

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب

Université -Ain-Temouchent Belhadj Bouchaib

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département Génie Civil et Travaux publics



Projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master en :

Domaine : SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

Filière : Travaux Publics

Spécialité : VOIES ET OUVRAGE D'ART

Thème

Introduction pour les BIM 4D

Présenté Par :

 BEN AHMED DAHO Bouchera

 DJERNAT Fatima Zohra

Soutenu le : 01/07/2021

Devant le jury composé de :

M^{mm} MAROUF Hafida

UAT.B.B (Ain Temouchent)

Présidente

M^{mm} BENDOUINA Khadija

UAT.B.B (Ain Temouchent)

Examinatrice

M^r KADDOUR Hakim

UAT.B.B (Ain Temouchent)

Encadrant

REMERCIEMENTS

Nous remercions le grand bon Dieu tous puissant, pour nous avoir donné la volonté, la patience, le courage, pour terminer ce modeste travail que nous Souhaitons réussi.

*Nos remerciements et nos reconnaissances à nos très chers parents pour
L'amour et le soutien constant qu'ils n'ont témoigné à nous tout au long de nos
carrières d'étude, à nos familles et nos amis.*

*A notre cher encadreur KADDOUR Hakim, un remerciement particulier
Et sincère pour tous vos efforts fournis. Vous avez toujours été présent.*

*Nos remerciements vont à notre présidente Mme MAAROUF Hafida et notre
examinatrice Mme BENDOUBINA Khadija d'avoir honoré notre soutenance et tout
l'effort fourni afin de juger ce modeste travail.*

*Nous remercions tous nos enseignants au département
Génie civil qui nous ont aidés de proche ou de loin
Durant notre cycle d'études universitaires.*

*Enfin nous adressons nos meilleurs remerciements à
Toute personne qui nous a aidé de près ou de loin dans*

La réalisation de ce travail.

DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail :

*Aux être qui me sont les plus chers aux mondes, ma mère et mon père,
qui je ne saurais jamais exprimer ma gratitude seulement par des mots.*

*A la mémoire de mon cher frère Mohamed qu'Allah lui accorde sa sainte miséricorde et
l'accueille en son vaste paradis*

A toute la famille DJERNAT

*A tous mes collègue de la direction des travaux publics de la wilaya d'Ain Témouchent, en premier
lieu Monsieur le directeur SICHAIB Saïd*

A toutes mes amis de la promotion Master 02 « 2020-2021» option VOA

A tous mes amis

A ma chère amie et binôme Bouchera et sa Famille

DJERNAT Fatima Zohra



DÉDICACES

Au père le plus cher du monde,

*A l'homme le plus fort et le plus beau de ma vie, qui m'a soutenu et accompagné pour atteindre
mes rêves dans cette vie.*

À la plus belle créature que Dieu a créée sur terre,,,

À cet source de tendresse, de patience et de générosité,,,

À ma mère !

À mes chères sœurs qui sont toujours à mes cotés

À mes beaux frères

À la plus belle nièce dans le monde

À toute ma famille

*A ma chère amie et collègue tout au long de ma carrière universitaire et mon partenaire dans ce
travail : Fatima Zohra*

À tous mes amis et collègues

À tous les étudiants de la promotion 2020/2021 Option : voies et ouvrage d'art

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer

Bouchera BENAHMED DAHO



Sommaire:

Introduction générale	
I-1 Historique :	2
I-2 Les débuts du BIM :	3
I-3 L'assemblage de la base de données:	5
I-3-1 Vers la conception et la construction virtuelle :	6
I-4 Termes et définitions :	7
I-4-1 Définition:	7
I-5 Le futur du BIM :	11
I-6 Collaboration du BIM :	11
I-7 Interopérabilité :	14
I-8 Les Processus BIM:	18
I-9 Les dimensions du BIM :	31
I-10 Avantage et inconvénient du processus BIM :	36
I-10-1-2 Avantages pour les bureaux d'études, architectes et ingénieurs :	37
I-10-1-3 Avantages lors de la construction et la fabrication, entrepreneurs et fabricants:	38
I-11 Etat de l'art des l'utilisation des BIM :	39
Introduction :	41
II- 1- Objectif de recherche (BIM 4D) :	42
II-2- Relation entre BIM et DAO :	42
II-3-Les Différences entre la CAO et le BIM:	43
II- 4- Les types de maquette numérique BIM :	44
II-5-Les étapes du cycle de vie de l'ouvrage :	46
II-5-1 Les effets du BIM sur les phases du cycle de vie d'un projet	46
II-5-2 Phases et sous-phases du cycle de vie d'un projet:	47
II-5-3 Phases de conception et de construction	51
II-5-4 Phase d'exploitation et de maintenance	51
II-6 système visuelle utilisé : VR, AR, XR, ER	52

II-6-1 Réalité augmentée :	54
II-6-2 Réalité mixte:	56
II-6-3 Réalité étendue	57
II-7 Architecture des systèmes VR pour les BIM :	58
II-8 Comparaison entre les logiciels BIM 4D :	63
Introduction :	67
III-1 Présentation du logiciel synchro pro:	67
III-2 Méthodologie de travail	68
III-2-1 Modélisation des ressources humaines :	69
III-2-2 Modélisation des matériaux :	72
III-2-3 Modélisation des équipements :	76
III-2-4 La correspondance entre les phases et les ressources :	79
III-2-5 Affectation des animations :	81
III-3 Les avantages de la visualisation 4D pour la gestion des projets :	82
<i>CONCLUSION</i>	84
Bibliographie	Erreur ! Signet non défini.

LISTE DES SIGLES ET ABBREVIATIONS

BIM : Building Information Modeling

MG Plan : Modélisation Graphique de la Planification

2D : Deux dimensions

3D : Trois dimensions

4D : Quatre dimensions

5D : Cinq dimensions

LOD: Level of Development

LOI: Level of Information

CAO : Conception Assistée par Ordinateur

DAO : Dessin Assistée par Ordinateur

VR : Vérité Virtuel

CREM : Conception Réalisation Exploitation Maintenance.

DOE : Dossier des Ouvrages Exécutés

LOB : Line of balance.

TLA : Acronymes à Trois Lettre

CDE : Environnement Commun de Données

GC : Generative Components

IFC : Industry Foundation Class

PTC : Parametric Technology Corporation

GLIDE : Langage graphique pour un Design Interactif

RUCAPS : Really Universal Computer Aide Production System

NC : Non Concerné

VSO : Visa Sans Observation

VAO : Visa Avec Observation

VAOB : Visa Avec Observation Bloquante

BPE : Bon Pour Exécution;

S1 : Partager pour la coordination

S2 : Partager pour l'information

S3 : Partager pour la révision interne et les commentaires

S4 : Partager à l'approbation de la construction

S5 : Partager pour la fabrication

S6 : Partager pour l'autorisation de la maquette DOE

S7 : Partager pour l'autorisation de la maquette d'exploitation

PSU : Publié pour les surfaces utiles

PCT : Publié pour le calcul thermique

D1 : Publié pour estimation du coût

D2 : Publié pour consultation des entreprises

D3 : Publié pour EXE consolidé

D5 : Publié pour la fabrication/approvisionnement

AM : Publié pour maintenance

AC : Publié pour la construction

AB : Publié pour « Tel que construit » (DOE, livraison, document, PDF, COBIE...)

HVAC: Heating Ventilation Conditioning

CAM: Computer Aided Manufacturing

RÉSUMÉ:

Avec l'avènement des Building Information Model (BIM) les méthodologies de conception et de réalisation du projet de construction ont fait une percée technique remarquable.

Il est possible d'établir une simulation de réalisation dans l'échelle de temps et de soulever toutes les anomalies liées avant de lancer le projet sur la réalité.

De telle opération nécessite une méthodologie de travail qui se base sur le concept du BIM et la 4eme dimension à savoir les niveaux de détails "LOD" et d'information dans les BIM. Ainsi que le concept de la visualisation et l'animation dans le temps. Ces points décrivent l'objet de notre mémoire.

Mot clef: BIM , LOD, 4D , Visualisation

المخلص

مع ظهور نمذجة المعلوماتية للبناء (BIM) ، حققت منهجيات تصميم وتنفيذ مشروع البناء طفرة تقنية ملحوظة. حيث أصبح من الممكن إنشاء محاكاة للإنشاء في البعد الزمني ورفع جميع الحالات المستعصية ذات الصلة قبل إنطلاق المشروع على الواقع.

تتطلب مثل هذه العملية منهجية عمل تستند إلى مفهوم BIM والبعد الرابع وهو مستويات التفاصيل "LOD" والمعلومات في BIM وكذلك مفهوم الرؤية و الحركة في البعد الزمني

كل هذه النقاط هي محل دراستنا في هذه الرسالة

الكلمات الرئيسية : BIM ، LOD ، 4D ، الرؤية.

ABSTRACT

With the advent of the Building Information Model (BIM), the methodologies for designing and carrying out the construction project have made a remarkable technical breakthrough.

It is possible to establish a simulation of realization in the timescale and to raise all the related anomalies before launching the project in reality.

Such an operation requires a work methodology which is based on the concept of BIM and the 4th dimension, namely the "LOD" levels of detail and information in BIM. As well as the concept of visualization and animation over time. These points described are the subject of our brief.

Keywords :BIM , LOD, 4D , Visualisation

TABLE DES FIGURE

Figure 1: Les modèles BIM en 3D avec des plans orthographiques en 2D	16
Figure 2: application CAO multiplateforme	20
Figure 3 : modélisation de bâtiment par le BIM	23
Figure 4: parametric actuel du BIM	26
Figure 5: la plateforme	29
Figure 6: présente les échange avant et avec le BIM	31
Figure 7: acteurs de la coordination BIM	32
Figure 8: présente les processus BIM	35
Figure 9: modèle d'information	36
Figure 10: détail de construction de maçonnerie	40
Figure 12: LOD+LOI	47
Figure 13: Les dimensions BIM	48
Figure 14 : BIM 3D	48
Figure 15: BIM 4D	49
Figure 16: BIM 5D	50
Figure 17: BIM 6D	51
Figure 18 : BIM 7D	52
Figure 19 : relation du DAO avec BIM	59
Figure 20 : maquettes numériques en architecture	61
Figure 21: maquettes numériques en urbanisme et planification urbaine	62
Figure 22: Phases du cycle de vie d'un projet durant la Phases BIM 1-modèle linéaire	64
Figure 23. Phases du cycle de vie d'un projet durant la Phases BIM 2 - modèle linéaire	65
Figure 24. Phases du cycle de vie d'un projet durant la Phases BIM 3 - modèle linéaire	66
Figure 25: cycle de vie d'une construction	66
Figure 26 : Phases et intervenants d'un projet	68
Figure 27: réalité virtuelle	69
Figure 28: Architecture des système VR pour les BIM.(comment fonctionne)	70
Figure 29: réalité augmentée	71
Figure 30: réalité virtuelle augmentée pour organiser les chantiers	71
Figure 31: réalité virtuelle augmentée sur site	72
Figure 35 : Les étapes de la modélisation des ressources humaines	86
Figure 36: le coût des ressources	87
Figure 37: coût et type de coût	88
Figure 38: la ressource sélectionnée Ouvrier	89

Figure 39 : une ressource matérielle	90
Figure 40: la ressource Matériau	91
Figure 41: le coût de matériau	92
Figure 42: Définissez les unités planifiées	93
Figure 43 : Importer le projet SYNCHRO	94
Figure 44 Bis: Importer le projet SYNCHRO	94
Figure 45: Importer tous les attributs disponibles	95
Figure 46: La barre de programmation	95
Figure 47: Le modèle de pont SYNCRO Pro	96
Figure 48: les étapes du ressource apparence profile	97
Figure 49 : l'animation de ressources	98
Figure 50 : Exemple d'une affectation de l'animation en 3D	99
Figure 51: D'exemple du BIM 4D intégré dans le logiciel pour l'architecture Edificius	100

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau 01:Différentes LOD.....	27
Tableau 02: Phases du cycle de vie d'un projet et sous-phases.....	63
Tableau03 : comparaison des logiciels.	80

INTRODUCTION

Introduction générale

L'utilisation du logiciel Ms Project pour l'élaboration des calendriers de réalisation d'un projet de construction présente plusieurs limitations à savoir celles liées au plan de gestion du personnel, des matériaux ainsi que les moyens roulants et leurs emplacements ou déplacements en temps réel. En effet, Les gestionnaires du projet doivent relier « mentalement » les documents d'études (État de la construction après son achèvement) et les tâches et phases étudiées dans le calendrier de planification vu l'inexistence d'une pièce graphique qui visualise le projet à un instant T d'une phase de construction.

Le BIM dans sa 4ème dimension nous offre la possibilité d'une conception d'un document numérique qui regroupe à la fois le calendrier de réalisation avec les phases de projet, la pièce graphique de l'étude et ressources «humains et matériels et budgétaire » et de liées dynamiquement être chaque phase et sa correspondance en matières des aspects décrits.

La maquette résultante représente une animation de réalisation selon un détail choisi et prédéfinie dont on peut voir le déroulement des travaux comme s'il est réellement devant nous.

Le mémoire est structuré de la façon suivante

Le premier chapitre est consacré aux concepts du BIM en générale

Dans le second chapitre nous donnerons du détail sur les BIM 4D et la visualisation

Enfin le dernier chapitre se consacre sur la méthodologie de réalisation sur le logiciel synchro pro de la compagnie Bentley et qui peut être appliqué à n'importe quel logiciel BIM 4D.

CHAPITRE I:
LES BUILDING
INFORMATION
MODELING

I-1 Historique :

C'est dans le secteur du bâtiment que la modélisation des informations du bâtiment (BIM) a récemment fait des vagues. Ces deux dernières années, tout le monde parle du BIM lors d'expositions de bâtiment et de construction. Ça a été le mot à la mode, donnant l'impression de quelque chose de nouveau à bon nombre de personnes, alors qu'en réalité, les idées et la technologie qui se cachent derrière ce sigle évoluent depuis plus de cinquante ans (Silva, 2011).

Le concept du BIM n'est pas le fait d'une seule et unique personne mais découle d'une riche histoire de l'innovation qui provient à la fois des Etats-Unis, d'Europe Centrale et du Nord et qui s'étend jusqu'au Japon. Il est également intéressant de noter qu'une partie de l'histoire du BIM est intrinsèquement liée à la Guerre Froide.

Toutes ces histoires captivantes ont poursuivi leur petit bonhomme de chemin pour générer la solution collaborative idéale et perturber les flux de travail CAD 2D

Le BIM le plus récent peut fournir des moteurs de rendu, optimiser la fonction d'une taxonomie spécifique ainsi que l'environnement de programme pour construire les composants du modèle. Les modèles BIM actuels sont en 3D avec des plans orthographiques en 2D qui apparaissent également avec des segments et des élévations.

Lors du développement d'un projet d'infrastructure, les dessins du projet et les modifications sont adaptés proportionnellement aux changements effectués sur le modèle. La modélisation des informations du bâtiment peut être conçue dans un logiciel qui peut, ou peut ne pas être paramétrique.

La paramétrique, en tant que processus basé sur des algorithmes, permet la manifestation de paramètres et de règles qui, ensemble, définissent, encodent et clarifient la relation entre l'intention de la conception et la réponse proposée. [1]

Voir la figure (1) ci-dessous représente les modèles BIM en 3D. [2]

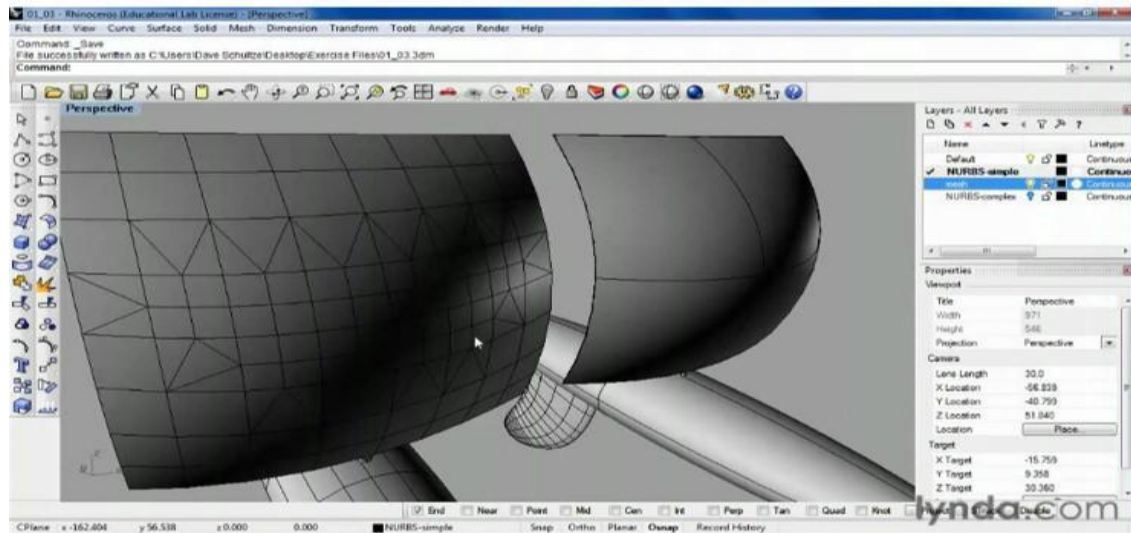


Figure 1: Les modèles BIM en 3D avec des plans orthographiques en 2D

I-1-2 Définition de la paramétrique:

La modélisation paramétrique permet de créer des éléments de contrainte tels que la hauteur d'un niveau horizontal, qui peut ensuite être liée à la hauteur d'un ensemble spécifique de murs, ajustés entre eux de manière paramétrique. Cela crée un modèle de base de données dynamique lié à la géométrie.

La modélisation paramétrique a permis à l'industrie de modifier les dessins à de multiples échelles et sur des feuilles de dessin fragmentées — le nombre d'heures nécessaires à la réécriture manuelle diminuant constamment avec le temps.

Au début, le BIM était plus une figure de proue que la technologie actuelle, les limitations informatiques et les interfaces utilisateur bizarres pour les plates-formes BIM se sont retrouvées avec des programmes de dessin au trait 2D comme AutoCAD et Bentley Microstation. Il a fallu beaucoup de temps pour incorporer la calculabilité dans la modélisation de la conception. [3]

I-2 Les débuts du BIM :

Pour retracer l'histoire du BIM et de ses systèmes, nous devons nous tourner vers les débuts de l'informatique et creuser dans ses fondements conceptuels. La conception et la production assistée par ordinateur (puis la fabrication) sont deux technologies qui se sont brutalement développées de manière séparée, au même moment au début des années 60. A ce moment-là, personne n'avait

prévu que les logiciels FAO et CAO pourraient se recouper et émerger au point de devenir les forces puissantes du monde industriel.

En 1957, Pronto, le premier logiciel commercial de fabrication assistée par ordinateur (FAO) est développé par le Dr. Patrick J. Hanratty. Il s'agissait d'une technologie d'usinage à commande numérique qui a ensuite évolué vers la fabrication assistée par ordinateur. Peu de temps après, il s'est essayé aux graphiques générés par ordinateur et c'est en 1961 qu'il a développé la CAO (ou CAD) Conception Automatisée par Ordinateur qui est devenu le premier système FAO /CAO (CAM/CAD) qui utilisait des graphiques interactifs et était utilisé par Général Motors pour réaliser des matrices de moulage complexes. Suite à quelques échecs, très probablement dus au langage de programmation assez impopulaire, En 1962, Douglas C. Engelbart écrit un article intitulé, "Accroître l'Intellect Humain". Il y soutient la pensée de l'architecte de demain, y suggère une conception basée sur les objets, la manipulation paramétrique, et des bases de données relationnelles [4]

"L'architecte commence à entrer une série de spécifications et les données d'une dalle de plancher de quinze centimètres d'épaisseur, des murs en béton de trente centimètres d'épaisseur et de deux mètres et demi de hauteur dans l'excavation, et ainsi de suite. Lorsqu'il a fini, la scène apparaît à l'écran. La structure prend forme. Il l'examine, l'ajuste, etc. Ces listes s'étoffent toujours de plus de détails, d'une structure qui s'imbrique, ce qui représente l'évolution de la pensée sous-jacente à la conception en cours."

A ce moment-là, plusieurs chercheurs en conception travaillent sur une technologie équivalente au Système d'Information Géographique (SIG). Parmi ces chercheurs, c'est le travail de Christopher Alexander qui se distingue en influençant le travail de programmation orientée objet, d'un groupe de jeunes informaticiens. Toutefois, sans interface graphique à l'époque, les cadres conceptuels n'ont pas pu être créés.

I-2-1 Le rêve de construire le modèle :

En 1963, Sketchpad, développée au MIT Lincoln Labs par Ivan Sutherland, est la première conception assistée par ordinateur (CAO) dotée d'une interface utilisateur graphique. Elle a avant tout été avant-gardiste pour ce qui est des interactions entre l'homme et l'ordinateur et a été une avancée majeure dans le développement de l'infographie. [5]

En termes de technologie pour le domaine du bâtiment, Sketchpad a cédé la place à de solides programmes de modélisation, la représentation numérique de la géométrie a été perfectionnée, ce qui a permis d'afficher et d'enregistrer des informations de forme. Dans les années 70 et 80, les deux méthodes principales qui sont découlé se sont : la géométrie de construction des solides (GCS) et la représentation frontière (B-rep).

Pour cela, le processus de conception global nécessitait et présentait en même temps le défi de commander l'ordinateur avec le plus de facilité possible.

I-3 L'assemblage de la base de données:

En 1975, Charles Eastman publie un document où il y décrit un prototype qu'il appelle un Système de Description du Bâtiment (Building Description Système BDS). Il y développe les idées de conception paramétrique, de représentations 3D calculables de qualité supérieure, bénéficiant d'une base de données intégrée unique et d'analyses quantitatives. ("Single integrated database for Visual and quantitative analyses).

Dans son document, Eastman y décrit en fait bel et bien le BIM que nous connaissons aujourd'hui. Eastman a conçu un programme qui a permis à l'utilisateur d'accéder à une base de données triable l'information peut y être extraite par catégories (incluant matériel et fournisseur), également dotée d'une interface utilisateur graphique, orthographique et des vues en perspective.

Le Système de Description du Bâtiment a été l'un des premiers projets dans l'histoire du BIM à créer une base de données du bâtiment avec succès. Il y décrit tous les éléments individuels de la bibliothèque qui peuvent être extraits et ajoutés à un modèle [4]

Eastman en conclut que le Système de Description du Bâtiment améliore la rédaction et l'efficacité d'analyse, divisant par deux le coût de la conception. Le Système de Description du Bâtiment est l'expérience qui a permis d'identifier tous les problèmes fondamentaux liés à la conception architecturale et ce, pour les cinquante années qui ont suivies.

En 1977, dans le CMU Lab, Charles Eastman a ensuite créé GLIDE (Langage graphique pour un Design Interactif) qui présentait la majeure partie des caractéristiques de la plateforme actuelle du BIM.

Avec l'arrivée des années 80, plusieurs systèmes ont vu le jour un peu partout. Bénéficiant d'une popularité croissante dans ce secteur industriel, certains ont même été appliqués aux projets de

construction. C'est en 1986, que RUCAPS (Really Universal Computer-Aided Production System) est utilisé pour la rénovation du Terminal 3 de l'aéroport d'Heathrow.

C'était le premier programme de CAO dans l'histoire du BIM à être utilisé dans la construction préfabriquée (ou la construction en phase temporelle, si l'on veut être technique). Il est considéré comme un précurseur du logiciel BIM actuel [6]

I-3-1 Vers la conception et la construction virtuelle :

Alors qu'aux Etats-Unis et en Grande-Bretagne, les développements avancent à grande vitesse, en Hongrie communiste, un génie en informatique et en programmation fait de la contrebande d'ordinateurs Apple malgré le Rideau de Fer, afin de développer un logiciel qui plus tard, va changer le cours de l'histoire du BIM autant du point de vue de son concept que de sa commercialisation et lui permettre devenir tel que nous le connaissons aujourd'hui. [7]

En employant une technologie proche du Système de Description de Bâtiment, en 1984, Bojár publie le Radar CH de Graphisoft pour l'OS Apple Lisa. Relancé en 1987 en tant qu'ArchiCAD, et faisant ainsi d'ArchiCAD le premier logiciel disponible sur un ordinateur personnel [4]

En 1987, alors que ArchiCAD s'implémente comme étant le concept de construction virtuel, à peine 2000 km plus au nord, Tekla parachève ses dessins combinés et ses bases de données relationnelles pour la première version du système BIM.

Voir la figure (2) ci-dessous représente l'application du CAO multiplateforme. [8]



Figure 2: l'application du CAO multiplateforme

Petit retour en arrière aux Etats-Unis en 1985, où Diehl Graphisoft développe le Vectorworks, l'un des premiers programmes CAO, mais aussi l'un des premiers programmes de modélisation 3D, et la première application CAO multiplateforme. Vectorworks est l'un des premiers programmes à présenter les capacités du BIM. C'est au même moment, toujours en 1985, que Parametric Technology Corporation (PTC) est fondée.

En 1988, elle publie Pro/ENGINEER, qui est considéré comme le premier logiciel de conception de modélisation paramétrique à être commercialisé dans l'histoire du BIM. Se séparant de PTC, Irwin Jungreis et Leonid Raiz décident de monter leur propre entreprise de logiciels, la Charles River Software. Le binôme souhaite développer une version de Pro/ENGINEER spécifique à l'architecture qui parviendrait à mener des projets plus complexes que ArchiCAD.

A l'orée des années 2000, un programme du nom de Revit voit le jour, son nom est issu de la contraction de "révision" (refonte) et de "speed" (vitesse). Revit a révolutionné le BIM en utilisant un moteur de modifications paramétriques rendu possible grâce à la programmation orientée objet, et en créant une plateforme qui permet l'ajout d'attribution de temps.

Une chose importante à noter dans l'histoire du BIM est aussi le développement en 1993 au Lawrence Berkeley National Lab, du Conseiller en Conception de Bâtiment (Building Design Advisor). Il s'agit alors d'un logiciel qui, en se basant sur un modèle, permet de faire des simulations et de proposer des solutions.

En Australie, Map Soft est créé aux alentours de 1994 et élaborait l'examen économique du logiciel CAO. Ceci a permis d'ouvrir la voie à miniCAD, la première étude de logiciel CAO à tourner sur un ordinateur de poche, le HP 100 LX basé sur DOS. Il est toujours utilisé aujourd'hui pour Windows, Palms, et d'autres anciens PC's [9]

I-4 Termes et définitions :

C'est en publiant un article en 1986 que Robert Aish est le premier à expliquer le terme de "Modélisation de Bâtiment". Dans cet article, il y énonce ce que nous connaissons comme étant le BIM ainsi que la technologie requise à son implémentation. Quelques années plus tard, en Décembre 1992, la première utilisation documentée du terme Modélisation de l'Information du Bâtiment est publiée dans Automation in Construction dans un article coécrit par G.A. Van Nederveen et F. Tolman.) [1]

I-4-1 Définition :

Un modèle d'information sur le bâtiment est une simulation de projet constituée des modèles 3D des composants du projet avec des liens vers toutes les informations requise liées à la planification, à la

CHAPITRE I: LES BUILDING INFORMATION MODELING

construction ou à l'exploitation du projet et à la mise hors service. Cette section décrit les modèles 3D, les informations contenues ou associées à ces modèles et la nature des liens entre les modèles individuels, les composants et les informations. Les complications de cette gamme variée de conteneurs d'informations peuvent être décourageantes, et il est important de comprendre la nature de base de ces concepts afin qu'il devienne possible de bien planifier et gérer leur organisation.

*Le BIM (Building Information Modeling) révolutionne la façon dont les bâtiments, les infrastructures et les réseaux techniques sont planifiés, conçus, créés et gérés. Les solutions BIM d'Autodesk permettent de rendre les informations plus compréhensibles et de fournir une valeur ajoutée à chaque étape du processus.

