

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

N°



DOMAINE : SCIENCE ET TECHNIQUES

FILIERE : Génie Civil

OPTION : structure

Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique

Par : CHELBAB NASSIMA

RAHMOUNI AMINA

Intitulé

**L'interopérabilité entre la maquette numérique et les  
dimensions du processus BIM.**

Soutenu devant le jury composé de :

Mr. BOULAOUAD Abderachid	UNIVERSITE de M'sila	<b>Président</b>
Pr. RAHMOUNI Zine El Abidine	UNIVERSITE de M'sila	<b>Encadreur</b>
Mr. KERMICHE Abdellatif Fawzi	UNIVERSITE de M'sila	<b>Co-Encadreur</b>
Mr. BENYAHIA Abdeslam	UNIVERSITE de M'sila	<b>Examineur</b>
Mr. OUZANDJA Djamel	UNIVERSITE de M'sila	<b>Examineur</b>

Année universitaire : 2018 /2019

## Remerciement

Avant tout propos, nous remercions Dieu de nous avoir donné la volonté, la force la santé et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance au professeur **RAHMOUNI Zine El Abidine** pour avoir accepté de nous encadrer dans ce travail. Aussi notre Co-encadreur Mr. **KERMICHE Abdellatif Fawzi**, les remercions pour leur implication, leur soutien et leurs encouragements tout au long de ce travail.

Nous souhaitons également remercier **Mr. DELLILI** et toute l'équipe de **BEREG** pour leur aide durant le travail de notre mémoire.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail en acceptant d'examiner notre mémoire et de l'enrichir par leurs propositions sans oublier nos enseignants.

Sans oublier de remercier nos chers parents, qui ont toujours prié pour nous, qui n'ont pas cessé de nous encourager, de nous soutenir et qui ont fait de nous ce que nous sommes aujourd'hui et aussi tous mes amis Pour leur contribution en particulier **Amine** et **Iman**.

## *Sommaire*

Résumé	
Remerciement	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des symboles	
Introduction générale	1

### **CHAPITRE 1 : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE**

1.1 Introduction	2
1.2 Historique	3
1.3 Concept du BIM	4
1.3.1 Définition du BIM	4
1.3.2 La différence entre BIM et CAD	5
1.3.2.1 Conception assistée par ordinateur CAO	6
1.3.2.2 Design selon le concept BIM	7
1.3.3 Fonction de BIM	7
1.3.3.1 Collecter les données	7
1.3.3.2 Générer les données	7
1.3.3.3 Analyser et contrôler les données	8
1.3.3.4 Communiquer les données	8
1.3.4 La maquette numérique	9
1.3.4.1 Maquettes numériques de bâtiments existants	<b>9</b>
1.3.4.2 Scanner laser terrestre	10
1.3.5 Les dimensions du BIM	11
1.3.6 Les niveaux de détail de BIM	13
1.3.7 Les différents niveaux du BIM	14
1.3.7.1 Niveau de maturité 0 « pré-BIM »	15
1.3.7.2 Niveau de maturité 1 « la modélisation orientée-objet »	15
1.3.7.3 Niveau de maturité 2 « la collaboration orientée-modèle »	16
1.3.7.4 Niveau de maturité 3 « l'intégration orientée-réseau »	17

1.3.8 BIM Processus Manager	17
1.3.8.1 Responsabilités et réglages BIM	19
1.3.8.1.1 Responsabilité	19
1.3.8.1.2 Planification financière	19
1.3.8.1.3 Qualité	19
1.3.8.1.4 Sécurité	19
1.3.9 Avantage de BIM	20
1.3.9.1 Avantages pour les maîtres d'ouvrage et les développeurs	20
1.3.9.2 Avantages pour les bureaux d'études, architectes et ingénieurs	21
1.3.9.3 Avantages lors de la construction et la fabrication, entrepreneurs et fabricants	21
1.3.10 L'interopérabilité	22
1.3.11 Industry Foundation Classes IFC :	23
1.3.11.1 Définition	23
1.3.11.2 Origine des IFC	24

## **CHAPITRE 2 : LES DIMENSIONS DU BIM ET LEURS INFLUENCES SUR LE PROJET DE GENIE CIVIL**

2.1 Introduction	26
2.2 Refaire la définition de la 3D	27
2.2.1 Caractéristiques	27
2.2.2 Principaux usages	27
2.2.3 La différence entre la CAO 3D et le BIM	28
2.2.3.1 Définition de CAO	28
2.2.3.2 L'arrivée du BIM	29
2.2.3.3 BIM meilleur travail	30
2.3 BIM 4D (la dimension temporelle du BIM)	31
2.3.1. Définition	31
2.3.2 Caractéristiques	31
2.3.3 Principaux usages	31
2.3.4 Avant le BIM	31
2.3.4.1 Méthodes manuelles basées sur la CAO	31

2.3.5	Qu'est-ce que la planification 4D ?	33
2.3.6	L'utilisation du BIM pour la planification	33
2.3.7	La simulation 4D	34
2.3.8	Avantages du BIM 4D	35
2.4	BIM 5D (dimension de cout)	36
2.4.1	Définition 5d BIM	36
2.4.2	Caractéristiques	36
2.4.3	Principaux usages	36
2.4.4	Avant le BIM	37
2.4.5	Estimer facilement les quantités et les coûts avec la 5D	37
2.4.6	Relevé quantitatif - Tâches et produits livrables	38
2.4.7	Combien ça coûte ?	39
2.4.8	La méthodologie BIM	39
2.4.9	Extraction de quantités et estimation de coûts	40
2.4.9.1	Exporter la liste des quantités de modèle vers un logiciel externe	40
2.4.9.2	Exporter la liste des quantités de modèle vers un logiciel externe	41
2.4.9.3	Utiliser un outil de prélèvement de quantité	41
2.4.10	Avantages de BIM 5D	42
2.4.11	Contrôle des coûts	42
2.5	BIM en génie des structures	43
2.6	Etude passé	43
2.6.1	Conclusion du l'étude	48

### **CHAPITRE 03 : MANAGEMENT DE BIM et étude de cas**

3.1	Introduction	50
3.2	Définition de management	51
3.2.1	BIM Management	51
3.2.2	Où le BIM joue-t-il un rôle dans Le management de la construction ?	52
3.3	L'importance des systèmes BIM pendant le projet	52
3.3.1	Architecte BIM	53
3.3.2	Génie civil	55
3.3.2.1	Première étape	56
3.3.2.2	Deuxième étape	56

3.3.2.3 Troisième étape	57
3.3.2.4 Quatrième étape	57
3.3.2.5 Cinquième étape	58
3.3.2.6 La dernière étape	58
3.3.3 Le BIM pour la MEP	59
3.3.4 Le métier du mètreur	61
3.3.4.1 Définition	61
3.3.4.2 Comment élaborer le quantitatif ?	63
3.3.5 Voirie et Réseaux Divers [V.R.D.]	64
3.3.5.1 Définition	64
3. 3.6 Le BIM Manager comme chef de projet BIM	68
Conclusion	70
Conclusion général	71
Référence	

# LISTE DES FIGURES

## Chapitre 1

<b>Figure 1.1</b> Comparer le domaine de la construction avec d'autres domaines au fil du temps	2
<b>Figure 1.2</b> Historique du BIM	4
<b>Figure 1.3</b> Les différents entre CAO et BIM	6
<b>Figure 1.4</b> Champ d'action du BIM	8
<b>Figure 1.5</b> Maquette numérique	10
<b>Figure 1.6</b> Acquisition de façade au scanner laser et au tachéomètre sans réflecteur	11
<b>Figure 1.7</b> Les dimensions du BIM	12
<b>Figure 1.8</b> Les niveaux de détail du BIM	13
<b>Figure 1.9</b> Croquis d'une base de poteau dans différent de niveau	14
<b>Figure 1.10</b> La maturité du BIM	15
<b>Figure 1.11</b> BIM Manager	18
<b>Figure 1.12</b> Responsabilité de BIM Manager	18
<b>Figure 1.13</b> : Partager les informations par IFC	23
<b>Figure 1.14</b> Des échanges possible autour d'un BIM IFC	24

## Chapitre 2

<b>Figure 2.1</b> Benefit dimensions de BIM	26
<b>Figure 2.2</b> module on 3D	27
<b>Figure 2.3</b> : Développement de la maquette numérique	29
<b>Figure 2.4</b> : Model 4D	31
<b>Figure 2.5</b> : Différent entre le 4D BIM et 4D CAO	32

<b>Figure 2.6</b> Principe de la simulation 4D	34
<b>Figure 2.7</b> Presseurs simulation 4D	35
<b>Figure 2.7</b> Gestion De Projet	36
<b>Figure 2.8</b> processors d'évaluation du cout	38
<b>Figure 2.9</b> Capacité à agir sur les couts et les changements en fonction du processus choisi	43

## **Chapitre 3**

<b>Figure 3.1</b> Avant et après le BIM	50 –51
<b>Figure 3.2</b> Plans d'architecture par AutoCAD	<b>53</b>
<b>Figure 3.3</b> Plan l'architecte modélise son projet avec autoDESK revit architecture	54
<b>Figure 3.4</b> Exemple de structure modelée dans AutoDesk Revit	56
<b>Figure 3.5</b> Modèle analytique d'un projet dans AutoDesk Revit	57
<b>Figure 3.6</b> Extrait de plan de ferrailage réalisé entièrement par la méthode BIM	59
<b>Figure 3.7</b> Système d'entrée d'éclairage électrique et prise en 3D	60
<b>Figure 3.8</b> Construction de systèmes de ventilation et de chauffage	61
<b>Figure 3.9</b> Le métré avant et après le BIM	62
<b>Figure 3.10</b> Impact du BIM sur la Métré	<b>63</b>
<b>Figure 3.11</b> Exemple de calcul du métré (Autodesk Revit 2019 – Refactoire fin - Nomenclature des portes)	64
<b>Figure 3.12</b> Projet 3D+réseau de canalisation	65
<b>Figure 3.13</b> Dessin 3D voire	<b>66</b>

<b>Figure 3.14</b> Profil-longue	67
<b>Figure 3.15</b> Détections des collisions entre conduit de CVC et PHE pipe	69
<b>Figure 3.16</b> Détection de collision	69

## **Liste des tableaux**

<b>Tableau 1</b> : Les changements des ordres d'exécution et leur influence sur le temps et le coût	45
<b>Tableau 2</b> : Influence de BIM sur les projets pour le temps et coût	47

## **Liste des symboles**

BIM: Building Information Modeling

CAO : Conception Assistée Par Ordinateur

MEP : Mécanique, Electricité Et Plomberie

IFC: Industry Foundation Classes

LOD: level of detail ou level of developement

APD : Avant-projet Détaillé

AEC : Architectural Engineering Conception

VRD : Voirie et Réseaux Divers

## ملخص

BIM " نمذجة معلومات البناء " وهي ثورة في صناعة البناء والتشييد. الهدف الرئيسي من BIM هو تحسين تكلفة، وقت وجودة العمل لكل موظف من خلال الاستفادة من الأدوات الرقمية. غالبية معالجات BIM هي إدارات تسمح لجميع المستخدمين بالعمل مع آلية مشتركة و متعاونة. وبالتالي تسمح بهيكله عدة نماذج وفقاً للعناصر (هندسة معمارية، هندسة مدنية، ميكانيك/كهرباء/صحية) لتجنب التغييرات الناتجة عن الأخطاء أثناء دراسة المشروع.

تقدم المذكرة نظرة عامة على BIM مع التركيز على أعماله الأساسية، والمفاهيم والتطبيقات في دورة حياة المشروع. كما أن استخدام BIM في المشروع يقدم عدة فوائد، و توفر نتائج هذه الدراسة معلومات مفيدة لأي شخص يرغب في زيادة معرفته بتكنولوجيا BIM.

كلمات مفتاحيه : نمذجة معلومات البناء. البناء. نموذج رقمي. التوافقية. ريفيت . التصميم بمساعدة الكمبيوتر. فئات مؤسسة الصناعة. الإدارة .

## Résumé

Le BIM « Building Information Modeling » est une révolution dans l'industrie de la construction. L'objectif principal du BIM étant d'améliorer le coût et le temps et la qualité du travail pour chaque collaborateur en appuyant sur des outils numériques. La majorité des processeurs BIM sont des managements permettant à tous les utilisateurs de travailler avec un mécanisme commun et une coopération divisant. Ainsi ; la structure de plusieurs maquette en fonction des éléments (architecteur – gène civil – MEP) pour éviter les changements causés par des erreurs pendant l'étude du projet. Le document présente un aperçu du BIM en mettant l'accent sur son cœur de métier, Concepts et applications dans le cycle de vie du projet et aussi l'avantage de l'utilisation du BIM dans le projet. Les résultats de cette étude fournissent des informations utiles à tous ceux qui souhaitent accroître leurs connaissances sur la technologie BIM.

**Mots clés :** BIM, Construction, Maquette numérique, Interopérabilité, Revit, IFC, CAO, Management,

## **Abstract**

BIM "Building Information Modeling" is a revolution in the construction industry. The main focus of BIM being improved cost and time and quality of work for each collaborator by leveraging digital tools. The majority of BIM processors are management allows all the users to work with a common mechanism and a cooperation dividing. Also; the structure of several models according to the elements (architecture - civil genius - MEP) to avoid the changes caused by errors during the study of the project. The document presents an overview of BIM with a focus on its core business. Concepts and applications in the project lifecycle and benefits of using BIM in the project. The results of this study provide useful information for anyone wishing to increase their knowledge of BIM technology.

**Keywords:** BIM, Building, Digital model, interoperability, Revit, IFC, CAD, Management.

## **Introduction générale**

Les progrès du numérique s'accroissent depuis plusieurs années et touchent toutes les organisations tout domaine confondu. Depuis quelques années, le BIM ou (Building Information Modeling) contribue à la digitalisation du monde de la construction. Les méthodes de travail changent, la communication évolue et les exigences augmentent.

Le principe fondamental de ce processus est le travail collaboratif entre tous les intervenants de construction car d'une base de données centrale qui alimente toutes les parties du projet et contient toutes les informations nécessaires pour la réalisation de la construction à partir d'un modèle électronique simulant la réalité. La véritable importance du BIM réside dans la phase de mise en œuvre en termes d'engagement de temps, de réduction des coûts et d'amélioration de la qualité.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré à une recherche bibliographique en définissant le potentiel de processus BIM, son fonctionnement, et les concepts associés à ce dernier.

Le second chapitre explique l'influence du BIM sur le projet de génie civil d'où le temps et le coût.

Le troisième chapitre est consacré à une étude sur site avec une équipe d'un bureau d'étude utilisant le BIM au travail et au management d'un projet pilote du ministère de l'habitat.

Enfin, une conclusion générale du mémoire et une liste bibliographique.

**CHAPITRE 01 :**  
**ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

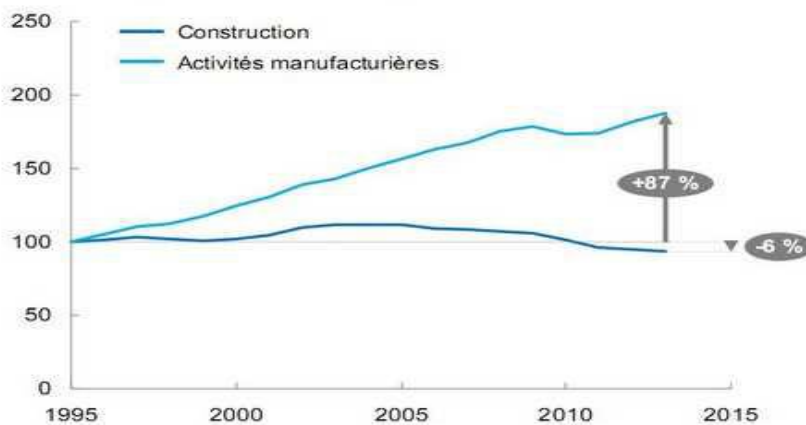
## 1.1 Introduction :

Aujourd'hui, le numérique est présent dans tous les domaines. Dans les sociétés des services évidemment, dans la finance, mais aussi dans la mécanique, l'aéronautique ou l'automobile. Dans ces secteurs industriels, les outils numériques ont radicalement changé les processus de travail et ont permis une augmentation de la productivité, une réduction des coûts et des délais et une amélioration de la qualité. Qu'en est-il du bâtiment ?

Le secteur de la construction est aujourd'hui au début d'une mutation tant en matière d'outils et de solutions que de processus de travail. En effet, le BIM et la maquette numérique peuvent apporter des réponses aux problèmes auxquels se frottent les professionnels du secteur. Comment travailler mieux ensemble ? Comment partager l'information, la mutualiser et l'exploiter au mieux ? Comment réduire les coûts tout en augmentant la qualité ? [1]

La productivité horaire dans le secteur de la construction a subi un net décrochage par rapport à celle de l'industrie manufacturière depuis 1995

**Indice de productivité du travail en construction et activités manufacturières**  
Valeur ajoutée par heure de travail productive



Une productivité décroissante dans le secteur de la construction depuis 20 ans (-6 % en 2013 vs. 1995) ; croissante dans le secteur manufacturier (+87 % en 2013 vs. 1995)

SOURCE : INSEE, évolution de la productivité horaire apparente du travail par branche

**Figure 1.1 :** Comparer le domaine de la construction avec d'autres domaines au fil du temps [2]

## 1.2 Historique

Le BIM est considéré comme la dernière génération de systèmes CAO orientés objet, qui repose à l'origine sur une base de données d'objets. Le premier changement de la CAO au BIM a eu lieu en 1985 lorsque l'information a été intégrée dans la géométrie dans la modélisation basée sur les caractéristiques. Il a ensuite été développé et amélioré par la création de la modélisation paramétrique en 1987.

La première étincelle, qui a conduit plus tard à la création de modèles basés sur les caractéristiques, était le désir d'intégrer la planification de processus assistée par ordinateur à la conception assistée par ordinateur CAO. Cela remonte à la fin des années 1970, lorsque de nombreux efforts de recherche ont été déployés pour développer des techniques permettant de fournir des données sur les caractéristiques de fabrication pour la programmation (CN). La plupart de ces recherches ont été effectuées au Centre de CAO de l'Université de Cambridge.

En 1976, Grayer a présenté des méthodes d'automatisation de la programmation (CN) pour le fraisage dans son doctorat. Dissertation, mais ils ne reconnaissaient pas les caractéristiques. En 1980, Kyprianou a introduit l'idée de la reconnaissance des caractéristiques en comparant les caractéristiques requises aux modèles géométriques et topologiques dans les bases de données CAO.

En 1985, Pratt et Wilson ont été les premiers à proposer le concept de conception par caractéristiques. Plus tard, en 1987, M. Geisberg a créé la technologie de modélisation paramétrique et lancé le premier ensemble qui utilise des caractéristiques paramétriques. À la fin des années 1980 et au début des années 1990, la plupart des fournisseurs de CAO ont commencé à adopter la modélisation basée sur les caractéristiques et la modélisation paramétrique dans leurs systèmes de CAO. Pro-Engineer by Parametric Technologies (PTC) est considéré comme l'un des premiers systèmes utilisant à la fois la modélisation basée sur les caractéristiques et la modélisation paramétrique

Le terme BIM a été introduit par le professeur Charles M. Eastman à Georgia Institute of Technology. La théorie est basée sur le terme "Building Product Model" inventé par Eastman dans ses livres et papiers depuis la fin des années 1970, qui est développé dans le terme "Building Information Model". L'acronyme actuel BIM pour

"Building Information Modeling" a été utilisé pour la première fois par Phil Bernstein. Jerry Laiserin a plus tard popularisé et normalisé le terme comme un nom commun pour représenter numériquement un processus de construction. [15]

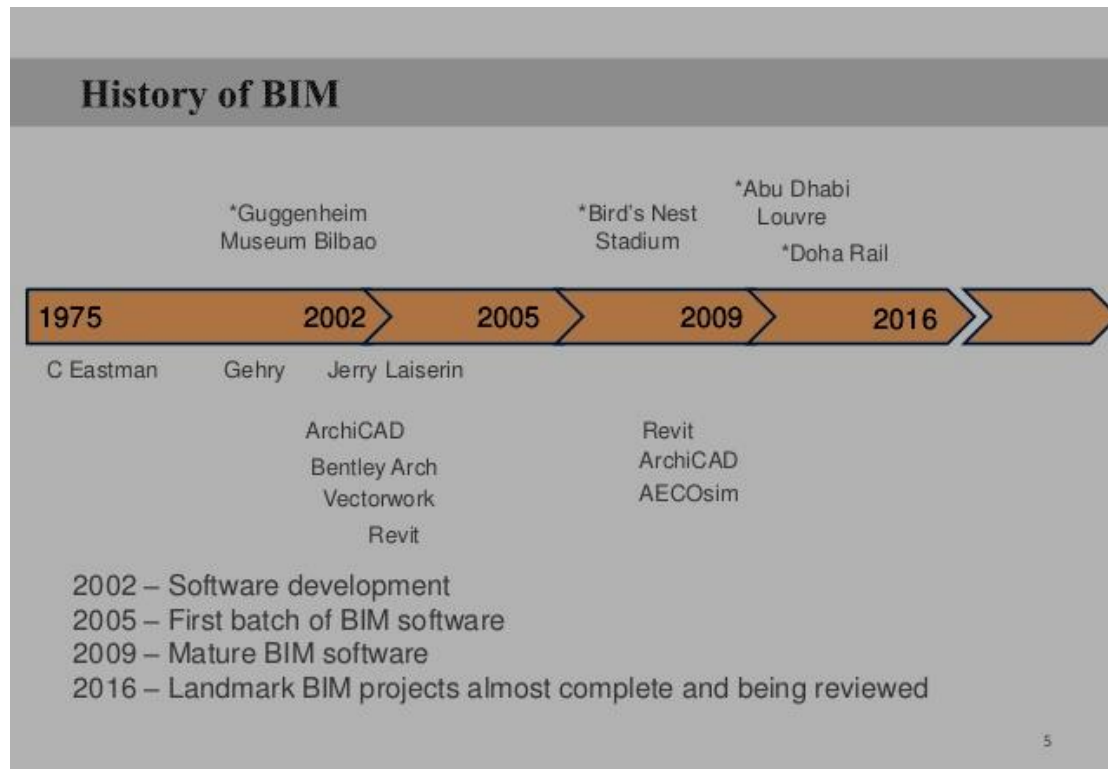


Figure 1.2 : Historique du BIM [2]

## 1.3 Concept du BIM :

### 1.3.1 Définition du BIM :

Le BIM vient de l'anglais : Building Information Modeling

Model

Management

On peut traduire cette terminologie par "Maquette numérique du Bâtiment" ou encore par "Modélisation des informations d'un Bâtiment". Il est difficile de trouver une définition du "BIM" acceptée par tous. En effet, lorsque l'on parle de BIM on

parle essentiellement des méthodes de travail qui reposent sur des modèles 3D, qui eux contiennent de nombreuses informations. [5]

Le BIM est souvent assimilé à un logiciel ou à une technologie, mais en réalité, les maquettes numériques ne constituent qu'un support de travail pour les différents intervenants.

