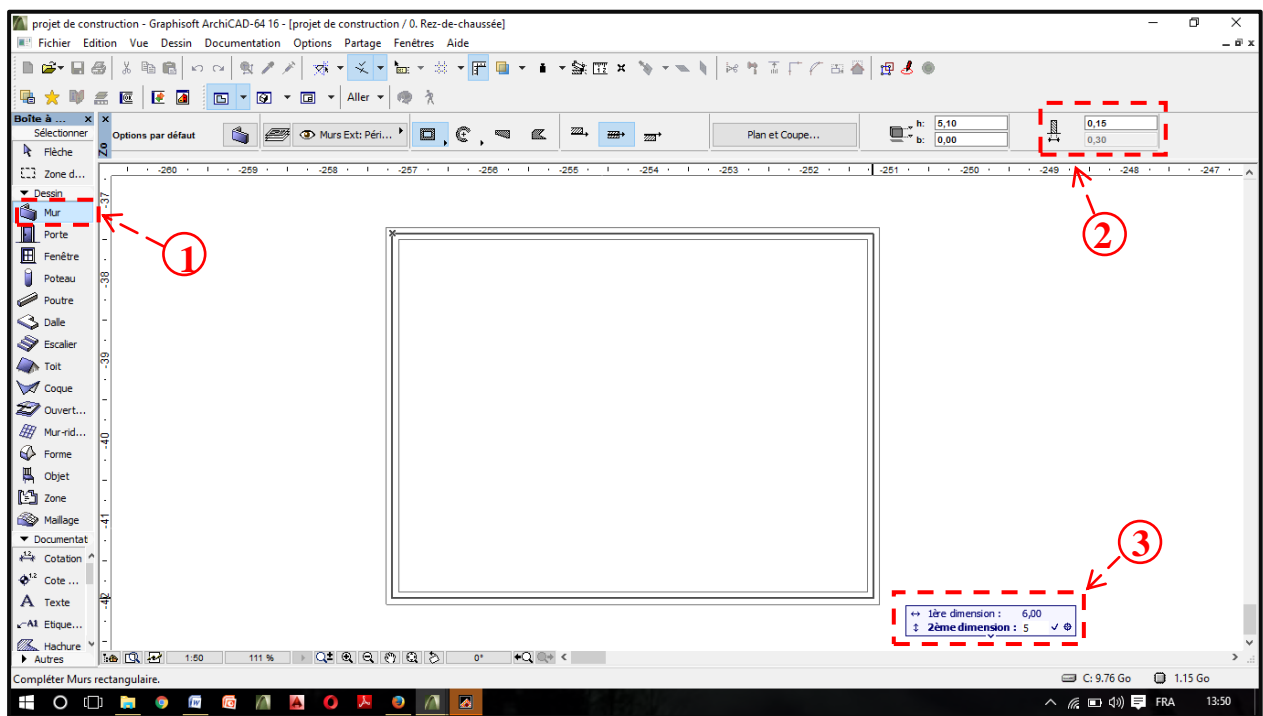


Figure IV.3 : Dimensionnement des murs de la pièce.

- ✓ Par la suite, on modifie les paramètres des murs dessinés avec un double-clic sur l'outil « Mur » dans la boîte à outils après avoir sélectionné les murs déjà dessinés. Il existe de nombreux types de murs sur ce logiciel ; simple, composite...Ce qui nécessite des modifications (Nom, matériaux, position, hauteur...) au niveau du panneau de configuration qui sera affiché par la suite.

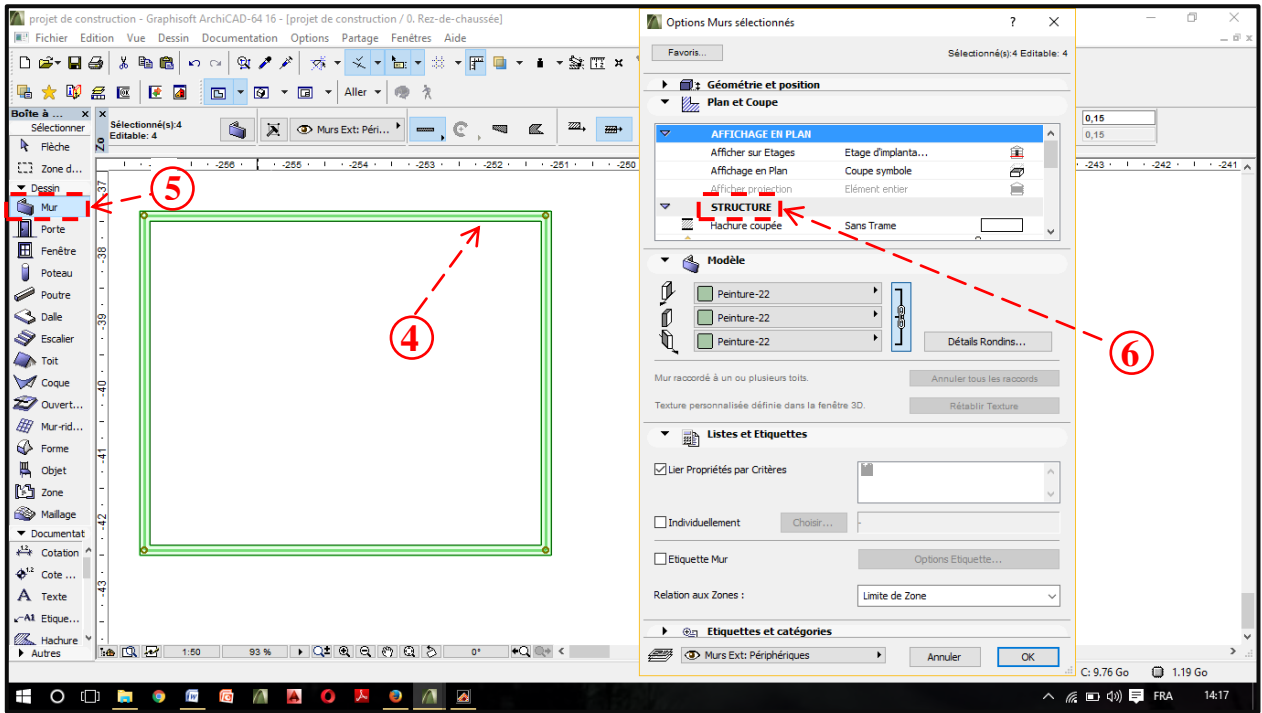


Figure IV.4 : Configuration des paramètres des murs de la pièce.

✓ On change le type de matériau utilisé pour le mur ; **brique en terre cuite**.

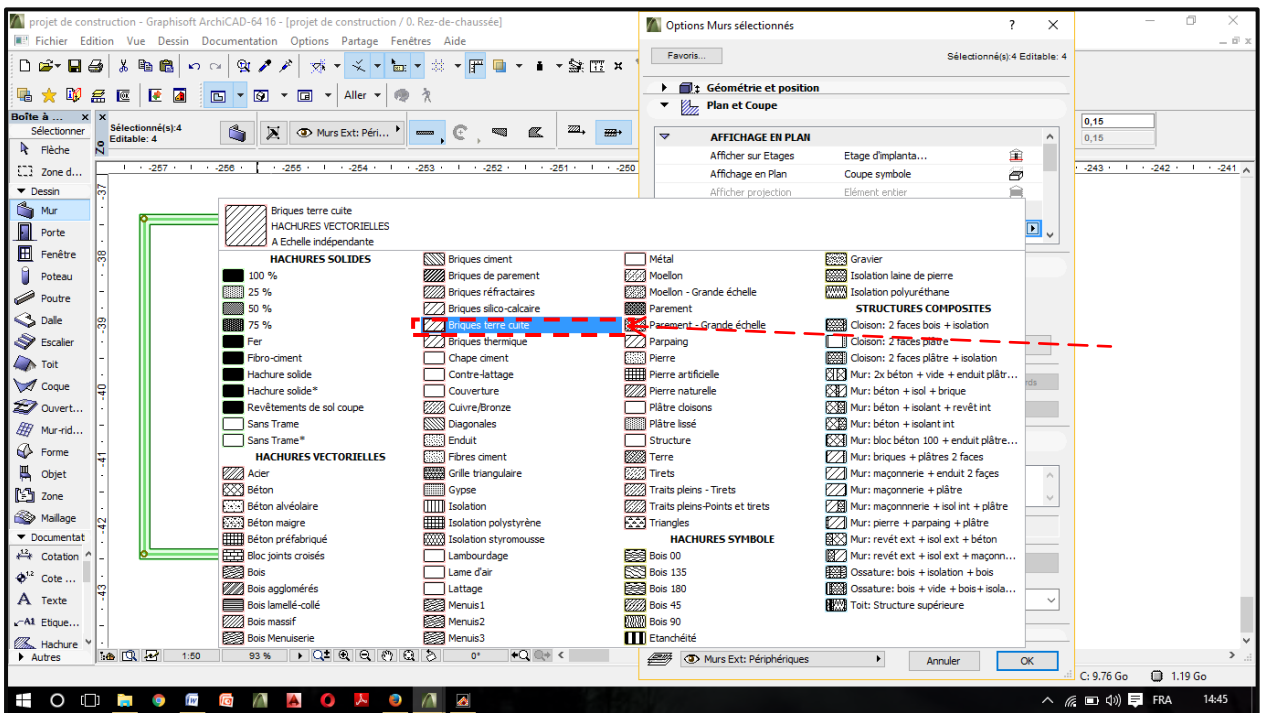


Figure IV.5 : Configuration relative aux matériaux de construction .

✓ On insère les ouvertures nécessaires (porte et fenêtres) en précisant leurs prix dans paramètres dans le dialogue de réglage.

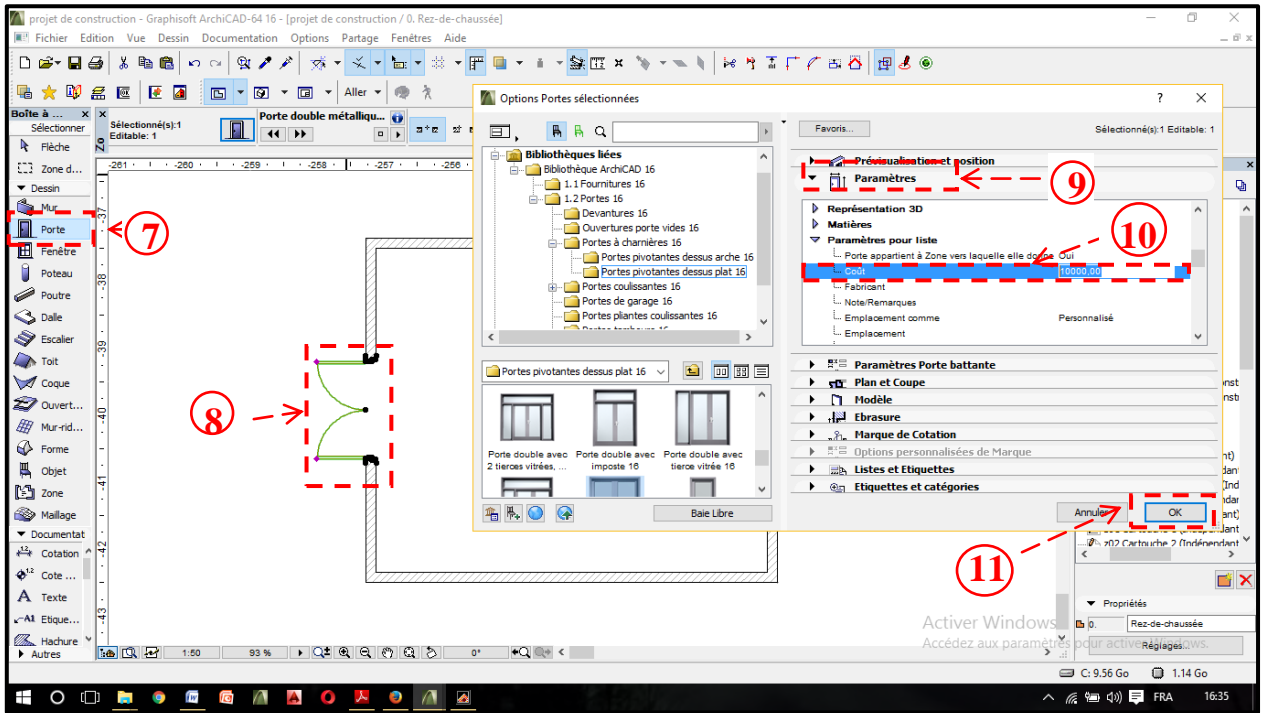


Figure IV.6 : Configuration relative au cout de la porte de la pièce.