Voir la figure (3) ci-dessous représente la modélisation de bâtiment par le BIM. [10]

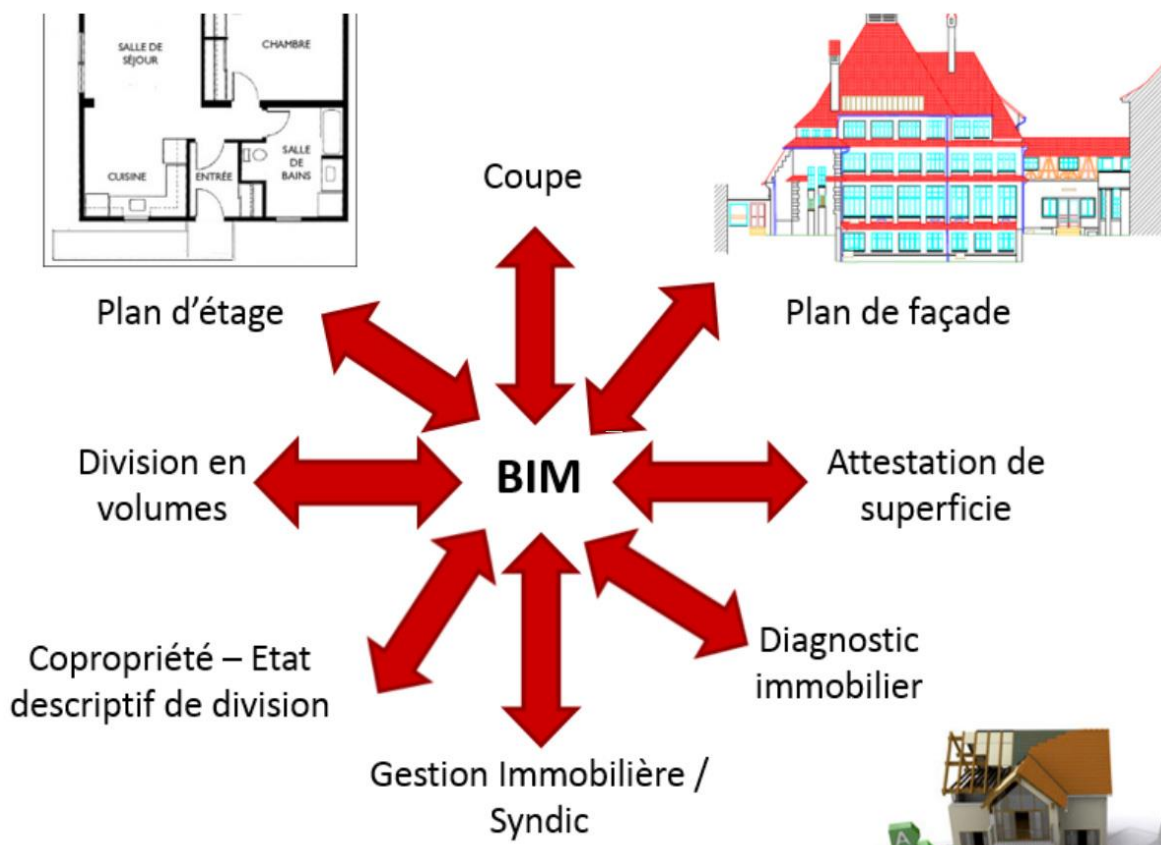


Figure 3 : modélisation de bâtiment par le BIM

I-4-2 Cultiver une culture collaborative :

L'architecture moderne, l'ingénierie ainsi que les pratiques de construction dans le secteur du bâtiment ont évolué vers une tendance à la collaboration. Les dernières décennies, les dossiers architecturaux ont été intégrés aux méthodes des ingénieurs.

Cette culture de la collaboration a eu une répercussion sur l'industrie de manière globale — éloignant peu à peu les contrats par appels d'offres au profit de projets intégrant un système de prestation où tout le monde travaille de concert à l'élaboration de modèles accessibles du BIM.

C'est en 1995, que le format de fichier Industry Foundation Class (IFC) est développé afin de permettre aux données de circuler sur les plateformes, afin qu'un fichier soit compatible avec différents programmes BIM. En 1997, ArchiCAD publie sa toute première solution d'échange de fichiers du nom de Teamwork.

Ceci a révolutionné le travail en équipe, permettant à plus d'architectes de travailler simultanément sur des modèles de bâtiment. Les mises à jour de Teamwork ont fourni un accès à distance à un même projet par le biais d'internet ainsi qu'une coordination et une collaboration à grande échelle.

En 1999, au Japon, Onuma a permis à des équipes virtuelles de travailler sur le BIM via Internet et a créé un système de planification BIM basé sur une base de données qui a ouvert la voie à l'intégration multiplateforme transparente des logiciels BIM et des technologies paramétriques.

En 2001, NavisWorks développe et commercialise JetStream, un logiciel d'analyse de conception en 3D qui offre un ensemble d'outils de navigation, collaboration et coordination CAO en 3D. JetStream coordonne essentiellement le format des fichiers de base de données, permet la simulation de construction ainsi que la détection des incidents.

En 2004, lorsque Revit publie sa mise à jour par le biais de Revit 6, la voie à des équipes plus importantes d'architectes et d'ingénieurs est ouverte, leur permettant de collaborer grâce à un seul et unique logiciel de modèle intégré.

Comme Autodesk veut figurer en tête de liste du BIM, il acquiert Revit en 2002, puis NavisWorks en 2007, ainsi que d'autres systèmes BIM de plus petite taille. Fin 2012, Autodesk développe Formit. Cette application permet la conception de modèle BIM à partir d'un appareil mobile.

I-4-3 Les pratiques actuelles du BIM :

Plusieurs acteurs du BIM méritent tout de même d'être mentionnés. Malgré leur faible part de marché, leur impact dans le monde de la conception n'en reste pas moins énorme. En 2003, Bentley Systems développe Générative Components (GC), une plateforme BIM centrée sur la flexibilité paramétrique et sur le modelage de la géométrie qui s'appuie sur les surfaces NURBS (non-Uniform rational B-spline).

En 2006, Gehry Technologies publie Digital Project, un programme assez similaire au GC. Digital Project et GC ont tous les deux révolutionné la conception architecturale. Ces deux plateformes sont révolutionnaires dans le sens où elles peuvent concevoir des formes architecturales particulièrement complexes et provocatrices; ouvrant la voie au parametricism.

C'est Patrick Schumacher qui, en 2008 invente le terme "parametricism" ainsi que la mouvance de construire des structures architecturales paramétriques. Dans le Parametricism Manifesto, il souligne à quel point il est important de maîtriser les plateformes modernes du BIM (DP et GC) en étant concurrentiel sur la scène de l'architecture moderne. Il aurait affirmé ceci:

“L'état d'avancement actuel pour tout ce qui concerne les paramétrés, comme les autres avancées associées aux technologies de conception dans le domaine informatique, existe grâce aux opportunités formelles et organisationnelles uniques offertes et réalisées par les concepteurs. Le paramétrés ne peut exister que par le biais de techniques paramétriques sophistiquées.

Enfin, des techniques de conception avancée en informatique telles que le cryptage (en Mel-script ou en Rhinoscript) et la modélisation paramétrique (par le biais d'outils comme GC ou DP) finissent par être une réalité omniprésente. Aujourd'hui, il est possible d'être en compétition au sein de la scène avant-gardiste contemporaine sans maîtriser ces techniques.”

Cette vue "parametricism" ainsi que les vieilles valeurs marchandes donnent lieu à un mouvement générationnel subtil créé au nom de l'intégration de la technologie. Par exemple, un concepteur “débutant” qui connaît les commandes de base sur un logiciel peut fournir plus de travail qu'un architecte inexpérimenté en matière d'interface de programme et des concepts associés.

Comme toutes ces compétences et techniques peuvent s'apprendre, les écoles d'architecture ainsi que les entreprises de logiciels proposent une formation propre à chaque logiciel. Être un travailleur “dépassé” n'est plus qu'un mythe depuis que toutes ces intégrations technologiques peuvent être apprises. [1]

Voir la figure (4) ci-dessous représente la paramétrique actuel du BIM [11]



Parametric Designed Metropol Parasol, Seville, Spain, 2011 by Jürgen Mayer-Hermann

Figure 4: paramétrique actuel du BIM

I-5 Le futur du BIM :

Comme BIM fête au moins les 40 ans de son concept général et de sa technologie, il semble juste que l'on réalise son potentiel important dont il fait bénéficier l'architecture, l'ingénierie et le secteur du bâtiment.

Nous assistons doucement à l'intégration de la conception et de la construction virtuelle grâce à des "pratiques de conception durables, à l'interaction entre l'humain et l'ordinateur, à la réalité augmentée, à l'informatique dématérialisée et à la conception générative". [4]

Ces tendances influencent rapidement et continuellement l'évolution du BIM. C'est une chance que de vivre aujourd'hui pour être le témoin de l'évolution de la technologie de construction.

Cet article est une partie d'une série consacrée à la modélisation de l'information du bâtiment (BIM). Telles que l'identification des rôles du BIM dans un cycle de projets, les défis et challenges de la technologie émergente de la construction. [12]

I-5-1 Objectifs généraux des BIM:

La technologie BIM est un processus qui implique la création et l'utilisation d'un modèle 3D intelligent pour prendre de meilleures décisions concernant un projet et les communiquer. Les solutions BIM d'Autodesk permettent aux équipes de concevoir, visualiser, simuler et collaborer plus facilement tout au long du cycle de vie du projet. La technologie BIM permet d'atteindre plus facilement les objectifs d'un projet et de l'entreprise.

I-6 Collaboration du BIM :

Lorsqu'on parle du BIM, on parle en réalité du processus BIM. Selon la définition donnée par la norme ISO 9000:2015, un processus est un ensemble d'activités corrélées ou en interaction qui utilise des éléments d'entrée pour produire un résultat escompté. La collaboration est donc bien dans l'ADN du BIM.

Dans le processus BIM, la collaboration est orchestrée et rigoureuse dès le début du projet de construction et les données sont utilisées par tous les acteurs du projet et mises à jour par chacun.

Le BIM contribue à :

- améliorer la qualité,
- optimiser les coûts grâce à la meilleure collaboration qu'il induit,
- mieux anticiper les problèmes en amont du chantier,
- réduire les délais.

-6-1 Collaboration du BIM :

La question de la collaboration est à différents niveaux :

- en interne entre les collaborateurs des entreprises de maîtrise d'œuvre ou des entreprises de construction,
- au sein de l'équipe de maîtrise d'œuvre (architecte, bureaux d'études) entre les différents métiers,
- entre le maître d'ouvrage et son équipe de maîtrise d'œuvre : le BIM contribue à la meilleure maîtrise de son projet par le maître d'ouvrage, et sa meilleure compréhension facilite la prise de décisions.

Toutefois, pour que l'efficacité du BIM soit constatée, il est nécessaire de maîtriser les processus collaboratifs. La formation, le recours à des documents standardisés (convention BIM, cahier des charges BIM) sont des premières réponses mais d'autres outils peuvent aider, telles qu'une plateforme collaborative en ligne, et l'Espace de Construction Virtuelle présentés ci-après.

I-6-2 Parmi les outils pour faciliter la collaboration : la plateforme BIM

D'après une récente étude menée par le Cegibat, centre d'expertise de GRDF sur la pratique du BIM par les bureaux d'études spécialisés en génie thermique et climatique, les $\frac{3}{4}$ d'entre eux utilisent le BIM depuis en moyenne 3 ans.

Cette étude constate que les plateformes collaboratives BIM sont encore peu utilisées : 32 % n'en utilisent pas et 32% utilisent une plateforme généraliste de dépôt de document type Dropbox / Google Drive.

Or, l'utilisation d'une plateforme collaborative spécifique BIM est un atout sérieux dans le bon déroulement d'un projet de construction BIM. Une plateforme efficace peut permettre de :

- Stocker toutes les informations graphiques et non graphiques afin de disposer de toutes les informations au même endroit et d'avoir une traçabilité des actions,
- Visualiser et superposer les maquettes numériques afin de mieux mettre en évidence d'éventuels conflits,
- Gérer les BCF, annoter les maquettes afin de signaler des problèmes,
- Gérer un workflow, mettre en place un tableau de répartition des tâches.

Autant de fonctionnalités qui facilitent les échanges et assurent une collaboration fluide entre les différents acteurs.

La plateforme est utile pour travailler ensemble, pour organiser des réunions de synthèse avec le BIM Manager et pour présenter le projet à la MOA. [13]

I-6-2-1 Une plateforme en ligne pour collaborer efficacement en BIM

- Accédez à un outil numérique en mode SaaS, vous n'avez aucun logiciel supplémentaire à installer pour utiliser la plateforme d'échange.
- Hébergez vos projets en BIM, collaborez en mode projet et mettez en place un workflow efficace.
- Bénéficiez de la plateforme la plus complète du marché, avec ses nombreuses fonctionnalités dédiées aux projets sur les maquettes numériques.

I-6-2-2 Facilité d'utilisation pour tous:

La plateforme d'échange est intuitive et ergonomique. Tous les professionnels impliqués dans le projet pourront accéder aux fonctionnalités dont ils ont besoin, au moment de la conception, sur le chantier, et lors de l'export du DOE numérique.

I-6-2-3 les fonctionnalités des plateformes BIM :

1. Un travail collaboratif fluide
 - Nombre d'utilisateurs illimité ;
 - Répartition des tâches Qui/Quand/Quoi ;
 - SAS du BIM Manager : Sas de vérification des dépôts des fichiers.
2. Une gestion électronique de documents (GED)

Base de données structurée de l'ensemble des données du projet (maquette, plans, informations non graphiques);

- Gestion fine des droits d'accès ;
- Mise en place des règles de nommage ;
- Conservation de l'historique et de la traçabilité des actions.

Voir la figure (5) ci-dessous représente la plateforme de BIM [14]

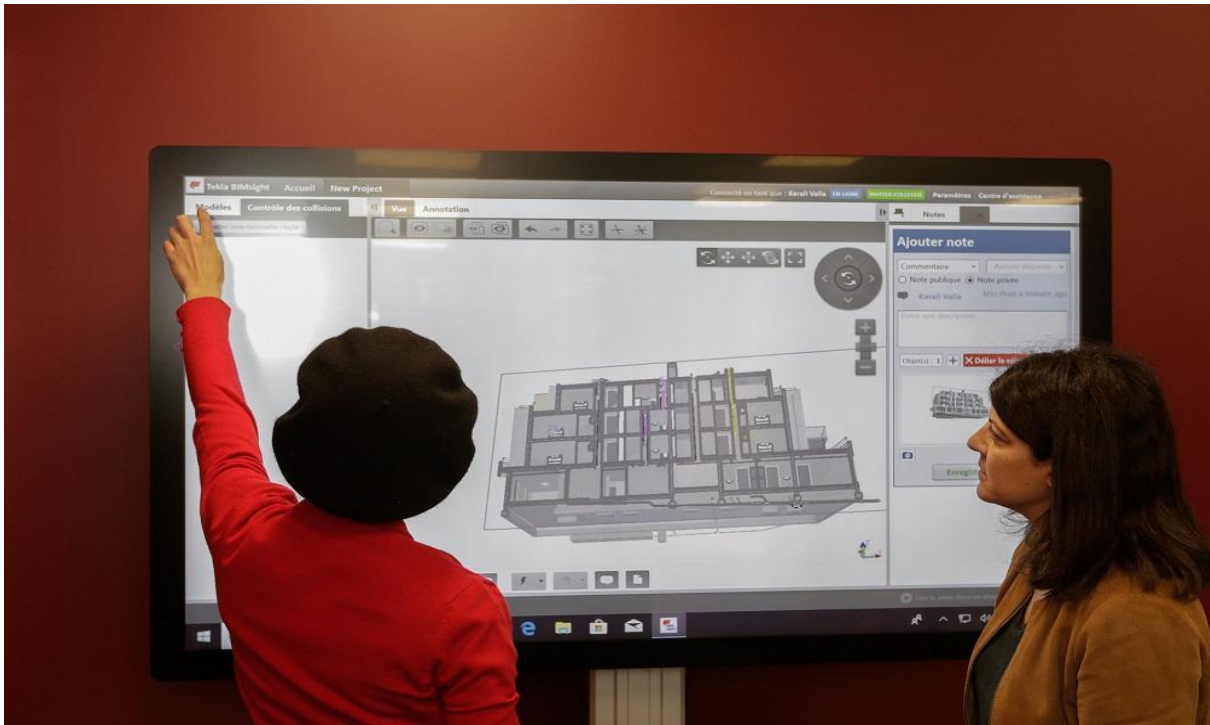


Figure 5: la plateforme de BIM

3. Une plateforme compatible

- Compatible 100% Open BIM et Revit ;
- Cloud Connecte (accès direct depuis vos logiciels métiers);
- Plus long on revit.

4. Le suivi de projet :

- Visionneuse 3D intégrée de maquettes (fichiers IFC, RVT & NWD);
- Superposition des maquettes ;
- Gestion centralisée des BCF, annotation de maquettes. [13]

I-7 Interopérabilité :

L'interopérabilité des données est un jeu essentiel du BIM pour que les acteurs de la construction puissent échanger et élaborer un projet commun.

La standardisation des formats d'échange n'est pas encore optimale, le BIM (BIM information Model) est une méthode de travail basée sur la collaboration autour d'une maquette numérique définissant les responsabilités et le cadre de chacun des acteurs de la construction (chacun est

responsable d'une partie de l'information). Jusqu'ici, les outils et les logiciels fonctionnaient en silo ce qui empêchait l'échange de données.

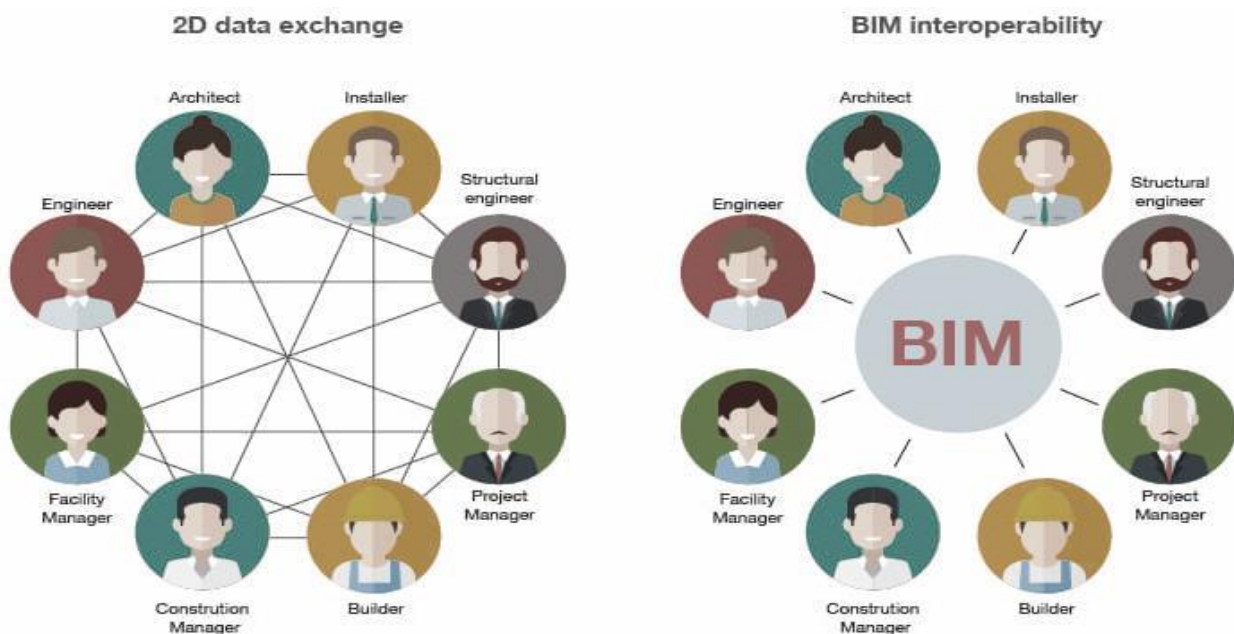
Depuis 2015, l'interopérabilité fut l'une des actions lancées pour développer un écosystème de confiance et le développement du numérique dans l'acte de construire.

L'objectif est d'optimiser la capacité des acteurs à échanger, à partager, et à comprendre l'information tout au long du cycle de vie d'un projet, de sa conception à sa maintenance.

Pour l'association Mediaconstruct, « il s'agit de mettre en place un écosystème technique ouvert intégrant une structuration des informations fondée sur des approches non propriétaires (open BIM, open GIS), s'appuyant elles-mêmes sur des infrastructures en open source ».

Au-delà de fluidifier les échanges entre acteurs, le but de l'interopérabilité est également de réduire les erreurs, de mutualiser les coûts, de répondre à l'obligation de non-discrimination des marchés publics français lors des appels d'offres, et de gérer numériquement les données sur un cycle de vie supérieur à 50 ans. [15]

Voir la figure (6) ci-dessous représente illustration des échanges avant et avec le BIM [16]



I-7-1 Les fonctions de l'interopérabilité :

A ce jour, elle repose sur l'articulation notamment :

- des processus : IDM, BEP et information management. Cela concerne les méthodes d'échanges des informations et le management d'un projet BIM.
- des formats d'échange de données : IFC et BCF, cela consiste à faire communiquer les machines entre elles.
- des dictionnaires et des classifications: Ils réfèrent à la terminologie où sont consignées les définitions des concepts. Les classifications ont l'avantage d'organiser le contenu des dictionnaires.

D'autres travaux transverses sont également en cours, notamment : des Models views (MVD et mvdXML), des Objets BIM et Bibliothèques d'objets, conteneurs de données...

En France, la normalisation est opérée par différents organismes professionnels du secteur de la construction. Le Comité Européen de normalisation (CEN) et l'Organisation internationale de normalisation (ISO) y travaillent également. [15]

I-7-2 Les acteurs de la coordination BIM :

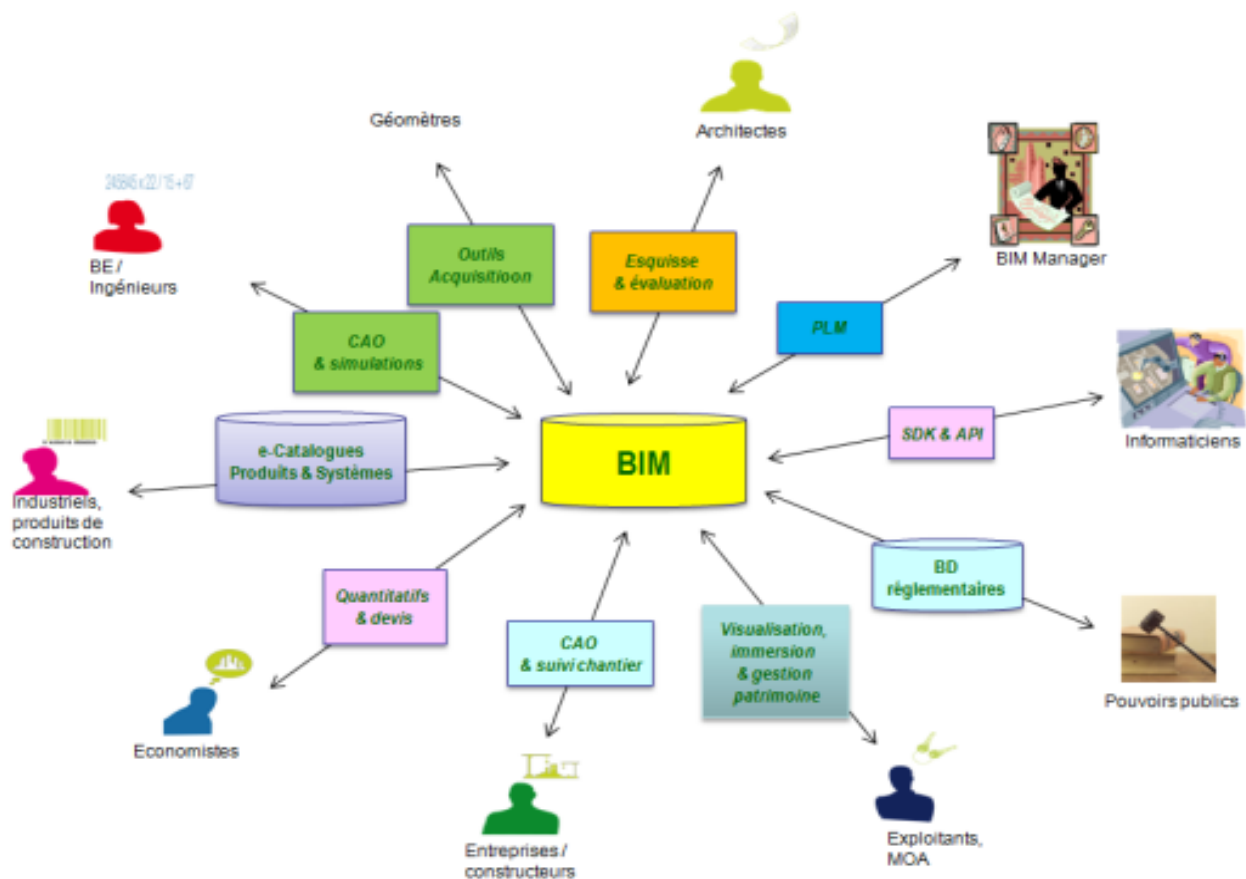


Figure 7:acteurs de la coordination BIM

La figure (7) ci-dessus représente les acteurs de la coordination BIM : [17]

Parmi ses acteurs de coordinations, on va retrouver (plus ou moins dans l'ordre d'arrivée en scène) :

Tout d'abord, des acteurs traditionnels, mais qui vont devoir faire évoluer leurs applications :

- les géomètres qui vont relever les données existantes avec des outils d'acquisition, comme des télémètres laser, et vont fournir le socle de la maquette numérique et du projet de construction ;
- les architectes qui vont élaborer leurs esquisses avec des outils comme Google Sketchup ou plus évolués comme Revit ou ArchiCAD et vont pouvoir faire des premières évaluations avec des outils comme ArchiWizard ou Autodesk Vasari ;
- des bureaux d'études qui vont détailler les propositions des architectes avec des logiciels comme Revit Structure ou Graitec Advance et simuler les différents phénomènes physiques de structure, d'analyses thermiques.
- des industriels de construction qui vont proposer leurs catalogues de produits sous formes de « briques » de maquettes numériques ;
- les pouvoirs publics qui vont pouvoir éditer des bases de données avec les indicateurs réglementaires (ex : la base INIES pour les indicateurs liés à l'impact environnemental des produits de construction) exploitable par les maquettes numériques et leurs applications d'enrichissement (ex : BIM) ou de simulations (ex : Elodie) ;
- des économistes qui vont pouvoir profiter de toute la richesse de nomenclature de la maquette numérique pour produire, quasi automatiquement, des devis, avec des outils comme WinQuant ;
- les entreprises qui vont pouvoir mieux comprendre les ouvrages à construire grâce aux représentations 3D enrichi des informations des matériaux à utiliser, mais qui auront également la charge de compléter et corriger cette maquette numérique, en fonction des événements du chantier, et ce afin de fournir des dossiers des ouvrages exécutés (DOE) reflétant parfaitement l'édifice construit avec ses parties visibles et invisibles (ex : les réseaux) ;
- les gestionnaires de patrimoine qui vont pouvoir bénéficier de la richesse et la précision de ces DOE pour une maintenance beaucoup plus efficace.

Mais on va trouver, également, des nouveaux acteurs comme :

- des BIM manager qui vont avoir la charge, avec des outils PLM, de gérer l'ensemble des données de la maquette numérique avec sa structuration et de droits d'accès ;

- mais aussi des informaticiens qui seront amenés, à travers des modules de programmation (SDK - Software Développement Kit & API - Application Programming Interface) à donner vie à ces maquettes, par exemple : simuler le comportement d'un occupant ou la cinématique du phasage de construction d'un chantier. [15]

I-8 Les Processus BIM :

Un abonnement collaboratif ne garantit pas l'efficacité des échanges. Il est nécessaire d'y associer le processus BIM qui permet de créer, de visualiser et de tester cette structure (ou un bâtiment) en 3D, sur l'ensemble de sa durée de vie. Les données détaillées permettent ainsi de mieux gérer la détection des conflits, des coûts.

Avec l'avènement du numérique conduisant au "BIM 2.0", il est nécessaire de mettre en œuvre un ensemble de processus BIM dédiés à l'élaboration de la maquette numérique de l'ouvrage et aux échanges des modèles d'informations entre les contributeurs BIM.

Il convient de formaliser les processus BIM selon les points suivants :

- l'Environnement Commun de Données ;
- la définition des modèles d'information des processus BIM ;
- les attributs de diffusion des modèles d'information ;
- les jalons de livraison de la maquette numérique ;
- les contrôles qualité.

Dans le cadre de la Convention BIM, le BIM Management définit un environnement commun de données qui assure les processus nécessaires à la collaboration des contributeurs BIM.

Du simple serveur de stockage de fichiers aux plateformes dites spécialisées BIM, il existe différents types d'environnements collaboratifs, plus ou moins sécurisés, qui proposent un éventail plus ou moins large de fonctionnalités. Il peut s'agir de :

- un serveur local ou FTP qui permet de transférer des fichiers par Internet ;
- un cloud qui exploite la puissance de stockage et/ou de calcul de serveurs informatiques distants par Internet ;
- une plateforme, c'est-à-dire un environnement permettant la gestion et/ou l'utilisation d'applications en ligne.