Le cœur du BIM ce sont tous les processus de gestion de l'information qui l'englobent et alimentent les différents modèles.

Ce concept a pour but de générer plus d'échanges entre les différents acteurs pour non seulement optimiser le projet mais aussi apporter à chacun une vision plus globale en prenant conscience des problématiques des autres métiers. Le principe est dans un premier temps d'effectuer les études techniques le plus en amont possible du projet afin de détecter au maximum les interférences des métiers et de proposer des solutions afin de les résoudre. Le BIM change l'acte de construire en accordant plus de temps à la conception, ce qui permet d'alléger la phase travaux où l'exécution serait rendue plus facile. [5]

Le BIM est un processus qui s'inscrit dans un projet de A à Z (Figure 1.2) :

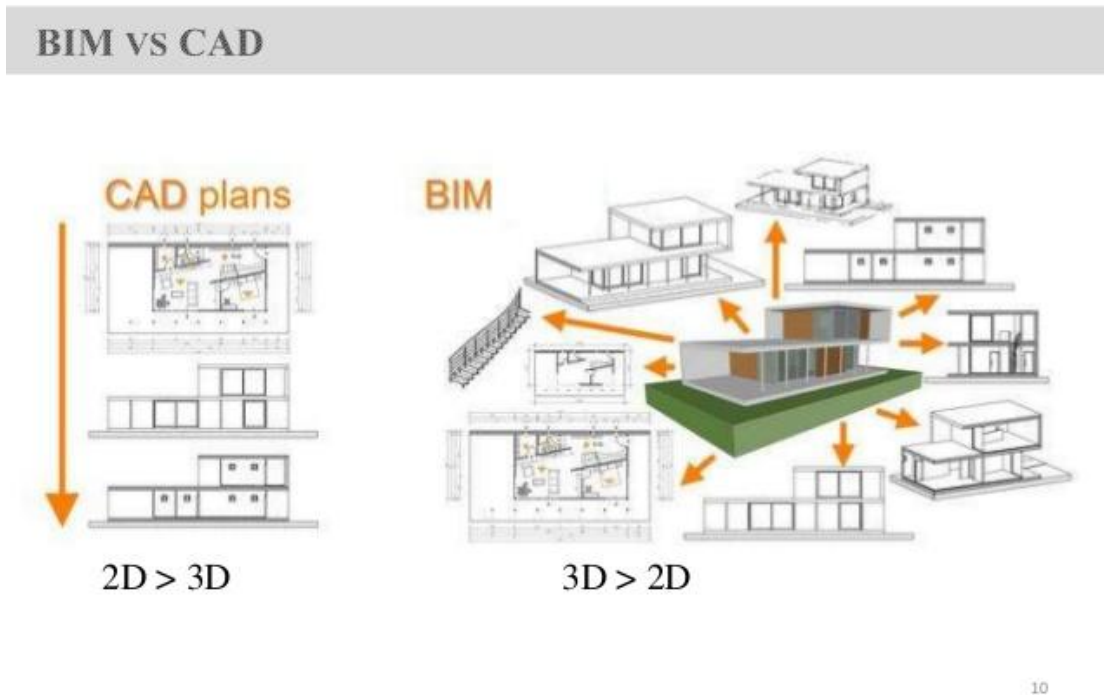
- Lors de l'élaboration
- Lors de la construction
- Lors de la livraison
- Lors de l'exploitation. [5]

**Le BIM n'est pas un logiciel mais une façon de travailler.**

### **1.3.2 La différence entre BIM et CAO :**

Les possibilités de conception de la conception assistée par ordinateur ont été développées au début des années 1980, mais elles n'étaient que des représentations des dimensions du bâtiment avec des lignes, des cercles et des rectangles sans signification et manquent des possibilités d'introduire les propriétés et les composants des éléments physiques. Alors ils ont développé un concept de systèmes BIM pour promouvoir l'idée de la modélisation paramétrique, qui définit les éléments du bâtiment comme des éléments simulés de la réalité en termes de dimensions, de caractéristiques et de constituants. [3]

Ce qui suit est une comparaison de deux modèles



**Figure 1.3** Les différences entre CAO et BIM [2]

### 1.3.2.1 Conception assistée par ordinateur CAO :

La méthode de travail des systèmes CAO consiste à représenter les éléments du bâtiment à l'aide de schémas électroniques de manière à ce que les éléments forment un ensemble des lignes, d'arcs et des cercles afin de produire la forme souhaitée, car les éléments sont facilement classés en couches de diverses propriétés, notamment l'épaisseur et la couleur. On sait que les schémas architecturaux sont le point de départ des travaux des autres disciplines: outre l'estimation des coûts, des quantités et du temps et l'utilisation des systèmes de CAO, tous les changements seront effectués manuellement pour chaque plan, ce qui prend beaucoup de temps et peut être omis. Ainsi, les systèmes de CAO sont considérés comme des entités indépendantes et le concepteur est responsable de la modification, la modification de l'un d'eux nécessitant une modification du reste ainsi qu'un ajustement du coût, des quantités et des délais. [3]

## 1.3.2.2. Design selon le concept :

Éléments de ce concept BIM, les objets sont définis par leurs propriétés géométriques (longueur , la largeur ..... ) et leurs autres caractéristiques telles que l'information spatiale et géographique, les matériaux constitutifs et d'autres informations, car les éléments ne sont pas caractérisés par des couches et des couleurs mais sont classés et identifier comme fenêtres, telles que les composants, les spécifications, les dimensions et les détails, qui peuvent être modifiées en modifiant les valeurs de leurs propriétés au lieu de les supprimer, les modifier et les agrandir.

Et ainsi réduire les efforts et le temps et réduire la vulnérabilité aux oublis et erreurs qui surviennent dans les projets complexes. Ainsi nous constatons que le processus de liaison est très efficace pour gagner du temps et de la coordination [3]

## 1.3.3 Fonction de BIM :

Le BIM peut être utilisé pour :

### 1.3.3.1 Collecter les données :

- Collecte de données structurées, actualisées et fiables, par et pour toutes les parties prenantes (architecture, structure, fluides, thermique, courant faibles et forts...), et ce à toutes les phases d'un projet ;
- Centralisation en un endroit unique mais à usage multiple (bibliothèque commune dynamique) ;
- Doublons d'informations évités ; [25]

### 1.3.3.2 Générer les données :

- Génération d'informations sur le projet de manière aisée, sur différents supports (schémas, rapports, tableaux, planning, plans...) et avec des données à jour ;
- Représentation du projet de façon détaillée ou schématisée pour les membres du projet ou pour des membres extérieurs (futurs utilisateurs, riverains...) ; [25]

### 1.3.3.3 Analyser et contrôler les données :

- Détection d'incohérences entre les modèles produits par les différents intervenants (incohérence physique, planning...);
- Aide au processus décisionnel en favorisant l'anticipation (programmation, gestion des actifs, maintenance, choix techniques, finances...);
- Validation de l'atteinte des besoins et exigences à toutes les étapes du projet;

### 1.3.3.3 Communiquer les données :

- Partage des données et des commentaires, entre tous les acteurs du BIM
- Mise à jour du modèle dynamique, en temps réel [25]

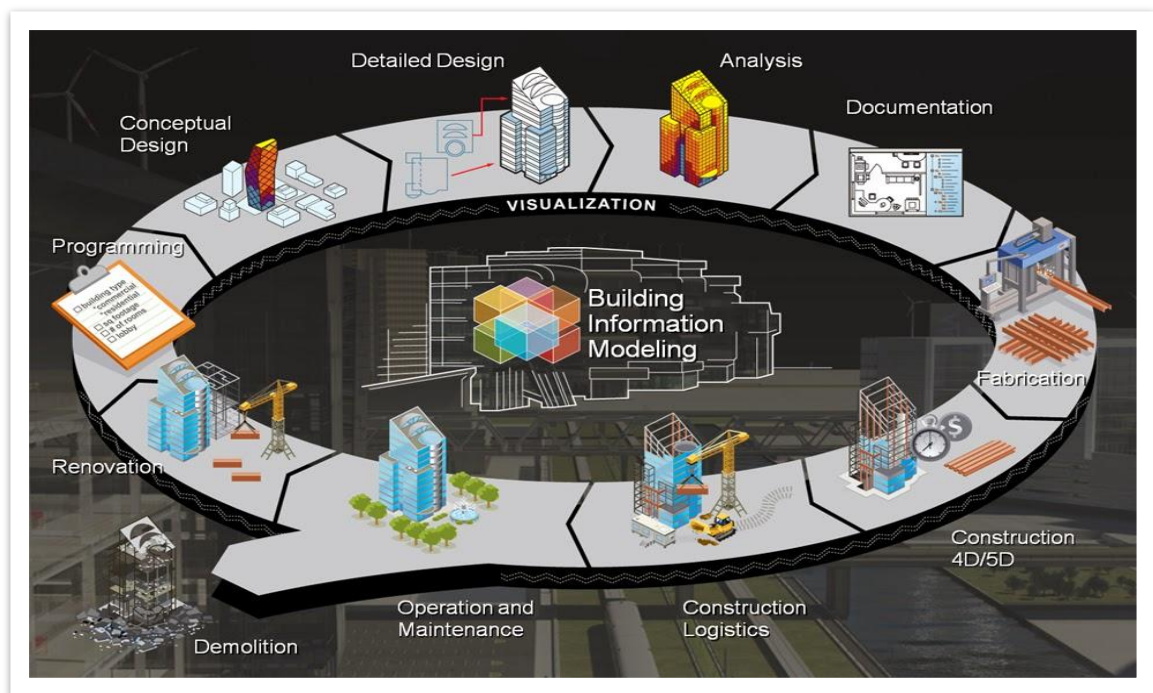


Figure 1. 4 : Champ d'action du BIM [2]

## 1.3.4 Les maquettes numériques

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

Dans cette définition, on évoque d'abord l'aspect géométrique, a priori en 3D, d'un produit quelconque. Mais le mot « sémantique » est absent. Cela dit, les termes « analyser », « contrôler » et surtout « simuler » laissent supposer qu'un minimum d'informations sur la nature des objets de cette maquette numérique et leurs propriétés sont présentes, sans quoi seuls des contrôles visuels sont possibles [1]

### 1.3.4.1 Maquettes numériques de bâtiments existants :

Afin d'utiliser un BIM dans un bâtiment existant, il faut créer une maquette numérique de celui-ci. Cette maquette peut être créée soit à partir de documents existants à condition que ceux-ci soient à jour, soit à partir de relevés de l'état actuel du bâtiment. La documentation de bâtiments existants n'est souvent pas à jour ou inexistante. En effet, beaucoup d'informations sont perdues lors du transfert d'un ouvrage entre constructeurs et gestionnaires. Lorsque la création de la maquette d'un bâtiment existant ne peut pas se baser sur des documents archivés, il faut réaliser des levés de l'existant. Le scanner laser est très largement utilisé pour capturer la géométrie du bâtiment sous forme de nuages de points. Il présente l'avantage de collecter rapidement une grande quantité de données précises, avec un niveau de détails important. Le terme BIM « tel que saisi » peut être rencontré lorsqu'on parle d'une maquette créée à partir de données issues d'un levé au scanner laser [11]

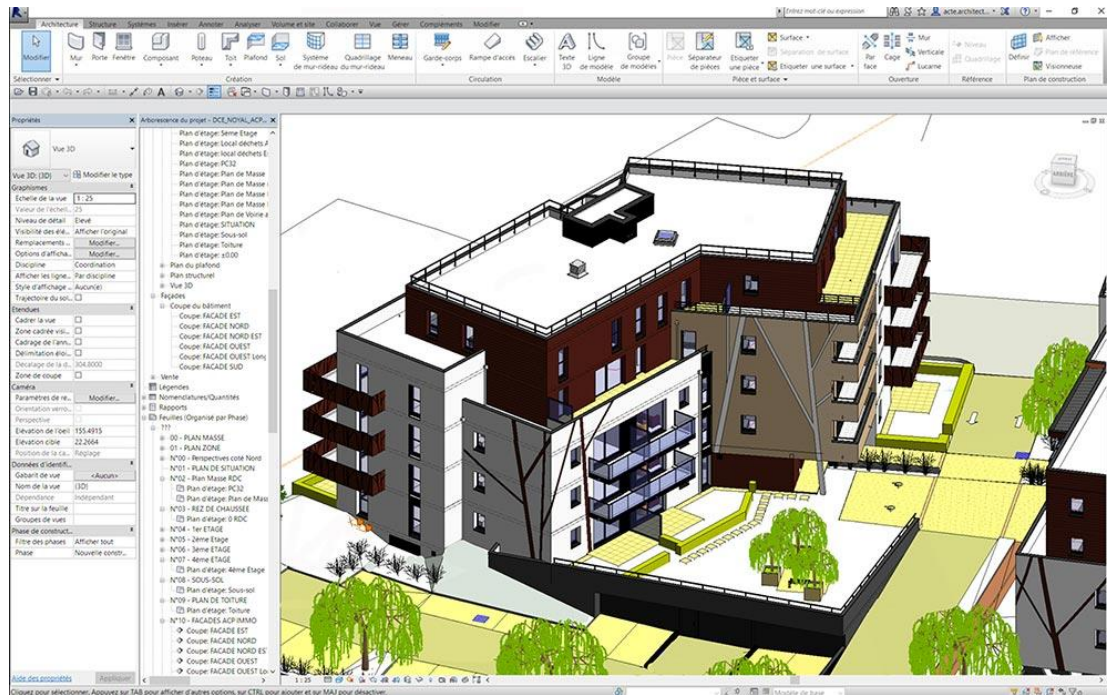
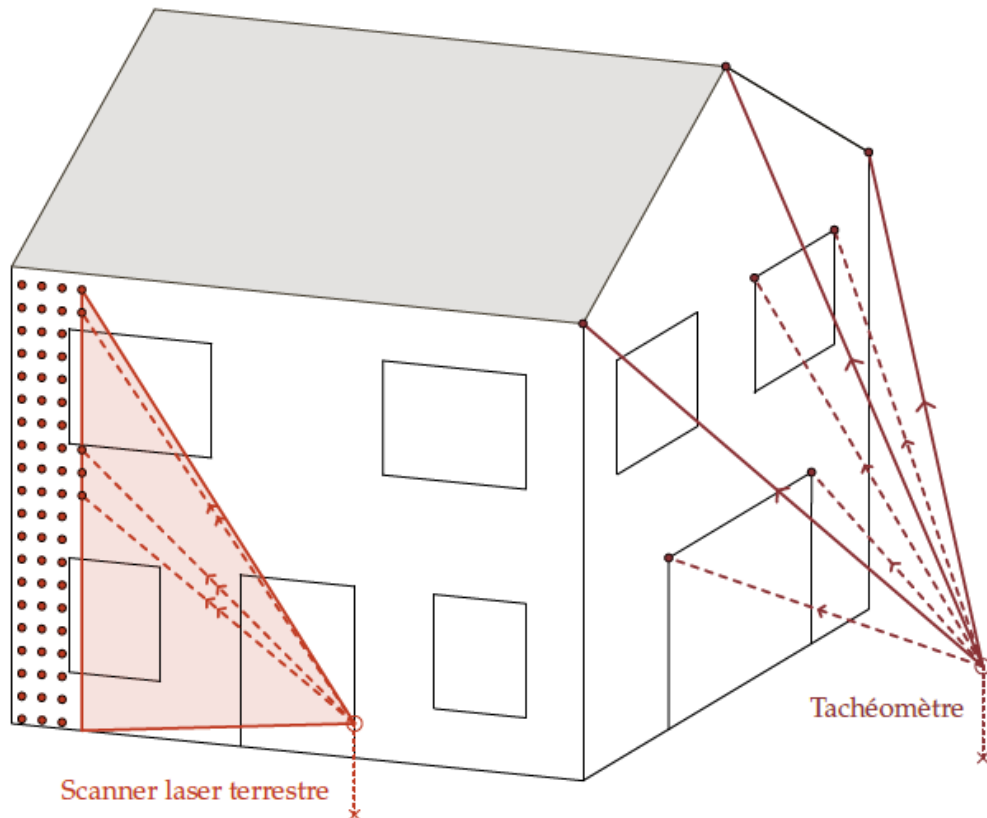


Figure 1.5 : Maquette numérique [2]

### 1.3.4.2. Scanner laser terrestre :

Le scanner laser terrestre est utilisé aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur de bâtiments. Il s'agit d'une technique très répandue pour la modélisation de bâtiments existants qui est adoptée progressivement par l'industrie du bâtiment et dans le domaine de la documentation du patrimoine (Stylianidis et Remondino, 2016). Cette technique permet en effet des levés rapides de l'existant, très précis, et avec un niveau de détails élevé (Azhar et al., 2012; Gao et al., 2012; Li et al., 2008). Certains gouvernements tels que les gouvernements britannique et américain recommandent l'utilisation de cette technologie de capture dans le processus BIM.



**Figure 1.6 :** Acquisition de façade au scanner laser et au tachéomètre sans réflecteur [11]

Le balayage laser terrestre est une technique d'acquisition qui utilise la lumière laser. Elle permet de mesurer, de manière rapide et sans contact, un objet selon une trame régulière de points. Elle fournit les coordonnées tridimensionnelles des points décrivant les surfaces présentes dans la scène considérée. L'ensemble de ces points est appelé **nuage de points**. [11]

### 1.3.5. Les dimensionnement de BIM :

Le BIM ne se limite pas seulement à de la 3D, la base de données qui est associée à la maquette numérique peut prendre d'autres dimensions [6]



**Figure 1.7** : les dimensions du BIM [2]

**BIM 3D** : Les trois dimensions géométriques X-Y-Z. Sans elles le BIM ne serait pas. Elles permettent les visualisations, les détections d'interférence, la préfabrication, les relevés de l'existant, le calcul des quantités, la mise à jour automatique des coupes et détails, etc.

**BIM 4D** : Ajoute une donnée "temps" aux trois dimensions géométriques. Permet de lier les éléments géométriques avec une information "temps" ou un planning de construction, ce qui va permettre aux différents acteurs d'un projet de visualiser dans le temps la durée d'un événement ou la progression d'une phase de construction.

**BIM 5D** : Ajoute-la donnée "coût" aux 4 dimensions précédentes. Permet de lier les éléments géométriques et la contrainte "temps" à un "coût" et ainsi estimer les coûts de construction ou obtenir un aperçu de la situation financière d'un projet à un moment donné.

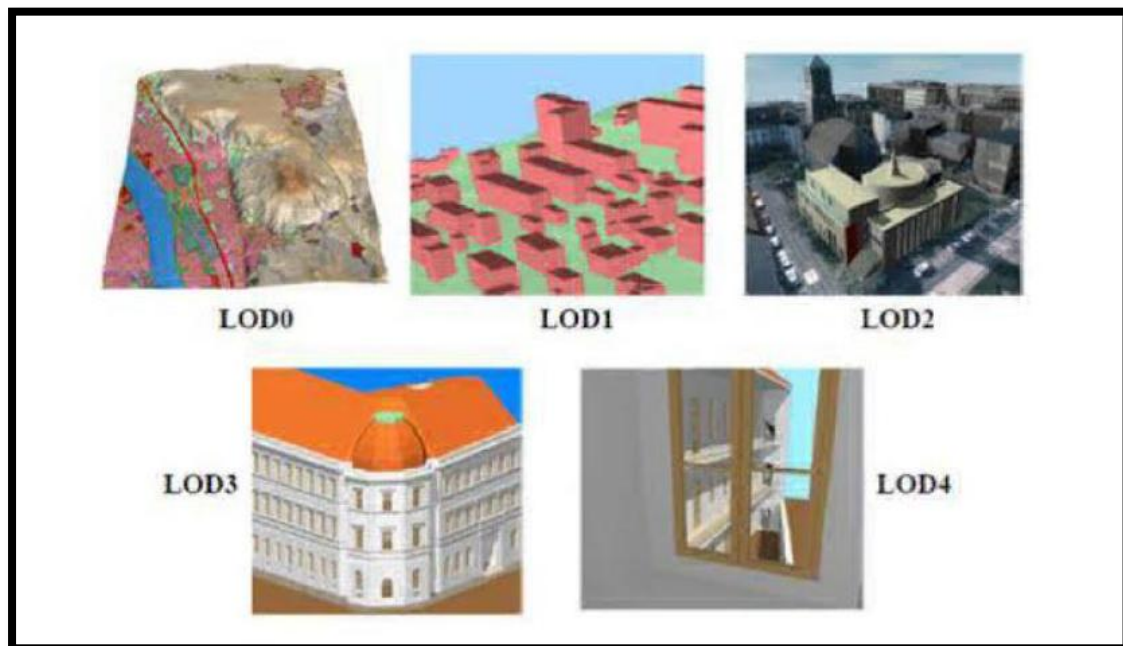
**BIM 6D** : Traite de tout ce qui concerne le développement durable d'un bâtiment, par exemple les analyses énergétiques.

**BIM 7D** : Lie les éléments du projet à tous les aspects de la durée de vie du bâtiment. Généralement délivré à la fin de la construction, le modèle 7D tel que construit contient toutes les informations nécessaires au propriétaire pour l'utilisation et la maintenance du bâtiment.