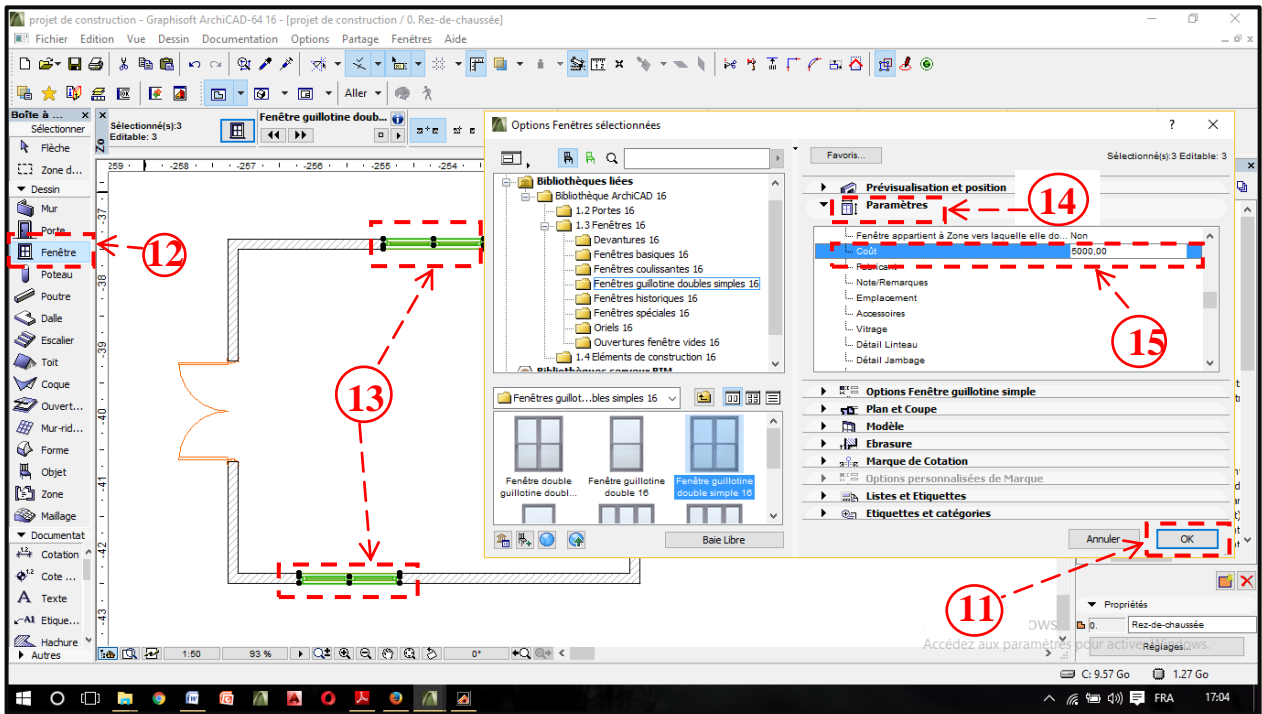


Figure IV.7 : Configuration relative au coût des fenêtres de la pièce.

✓ Par la suite, on configure la nomenclature des éléments de la menuiserie à estimer.

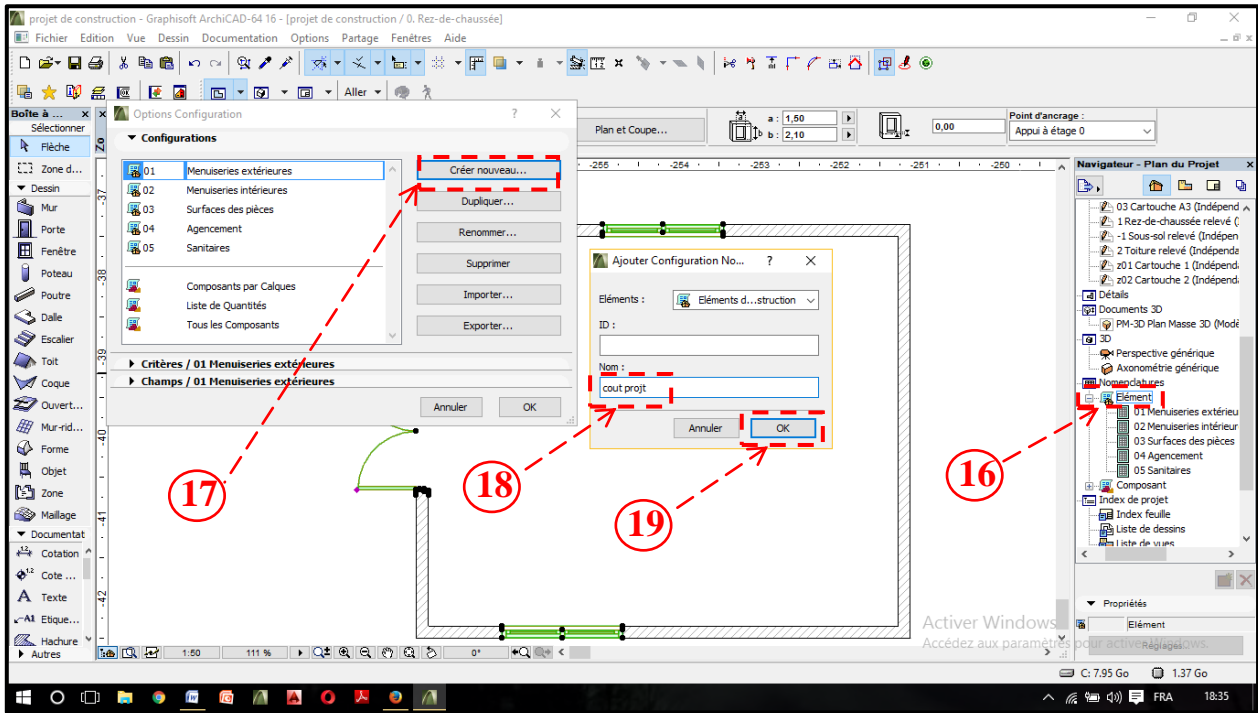


Figure IV.8 : Configuration relative à l'ensemble des éléments de menuiserie (Source : traitement personnel).

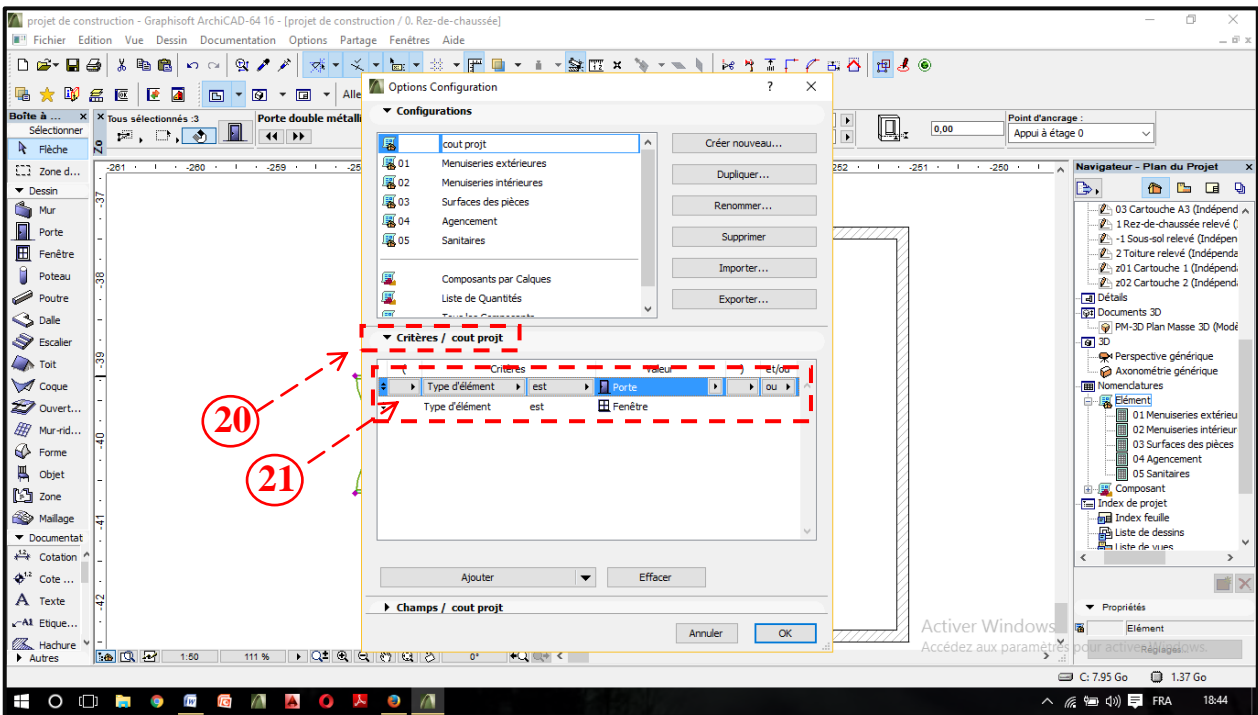


Figure IV.9 : Spécifications des éléments à estimer (Source : traitement personnel).

✓ L'estimation est en fonction d'une analyse directe des éléments sélectionnés et leurs prix définis auparavant.