L'utilisation d'un environ un processus de diffusion et ses règles associées. [17]

Voir la figure (8) ci-dessous représente présente les processus BIM [19]

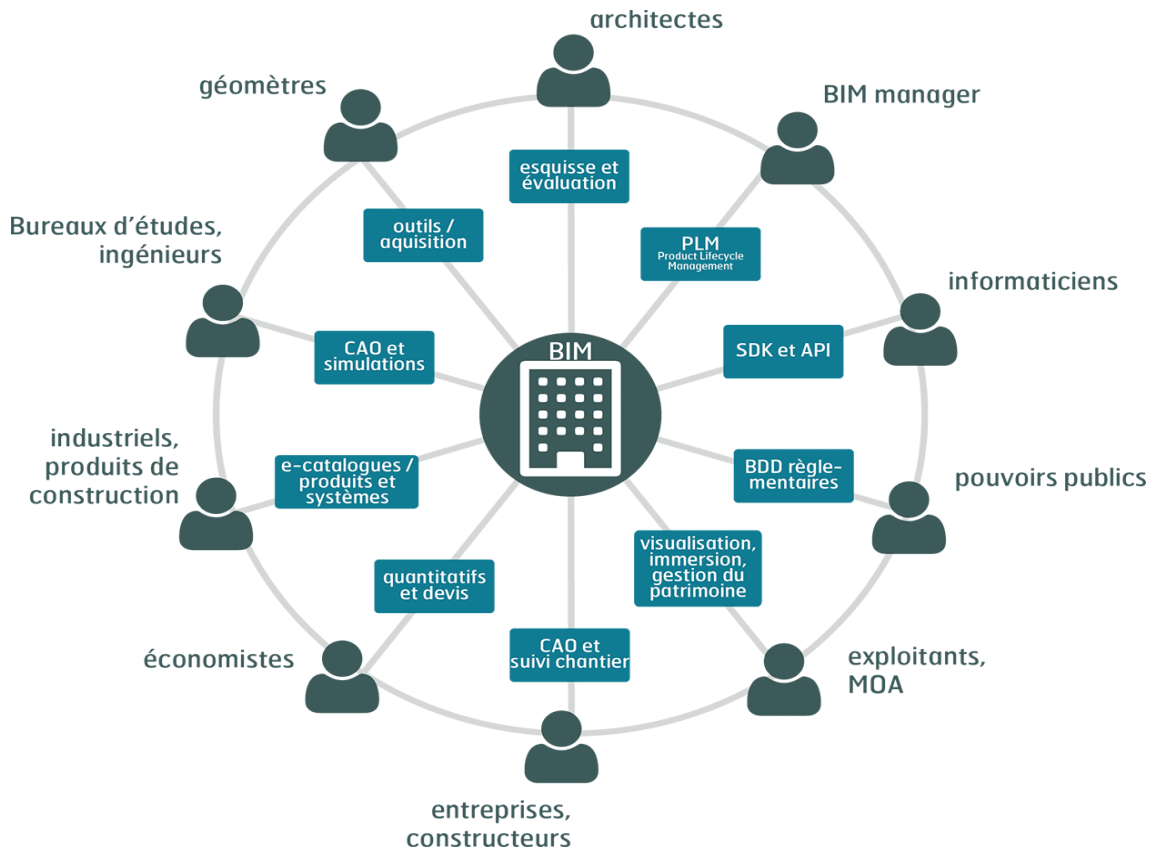


Figure 8: présente les processus BIM

I-8-1 Définition des modèles d'information des processus BIM :

La gestion des échanges de données est essentielle pour réussir la mise en œuvre du BIM. L'équipe de BIM Management doit s'assurer de l'efficacité des échanges qui peuvent être effectués sous la forme :

- de modèles graphiques ;
- de tableurs, s'il s'agit d'échanges de données non graphiques extraites de la maquette ;
- de documents comme les évaluations, les rapports ou autres ...etc.

L'équipe BIM a besoin de comprendre quelles données sont nécessaires pour réaliser tel ou tel Usage BIM. C'est la raison pour laquelle il est important d'identifier ces données et leur origine pour l'élaboration du synoptique du processus, les échanges de données entre les contributeurs BIM.

Il peut être nécessaire de réaliser un tableau d'échange de données permettant de lister les exigences, les besoins et les sorties de chaque contributeur en termes de gestion de données.

À noter qu'il ne faut pas inclure toutes les données, mais plutôt celles qui sont strictement nécessaires à l'usage BIM.

Un format d'échange de données non graphiques, qui répond à la demande du donneur d'ordre, est particulièrement important pour créer un lien structuré en vue de l'exploitation et de la maintenance du bâtiment. Ces échanges des données, qui s'adressent au donneur d'ordre, peuvent être considérés comme un livrable. [8]

I-8-1-1 Attributs de diffusion des modèles d'informations

Dans l'Environnement Commun de Données (CDE) conforme aux recommandations décrites dans la Convention BIM, le workflow (ou flux de travail) est appliqué sur les modèles lors de leur diffusion, pour le passage d'un espace à un autre. Ce workflow est assuré par l'application d'un statut.

En fonction des possibilités offertes par l'Environnement Commun de Données (CDE), ce statut pourra être donné :

- soit dans les attributs du fichier ;
- soit dans la convention de nommage du fichier.

Voir la figure (9) ci-dessous représente présente un modèle d'information [20]

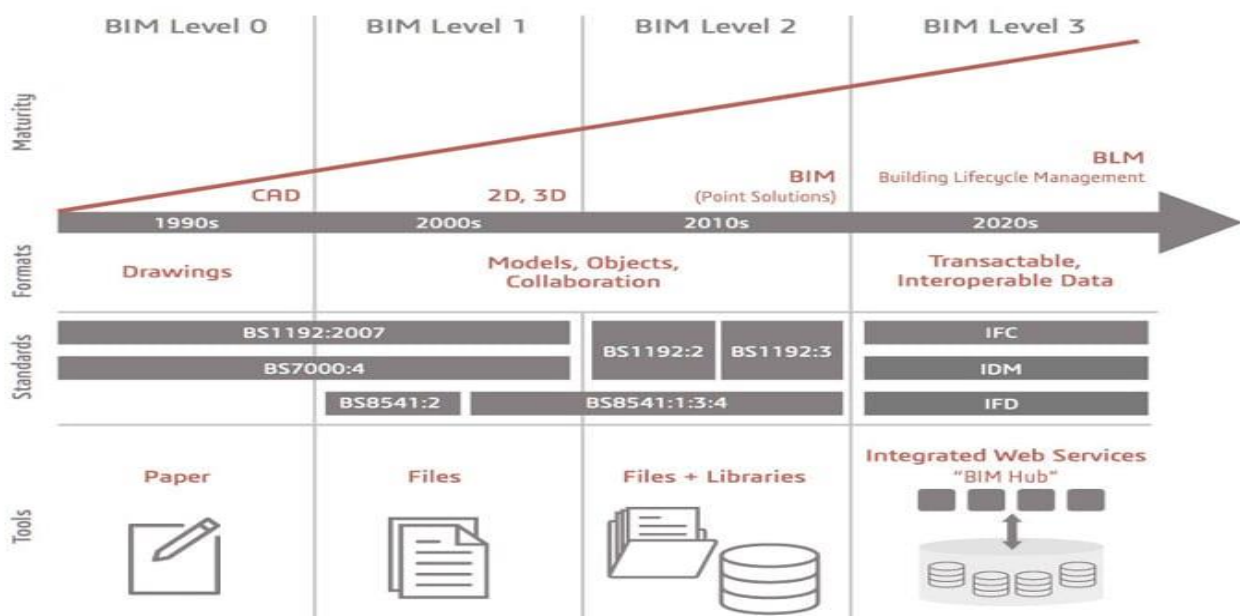


Figure 9: modèle d'information

Le BIM Management peut mettre à disposition des statuts BIM en fonction des usages BIM. Les codes des statuts ne concernent ni la numérotation de version, ni le niveau de détail, ni les phases. Si la convention nécessite des nouveaux codes de statuts personnalisés dans le but d'éviter une confusion, il est conseillé de ne pas appliquer un code qui définit déjà un statut à l'échelle nationale ou internationale.

À titre d'exemple, voici une méthode de gestion des flux de travail et des statuts définis par le PAS BS1192-2 :

Dans l'espace de « Travail en cours », les modèles d'information en cours d'élaboration ont un statut S0. Les modèles diffusés par les autres contributeurs, et en lien avec les modèles S0, peuvent avoir un statut lié au partage et/ou à la validation de la publication.

Dans l'espace de « Partage », les modèles d'information diffusés peuvent avoir les statuts suivants :

- S1 : Partager pour la coordination
- S2 : Partager pour l'information
- S3 : Partager pour la révision interne et les commentaires
- S4 : Partager à l'approbation de la construction
- S5 : Partager pour la fabrication
- S6 : Partager pour l'autorisation de la maquette DOE
- S7 : Partager pour l'autorisation de la maquette d'exploitation

Exemples de statuts BIM, à titre indicatif :

- PSU : Publié pour les surfaces utiles
- PCT : Publié pour le calcul thermique

Dans l'espace de « Publication », les modèles d'information peuvent avoir les statuts de publication suivants :

- D1 : Publié pour estimation du coût
- D2 : Publié pour consultation des entreprises
- D3 : Publié pour EXE consolidé
- D5 : Publié pour la fabrication/approvisionnement
- AM : Publié pour maintenance
- AC : Publié pour la construction
- AB : Publié pour « Tel que construit » (DOE, livraison, document, PDF, COBie...)

Dans l'espace de « Publication », les documents/livrables traditionnels comportent les statuts de validation en vigueur :

- NC : Non Concerné
- VSO : Visa Sans Observation
- VAO : Visa Avec Observation
- VAOB : Visa Avec Observation Bloquante
- BPE : Bon Pour Exécution ;

L'un des piliers du BIM est le processus. Il est effectivement impératif de mettre en place des protocoles d'échanges, qui pourront être représentés sous forme de synoptiques. Nous y retrouverons de manière synthétique :

- qui est concerné ;
- quand il devra intervenir ;
- ce qu'il devra échanger ou modéliser ;

- où il devra déposer ses éléments. [18]

I-8-2 En fonction de niveau de développement :

I-8-2-1 Niveau de l'information:

Quand vous pensez à un modèle, peut-être que la première chose qui vous vient à l'esprit est la géométrie. Cela n'est pas surprenant, car des modèles ont été utilisés pendant des siècles pour définir les intentions d'un designer - transmettre la forme, l'espace et les dimensions.

Le «grand modèle» de la cathédrale Saint-Paul de Sir Christopher Wren a fait cela dans les années 1670 et peut encore être vu aujourd'hui.

Cependant, alors que les données géométriques ou graphiques peuvent nous indiquer la largeur d'une feuille de maçonnerie et la hauteur des murs, à un certain moment de la construction, c'est le mot écrit qui est nécessaire pour nous emmener à un niveau d'information plus profond. C'est dans cet environnement textuel que nous décrivons les caractéristiques de la maçonnerie elle-même, telles que la densité, la résistance et la source, et ce sont des mots qui sont utilisés pour décrire le type et le type de joint de mortier et d'attaches murales.

Dans le contexte du BIM, nous examinons en fait un modèle d'information riche qui, outre les données graphiques - telles que la géométrie et la forme comprend également des informations non graphiques

telles que les exigences de performance et la documentation associée, présentées dans un format de spécification ou de manuel.

La spécification écrite n'est pas nouvelle et existe depuis des siècles. Cependant, ce n'est que maintenant en combinant ces aspects d'informations graphiques et non graphiques que nous obtenons une «vue d'ensemble».

Aujourd'hui, les clients ne se procurent pas seulement un bien physique: ils se procurent également des informations, généralement sous un format numérique. La quantité et le niveau d'informations augmentent à mesure que nous progressons dans le cycle de vie du projet. Par exemple, à un stade précoce du briefing stratégique, lorsque le client évalue les besoins, il peut simplement y avoir un besoin d'espaces et d'activités.

Au stade du concept, cela sera développé dans l'intention de conception des éléments / systèmes pour répondre aux exigences d'information de l'employeur (EIR). Ceci est ensuite développé au stade de la conception lors de l'examen des caractéristiques de chaque livrable en termes d'exigences de performance; cela peut concerner les exigences de sécurité d'un local technique, d'un élément de mur extérieur ou d'un système de portes.

Au stade de la conception technique, ou au moins avant la construction, la sélection des produits peut être déterminée par le prescripteur ou déléguée en tant que «choix de l'entrepreneur» en fonction des exigences génériques de performance du produit.

Les directives du gouvernement sur les «atterrissages en douceur» recommandent que la phase d'exploitation d'un bâtiment soit envisagée tout au long du cycle de vie du projet.

En établissant les résultats de performance requis et le budget opérationnel à un stade précoce, ceux-ci peuvent ensuite être comparés aux résultats de performance réels.

Dès le stade du concept, les critères de performance tels que les performances structurelles d'un système de cloisons peuvent être pris en compte. Au fur et à mesure que l'information se développe, des références spécifiques aux normes et classes pertinentes sont indiquées, ainsi que toutes les méthodes d'essai qui peuvent être nécessaires.

Les certifications par des organismes de certification tiers accrédités sont également prises en compte au fur et à mesure de la progression des informations, afin de garantir que les résultats du client sont atteints à la fin du projet.

Lors du transfert du projet, les informations spécifiques au fonctionnement et à la maintenance de l'objet installé sont incorporées dans les propriétés COBie standard, ainsi que dans la documentation telle que des liens vers des manuels PDF.

Voir la figure (10) ci-dessous représente présente le détail de construction de maçonnerie [22]

Exemple: détail de construction de maçonnerie typique - certaines des considérations graphiques et non graphiques

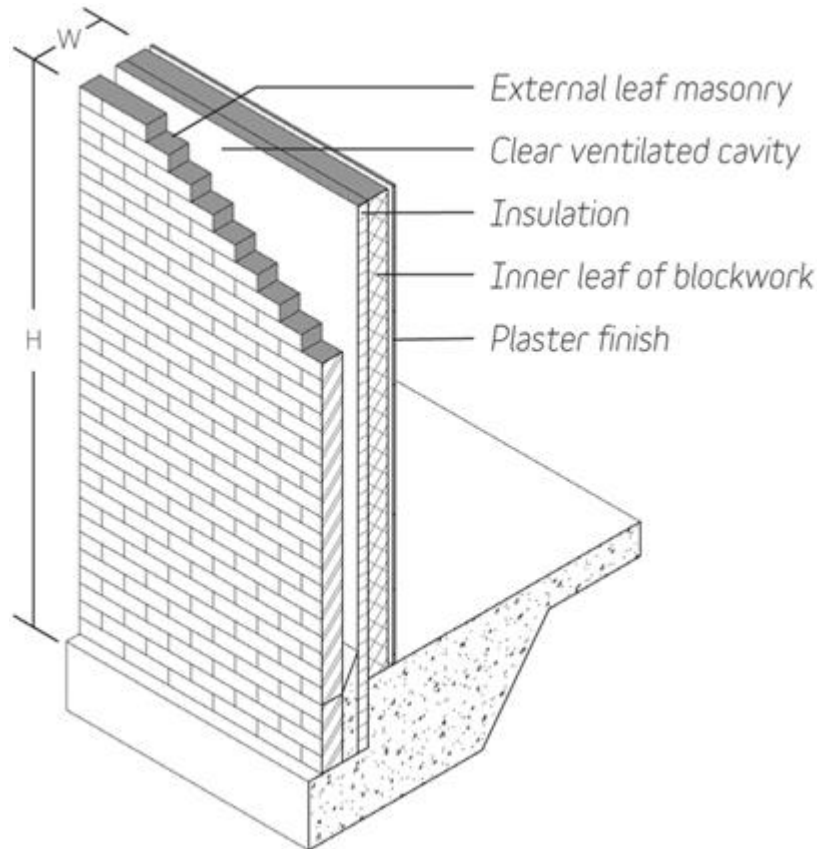


Figure 10: détail de construction de maçonnerie

I-8-2-2 Informations non graphiques :

I-8-2-2-1 Performance

- Tolérances de précision (pour les performances structurelles);
- Exigences relatives aux soumissions de conception (applicables lorsqu'il existe un composant conçu par l'entrepreneur);
- Vie professionnelle;
- Performance au feu;
- Performance structurelle - impact, services de S&E, véhicule;

- Perte de chaleur (valeur U).

I-8-2-2-2 Exécution

- Fabrication par mauvais temps;

- Propreté;

- Exigences relatives aux panneaux de référence et d'échantillons (pour surveiller l'exécution, la qualité des matériaux);

- Exigences d'installation spécifiques du produit (par exemple, installation d'isolation des murs creux, installation de linteaux, collage en bloc de nouveaux murs à des murs existants, pose de briques grenouilles dans le mortier).

I-8-2-2-3 Propriétés du produit

- Conductivité thermique;

- Résistance au gel / dégel;

- Contenu recyclé;

- Tolérances dimensionnelles des éléments de maçonnerie;

- Résistance à la compression.

I-8-3 Le niveau de détail :

Level of development = Level of detail + level of information

Si vous avez du mal à faire face à l'utilisation excessive des TLA (acronymes à trois lettres) dans les cercles BIM, vous risquez de lever les mains en l'air face à la formule ci-dessus. Vous pourriez dire que c'est mathématiquement incorrect, à moins que $LOI = 0$; ou vous pourriez suggérer qu'il est complètement absurde présenté tel quel. Et ce dernier point, je le concède. Tant d'aspects du BIM, ou du moins les définitions ou la mise en œuvre du BIM, n'ont que très peu de sens. N'importe qui penserait que c'est un tout autre langage, inventé juste pour dérouter la majorité et protéger les soi-disant experts du BIM dans leurs arts noirs.

Si vous effectuez une recherche Google pour BIM LOD, vous obtiendrez un certain nombre, une pléthore même, de résultats pour le «Niveau de développement» d'un modèle BIM. L'AIA (pas un acronyme spécifique au BIM, mais faisant référence à l'American Institute of Architects) a publié ce terme dans sa publication de 2008 [19] pour aider à définir, essentiellement, le contenu de n'importe quelle partie d'un projet BIM. Le Royaume-Uni utilise également LOD, mais ici, il est défini comme un «niveau de définition».

CHAPITRE I: LES BUILDING INFORMATION MODELING

Les attentes et la compréhension de ce qu'est le BIM varient considérablement. Alors qu'un consensus commun est évident pour ceux «au courant», la majorité de l'industrie de la construction se bat toujours pour comprendre ce qu'elle va produire, émettre et recevoir.

Même pour ceux qui avaient commencé à travailler sur des projets BIM, il restait une question d'opinion subjective sur ce qui serait inclus dans le modèle. Dans l'exemple d'un système de climatisation, un ingénieur en structure peut s'attendre à recevoir des dispositions de conduits dimensionnellement précises pour s'assurer que leurs ouvertures structurelles sont d'une taille adéquate, un architecte peut seulement avoir besoin d'une approximation du zonage afin d'élaborer leurs plans de circulation et marge de manœuvre minimale, alors que la réalité est que l'ingénieur de services ne travaille que sur des schémas 2D inconscients des attentes des autres. Ce manque de communication et de perspective commune entraîne des retards, des frictions et, dans de nombreux cas, des erreurs.

Les protocoles BIM du CIC au Royaume-Uni détaillent un «modèle de table de production et de livraison», plus communément appelé «matrice de responsabilité», pour clarifier quelles informations vont être produites à tout moment et par qui. En termes simples, vous attribuez un code LOD à chaque composant ou système du bâtiment à chaque étape progressive du projet afin que toute l'équipe sache à quoi s'attendre. Les codes de base diffèrent entre les conventions américaines et britanniques, ce qui ne fait que compliquer davantage le problème le tableau ci-dessous représente les différentes LOD:

UK convention	US convention	Description
LOD 1	LOD 100	Bref: un modèle communiquant les exigences de performance et les contraintes du site.
LOD 2		Les modèles de construction seraient uniquement des modèles de blocs. Concept: un modèle conceptuel ou de volume destiné à des études de bâtiments entiers, y compris les surfaces et les volumes de base, l'orientation, le coût par exemple. Pour un système HVAC, cela peut inclure des modèles de blocs des emplacements de la salle technique et des colonnes montantes de distribution.

CHAPITRE I: LES BUILDING INFORMATION MODELING

LOD 3	LOD 200	<p>par exemple. Pour un système HVAC, ce serait plus ce que l'architecte ci-dessus attendait: des parcours de conduits modélisés pour des itinéraires approximatifs, mais à une taille globale précise pour inclure les tailles potentielles maximales sans détail des brides ou rayons précis des coudes.</p> <p>Modèle «d'intention de conception» de production ou de pré-construction représentant la fin des étapes de conception. Les éléments modélisés sont précis et coordonnés, adaptés à l'estimation des coûts et aux contrôles de conformité réglementaire</p>
LOD 4	LOD 300	<p>Ce niveau de détail serait généralement un modèle adapté à la production de documents de construction traditionnels et de dessins d'atelier.</p> <p>par exemple. pour un système HVAC, c'est ce que l'ingénieur en structure espérait: des tailles et des emplacements précis des conduits.</p> <p>Installation: un modèle précis des exigences de construction et des composants spécifiques du bâtiment, y compris la géométrie et les données de sous-traitance spécialisée</p>
LOD 5	LOD 400	<p>Ce modèle serait considéré comme adapté à la fabrication et à l'assemblage. Les architectes ou ingénieurs produisent rarement des objets à ce niveau.</p> <p>par exemple. pour un système HVAC, les longueurs coupées des conduits, les fixations; un modèle CAM.</p>
LOD 6	LOD 500	<p>Un modèle «tel que construit» montrant le projet tel qu'il a été construit. Le modèle et les données associées conviennent pour la maintenance et l'exploitation de l'installation.</p>
LOD 7		<p>Modèle d'information sur les actifs utilisé pour les opérations continues, la maintenance et la surveillance des performances</p>

Tableau 01: les différentes LOD

Voir la figure (11) ci-dessous représente Illustration des différents LOD [24]

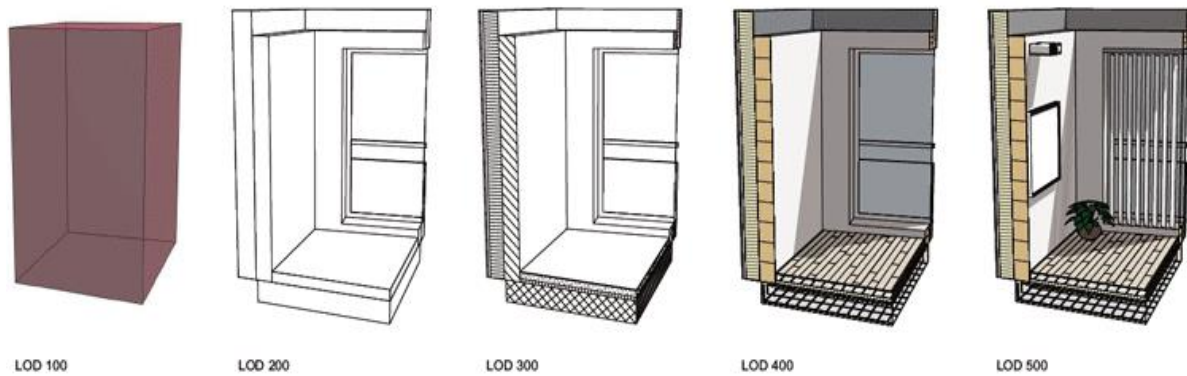


Figure 11: Illustration des différents LOD

Le problème avec un seul code LOD est que toutes les représentations graphiques des objets ne sont pas directement liées aux informations qu'elles doivent contenir. Il s'agit d'une simplification de l'intention qui ne permet pas les étapes de conception itératives lorsque la modélisation d'un objet visuellement précis peut en fait être contre productive et surcharger un modèle avec des détails inutiles. Prenons l'exemple simple d'une porte: alors que l'architecte peut préférer voir des détails visuellement corrects (y compris les panneaux de vision, les encastremets, les poignées et les charnières), rien de tout cela n'est nécessaire pour LOD 4/300, «un modèle adapté à la production de documents de construction traditionnels ».

Tout ce dont vous avez besoin est un emplacement, une largeur précise et deux rectangles reliés par une ligne et un arc pour indiquer la direction du swing. Sans aucun doute, pour être en mesure de produire des quantités précises et de planifier correctement les articles, ces données devront être incluses. Un système d'éclairage électrique n'a peut-être jamais besoin d'être modélisé au niveau LOD 4/300, car les emplacements des interrupteurs et des équipements peuvent être totalement symboliques; leurs données seraient tout sauf.

À l'inverse, à des stades antérieurs, il peut être essentiel de développer la géométrie à un niveau élevé de développement visuel afin, par exemple, de résoudre des détails complexes ou à des fins de détection de conflits alors que les performances ou la spécification exacte des objets sont encore mal connues. Peuvent être trouvés dans de nombreux endroits sur le Web.

Ce qui n'est pas spécifiquement indiqué, c'est la quantité de données non graphiques contenues dans l'un des composants ou systèmes. Dans les définitions de l'AIA et du Royaume-Uni, cela est implicite par les «utilisations autorisées» de chaque modèle LOD; les données contenues dans ou liées par un objet reflètent l'utilisation analytique.

Pour LOD 2/100, les attributs de base seraient inclus: coût par mètre (ou pied selon votre emplacement). En continuant avec l'exemple HVAC, LOD 3/200 verrait cela augmenté pour inclure les débits, les dimensions attendues qui s'étendent vers des données plus précises jusqu'à LOD 4 / 300. D'ici LOD 5/400, l'objet pourrait inclure ses matériaux constitutifs, un coût précis ou spécification de performance. LOD 6/500 aurait des calendriers de maintenance, une surveillance de la sécurité, etc.

Une meilleure approche à cet égard, et celle désignée dans un certain nombre d'exemples de plans d'exécution BIM du monde entier et les protocoles BIM AEC (Royaume-Uni), consiste à définir séparément les attributs graphiques et non graphiques.

Le codage des représentations graphiques, le niveau de détail, est assez simple. Les protocoles BIM AEC (UK) définissent l'apparence graphique comme:

Les protocoles BIM définissent l'apparence graphique comme suit:

G0 Symbolique. Pas à l'échelle, simplement une «suggestion» de l'endroit où l'objet existera. En termes de portes, il peut s'agir simplement d'un rectangle noir dans un mur 2D.

Espace réservé G1. Bien qu'il puisse être à l'échelle, l'objet peut ne pas représenter l'apparence du composant final. En termes de portes, il s'agirait d'un objet simple et uni sans cadres, panneaux de vision ou quincaillerie.

G2 Convient pour la construction. C'est là que vous fournirez une géométrie représentative du composant final. Il peut toujours ne pas inclure de matériel (car cela serait généralement spécifié séparément) mais pourrait être un objet téléchargé par le fabricant.

G3 Haute résolution, objet entièrement détaillé. Généralement utilisé uniquement pour la visualisation, ou en fait, la fabrication.

La représentation visuelle a toujours été comprise et est facile à regrouper en attentes de base (bien que les architectes insistent toujours sur les objets G3 alors que G1 servirait parfaitement). Une autre méthode consiste à spécifier le niveau de détail comme échelle de dessin associée à laquelle les graphiques seront présentés.

Il s'agit d'une approche beaucoup plus facile à comprendre, inhérente à la réflexion de nombreux designers. La différence entre une porte à 1: 100 et 1:20 est simple à visualiser. Le niveau de détail défini comme l'échelle du dessin laisse beaucoup moins de place à l'ambiguïté.

CHAPITRE I: LES BUILDING INFORMATION MODELING

Le niveau d'information est plus difficile à codifier car chaque projet peut être radicalement différent et variera considérablement selon les composants ou systèmes tout au long des étapes de travail. Comme indiqué dans le BIM Briefe du mois dernier, le moyen le plus précis de traiter les attributs qui seront inclus est de les lister dans un format tabulaire. Il devrait être assez facile d'identifier les informations qui seront nécessaires à tout moment, car il s'agirait des informations contractuelles que vous produirez normalement.

Cela ne signifie pas que les autres parties prenantes du projet BIM auraient besoin de ces données (aucun des ingénieurs ne se souciait jamais des panneaux de vision), mais cela aide à rationaliser dans votre esprit quelles informations vous devez fournir et quand. Lorsque vous vous préparez à la production BIM, n'oubliez pas que vous n'avez pas besoin d'inclure les données simplement parce que vous le pouvez; le plus souvent, il vaut mieux simplifier.

À tout moment, le niveau de définition - qui devient moins confusément appelé LOMD, niveau de définition du modèle au Royaume-Uni - de chaque composant ou système est totalement explicite et peut être aussi flexible que nécessaire.

Le niveau de définition du modèle est une combinaison de «niveau de détail» graphique et de «niveau d'information» non graphique.