**BIM XD** : Le X représente ici toutes les données additionnelles imaginables qui pourraient encore venir s'ajouter aux autres dimensions. [6]

## 1.3.6 Les niveaux de détail de BIM

Le Niveau de détail de la maquette dépend de la phase du projet dans laquelle vous vous trouvez. Internationalement les différents niveaux de détails suivants (appelés LOD de l'anglais Level of Detail) ont été adopté



**Figure 1.8** : Les niveaux de détail de BIM [2]

**LOD 100** : Les éléments du modèle peuvent être représentés par un symbole ou de manière générique. Les informations contenues dans les éléments peuvent provenir d'autres éléments.

**LOD 200** : Les éléments du modèle sont représentés graphiquement d'une manière générique en tant qu'objet ou assemblage. Les dimensions, quantités, formes, positions et orientations des éléments peuvent être approximatives.

**LOD 300** : Les éléments du modèle sont représentés graphiquement d'une manière spécifique en tant qu'objet ou assemblage. Les dimensions, quantités, formes, positions et orientations sont spécifiques aux éléments.

**LOD 350** : Les éléments du modèle sont représentés graphiquement d'une manière spécifique en tant qu'objet ou assemblage. Les dimensions, quantités, formes, positions et orientations sont spécifiques aux éléments. Les éléments interagissent avec les autres éléments.

**LOD 400** : idem LOD 350 mais avec en plus les informations sur le détail, la fabrication, l'assemblage et l'installation sont contenues dans les éléments.

**LOD 500** : idem LOD 400 mais tel que construit et vérifié sur place. A noter que des informations non graphiques peuvent être attachées aux éléments à tout le niveau d'applications [6]



**Figure 1.9** : Croquis d'une base de poteau dans différent de niveau [2]

### 1.3.7. Les différents niveaux du BIM

Le BIM a plusieurs niveaux, appelés niveaux de maturité. Ces niveaux sont en fait des étapes vers le BIM collaboratif. Les niveaux 0,1 et 2 ne doivent donc être considérés que comme des étapes et non pas une fin en soi. Les descriptions ci-dessous correspondent aux niveaux utilisés au Royaume-Uni, mais il semblerait que ceux-ci soient reconnus ailleurs également

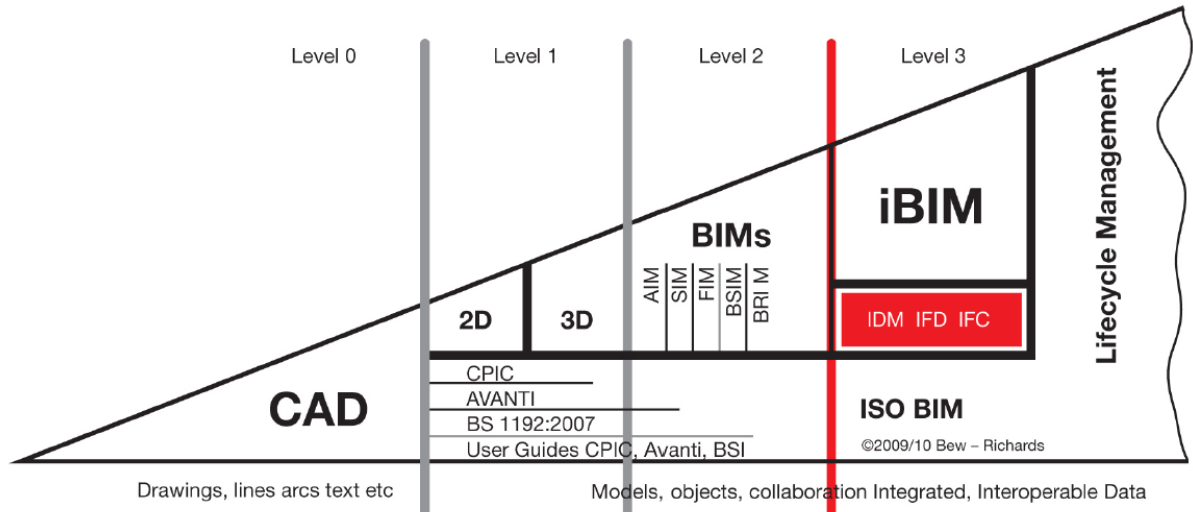


Figure1.10 : La maturité du BIM [2]

### 1.3.7.1. Niveau de maturité 0 :

Pour bien comprendre le principe de modélisation collaborative orientée-objet, en s'inspirant des approches BIM actuellement implémentées et standardisées dans certains pays, il est important de clarifier les différents concepts manipulés. Conformément aux paradigmes précédemment développés dans nos travaux de recherche en Sciences, nous distinguons ci-après fondamentalement le processus de collaboration des technologies et services assistant les échanges d'information. Les approches BIM telles qu'observables aujourd'hui font apparaître des pratiques collaboratives s'appuyant sur des processus d'échange d'information qui vont faire appel à des technologies informatiques, garantissant notamment l'interopérabilité des échanges de données. [7]

### 1.3.7.2 Niveau de maturité 1 : la modélisation orientée-objet

Le niveau 1 correspond à une modélisation orientée-objet. Il décrit donc un contexte lié à l'utilisation de logiciels BIM permettant de remplacer les représentations bidimensionnelles traditionnelles par des représentations tridimensionnelles augmentées d'information sémantique. À ce niveau,

- les représentations bidimensionnelles traditionnelles de la période pré-BIM sont remplacées par des modèles tridimensionnels orientés-objet. Ces modèles sont en général mono-disciplinaires et permettent à leur auteur d'automatiser la génération de documents 2D et 3D (perspectives, simulations, etc.). Notons que d'autres descriptions du projet restent gérés manuellement et séparément de ce modèle (métrés, cahiers de charges, etc.) ;
- la collaboration se limite assez souvent à des échanges adhoc de modèles (suivant le besoin exprimé à un instant t du projet). L'échange de modèles se limite à un export>import unidirectionnel (c'est à dire sans retour d'information dans le contexte émetteur) ;
- les logiciels utilisés sont à ce niveau des logiciels dits « BIM », c'est-à-dire permettant une modélisation orientée-objet. Mais d'autres logiciels "non-BIM" sont également utilisés en support, comme c'est le cas par exemple des plates-formes de gestion de projet [7]

### 1.3.7.3 Niveau de maturité 2 : la collaboration orientée-modèle

Le niveau 2 correspond à une collaboration basée sur des modèles orientés-objet. Il s'agit donc d'un niveau de modélisation "avancée" où

- les paramètres des objets 3D sont contrôlés en termes de niveau de détail attendu en fonction des phases du projet. Le modèle intègre également d'autres types de données prédéterminées, de manière à permettre l'échange sémantique entre les disciplines. Ainsi, les exigences du maître d'ouvrage conduisent à produire un ensemble de données orienté « gestion de patrimoine », ou encore les données issues de la « gestion de projet » sont consolidées avec les ouvrages 3D ;
- en plus de l'utilisation de logiciels de CAO « BIM », la collaboration est formalisée sur la base de processus d'échange correspondant à des pratiques collaboratives modélisées avec des objectifs, l'implication de plusieurs disciplines et des exigences informationnelles identifiées. On observe dans certains cas une transversalité du processus d'échange, les modèles produits dans une phase donnée étant la base de l'enrichissement de l'information dans une phase ultérieure ;
- des logiciels "non-BIM" sont également utilisés pour ajouter des dimensions complémentaires comme le temps (4D), ou les ressources financières (5D) au modèle.

Des formats d'échange de modèles (IFC ou propriétaires) sont choisis en fonction de leur capacité à supporter l'échange de données exigé dans le processus. Enfin, on notera la question de la persistance des données produites dans le processus d'échange, d'un point de vue technologique. En effet, les processus BIM d'un projet au niveau 2 peuvent être développés séparément, et surtout en parallèle de processus projet plus « classiques » [7]

### 1.3.7.4 Niveau de maturité 3 « l'intégration orientée-réseau » :

Le niveau 3 correspond à l'utilisation collaborative d'un modèle intégré orienté-objet et partagé via un réseau auquel les acteurs peuvent se connecter pour alimenter le modèle, Trois avancées soutiennent les hypothèses technologiques pour le niveau 3 – l'essor du « Cloud » et ses usages en matière de stockage distant (*Cloud Storage*) et de capacité de calcul à distance (*Cloud computing*) ;

- l'omni présence d'application et terminaux *mobiles*, permettant l'accès aux données du projet dans des contextes d'utilisation mobiles ;
- Enfin, les méthodes et outils d'acquisition du réel et d'impression 3D confortent les processus « BIM » des phases amont de projet aux phases nécessitant une restitution physique voire une construction numérique des ouvrages [7]

### 1.3.8 BIM Processus Manager

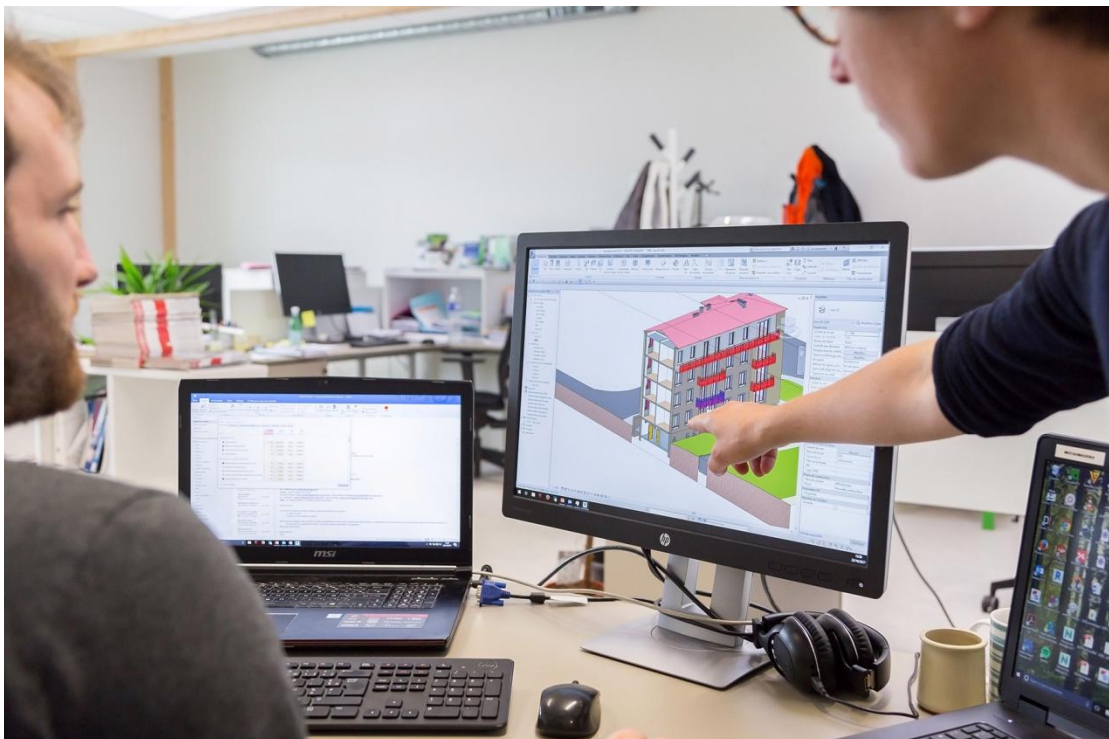
Lorsqu'un projet BIM est lancé, il est nécessaire de sélectionner une personne responsable de la spécification des objectifs et des exigences du projet BIM mais aussi pour la collecte et la gestion des données pour le travail BIM. Dans la relation traditionnelle entre propriétaire, architecte et entrepreneur dans un projet de construction, cette personne peut être l'architecte. Cette fonction pourrait également être remplie par une partie indépendante travaillée pour le propriétaire afin de garantir la neutralité entre les parties prenantes. Ce pendant, le rôle du gestionnaire de processus BIM peut également être rempli par une autre partie telle que le chef de projet ou le concepteur en chef.



**Figure 1.5 : BIM Manager [2]**

Le rôle du gestionnaire de processus BIM est de définir les règles à respecter tout au long du processus de construction, de la planification jusqu'à l'opération. Il doit veiller à ce que les informations échangées entre les différentes parties prenantes correspondent aux règles fixées par le contrat en termes de:

- Contenu (quantité d'informations, maturité des informations).
- Formulaire (format de fichier, courrier électronique ou service en ligne, présence d'un rapport d'échange).
- Calendrier (pour surveiller la rapidité d'exécution des tâches BIM conformément au planning du projet).
- Réglementation en matière de propriété, de confidentialité et de sécurité.



**Figure 1.12 : Responsabilités de BIM Manager [2]**

### **1.3.8.1. Responsabilités et réglages BIM**

#### **1.3.8.1.1 Responsabilités**

De toute évidence, les responsabilités des parties prenantes traditionnelles restent en place. En outre, il est nécessaire de définir les caractéristiques spécifiques liées au BIM. Responsabilités. Le principe commun est de considérer que l'auteur d'un modèle (partie d'un modèle) est responsable de son contenu.

Afin de préciser dans quelle mesure nous pourrions nous appuyer sur le modèle, un document descriptif doit être joint, mis à jour et transféré avec le modèle. Ce document est appelé «Fiche de données d'identification de modèle et d'information» présenté plus loin dans le chapitre suivant. [8]

Les responsabilités et passifs liés au BIM sont spécifiquement définis et fixés par contrat entre les différentes parties prenantes lors de l'élaboration du protocole BIM.

#### **1.3.8.1.2 Planification financière**

Outre les modifications apportées aux processus, aux rôles et aux responsabilités, l'utilisation d'un processus BIM induit également des modifications de la répartition de la charge de travail. Des efforts supplémentaires sont déployés aux premières étapes de la conception, mais en revanche, le temps nécessaire pour produire les documents est plus long. Raccourci Par conséquent, l'utilisation du BIM induit un ajustement de la planification financière. [8]

#### **1.3.8.1.3 Qualité**

Au moins, le même niveau de qualité que pour les documents classiques doit être appliqué au modèle et aux documents numériques. Contrôle de qualité et les processus de validation doivent être clairement définis dans le protocole BIM spécifique au projet

#### **1.3.8.1.4 Sécurité**

Le même niveau de sécurité que pour les documents classiques doit être appliqué au modèle et aux documents numériques. L'accès peut être contrôlé à l'aide d'un «code

d'accès». Il est également possible d'activer différents types d'accès, tels que l'accès «en lecture seule». Les limitations concernant l'accès et la protection des informations doivent figurer dans le contrat. [8]

### **1.3.9. Avantages de 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 [6]

#### **1.3.9.1 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.[6]

### **1.3.9.2 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 comportera 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. [6]

### **1.3.9.3. 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 [6]

### 1.3.10 L'interopérabilité :

L'interopérabilité ou l'OPENBIM est la capacité de transférer de manière efficace des données d'un projet vers différentes plateformes. Le BIM est un processus qui sert durant tout le cycle de vie d'un bâtiment, depuis l'esquisse jusqu'à la démolition. A chaque phase, de nombreux logiciels sont utilisés et l'interopérabilité est donc primordiale pour que chaque intervenant puisse travailler la maquette sur son logiciel BIM adapté métier. Un manque d'interopérabilité conduit souvent à une perte de temps (ressaisie des données) et introduit des erreurs. [25]

Les formats de fichier ouverts et standards sont ainsi indispensables pour une bonne interopérabilité des données et permettent de contrer la monopolisation potentielle d'une marque avec son format propriétaire. De cette manière les logiciels sont capables de "lire" des fichiers réalisés sur des produits d'éditeurs différents. Le format de fichier privilégié soutenu par les organisations promouvant le BIM est l'IFC bien qu'aucune réglementation n'impose l'usage de celui-ci.

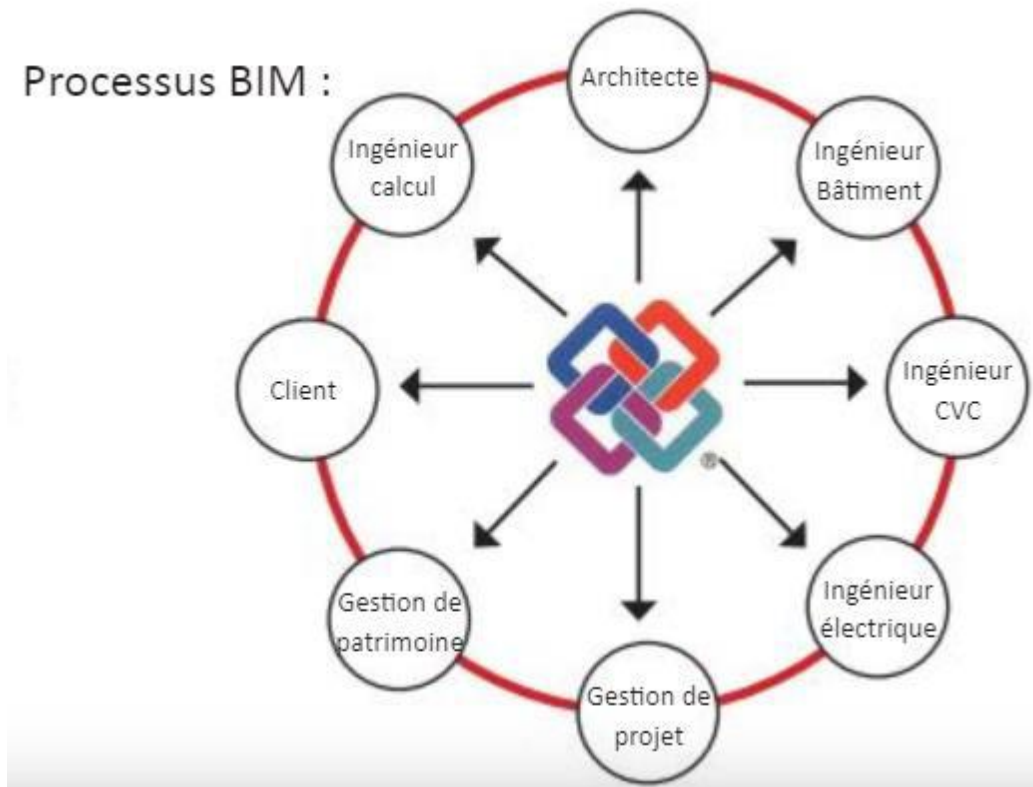


Figure 1.13 : Echange entre tous les intervenants du projet [2]

### 1.3.11. Industry Foundation Classes IFC :

#### 1.3.11.1. Définition :

Schéma de données neutre et non Propriétaire développé par building SMART pour définir, décrire, échanger et partager les informations.

Le format IFC est une norme servant au partage de l'information, de la même manière que les formats MP3 et PDF sont des formats normalisés pour l'exportation de données produites de différentes manières. Le format IFC a présenté de nombreux défauts de jeunesse : comme beaucoup de bonnes idées, il lui a fallu du temps pour prendre ses marques. Cependant, la version la plus récente représente le meilleur effort accompli par l'industrie pour obtenir que tout le monde parle le même langage. [9]

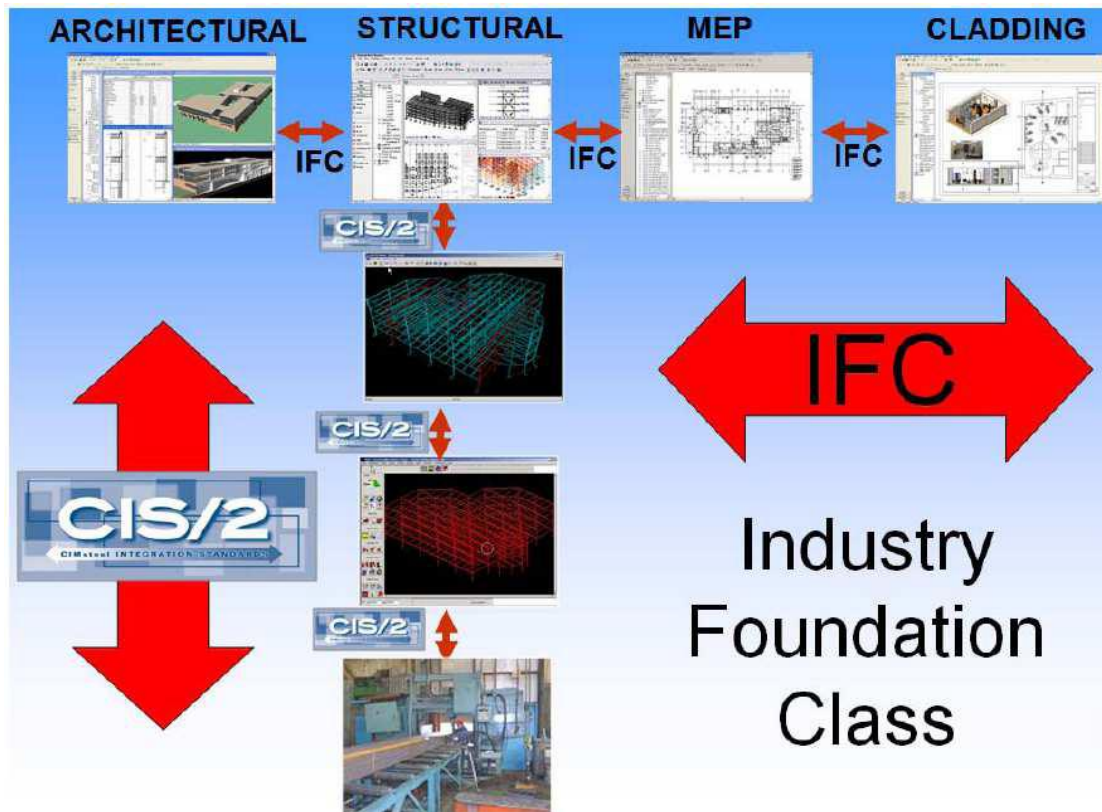


Figure 1.14 : Partager les informations par IFC [2]