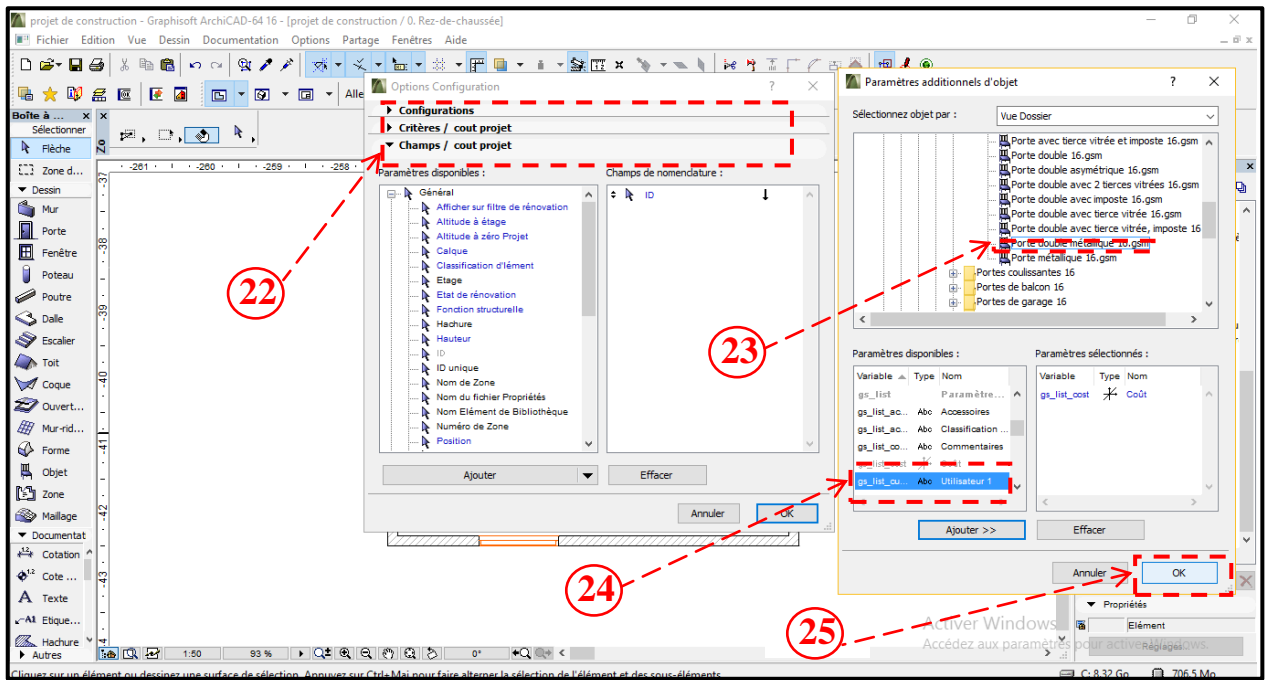


Figure IV.10 : Spécifications des paramètres supplémentaires des éléments à estimer (Source : traitement personnel)

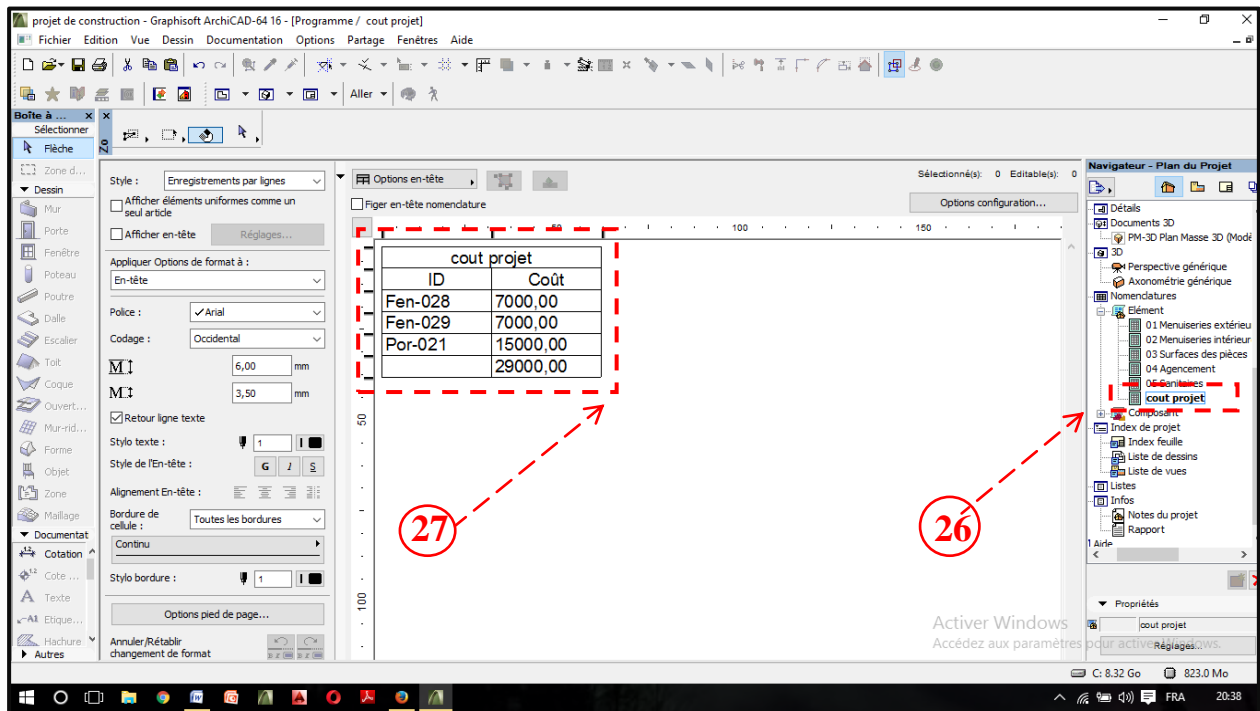


Figure IV.11 : Estimation de prix global de la menuiserie de la pièce (Source : traitement personnel).

- ✓ Cette méthode est valable pour les estimations qui concernent les murs, les dalles, les fondations...en fonction des dimensions, poids propre, suivant la même démarche et en changeant les types des articles à estimer et leurs prix dans le marché. Dans le cas d'un projet complet, on réalise le travail par chapitre dans ce logiciel.
- ✓ Chaque chapitre sera destiné pour l'estimation d'un ensemble des articles de la même

catégorie, les chapitres seront fusionnés pour obtenir l'estimation globale.

Conclusion

Les données recueillies à travers l'enquête par questionnaire visent à confirmer ou infirmer les hypothèses, notre méthode d'investigation avec ses règles précises, bien qu'elle semble pratique et simple, elle a de nombreux obstacles en particulier ce qui concerne la récupération des questionnaires en raison de certains retards par les participants dans cette enquête. En intégrant une deuxième méthode à l'aide d'un logiciel du processus BIM « ArchiCad », la vérification des hypothèses sera plus crédible. L'objectivité est une des colonnes sur laquelle repose cette étude, qui la rend réelle et fiable. Ses résultats clairs reflètent la réalité avec tous les faits qu'ils portent, loin des motifs personnels du chercheur.

CHAPITRE V :
Résultats et interprétations

Introduction

Ce chapitre consiste à présenter, à analyser et à interpréter les résultats de l'enquête sur terrain que nous avons menée dans divers BET dans la wilaya de Jijel. Il nous permet de connaître ce que pense la population enquêtée par rapport aux objectifs et hypothèses de notre travail de recherche. Les résultats des questions les plus pertinentes sont représentés, analysés et interprétés. Ce chapitre nous permet d'arriver aux objectifs visés auparavant, de confirmer nos hypothèses et d'avoir des réponses claires et des résultats logiques et fiables.

V.1. Analyse et interprétation des résultats du formulaire des questions :

V.1.1. Les catégories de notre échantillon (BET) :

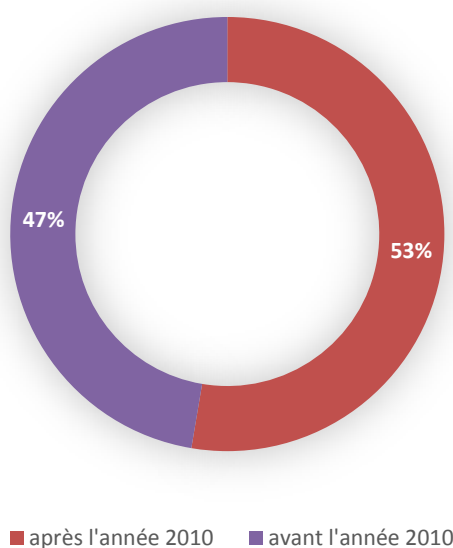


Figure V.1 : Les catégories de l'échantillon

Comme on peut le constater sur la figure, nos deux catégories sont bien équilibrées, c'est-à-dire que notre échantillon est bien diversifié et il se compose de deux générations de BET différentes par rapport à leurs anciennetés dans le domaine de la maîtrise d'œuvre ; c'est l'équilibre dans la sélection des participants à cette étude.

V.1.2. Le niveau de suivi de la technologie (IA) dans le domaine de l'architecture :

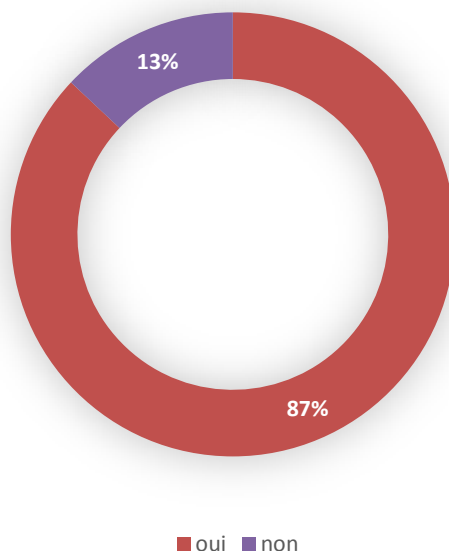


Figure V.2 : Le suivi de la technologie (IA) dans le domaine d'architecture

D'après les résultats qu'on voit sur la figure (VI.2), on remarque que la plupart des maîtres d'œuvre de notre échantillon sont toujours d'actualité en ce qui concerne les avancées technologiques de leurs domaines, et grâce à ça on en déduit qu'ils ont toujours l'intention de se développer encore plus et de marcher avec le courant de la technologie.

V.1.3. La présence du BIM comme idée dans les BET :

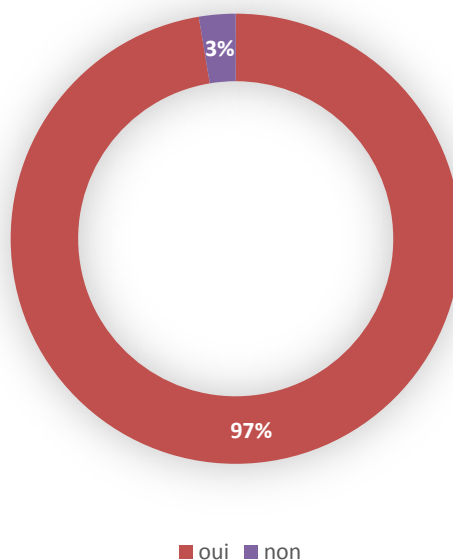


Figure V.3 : La présence du BIM comme idée dans les BET

Grâce à la figure (VI.3), on remarque que la connaissance générale du BIM est présente dans la majorité des BET de notre échantillon, on peut dire que le BIM a trouvé sa place comme idée dans les BET à l'échelle locale, ainsi on peut dire que les architectes locaux suivent de près les développements du domaine.