La formule devrait maintenant être claire : $LOMD = LOD + LOI$. [20]

Voir la figure (12) ci-dessous représente LOD+LOI [26]

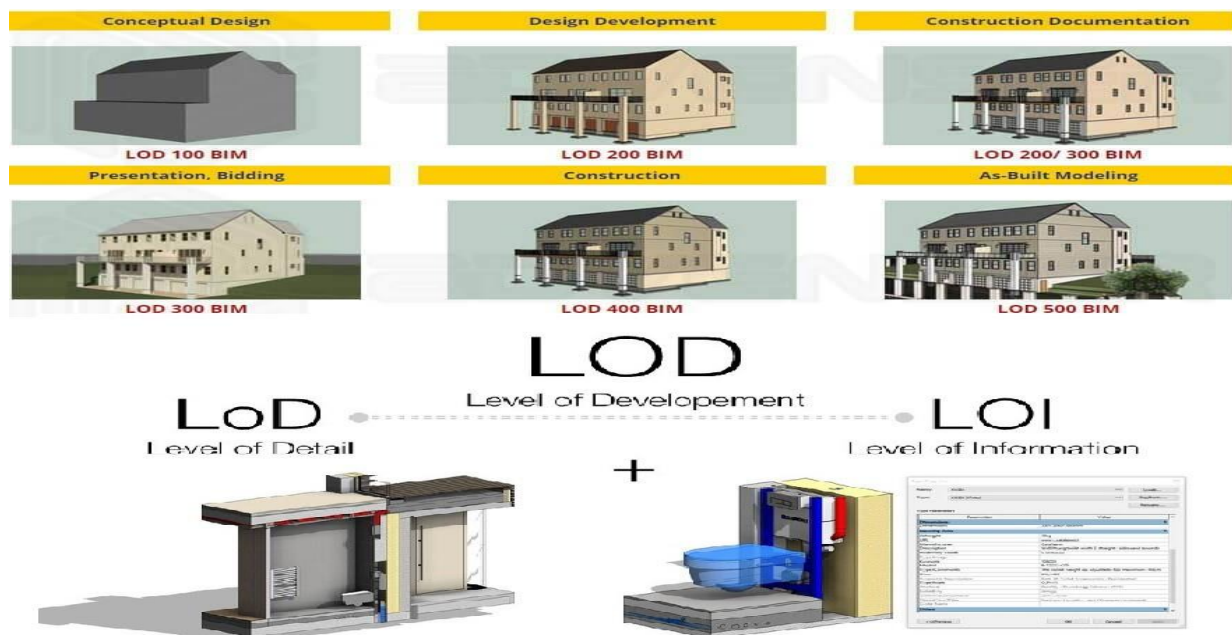


Figure 12 : LOD+LOI

I-9 Les dimensions du BIM :

Un modèle BIM peut être utilisé à des fins spécifiques prédéfinies, communément appelées cas d'utilisation. Selon les exigences de l'étape du projet et la complexité du projet, des paramètres spécifiques sont ajoutés aux informations existantes contenues dans le BIM. Ces ajouts de cas d'utilisation prédéfinis peuvent être décrits comme des dimensions BIM.

Ces dimensions améliorent les données associées à un modèle pour partager un plus grand niveau de compréhension d'un projet de construction.

À l'ère moderne, la technologie BIM a évolué des dimensions 3D et 4D de base vers des dimensions 5D, 6D et 7D plus sophistiquées qui sont sur le point de changer l'avenir de l'industrie AEC

Dimensions BIM – 3D, 4D, 5D, 6D et 7D, chacune a son propre objectif et utile pour savoir combien coûterait un projet, son calendrier, quand il serait achevé et dans quelle mesure il serait durable à l'avenir.

Voir la figure (13) ci-dessous représente Les dimensions BIM [21]

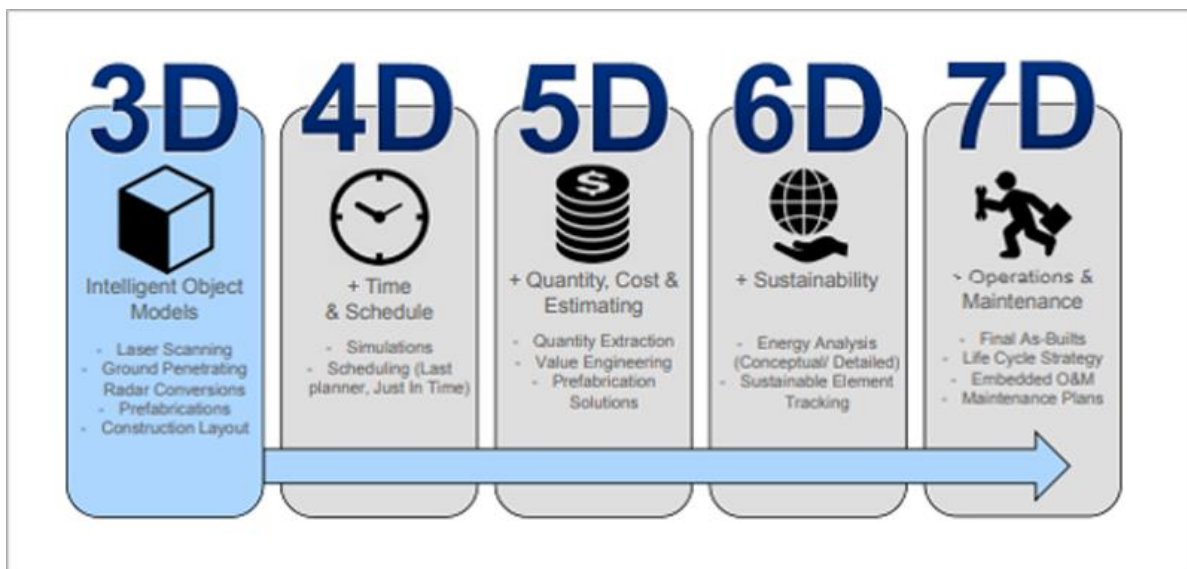


Figure 13: Les dimensions BIM

I-9-1 3D – BIM 3 dimensions : tout sur la géométrie :

La 3D, comme nous le savons tous, représente les trois dimensions géographiques (x, y, z) d'une structure de bâtiment. Les capacités géographiques aident les parties prenantes à visualiser la structure d'un bâtiment en 3 dimensions avant même le démarrage du projet.

Voir la figure (14) ci-dessous représente le BIM 3D [22]

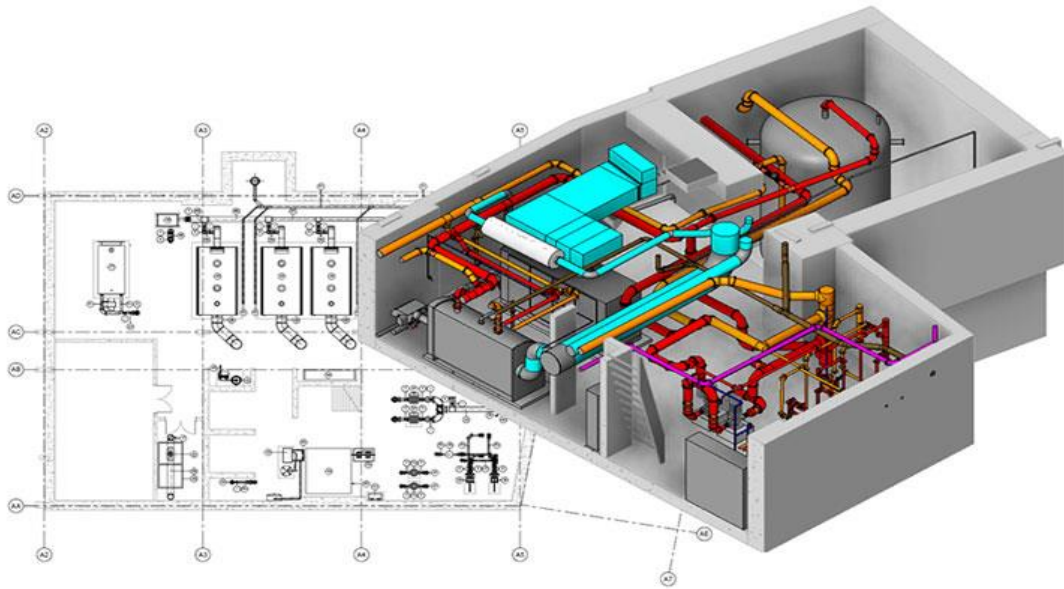


Figure 14 : BIM 3D

Le BIM 3D permet à toutes les parties prenantes de collaborer efficacement pour la modélisation et la résolution de problèmes structurels typiques. De plus, comme tout est stocké dans un emplacement central, c'est-à-dire le modèle BIM, il devient plus facile de résoudre les problèmes à un stade ultérieur.

I-9-1-1 Avantages du BIM 3D :

- Visualisation 3D améliorée de l'ensemble du projet
- Communication rationalisée et partage des attentes de conception
- Collaboration facile entre plusieurs équipes quel que soit leur domaine d'expertise
- Réduction du nombre de reprises et de révisions grâce à une transparence totale depuis le début.

I-9-2 4D – BIM 4 Dimensions: Durée, chronologie et planification :

4D est lié à la planification du chantier en ajoutant un nouvel élément à savoir le temps. Les données de planification aident à indiquer combien de temps sera impliqué dans l'achèvement du projet et comment le projet évoluera au fil du temps. Les informations peuvent fournir des précisions sur le temps nécessaire pour l'installation ou la construction, le temps nécessaire pour rendre le projet opérationnel, la séquence d'installation des divers composants, ainsi que d'autres informations de planification.

Voir la figure (15) ci-dessous représente le BIM 4D [23]

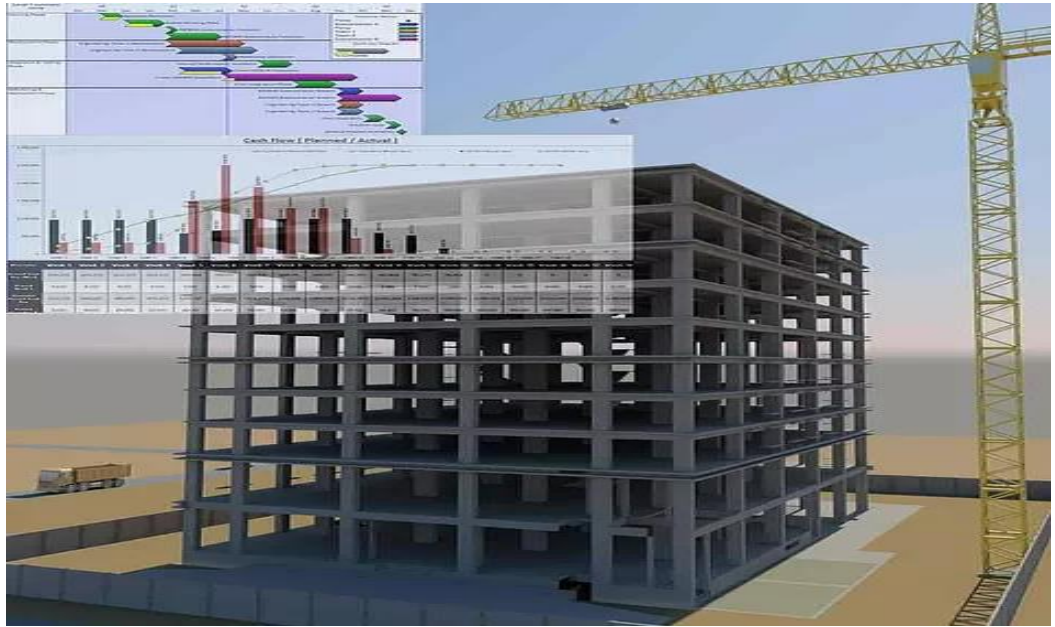


Figure 15: BIM 4D

I-9-2-1 Avantages du BIM 4D :

- Amélioration de la planification du site et de l'optimisation de la planification ;
- Coordination transparente entre les architectes, les entrepreneurs et les équipes sur site ;
- Une meilleure préparation en termes de prochaines étapes à chaque étape de construction ;
- Amélioration du partage d'informations liées aux attentes du calendrier, ce qui permet d'éviter des retards coûteux ;
- Amélioration de la sécurité et de l'efficacité grâce à la documentation d'un plan complet avec des échéances spécifiques.

I-9-3 5D – BIM 5ème dimension: Estimation des coûts, analyse et suivi budgétaire:

Le BIM 5D est utile dans les cas où une analyse budgétaire et une estimation des coûts sont nécessaires dès le début de tout projet. Il va sans dire que le coût est l'un des éléments les plus importants associés à un projet. 5D BIM permet aux promoteurs et propriétaires de projets d'analyser les coûts qui seront encourus au fil du temps dans les activités du projet.

Voir la figure (16) ci-dessous représente le BIM 5D [24]



Figure 16: BIM 5D

I-9-3-1 Avantages du BIM 5D

- Visualisation des coûts en temps réel avec notification des changements de coûts;
- Comptage automatique des composants / système / équipement associé à un projet;
- Analyse des coûts et analyse budgétaire simplifiées avec dépenses prévues et réelles au fil du temps;
- Minimisation des retombées budgétaires grâce aux rapports réguliers sur les coûts et à la budgétisation.

I-9-4 6D – BIM 6ème Dimension: Rendre une structure autosuffisante et économe en énergie

La modélisation des informations du bâtiment 6D permet d'analyser la consommation d'énergie d'un bâtiment et de produire des estimations énergétiques aux étapes de conception initiales. Prenant en compte les différentes étapes de vie d'une structure, 6D BIM assure une prédiction précise des besoins en consommation d'énergie.

La technologie 6D BIM pousse l'industrie un pas au-delà de l'approche conventionnelle qui se concentre uniquement sur les coûts initiaux associés à un projet. Cette approche permet de se faire une idée du coût total d'un actif et de la manière dont l'argent devrait être dépensé pour atteindre la durabilité et la rentabilité.

Voir la figure (17) ci-dessous représente le BIM 6D [25]

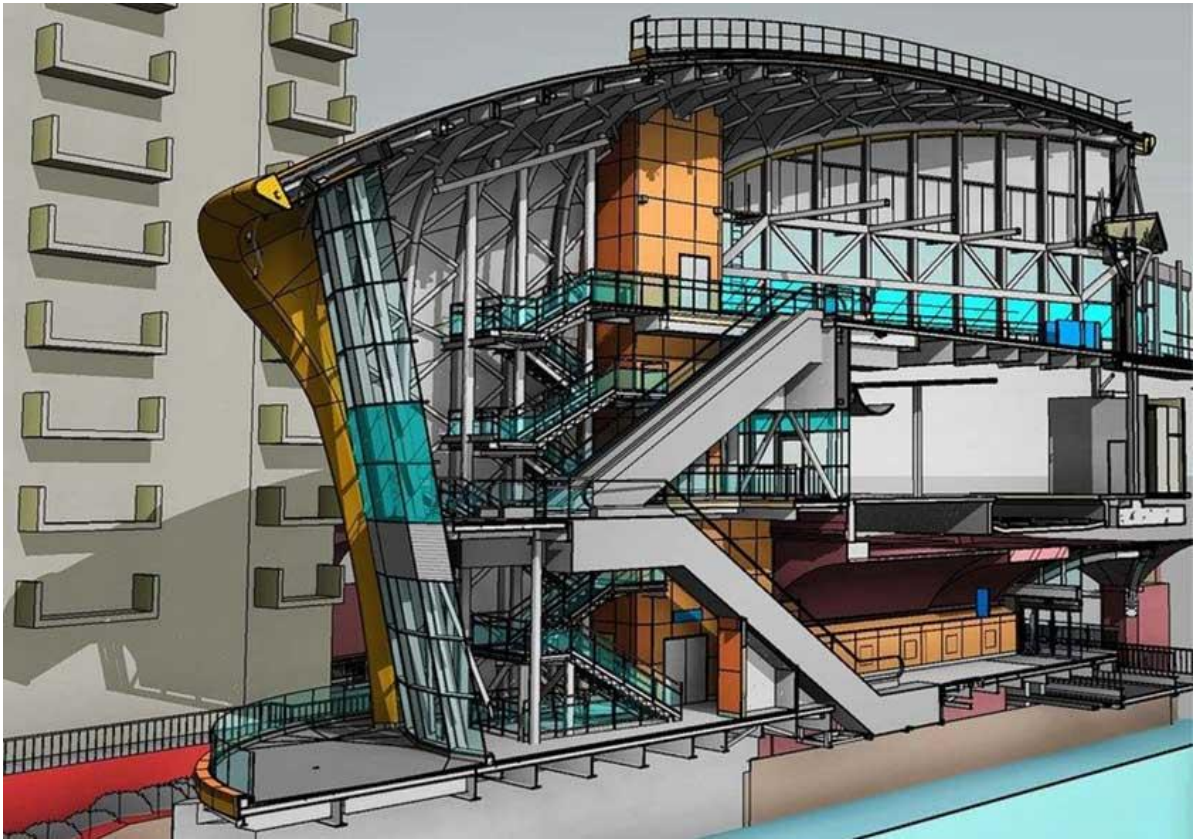


Figure 17: BIM 6D

I-9-4-1 Avantages du BIM 6D :

- Consommation d'énergie réduite à long terme;
- Prise de décision plus rapide et plus précise liée à l'installation des composants pendant le processus de conception;
- Analyse détaillée et impact d'une décision sur les aspects économiques et opérationnels sur l'ensemble du cycle de vie;
- Meilleure gestion opérationnelle du bâtiment ou de la structure après la remise.

I-9-5 7D – 7ème dimension du BIM:

Informations de gestion globale des installations pour l'ensemble du cycle de vie 7D BIM concernant les opérations et la gestion des installations par les gestionnaires et les propriétaires d'immeubles. La dimension est utilisée pour suivre les données importantes de l'actif telles que son état, les manuels de maintenance / d'exploitation, les informations de garantie, les spécifications techniques, etc., à utiliser ultérieurement.

7D BIM 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. Une telle tactique contribue à améliorer la qualité de la prestation de services pendant tout le cycle de vie d'un projet. L'utilisation du 7D BIM garantit que tout dans un projet reste dans son meilleur état du jour 1 au jour de la démolition d'une structure.

Voir la figure (18) ci-dessous représente le BIM 7D [23]



Figure 18 : BIM 7D

I-9-5-1 Avantages du BIM 7D :

- Gestion optimisée des actifs et des installations de la conception à la démolition;
- Remplacement simplifié et facile des pièces et réparations à tout moment pendant toute la durée de vie d'un bâtiment;
- Processus de maintenance simplifié pour les entrepreneurs et sous-traitants.

I-10 Avantage et inconvénient du processus BIM :

I-10-1 les avantages du BIM :

Les avantages de la conception BIM sont multiples, pour tous les intervenants et à toutes les étapes d'un projet. Le BIM change la façon de travailler des maîtres d'ouvrage, architectes, ingénieurs et entrepreneurs. Il leur permet de collaborer et d'ajouter des informations pertinentes très tôt dans le projet, lorsque les modifications n'ont pas encore de conséquences financières graves.

Grâce à la réalisation d'un prototype ou une représentation virtuelle de ce qui va être construit, le BIM permet à un bâtiment d'être construit, testé et analysé en temps réel avant même le premier coup de pioche.

Grâce au BIM, il est possible de réaliser des bâtiments qui consomment moins d'électricité, sont chauffés et climatisés plus efficacement, et protègent mieux leurs occupants.

Répartie en différentes catégories, voici la liste des principaux bénéfices liés à une conception BIM.

I-10-1-1 Avantages pour les maîtres d'ouvrage et les développeurs:

- Durant les études de faisabilité et la conception, l'extraction des quantités du modèle virtuel BIM permet de vérifier très tôt si un projet respectera les critères financiers et les délais de construction.
- Le modèle virtuel 3D aide à la vérification des critères fonctionnels et environnementaux d'un projet. Il en découle une amélioration de la qualité des bâtiments. Cela est primordial quand on sait que l'utilisation d'un bâtiment représente 80% du coût total d'un bâtiment, y compris sa construction.
- Une meilleure collaboration entre les intervenants permet une meilleure compréhension des critères du projet.
- Une estimation du coût en temps réel permet de vérifier immédiatement les incidences budgétaires des modifications de conception. [26]

I-10-1-2 Avantages pour les bureaux d'études, architectes et ingénieurs :

- Le modèle virtuel 3D conçu avec un logiciel BIM permet d'effectuer des visualisations précises à toutes les étapes du projet, et est automatiquement consistant dans toutes les vues.
- Le modèle composé d'objets paramétriques ne comporte pas d'erreur de géométrie, notamment suite à une modification.
- Les logiciels BIM permettent à tout instant de générer des plans 2D, consistants entre eux, qui reflètent parfaitement le modèle virtuel à cet instant.
- La collaboration entre les intervenants est facilitée grâce à l'utilisation d'un même modèle 3D, simultanément ou non.
- Le modèle virtuel BIM permet la vérification du respect des normes en vigueur et des critères du projet tant au niveau quantitatif que qualitatif.

- Les quantités et coûts de construction peuvent être extraits en temps réel, à tout moment durant la conception. Cela permet d'avoir un retour immédiat sur les conséquences budgétaires d'une modification ou d'une variante.
- Les analyses et simulations des performances énergétiques et environnementales d'un bâtiment peuvent être réalisées très tôt dans l'étude, ce qui fournit l'opportunité de corriger la conception au besoin.

I-10-1-3 Avantages lors de la construction et la fabrication, entrepreneurs et fabricants:

- Le modèle 3D est la source de tous les dessins, ce qui permet donc d'éliminer toutes inconsistances entre eux.
- Découverte des erreurs et omissions avant le début des travaux. Les modèles provenant de toutes les disciplines peuvent être assemblés et vérifiés pour les éventuelles interférences. Les conflits et autres problèmes de construction sont visualisés au stade des études et non sur le chantier.
- Grâce aux objets paramétriques du modèle virtuel, les modifications seront reportées en temps réel et leurs conséquences peuvent être visualisées.
- La conception et la construction peuvent être synchronisées grâce au 4D, qui ajoute la dimension temps au modèle virtuel 3D.
- Le modèle 3D permet l'extraction de tous les matériaux et ressources nécessaires à chaque étape du projet. Il est beaucoup plus facile de planifier les livraisons des matériaux et des équipements. Les commandes aux sous-traitants peuvent être effectuées avec plus de précision et en temps opportun.
- Le modèle 3D permet une plus grande précision de fabrication. [27]

I-10-1-4 Avantages post construction pour les propriétaires et la gestion de patrimoine

- Toutes les informations collectées durant la construction peuvent être insérées dans le modèle 3D et remises aux propriétaires.
- Le modèle 3D remis est une source d'informations indispensables pour la gestion et l'opération des installations, ainsi que lors des travaux d'entretien. [28]

-10-2 Les inconvénients du BIM :

Parmi les inconvénients du processus BIM :

1. Logiciel de modélisation: le logiciel BIM permettant de construire ou de modifier un modèle initial nécessite un investissement considérable, ainsi que des PC de plus en plus puissants pour traiter l'énorme quantité de données requise alors le lancement est donc compliqué ;

2. Formation et personnel: des investissements supplémentaires dans la formation et l'éducation sont toujours nécessaires, avec l'introduction de nouveaux logiciels dans une entreprise. Avec du personnel supplémentaire vient l'espace de bureau et la ressource de bureau ;

3. Confiance et coopération: la réussite d'un projet BIM est primordiale et un changement culturel doit avoir lieu dans l'industrie. La procédure habituelle d'appel d'offres, d'accord commercial et d'attribution de projet avec un contractant principal doit être gérée avec soin en fonction du temps et des attentes, de manière à ce qu'un projet BIM fonctionne comme il se doit.

Toutes les parties doivent être disposées à partager leurs connaissances et à investir, parfois même avant que le client leur attribue le projet.

4. Engagement du client : souvent, la spécification du projet ou le cadre d'approvisionnement exigera le BIM, uniquement pour trouver un utilisateur final / occupant du bâtiment qui ne voit pas ou ne comprend pas les avantages permanents de l'utilisation complète du modèle.

Le marché de l'architecture de l'ingénierie de la construction est en pleine mutation, car les entreprises qui souhaitent gagner plus de contrats, livrer des projets de grande qualité et concevoir des bâtiments et ouvrages plus performants doivent s'appuyer sur une méthodologie et un processus collaboratif et efficace qui a pour nom BIM.

I-11 Etat de l'art des l'utilisation des BIM :

Les nombreuses données scientifiques présentées ici révèlent donc que la plupart des concepts BIM utilisés en construction neuve par les grands groupes, sont actuellement hors de la portée d'artisans ou de micro-entreprises. Or ce profil d'acteurs et d'entreprises occupe une place essentielle dans le secteur du bâtiment et dans l'économie des états.

Il convient donc de travailler à une proposition BIM leur correspondant. Malgré les difficultés qu'il faudra surmonter, sa mise en œuvre progressive semble être une solution d'actualité et d'avenir pour

ce secteur dont la productivité mérite d'être améliorée. La mise en œuvre du BIM est un processus complexe ; les règles et les méthodes doivent être respectées pour que le succès soit au rendez-vous.

Comme pour tout projet industriel ou organisationnel, ce déploiement nécessite la mise en place et le suivi d'indicateurs, une approche managériale adaptée et l'établissement de processus pour la gestion de la documentation et des collaborations.

Les acteurs doivent être en mesure d'utiliser des outils supports, des ressources, de s'inspirer des échecs et réussites connus par la concurrence ou des domaines connexes, pour les guider vers de telles perspectives, l'état de l'art a révélé qu'un des outils les plus pertinents serait un Modèle de Maturité capable, idéalement, d'intégrer l'ensemble des leviers et FCS abordés (approche coopérative, LC, Approche Intégrée etc.). Les modèles disponibles à ce jour ne semblent ni répondre à de telles attentes ni suffisamment correspondre aux spécificités des petites entreprises engagées en rénovation.

Il convient donc, à présent, de combler ce vide en développant un MM spécifique et adapté.

Une connaissance encore plus fine du secteur de la rénovation s'avère également, en amont, indispensable (l'état de l'art ayant révélé qu'il était assez peu étudié ou de façon trop peu représentative).[29]

CHAPITRE II :
DE LA MAQUETTE
DAO 3D VERS LA
MAQUETTE BIM 4D

Introduction :

Toute information liée à la géométrie ou la localisation sera préparée à part sur un support différent (logiciel DAO) et dont l'espace de travail sera réservé pour une représentation géométrique dans les 06 directions connues (Haut, Bas, Gauche, Droit Avant arrière). La dimension du temps ne peut en aucun cas occuper un de ces directions vue qu'elle définit le lapsse entre deux événement (son concept est différent de la géométrie).

Le projet de cette façon peut être visualisée en 2D ou en 3D (sur plusieurs plans : Fouille, Ferrailage, coffrage, électricité,..) mais on ne peut pas savoir son état géométrique dans un Temps T sur le support géométrique, mais on peut décrire textuellement son état.

En autre terme on ne peut pas simuler les phases de constructions virtuellement sauf si on utilise des logiciels d'animation comme Cinéma 4D ou Blender. Mais cette animation qui offre un rendu visuel très attirant reste dans un cadre artistique que celui d'ingénieries.

On ne peut avoir une interactivité de conception ni d'analyse géométrique proprement dite. En plus le temps de réalisation de telles animations demeure assez important, les objectifs restent aussi dans un cadre représentatif.

Le problème se complique si on sait que tous ces documents doivent avoir une description détaillée pour chaque phase du projet, on dit que ces documents sont dynamiques.

Face à cette situation, les chefs de projets sont soumis à une pression mentale afin de mettre le lien entre toutes les pièces décrites au temps T convenable.

1-La visualisation 3D sur écran (2.5D) (DAO)

2-La visualisation 4D par les logiciels d'animation

3-La visualisation 4D par les logiciels BIM :

- a) - sur écran de PC (Conception, consultation et interactivité) VR
- b) - Sur écran de tablette (interactivité pour consultation) au chantier) VR
- c) - Sur écran de tablette (interactivité pour consultation) au chantier) AR
- d) Sur lunette AR
- e) Sur Lunette MR
- f) sur Lunette XR

II- 1- Objectif de recherche (BIM 4D) :

L'objectif de la recherche est de faire des recommandations pour améliorer la maîtrise des mégaprojets de construction en évaluant l'efficacité de la mise en œuvre de 4D BIM pendant la phase d'exécution du site lors de la comparaison des performances telles que construites et prévues lors des réunions d'avancement et de la planification de pré construction des tâches et des ressources.

L'objectif principal de cette recherche est de réduire le nombre de retards et d'augmenter les performances. L'objectif principal du présent projet est d'améliorer le contrôle des performances et l'évaluation des écarts grâce à l'utilisation de 4D BIM, en présentant les progrès et les plans de manière claire pour les décideurs. Le résultat attendu est de produire un cadre efficace pour évaluer la performance et la planification du projet avec 4D BIM. [30]

II-2- Relation entre BIM et DAO :

Le BIM, acronyme de Building Information Modelling est un ensemble de procédures dites collaboratives et suites logicielles développées pour la conception des bâtiments. Il remplace les traditionnels outils logiciels de Dessin Assisté par Ordinateur (DAO) et de Conception Assisté par Ordinateur (CAO) utilisés jusqu'à aujourd'hui par les architectes, ingénieurs et bureaux d'études œuvrant dans les secteurs de la construction. Dans le « BIM » on considère une maquette figurée en 3D. Cette maquette est l'assemblage d'objets ou constituants, paramétrables, pouvant être renseignés d'une infinité de spécifications sur leur nature, qualité ou propriétés (chimiques, mécaniques, de finitions, d'usure, de coût, de maintenance etc.).