### 1.3.11.2. Origine des IFC :

C'est aux Etats-Unis, 1995, que commencer l'aventure. Une réflexion est engagée par une douzaine d'entreprises de la filière du bâtiment pour améliorer la communication entre logiciels, plusieurs années seront nécessaires pour définir Un moyen de faciliter les échanges entre applications utilisées par les professionnels De la construction (architectes, bureaux d'études, maitres d'ouvrage, entreprises). [10]

## **CHAPITRE 2 : LES DIMENSIONS DU BIM ET LEURS INFLUENCES SUR LE PROJET DE GENIE CIVIL**

## 2.1 Introduction

Dans la technologie BIM il existe un grand potentiel pour réduire les coûts de conception et de production grâce à une utilisation plus efficace du temps et à une meilleure visualisation. Les entrepreneurs peuvent tirer parti de l'utilisation du BIM grâce à une meilleure coordination, à une meilleure estimation des coûts et à la gestion des achats, à l'utilisation du BIM pour l'automatisation de la fabrication hors site et pour une meilleure planification, ce qui peut fournir des sites de construction plus propres et plus sûrs et réduire la durée. Le propriétaire peut tirer parti du BIM en obtenant une plus grande certitude quant aux résultats en termes de coût et de temps du projet, qui peut être mieux estimée lorsque le BIM 4-D et 5-D sont intégrés au processus plus tôt. [12]



Figure 2.1 : bene fit dimensions de BIM [2]

### 2.2 Refaire la définition de la 3D

En deux ou trois dimensions, le dessin assisté par ordinateur équivaut au dessin conventionnel, exécuté uniquement sur ordinateur. Les points, les lignes et les symboles peu intelligents sont utilisés pour exprimer l'intention de conception ou les méthodes et moyens de construction détaillés. Le plus souvent, tracé sur un support papier et publié sous cette forme à des fins de dessins et de spécifications, et remis au propriétaire, à l'entrepreneur ainsi qu'aux autorités et agences examinatrices pour approbation et construction effective [12]

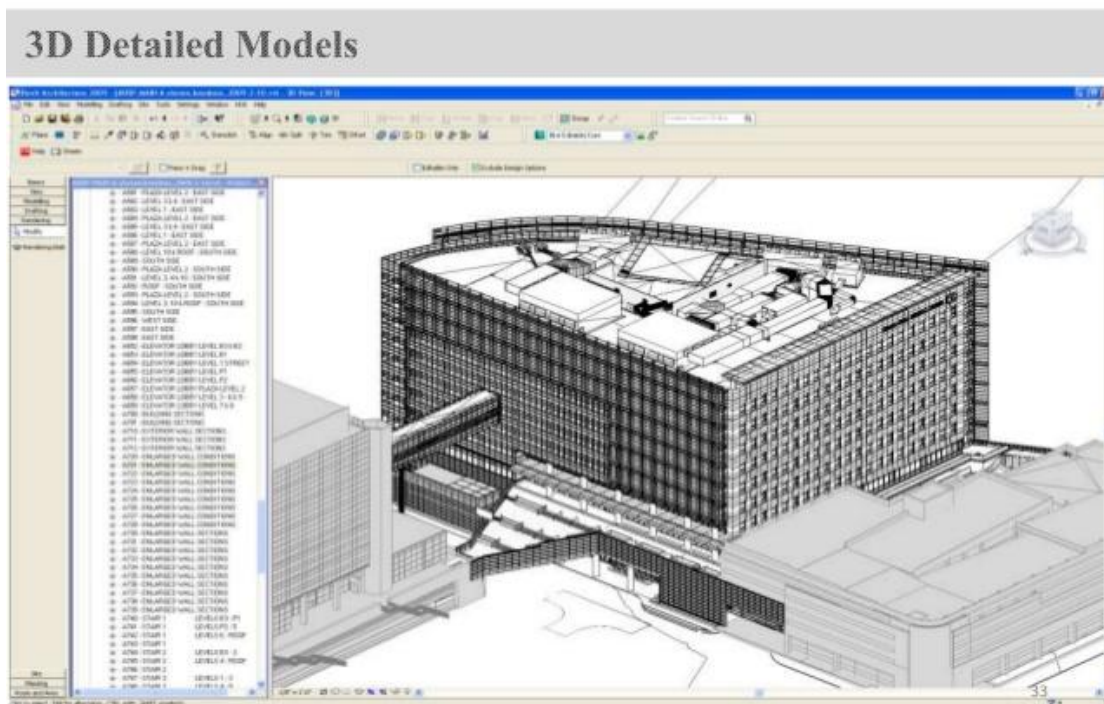


Figure 2.2 Module en 3D [2]

#### 2.2.1 Caractéristiques

- Objets "intelligents" et paramétriques
- Bibliothèques d'objets disponibles
- Création de familles d'objets par les fournisseurs

#### 2.2.2 Principaux usages

- Conception
- Revue de constructibilité

- Détection d'interférences [13]

### **2.2.3 La différence entre la CAO 3D et le BIM**

Les changements de rythme de la conception et de la technologie dans l'industrie du bâtiment ont engendré un certain climat de confusion. Des nouvelles méthodes, des nouveaux processus et de nouveaux logiciels apparaîtront sous la forme de mises à jour des anciennes versions, alors que d'autres opèreront en parallèle, tout en ayant des applications très différentes. D'autres sont complémentaires mais ont des qualités uniques bien définies qui peuvent parfois être négligées par le commun des mortels.

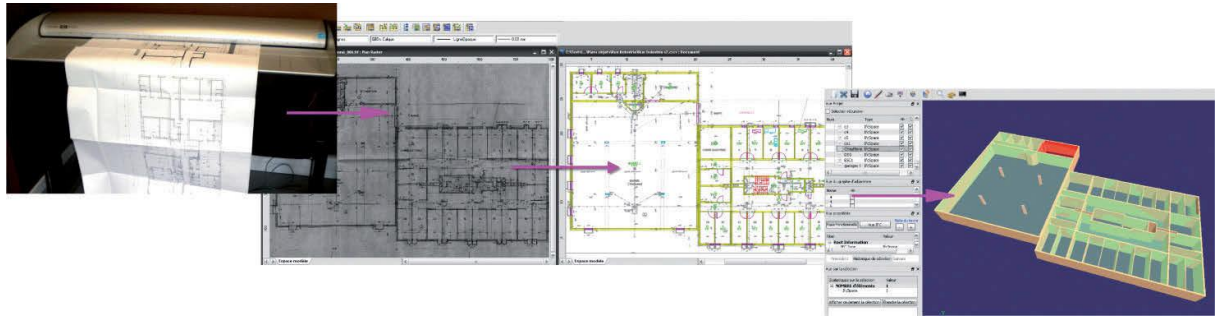
La confusion qui règne actuellement au sujet de la CAO, du BIM est illustre parfaitement cette situation. En ce qui concerne le BIM, la question que ceux qui ne sont pas familiarisés avec ce processus se posent le plus souvent est la suivante : ne s'agit-il pas tout simplement d'un outil de CAO 3D ? De la même manière, la VDC est souvent confondue avec le BIM, et vice versa. Dans une certaine mesure, tout dépend de la technologie ou du procédé avec lequel l'utilisateur s'est familiarisé en premier. Pour ceux qui sont calés sur les trois méthodes, les différences sont assez claires.[14]

#### **2.2.3.1 Définition de CAO**

La CAO, ou conception assistée par ordinateur, est la méthode la plus ancienne. Il s'agit d'un outil de conception et de documentation qui utilise la technologie informatique pour atteindre le modèle le plus précis, le plus complet et le plus riche en informations possible. Il est en général utilisé pour la conception et l'ingénierie de projets complexes qui comprennent de multiples composants et pièces de précision, allant d'un téléphone portable à un avion en passant par un bâtiment.[14]

La CAO utilise à la fois des dessins 2D et des modèles 3D. La CAO 3D est la norme en matière de fabrication depuis les années 1990 ; cette technologie a apporté de nombreux bénéfices à l'industrie, notamment en permettant l'exécution rapide et efficace d'un travail de conception très complexe. L'adoption généralisée de la CAO 3D a en grande partie été motivée par le besoin des entreprises de rester compétitives. En effet, la CAO 3D permet une livraison de produits beaucoup plus rapide. Ainsi,

toute entreprise n'utilisant pas la CAO 3D prendrait inévitablement du retard sur les autres. La CAO 3D a dès lors été de plus en plus utilisée dans la conception de bâtiments [14]



**Figure 2.3 :** Développement de la maquette numérique [2]

### 2.2.3.2 L'arrivée du BIM

Alors que la CAO est un outil technologique, le BIM (Building Information Modeling) doit être considéré comme un processus collaboratif rendu possible par les technologies numériques les plus récentes. Au cours de ces dernières années, le BIM a engendré des changements très positifs dans le secteur du bâtiment, notamment en offrant à l'industrie une approche holistique regroupant la conception, la construction et la documentation tout au long de la durée de vie d'un projet. La principale différence entre le BIM et la CAO 3D est qu'un fichier BIM est beaucoup plus riche en informations et comprend des détails concernant la performance, les spécifications et d'autres données non physiques intégrées dans un modèle de projet numérique 3D partagé. [14]

Le BIM est un processus de conception et de production collaboratif qui fait appel à la technologie et qui permet aux architectes, aux ingénieurs, aux clients et aux entrepreneurs de travailler en collaboration sur un seul et même modèle de façon consécutive ou simultanée. Des décisions peuvent être prises et des problèmes peuvent être définis et résolus avant la pose de la première pierre à l'aide d'un modèle et d'une base de données informatisés et partagés. Les conflits entre les différents corps de métiers peuvent être détectés et coordonnés au cours des réunions de

coordination qui ont lieu avant la construction, ce qui évite les retards et les problèmes sur le terrain. Cela permet à la fois de gagner du temps et de l'argent et de réduire l'impact sur l'environnement. Le BIM permet également la réalisation réussie et sécurisée de modèles 3D plus complexes et plus ambitieux. [14]

### **2.2.3.3 BIM Meilleur travail**

Une représentation BIM consiste en un modèle numérique comprenant l'ensemble des systèmes fonctionnels et esthétiques du projet, tels que le câblage électrique, la climatisation, les portes, les fenêtres, etc., ainsi que toutes ses caractéristiques géométriques. Il s'agit d'une ressource pluridisciplinaire partagée qui permet à tous ceux qui travaillent sur un projet de partager des informations et des procédés afin d'obtenir une efficacité et une efficacité maximales. Le BIM encourage et facilite la communication et la collaboration en utilisant les technologies numériques les plus récentes. Le flux de travail de la conception à la construction peut ainsi être entièrement restructuré. De la même manière, et une fois la construction terminée, le modèle BIM pourra rester en place en tant qu'outil de référence tout-en-un pouvant être mis à jour à tout moment selon les besoins.

Il convient cependant de souligner une fois de plus que le BIM est un processus, et non une application ou un outil. Pour qu'il soit entièrement fonctionnel, toutes les parties doivent fournir autant d'informations que possible, y compris les fabricants de pièces et de matériaux. Alors que la CAO 3D permet aux composants et caractéristiques d'être divisés au sein des éléments dont ils font partie intégrante, puis analysés (à l'aide de différents modèles pouvant être combinés pour la détection des conflits), le BIM est beaucoup plus riche en informations. Les composants peuvent être identifiés selon un système de spécification principal comprenant des propriétés telles que les normes minimales, la conductivité, etc. Des exigences de performance acoustique, esthétique, structurelle et/ou thermique peuvent également être incluses. Une représentation BIM peut être considérée comme un objet intelligent ou un modèle paramétrique dont les différentes vues varient lorsqu'une entrée est mise à jour. [14]

### 2.3 BIM 4D (la dimension temporelle du BIM) :

#### 2.3.1. Définition

Le BIM 4D est le fruit de la liaison d'un Building Information Model en trois dimensions (3D) avec la quatrième dimension qui est le temps. Ce modèle 4D représente une maquette numérique du projet en plus d'incorporer les informations contenues dans un échancier de projet.[27]

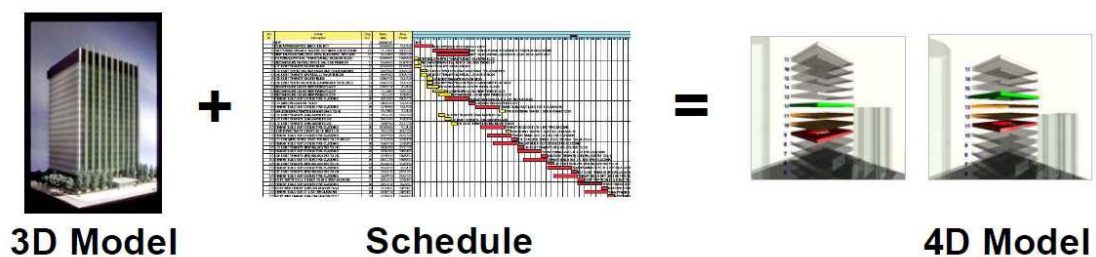


Figure 2.4 : Model 4D [27]

#### 2.3.2 Dimension BIM – 4D

- Caractéristiques
- 3D + temps
- Simulation de la construction à travers le temps

#### 2.3.3 Principaux usages

- Support visuel à l'ordonnancement
- Etude de constructibilité
- Détection d'interférences spatio-temporelles [13]

#### 2.3.4 Avant le BIM

##### 2.3.4.1 Méthodes manuelles basées sur la CAO

Les planificateurs de la construction construisent des modèles 4D manuellement depuis des décennies utilisant des crayons de couleur et des dessins, avec différentes couleurs pour différentes séquences montrer la progression du travail

dans le temps. Avec l'avènement de la CAO, les planificateurs transféré ce processus aux dessins de CAO qui utilisent des remplissages colorés, des ombres et possibilité d'activer et de désactiver des entités de CAO. Dans certains cas, où le modèle inclus conventions de dénomination ou attributs de composant liés au calendrier de construction, le processus pourrait être automatisé. Dans la plupart des cas, les planificateurs ont travaillé avec tiers pour créer des films haut de gamme ou des animations rendues afin de démontrer visuellement l'horaire. Ces animations sont visuellement attrayantes et un excellent marketing outil, mais ce ne sont pas des outils adéquats de planification ou de planification. Parce qu'ils sont produits manuellement, il est difficile de changer, mettre à jour ou faire en temps réel planification d'un scénario. Lorsque les détails de la planification changent, le planificateur doit resynchroniser l'image 4D manuellement avec la planification et créer un nouvel ensemble d'instantanés ou des animations. En raison de ces exigences de mise à jour manuelle, l'utilisation de ces outils sont normalement limités aux premières étapes de la conception lorsque la visualisation du processus de construction est souhaitée pour le client ou une agence extérieure. [15]

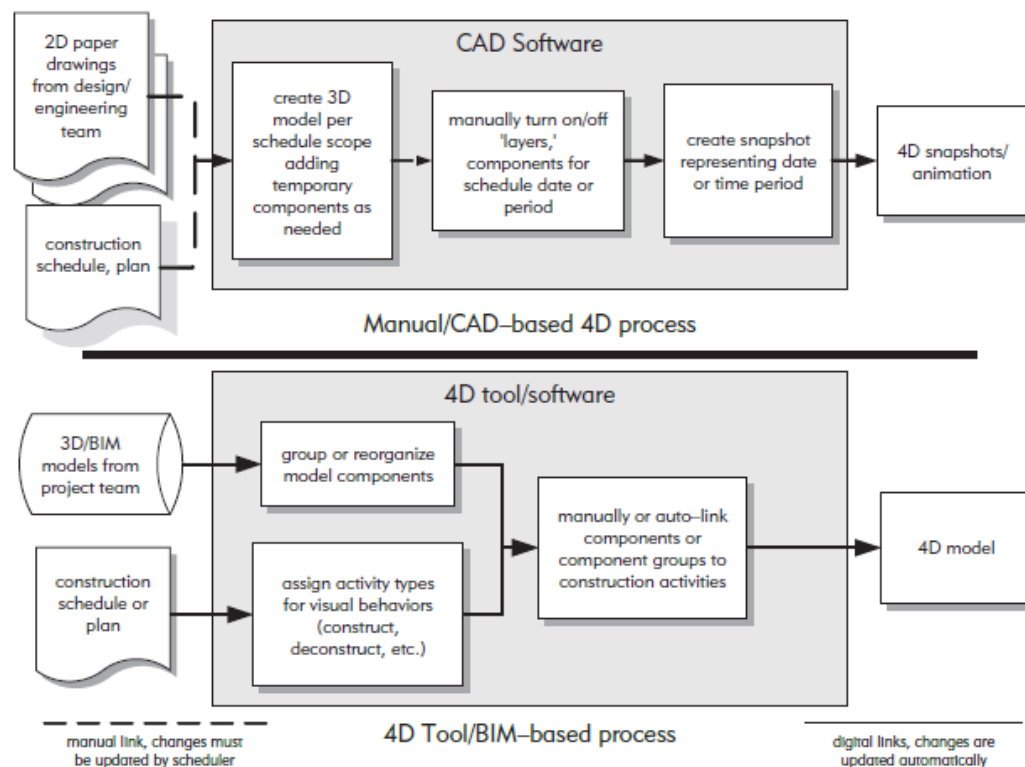


Figure 2.5 : Différence entre le 4D BIM et 4D CAD [5]

### **2.3.5 Qu'est-ce que la planification 4D ?**

Imaginons un instant que l'on souhaite tourner un film. Il faut on écrire le scénario et que le réalisateur, par des répétitions et une direction minutieuse, demande aux acteurs de se placer à des endroits spécifiques pour faire des essais avant de tourner la scène.

La 4D repose sur le même principe. Il s'agit d'affecter les éléments graphiques d'un modèle 3D du projet en construction aux tâches du planning, comme des ressources, mais engendrent également les apparitions et les disparitions de ces éléments par rapport aux débuts et aux fins des tâches.

Une fois ces affectations réalisées, vous pourrez jouer votre séquence 4D : en simulant le temps qui passe, la maquette prendra forme au fur et à mesure, pilotée par le planning.

Vous obtenez ainsi une séquence de construction virtuelle, véritable traduction visuelle du planning, permettant de partager une vision commune du projet beaucoup plus efficacement qu'avec la diffusion d'un Gantt. [16]

### **2.3.6 L'utilisation du BIM pour la planification**

Le BIM est reconnu comme une technologie de l'information ayant le potentiel de changer significativement les industries de l'architecture, de l'ingénierie et de la construction. Bien que de grandes avancées aient été faites, le BIM n'a pas encore atteint son plein potentiel pour la planification des projets de construction (H. X. Liu, Al-Hussein, & Lu, 2015). Plusieurs approches ont alors été étudiées afin d'utiliser les possibilités offertes par le BIM pour améliorer le processus de planification. Certaines se basent sur la génération automatique d'échéancier à l'aide d'algorithmes exploitant les composants d'une maquette BIM (de Vries&Harink, 2007). D'autres approches basées sur la simulation ont été développées. Elles utilisent la simulation à événement discret pour étudier les opérations de construction et l'allocation de ressources entre les activités. Wang, Weng, Wang, et Chen (2014) ont développé une méthode de planification basée sur la simulation. Le processus se base sur l'exploitation des bilans de quantités fournis par une maquette numérique BIM

pour évaluer la durée des tâches. Une simulation des opérations de construction est ensuite réalisée ce qui permet de déterminer les durées probables des tâches. L'échéancier est ensuite mis à jour. Une piste largement étudiée est l'utilisation des maquettes numériques BIM pour la simulation 4D de la construction. Cette approche permet de visualiser les contraintes spatiales du projet

### 2.3.7 La simulation 4D

La 4D consiste en l'association de la dimension du temps à un modèle 3D de l'ouvrage. Le principe de la simulation 4D est de lier les tâches d'un échéancier de construction avec les éléments du modèle 3D via un outil informatique spécialisé offrant une interface 4D (McKinney, Kim, Fischer, & Howard, 1996). Ainsi il est possible de simuler l'état d'avancement du projet à travers le temps. Un modèle 4D se présente généralement sous la forme d'une animation dans laquelle le modèle 3D va prendre forme étape par étape. La figure 1.21 illustre le principe de la simulation 4D.

[16]

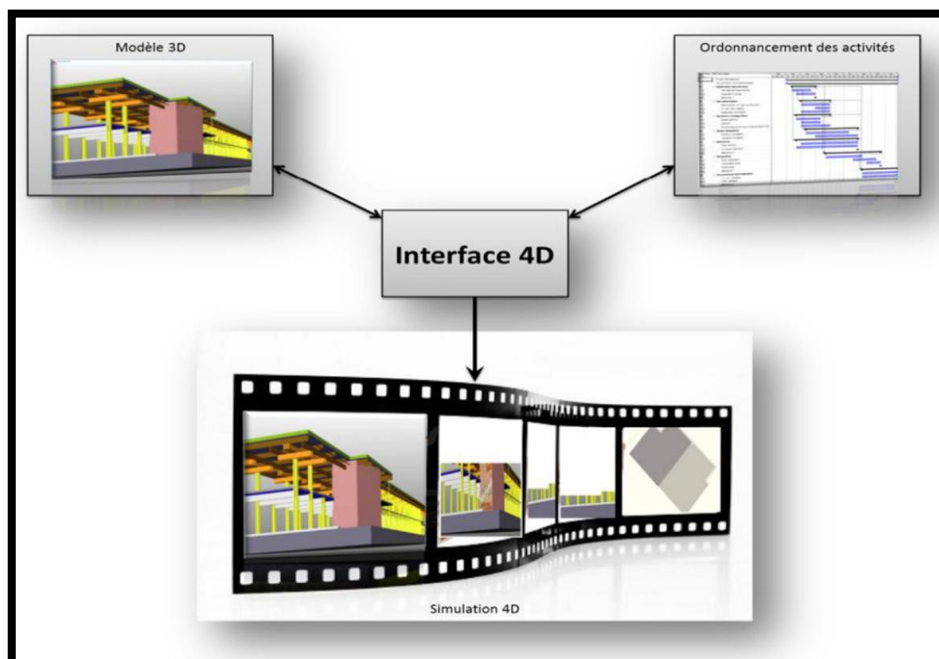


Figure 2.6 le principe de la simulation 4D [6]

## 2.3.8 Avantages du BIM 4D

Le modèle BIM, enrichi du **diagramme de Gantt**, fournit des données relatives aux phases du projet ou aux familles d'objets, en permettant de :

- Vérifier quelles activités sera impliquées et les temps de chacune de celles-ci
- Élaborer des scénarios d'analyse pour des activités spécifiques et les temps relatifs
- obtenir un aperçu, constamment mis à jour, de l'état d'avancement de l'ouvrage et le planning relatif.