V.1.4. Les pratiques BIM (logiciels) dans les BET :

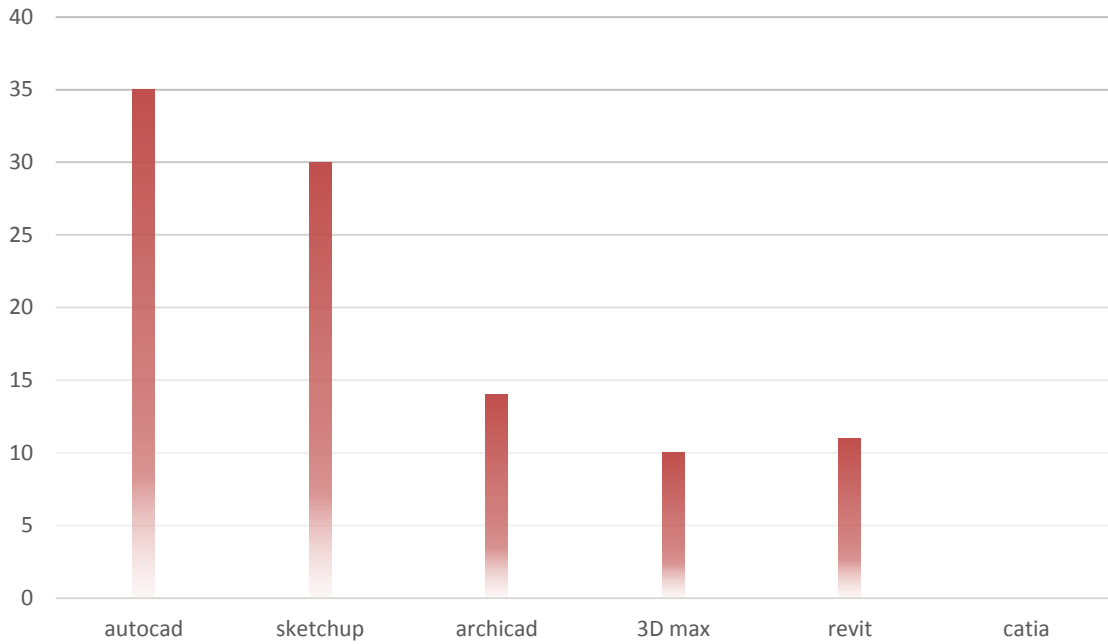


Figure V.4 : Les outils BIM dans les BET locaux

Comme on peut le constater la plupart des BET de notre échantillon travaille avec AutoCad pour un résultat en deux dimensions (2D), mais il est souvent combiné à SketchUp pour réaliser des modélisations 3D, et pour le reste on remarque que les outils de conception BIM (ArchiCAD, Revit, 3D max) sont existant chez les bureaux et avec un pourcentage assez conséquent, et avec un écart assez faible entre les trois, qui nous laisse comprendre qu’au niveau local certains BET ont déjà ouvert leurs portes à cette pratique (outils BIM).

VI.1.5. L’apport de l’utilisation des logiciels BIM :

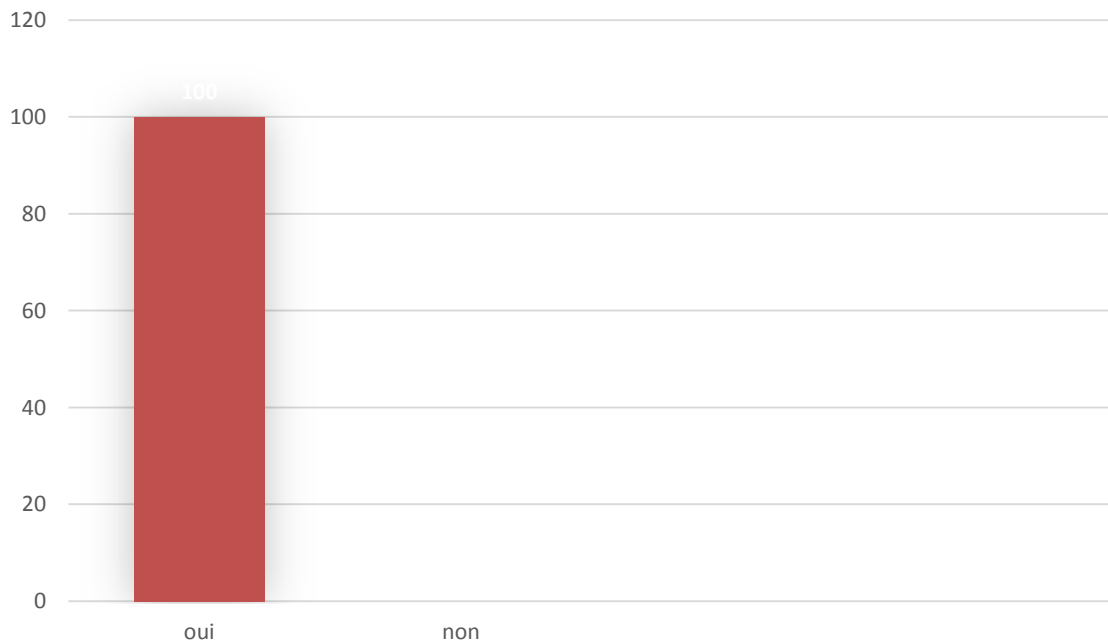


Figure V.5 : l’apport des outils BIM

La figure (V.5) présente le résultat d'une satisfaction total des BET à propos de l'utilisation des logiciels BIM dans leur travail, qui veut dire que l'apport des logiciels BIM se trouve être bénéfique pour tous les BET qui se sont donnés à cette pratique.

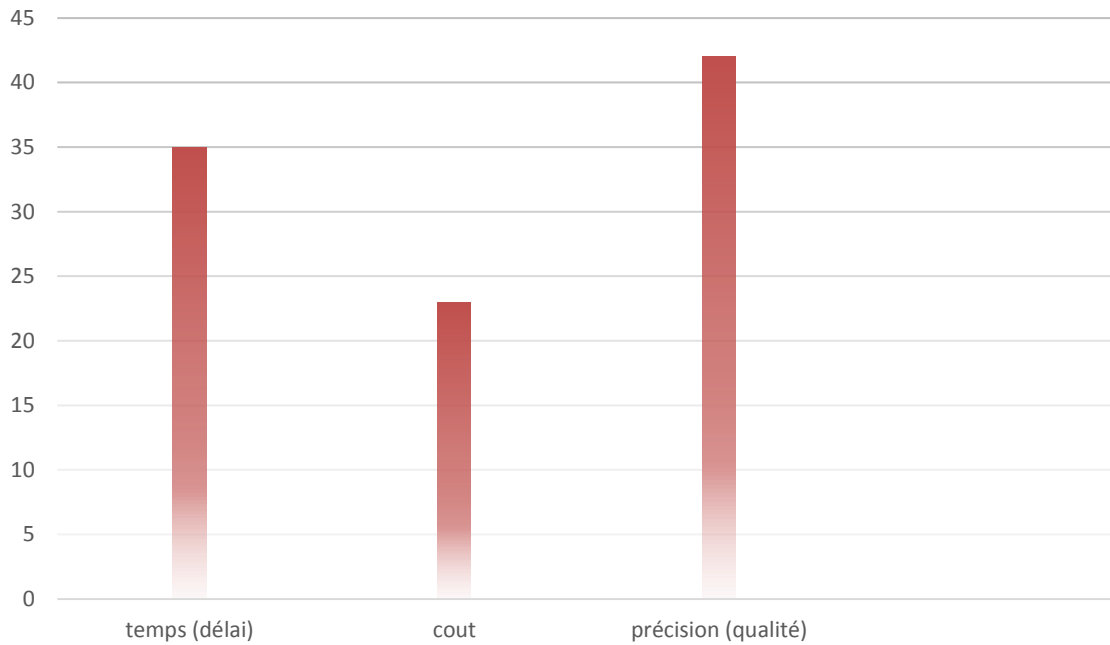


Figure V.6 : L'apport des outils BIM sur les facteurs du triangle d'or

D'après nos résultats, on s'aperçoit que les trois facteurs du Triangle d'or sont touchés positivement par les outils BIM avec un taux assez élevé pour les trois, la qualité occupe la 1ère place suivi du temps et juste derrière le cout.

V.1.6. L'intégration des matériaux dans les outils BIM :

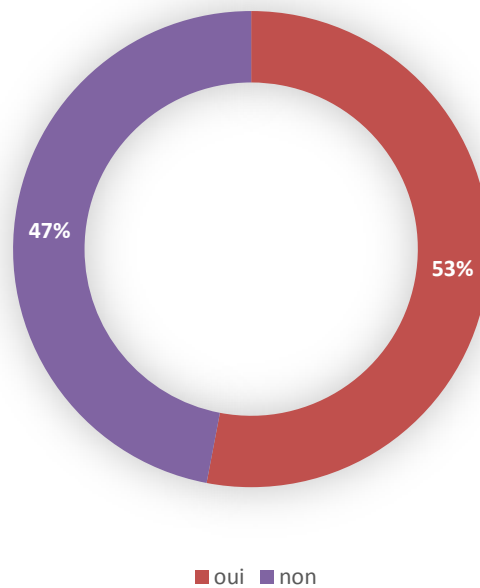


Figure V.7 : L'intégration des matériaux dans les outils BIM

Selon les résultats acquis, on constate que l'intégration des matériaux dans les outils BIM devient une méthode pratique et utilisée par la plupart des BET de notre échantillon pour avoir des estimations plus précises dans un délai plus court ; c'est le bénéfice pour les BET locaux.

V.1.7. La contribution des outils BIM dans les estimations quantitatives :

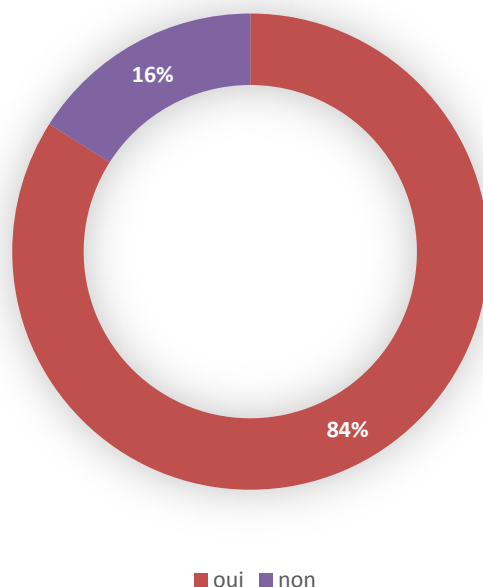


Figure V.8 : La contribution des outils BIM dans les estimations quantitatives

On remarque un grand pourcentage des BET de notre échantillon qui nous assure la précision des outils BIM en ce qui concerne les estimations quantitatives ; les outils BIM deviennent un moyen très utilisé pour effectuer les bordereaux de finance.