Ces spécifications sont renseignées par l'ensemble des opérateurs collaborant à la définition de la maquette – architectes, ingénieurs, entreprises, clients, fournisseurs et par l'ensemble des informations issues et collectées depuis les bases de données disponibles sur le Big Data. L'actualisation des données et informations relatives à chacun des constituants de la maquette se fait de manière automatique et en temps réel. Le BIM bouscule la nature et l'organisation du travail dans les métiers de la construction.

Système collaboratif bénéficiant de la toujours plus grande rapidité, labilité et infinité des données connectées disponibles, il permet, aux dires de ses laudateurs, la plus grande conformation possible d'un modèle programmé au futur de sa réalisation.

La prévisibilité tant du design de ses composants que des coûts de revient et de maintenance pour l'entièreté de la durée de vie des assemblages, autoriserait la mesure et l'élimination de toute part de risque pourtant inhérente à toute entreprise. Ce développement cherche à comprendre les nouvelles organisations du travail dans les métiers de la construction induits par les nouvelles données économiques et les outils numériques de conception et de gestion des projets, lesquels commandent une redistribution des rôles qui avaient jusqu'alors prévalu. [31]

Voir la figure (19) ci-dessous représente la relation du DAO avec BIM [32]

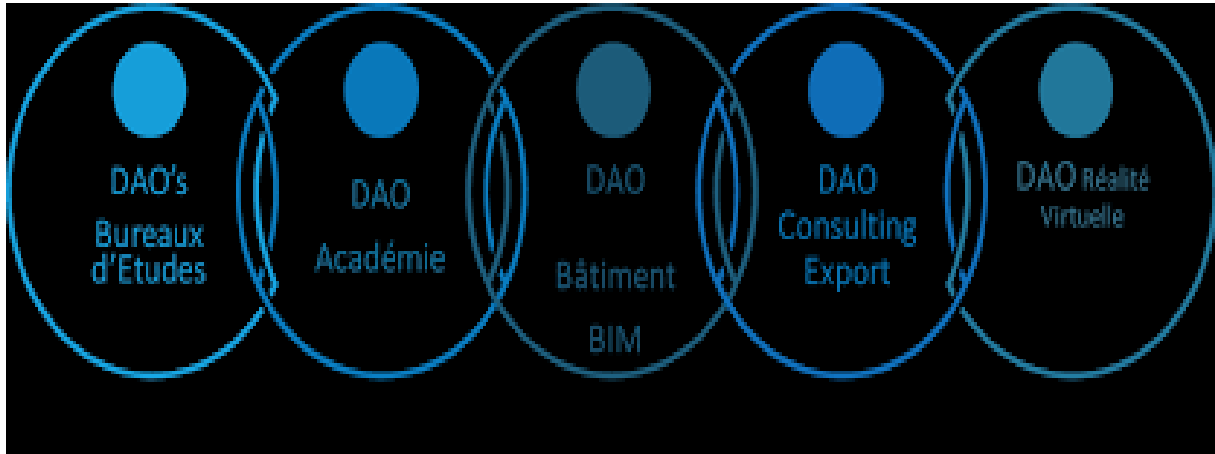


Figure 19 : relation du DAO avec BIM

II-3-Les Différences entre la CAO et le BIM:

Il a plusieurs différences qui sont:

II-3-1 Différences fondamentales

La CAO est plus ou moins une planche à dessin électronique offrant une représentation graphique du bâtiment. Le BIM représente une approche différente avec un modèle 3D paramétrique qui est une réplique virtuelle du bâtiment.

Ce modèle est intelligent dans le sens où il est composé d'éléments qui interagissent entre eux. Si par exemple un mur est déplacé, alors tous les éléments qui sont liés à ce mur (fenêtres, portes, dalles, etc) seront déplacés également. Comme il s'agit d'un seul modèle, les coupes et les vues sont toujours mises à jour automatiquement lors de modifications, évitant ainsi les erreurs.

Les éléments du modèle contiennent des informations (géométrie, matériaux, apparence, coût, qualités énergétiques, etc.) qui rendent possibles les analyses et les simulations. Le calcul automatique des quantités, des coûts de construction et la planification peuvent se faire en temps réel et sont toujours à jour avec le modèle paramétrique 3D.

II-3-2- Différences au niveau du temps dédié la conception initiale

Le BIM modifie la répartition entre les différentes phases de conception. Avec le BIM, la phase préliminaire ou schématique passe de 15% à 30%, la phase de conception détaillée elle augmente de 30% à 40%, la phase de documentation est réduite de moitié de 50% à 25%. Les 5% restants représentent la mise en soumission et ne changent guère entre la CAO et le BIM.

La phase schématique est doublée en raison des analyses et simulations effectuées à ce stade, qui ont tendance à améliorer la qualité finale du bâtiment, mais prennent plus de temps. Le temps passé à documenter le projet est diminué car il n'y a plus besoin de dessiner les plans à plusieurs reprises, ceux-ci étant toujours consistants avec le modèle 3D.

L'augmentation de la charge de travail initiale est parfois difficile à faire comprendre au Maître de l'ouvrage.

II-3-3-Différences au niveau des compétences des employés

La réalisation d'un modèle BIM, qui est une reproduction virtuelle du bâtiment, requiert des projecteurs ayant beaucoup d'expérience tant au niveau de la conception que de la construction. Il sera difficile pour un dessinateur CAO sans expérience de conception d'utiliser un logiciel BIM sans l'aide d'un projecteur expérimenté en raison du grand nombre d'informations devant être fournies dès la conception initiale.

II- 4- Les types de maquette numérique BIM :

II-4-1 Les maquettes numériques en architecture:

Elles contiennent deux éléments principaux pouvant être chacun livré en format ouvert « open » et interopérable (ex : format IFC) ou en format dit « propriétaires » (qui implique que toute la chaîne des acteurs devant utiliser cette maquette numérique dispose des mêmes logiciels) :

1. Une base de données comportant les caractéristiques de chaque composant technique du bâtiment (structure, mais aussi portes, faux plafonds, gaines, tuyaux, installations de chauffage, etc. Chaque « objet » de la base peut être renseigné pour son volume et sa forme et sa couleur, texture, solidité, résistance au feu, acoustique, etc. mais aussi pour sa marque,

CHAPITRE II : DE LA MAQUETTE DAO 3D VERS LA MAQUETTE BIM 4D

ses fonctions, sa consommation d'énergie, son bilan carbone ou son espérance de vie, son impact environnemental et sanitaire, et une fine sa représentation graphique ;

2. Une représentation graphique du bâtiment (2D ou 3D, animée ou non, générée à la demande et reflétant l'état d'avancement du projet, de sa réalisation ou de son exploitation. Rem : si elle est faite au moment d'une rénovation plutôt que lors de la construction, elle peut comporter des lacunes (relatives aux éléments non concernés par la rénovation...).

Voir la figure (20) ci-dessous représente la maquette numérique en architecture [39]

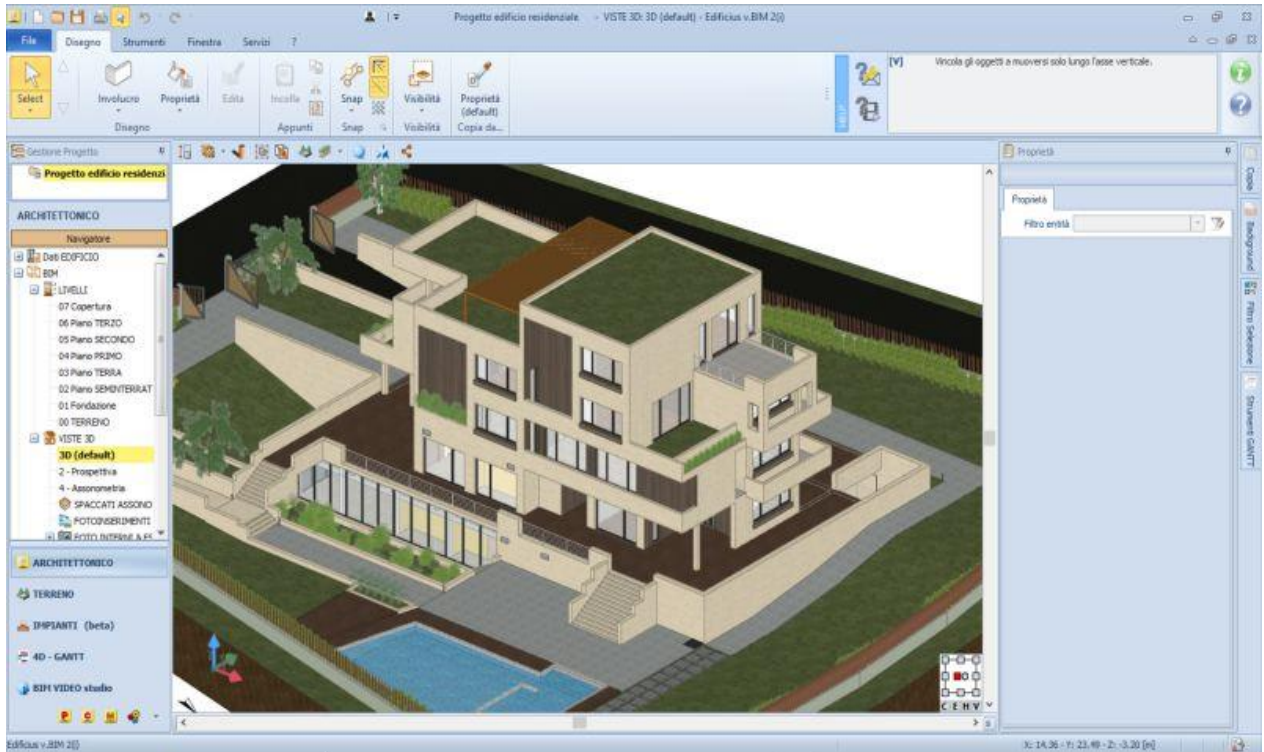


Figure 20 : La maquette numérique en architecture

II-4-2- Les maquettes numériques en urbanisme et planification urbaine

Elle peut intéresser tout le cycle de vie d'un projet et aider de nombreuses parties prenantes à faire leurs choix (investisseurs, locataires, propriétaires, promoteurs, concepteurs, constructeurs, exploitants, gérants et autres usagers).

Ces outils (ex : LandSim3D ,3D Turbo...) commencent à être utilisés, surtout pour de grands projets (ex : modélisation 3D du quartier de la Défense par et pour l'Epad et la Société CCS à l'aide d'un logiciel de modélisation 3D capable de fédérer et de recaler des sources d'information 3D hétérogènes (cadastre, IGN, collectivités, sociétés d'autoroute, entreprises de travaux publics, photogrammétrie aérienne, géomètres, DDE, etc.) dans un modèle 3D cohérent structuré par quartiers, avec une précision de 1 cm.

Voir la figure (20) ci-dessous représente la maquette numérique en urbanisme et planification urbaine [33]



Figure 21: maquette numérique en urbanisme et planification urbaine

II-5-Les étapes du cycle de vie de l'ouvrage :

II-5-1 Les effets du BIM sur les phases du cycle de vie d'un projet

Un projet de construction passe par plusieurs phases depuis le lancement du projet jusqu'à la démolition de l'ouvrage. Ces phases sont habituellement nommées les phases du cycle de vie d'un projet et incluent les activités pré-construction comme la planification, l'estimation des coûts ainsi que les activités post-construction comme l'occupation et l'entretien de l'ouvrage. Les phases du cycle de vie peuvent être délimitées de plusieurs façons

Les projets de construction passent par trois phases de cycle de vie majeures: Conception/Design (D), Construction (C) et Opérations (O). Ces phases sont également subdivisées en sous-phases qui sont ensuite elles-mêmes subdivisées en activités, sous-activités et tâches .Voir le tableau (02) ci-dessous représente les phases du cycle de vie d'un projet et sous-phases.

Phase Conception/Design	Phase Construction	Phase Opérations
D1: conceptualisation, planification et estimation des coûts	C1: planification construction et détail de construction	O1: occupation et opérations
D2: conception architecturale, structurelle et systèmes	C2: construction, fabrication et approvisionnement	O2: gestion du patrimoine et entretien ouvrage
D3: analyses, détails, coordination et spécification	C3: mise en service, tel que construit et remise de l'ouvrage	O3: mise hors service et changements d'affectation majeurs

Tableau 02: Phases du cycle de vie d'un projet et sous-phases

II-5-2 Phases et sous-phases du cycle de vie d'un projet:

Comme exemple de subdivisions supplémentaires, la phase Conception/Design (D) inclut les sous-phases conception Architecturale, Structurelle et des Systèmes (D1), qui comprennent une activité Conception Architecturale (D1.1) qui inclut une sous-activité Conceptualisation (D1.1a) qui finalement comprend une tâche de Modélisation 3D. L'utilité de toutes ces divisions n'est pas évidente dans cette leçon, rappelez-vous simplement que le déploiement du BIM va affecter les projets de construction au niveau des Phases et des Tâches et tout ce qui se trouve entre deux. Pour le moment nous allons nous concentrer sur les effets du BIM sur les Phases et nous discuterons les effets du BIM sur les subdivisions du cycle de vie plus tard.

II-5-2-1 BIM Phase 1: Modélisation basée Objets

Comme rappel, la mise en place du BIM débute avec le déploiement d'un logiciel paramétrique 3D basé sur des objets similaires à ArchiCAD®, Revit®, Digital Project® et Tekla®. Lors de Phase 1, les utilisateurs génèrent des modèles pour une discipline unique que ce soit pour la conception/design (D), construction (C) ou opérations (O) - les trois phases du cycle de vie d'un projet. Ces modèles - comme les modèles de conception architecturale (D) ou de fabrications de conduites (C) - sont premièrement utilisés pour automatiser la production et la coordination de documents 2D et de visualisations 3D. Les autres livrables des modèles de la Phase 1 comprennent des données basiques d'exportation (par exemple : nomenclature de portes, quantités de béton, coûts, etc...) et des modèles

3D allégés (par exemple. DWF 3D, PDF 3D, NWD, etc...) qui n'ont pas d'attribut paramétrique modifiable. Toutefois, la nature sémantique des modèles basés objets et leur « demande » pour une résolution détaillée précoce de la conception et la construction encouragent l'accélération des phases de cycle de vie d'un projet. (Fig22) [41]

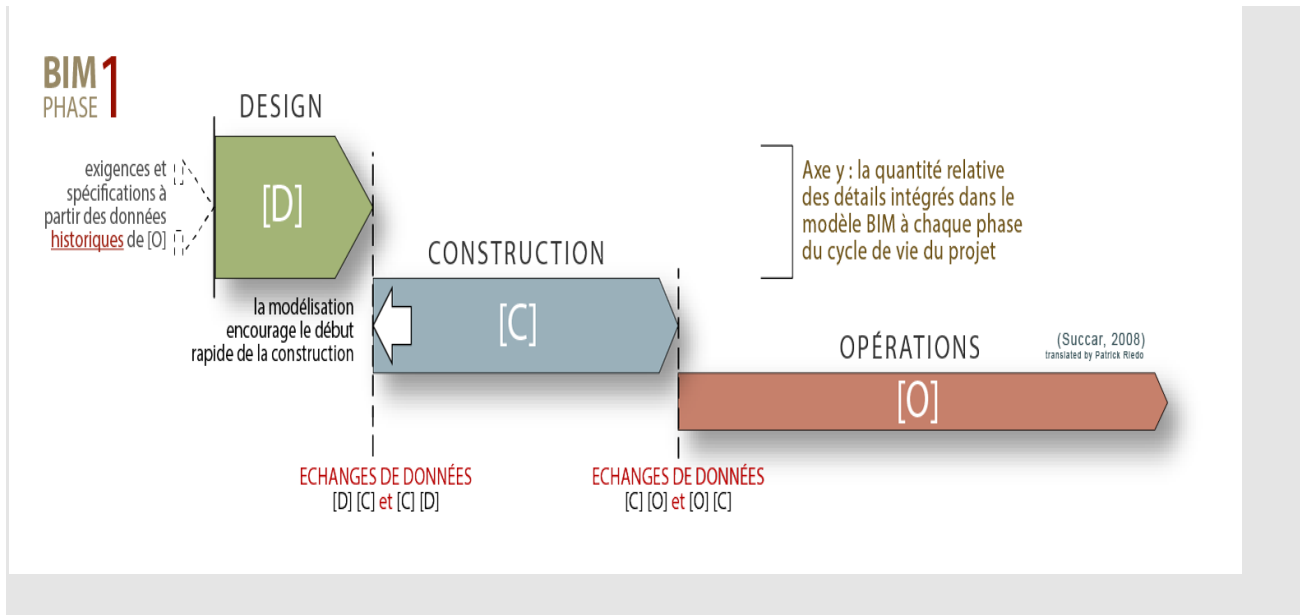


Figure 22: Phases du cycle de vie d'un projet durant la Phases BIM 1-modèle linéaire

La Figure 22 ci-dessus décrit comment la modélisation basée objets encourage l'accélération du cycle de vie : lorsqu'un projet est exécuté par phase et que les activités de conception et de construction se chevauchent afin de gagner du temps. Après avoir achevé la maturité dans la Phase BIM 1, les acteurs BIM vont se rendre compte des avantages à rencontrer les autres acteurs de la conception et de la construction avec des capacités de modélisation similaires. Cette reconnaissance et les actions qui vont s'en suivre vont les conduire à la Phase BIM 2, la collaboration basée modèle. [34]

II-5-2-2 BIM Phase 2: Collaboration basée modèle

Ayant développé une expérience dans la modélisation pour une discipline unique lors du déploiement de la Phase BIM 1, les acteurs de la Phase BIM 2 collaborent activement avec les acteurs des autres disciplines. Cela peut se produire de plusieurs façons, du point de vue technologique, selon la sélection des logiciels BIM de chaque acteur. La collaboration basée modèle peut se produire à l'intérieur d'une phase ou entre deux phases du cycle de vie d'un projet.

Un exemple de cela est l'échange de modèles architecturaux et structurels (DD), l'échange Conception Construction de modèles structurels et de fabrications (DC) et l'échange Conception-Opérations de modèles architecturaux et de gestion du patrimoine (DO). La maturité BIM Phase 2 modifie la granulométrie de la modélisation effectuée à chaque phase du cycle de vie du projet car

des modèles de construction très détaillés sont produits et remplacent (partiellement ou entièrement) les modèles de conception moins détaillés (Fig. 23). [43]

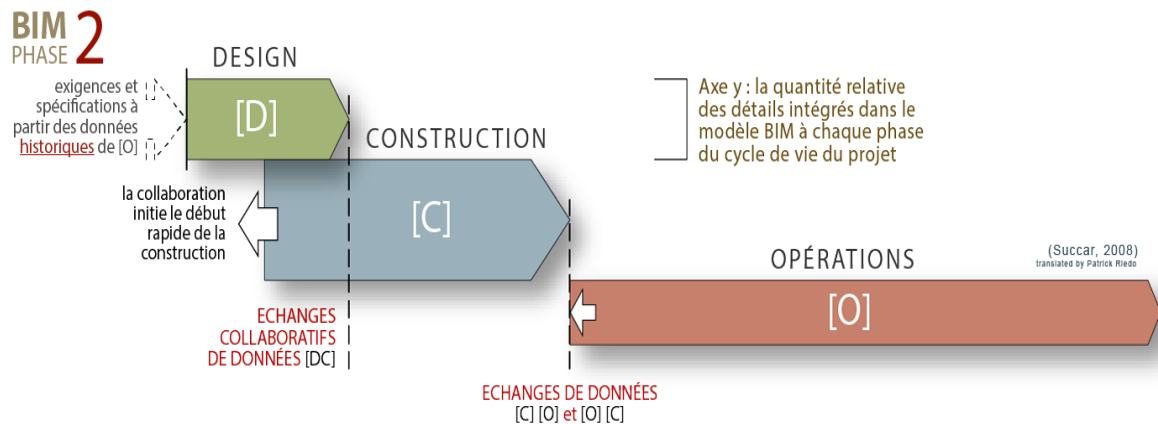


Figure 23. Phases du cycle de vie d'un projet durant la Phases BIM 2 – modèle linéaire

La figure 23 ci-dessus décrit la collaboration basée modèle comme un facteur de l'instigation de l'accélération et du changement relatif de l'intensité de la modélisation durant chaque phase du cycle de vie. Le chevauchement présenté dépend des acteurs de la construction fournissant de plus en plus des services de conception dans leur offre durant la Phase 2 et des acteurs de la conception fournissant de plus en plus d'informations de construction et de fourniture dans leurs modèles de conception. Aussi, des changements dans la richesse sémantique au travers des phases du cycle de vie se produisent car les modèles détaillés de construction et de fabrication (par exemple : acier et conduites) remplacent partiellement les modèles structurels et mécaniques précédents. [35]

II-5-2-3 BIM Phase 3: Intégration basée réseau

Dans cette phase les modèles intégrés sémantiquement riches sont créés, partagés et maintenus en collaboration et ce dans toutes les phases du cycle de vie du projet. Cette intégration peut être atteinte grâce aux technologies de serveur modèle (en utilisant des formats propriétaires, open ou non propriétaires), des bases de données uniques / intégrées / distribuées / fédérées et/ou des solutions SaaS (Software as a Service).

Du point de vue processus, des échanges synchrones de modèles et de données basées sur des documents ont pour conséquence un chevauchement extensif des phases du cycle de vie, qui finissent par former un processus sans phase.

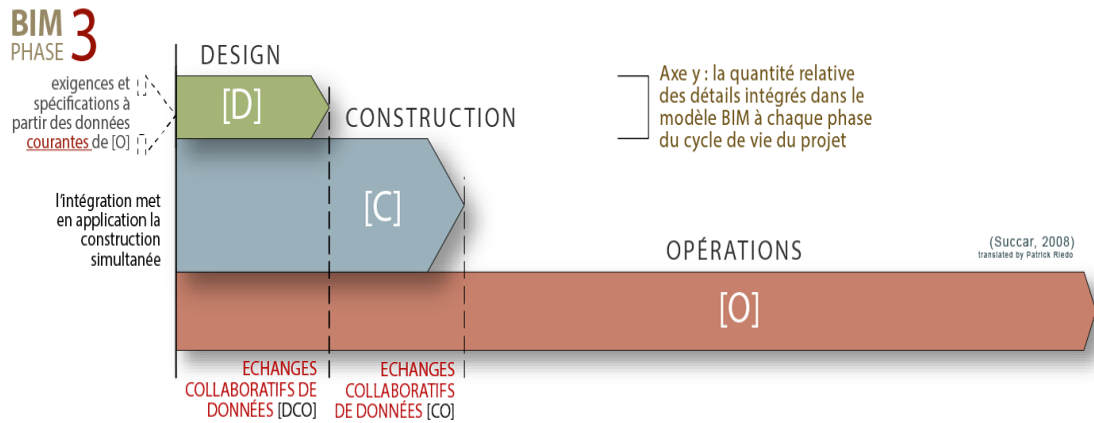


Figure 24. Phases du cycle de vie d'un projet durant la Phases BIM 3 – modèle linéaire

La Figure 24 ci-dessus décrit comment l'intégration basée réseau a pour conséquence la construction simultanée : un terme utilisé lorsque toutes les activités du projet sont intégrées et tous les aspects de la conception, construction, opérations sont planifiées simultanément afin de maximiser la valeur des fonctions objectives tout en optimisant la constructibilité, l'opérabilité et la sécurité. [36]

En résumé, la modélisation basée objet va tout d'abord rendre plus floues les lignes séparant les différentes phases du cycle de vie d'un projet. A mesure que la collaboration basée modèle s'intensifie, les acteurs commencent à se rendre dans des territoires occupés par d'autres. Finalement, lorsque l'intégration basée réseau devient la norme, la conception, la construction et l'opération se chevauchent de manière extensive, voire totalement.

Voir la figure (25) ci-dessous représente le cycle de vie d'une construction. [37]



Figure 25: cycle de vie d'une construction

II-5-3 Phases de conception et de construction

II-5-3-1 Le gestionnaire

Dans le cycle de vie d'un bâtiment, nous devons raisonner en coût global en intégrant l'entretien, la maintenance et l'exploitation de l'édifice. En effet, le coût de ces trois étapes représente 75 % de son coût global. Il est donc important de pouvoir intégrer le gestionnaire au plus tôt, afin que ses besoins soient pris en compte et pour qu'il puisse mieux anticiper et maîtriser les coûts.

C'est notamment pour ces raisons que nous avons vu ces dernières années une légère augmentation des contrats CREM (Conception Réalisation Exploitation Maintenance).

II-5-3-2 La maîtrise d'œuvre et la maîtrise d'ouvrage

En conception, la maîtrise d'ouvrage peut mieux s'approprier le projet grâce aux visuels générés par la maquette. La communication avec des non-professionnels (citoyens, usagers, etc.) est ainsi facilitée. Les échanges avec la maîtrise d'œuvre sont également plus aisés dès l'étude de faisabilité, car il est possible d'avoir rapidement de la 3D.

La maîtrise d'œuvre peut intégrer et simuler plus rapidement et plus facilement différents scénarios afin de répondre aux exigences du programme et aux contraintes techniques.

De plus, dès la phase de conception, la maîtrise d'œuvre prend en compte et intègre les besoins en exploitation de la maîtrise d'ouvrage dans les maquettes. Cela se passe notamment au moment de la consultation des entreprises qui peuvent anticiper les besoins en maquette numérique qu'elles auront en phase d'exécution.

En phase de construction, les processus administratifs et financiers sont optimisés grâce à la structuration de l'information et à l'attribution des tâches.

Les erreurs sur chantier sont également anticipées, car les entreprises disposent de maquettes sans « collisions ». Cela diminue les réserves, sans pour autant les faire disparaître totalement, car nous ne sommes pas non plus des machines sur le chantier.

II-5-4 Phase d'exploitation et de maintenance

En phase d'exploitation, la maquette numérique permet de pouvoir faire des actions plus aisément qu'en 2D ou que sur papier, comme :

- Recenser et situer les locaux et les bâtiments ;
- Identifier et repérer les équipements par vendeurs, marques, types, tailles, etc.

- Identifier les surfaces et métrés ;
- Faciliter la gestion et les fréquences de maintenance ;
- Fournir des bases statistiques pour l'analyse des coûts ;
- Assurer la disponibilité des plans ;
- Faciliter les échanges informatiques : web, intranet, extranet ;
- Réduire les coûts de maintenance. [38]

Voir la figure (26) ci-dessous représente les phases et intervenants d'un projet [48]

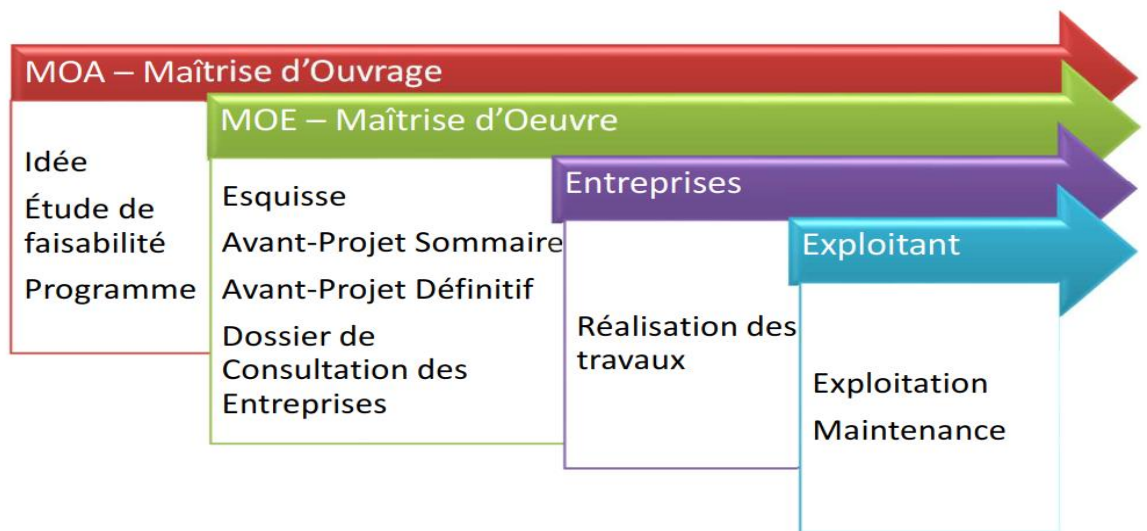


Figure 26 : Phases et intervenants d'un projet

II-6 système visuelle utilisé : VR, AR, XR, ER

La réalité virtuelle (RV) est une technologie d'environnement tridimensionnelle, qui intègre plusieurs technologies pour générer un environnement de perception tridimensionnel réaliste en impliquant des récepteurs sensoriels tels que la vue, l'ouïe, le toucher, etc. La technologie «Building Information Modeling » (BIM) consiste à établir une base de données d'informations sur les modèles couvrant l'ensemble des étapes du cycle de vie des bâtiments.