Connecté de façon intelligente à la modélisation tridimensionnelle, le BIM 4D permet au professionnel de créer une ligne du temps, analyser visuellement des projets, vérifier et simuler les phases de travail dans le temps et apporter rapidement des changements [26]



Figure 2.7 Presseurs simulation 4D [2]

## 2.4 BIM 5D (dimension de cout)

### 2.4.1. Définition 5D BIM :

Financières (5D) pour estimer, simuler et piloter en temps réel les coûts de construction

### 2.4.2 Caractéristiques

- 4D + coûts
- Simulation des coûts

### 2.4.3 Principaux usages

- Budgétisation, valeur acquise
- Contrôle des coûts de construction
- Tableau comparatif des coûts avec le budget planifié [13]

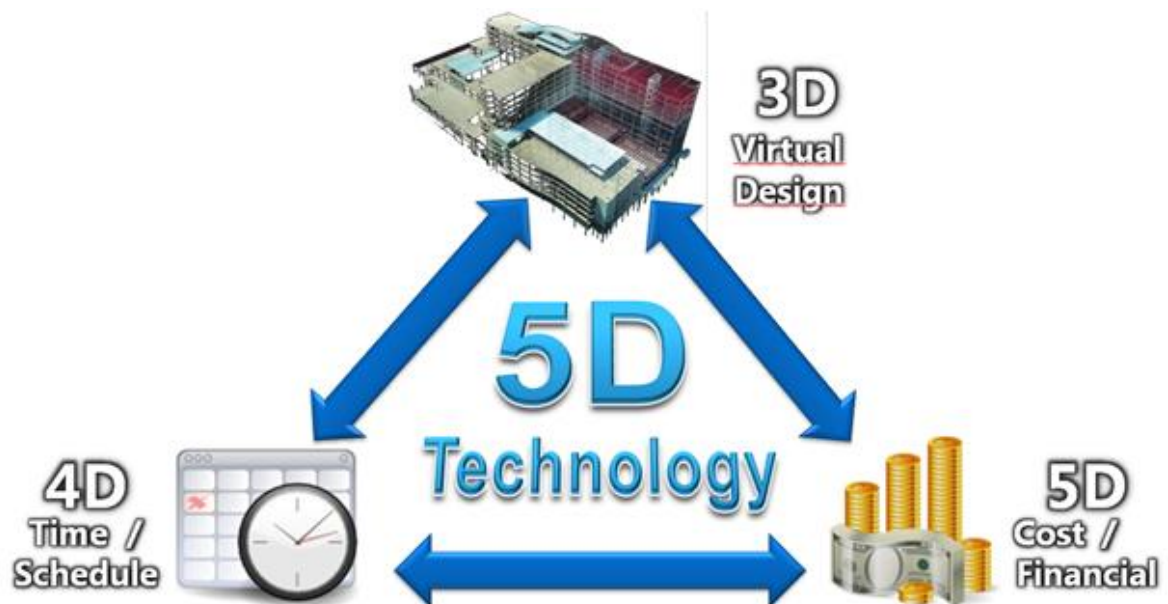


Figure 2.8 Gestion de projet [2]

#### **2.4.4 Avant le BIM**

Dans le processus traditionnel, l'extraction des quantités implique la sélection individuelle de chaque élément des dessins de CAO, la détermination des dimensions et la saisie manuelle de ces quantités dans la liste des articles et des matériaux impliqués dans le projet. Ce processus, en plus de demander un temps considérable aux professionnels, les résultats obtenus sont sujets aux erreurs et aux omissions car il s'agit d'opérations manuelles. dans lesquels les contractants doivent garantir un prix au contractant avant la fin du contrat, les prestataires de services sont tenus d'estimer les coûts avec un degré plus élevé d'exactitude des coûts réels [17]

#### **2.4.5 Estimer facilement les quantités et les coûts avec la 5D**

Le concept de 5D repose sur l'ajout de l'élément de coût. Aujourd'hui, compter les briques ou les fenêtres peut sembler insensé, mais c'est bien ce qui se pratiquait dans le secteur du bâtiment il y a quelques années encore. Même s'il n'existe pas un bouton magique pour faire apparaître les informations voulues concernant les coûts, le BIM facilite grandement cette tâche. Il permet aux entrepreneurs d'extraire du modèle les quantités de matériaux. Cela leur permet de mesurer et de quantifier avec précision et efficacité les éléments de structure, et avec un niveau de détail qui n'était pas envisageable auparavant. La programmation des quantités détaillées des matériaux apporte aux entrepreneurs de nouvelles possibilités :

- ✓ Éliminer les risques dans leurs modèles tarifaires.
- ✓ Présenter aux clients des devis établis à partir de données précises et qui soient cohérentes entre toutes les parties qui soumissionnent pour le contrat.

[18]

## 2.4.6 Relevé quantitatif Tâches et produits livrables

Affirme que l'objectif de la conception 5D lors de la conception est de créer un plan de coût de la vie qui fournit un cadre transparent pour la prise de décision précoce en matière de coûts. Le plan de coût de la vie doit pouvoir être révisé et partagé (cycle hebdomadaire / bimensuel / mensuel) en utilisant les informations du modèle actuel. L'objectif de 5D pendant la construction est également de fournir un cadre transparent pour la location et l'administration des contrats de construction. La carte modèle qui a créé le plan de coûts devient plus détaillée au fur et à mesure que le modèle de niveau de développement (LOD) devient la base du décollage quantitatif pour la location et la soumission, la valorisation des variations, les ordres de modification et les acomptes pendant les travaux de construction et de remplacement pendant l'exploitation du bâtiment. L'objectif final de 5D est de créer un modèle «tel que construit» intégré aux coûts qui puisse être synchronisé avec le transfert des coûts de remplacement, des dates de base, des durées de vie prévues et effectives, des coûts estimés de fonctionnement et de maintenance. [19]

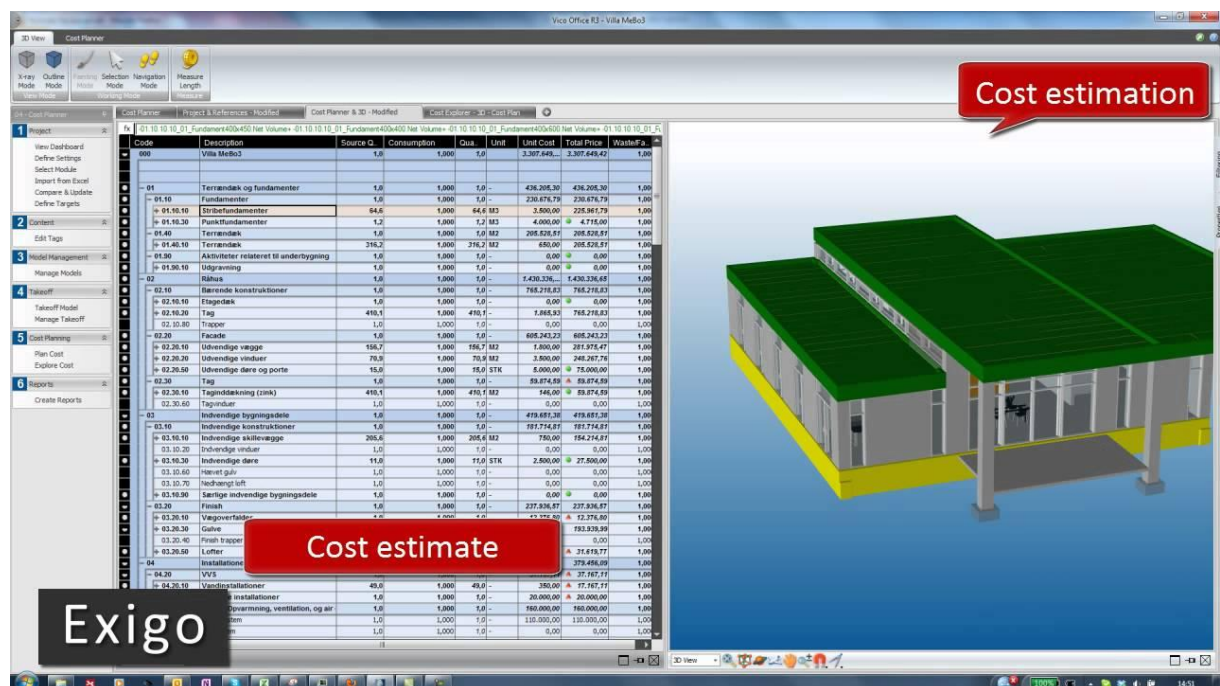


Figure 2.8: processors d'évaluation du cout [2]

### **2.4.7 Combien ça coûte ?**

De nombreuses agences réfléchissent, évaluent, se renseignent, dressent un plan de charge pour mesurer les coûts organisationnels et financiers du passage au BIM. Peu importe la taille de l'agence, la décision stratégique de s'équiper de logiciels BIM – logiciel de conception de maquette numérique 3D renseignée - doit être mûrement réfléchi ; les changements sur le mode de fonctionnement de l'agence et sur la conception des projets bien évalués.

Sur le plan financier, les principaux postes sont l'acquisition des équipements informatiques (postes et logiciels), la formation et l'accompagnement des ressources humaines, sans oublier une baisse de productivité pendant la période d'apprentissage.

Une fois maîtrisés, les logiciels BIM permettent de concevoir des bâtiments mieux aboutis grâce à une conception collaborative avec les autres partenaires dès les premières phases du projet. Tous les livrables - plans et coupes-, sont produits beaucoup plus rapidement ; les simulations des différents scénarios - volumétries, façades, surfaces, chiffrages, performances thermiques et environnementales, etc., - calculées instantanément. Les logiciels BIM facilitent également la réalisation de la mission de synthèse tout en offrant l'opportunité de proposer des prestations complémentaires pour la gestion et la maintenance des ouvrages.

Cela devient aussi un passage obligé avec des maîtres d'ouvrage de plus en plus nombreux, publics et privés, qui demandent des compétences BIM à leurs équipes de maîtrise d'œuvre. [19]

### **2.4.8 La méthodologie BIM**

Facilite grandement l'établissement d'estimations de coûts prévisionnelles. Au début du projet, les seules quantités disponibles pour l'estimation sont celles associées aux surfaces, aux volumes, au périmètre, etc. Par conséquent, il est important de commencer le modèle de conception initial dans le logiciel BIM afin de permettre l'extraction des quantités et d'élaborer une estimation de coût plus approximative.

Deuxièmement, BIM 5D consiste à intégrer le coût du projet dans le modèle 3D du projet, ce qui permet de prévoir et de contrôler les coûts dans toutes les phases de construction. Avec l'évolution du modèle, l'estimation des coûts est améliorée à mesure que le niveau de détail du modèle augmente. Cette méthodologie fournit aux professionnels AEC l'étude des différentes alternatives de coûts pour toutes les phases du projet. L'analyse de coût extraite du modèle 5D peut également être utilisée pour mesurer la performance financière de l'état actuel de la construction.

Montre comment le processus BIM 5D est exécuté. Par exemple, d'un pilier, il est nécessaire d'extraire des quantités pour son exécution, à savoir l'armature, le coffrage, le béton et le revêtement final. En plus de quantifier les zones de mesure, il est nécessaire d'identifier les ressources impliquées, l'équipement, la main-d'œuvre et les matériaux. Ce sont toutes ces informations obtenues qui donneront le coût final de la construction du pilier [17]

#### **2.4.9 Extraction de quantités et estimation de coûts**

Pour mettre en œuvre BIM 5D, extraire des quantités et prendre en charge le processus d'estimation des coûts, trois méthodes sont disponibles (Eastman, Teicholz, Sacks et Liston, 2011). [17]

##### **2.4.9.1-Exporter la liste des quantités de modèle vers un logiciel externe**

La plupart des outils BIM incluent des fonctionnalités permettant d'extraire la liste des quantités des objets. Ces outils incluent également des fonctionnalités permettant d'exporter ces informations vers un logiciel externe. Selon les sondages, Microsoft Excel est l'outil d'estimation des coûts le plus utilisé. Par exemple, les professionnels AEC peuvent utiliser Revit de AUTODESK et extraire facilement la liste des matériaux et des quantités pour une feuille Excel et établir facilement des estimations budgétaires plus précises pour le projet. Cependant, cette approche nécessite la configuration et l'adoption d'un processus standard de modélisation [17].

#### **2.4.9.2-Connectez un outil BIM directement au logiciel d'estimation des coûts**

La deuxième alternative consiste à utiliser un outil BIM capable de se connecter directement à un logiciel d'estimation des coûts via un plug-in ou un outil externe. Un grand nombre des logiciels d'estimation des coûts ont un "plug-in" pour divers outils BIM.

Quelques exemples de logiciels : Sage Timberline via Innovaya (INNOVAYA) ; Vico Estimateur (VICO) ...

Les professionnels pourront utiliser les règles de mesure et calculer les quantités de chaque élément, ces logiciels pouvant associer directement les objets du modèle de construction à une base de données de coûts unitaires externe. Ainsi, toute l'information nécessaire à l'établissement d'une estimation des coûts devient disponible, à la différence des nombreux logiciels disponibles, ce qui rend difficile pour le concepteur l'utilisation de logiciels autres que ceux de l'entreprise. Par conséquent, il est nécessaire que la coopération entre les parties prenantes (IPD) réussisse dans cette approche [17].

#### **2.4.9.3-Utiliser un outil de prélèvement de quantité**

La troisième alternative consiste à utiliser un outil spécialisé pour extraire des quantités permettant d'importer des données à partir de divers outils BIM. Cette méthode permet aux professionnels d'utiliser spécifiquement cet outil sans avoir à apprendre toutes les fonctionnalités des outils BIM. Quelques exemples de logiciels : CostX®Take off Autodesk QTO, Décollage de quantité visuelle Innovaya (INNOVAYA), entre autres. Ces outils ont différents niveaux d'extraction de quantité, automatiquement et manuellement. Il est parfois nécessaire d'utiliser la combinaison d'outils manuels et automatiques pour supporter le large éventail d'extraction. Certains outils fournissent un modèle visuel de tous les objets du modèle, soulignant en couleur les éléments oubliés lors de la quantification. [17]

#### **2.4.10 Avantages de BIM 5D**

Le BIM 5D offre plusieurs avantages pour l'avenir du cycle de vie du projet de construction, parmi lesquels se distinguent les suivants:

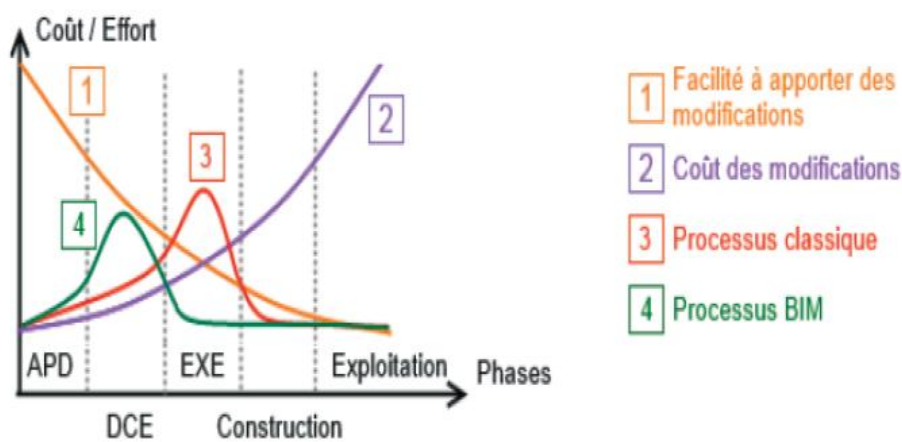
- Rapidité dans l'extraction détaillée des quantités de matériau directement à partir du modèle de construction et, par conséquent, identification réelle des quantités dans les enregistrements de mesure
- Lorsque des modifications sont apportées au projet de construction, l'estimation des coûts établie à partir de BIM 5D est automatiquement mise à jour et vous pouvez rapidement vérifier l'impact des modifications.
- Il y a un meilleur contrôle des coûts en évitant les dépassements de budget ·
- Rendre compte de manière plus rigoureuse au DO · Projection de plusieurs scénarios pour faciliter la prise de décision.

Le succès du projet représente une opportunité de réputation pour la société, l'aidant ainsi pour les projets futurs. [17]

#### **2.4.11 Contrôle des coûts**

Les trois objectifs d'un système de contrôle des coûts de construction sont de fournir les moyens de comparer les coûts réels aux coûts budgétés pour montrer les éventuelles inexactitudes à prendre en compte, de développer une base de données de données de productivité et de performance des coûts pouvant être utilisées dans des estimations futures. Générer des données permettant d'évaluer les variations et les modifications du contrat et les éventuelles réclamations de paiements supplémentaires. Le contrôle des coûts n'est pas un système complet, mais une partie du système de gestion et de contrôle des coûts (MCCS). Au lieu de surveiller et d'enregistrer les données, il devrait également inclure l'analyse des données. Les données analysées peuvent montrer les problèmes possibles sur lesquels il faut agir. Contrôler un projet nécessite de contrôler les calendriers, les progrès, les budgets et les coûts encourus. [20]

## 2.5 BIM en génie des structures



**Figure 2.9** : Capacité à agir sur les couts et les changements en fonction du processus choisi [21]

Cette courbe met en avant la décroissance de la facilité à apporter des modifications et la croissance des coûts des modifications avec le temps. Un processus BIM permet de repérer les problèmes de conception plus tôt en comparaison avec un processus classique. De ce fait, les modifications seront plus faciles à apporter et moins coûteuses

Les analyses de ces courbes résultent les faits suivants :

- Courbe 1 : plus le projet avance, plus il est difficile de le modifier.
- Courbe 2 : en relation avec la courbe 1, plus le projet avance, plus le coût des modifications augmentent.
- Courbe 3 : dans un processus de travail classique, l'essentiel des efforts est fourni durant la phase d'exécution. Notez qu'avec la réduction ou la suppression des périodes de préparation, cette courbe a tendance à glisser vers la droite.

- Courbe 4 : au contraire, le processus du BIM vise à transférer, via une approche collaborative dite intégrée, la majeure partie de ces efforts en amont (faire glisser cette courbe vers la gauche). [21]

## **2.6 Etude passé**

Afin de mieux comprendre ; Nous avons étudié le cas d'un projet en Syrie ... car l'Algérie est manque beaucoup de projets mis en œuvre de cette manière de ce projet étudié.

Ce projet est la résidence des médecins et des infirmières a la cite universitaire de la ville d'Alep (Syrie) qui était en cour de réalisation (63%).

Nous avons pris cette étude et les résultats obtenus par le chercheur (indiqué dans le tableau) où il explique tous les ordres de modification et les informations d'exécution comme suit :

L'élément	Article	Temps supplémentaire	Coût supplémentaire
<b>1</b>	Modification des dimensions et des détails des fondations F11-5 et F11-6 et de l'armement	3 jours	-
<b>2</b>	Le bloc a été cassé du sol sanitaire au cinquième étage pour modifier le dernier modèle	15 jours	800000 L-S
<b>3</b>	Absence de visualisation des couleurs de l'ensemble du bâtiment (color Scheme)	2 mois	-
<b>4</b>	Ajustez la hauteur du rez-de-chaussée de 6 M à 4,5 M	6 jours pour réétudier tous les plans et 15 jours pour calculer les nouvelles quantités	-
<b>5</b>	Modification des dimensions des poteaux dans les cinq derniers étages en raison d'une erreur de conception	15 jours pour modifier la conception, les dessins et les quantités	-
<b>6</b>	Changement de cheminée (lors de la mise en œuvre du problème est apparue l'apparition de la cheminée a coté des escaliers)	30 jours supplémentaires pour trouver le bon endroit et étudier pour la cheminée	<b>440000 L-S</b>
<b>7</b>	Modifier l'entrée du bâtiment (modifier les dimensions de l'entrée)	10 jours supplémentaires pour modifier les	-

		cartes	
<b>8</b>	Ajouter une buanderie à chaque étage des étages répétés	3 jours pour modifier la conception et les quantités	-
<b>9</b>	Modification du type de bloc extérieur d'un bloc plein d'une épaisseur de 20 cm en un bloc isolé d'une épaisseur de 20 cm	70 jours pour retourner l'étude mécanique et le retrait des quantités de blocs externes des quantités totales de blocs et de l'évolution de la qualité et du coût	-

**Tableau 1 :** les changements des ordres d'exécution et leur influence sur le temps et le cout

Mécanisme de traitement des résultats précédents en utilisant le système BIM et les économies résultant du temps et des coûts

LES éléments	Spécialité	Solutions utilisant BIM	Influence sur le temps	Influence sur le coût
1	Structuré	Liaison multidirectionnelle entre les Plans	3 jours	
2	Architectural		12 jours	360000
3	Architectural	Communication visuelle des informations sur le bâtiment		
4	Architectural et Structuré	Liaison multidirectionnelle entre les Plans et Communication visuelle des informations sur le bâtiment	18 jours	
5	Structuré	Liaison multidirectionnelle entre les Plans	11 jours	
6	Mécanique et Architectural	Détecter les clache	7 jours	83000 L-S
7	Architectural	Liaison multidirectionnelle entre les Plans	8 jours	
8	Architectural	Liaison multidirectionnelle entre les Plans	2 jours	
9	Architectural	Liaison multidirectionnelle entre les Plans	29 jours	

Tableau 2 : Influence de BIM sur les projets pour le temps et coût

**Communication visuelle des informations sur le bâtiment :**

Les systèmes BIM permettent à l'utilisateur de parcourir l'origine tridimensionnelle, et de découvrir l'ensemble du bâtiment en termes des zones d'éléments, de matériaux utilisés et de générer des jumelles nécessaire à la compréhension du projet et la fourniture de matériaux représentant les éléments de construction, ce qui contribue à réduire le besoin de question sur les éléments en termes de spécifications et des matériaux constitutifs, sans qu'il soit nécessaire de générer des plans plus détaillés pour la clarification

**Liaison multidirectionnelle entre les Plans**

Cela signifie que grâce à un modèle conçu à l'aide du logiciel BIM nous pouvons créer tous les schémas à partir de la projection de détails de jumelles et des données non graphique telles que des tableaux de quantité et de propriétés d'élément ce qui signifie que les modifications apportées à un schéma sont automatiquement répercutées sur le reste des dessins. Cela permet de gagner beaucoup de temps et contribue à l'élimination des erreurs ou omissions humaines résultant de tous les quantités

**Détection des clashes**

L'outil de détection de collision vérifie automatiquement que les éléments de construction ne se chevauchent pas, par exemple, il évite la collision avec des perforations concrètes lors de la phase de conception, permettant ainsi de gagner du temps et de réduire les coûts liés à l'ordre de modification. Améliorant ainsi la qualité et la productivité

**2.6.1 Conclusion de l'étude :**

Le chercheur a conclu que si des systèmes de BIM (modélisation des informations du bâtiment) avaient été appliqués au projet, il aurait été possible de réaliser un gain de temps de 47,48% et un ratio de réduction des coûts de 2,1%.