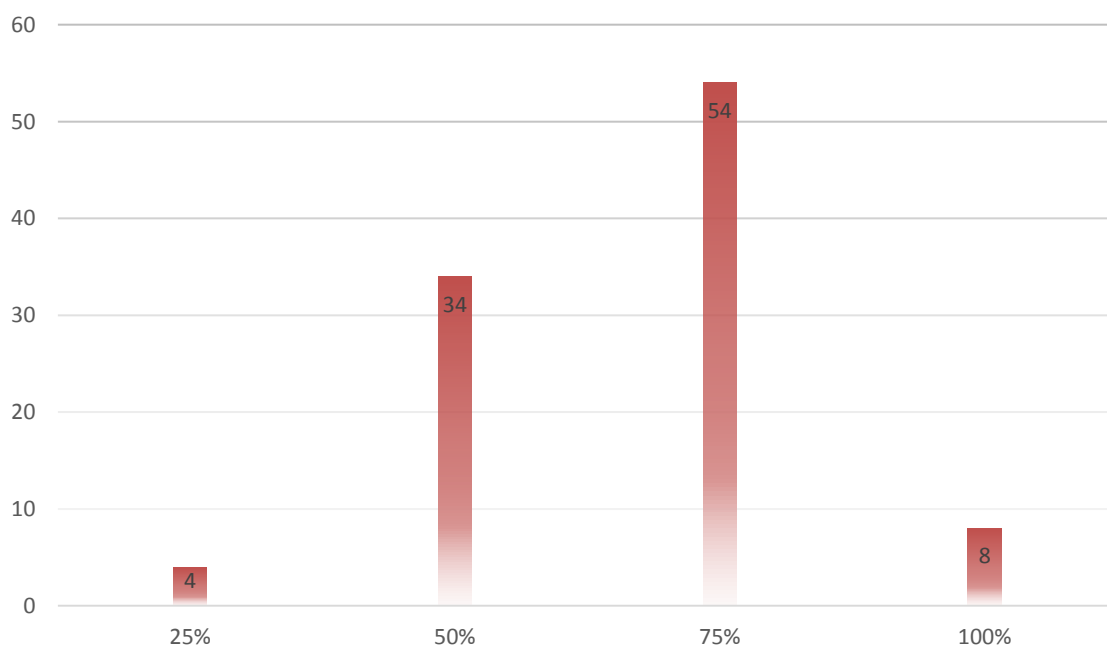


Figure V.9 : Les niveaux de précision des estimations quantitatives grâce aux outils BIM

Comme vous pouvez certainement le voir, plus de 50% de notre échantillon disent que les outils BIM améliorent leur précision en termes des estimations quantitatives d'un apport de plus de 75% et plus, dans ce cas-là, on peut dire que les outils BIM sont très avantageux pour l'estimation quantitative pour qui les utilise.

V.1.8. Contribution des outils BIM dans le respect des contrats financiers :

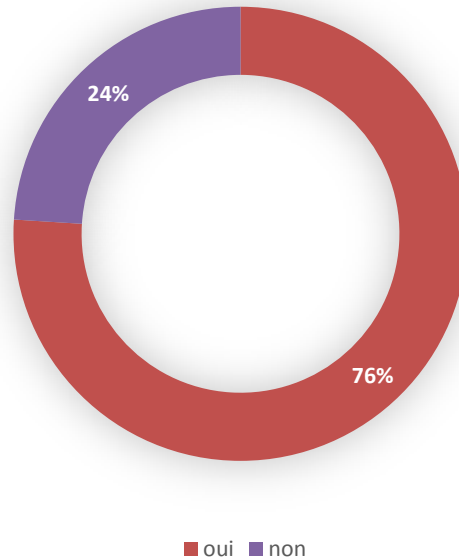


Figure V.10 : La contribution des outils BIM dans le respect des contrats financiers entre le maitre d'ouvrage et le maitre d'œuvre

D'après nos résultats, on constate réellement que les outils BIM contribuent à augmenter le niveau du respect des contrats financiers entre le maitre de l'œuvre et le maitre de l'ouvrage.

V.1.9. L'utilisation des plateformes BIM :

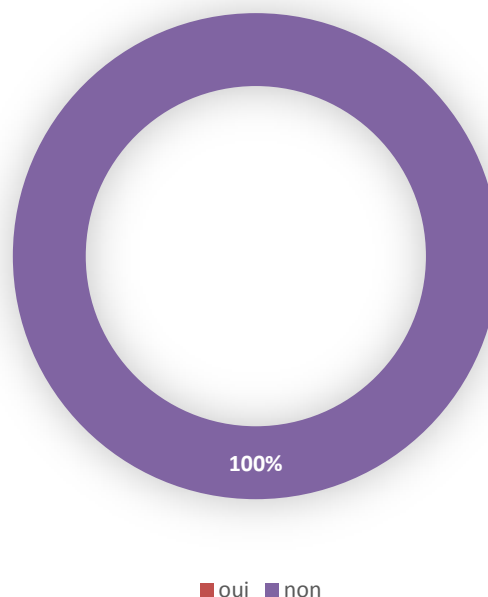


Figure V.11 :L'utilisation des plateformes BIM

Comme on peut le constater, aucun BET de notre échantillon n'utilise les plateformes BIM, qui veut dire qu'ils pratiquent et travaillent avec les outils BIM, mais ne pratiquent pas le processus BIM, qui consiste partager les infos et travailler main dans la main grâce à des réseaux qui font circuler les données d'acteur à autre 24h/24h.

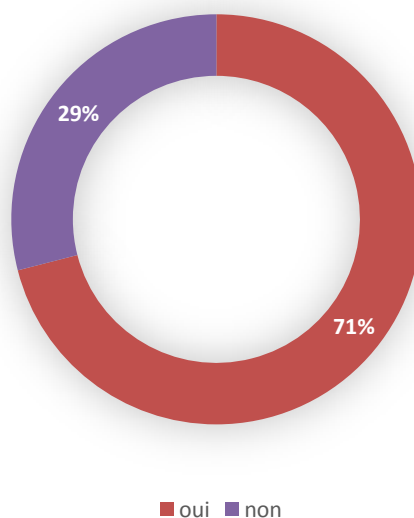


Figure V.12 : Sollicitation de la maquette numérique par les autres acteurs du projet

La maquette numérique est belle et bien sollicitée par la plus par des acteurs d'après ce qu'on a grâce aux résultats, et elle est partagée en faisant plusieurs copies (maquette collaborative), alors qu'il y'a un meilleur moyen comme on la déjà citer « les plateformes BIM » (maquette intégrée) mais malheureusement elle n'est pas utilisée par aucun des BET locaux de notre échantillon.

V.1.10. L'utilisation des outils BIM dans la démarche de modélisation :

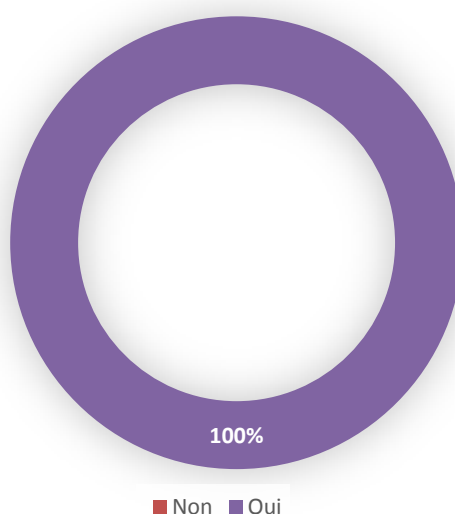


Figure V.13 : Le niveau d'utilisation des outils BIM pour la modélisation 3D

D'après nos résultats, on constate qu'à l'échelle locale, l'utilisation des outils BIM s'arrête au niveau de la modélisation 3D, qui veut dire donner une forme au projet en 3D, y'on a quelques-uns qui intègre les matériaux dans ce processus, et ça concerne la cinquième dimension du processus BIM ; les BET locaux dépassent la 3e dimension du BIM et se rapprochent de sa 5^e dimension, sans prendre en compte la 4e dimension qui concerne le facteur temps, ce qui nous laisse dire qu'il y'a comme une faille au niveau de l'adoption du processus BIM.

V.1.11. L'intégration du processus BIM à l'échelle locale :

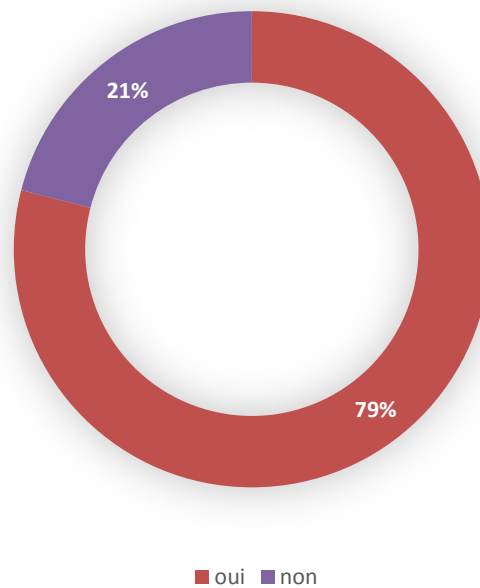


Figure V.14 : La volonté d'implication du processus BIM par les maitres de l'œuvre

On remarque que la majorité des maitres de l'œuvre ont l'intention de changer leur méthode de travail classique et d'intégrer le processus BIM avec toutes ses dimensions ; ils considèrent ce processus comme un moyen très compatible avec leur vision d'innovation, on peut dire que le désir de changement est fortement présent chez les maitres de l'œuvre locaux ,et cela suggère fortement la possibilité de l'adoption absolue de ce processus, c'est la modification des habitudes de travail qui se profile.

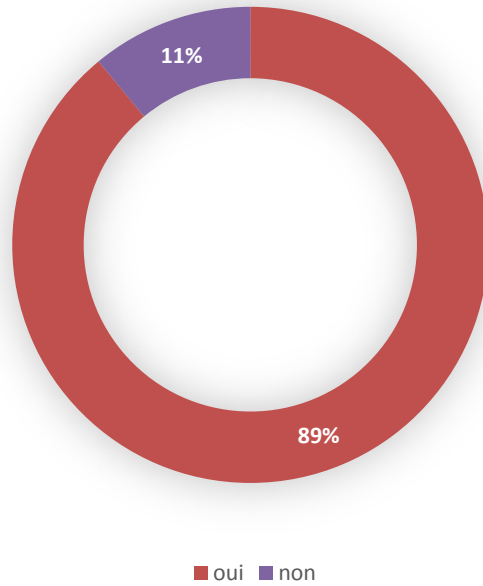


Figure V.15 : La perspective du processus BIM à l'échelle locale

Par rapport aux résultats obtenus, la plupart des BET de notre échantillon pensent que le processus BIM peut devenir une réalité et trouvera forcément sa place dans les années à venir, et tout ça est dû aux résultats qu'il réalise à l'étranger grâce à sa performance et sa fiabilité, par conséquent il viendra le moment où la maîtrise d'œuvre locale suivra le mouvement.

V.1.12. Les Freins d'adoption du processus BIM :

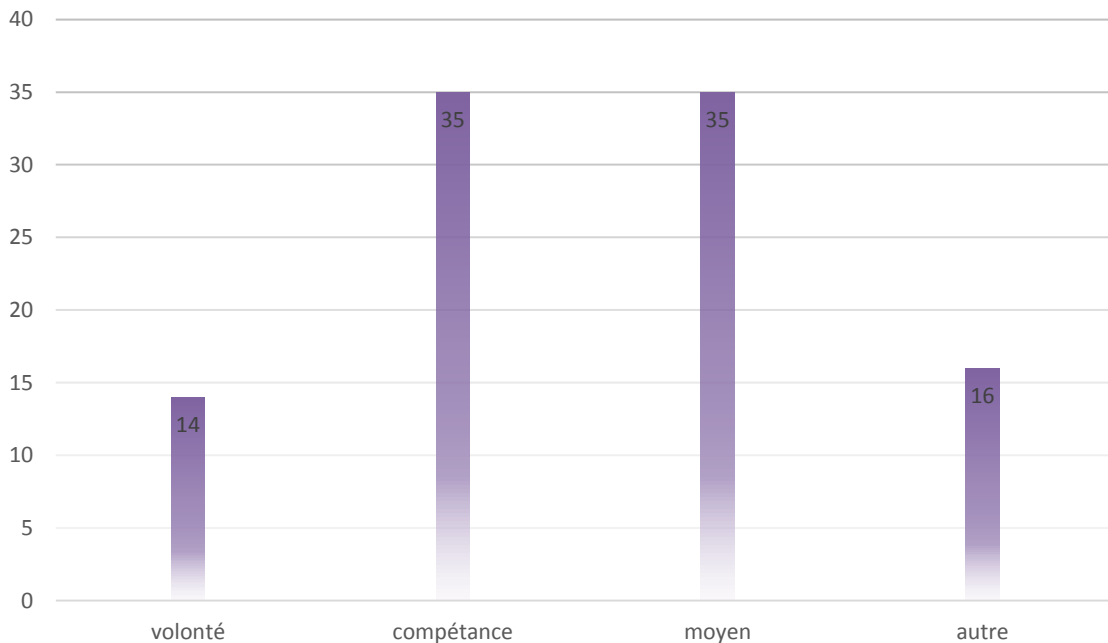


Figure V.16 : Les Freins d'adoption du processus BIM

D'après ces résultats, on constate que les obstacles d'adoption du processus BIM sont nombreux et avec des pourcentages importants, les moyens (logiciels...) et le manque de compétences nécessaires sont les plus dominants par rapport aux autres (manque de réglementation nécessaire, problème de partage d'informations avec les autres acteurs du projet ...) ,ce qui mettra en urgence la nécessité d'assurer d'une part la disponibilité des logiciels payants nécessaires à ce processus et d'organiser de l'autre part les formations nécessaires pour pouvoir gérer et travailler à l'aide de ses outils.

