

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTRE 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 : Structures

**Mémoire présenté pour l'obtention**  
**Du diplôme de Master Académique**

**Par : DILMI Afifa & LAKEHAL Rachid**

**Intitulé**

**La numérisation 3D et son exploitation**  
**dans la modélisation de l'information**  
**du bâtiment**

**Soutenu devant le jury composé de :**

<b>Dr. BOULAOUAD Abderrachid</b>	Université de M'sila	<b>Président</b>
<b>Pr. RAHMOUNI Zine El Abidine</b>	Université de M'sila	<b>Encadreur</b>
<b>Dr. KERMICHE Abdellatif Fouzi</b>	Université de M'sila	<b>Co-Encadreur</b>
<b>Dr. RAHMANI Abdallah Yacine</b>	Université de M'sila	<b>Examineur</b>

**Année universitaire : 2019 / 2020**



# REMERCIEMENTS

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 exprimons toutes nos profondes reconnaissances au professeur **Pr. RAHMOUNI Zine El Abidine** pour avoir accepté de nous encadrer dans Ce Travail. Aussi notre Co-encadreur **Dr. KERMICHE Abdellatif Fouzi**, les Remercions pour ses disponibilités, ses aides et ses précieux conseils. Pour leurs implications, leurs soutiens et leurs encouragements tout au Long de ce travail.

Nous tenons aussi à remercier les membres du jury pour leur présence, pour leur lecture attentive de notre mémoire ainsi que pour les remarques qu'ils m'adresseront afin d'améliorer mon travail

Mes professeurs au Département de Génie Civil de l'université Mohamed BOUDIAF à M'sila nous ont transmis, pendant des années universitaires, les connaissances du métier de génie civil et la passion de la recherche.

Nous tenons à exprimer tout au fond de mes cœurs mes reconnaissances à mes familles qui mes offres toujours un appui sûr par ses soutiens et ses Encouragements. Mes plus vifs remerciements vont également à tous mes amis qui sont toujours disponibles pour partager avec moi les moments difficiles et heureux.

Nous tenons à exprimer, mes sincères gratitudes Et mes profonds remerciements à toutes les personnes dont l'intervention, de près Ou de loin, a favorisé son aboutissement.

- **DILMI Afifa**

- **LAKEHAL Rachid**

## DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à:

### **Mon père**

"L'épaule solide, l'œil attentif compréhensif et la personne la plus Digne de mon estime et de mon respect. Aucune dédicace ne saurait Exprimer mes sentiments, que Dieu te Préserve et te procure santé et longue vie. "

### **Ma mère**

"Tu m'as donné la vie, la tendresse et le courage pour réussir. Tout ce que je peux t'offrir ne pourra exprimer l'amour et la reconnaissance que je te porte. En témoignage, je t'offre ce modeste travail pour te remercier pour tes sacrifices et pour l'affection dont tu m'as toujours entourée."

\*- Mes sœurs et mes frères -\*

\*- Toute la famille que prend le nom DILMI -\*

\*- Tous mes enseignants tout au long de mes études -\*

\*- Mon collègue dans ce travail LAKEHAL Rachid -\*

Et à tous mes amis.

- DILMI Afifa

## DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

A la mémoire de ma chère Mère qu'Allah lui accorde sa sainte  
miséricorde et l'accueille en son vaste paradis ,

A mon cher Père.

A mes chers frères, et leurs enfants pour leur appui et leur

Encouragement,

A mes chères Nadia et Aridj

\*- Tous mes enseignants tout au long de mes études -\*

\*- Ma collègue dans ce travail DILMI Afifa -\*

Et à tous mes amis.