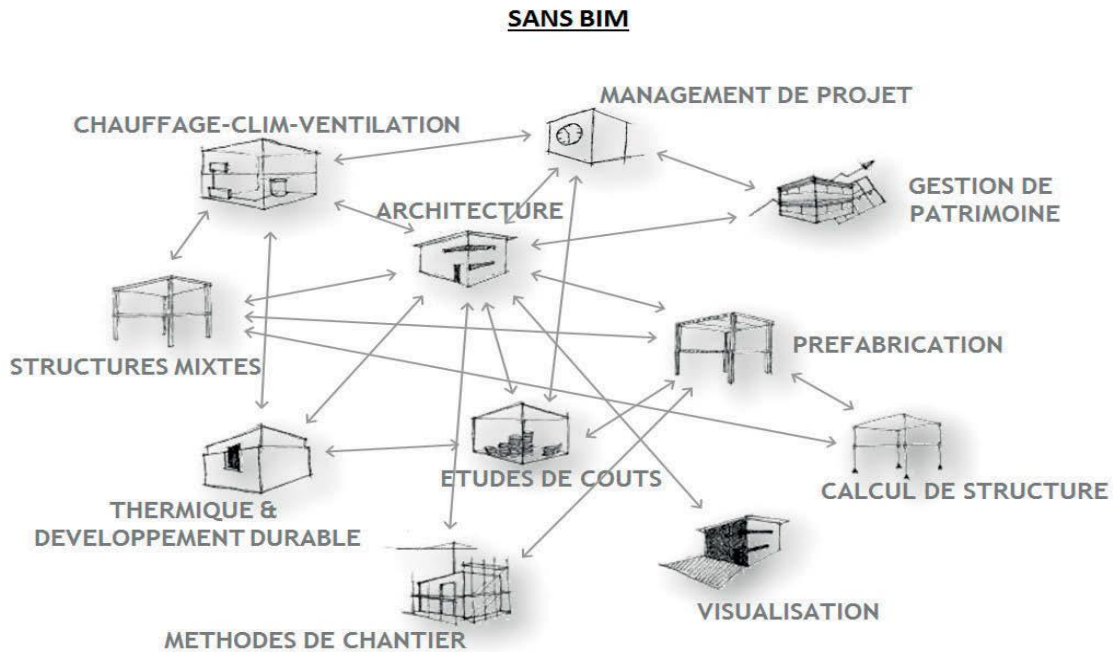
# **CHAPITRE 03 : MANAGEMENT DE BIM ET ETUDE DE CAS**

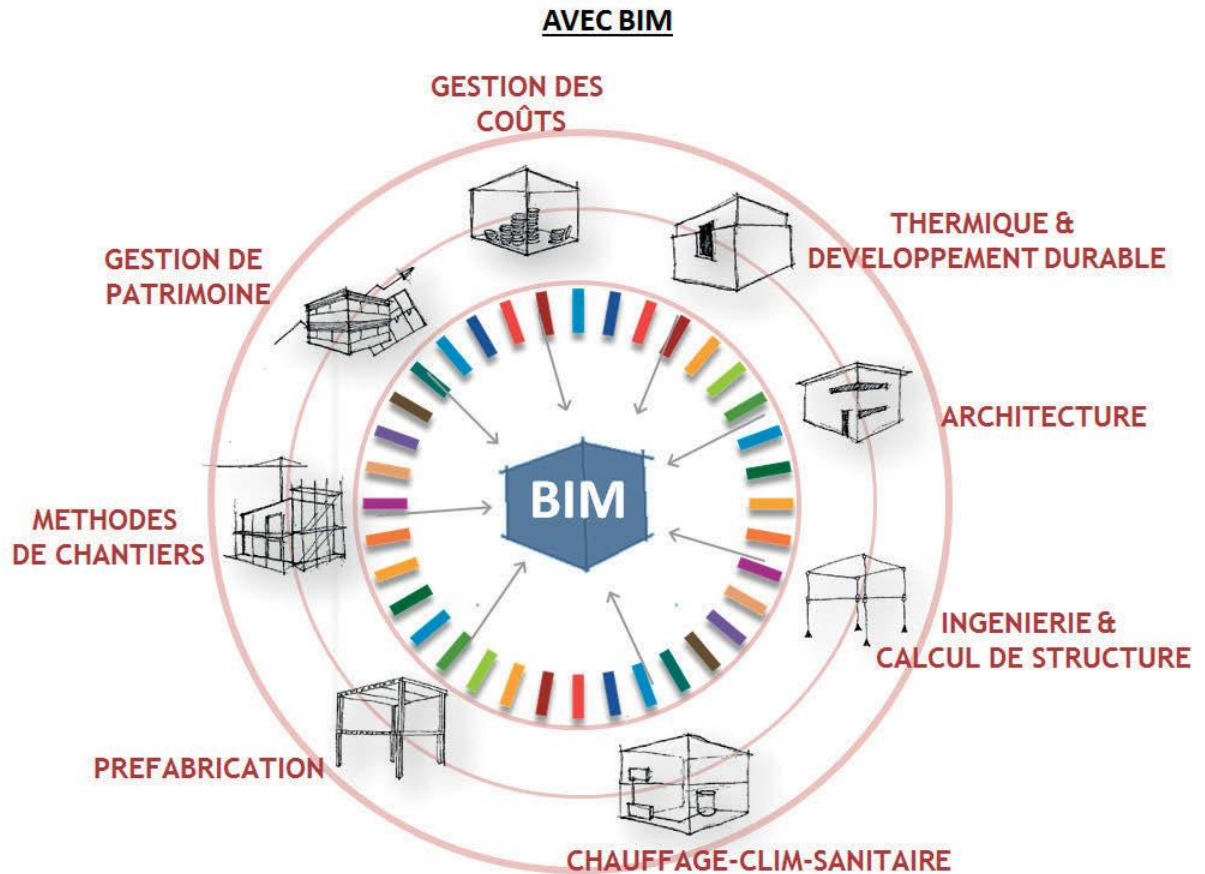
**3-1-Introduction**

Le secteur de la construction fait face à la grave difficulté, depuis plusieurs années l'industrie de bâtiment est marqué par une grande division des tâches et une grande variété d'intervenants tout au long du cycle de l'ouvrage bâti, ce qui implique une très faible interopérabilité de l'information technique transmise d'acteur en acteur, Avec les processus papier actuel ; les informations sont changées, et ça peuvent donner lieu à des interprétations différentes et voies divergentes, dans la plupart des projets et malgré les progrès de la synthèse technique, beaucoup d'erreur subsiste avec la clef des non qualités, des retards et des dépassements budgétaires.

Donc ; commentes choses pourrait-elle changer ?

Et bien on partage tout information technique de l'ouvrage bâti entre tous les acteurs grâce a un format de donnés universels, standard, ouvert et offrant la garantie d'une interopérabilité entre les outils métier. Le BIM est une solution avatar de la structuration des relations entre acteurs notamment celle qui assure l'achèvement des projets dans les délais [22]





**Figure 3.1 : Avant et après le BIM [1]**

### 3.2 Définition de management

Ensemble des techniques d'organisation mises en œuvre pour l'administration au sens large d'une organisation .Ensemble des décisions prises (afin d'assurer la survie) à tous les niveaux et au sein de toutes les fonctions

#### 3.2.1 BIM Management:

Le BIM Management vise à l'organisation des méthodes et processus permettant notamment l'établissement et le suivi de la maquette numérique. Il sera en charge de piloter l'élaboration de la convention BIM. Selon la nature du BIM Management, notamment sa contractualisation de mission auprès du donneur d'ordre, la convention BIM sera élaborée, rédigée et mise à jour en coordination et accord avec l'ensemble des parties intervenantes concernée [23]

### **3.2.2 Où le BIM joue-t-il un rôle dans Le management de la construction ?**

BIM continue de redéfinir la manière dont le secteur de la construction construit et travaille ensemble.

La valeur fondamentale du BIM que l'industrie de la construction devrait connaître est la capacité prendre des informations modèles et étendre leur utilisation en leur donnant un sens pour d'autres flux de travail et processus. Ces flux de travail incluent des impacts sur les fonctionnalités de base telles que comme estimation, planification, logistique et sécurité. Ces nouvelles capacités ont ouvert permettant à la population d'accéder plus rapidement aux données dans ces systèmes afin d'assurer un travail plus rapide, plus sûr et plus efficace avec une meilleure qualité.

Alors que la saisie de données devient plus efficace, il existe également un réseau pousser à une inter connectivité constante des données au sein de ces systèmes pour se comporter davantage comme un écosystème d'informations au lieu d'exportations ou d'importations de fichiers uniques. En d'autres termes, trop d'informations peuvent créer des risques en diluant la focalisation d'un projet. L'information est critique dans la gestion de projet; cependant, quand il devient trop lourd à gérer ou diminuer l'efficacité par analyse excessive, il peut être préjudiciable.

Enfin, nous observons un grand changement dans les méthodes de collaboration et une augmentation dans la fréquence de partage de l'information. De nouveaux outils tels que box.com, Dropbox, Egnyte, Newforma et d'autres plateformes de partage de fichiers sur le Web accélèrent le processus de partage d'information plus facile. En outre, le Cloud a un potentiel significatif d'impact la manière dont la construction est livrée et gérée, de rigide et limitée à flexible et évolutif. Sur le marché de la construction, le BIM et d'autres technologies connexes ont une place importante à la table pour presque chaque phase de la construction, et l'adoption continue d'augmenter rapidement [23]

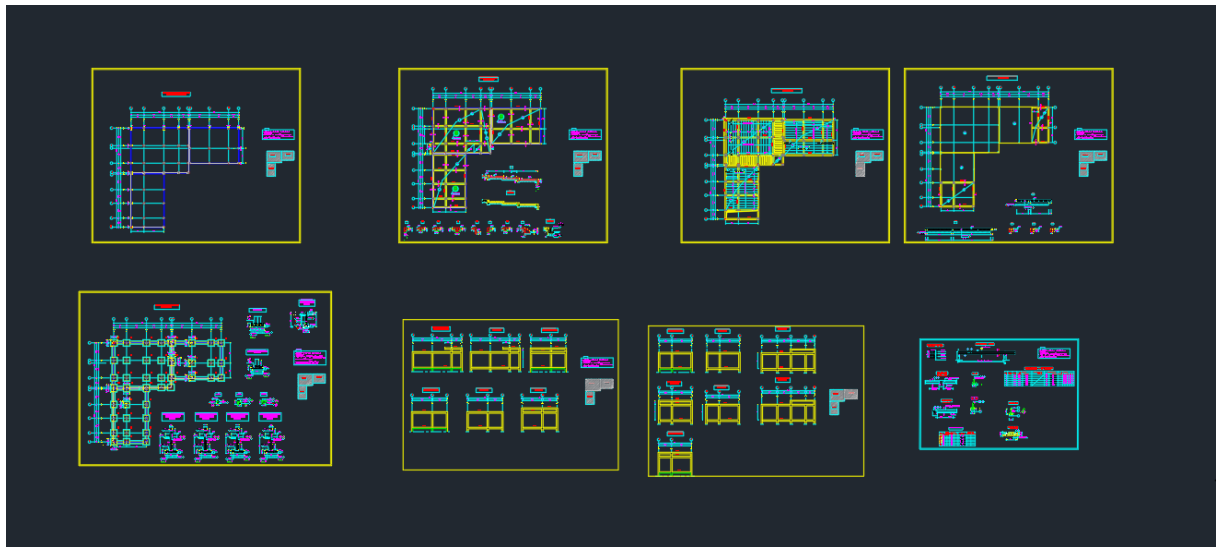
### **3.3-L'importance des systèmes BIM pendant le projet :**

Tous les ingénieurs travaillent dur avec le temps, chaque parti du projet a été travaillé en collaboration

L'un des avantages du BIM c'est Communiquer L'un avec l'autre par réseau

### 3.3.1 Architecte BIM

L'architecte travaille pour réaliser les idées et les désirs du maître d'ouvrage et crée plusieurs schémas pour identifier le projet (plan de situation, plan de masse, les façades et les plans des étages, etc.) Le concepteur est essentiel car il détermine les emplacements des escaliers, des salles de bain et des murs et présente une esthétique dans la conception et une prostration élevée et créative, utilisant des outils d'informatique pour les aidé. Par exemple (Autocad, Archicad...)



**Figure 3.2 :** plans d'architecture par AutoCAD

Lors du développement de la technologie pour ce processus, le BIM accompagne les architectes tout au long de la phase de conception. Attendez et maîtrisez vos projets plus efficacement que les premiers dessins pour convaincre les clients plus rapidement. BIM vous permet de livrer plus rapidement des projets de meilleure qualité et facilité. Par L'utilisation du logiciel revit qui est une gaine de temps pour le projet ; ce qui leur permet de corriger les défauts s'ils n'ont aucune implication financière. Le BIM donne également aux architectes un peu de contrôle sur les projets perdus.



### 3.3.2 Génie civil

Les ingénieurs civils s'occupent de la conception, de la réalisation, de l'exploitation et de la réhabilitation d'ouvrages de construction et d'infrastructures dont ils assurent la gestion afin de répondre aux besoins de la société, tout en assurant la sécurité du public. Très variées, leurs réalisations se répartissent principalement dans cinq grands domaines d'intervention: structures, géotechnique, hydraulique, transport, et environnement

Pour l'étude de projet de génie civil Nous passons par les étapes suivantes : première pré dimensionnement ; élément secondaire ; plancher ; caractéristiques géométrique, étude sismique ferrailage

L'ingénieur civil prendre les plans d'architecteur, et désactive les informations architecturales, après il importé le plan sur le logiciel revit pour corriger les erreurs et les dessins des plans structuraux. Lorsqu'il termine il utilise le logiciel robot pour faire les calculs des structures

Les tâches sont distribuées aux ingénieurs pour Ne perdez pas de temps et travaillez en même temps en collaboration. C'est un avantage (chaque ingénieure calcule un élément par exemple : ferrailage de poteau et de poutre...)

L'interne pour le dimensionnement d'une structure serait celui décrit ci-après:

## 3.3.2.1 Première étape :

Dans un premier temps le projeteur travaille sur le projet en créant un modèle numérique dans un logiciel de conception, exemple (AutoDesk Revit). La plupart du temps, ce modèle ne contient pas des charges, même s'il est possible de les définir dans Revit, mais intègre un modèle analytique.

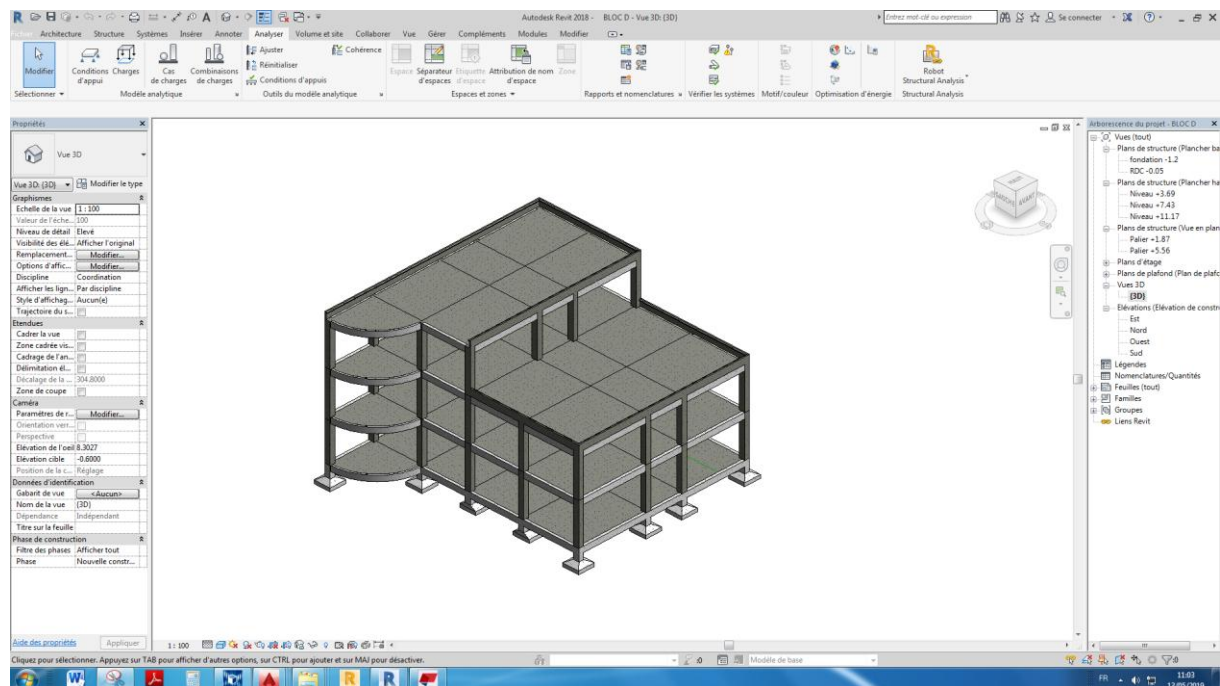
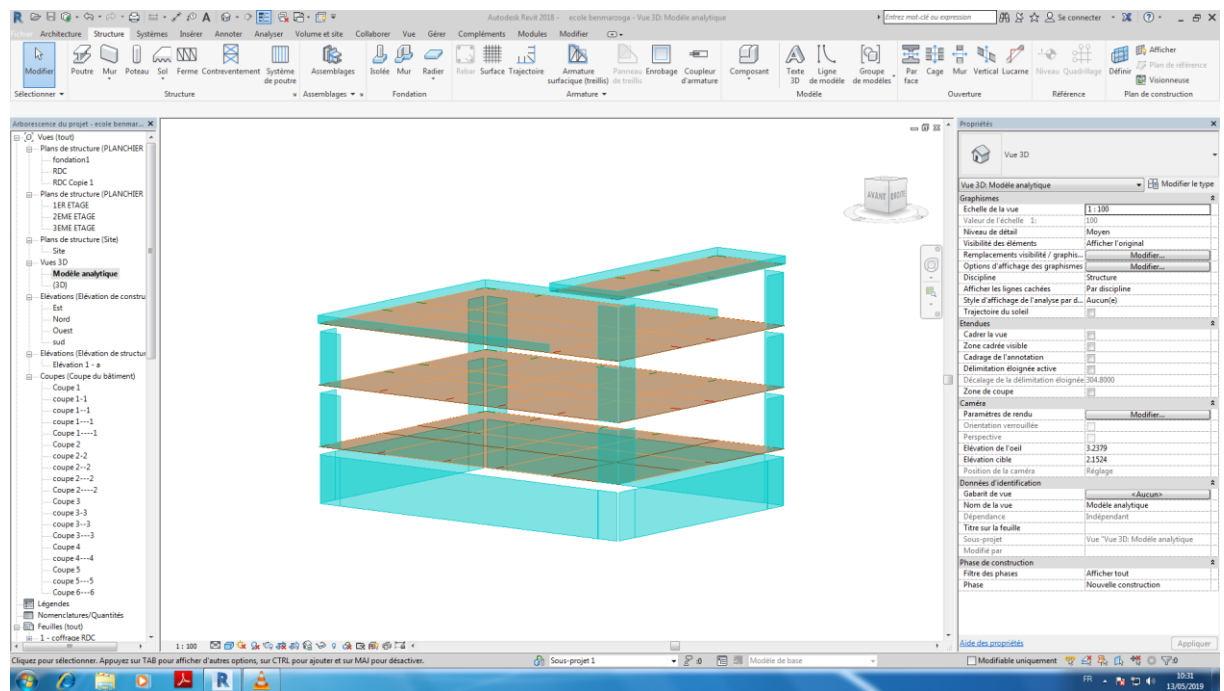


Figure 3.4 : Exemple de structure modelée dans autodesk Revit

## 3.3.2.2 Deuxième étape :

Le projeteur envoie le modèle Revit du projet (analytique et descriptif) à l'ingénieur. Ce dernier utilisera un logiciel de calcul en éléments finis exemple (SAP2000, ROBOT...) et optimisera la structure



**Figure 3.5 :** Modèle analytique d'un projet dans AutoDesk Revit

### 3.3.2.3 Troisième étape :

Les efforts internes sont calculés avec le logiciel de calcul en éléments finis. À cette étape du processus, l'ingénieur importe le projet Revit et convertit le modèle en un modèle en éléments finis. Le projet doit être affiné dans un logiciel de calcul en réalisant une variété d'opération, incluant :

- Vérifier ou modifier les conditions aux limites des éléments : relaxation totale ou élastique, appuis rigides ou élastiques, articulation entre dalles et voiles, etc.
- Définition des charges (statique et sismique)
- Définition des combinaisons de charges
- Vérification d'ensemble et de la cohérence des résultats

### 3.3.2.4 Quatrième étape :

Le logiciel en éléments finis sauvegarde les résultats afin de les synchroniser avec Revit. L'ingénieur va dimensionner la structure et déterminer le ferrailage. Il va

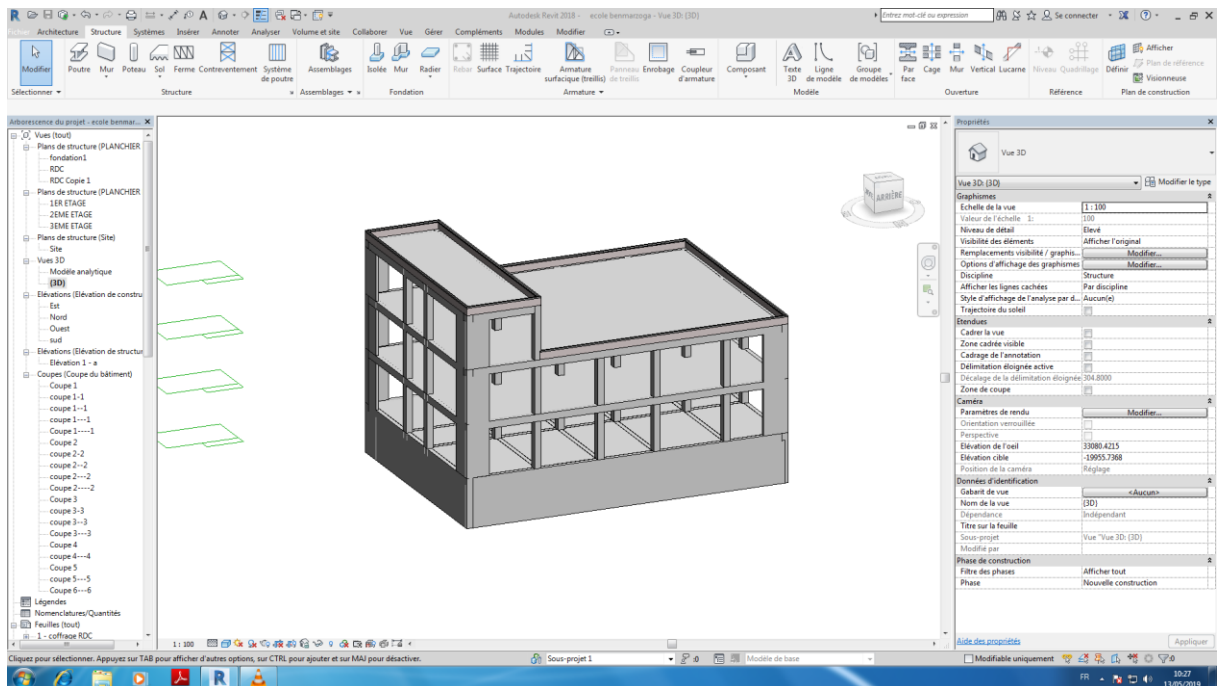
également modifier certains éléments de la structure (caractéristique géométrique, matériaux, etc.)