V.2.Recommandations :

- ✓ Le passage à un processus BIM doit faire appel à une étude approfondie de la façon de gestion et de contrôle de situation, en plus d'obtenir une formation de long terme de manière appliquée pas seulement théorique afin de pouvoir faire du nouveau système de travail un succès et pouvoir éviter les effets qui peuvent résulter de la méconnaissance de tous ses éléments apparents et cachés, et qui peuvent créer de graves problèmes au milieu du travail.
- ✓ L'adoption d'un nouveau processus de travail nécessite de réduire les chances d'échec, et pour cela il faut essayer de travailler avec lui dans le cadre de petits et habituels projets, afin d'éviter la survenance de pertes qui ne sont pas prises en compte, car les projets complexes nécessitent une expertise et une gestion bien étudiée, ainsi que l'essai d'y parvenir par le biais d'expérimenter un nouveau processus de travail ne fera qu'augmenter les chances d'échec et ne fera que créer des obstacles de réalisation.
- ✓ Le nouveau processus de travail nécessite qu'il soit soutenu, réglementé et codifié par l'état, car la réglementation assure le bon déroulement et la généralisation à toutes les institutions de construction, ainsi qu'une organisation du domaine pour éviter toute confusion ou échec dans la mise en œuvre.
- ✓ La charte de communication entre les membres actifs du projet appelle à réglementer la communication, donc la nécessité d'adopter un même langage de communication garantit qu'aucun problème ne surviendra ; en d'autres termes, il est nécessaire de préciser les outils de travail et les généraliser à tous les acteurs pour parvenir à un meilleur échange de données entre eux et d'assurer une communication efficace pour obtenir les résultats requis.
- ✓ Dans le cadre de la mise en place du nouveau processus du travail, la coordination des tâches des acteurs doit être un point primordial qui doit être assuré par un chef responsable qui s'appelle le « BIM MANAGER », ce dernier sera nommé selon certaines conditions, dont la discipline et la responsabilité sont les plus importants, mais aussi la capacité cognitive et la conscience de tous les aspects du processus.

Conclusion

Nous avons vu que la question du BIM à l'échelle locale n'est pas restée dans le passé, bien au contraire ses signes se profilent à l'horizon. On assiste aujourd'hui à une motivation de transformation radicale au cœur du domaine de la maîtrise d'œuvre. Les réflexions d'adoption demeurent très nombreuses grâce à une certitude d'efficacité observée dans de nombreux pays développés dans le monde et qui pousse aujourd'hui fortement à adopter ce principe, à travailler pour l'incarner et le généraliser dans l'environnement pratique et surtout pour pouvoir l'exploiter au maximum, notamment en ce qui concerne l'amélioration de la qualité du travail et le rendement architectural au niveau des BET locaux.

Nous sommes arrivés grâce aux résultats traités dans ce chapitre à démontrer le potentiel du BIM autant qu'outils à améliorer le domaine de la maîtrise d'œuvre en général, en produisant des solutions efficaces au défi des erreurs techniques et estimatives durant la production de l'œuvre architecturale et c'est ça l'objectif principal de ce mémoire.

CONCLUSION GENERALE

L'intrusion de l'intelligence artificielle dans le domaine de l'architecture est un saut unique. Car c'est une opportunité pour l'architecte d'aujourd'hui de pouvoir proposer des solutions techniques et architecturales très créatives avec une réalisation complète des tâches en un temps record grâce à des processeurs de haute précision. L'architecte est l'épine dorsale qui assure la réussite de la mise en œuvre et de l'achèvement du projet. En plus, il assure la bonne conduite des différentes tâches relatives au projet et atteindre les objectifs souhaités. Par conséquent, la technologie et les techniques modernes sont devenues des contributeurs importants dans son domaine à travers de nombreux logiciels, car le logiciel est devenu aujourd'hui un outil pour surmonter de nombreux défis à titre d'exemple l'obtention des estimations quantitatives correctes et être dans le respect du contrat financier avec le maître d'ouvrage qui est le problème de cette recherche.

Dans le cadre de cette recherche, plusieurs hypothèses liées à ce sujet ont été abordées à travers les axes de cette dernière pour pouvoir extraire les réponses de leur contenu, et à travers notre étude de cas à l'échelle locale nous pouvons affirmer pour notre échantillon traité et les résultats obtenus à travers notre enquête in situ au niveau des BET de la Wilaya de JIJEL, que l'intelligence artificielle dans le domaine de l'architecture devient aujourd'hui un moyen très efficace pour garantir la précision des estimations quantitatives du projet, et par conséquent l'amélioration du degré de précision de l'obtention des devis définitifs très correctes ce qui favorise le rendement qualitatif des BET locaux. Les réponses obtenues à travers notre enquête met en lumière l'intérêt de l'utilisation des pratiques de l'intelligence artificielle (Les BIM) dans le processus estimatif du projet et donc produire des solutions très efficaces aux erreurs possibles durant la production de l'œuvre architecturale. Par conséquent, nous pouvons juger que les outils BIM ont prouvé leur valeur et leur efficacité sur le terrain et l'étendue de leur capacité à fournir des services intelligents à leurs utilisateurs dans le domaine de la maîtrise d'œuvre locale, mais le BIM autant que méthode reste non adopté malgré l'adoption de ses outils, et c'est ce qui nécessite aujourd'hui un travail afin de le faire avancer à l'échelle de tout le territoire national.

Les résultats de cette recherche touchent les BET à l'échelle locale de l'Algérie et précisément ceux de la Wilaya de JIJEL, donc il convient de mentionner que ces résultats peuvent être limités par rapport à l'ensemble du territoire national, et c'est parce que nous n'avons pas pu étendre la recherche en dehors du périmètre de la wilaya.

Un ensemble de recommandations qui doivent être prises concernant la nécessité de l'adoption du processus BIM et ses pratiques, en raison des changements importants qu'il a montrés depuis le début de son utilisation à travers les pays développés du monde, et aussi le besoin de l'Algérie étant un pays en voie de la croissance à telles initiatives visant à promouvoir

le secteur de l'architecture .Par conséquent, il faut donc souligner l'importance d'étudier les stratégies d'adoption du BIM pour arriver à la bonne concrétisation sur terrain.

En revanche, il y a d'autres aspects de ce sujet qui peuvent être étudiés, par exemple, la possibilité de la disparition du métier d'architecte et son remplacement par les logiciels de l'intelligence artificielle, étant donné que cette dernière a remplacé de nombreux postes de travail dans plusieurs domaines, et aussi la possibilité d'étudier la relation entre l'intelligence artificielle et la réduction du niveau d'accidents de travail possibles sur chantier.

En fin, on arrive que l'intelligence artificielle à l'image du BIM est devenue une nécessité incontournable dans le domaine de l'architecture à l'échelle locale, ce qui est une dose d'espoir pour atteindre le meilleur et élever le niveau de rentabilité dans le secteur.

Références bibliographiques :

- AÏM, R. 2011. Les fondamentaux de la gestion de projet. *AFNOR éditions*.
- ANGO-OBIANG, M.-F. 2007. Le travail collaboratif dans le cadre d'un projet architectural. *arXiv preprint arXiv:0706.1780*.
- BELLENGER, L. & COUCHAERE, M.-J. 1994. Animer et gérer un projet 168.
- BENHACINE, A., GUEMRAOUI, M. & BENDJABALLAH, O. 2015. La maîtrise des couts et des delais dans un projet de construction.
- BENHASSINE, M., PIERRE, C., JEAN-PHILIPPE, D., SÉBASTIEN, F. & RAPHAEL, S. 2014. Le BIM : Planifier pour mieux collaborer.
- BIM-MASTER. 2020. *Que sont les dimensions BIM – Explication du BIM 3D, 4D, 5D, 6D et 7D* [Online]. Available: <https://bim-manager.fr/que-sont-les-dimensions-bim-explication-du-bim-3d-4d-5d-6d-et-7d/>.
- BOUTEMADJA, A. 2016. Le BIM, un enjeux majeur pour les architectes. CfgOA.
- BOUTEMADJA, A. 2017. La question des logiciels de modélisation dans le BIM.
- CANTIN, F. 2021. *Jouer la carte 6D en bâtiment durable* [Online]. Available: <https://www.voirvert.ca/nouvelles/chroniques/jouer-la-carte-6d-batiment-durable>.
- CASSART, A. 2018. Bref point sur la situation belge en matière de voiture autonome. *Revue du Droit des Technologies de l'information*, 133-137.
- CÉDRIC, V. 2018. *Donner un sens à l'intelligence artificielle. Pour une stratégie nationale et européenne*.
- COCHRAN, W. G. 1977. The estimation of sample size: Sampling techniques,.
- CORNU, J. 2018. *Appréhendez les dimensions du BIM* [Online]. Available: <https://openclassrooms.com/fr/courses/5228291-decouvrez-les-fondamentaux-du-bim/5546926-apprenez-les-dimensions-du-bim>.
- CORRIVEAU, G. 1996. *Conceptualisation d'une logique du désordre constructif en gestion de projet: fondements, modélisation et hypothèses*. Aix-Marseille 3.
- DE L'EUROPE, C. 2001. T-kit Gestion de projets, chapitre 2, Strasbourg, Éditions du Conseil de l'Europe.
- DE MAESTRI, A. 2017. *Premiers pas en BIM l'essentiel en 100 pages*, Paris, #0, Eyrolles, Afnor Éditions.
- DELCAMBRE, B. 2014. Mission Numérique Bâtiment.
- EZRATTY, O. 2018. *Les usages de l'intelligence artificielle*, Olivier Ezratty.
- FERNANDEZ, A. 2003. *Les secrets de la conduite de projet*, Les Ed. d'organisation.
- FERNEZ-WALCH, S. & TRIOMPHE, C. 2004. Filemanagement multi-projets, définitions et enjeux. *Faire de la recherche en management de projet*, 189-207.