- LAKEHAL Rachid

# SOMMAIRE

Remerciements

Dédicaces

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des symboles

Glossaire

Résumé

Introduction Générale ..... 1

## CHAPITRE -I- : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

### BUILDING INFORMATION MODELING

I	Building information modeling	3
I.1	Historique	4
I.2	Concept du BIM	4
I.2.1	Définition	4
I.2.2	Quelques questions auxquelles peuvent répondre les BIM	6
I.2.3	Le BIM n'est pas un logiciel	9
I.2.4	Objectifs généraux des BIM	10
I.2.5	Quelques fausses idées sur les BIM	10
I.3	La différence entre BIM et CAD :	11
I.3.1	Conception assistée par ordinateur CAO	11
I.3.2	Design selon le concept	12
I.3.3	Les différences entre la CAO et le BIM	12
I.4	Avant BIM	13
I.4.1	Quelques problèmes actuels dans l'industrie	13
I.4.2	Quelle est la relation entre BIM et DAO	14
I.5	Le rôle d'un BIM	14
I.6	Les avantages et les inconvénients du processus BIM	16
I.6.1	Les avantages	16
I.6.2	Les inconvénients	17
I.7	Pourquoi le BIM est-il important de gestionnaires de la construction ?	18
I.8	Les différentes dimensions du BIM	18
I.9	Les LODs	21
I.9.1	Les niveaux de détail de BIM	21
I.10	Les différents niveaux du BIM	22
I.11	La modélisation des informations du bâtiment	25
I.11.1	Présentation	25
I.11.2	Modélisation paramétrique	25
I.11.3	Interopérabilité	26
I.11.4	L'utilisation du BIM à différentes étapes du projet	27
I.11.5	La détection de conflit entre les maquettes numériques	28
I.11.6	Analyse et discussion	29
I.12	La maquette numérique BIM	29
I.13	Le BIM et les nouvelles tendances	34

## CHAPITRE -II- : Le Scan to BIM

### La Numérisation 3D Du nuage de points à la Maquette BIM

II.1.	Introduction .....	47
II.2.	Scan to BIM .....	38
II.2.1	Qu'est-ce que le « Scan to BIM » ? .....	38
II.2.2	Les Avantages de Scan to BIM .....	38
II.2.3	Applications variées de Scan to BIM.....	39
II.2.4	Pourquoi Scan to BIM ?.....	40
II.2.5	Scan-Vs-BIM .....	41
II.3	La technologie laser scanner 3d : .....	42
II.3.1	Historique.....	42
II.3.2	Définition .....	42
II.3.3	Utilisation.....	43
II.4	Principes et fonctionnement de la numérisation 3D .....	44
II.5	Numérisation laser à distance pour numérisation - Scan to BIM .....	45
II.6	Exploitation des Relevés 3D .....	46
II.7	le relevé 3D du bâtiment .....	46
II.7.1	Introduction.....	46
II.7.2	Présentation de LEICA GEOSYSTEMS .....	47
II.7.3	Différents secteurs visés .....	48
II.7.4	Les scanners 3D .....	49
A.	Scanner laser 3D Leica RTC360.....	49
B.	Les Leica ScanStation P30/P40 .....	50
C.	Leica ScanStation P50 .....	50
D.	Leica BLK 360.....	51
II.8	le post-traitement des données de scan .....	52
II.8.1	Génération et utilisation de nuages de points .....	52
II.8.2	Qu'est-ce qu'un nuage de points? .....	53
II.8.3	Pourquoi utilisé des nuages de points? .....	54
II.8.4	Utilisation de nuages de points dans les nouveaux projets de construction .....	54
II.8.5	Acquisition de nuages de points .....	54
II.8.6	Géoréférencement de nuages de points.....	55
II.8.7	Les logiciels de traitement de nuages de points 3D.....	55
II.8.8	Leica Cyclone REGISTER 360 .....	56
II.9	la modélisation .....	57
II.9.1	Géoréférencement et nord du projet .....	57
II.9.2	Création des niveaux.....	58
II.9.3	Intégration des réseaux MEP .....	58
II.9.4	Éléments de finition de second œuvre .....	59
II.9.5	Autres avantages à exploiter un nuage de points en phase de modélisation.....	59
II.9.6	Les logiciels de modélisation 3D .....	59
A.	AllPlan .....	59
B.	Archicad .....	59
C.	Autodesk .....	60
D.	AutoCad Architecture .....	60
E.	Revit .....	60
II.9.7	Fonctionnalités de Revit .....	61
II.9.8	La maquette numérique .....	62