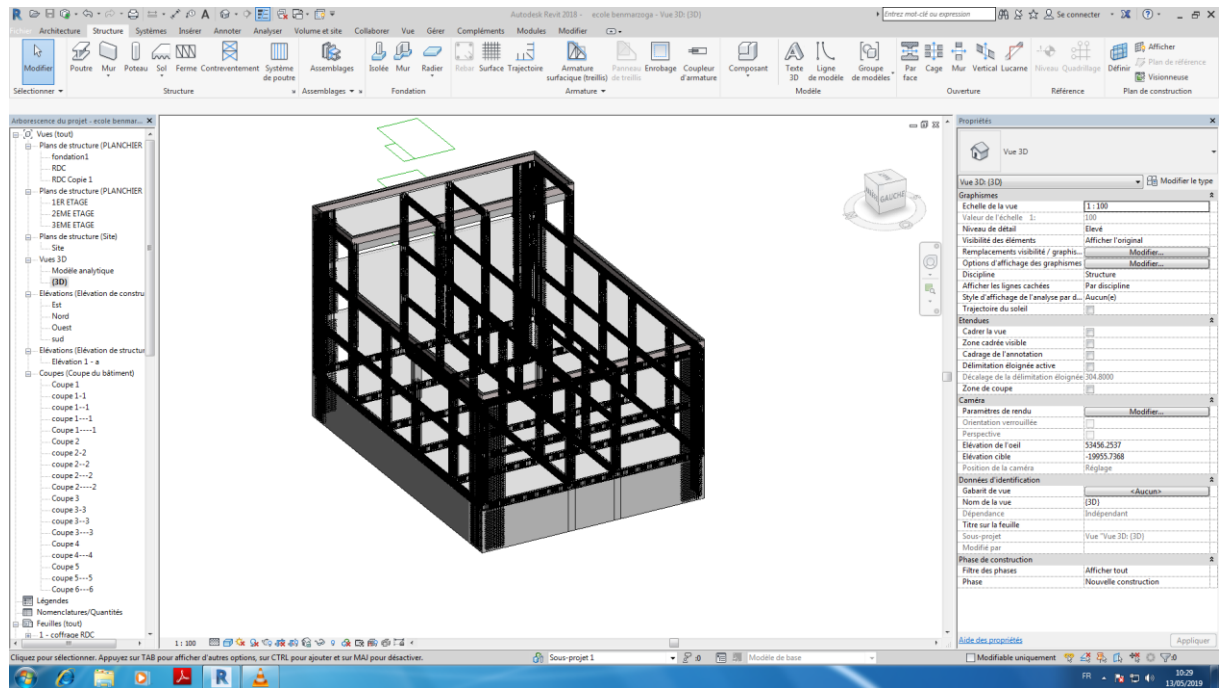
### 3.3.2.5 Cinquième étape :

L'étape suivante est de synchroniser le modèle de calcul avec celui créé dans Revit afin de lui apporter les modifications apportées par l'ingénieur dans le modèle de calcul vers le modèle de dessin.

### 3.3.2.6 La dernière étape :

Enfin, la dernière étape consiste à ferrailer (selon la phase du projet) en utilisant des outils de ferrailage afin de générer le ferrailage 3D et les plans associés.

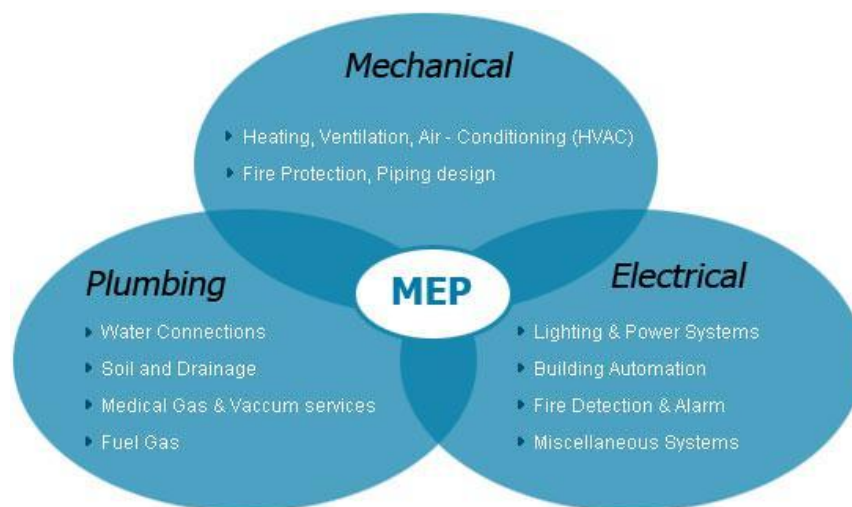




**Figure 3.6** Extrait de plan de ferrailage réalisé entièrement par la méthode BIM

### 3.3.3. Le BIM pour la MEP :

Le travaillant dans un BIM signifie que les ingénieurs du MEP accèdent aux données de conception critiques directement à partir du modèle architectural

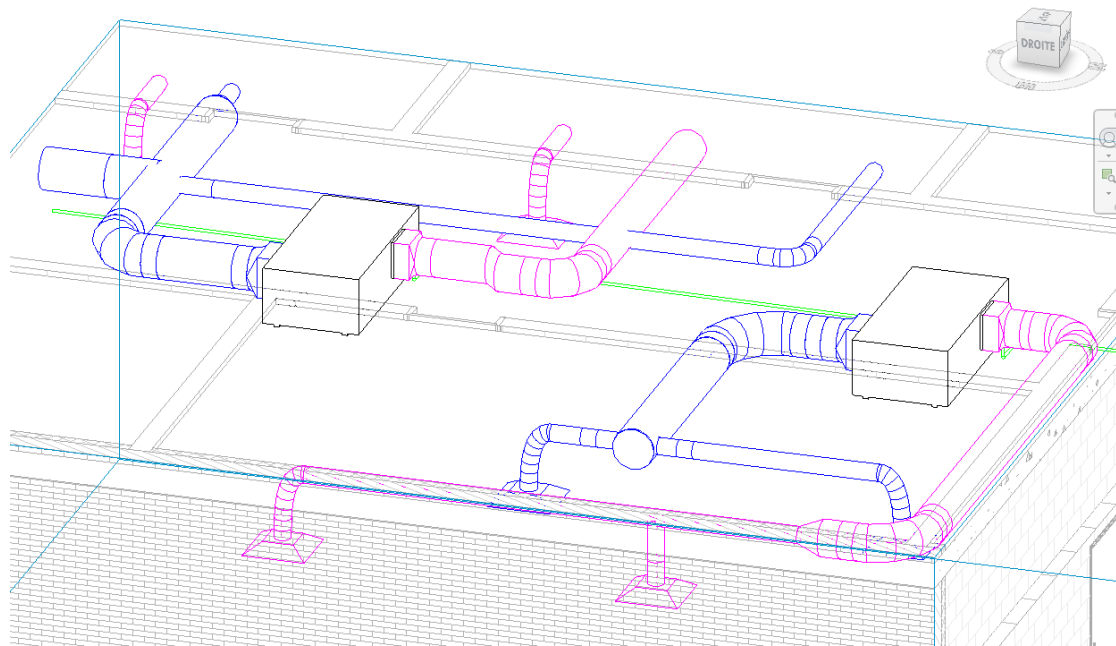


Exemples de lieux où des informations importantes peuvent être obtenues :

- **Les chambres**
  - **Les élévations de plafond**
  - **Murs avec appareils électriques**
  - **Murs avec plomberie**
- ✓ Découvrez où ils vont préchauffer
  - ✓ Déclaration en cas d'objection aux éléments de structure actuellement installés
  - ✓ Aperçu complet de la conception après l'installation de tous les systèmes pour permettre l'inspection de la sécurité et de la durabilité du projet ou non
  - ✓ La possibilité de transférer le modèle à l'autre logiciel utilisé par le personnel d'ingénierie pour une analyse plus approfondie et la conformité des spécifications



**Figure 3.7 :** Système d'entrée d'éclairage électrique et prise en 3D



**Figure 3.8 :**Construction de systèmes de ventilation et de chauffage

### 3.3.4 Le métier du métreur

#### 3.3.4.1 Définition

Le métré a pour but l'évaluation du coût des ouvrages en partant de leur mesurage. Le métré se fait avant, pendant et après la réalisation de ces ouvrages.

Le métré constitue une comptabilité particulière de la construction à la fois des quantités et du coût des ouvrages composants cette construction.

Le métré sert à :

- a. L'estimation préalable des travaux.
- b. La conduite de l'exécution des travaux.
- c. La facturation des travaux. [24]

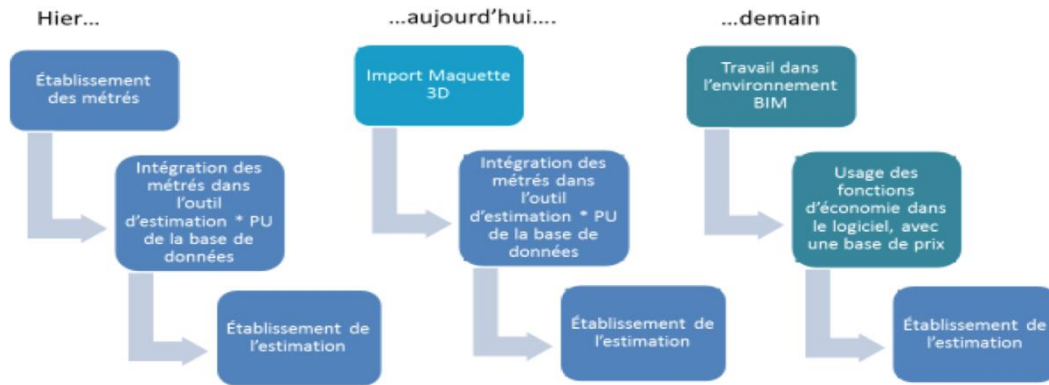


Figure 3.9 : le Métré avant et après le BIM[2]

Dans le processus de préparation de chantier le "**métré**" est un élément essentiel. En effet, l'art du "**métré**" a toujours été inséparable de "l'acte de construire", il n'est pas d'ouvrage qui n'ait été construit sans qu'on ne se soit préoccupé des quantités des différents travaux à réaliser.

De plus, en projet de Bâtiment, le "**métré**" est primordial car il est nécessaire tout au long du processus de préparation de chantier. Il est obligatoire notamment dans l'élaboration du planning, de la rotation de coffrage et des études de prix.

Le "**métré**" consiste à analyser quantitativement l'ensemble des travaux nécessaires à la réalisation d'un projet. La décomposition du bâtiment en ouvrages élémentaires (poteaux, poutres, planchers, etc...) est une tâche longue et fastidieuse où les erreurs et les oublis sont fréquents.

C'est pourquoi les avantages de l'utilisation de la maquette numérique BIM, présentent un intérêt certain dans le cadre de l'élaboration d'un métré de bâtiment

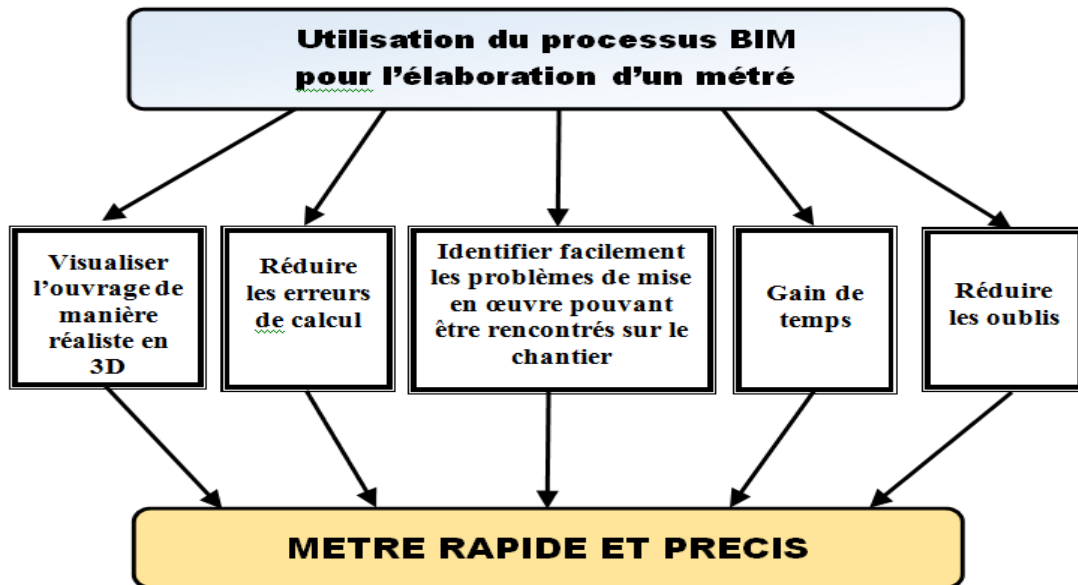


Figure 3.10 : Impact du BIM sur la Métré [2]

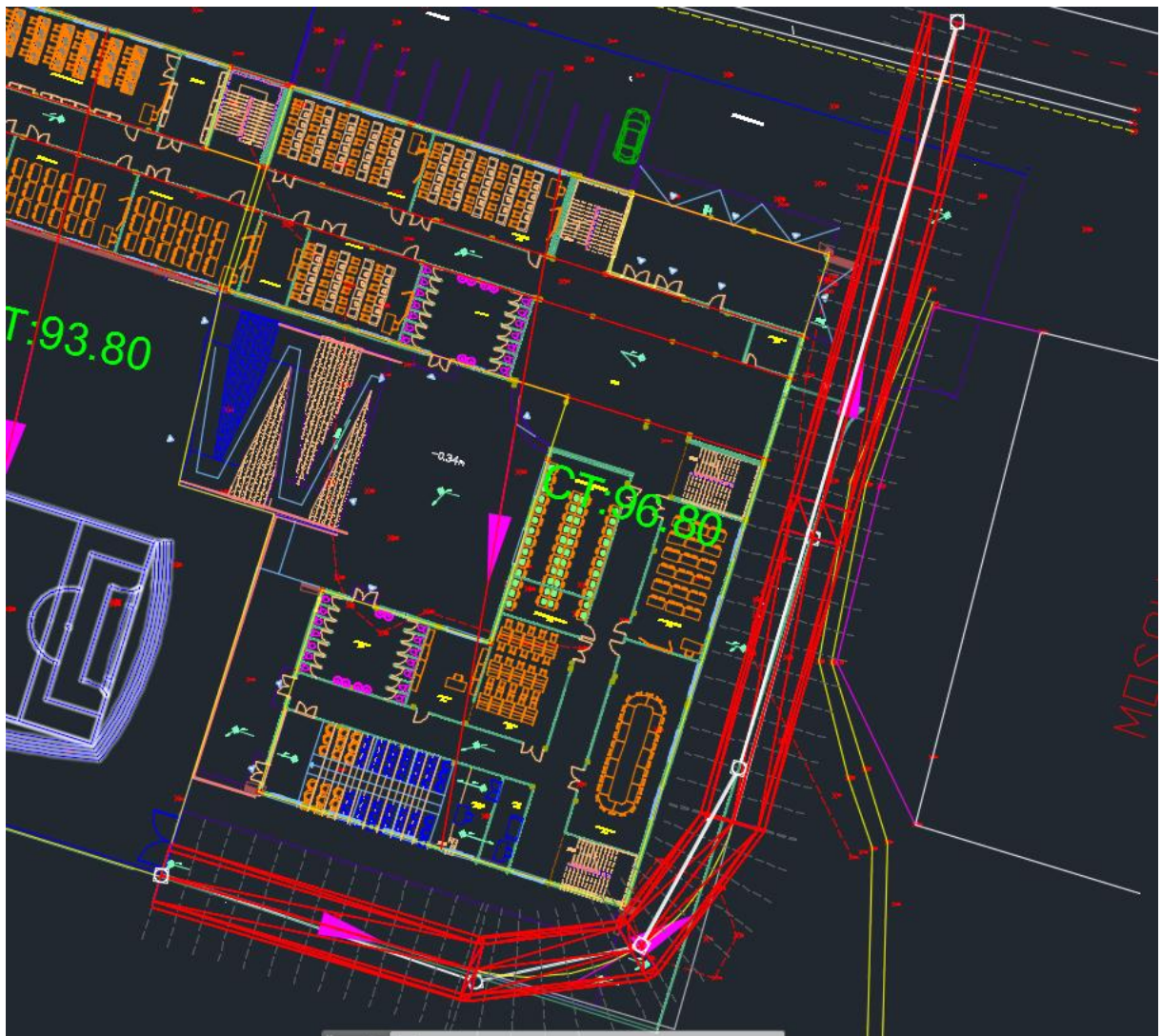
#### 3.3.4.2. Comment élaborer le quantitatif ?

On rédige le quantitatif à partir des quantités récupérées sur la maquette numérique BIM. On obtient ainsi les quantités du métré de manière simple rapide et sans calcul.