- FINATEU, F. 2020. Un point sur la réception de chantier
- GRANDMONT & O'SHAUGHNESSY 1990. un cycle de vie classique des projets.
- GUIOT, J., DANTHINE, D., DEPREZ, L., LOUIS, R., LOVINFOSSE, P. & MEUNIER, P. 2020. Les aspects radiologiques de la pneumopathie à COVID-19: de l'imagerie conventionnelle à l'intelligence artificielle. *Revue médicale de Liege*, 75, 81-85.
- KAHN, A. 2018. La part de l'humain dans la médecine de demain. EDP Sciences.
- KIRCHNER, C. & MÉ, L. 2019. Défis de la recherche scientifique en cyber-sécurité. *Annales des Mines-Enjeux Numériques*, 1-15.
- KOUTAMANIS, A. 2020. Dimensionality in BIM: Why BIM cannot have more than four dimensions? *Automation in Construction*, 114, 103153.
- LELONG, A. 2020. Comment faire réaliser les plans d'exécution ?
- LEROY, D. 1996. Le management par projets: Entre mythes et réalités. *Revue française de gestion*, 109-120.
- LEROY, M. 2021. La révolution du BIM en architecture d'intérieur.
- MACHER, H. L. N. 2017. *Du nuage de points à la maquette numérique de bâtiment: reconstruction 3D semi-automatique de bâtiments existants*. Université de Strasbourg.
- MAIFFO, TERENCE, J. & ANASS, W. Construire ou rénover de manière efficiente grâce à la maquette numérique des projets de construction. Actes de Colloque de la Journée des Chercheurs en Haute École (JdCHE) 2019, 2020. SYNHERA.
- MAISONNEUVE, H. & FOURNIER, J.-P. 2012. Construire une enquête et un questionnaire. *E-respect* [], 1, 15-21.
- MARTIN, H. 2016. *Maquette numérique 3D pour la construction: visualiser les connaissances métier et interagir avec des dispositifs immersifs*. Université Paris-Saclay.
- MEHAMEDI, B. 2020. *Définir le niveau de détail (LOD) de sa maquette BIM* [Online]. Available: <https://mydigitalbuildings.com/blog/tech/2020/comment-definir-le-niveau-de-detail-de-sa-maquette-numerique.html>.
- MLOUKA, S. K. B. & OUINNICHE, H. K. 2011. Du management de projets au management stratégique par projet: Les projets au service de la stratégie. *Revue Organisations & territoires*, 20, 89-98.
- NEUFERT, E. 2002. Les éléments de projet de construction 8e édition. Paris. Dunod, 646.
- PALLANCA, O. & READ, J. 2020. Principes généraux et définitions en intelligence artificielle. *Archives des Maladies du Coeur et des Vaisseaux-Pratique*.
- PANISSOD, Q. 2019. Intelligence artificielle et bâtiment: que se passera-t-il demain? *Constructif*, 58-63.
- PORTNY, S. E. & SANDRINE, S. 2011. *La gestion de projet pour les nuls*, First.

- SHENHAR, A. J. & DVIR, D. 2007. Project management research—The challenge and opportunity. *Project management journal*, 38, 93-99.
- SOMMES-NOUS, O. 2015. L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE AU CANADA.
- VILATTE, J.-C. 2007. Méthodologie de l'enquête par questionnaire. *Laboratoire Culture & Communication Université d'Avignon*.
- VIRFOLLET, E. 2018. 5 exemples innovants de l'intelligence artificielle dans les stratégies marketing et l'expérience client.
- VOOGT, J. 2020. Quelle est la définition du maître de l'oeuvre

ANNEXES

ANNEXE 01 : QUESTIONNAIRE EN FRANÇAIS

Le formulaire de questionnaire :

Ce questionnaire est établi dans le cadre de la préparation de notre mémoire de Master

Spécialité: Architecture

Thème : *L'intelligence artificielle et ses apports dans l'évolution de la maîtrise d'œuvre locale*

Réalisé par :

✓ *Yousra Lakhlef*

✓ *Rostan Bounar*

Encadré par :

Pr Ammar Bouchair

Dans le but de préparer une étude dans le cadre d'un mémoire de master spécialité architecture sous le titre de « **L'intelligence artificielle et ses apports dans l'évolution de la maîtrise d'œuvre locale** » nous avons préparé un questionnaire pour **les bureaux d'études et les entreprises d'architecture de la wilaya de Jijel.**

Nous vous invitons à participer à répondre à l'ensemble des questions et nous espérons tous que nous pouvons réaliser l'intérêt et les résultats scientifiques désirés parce que la valeur scientifique et d'atteindre le plus grand degré de sincérité possible au cours de cette étude .Il est donc impératif que le questionnaire touche le but pour lequel il a été conçu pour lui.

Tout d'abord, nous espérons que vous nous fournissez des informations suivantes :

1. Sexe :

Homme Femme

2. Âge :

19 -24 ans

25-30 ans

31-40 ans

41-60 ans

60 ans et plus

3. Wilaya :.....

4. Nom de BET/Entreprise:.....

5. Adresse de BET/Entreprise :.....

6. Numéro de téléphone :.....

7. Depuis quelle année avez vous commencé ce métier ?

L'année de :

8. Avez-vous une idée sur l'intelligence artificielle dans le domaine d'architecture ?

Oui Non

9. Si oui, donnez votre propre définition

.....
.....
.....

10. Avez-vous une idée sur les BIM ?

Oui Non

11. Si oui, comment évaluez-vous votre connaissance en cette matière?

- Je sais seulement qu'ils existent
- J'ai un peu d'informations sur ce sujet
- J'ai beaucoup d'informations sur ce sujet
- Je les maîtrise très bien

12. Quel logiciel(s) BIM utilise votre BET/Entreprise?

AutoCad ketchUp
Catia ds max
Archicad Revit

Autre:

13. Trouvez-vous que l'arrivée des BIM a facilité votre travail?

Oui Non

14. Si oui, quels sont les points améliorés avec leur utilisation ?

- Le respect de l'enveloppe financière
- Le respect des délais
- Le niveau de précision des détails (qualité)

15. Avez-vous déjà intégré des informations concernant des matériaux utilisés dans un modèle BIM ?

Oui Non

16. Pensez-vous que la maquette numérique soit indispensable pour les estimations quantitatives ?

Oui Non

17. Si oui, donnez une explication

.....
.....
.....

18. En termes des estimations quantitatives, sont elles plus précises qu'avant ?

Oui Non

19. Si oui, spécifiez un pourcentage

0% 25% 50% 75% 100%

20. Le BIM a-t-il contribué à augmenter votre niveau de respect des contrats financiers avec les

Maitres d'ouvrages ?

Oui Non

22. Utilisez-vous des plateformes telles que BIM360?

Oui Non

23. Si non, est-ce que la maquette numérique est sollicitée par les autres partenaires du projet ?

Oui Non

24. Pensez-vous que le processus BIM permet une gestion flexible qu'avec une démarche traditionnelle ?

Oui Non

25. Avez-vous utilisé le BIM dans une démarche purement numérique de modélisation ou dans un autre but ?

Oui Non

26. Si oui, lequel

?.....

27. Voulez-vous intégrer ce processus au niveau de votre BET/entreprise?

Oui Non

28. Quels sont les obstacles qui vous empêchent d'adopter ce processus momentanément ?

- Un manque de volonté
- Un manque de compétences spécifiques
- Un manque de moyens nécessaires (Logiciels...)

Autres :.....

30. Pensez-vous que les BIM deviendront une réalité au niveau local ?

Oui Non

31. Ajoutez vos opinions et vos suggestions à propos de ce sujet si vous le souhaitez

.....
.....
.....
.....
.....
.....

« Nous vous remercions pour votre contribution à cette étude »

Annexe 02 : TABLEAU NATIONAL DES ARCHITECTES DU CLOA JIJEL

1	ABDOU ALI	22	BOUTEMINE NOUREDDINE
2	ARZIM MESSAOUD	23	BOUMEHED SAADANE
3	ARIES AKILA	24	BOUSBA TAHAR
4	AYACHI ADEL	25	BIROUK KHIREDINE
5	ABNOUN FERHAT	26	BOUBERTAKH NASREDDINE
6	ANICER ATMANE	27	BOUFENOUCHE NOUREDDINE
7	ALOUACHE RAZIKA	28	BOUKERBOUB ZOHEIR
8	ALLALOUCHE MOHAMMED SALIH	29	BENZAID THAKIEDDINE
9	AINOUZ HAYET	30	BELKERDID MEROUANE
10	AMIRA RABAH	31	BELKERDID CHERIF
11	AOUKA CHAKIB	32	BOUCHABOU AMMAR
12	AYADI NADIA	33	BOUDRAA SAIDA
13	AMOURA TAREK	34	BOUZENOUNE BOUBEKER
14	ARID NASSIR	35	BENCHEMAM NASSIMA
15	ARBID MERYEM	36	BOULKHIOUT ALI
16	ARADA ISMAIL	37	BAZIZ ABDALLAH
17	ATOUB SOMIA	38	BOUTAOUI OMAR
18	AMIOUR NARDJES	39	BOUBEZARI NASSIM
19	ABDELMOULA KAMAL	40	BENAYAD IDRIS
20	BALI OKBA	41	BOUTALEB YOUCEF
21	BRAHIMI ABDELOUAHED	42	BELHAMRI FOUZIA
43	BOUDJERIHA MOKHTAR	64	BOUDRA ABDELHAK
44	BOURAHLI ABDERREZAK	65	BOUKHDOUNI SOUAAD
45	BECHANI NABILA	66	BENSABRA WALID
46	BOULLOUF OMAR	67	BOUDECHICHA RAWIYA
47	BENAYAD IDRIS	68	BOULHIDJA MAHFOUD
48	BOUADJIMI MOHAMMED	69	BOURAOUI ALI
49	BOUREZAK ALI	70	BENZIAR LAMINE
50	BIBI LOUIZA	71	BOULEMGHADER NADIYA
51	BENZIADA MOUSTAFA	72	BOUGHEZAL AMEL
52	BOUHENNIBA SEBTI	73	BOULAHIA RADHWANE

Annexe 02 : TABLEAU NATIONAL DES ARCHITECTES DU CLOA JIJEL

53	BOULFOUL ANTER	74	BOULDIAB MOHAMMED
54	BOUACHIR CHOUAIB	75	BENSAKHRIA FOUZIA
55	BOUBENIA AMEL	76	BOUKHELALA MERIEM
56	BOUFLIGHA LINDA	77	BOULBINA SARI
57	BOUZIT AMIN	78	BOUDJERIHA SARA
58	BOUHALI YASSINE	79	BOUKEBIR AREF
59	BAZENIAR MOHAMMED YASSINE	80	BEGGAH DJAMEL
60	BOUCHAIBA GHANIA	81	BENAMIRA DJAMEL
61	BOUROUH FATEH	82	BOULFOUS NADJIBA
62	BELAOUNE ISMAIL	83	BOUMEHED BAHIA
63	BOUHANNA MESSAOUDA	84	BOUMAHROUK SAMIA
85	BOUCHEFRA MERYEM	106	CHAKEUR YASSINE
86	BOUAROURA OUAFA	107	CHABOU MOHAMMED
87	BOUSDIRA YAAKOUB	108	CHETIBI HAMIDA
88	BOUTAA ASSIA	109	CHERRID AMINA
89	BOUDJATIT AHCENE	110	CHAIBEDDRA ALI
90	BOUCHAIR MOUSSA	111	CHOUKI WAHIBA
91	BOUTELDJA SOFIANE	112	CHABOU LOUBNA
92	BENGUESSOUM RAZIKA	113	CHERIGUENE SOUHILA
93	BOUDERKA ABDELMOUTALEB	114	DJELLIT KHELIFA BOUDJEMAA
94	BOUROUIS WIDAD	115	DJABELKHIR SABAH
95	BRIGHENE ADIL	116	DJABI SOULEF
96	BOUCHEMOUKHA MERYEM	117	DOUAS SALAH
97	BOUDRA MERWAN	118	DJAFRI HOUSAME
98	BOUTADJINE HADJER	119	DERMOUCHI OUSSAMA
99	CHEKRAOUI NADJIB	120	DJAOU MERIEM
100	CHEBBA MOHAMMED	121	DRIBI MESSAOUD
101	CHIKHI LAMIA	122	FADEL FARES
102	CHERMAT MOUNIR	123	FENNOUH ABDELMADJID
103	CHIBOUT ROUFIA	124	FERMAS MOHAMED
104	CHOUIKI SEDDIK	125	FAKROUN IMANE