Elle facilite ainsi l'intégration et le partage d'informations «à jour ». Ces données contenues dans la maquette numérique sont destinées à l'ensemble des professions impliquées dans le projet (de l'architecte au plus petit artisan).

En bref, la technologie BIM se concentre principalement sur la façon d'intégrer et de partager des données dans divers domaines, et la technologie de la RV vise à restituer (par exemple sous forme visuelle) ces données complexes. Dans ce contexte, notre étude s'intéresse au passage du DOE

CHAPITRE II : DE LA MAQUETTE DAO 3D VERS LA MAQUETTE BIM 4D

(Dossier des Ouvrages Exécutés) Numérique, établi en toute fin de projet de construction au Facility Management (ou maintenance et gestion des installations).

Nous étudierons pour cela le rôle que la réalité virtuelle peut jouer dans ce passage. Mots clés : Réalité virtuelle (RV), Interaction, Building Information Modeling (BIM), Facility Management, maintenance.

Voir la figure (27) ci-dessous représente la réalité virtuelle. [49]

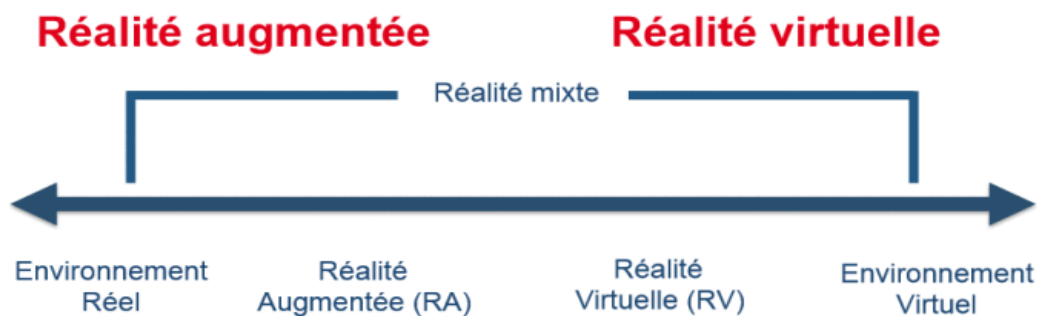


Figure 27: la réalité virtuelle

Définition de quelques termes :

- L'environnement virtuel est un ensemble de données numériques cohérentes formant

Un univers en interaction et en évolution avec lui-même. La réalité virtuelle (RV) joue un rôle primordial dans la simulation d'interactions 3D avancées entre l'homme et l'ordinateur.

- La virtualité augmentée (VA) mélange le réel et le virtuel. Elle caractérise des modifications du monde virtuel engendrées par des événements réels.

Par exemple, le capteur Kinect met en œuvre de la virtualité augmentée : Le joueur contrôle un avatar virtuel grâce à la capture des mouvements réels de son corps à l'aide d'une caméra.

La réalité augmentée (RA) mélange également réel et virtuel. Mais le rôle des composants virtuels qui apparaissent de manière contextuelle dans notre réalité est d'augmenter sa compréhension. On rencontre différents degrés d'augmentation:

- celle de type 1D qui consiste à compléter la réalité d'une information métrique ou paramétrique ponctuelle et unidimensionnelle : Par exemple la température ambiante donnée par un thermomètre.
- Il y a l'augmentation 2D telle qu'elle apparaît dans [Navab et al, 1999], c'est-à-dire que les informations sont bidimensionnelles.

CHAPITRE II : DE LA MAQUETTE DAO 3D VERS LA MAQUETTE BIM 4D

- Il y a enfin des augmentations 3D et 4D, auxquelles nous nous attacherons. On relève par ailleurs le concept de réalité diminuée qui en découle : Il s'agit par exemple de cacher un objet par traitement d'image temps réel.

- La réalité mixte (RM) englobe les interactions entre un environnement réel et un environnement virtuel.

Est la fusion de mondes réels et virtuels pour produire de nouveaux environnements et visualisations, où les objets physiques et numériques coexistent et interagissent en temps réel. La réalité mixte ne se déroule pas exclusivement dans le monde physique ou virtuel, mais est un hybride de réalité virtuelle, englobant à la fois la réalité augmentée et la virtualité augmentée par le biais de la technologie immersive.

Le premier système de réalité mixte immersif offrant une vue, un son et un toucher enveloppants a été la plateforme Virtual Fixtures, développée en 1992 aux laboratoires Armstrong de l'armée de l'air américaine. Le projet a démontré que la performance humaine pouvait être considérablement amplifiée, en superposant des objets virtuels enregistrés dans l'espace à la vue directe d'une personne sur un environnement physique réel.

Voir la figure (28) ci-dessous représente Architecture des système VR pour les BIM.(comment fonctionne) [39]



Figure 28: Architecture des système VR pour les BIM.(comment fonctionne)

II-6-1 Réalité augmentée :

La réalité augmentée, elle, enrichit le réel avec des éléments virtuels. On peut la voir comme une lentille à travers laquelle on regarde une version « augmentée » de la réalité, avec des informations en surimpression, jusqu'à des objets 3D imaginaires qui viennent s'intégrer dans une pièce.

CHAPITRE II : DE LA MAQUETTE DAO 3D VERS LA MAQUETTE BIM 4D

On peut considérer le simple affichage tête haute d'une voiture comme une forme de réalité augmentée.

L'expérience des Google Glass, qui diffusaient des informations visibles dans un coin de l'œil, était un autre exemple : afficher une carte Google Maps et des indications sur la direction à prendre tout en marchant, sans avoir à regarder son Smartphone.

Voir la figure (29) ci-dessous représente la réalité augmentée. [40]



Figure 29: réalité augmentée

Voir la figure (30) ci-dessous représente la réalité virtuelle augmentée pour organiser les chantiers. [40]



Figure 30: réalité virtuelle augmentée pour organiser les chantiers

Voir la figure (31) ci-dessous représente réalité virtuelle augmentée sur site [40]



Figure 31:réalité virtuelle augmentée sur site

Le concept de réalité augmentée a une vingtaine d'années. Il repose sur un complément artificiel d'informations contextuelles permettant à un utilisateur d'appréhender l'environnement qui l'entoure. Aujourd'hui, on considère que l'ensemble des cinq sens humains peuvent être sollicités :

- la vision via l'insertion d'éléments virtuels dans un flux vidéo réel
- le toucher via les périphériques haptiques et les dispositifs à retour d'effort
- L'ouïe, le goût et l'odorat peuvent théoriquement être sollicités ; dans la pratique il y a très peu de développement technologique en ce sens.

Le terme de « réalité augmentée » existe depuis 1992 et découle des recherches menées dans le domaine de la réalité virtuelle. Le support technologique n'était, à l'époque, pas prêt. C'est la raison pour laquelle le concept n'a bonne presse que depuis récemment.

La démocratisation de la réalité augmentée a été rendue possible grâce à la publication.

II-6-2 Réalité mixte:

La réalité mixte couvre le domaine compris entre le réel et le virtuel. Il faut donc transposer les méthodes et adapter les modes

D'interaction à des paradigmes de représentation nouveaux. Les outils matériels et logiciels devront garantir une expérience interactive en temps réel.

II-6-2-1-1 Le bénéfice de la réalité mixte dans le secteur de la construction :

La réalité mixte offre aux ouvriers un alignement précis des données holographiques sur site par le biais d'un dispositif installé sur leur casque. De cette manière, les ouvriers peuvent visualiser leurs modèles dans l'environnement physique, ce qui améliore la collaboration et la coordination du projet.

Des paramètres visuels prédéfinis facilitent l'utilisation sur site en offrant aux utilisateurs un accès simple et rapide à une visualisation immersive des données 3D. Les ouvriers peuvent ainsi tirer parti des avantages de la réalité mixte en comparant les plans aux travaux déjà réalisés. La visualisation avancée développe la possibilité de visualiser les tâches à réaliser et de capturer des données à l'aide d'outils de mesure sur site, ce qui réduit le risque d'erreurs humaines et qui rend les projets beaucoup plus efficaces.

II-6-2-1-2 Utilité de la réalité mixte dans le secteur de la construction :

Bien que la réalité mixte puisse sembler relativement récente dans le secteur de la construction, de nombreuses entreprises ont déjà adopté cette technologie désormais disponible sur le marché.

Voir la figure (32) ci-dessous représente la réalité mixte dans le secteur de la construction [40]



Figure 32 : réalité mixte dans le secteur de la construction

II-6-3 Réalité étendue

La réalité étendue désigne à la fois la réalité virtuelle, la réalité augmentée et la réalité mixte grâce à la réalité virtuelle et à un casque VR, l'utilisateur a la possibilité de visualiser la modélisation

numérique 3D d'un bâtiment en grandeur réelle depuis toutes les directions possibles et de s'y déplacer librement.

L'immersion est totale, puisque, muni de ce casque, l'utilisateur ne voit plus le monde physique qui l'entoure et qu'il est complètement immergé dans le modèle numérique. Les partenaires d'un projet bénéficient dès lors d'une meilleure vue d'ensemble du bâtiment et peuvent détecter d'éventuels problèmes avant même le début des travaux, ce qui représente évidemment un gain de temps considérable. Contrairement à la réalité virtuelle, la réalité augmentée permet toujours de voir le monde réel, mais celui-ci comporte des informations supplémentaires visibles au travers d'un casque ou sur une tablette ou un smartphone.

Ces informations peuvent être liées ou non aux endroits correspondants dans le monde physique. Il s'agit généralement d'informations relativement simples telles que des chiffres, des textes, des symboles, des dessins 2D, des schémas ou des photos. En revanche, il n'y a pas d'interaction tridimensionnelle avec le monde physique. Les informations apparaissent comme si l'on avait appliqué une couche sur le monde réel. Dans la réalité mixte, le monde physique est complété par des modèles 3D virtuels visibles à l'aide d'un casque ou d'un smartphone. Ces modèles occupent leur emplacement exact et à la bonne échelle, et ils interagissent avec le monde réel (il est possible de dissimuler des éléments du modèle virtuel derrière des objets physiques, par exemple).

II-7 Architecture des systèmes VR pour les BIM :

II-7-1 Architecture VR :

II-7-1-1 les possibilités offertes par la réalité virtuelle:

Les casques de réalité virtuelle comme l'Oculus Rift et le HTC Vive transforment la façon dont les architectes réalisent leurs designs et communiquent avec leurs clients. Ces appareils permettent au porteur de visualiser l'environnement en trois dimensions avec une échelle, une profondeur et une notion d'espace réaliste. Ainsi, alors que la plupart des clients ne peuvent visualiser les dimensions ou les relations spatiales d'un bâtiment sur un modèle 2D ou 3D, la VR leur permet de comprendre immédiatement à quoi ressemblera le projet une fois achevé.

De l'évaluation des possibilités de design à la présentation au client, en passant par la correction des erreurs et la planification de la construction, la réalité voit l'impact de la lumière pendant les différentes périodes de la journée, la vue depuis l'étage supérieur il s'agit de la seule technologie permettant de réellement visualiser un bâtiment de l'intérieur. Elle peut jouer un rôle à toutes les étapes de l'architecture.

II-7-1-2 Les meilleurs logiciels d'architecture en réalité virtuelle :

Traditionnellement, les environnements architecturaux et les projets de construction en VR étaient créés à l'aide de puissantes plateformes de développement professionnelles comme WorldViz Vizard ou Virtualis Visionary Render. Maintenant que la VR s'est démocratisée, les moteurs 3D utilisés par les développeurs de jeux vidéo offrent une alternative peu coûteuse pour l'architecture VR. Il est notamment possible d'utiliser Unreal Engine. Le développeur logiciel UE4Arch propose d'ailleurs différents modèles et matériaux spécialement conçus pour Unreal, tels que des lits, des tables et des chaises.

De même, Autodesk Stingray est un moteur de jeu relativement récent développé à partir du moteur BitSquid, acquis par Autodesk en 2014. Directement lié à Autodesk 3ds Max, le logiciel conviendra donc aux spécialistes de la visualisation de design habitués à la modélisation 3D, et aux logiciels de rendering et d'animation..

La startup new-yorkaise Iris VR s'en est notamment servie pour adapter le moteur à son outil logiciel Prospect permettant aux architectes d'utiliser SketchUp, Revit et d'autres modèles BIM dans un environnement VR.

D'autres développeurs de logiciels créent des outils permettant le rendu de panoramas en VR. Contrairement aux outils, permettant de générer des modèles 3D optimisés pour la VR en temps réel, les panoramas VR se présentent comme de simples images panoramiques à 360 degrés. L'angle de vue de l'utilisateur est statique, mais la stéréoscopie permet néanmoins de profiter d'une notion de profondeur.

II-7-1-3 Des BIM à la VR :

La plupart des modèles créés à l'aide de logiciels CAD (computer-aided design) ou BIM (building information modeling) présentent des informations géométriques extrêmement détaillées qui ne sont pas nécessaires dans la VR. De même, les logiciels VR interactifs nécessitent des performances élevées. Par conséquent, il est nécessaire d'optimiser les modèles lorsqu'un modèle BIM est transposé vers un environnement VR.

Il peut être judicieux de faire appel à un consultant VR pour effectuer des tâches comme la simplification géométrique, l'ajout de lumière ou le comble des écarts. Une fois que le modèle est transposé dans la VR, des éléments comme les matériaux, l'éclairage ou le mobilier sont ajoutés pour rendre l'expérience plus réelle. La startup ARQRV, basée à Barcelone, va jusqu'à ajouter des petits objets décoratifs tels que des tableaux, des livres, des logos ou des plantes.

Grâce à la programmation, il est possible de rendre l'expérience plus interactive, en permettant aux clients d'expérimenter différentes options de design, de matériaux ou d'éclairage. Ainsi, les architectes peuvent alterner entre différents schémas de design sans sortir de la réalité virtuelle. Par exemple, l'utilisateur peut alterner entre différents meubles ou rendre les murs transparents pour visualiser l'intérieur.

Créer des expériences VR interactives et réalistes nécessite un savoir-faire, et c'est la raison pour laquelle les cabinets d'architectes font généralement appel à des prestataires extérieurs ou emploient des spécialistes. Par ailleurs, pour augmenter la qualité visuelle, il est nécessaire d'utiliser de puissantes workstations capables de restituer les images en temps réel. Pour ce faire, il est possible d'utiliser des astuces comme le light baking qui permet de réduire une partie des ressources nécessaires.

II-7-1-4 le réalisme spatial est plus important que le réalisme visuel

Voir la figure (33) ci-dessous représente le réalisme spatial est plus important que le réalisme visuel [52]

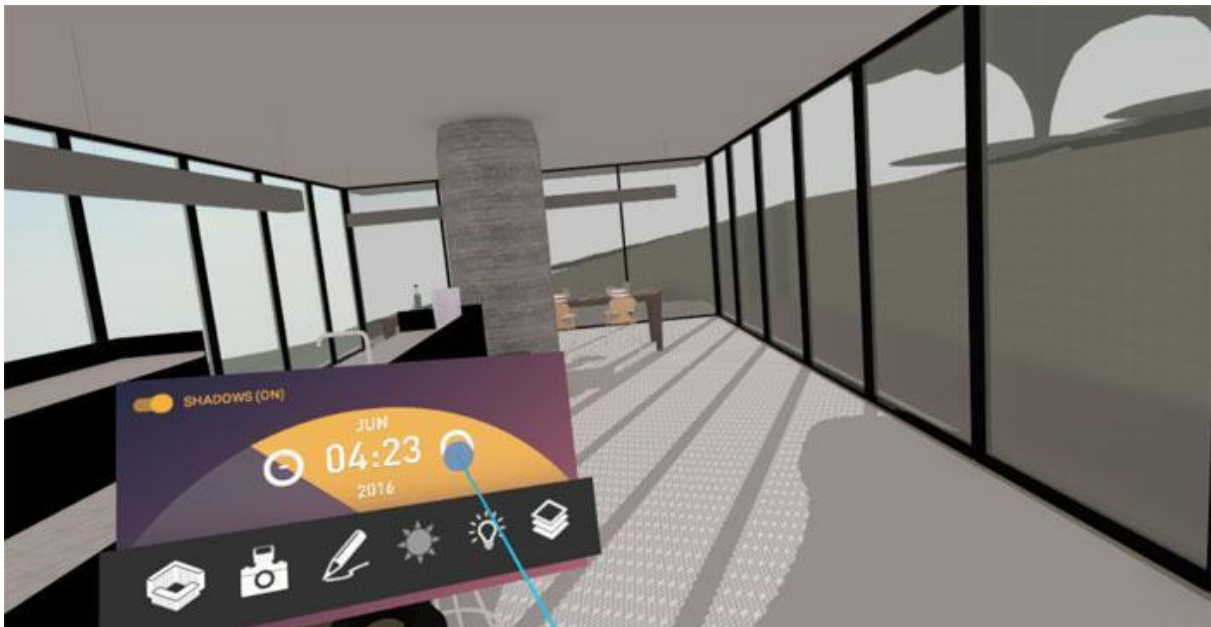


Figure 33 : le réalisme spatial est plus important que le réalisme visuel

Pour transformer l'architecture, la réalité virtuelle n'a pas besoin d'être photoréaliste. Le réalisme spatial est plus important que le réalisme visuel. En tentant de proposer une expérience photoréaliste, les logiciels d'architecture VR font perdre du temps aux professionnels, qui doivent faire appel à des spécialistes pour optimiser leurs modèles BIM pour la réalité virtuelle. Pour que la VR soit réellement pertinente dans le secteur de l'architecture aidée par ordinateur, elle doit être instantanée.

C'est que tente de proposer Iris VR avec son logiciel Prospect, conçu pour aider les architectures à passer du BIM à la VR en quelques minutes seulement. Une simple pression de bouton suffit pour optimiser la géométrie, les matériaux et l'éclairage pour la VR. Une telle approche peut réellement révolutionner la façon dont les bâtiments sont conçus. À tout moment du processus de design, les architectes peuvent mettre un casque VR et avoir la sensation d'être dans le bâtiment. Autodesk travaille également pour rendre la VR plus accessible aux architectes. La technologie Autodesk LIVE utilise le cloud pour transposer les modèles BIM de Revit à Stingray en une pression de bouton.

II-7-1-5 la collaboration au sein de la réalité virtuelle

Voir la figure (34) ci-dessous représente l'Architecture virtuelle [53]



Figure 34 : Architecture virtuelle

Si l'on compare des logiciels de design review traditionnels comme Navisworks ou Tekla BIMsight à leurs équivalents VR, l'architecture VR n'en est qu'à ses balbutiements. C'est particulièrement le cas pour les expériences VR créées à l'aide de moteurs de jeux, qui permettent certes de mieux visualiser un bâtiment sans toutefois aider à résoudre des problèmes de design et de construction.

Les choses sont néanmoins amenées à changer. Tandis que la plupart de ces moteurs s'appuient sur les métadonnées, comme le font les logiciels BIM, des outils comme Revit ou Autodesk Stingray ne se contentent pas de retenir les données mais permettent aussi aux utilisateurs de cliquer sur des objets pour voir les informations sous-jacentes. De même, l'outil Revizto permet de transformer les modèles CAD en environnement 3D navigable. En mode VR, les utilisateurs peuvent cliquer sur un objet pour voir les informations, y compris les métadonnées. Il est également possible de choisir un objet dans

la liste pour le déplacer dans l'environnement 3D. Iris VR Prospect retient également les données BIM lors de l'importation depuis Revit, mais les développeurs ne proposent pas encore d'outil pour manipuler ces données. .

Le problème des logiciels d'architecture VR actuels est qu'ils sont principalement conçus pour une expérience solitaire. Le design review est un procédé collaboratif, et se révèle donc plus efficace lorsqu'il est effectué en équipe. Ces logiciels ne permettent pas encore d'établir de contact visuel ou de communiquer de manière corporelle avec les autres utilisateurs, et se révèlent donc moins pertinents qu'une réunion par visioconférence ou en chair et en os.

WorldViz investit massivement dans la réalité virtuelle collaborative, et propose déjà des avatars réalistes pour des expériences de co-présence dans lesquelles les utilisateurs peuvent interagir au sein de mondes virtuels. Les participants à une session de design review peuvent mettre en lumière un élément virtuel en le pointant du doigt. Ainsi, les architectes peuvent collaborer à distance de manière efficace.

Si la VR permet de mieux visualiser un bâtiment en projet, l'architecture comprend également des facettes plus administratives. De la gestion de vos contacts à la facturation, les besoins d'un cabinet d'architecture sont nombreux.

Aujourd'hui, des logiciels facilitent énormément ces activités. Pour en savoir plus, sachez par exemple que ces outils permettent de gérer non seulement vos clients, mais tous les tiers dans vos contacts. Il y a les fournisseurs, les prospects ou encore les sous-traitants.

En ce qui concerne les clients, une fiche dédiée à chacun se crée automatiquement à chaque demande de devis, pour centraliser toutes ses interactions.

Pour le chantier, ces logiciels intègrent des solutions de facturation, mais aussi pour chiffrer toutes les dépenses. Ainsi, il sera plus facile de visualiser les coûts, de prévoir les achats ou encore d'allouer les heures de travail nécessaires au bon chantier.

Enfin, il faut noter que ces logiciels de gestion pour le secteur du bâtiment incluent également la comptabilité. En quelques clics, l'on peut obtenir les statistiques d'un chantier, mais aussi exporter toute sa comptabilité.

II-8 Comparaison entre les logiciels BIM 4D :

La modélisation 4D BIM est la prochaine génération de gestion de projet, y compris la planification de projet, l'ordonnancement et l'analyse des données .Le 4D ajoute littéralement une vision à l'équipe de construction. Il intègre également la possibilité de visualiser votre projet et d'analyser des données spatiales dynamiques sur votre ordinateur, avant de commencer à créer un champ de pratique pour l'équipe de livraison qui est très engageant et efficace.

Mais la question ici "Quel logiciel 4D BIM devons-nous adopter"? Cette question a été difficile partout dans les discussions sur le BIM et la réponse est vraiment difficile en particulier pour les entreprises AEC qui sont novices dans la technologie BIM.

Voir le tableau (3) ci-dessous représente comparaison des logiciels

Logiciel	Fonctionnalité clé BIM
NAVISWORKS	<ul style="list-style-type: none"> ● Conflit basé sur des points/lignes ● Suivi de l'état des conflits au fur et à mesure qu'ils sont détectés et Résolue ● Rapport d'exportation ● Importation/Exportation XML ● Simulation 4D ● Calendrier de liaison avec d'autres gestions de projet ● Logiciel ● installation prévue et actuelle ● écart s par rapport au calendrier du projet ● Exporter des simulations 4D dans un AVI préenregistré ● Animation ● créer un projet ● capacité de rendu
	<ul style="list-style-type: none"> ● « Et qu'est-ce qui se passerait si » Scénario avec analyse comparative côte à côte

<p>SYNCHRO</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● gestion des ressources ● Capacité de plusieurs lignes de base pour comparer le réel ● performances par rapport aux prévisions ● suivi des progrès ● options de reprogrammation ● planification et analyse des correctifs critiques ● Synchronisation avec Ms project et primavera ● Possibilité de mettre à jour le mode ● Marquer et annoter ● Outils de messagerie ● rapports d'utilisation des ressources et des tâches ● Vue ligne d'équilibre
<p>NAVIGATEUR</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● revue de conception et manipulation visualisation alistique de photor ● simulation d'horaire ● détection de collision ● Rapport d'exportation ● interopérabilité : IFC, DGN, DWG, DXF, SKP, PDF, IGES, STEP..etc ● Suivi de l'historique ● Référentiel de base de données
<p>ITWO</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Plateforme 5D de bout en bout ● combiner des modèles de plusieurs sources ● Décollage 2D intégré ● programmer le processus d'intégration ● Intégration financière

	<ul style="list-style-type: none"> ● créer des normes de code de coût d'organisation ● Rapprochez-vous de la finance en temps réel ● Connecteurs financiers utilisés ● Champ mobile Collecte de données ● collaborer avec les parties prenantes du projet
<p style="text-align: center;">VICO</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Possibilité de saisir des horaires au format Gantt ou linéaire ● structure de répartition des emplacements ● Possibilité de créer des horaires en fonction de la quantité à voir ● facture de quantité ● histogramme des ressources ● codage couleur de la carte de contrôle ● calendrier prévisionnel en fonction des entrées de progrès réel ● lier plusieurs projets ● Simulation d'analyse de risque Monte-Carlo ● pré requis vérifier la capacité" ● capacité de coût et de flux de trésorerie ● capacité de rapport d'anticipation ● Intégration avec MS Project et primavera

Tableau 3 : comparaison des logiciels

- 1- **Synchro** est l'outil le plus puissant du marché pour la simulation 4D et l'analyse des horaires, mais avec un bon rendu de sortie, une détection de collision visuelle uniquement et
- 2- **Navisworks** : est puissant en termes de prise de quantité et de détection des conflits avec de bonnes capacités 4D et un bon rendu de sortie.
- 3- **Vico** est recommandé pour les projets avec des activités répétées (par exemple les activités

de pose de canalisations), car cela dépend des techniques de ligne d'écoulement basées sur l'emplacement.

- 4- **Navigator** est puissant en termes de prise de quantité et de détection des conflits avec de mauvaises capacités de simulation 4D et un rendu de sortie médiocre.
- 5- **ITwo** est très puissant dans la simulation 5D et la prise de quantité avec de faibles capacités de simulation 4D et de bons rapports de détection de conflits. [41]

CHAPITRE III :
COMMENT
PROGRAMMER UNE
CONSTRUCTION
VIRTUELLE 4D ?

Introduction :

Le BIM 4D regroupe trois ressources et tâches :

- tableaux des tâches qui restent un tableau décrivant les tâches et les phases des projets, l'aspect du modèle 3D graphique il y a les ressources humaines ou matérielles.
- Les trois catégories doivent être regroupées pour la simulation 4D, dont les modèle 3D (autocad ou revit) on n'a introduit pas les ressources, on ne voit pas par exemple:
 - les déplacements des intervenants comme les ouvriers.
 - les ressources matérielles.
 - aussi les tableaux des phases.
 - le modèle graphique et la relation avec les ressources.

On va voir seulement la construction elle-même, c'est pour cette raison la 4D fait apparaître ces trois catégories en même temps :

1. le modèle 3D,
2. les phases des projets
3. les ressources.

Pour programmer une simulation 4D il nous faut trois types de fichiers du calendrier de travail qui doit être un fichier Ms Project ou Excel ou autre, on peut même le saisir sur le logiciel BIM 4D, on a besoin d'importer un modèle 3D (Civil 3D, Revit ou logiciel DAO) et on a besoin d'objet défini comme le dessin 3D des engins, des moyens roulant, des ressources humaines.

III-1 Présentation du logiciel synchro pro:

Synchro Pro apporte clarté et fiabilité à la planification de la construction, à l'ordonnancement et à la gestion de projet sur des projets de tous types.

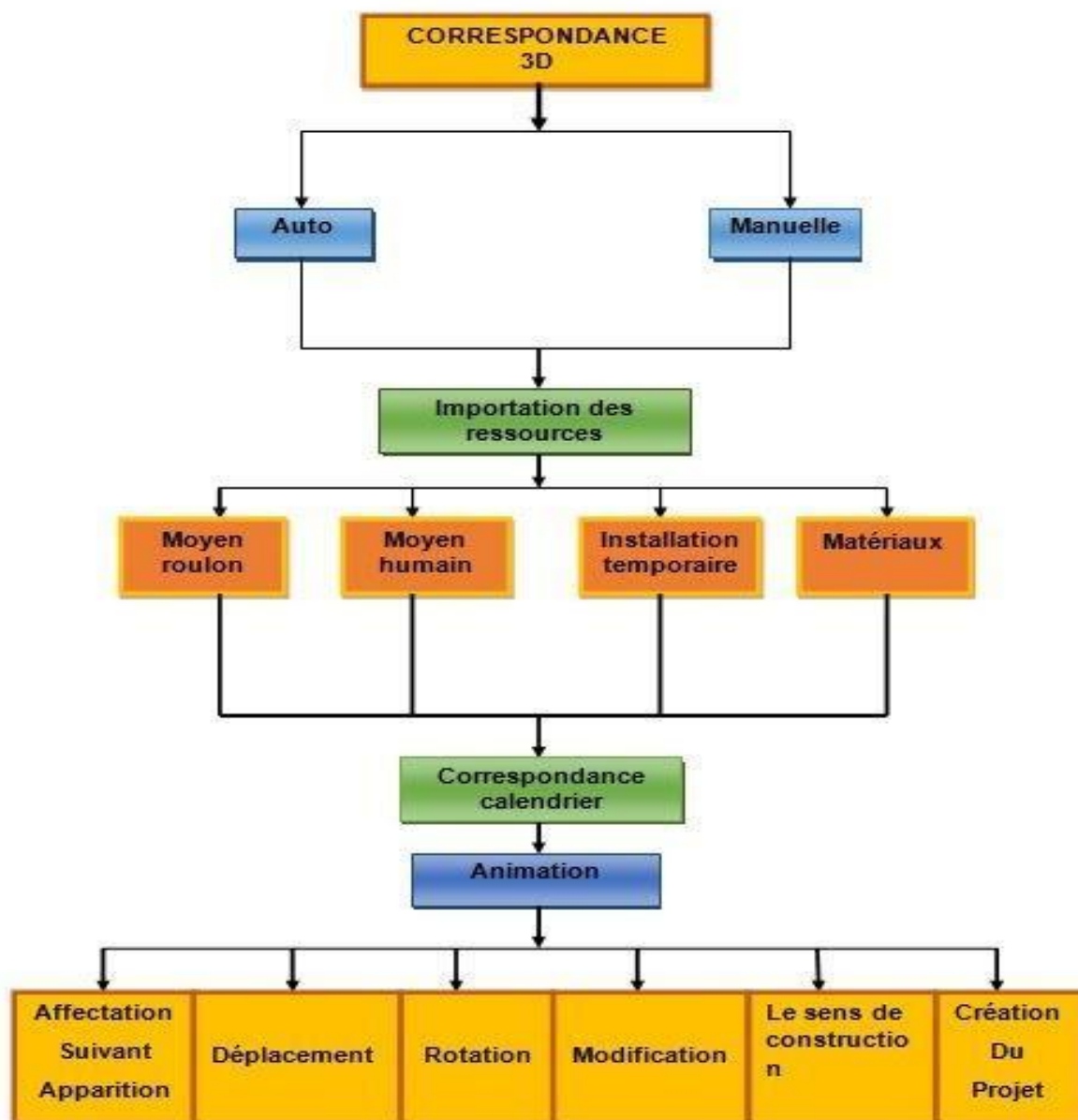
La construction Synchro Pro 4D BIM présente de nombreux avantages:

- Améliorer la sécurité.
- Améliorer la productivité.
- Améliorer la qualité.
- Stimuler de nouvelles approches innovantes.