Ceci est fait en utilisant un Logiciel Revit

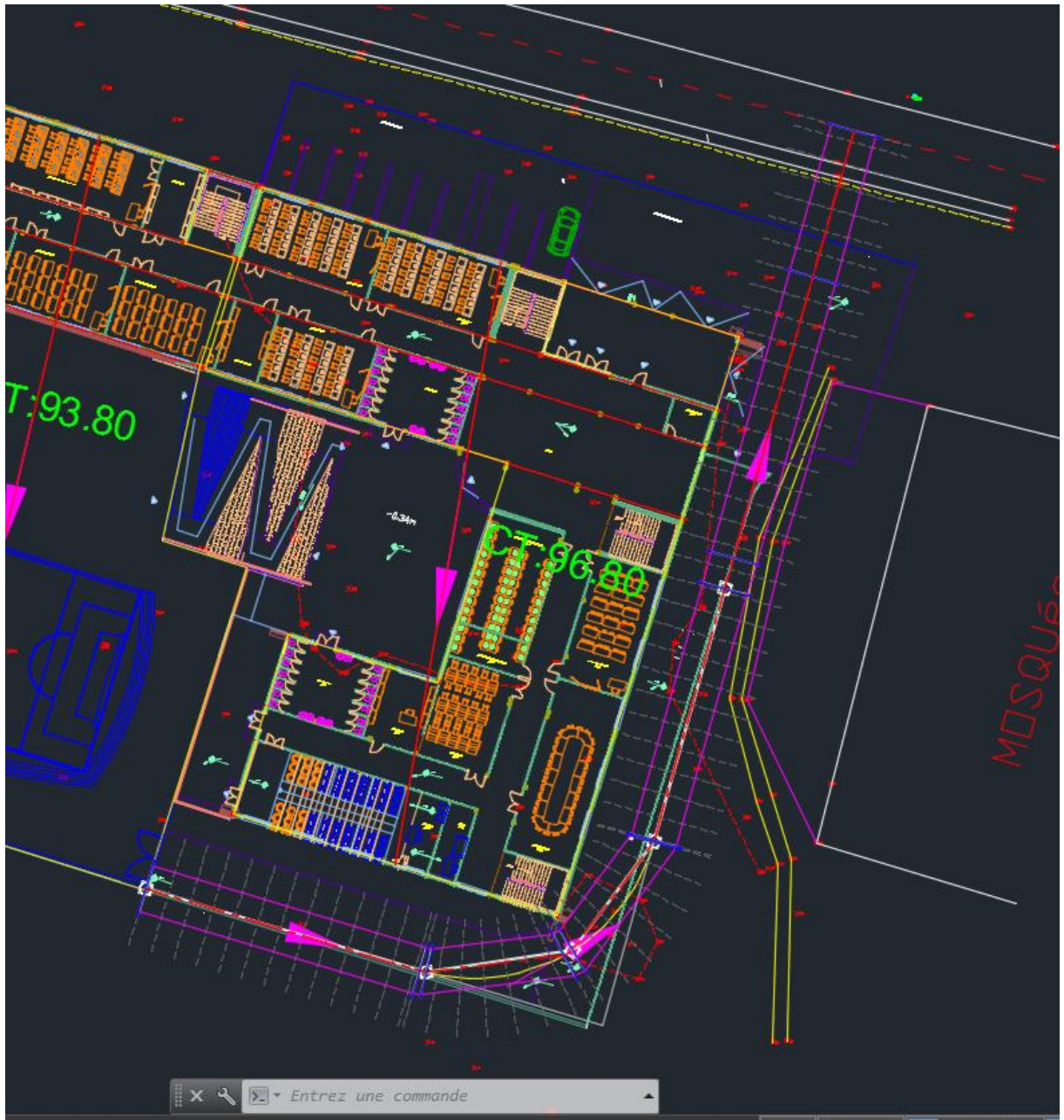


Depuis peu certains éditeurs offrent des suites de logiciels capables concevoir des maquettes numériques BIM utilisables tout au long de la durée de vie d'un ouvrage, que ce soit des routes, réseaux d'assainissement. Ces suites contiennent également des logiciels capables de créer un modèle 3D des conditions existantes d'un projet à partir de nuages de points ou de photos. Il existe également des logiciels capables de tester différents scénarios durant la phase conceptuelle du projet. Ces logiciels arrivent à créer des maquettes numériques 3D Il permet également de visualiser les projets



**Figure 3.12 :** projet 3D+réseau de canalisation

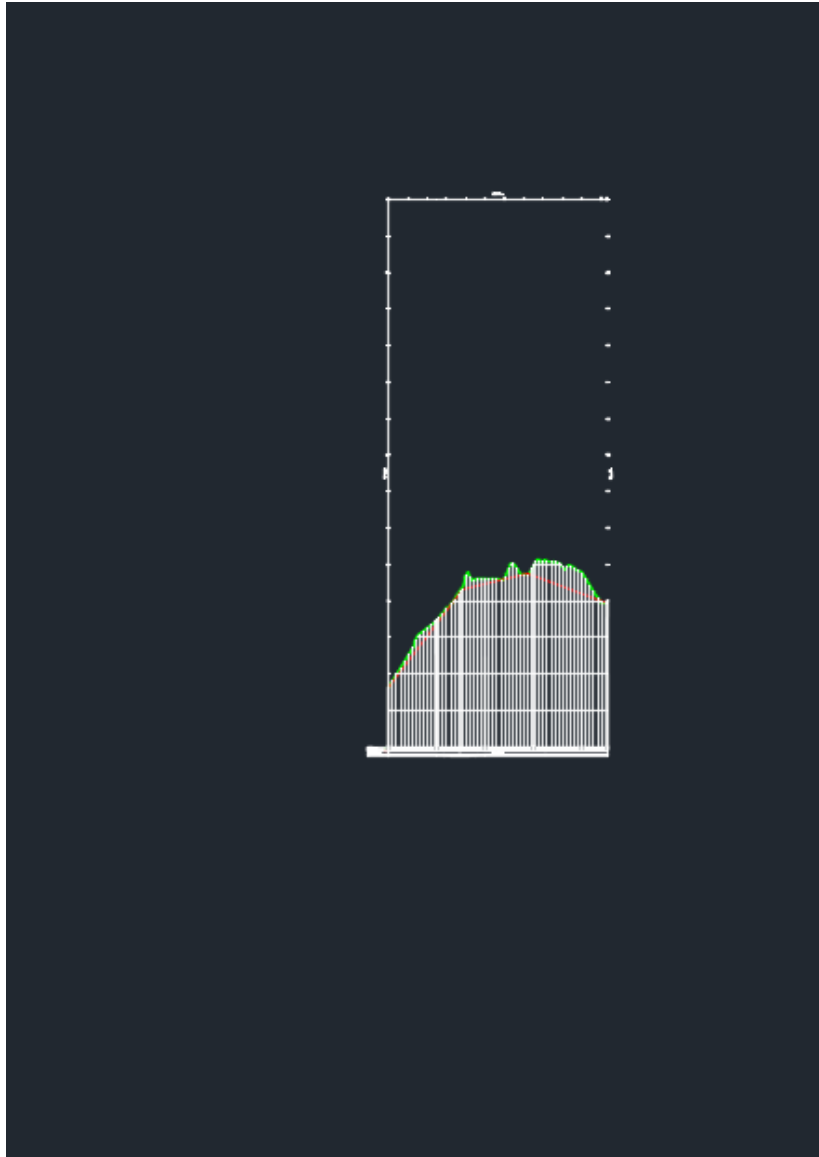
Les logiciels utilisés dans ce projet Voirie, aménagement du territoire = Civil 3D



**Figure 3.13 :** dessin 3D voire

On prend le plan de la part d'architecteur pour travail le projet il y a beaucoup gaine de temps avec le BIM, son avantage est de créé plusieurs étapes à 2 et 3 étapes pour la facilite de travaille

Le logiciel de 3d civil se trouver beaucoup dans les grande modèles et il aide ainsi l'ingénieur de VRD



**Figure 3.14** : profil-longue

Exemple

Nous avons une chaussée en position pente et nous voulons travailler pour la rendre stable et aider les voitures alors on a étudié et déterminé bien le terrain grâce au logiciel qui nous permet de travailler de manière où il n'y a pas d'obstacles et de gagner du temps et de l'argent

## **3-6 - LE BIM MANAGER COMME CHEF DE PROJET BIM**

C'est le premier responsable à la maquette numérique, il suit le projet tout le temps et il signe la charte graphique et la convention avec le maître d'ouvrage

La convention BIM peut être définie comme l'ensemble des procédures collaboratives, la marche à suivre par tous les intervenants pour produire, calibrer, valider et transmettre les données constitutives de la maquette. Et aussi être au service de rapport avec de clash par exemple : la Maquette numérique de génie civil avec la Maquette numérique de MEP devenir une seule Maquette numérique après l'affichage des erreurs, alors le BIM manager corrige toutes les erreurs pour avoir un bon projet réalisé par des expériences et des nombreuses connaissances

Les logiciels de révision de projets Navisworks permettent aux professionnels de l'architecture, de l'ingénierie et de la construction de réviser dans leur ensemble les données et modèles intégrés avec les parties prenantes au cours du pré construction, afin de mieux contrôler les résultats du projet est Un processus dans lequel le logiciel de détection de collision est utilisé pendant le processus de coordination pour: déterminer les conflits sur le terrain en comparant des modèles 3D de systèmes de bâtiments, l'objectif de l'affrontement la détection consiste à éliminer les conflits système majeurs avant l'installation

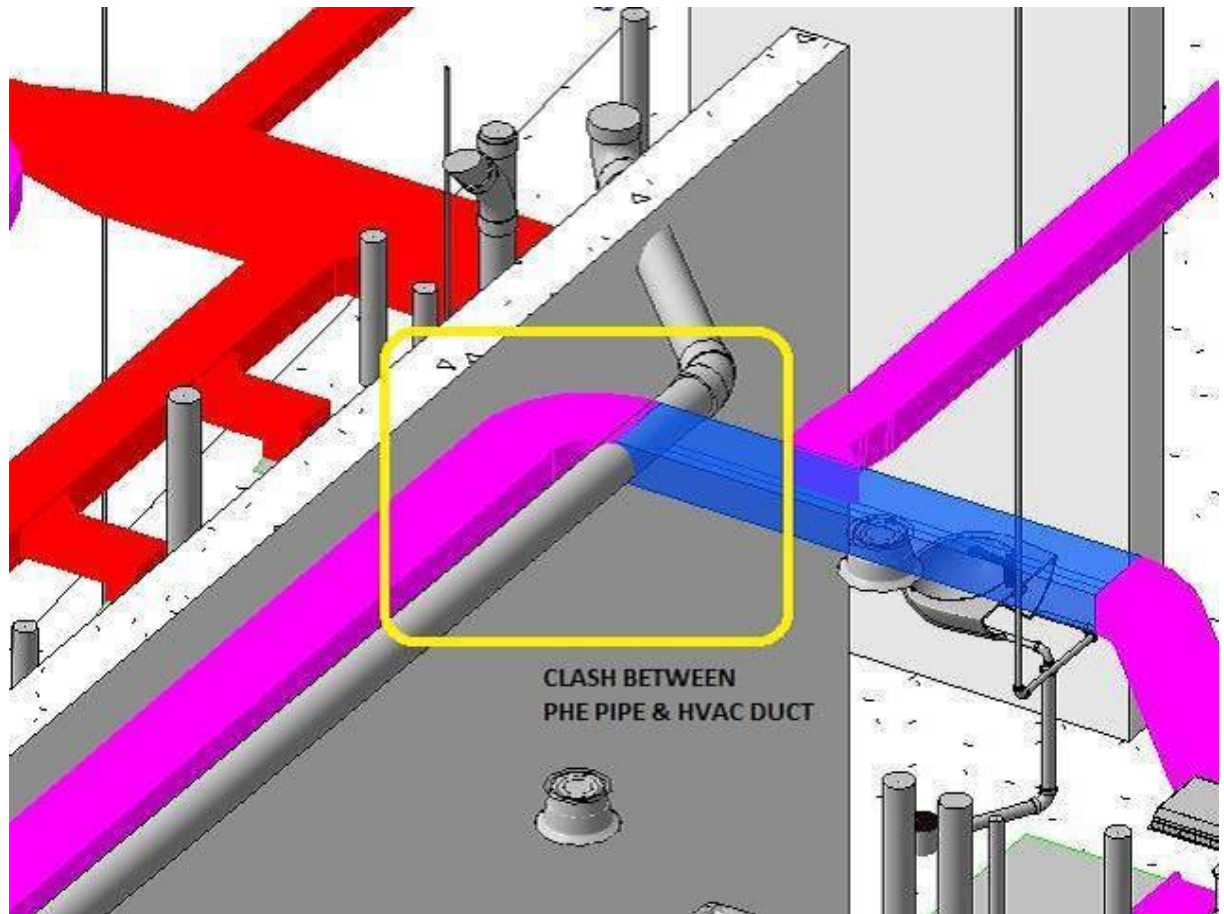


Figure 3.15 : Détections des collisions entre conduit de CVC et PHE pipe

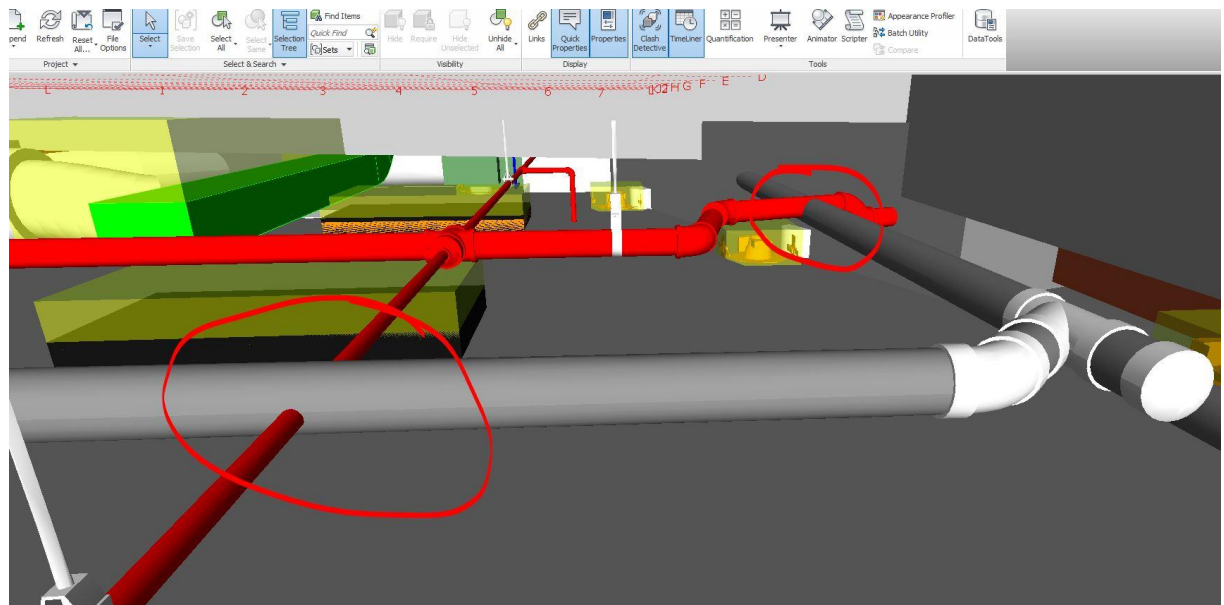


Figure 3.16 : Détection de collision

## **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous concluons avec les systèmes BIM, le partage et la centralisation des données facilitent les propositions. Nous concluons également que l'utilisation du BIM permet de documenter les informations de construction (éléments de construction et conditions environnementales) dans le modèle standard avec toutes les informations relatives aux éléments architecturaux, structurelles, mécaniques, électriques et sanitaires.

## Conclusion générale

Nous avons vu que l'environnement BIM permet de réaliser un gain de qualité et de précision considérable. Le BIM permet à tous les acteurs de la chaîne de s'informer mutuellement et de mieux coordonner leurs interventions sur un chantier commun : le BIM définit qui fait quoi et à quel moment. Comme le BIM permet une conception de meilleure qualité et la détection des problèmes avant la mise en chantier. La modélisation améliore la cohérence et la précision des dossiers d'études, tant en amont qu'en études d'exécution. Elle apporte plus de clarté vis-à-vis de la prestation à réaliser et moins d'improvisation sur les chantiers.

Grâce au BIM, les coûts de construction et les délais sont mieux maîtrisés. L'anticipation apportée par la modélisation permet d'optimiser la mise en œuvre et l'approvisionnement pour moins de gaspillage en temps comme en matériaux sur site. Elle permet de faire bien du premier coup.

Le développement de ce nouveau processus, avec ses problématiques d'applications pratiques, a également été une grande opportunité pour nous de nous familiariser avec ce nouvel environnement, qui va prendre de plus en plus d'importance dans le monde de construction.

L'interopérabilité est un axe majeur du processus BIM. Les données devront passer d'un métier à un autre sans pertes ni ressaisies. Cela signifie du partage de fichiers en réseau ou en ligne, ou des transferts de fichiers d'un logiciel vers d'autres. Pour accompagner cette nécessité, les acteurs de la construction ont créé la norme ISO IFC qui détermine ce format open source d'interopérabilité

Le stage que nous avons fait au bureau des études BEREG d'ingénierie ; nous a permis de voir que Le BIM est avant tout un outil de conception qui impose l'échange d'informations numériques entre les acteurs d'un projet et propose une nouvelle méthode de travail. Et aussi de savoir plus sur le Revit qui est un logiciel sert à modéliser un bâtiment tel qu'il est en réalité, donc en 3D. Vous obtenez ainsi des plans de coffrages, des coupes, des plans et détails de ferrailage, un modèle analytique pour descente de charges ou analyse sismique. Soit les produits que doivent fournir un bureau d'études en général, donc Il est évidemment BIM. Malgré que Le début du BIM dans ce bureau a été difficile car le manque de maîtrise de ce logiciel. Parce que la maîtrise de ce dernier nécessite une formation et des compétences

Le processus BIM présente de nombreux avantages et nous offrira de nouveaux horizons. Le secteur algérien du bâtiment doit s'adapter au BIM, par ce qu'il entraînera sans doute une modification du métier de génie civil et une restructuration du secteur de bâtiment. Une réflexion sur l'enseignement étant donnée l'importance prévisible de la maquette numérique dans la profession, il est nécessaire de l'intégrer à l'enseignement de façon plus approfondie pour former des ingénieurs civils performants. L'ingénieur/l'architecte doit maîtriser les nouvelles technologies pour les utiliser comme outils dans la maîtrise de son processus créatif.

En recommandation nous proposons l'introduction de l'enseignement du processus BIM dans les programmes des Masters de génie civil.

## **Références bibliographiques**

- [1] Jean-Yves Ramelli. BIM et maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction ; 2eme édition ; Groupe Eyrolles et CSTB, 2014, 2015
- [2] Image Google.
- [3] Loulwakhraboutli, these, using building information modeling systems (BIM) in construction projets, A été discuté 28/04/2014, Alep.
- [4] Constructing the business case Building information modeling
- [5] Samson Romain ; mémoire de projet de fin d'études \*La place du BIM cœur du chantier : nouveaux rôles et nouveaux outils, INSA.
- [6] [ [www.objectif-bim.com](http://www.objectif-bim.com) ]
- [7] Conrad Boton, Sylvain Kubicki. Maturité des pratiques BIM : Dimensions de modélisation, pratiques collaboratives et technologies, 2014
- [8] The guide to Building Information Modelling, Edition 2015
- [9] Stefan Mordue, Paul Swaddle, David Philp, Le BIM pour les Nuls, Éditions First
- [10] Maquette numerique batiment bim – IFC
- [11] Du nuage de points a la maquette numérique de bâtiment reconstruction 3d semi automatique de bâtiments existants, par Hélène Macher ,université Strasbourg , 2017.
- [12] A Introduction to Building Information Modeling (BIM) A Guide for ASHRAE Members , Revised November 3, 2009.
- [13] Danielle Monfet, ing. Ph.D. BIM pour la vie... de votre immeuble!, 6 avril 2016
- [14] [<https://fr.mep.trimble.ch>]
- [15] Chuck E., Teicholz P., Sacks R. and Liston K. (2011) BIM Handbook: A guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designer, Engineers and Contractors.20
- [16] Thibault Mazars, mémoire exploitation du bim pour la modélisation chronographique de la planification et la simulation 4D, le 17 novembre 2017
- [17] Ana Cláudia Monteiro Barbosa, Méthodologie BIM 4D et BIM 5D appliquées à un cas concret Construction d'une station d'épuration en , Algérie, 25 septembre 2014
- [18] Stefan Mordue, Paul Swaddle, David Philp, Le BIM pour les Nuls, Éditions First, 2018
- [19] [WWW.ARCHITECTES.ORG]

- [20] Lotta Hakanen, classification of cost data and its use in 5d building information modeling, examiner: prof. KalleKähkönen, 24th February 2017
- [21] Catalogue, BIMARABIA, Number 11, aout 2016
- [22] Mili Mounira, Le Management des délais avec la méthode agile dans un projet BIM. 2017/2018
- [23] Brad Hardin -Dave McCool, BIM and Construction Management, Second Edition
- [24] Les cours du métré 3<sup>ème</sup> année GC Mr Zaitoni
- [25] [ [www.buildingsmart.com](http://www.buildingsmart.com) ]
- [26] [ <http://biblus.accasoftware.com/fr/les-dimensions-du-bim-3d-4d-5d-6d-7d> ]
- [27] Michael Leonard. Mémoire LE BIM4D et la détection des interférences. Le 23 juillet 2012

## ملخص

BIM " نموذج معلومات البناء " وهي ثورة في صناعة البناء والتشييد. الهدف الرئيسي من BIM هو تحسين تكلفة، وقت وجودة العمل لكل موظف من خلال الاستفادة من الأدوات الرقمية. غالبية معالجات BIM هي إدارات تسمح لجميع المستخدمين بالعمل مع آلية مشتركة و متعاونة. وبالتالي تسمح بهيكله عدة نماذج وفقاً للعناصر (هندسة معمارية، هندسة مدنية، ميكانيك/كهرباء/صحية) لتجنب التغييرات الناتجة عن الأخطاء أثناء دراسة المشروع.

تقدم المذكرة نظرة عامة على BIM مع التركيز على أعماله الأساسية، والمفاهيم والتطبيقات في دورة حياة المشروع. كما أن استخدام BIM في المشروع يقدم عدة فوائد، و توفر نتائج هذه الدراسة معلومات مفيدة لأي شخص يرغب في زيادة معرفته بتكنولوجيا BIM.

**كلمات مفتاحيه :** نمذجة معلومات البناء. البناء. نموذج رقمي. التوافقية. ريفيت . التصميم بمساعدة الكمبيوتر. فئات مؤسسة الصناعة. الإدارة .

## Résumé

Le BIM « Building Information Modeling » est une révolution dans l'industrie de la construction. L'objectif principal du BIM étant d'améliorer le coût et le temps et la qualité du travail pour chaque collaborateur en appuyant sur des outils numériques. La majorité des processeurs BIM sont des managements permettant à tous les utilisateurs de travailler avec un mécanisme commun et une coopération divisant. Ainsi ; la structure de plusieurs maquette en fonction des éléments (architecte – génie civil – MEP) pour éviter les changements causés par des erreurs pendant l'étude du projet. Le document présente un aperçu du BIM en mettant l'accent sur son cœur de métier, Concepts et applications dans le cycle de vie du projet et aussi l'avantage de l'utilisation du BIM dans le projet. Les résultats de cette étude fournissent des informations utiles à tous ceux qui souhaitent accroître leurs connaissances sur la technologie BIM.

**Mots clés :** BIM, Construction, Maquette numérique, Interopérabilité, Revit, IFC, CAO, Management,

## Abstract

BIM "Building Information Modeling" is a revolution in the construction industry. The main focus of BIM being improved cost and time and quality of work for each collaborator by leveraging digital tools. The majority of BIM processors are management allows all the users to work with a common mechanism and a cooperation dividing. Also; the structure of several models according to the elements (architecture - civil genius - MEP) to avoid the changes caused by errors during the study of the project. The document presents an overview of BIM with a focus on its core business. Concepts and applications in the project lifecycle and benefits of using BIM in the project. The results of this study provide useful information for anyone wishing to increase their knowledge of BIM technology.

**Keywords:** BIM, Building, Digital model, interoperability, Revit, IFC, CAD, Management