Annexe 02 : TABLEAU NATIONAL DES ARCHITECTES DU CLOA JIJEL

105	CHIDEKH AHCENE	126	GHEDDAR NADIA
127	GHERDA RACHID	147	KAIBOUCHE MOHAMMED
128	GAMACHE SOUFIANE	148	KRID KARIMA
129	GOUTAS KARIMA	149	KEDDOUR NEDJOUA
130	GUIATNI MOUNIA	150	KEDDAM AMMAR
131	GOUTAS MOUNA	151	KRID OUASSILA
132	GHEZAL HASSINA	152	KEDJA FATEH
133	GHEBGHOUB SAMIYA	153	KHENIFAR RACHID
134	HADDAD MALIKA	154	KHEBBACHE FATIHA
135	HAINÉ ANISSA	155	KAOULA ABDELHAMID
136	HAMEDI MOHAMED	156	KEROUI ABDERRAHMANE
137	HANNOUF FAOUZI	157	KROUKA SID ALI
138	HEDJAZ NEDJLA	158	KAOUANE NABIL
139	HALIMI ABDELOUAHAB	159	KESSOURI AISSAM
140	HEZOUAT MOHAMMED AMINE	160	KHELF ABDELHAMMID
141	HECINI ADLEN	161	KERADA MOHAMMED
142	HAOUES HOUSSAM EDDINE	162	KHELLAF AMEL
143	HAMIDECHE MOHAMMED-AMIN	163	KAIKEA NASRINE
144	KAIKEA HACHEM	164	KERROUM ABDELHAMID
145	KEDIHA OUAHIBA	165	KEHAL WIDAD
146	KAOUACHE SAID	166	KOUICEM FETHI
167	LAYOUL AHCENE	189	MERIZEK MERYEM
168	LOUNIS FARID	190	MAADADI OUAFA
169	LADJEROUD NABILA	191	MERABTI MOHAMED
170	LEBSIR TIDJANI	192	MECHEKKEF ELIAS
171	LAMARA SAID	193	NOUR BELKACEM
172	LABANI NOUREDINE	194	NEKHLA ASMA
173	LEBSIR FOUAD	195	OULTAF ASSIA
174	LOUADJ WALID	196	RAHMOUN ABDELKADER
175	LAKRIOUI LEYLA	197	ROULA M'HAMED
176	LEGHRIBI FATEH	198	RENNANE MOHAMED
177	LABED NASREDDINE	199	ROUIMEL ABDELHADI

Annexe 02 : TABLEAU NATIONAL DES ARCHITECTES DU CLOA JIJEL

178	LEFOUILI MOHAMMED IMADEDINE	200	REKAIK WAHIBA
179	MEDJADEBA ABDELKRIM	201	ROULA ABDELHALIM
180	MANSOUR SAID	202	REKINA TAREK
181	MAHAMADIOUA MOURAD	203	SISSAOUI RABIAA
182	MAHROUK OUASSIM	204	SAIDANI AMAR
183	MERIMECHE SAMIR	205	SAYOUD NOUR EL HOUDA
184	MEZERREG IMANE	206	SADI KAMEL
185	MOKHBI RIMA	207	SAHALI ABDELMOUMIN
186	MAACHE AHMED CHERIF	208	TOUBAL AHMED
109	MEZMIZ AZEDDINE		
210	TEBIBEL BILAL		
211	TALBI SAMAH		
212	ZAITER EL YAZID		
213	ZAZOUA YASSINE		
214	ZELILEF ABDELHAK		
215	ZINEDDINE HANANE		
216	ZOUIKRI SALIMA		
217	ZIOUN TAYEB		
218	ZAIMEN BRAHIM		
219	ZAIMEN HOURIA		
220	TELIDJA HOCINE		
221	BOULAHIA RADHWANE		

- ✓ Autre architectes agréés qui ne sont pas encore inscrit dans le tableau national du CLOA-JIJEL :

222	BOULAHIA RADHWANE
223	BENZIADA MOUSTAFA

RÉSUMÉ:

Le domaine de l'architecture est considéré comme l'un des domaines de travail le plus merveilleux pour l'homme. Car il combine entre la source de subsistance pour le travailleur et la possibilité de mettre en valeur son talent précieux pour la conception, la réalisation et l'amélioration de la sécurité, l'efficacité et de la durabilité des bâtiments et des villes. Ce qui en fait un objet d'intérêt dans le but de le développer à travers ce que la science a atteint aujourd'hui en terme de développement technologique moderne. À cet égard, nous avons touché à travers cette recherche à l'une des visions liant ces deux domaines à travers l'introduction du thème de l'intelligence artificielle dans le domaine de l'architecture et l'étendue de ses effets positifs ,notamment en ce qui concerne la justesse des estimations quantitatives des éléments liés aux projets, ainsi qu'à la qualité et la précision du travail effectué par les bureaux d'études en général .Au cours de l'histoire ,la machine de dessin est restée un outil silencieux sans âme ,qui se contrôle sans aucune geste intelligente de sa part ,et c'est ce qui a changé complètement aujourd'hui .D'après ce qui a été atteint selon les résultats du questionnaire qui a été mené au niveau de plusieurs bureaux d'études locaux, l'intelligence artificielle laisse aujourd'hui plus de place à la machine dans ce domaine ,car les programmes de conception intelligents comme Revit et ArchiCad nt balayé les entreprises de l'architecture et de la construction par l'intérêt de l'architecte au premier lieu ,puis en raison de ses capacités intéressantes qui ont fait leurs preuves en améliorant la qualité de la production ainsi que pour sa haute précision en ce qui concerne l'aspect financier du projet, et cela est confirmé par excellence par ces utilisateurs. En revanche, l'architecte qui en bénéficie reste sur un autre seuil et cherche toujours son incarnation sur le terrain, à savoir la technologie BIM, qui est une manière intelligente, efficace, utile et intégrée à la fois pour l'échange d'informations et de données simultanément. Ce qui est encore à ce jour absente du terrain alors qu'elle est au centre de la volonté de la plupart des architectes actifs dans le secteur, qui ont confirmé leur intention de l'adopter dès qu'elle devient possible d'entrer au servie en Algérie.

Les mots clés : L'architecture, le développement technologique, l'intelligence artificielle, programmes, la machine, le BIM, estimations quantitatives, Revit, ArchiCad.

ABSTRACT:

The field of architecture is considered to be one of the most wonderful fields of work for human, as it combines the source of livelihood for the worker with the possibility of using his valuable talent for the design, realization and improvement of the safety, efficiency and sustainability of buildings and cities, which makes it an object of interest for the purpose of developing it through what science has achieved today in terms of modern technological development. In this regard, through this research we have touched on one of the visions linking these two fields through the introduction of the topic of artificial intelligence in the field of architecture and the extent of its positive effects, in particular with regard to the accuracy of the quantitative estimates of the elements related to the project, as well as the quality and the precision of the work carried out by the design offices in general. Throughout history, the drawing machine has remained a silent tool without soul, which controls itself without any intelligent gesture on its part, and this is what has changed completely today. According to what was achieved according to the results of the questionnaire which was carried out at the level of several local design offices, now the artificial intelligence leaves more chance for machines in this area, because the smart design programs like Revit and ArchiCad have swept the architecture and construction companies by the interest of the architect first and then because of this interesting capability which has been proven to improve the quality of the production as well as for its high precision with regard to the financial aspect of the project, and this is ultimately confirmed by these users. On the other hand, the architect who benefits from it remains on another threshold and always seeks his embodiment in the field, namely BIM technology which is an efficient intelligent, useful and integrated way both for the exchange of information and data simultaneously, which to this day is still absent from the field while it is at the centre of the will of most architects active in the sector, who have confirmed their intention to adopt it as soon as it becomes possible to enter service in Algeria.

Key words: architecture, technological development, artificial intelligence, the quantitative estimations, the quality of production, construction, BIM, Revit, ArchiCad.

ملخص :

يعتبر ميدان الهندسة المعمارية من بين أروع ميادين العمل بالنسبة للإنسان، فهو الذي يجمع بين مصدر رزق العامل فيه و إمكانية إبراز موهبته الثمينة في التصميم و انجاز و تعزيز سلامة و كفاءة و استدامة المباني والمدن، ما يجعله موضعاً للاهتمام بغرض تطويره من خلال ما توصل إليه العلم اليوم من تطور تكنولوجي حديث، و في هذا الصدد تطرقنا من خلال هذا البحث إلى إحدى الرؤى التي تربط بين هاذين المجالين و طرح موضوع الذكاء الاصطناعي في مجال الهندسة المعمارية و مدى التأثيرات الايجابية له خصوصاً في ما يتعلق بمدى دقة التقديرات الكمية المتعلقة بعناصر المشروع و كذا نوعية و دقة العمل المنجز من طرف مكاتب الدراسات على وجه العموم. على مدى التاريخ ضلت اله الرسم أداة صامتة بدون روح يتم التحكم فيها دون أية مبادرة ذكية منها و هو ما تغير اليوم بشكل مطلق، فبحسب ما تم التوصل إليه حسب نتائج الاستبيان الذي تم إجراؤه على مستوى عدة مكاتب دراسات محلية فإن الذكاء الاصطناعي يعطي اليوم مساحة اكبر للألة في هذا المجال، حيث اكتسحت برامج التصميم الذكية و على رأسها ريفيت و ارشيكاد مؤسسات العمارة والبناء من خلال اهتمام المهندس المعماري بها على الصعيد الأول و من ثم بسبب قدراتها المثيرة للاهتمام و التي أثبتت جدارتها من خلال تحسينها للنوعية الإنتاجية وكذلك لدقتها العالية فيما يتعلق بالصعيد المالي للمشروع وهذا ما يتم تأكيده بامتياز من طرف مستعمليها، في حين أبقى المهندس المعماري اليوم الذي يستفيد منها على عتبة أخرى لا يزال يبحث عن تجسيدها على أرضية الواقع، ألا و هي تكنولوجيا البيم و التي تعتبر طريقة عمل ذكية، فعالة، مساعدة و متكاملة في أن واحد من خلال تبادل المعلومات و المعطيات بصورة آنية و متواصلة و التي لا تزال إلى يومنا هذا غائبة عن الميدان بالرغم من كونها محط رغبة معظم المهندسين المعماريين الفاعلين في القطاع و الذين اكدوا جاهزيتهم لتبنيها فور إمكانية دخولها حي الخدمة في الجزائر.

الكلمات المفتاحية: الذكاء الاصطناعي، الهندسة المعمارية، التطور التكنولوجي، التقديرات الكمي، البيم، النوعية الإنتاجية، برامج التصميم، ارشيكاد، ريفيت.