III-2 Méthodologie de travail

- Intégrer le moteur de planification CPM
- Enregistrez plusieurs vers et depuis un projet Microsoft PC ou Excel.
- Importez et mettez à jour la géométrie et les données à partir du logiciel de CAO.
- Faites une décision éclairée tôt: comparez plusieurs graphiques de champ utilisateur et Courbes EVA générés par une ligne de base.
- Créez rapidement des vues et des rapports personnalisés.
- Rendu avec réalisme photo à l'aide de Nvidia Iray.

ORGANIGRAMME :



III-2-1 Modélisation des ressources humaines :

La modélisation est la conception d'un modèle ou la modélisation consiste à créer une représentation simplifiée d'un problème : le modèle grâce au model il est possible de représenter simplement un problème, un concept et le simuler.

La modélisation comporte trois composantes :

- ✓ L'analyse, c'est-à-dire l'étude du problème
- ✓ La conception, soit la mise au point d'une solution au problème
- ✓ La correspondance automatique est une fonction très utile.

Il permettra d'attribuer automatiquement 3D Ressources aux tâches en fonction des informations communes partagées entre les attributs 3D Ressource et les attributs de tâche. En comprenant la correspondance automatique dans SYNCHRO, vous pourrez compléter l'association des ressources 3D et des tâches d'une manière plus rapide et plus intelligente.

Le BIM et réaliserez à quel point cela profitera à votre flux de travail dans SYNCHRO.

- Les étapes de la modélisation des ressources humaines se déroulent comme suite:

Voir la figure (35) ci-dessous représente Les étapes de la modélisation des ressources humaines (Les figures du 35 jusqu'à 47 se sont des captures quant na apporter par logiciel synchro pro)

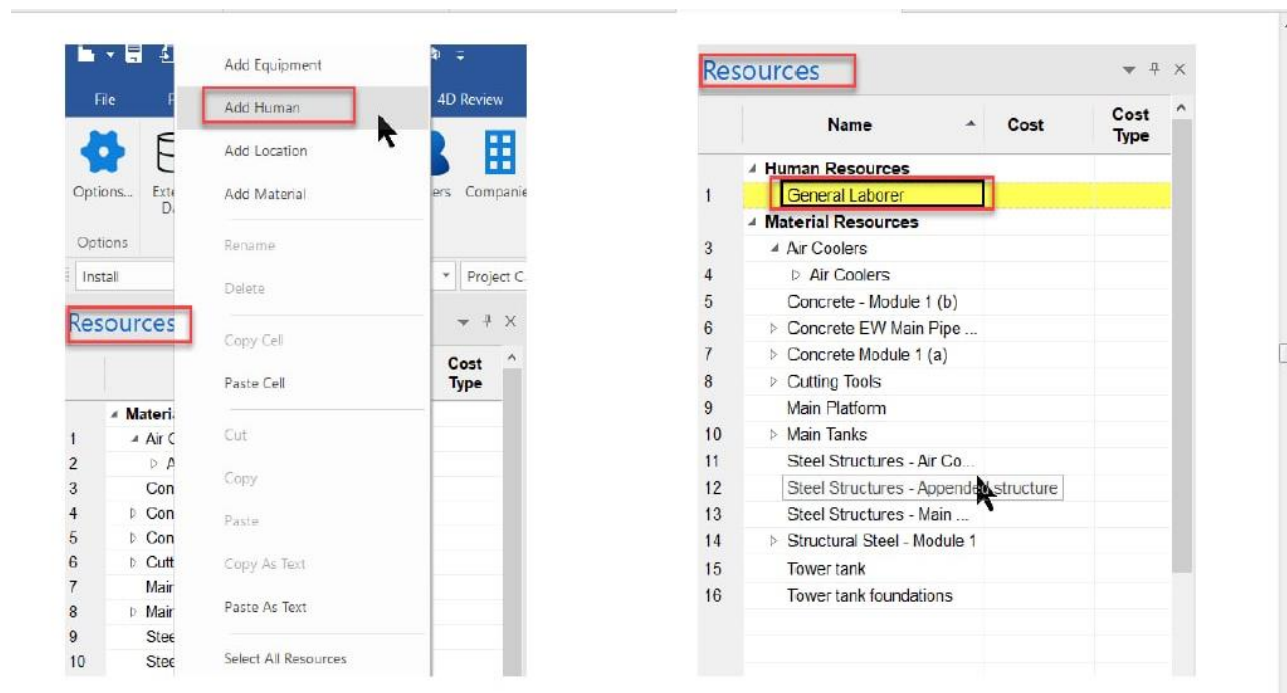
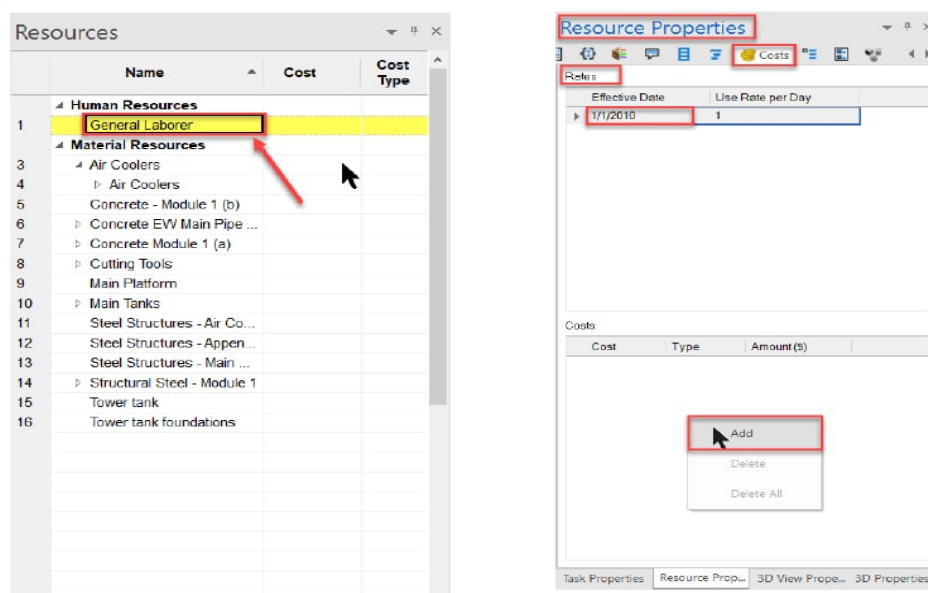


Figure 35 : Les étapes de la modélisation des ressources humaines

2. Dans la fenêtre Ressources, choisissez Ajouter un humain et double-cliquez dans la cellule Nom pour renommer cette nouvelle ressource humaine en tant qu'ouvrier général.
3. Pour définir le coût de cette ressource, sélectionnez la ressource Ouvrier général dans la fenêtre Ressources à gauche, accédez à la fenêtre Propriétés de la ressource à droite, cliquez sur l'onglet Coûts. Sous Tarifs, cliquez pour choisir une date d'entrée en vigueur car les coûts ou les tarifs peuvent changer au cours du projet, ou modifiez la date d'entrée en vigueur. Par exemple, vous pouvez modifier la date d'effet au 1/1/2010 et la sélectionner.
4. Lorsque la date d'entrée en vigueur (1/1/2010) est sélectionnée sous le panneau Tarifs, puis ajouter un nouveau coût (taux) pour General Labour sous le panneau Coûts
5. Pour le coût des ressources nouvellement ajouté, nous pouvons modifier son coût (nom), son type et son montant. Par exemple, nous pouvons laisser son nom comme Nouveau coût, définir le type de coût sur Horaire (complet) et modifier le montant à 55 \$. Remarque : Étant donné que l'ouvrier général est une ressource humaine (main-d'œuvre), généralement dans la construction, il est budgétisé ou facturé en heures-homme, il est donc généralement basé sur la durée ou le temps nécessaire pour accomplir la tâche. Les travaux horaires ou quotidiens pour le type de coût. Par conséquent, 55,00 \$ signifie que cet ouvrier général coûte 55,00 \$ de l'heure. Si la ressource est une ressource d'équipement, elle est généralement budgétisée ou facturée en fonction de la durée également.

Voir la figure (36) ci-dessous représente le coût des ressources



6. Jusqu'à présent, nous avons créé General Laborer, une ressource humaine, et défini le coût et le type de coût correspondant. Pour afficher le coût et le type de coût, nous pouvons également personnaliser les colonnes dans la fenêtre Ressources et afficher les deux colonnes : coût et type de coût.
7. Ensuite, nous affectons la main-d'œuvre générale à toutes les tâches sous ST 00020 Pipe Racks, de sorte que le coût total budgété des tâches tient compte des coûts de ressources affectés aux tâches.

Voir la figure (37) ci-dessous représente coût et type de coût

	Name	Cost	Cost Type	Type
1	General Laborer	\$55.00	Hourly (Co...	Human
3	Air Coolers			Material
4	Air Coolers			Material
5	Concrete - Module 1 (b)			Material
6	Concrete EW Main Pipe ...			Material
7	Concrete Module 1 (a)			Material
8	Cutting Tools			Material
9	Main Platform			Material
10	Main Tanks			Material
11	Steel Structures - Air Co...			Material
12	Steel Structures - Appen...			Material
13	Steel Structures - Main ...			Material
14	Structural Steel - Module 1			Material
15	Tower tank			Material
16	Tower tank foundations			Material

Figure 37: coût et type de coût

8. .Il existe plusieurs façons d'affecter la ressource sélectionnée Ouvrier général aux tâches cibles. Tout d'abord, sélectionnez l'ouvrier général dans la fenêtre Ressources. Ensuite, sélectionnez les tâches cibles, de ST 00030 Fondations à ST00070 Steele Structures - Appende structure.

Voir la figure (38) ci-dessous représente la ressource sélectionnée Ouvrier

ID	3D R...	Name	Budgeted Direct Cost	Budgeted Total Cost [BAC]
ST00250	(44)	Construction	\$10,000.00	\$10,000.00
ST00200	(17)	Pipe Rack Package	\$10,000.00	\$10,000.00
ST00020	(6)	Pipe Racks	\$10,000.00	\$10,000.00
ST00030	2	Foundations	\$2,000.00	\$2,000.00
ST00040	1	Pipe Rack	\$2,000.00	\$2,000.00
ST00050	1	Steel Structures - Main EW ...	\$2,000.00	\$2,000.00
ST00080	1	Steel Structures - Air Cooler	\$2,000.00	\$2,000.00
ST00070	1	Steel Structures - Appended ...	\$2,000.00	\$2,000.00
ST00080	(11)	Air Coolers	\$0.00	\$0.00
ST00205	(23)	Main Structure Package	\$0.00	\$0.00
ST00430	(4)	Extra tank structure	\$0.00	\$0.00

Figure 38: la ressource sélectionnée Ouvrier

III-2-2 Modélisation des matériaux :

La modélisation des matériaux se déroule comme suite:

1. Les étapes pour ajouter une ressource matérielle sont similaires à celles pour ajouter une ressource humaine.
2. Créons une ressource matérielle concrète. Allez dans la fenêtre Ressources (à gauche), faites un clic droit et choisissez Ajouter du matériel.
3. Modifiez le nom de ce matériau en Béton
4. Pour définir le coût de la ressource Béton, sélectionnez la ressource Béton dans la fenêtre Ressources à gauche, accédez à la fenêtre Propriétés de la ressource à droite, cliquez sur l'onglet Coûts. Sous Tarifs, cliquez pour choisir une date d'entrée en vigueur car les coûts ou

CHAPITRE III : COMMENT PROGRAMMER UNE CONSTRUCTION VIRTUELLE 4D ?

les tarifs peuvent changer au cours du projet, ou modifiez la date d'entrée en vigueur. Par exemple, vous pouvez modifier la date d'effet au 1/1/2010 et la sélectionner.

5. Lorsque la date d'entrée en vigueur (1/1/2010) est sélectionnée dans le panneau Tarifs ,ajouter un nouveau coût (taux) pour le béton dans le panneau Coûts. 6. Renommez ce nouveau coût en 3000 psi et définissez Type sur Par unité. Définissez le montant sur 550,00 \$. Cette ressource concrète sera budgétisée à 550 \$ par verge cube

Jusqu'à présent, nous avons fixé le coût unitaire de la ressource matérielle nouvellement créée Béton à 550,00 \$. Ensuite, nous devons affecter cette ressource concrète aux tâches et définir des unités planifiées pour les tâches affectées.

7. Pour affecter cette ressource Concrète aux tâches, assurez-vous qu'elle est sélectionnée dans la fenêtre Ressources, puis maintenez la touche CTRL enfoncée sur le clavier pour sélectionner les tâches avec Béton ou Fondation dans leurs noms.

8. Choisissez Affecter aux tâches sélectionnées pour affecter la ressource matérielle en béton sélectionnée aux tâches suivantes : ST 00030 Fondations ST 00220 Module 1 (a) Fondations ST00230 Béton - Module 1 (b)

Voir la figure (39) ci-dessous représente une ressource matérielle

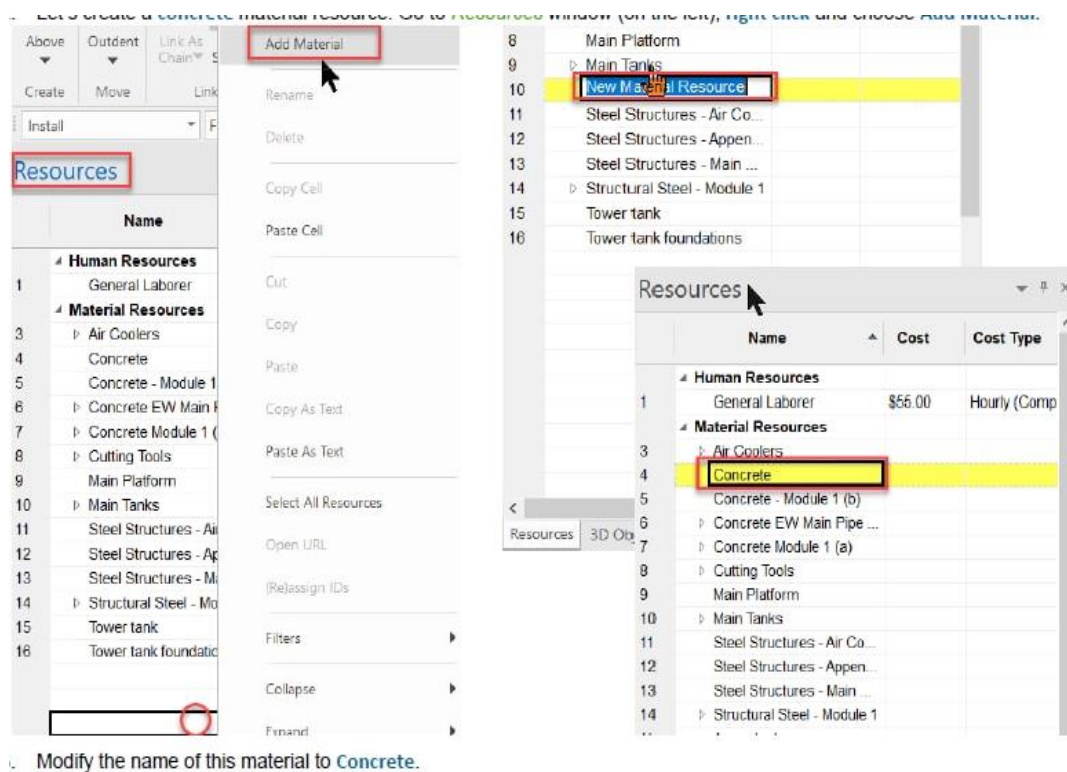


Figure 39 : une ressource matérielle

CHAPITRE III : COMMENT PROGRAMMER UNE CONSTRUCTION VIRTUELLE 4D ?

9. Vous remarquerez immédiatement que le coût total budgétisé [BAC] a augmenté de 550 \$

Pour chacune des quatre tâches. En effet, par défaut, l'unité planifiée est définie sur 1 pour la ressource matérielle concrète affectée aux tâches individuelles.

10. Lorsque la ressource Matériau béton est sélectionnée, la tâche Fondations est sélectionnée, dans la fenêtre Propriétés de la tâche, onglet Ressources, accédez à Utilisation planifiée et définissez Unités planifiées sur 200.

11. Vous remarquerez que le coût total budgété [BAC] pour la tâche Fondations est passé de 6 950 \$ à 116 400 \$.

Voir la figure (40) ci-dessous représente la ressource Matériau

■ ST00440 Tower tank foundations

ID	3D R...	Name	Budgeted Direct Cost	Budgeted Total Cost [BAC]	Duration
				\$6,950.00	10d
				\$6,400.00	10d
2		Foundations	\$2,000.00	\$6,400.00	10d
1		Pipe Rack	\$2,000.00	\$6,400.00	10d
1		Steel Structures - Main EW Pipe rack	\$2,000.00	\$6,400.00	10d
1		Steel Structures - Air Cooler	\$2,000.00	\$6,400.00	10d
1		Steel Structures - Appended structure	\$2,000.00	\$6,400.00	10d
(11)		Air Coolers	\$0.00	\$0.00	20d
(23)		Main Structure Package	\$0.00	\$0.00	68d
(10)		Main Structure	\$0.00	\$0.00	65d
1		Module 1 (a) Foundations	\$0.00	\$0.00	5d
2		Concrete - Module 1 (b)	\$0.00	\$0.00	5d
1		Main Structure	\$0.00	\$0.00	5d
2		Access Stairs 1 & 2	\$0.00	\$0.00	5d
1		Main Structure Closing	\$0.00	\$0.00	5d
1		Steel Tower 3	\$0.00	\$0.00	5d
1		Steel Tower 2	\$0.00	\$0.00	5d
1		Steel Tower 1	\$0.00	\$0.00	5d
(7)		Tanks	\$0.00	\$0.00	35d
(6)		Cutting Tools	\$0.00	\$0.00	13d
(4)		Extra tank structure	\$0.00	\$0.00	98d, 2h...
1		Tower tank foundations	\$0.00	\$0.00	5d
				\$550.00	98d, 2h, 6
				\$550.00	5d

Figure 40: la ressource Matériau

CHAPITRE III : COMMENT PROGRAMMER UNE CONSTRUCTION VIRTUELLE 4D ?

12. Vous remarquerez immédiatement que le coût total budgétisé [BAC] a augmenté de 550 \$ pour chacune des quatre tâches. En effet, par défaut, l'unité planifiée est définie sur 1 pour la ressource matérielle concrète affectée aux tâches individuelles.

13. Lorsque la ressource de matériau Béton est sélectionnée, la tâche Fondations est sélectionnée, dans la fenêtre Propriétés de la tâche, onglet Ressources, accédez à Utilisation planifiée et définissez Unités planifiées sur 200.

14. Vous remarquerez que le coût total budgété [BAC] pour la tâche Fondations est passé de 6 950 \$ à 116 400 \$.

Voir la figure (41) ci-dessous représente le coût de matériau

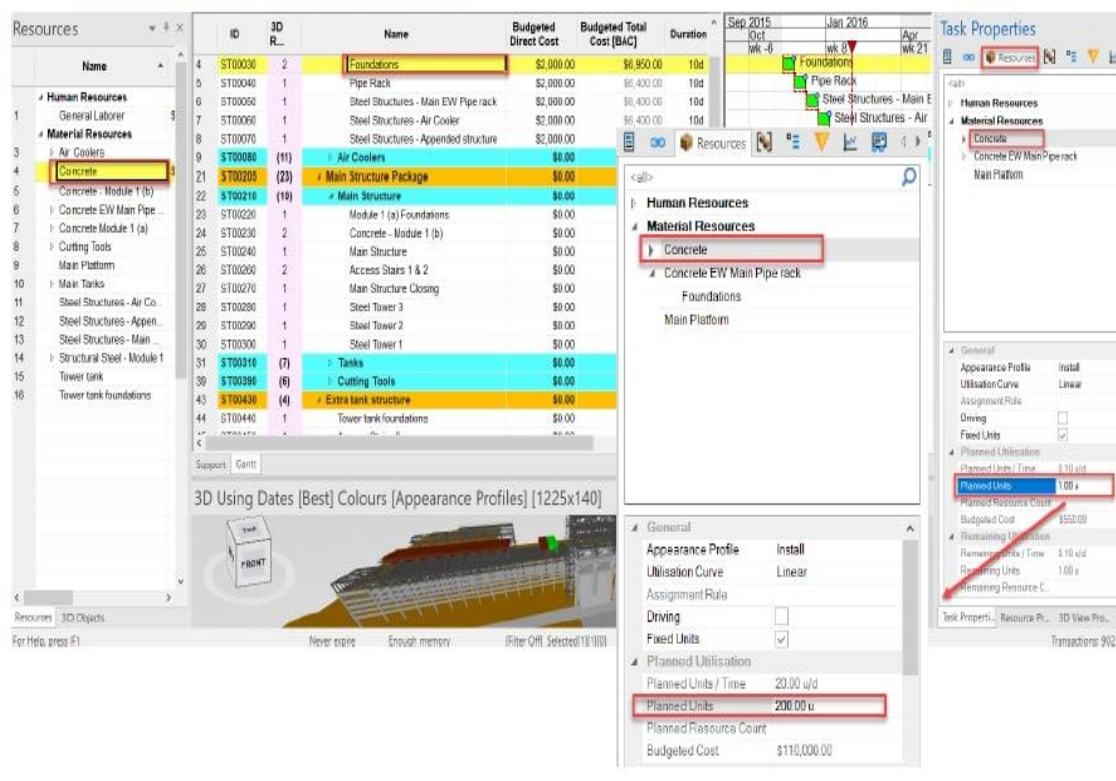


Figure 41: le coût de matériau

Pour cette tâche de fondations : Coût des ressources = $200 \text{ CY} \times 550 \text{ \$/CY} + 55 \text{ \$/h} \times 8 \text{ h/jour} \times 10 \text{ jours} + 0 \text{ \$} = 114\,400 \text{ \$}$ Coût total budgété [BAC] = $114\,400 \text{ \$} + 2\,000 \text{ \$} = 116\,400 \text{ \$}$.

15. Définissez les unités planifiées pour la ressource concrète affectée aux tâches suivantes.

ST00220 Module 1 (a) Fondations - 300 ST 00230 Béton - Module 1 (b) - 400 ST 00440

Fondations du réservoir de la tour - 200.

Voir la figure (42) ci-dessous définissez les unités planifiées

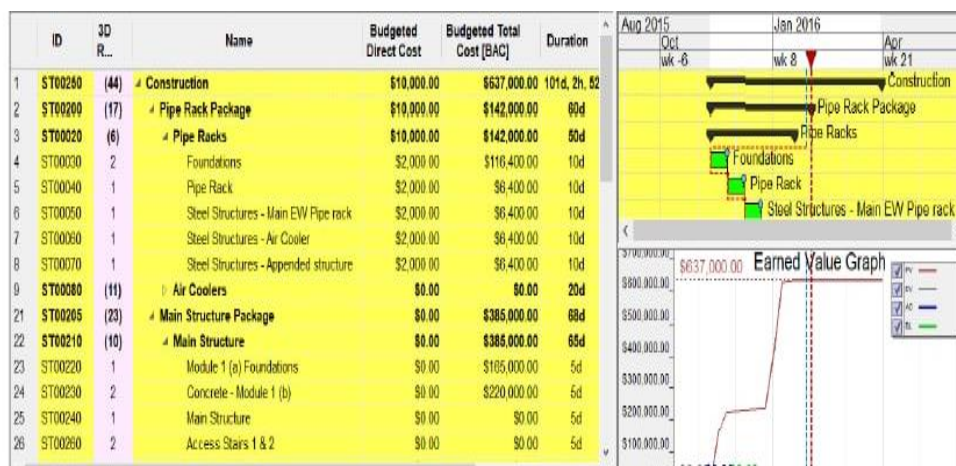


Figure 42: Définissez les unités planifiées

III-2-3 Modélisation des équipements :

De la même manière, la mobilisation des équipements est un facteur à prendre en compte lors de l'exécution des travaux. En effet, il arrive souvent que plusieurs activités nécessitent l'utilisation des mêmes équipements au même moment, produisant ainsi des retards d'exécution. Le concept permet alors à l'utilisateur de définir quelques informations utiles à l'affectation des équipements aux différentes activités. Les équipements sont divisés en trois catégories : les opérateurs, les transporteurs et les équipements de manutention. Les différentes données permettant de définir ces éléments sont : un nom, une désignation et leur temps de présence sur le chantier,

La modélisation des équipements par le synchro pro se fait par les étapes suivant :

1. Ouvrez SYNCHRO Pro
2. Dans la boîte de dialogue Importer le projet SYNCHRO, recherchez le fichier .SPX. Sélectionnez Ouvrir

Voir la figure (43 et 44) ci-dessous représente comment importer le projet SYNCHRO

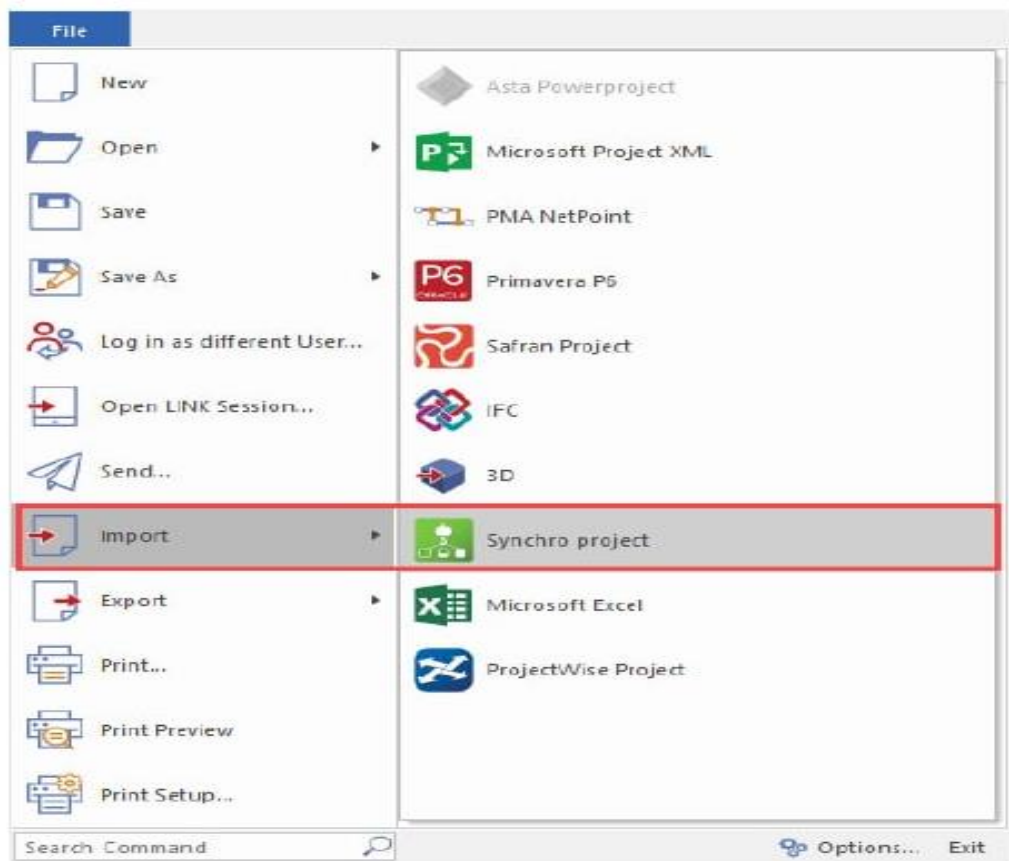


Figure 43 : Importer le projet SYNCHRO

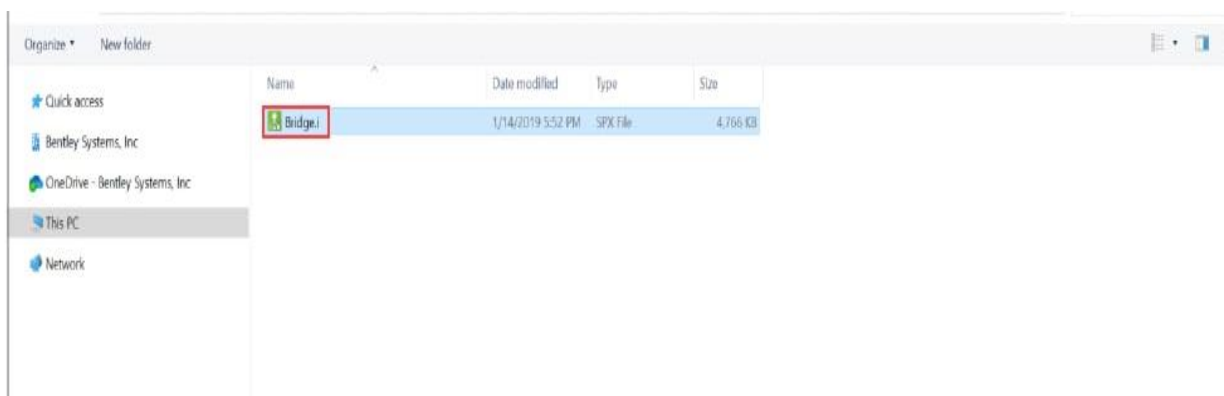


Figure 44 Bis: Importer le projet SYNCHRO

3. Importer pour importer tous les attributs disponibles

Voir la figure (45) ci-dessous représente comment importer tous les attributs disponibles

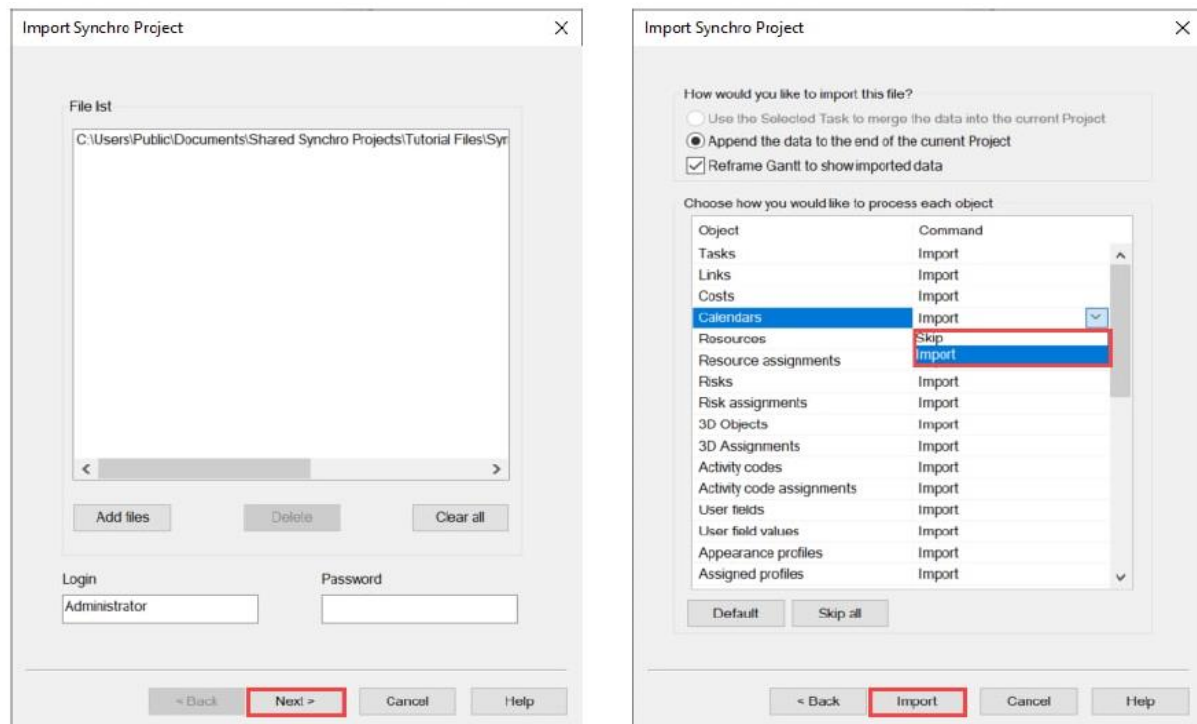


Figure 45: Importer tous les attributs disponibles

4 .La barre de progression apparaît pour afficher l'état de l'importation. Un résumé des objets et attributs importés sera répertorié sous Sortie.

Voir la figure (46) ci-dessous représente La barre de programmation

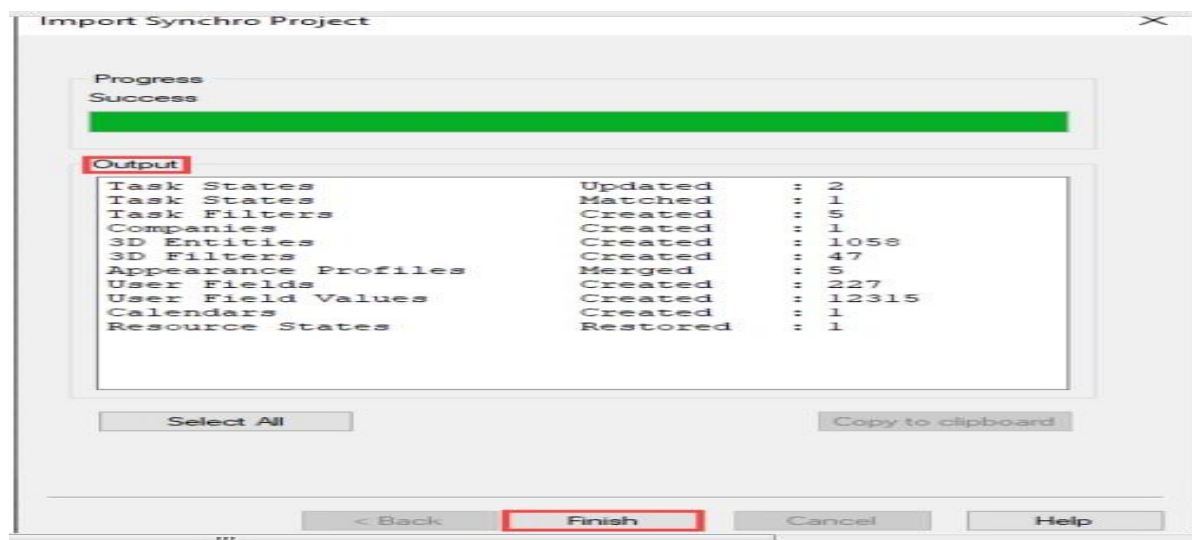


Figure 46: La barre de programmation

5. Le modèle de pont suivant vous sera présenté dans SYNCHRO Pro :

Voir la figure (47) ci-dessous représente Le modèle de pont SYNCHRO Pro

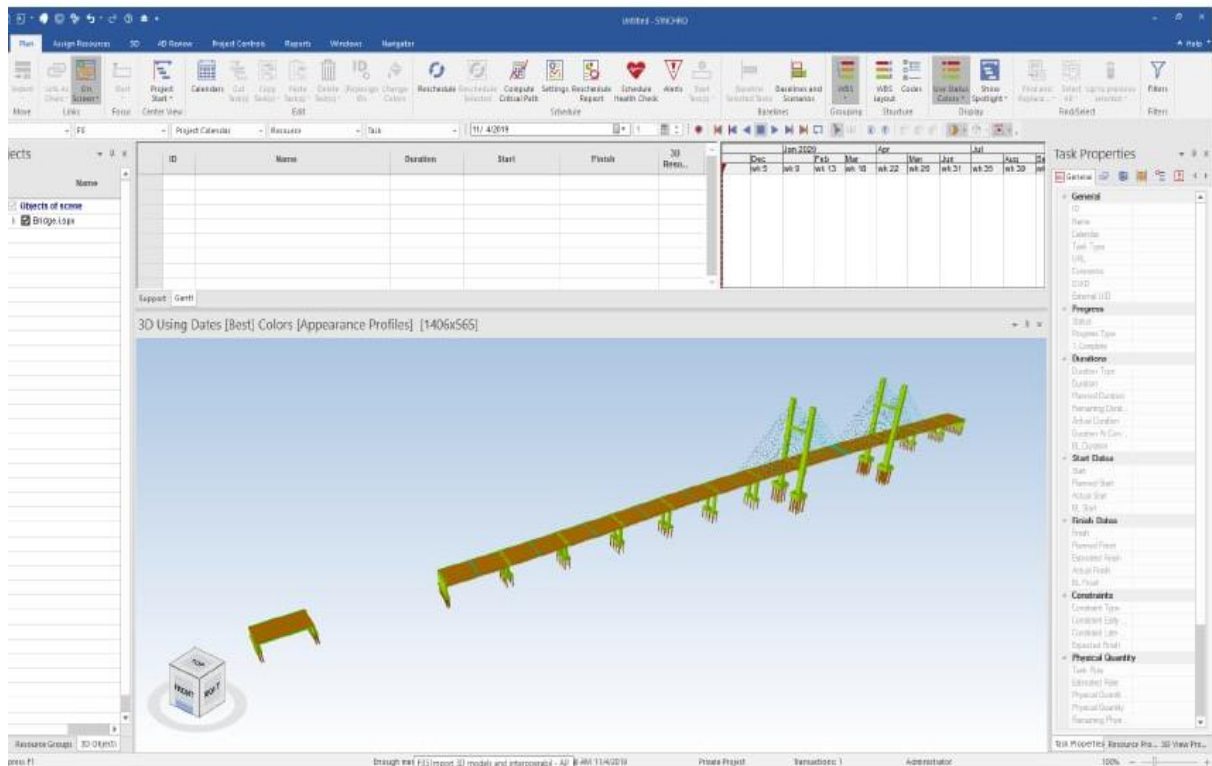


Figure 47: Le modèle de pont SYNCHRO Pro

III-2-4 La correspondance entre les phases et les ressources :

Il existe deux types d'affectation des ressources et modèles aux calendriers ou à la phase de projets :

- Manuellement
- Automatique

Chaque ressources (équipements, ressources humaines) doit être affectée à une ou plusieurs phases. Les ressources humaines tiennent une place importante pour la réalisation des travaux. L'utilisateur va pouvoir, grâce au concept, caractériser les ressources de manière plus ou moins précise en fonction de ses besoins. Les différentes informations relatives aux ressources sont les suivantes :

- le nom de la ressource afin d'identifier de qui on parle. Que ce soit le rôle (ouvrier, plombier...) ou le nom exact de la personne concernée ;
- la désignation de la ressource afin de pouvoir établir des nomenclatures simples des ressources intervenant sur le projet. Afin de pouvoir gérer les capacités disponibles, il est aussi intéressant de définir le nombre d'heures travaillées par jour et le nombre de jours travaillés par semaine.

CHAPITRE III : COMMENT PROGRAMMER UNE CONSTRUCTION VIRTUELLE 4D ?

Une fois affecté on doit procéder à l'animation de ces ressources comme dans les tableaux ci-dessous (pour les objets géométriques) mais les ressources sont différentes car il faut affecter non pas une couleur mais du déplacement, des rotations, des vitesses, une échelle.

Exemple :

Une grue fixe : on a besoin d'affecter un angle de rotation dans un temps T.

Un camion : du déplacement et une vitesse

Voir la figure (48) ci-dessous représente les étapes du resource appearance profile

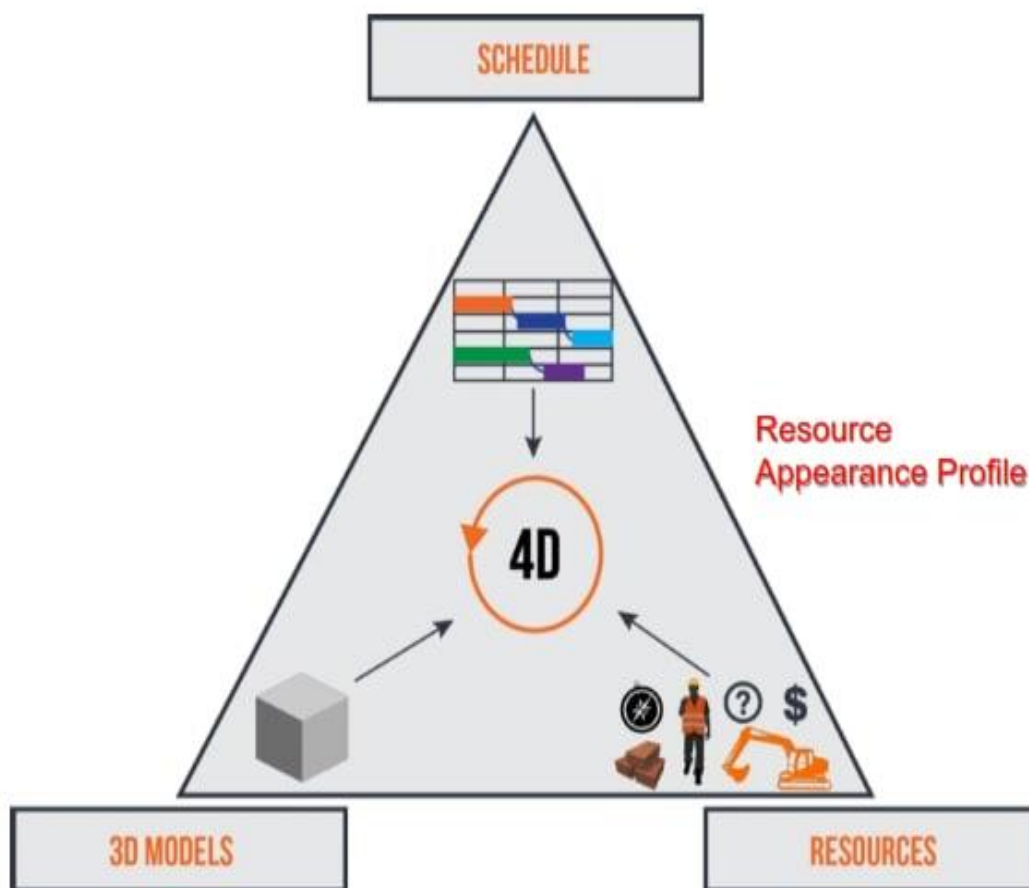


Figure 48: les étapes du resource appearance profile

Voir la figure (49) ci-dessous représente l'animation de ressources [55]


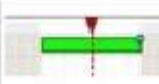


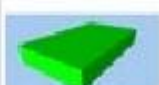
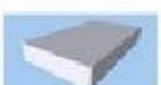

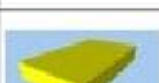













	BEFORE	DURING	AFTER
			
INSTALL			
MAINTAIN			
NEUTRAL			
			
REMOVE			
TEMPORARY			

Figure 49 : l'animation de ressources

III-2-5 Affectation des animations :

Pour l'animation des modèles 3D de la construction issus de revit par exemple il faut suivre leur chronologie de construction au lieu de suivre leur affectation de calques établie par revit. A titre d'exemple la dalle de l'étage R+2 ne doit pas être visible avant la dalle R+1.

Les poteaux et les poutres avant la dalle, le ferrailage avant le coffrage.

Maintenant ; il faut affecter une animation même dans les mêmes objets exemple ; le coulage sera par l'affectation d'une couleur de remplissage du bas vers le haut, mais pour la dalle du côté droit ou gauche vers le côté opposé par exemple et ainsi de suite.

Une fois terminé il faut une animation de la simulation de plusieurs points de vue

CHAPITRE III : COMMENT PROGRAMMER UNE CONSTRUCTION VIRTUELLE 4D ?

Pour cela il faut choisir des points de la position de la caméra pendant la construction on doit définir pour chaque position de la caméra trois rotation pour sa prise de vue.

Voir la figure (50) ci-dessous représente un exemple d'une affectation de l'animation en 3D

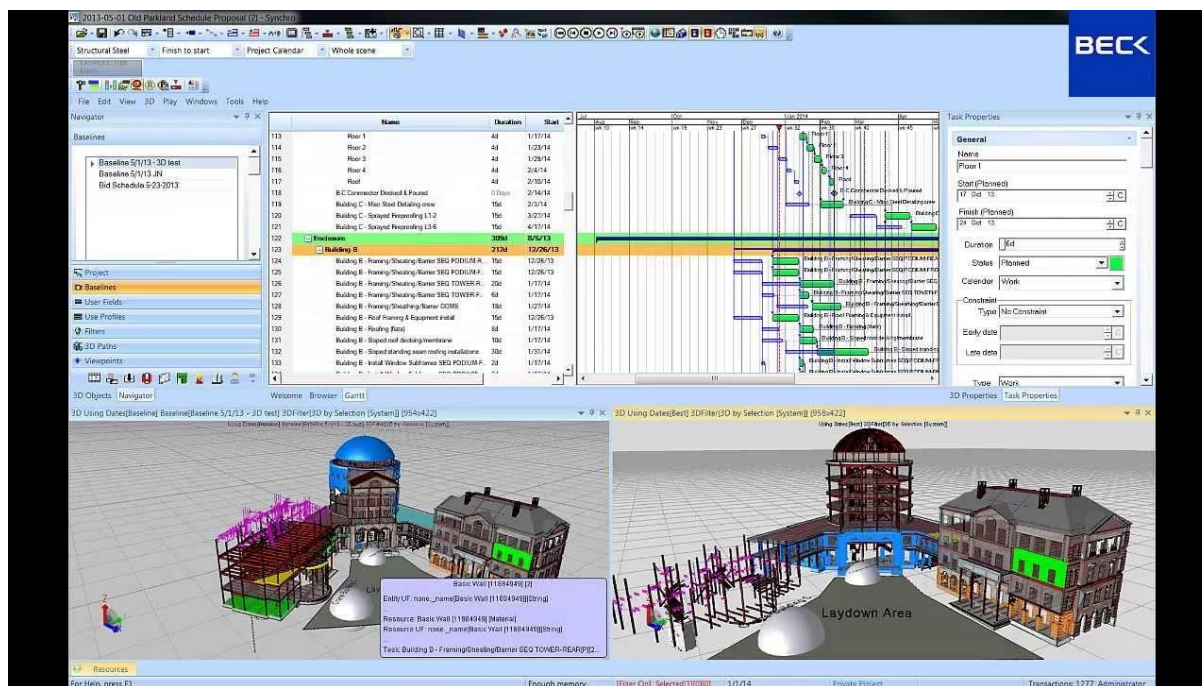


Figure 50 : Exemple d'une affectation de l'animation en 3D

III-3 Les avantages de la visualisation 4D pour la gestion des projets :

La conception BIM est de plus en plus appréciée et approuvée par les experts et les professionnels du secteur grâce à la capacité de cette méthodologie de simplifier et améliorer l'ensemble du processus de travail dans le domaine du bâtiment.

La large diffusion de la méthodologie BIM a permis le développement de niveaux de multidisciplinarité toujours croissants.

Avec le BIM 4D, les objets assument également une dimension temporelle au-delà des trois dimensions spatiales (3D BIM).

La dimension temporelle dans le BIM identifie toutes les activités liées à la planification de celles-ci ou au planning du chantier. Grâce à la quatrième dimension du BIM, tous les acteurs peuvent extraire et visualiser la progression des activités du chantier.

En ce qui concerne le contrôle des temps d'exécution, le BIM peut fournir des données qui peuvent être utilisées par des applications dédiées à la gestion de l'ouvrage, en permettant une optimisation de la planification et de la gestion des projets et de l'exécution du chantier

III-3-1 La Modélisation 4D dans un logiciel BIM pour l'architecture :

Voir la figure (51) ci-dessous représente l'exemple du BIM 4D intégré dans le logiciel pour l'architecture Édifices



Figure 51: D'exemple du BIM 4D intégré dans le logiciel pour l'architecture Édifices

La modélisation 4D se réfère aux temps de réalisation ; ce type de modélisation peut être utilisé pour de nouveaux projets de construction et elle est particulièrement utile dans la conception architecturale des interventions de rénovations.

Le modèle BIM 4D permet au professionnel d'identifier les activités réalisées sur un objet spécifique dans le temps avec un simple clic ou, au contraire, d'identifier immédiatement tous les objets sur lesquels une activité spécifique a été planifiée.

La nouvelle fonction Ligne du Temps nous permet de voir l'évolution temporelle de la modélisation BIM par rapport aux activités identifiées dans le planning de construction.

Cette caractéristique extraordinaire, qui rend la conception architecturale BIM encore plus complète, a été intégrée dans la nouvelle version du logiciel BIM Édifices X.

Désormais, il sera possible de lier facilement la propriété « temps » à chaque objet de la modélisation BIM et d'afficher également la Ligne du Temps du projet même dans l'environnement Rendu en Temps Réel.

CONCLUSION

CONCLUSION

En conclusion nous rappelons les points suivants :

Ce mémoire s'ouvre dans un premier temps sur la description des Building Information modeling (BIM), ces BIM comportent plusieurs niveaux de conception, de détails, d'information et de dimension.

Pour la standardisation de tel aspect, on retrouve des manuelles spécifiques pour chaque objet dans le cadre des LOD.

La réalisation de la simulation en temps doit se référer sur le LOD choisi en autre terme on ne peut pas opter un LOD200 et un LOD 300 sur la même maquette.

On peut dire que si on opte pour un niveau de détail élevé, le temps de réalisation et sa complexité s'accroît et vis-versa.

Aussi on peut négliger dans les BIM 4D le déplacement des engins au niveau du chantier comme on peut l'intégrer et intégré la simulation de déplacement de ces engins hors chantier pour savoir l'impact du projet sur le flux de circulation extérieur et à l'environnement en général.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- [1] jabi, 2013. [En ligne]. Available: <https://www.let's build.com/fr/blog/lhistoire-du-bim> .
- [2] [En ligne]. Available: <https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fcdn-images-1.medium.com>.
- [3] *youssef Bourdji , les maquette numérique, faculté de génie civil à tizi ouzou*, 2015.
- [4] BERGIN, History of BIM, 2011.
- [5] SUTHERLAND, 2003.
- [6] E. e. al, A Guide to BUILDING INFORMATION MODELLING, 2008.
- [7] Arnold, 2002.
- [8] «Une brève histoire du BIM,» [En ligne]. Available: (<https://img.architecturaldesignschool.com/architectural-img -bim-4.jpg>).
- [9] «Histoire de bim,» [En ligne]. Available: <https://www.letsbuild.com/fr/blog/lhistoire-du-bim>.
- [10] «Brief history bim,» [En ligne]. Available: <https://img.architecturaldesignschool.com/architectural-img/news/jpg>.
- [11] «BIM energie,» 2019. [Enligne]. Available: <https://www.bimenergie.fr/wpinside/uploads/2019/03/travail-collaboratif-bim.jpg>.
- [12] saldutti, 2017.
- [13] 20 aout 2019. [En ligne]. Available: <https://www.bimenergie.fr/plateforme-collaborative/> .
- [14] «BIM energie,» 2019. [En ligne]. Available: <https://www.bimenergie.fr/wp-inside/uploads/2019/03/travail-collaboratif-bim.jpg>.
- [15] Mediaconstruct, «Le déploiement du BIM en France,» france, 2018.
- [16] «gstatic,» [En ligne]. Available: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:AhBmt-BfIJGQ&usqp=CAU>.
- [17] «les acteurs de coordination,» [En ligne]. Available: <https://www.google.com/imgres?imgurl>.
- [18] «BIM&BTP,» [En ligne]. Available: <https://bimbtp.com/tag/processus>.
- [19] «processus de BIM,» [En ligne]. Available: <https://www.google.com/imgres?imgurl>.
- [20] «modele d'information,» [En ligne]. Available: (<https://www.google.com/imgres?imgurl>).
- [21] «JDN,» [En ligne]. Available: <https://www.journaldunet.fr>.

- [22] «construction de maçonnerie,» [En ligne]. Available: <https://www.google.com/imgres?imgurl=https-images-1.medium.com>.
- [23] «AIA E202-2008: Building Information Modeling Protocol Exhibit,» 2008. [En ligne]. Available: http://www.durhamnc.gov/agendas_new/2015/cm20150302/10290_CONTRACT_E202_CONTRACT_ATTACHMENT__365760_627078.
- [24] «illustration de différents LOD,» [En ligne]. Available: <https://www.google.com/imgres?imgurl=https-images-1.medium.com>.
- [25] V. Marchioni, Évaluation du niveau de développement des maquettes numériques du BIM pour les entrepreneurs spécialisés de la construction au Québec, 2018.
- [26] «LOD+LOI,» [En ligne]. Available: <https://www.google.com/imgres?imgurl=x>.
- [27] «google,» [En ligne]. Available: https://www.google.com/imgres?imgurl=httpswww.hexabim.comFeasyblog_articles%-4D.
- [28] «wikipedia,» [En ligne]. Available: <https://www.google.com/imgres?imgurl=httpscommons%2Fthumb%2F-Mechanical>
- [29] «google BIM-365,» 2018. [En ligne]. Available: <https://www.google.com/imgres?imgurl=httpswww.bim-365.com>
- [30] «bim-365,» [En ligne]. Available: <https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fwww.bim-365.com>
- [31] «google bim,» [En ligne]. Available: <https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fwww.bim-365.com>
- [32] «united bim,» [En ligne]. Available: <https://www.united-bim.com>.
- [33] «new technologies lab,» 2019. [En ligne]. Available: <https://www.newtechnologieslab.com/le-bim-building-informations-html>.
- [34] «Certification BIM buildingSMART Formations BIM pour la Suisse,» [En ligne]. Available: www.objectif-bim.ch .
- [35] R. S. e. al, BIM Handbook A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers, 2008.
- [36] J. O. Pozuelo, Construction project performance control using 4D, 2018.
- [37] J. Guéneau, « le métier d'architect et le BIM,» 2019. [En ligne]. Available: <http://journals.openedition.org/tc/10327> .
- [38] «ARC GIS PRO,» [En ligne]. Available: <https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fpro.arcgis.com>.
- [39] «La maquette numérique en architecture,» [En ligne]. Available: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=t>.
- [40] «RED SHIFT,» [En ligne]. Available: <https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fcdn>.
- [41] «cycle de vie d'un projet,» [En ligne]. Available: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTM_n
- [42] «Phases du

- cycle de vie d'un projet durant la Phases BIM,» [En ligne]. Available: <https://www.google.com/search9BIM>
- [43] «les modeles de conception moins détaillés,» [En ligne]. Available: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/>
- [44] «Phases du cycle de vie d'un projet durant la Phases BIM 1-modèle linéaire,» [En ligne]. Available: <https://www.google.com/search?q=Phases+du+cycle+de+vie+d%E2%80%99un+projet+durant+la+Phases+BIM+1->.
- [45] «Phases du cycle de vie,» [En ligne]. Available: (<https://www.google.com/search?q=Phases+du+cycle+de+vie+d%+BIM+1->
- [46] «media xpair,» [En ligne]. Available: <https://www.google.com/imgres+media.xpair.com%2Fredac%2Fbasse-consommation%2>
- [47] J. Cornu, «static,» 09 Octobre 2018. [En ligne]. Available: oc-static.com.
- [48] «les phases et intervenants,» [En ligne]. Available: <https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fuser.oc-static.com>.
- [49] «la réalité virtuelle,» [En ligne]. Available: <https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fuser.oc-static.com>.
- [50] «red shift,» [En ligne]. Available: <https://cdn.redshift.autodesk.com/2016/11/virtual-reality-in-architecture-2.jpg>.
- [51] «realite virtuelle,» [En ligne]. Available: <https://www.realite-virtuelle.com/>.
- [52] «réalisme visuel,» [En ligne]. Available: <https://www.realite-virtuelle.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F20ct.jpg&imgrefurl=>
- [53] «L'architecture virtuelle,» [En ligne]. Available: <https://www.google.com/imgres?imgurl=httpswww.realite-virtuelle.com>.
- [54] t. elgohari, «linkedin in,» [En ligne]. Available: <https://ae.linkedin.com/in/tamer-elgohari>.
- [55] «l'animation de ressources,» [En ligne]. Available: <https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2F>
- [56] h. build.com/fr/blog/lhistoire-du-bim. [En ligne].
- [57] saldutti, 2017.
- [58] t. elgohari, «linkedin,» [En ligne]. Available: <https://ae.linkedin.com/in/tamer-elgohari>.