II.10	BIM : repenser le rôle de l'ingénieur en bâtiment .....	63
II.10.1	Introduction .....	63
II.10.2	Les 5 rôles d'un ingénieur en bâtiment .....	63
II.10.3	Le BIM et l'ingénieur en bâtiment .....	63
II.10.4	Expert en modélisation des données du bâtiment.....	63

### **CHAPITRE -III- : Application du SCAN TO BIM Etude d'un cas**

III.1.	Présentation de l'ouvrage .....	66
III.2.	Le travail effectué .....	67
III.2.1.	Relevés 3D sur site .....	67
III.2.1.1.	Terminer le relevé avec le BLK 360 .....	69
III.2.2.	Traitement et Assemblage du nuage de points .....	69
III.2.3.	la modélisation .....	71
III.2.3.1.	Insertion Nuage de points dans Revit.....	71
III.2.3.2.	Création des niveaux .....	72
III.2.3.3.	la Maquette BIM et plan .....	73
	Conclusion Générale .....	75
	Références bibliographiques	

## Liste des Figures

### CHAPITRE - I -

FIGURE 1: BUILDING INFORMATION MODELING .....	3
FIGURE 2: LE BIM, QU'EST-CE QUE C'EST ? .....	5
FIGURE 3: BIM VS CAD : QUELLE EST LA DIFFERENCE ? .....	11
FIGURE 4: LES ROLES D'UN BIM .....	16
FIGURE 5: LES DIFFERENTES DIMENSIONS DU BIM .....	18
FIGURE 6: DIMENSIONS DU BIM .....	20
FIGURE 7: LES DIFFERENTS NIVEAUX DE DEVELOPPEMENT LOD .....	22
FIGURE 8: LA MATURITE DU BIM .....	23
FIGURE 9 : LES NIVEAUX DE MATURITE BIM .....	24
FIGURE 10: LA MODELISATION DES INFORMATIONS DU BATIMENT .....	25
FIGURE 11: LA MODELISATION PARAMETRIQUE .....	26
FIGURE 12: L'INTEROPERABILITE .....	27
FIGURE 13: EXEMPLE D'UN OBJET AVEC SES PROPRIETES ASSOCIEES (REVIT, AUTODESK) .....	30
FIGURE 14: LES TYPES DE MAQUETTE NUMERIQUE .....	30
FIGURE 15: METHODES DE VISUALISATION DE LA MAQUETTE NUMERIQUE .....	32
FIGURE 16: LA REALITE VIRTUELLE .....	32
FIGURE 17: MODE REALITE VIRTUELLE SUR REVIT .....	33
FIGURE 18: LA REALITE AUGMENTE .....	33
FIGURE 19: LE BIM ET LE DEVELOPPEMENT DURABLE .....	34

### CHAPITRE - II -

FIGURE 20: ROTATION ANGULAIRE VERTICALE ET HORIZONTALE .....	44
FIGURE 21: NUAGE DE POINTS DU .....	45
FIGURE 22: RELEVÉS 3D SUR SITE .....	48
FIGURE 23: LEICA GEOSYSTEMS .....	48
FIGURE 24: LEICA SCANSTATION .....	50
FIGURE 25: LEICA BLK360 .....	51
FIGURE 26: NUAGE DE POINTS GENERE PAR BALAYAGE LASER 3D .....	53
FIGURE 27: LOGICIEL DE POST TRAITEMENT - CYCLONE REGISTER 360 .....	56
FIGURE 28: ASSEMBLAGE DE NUAGE DE POINT .....	57
FIGURE 29: INTERFACE LOGICIEL REVIT .....	61
FIGURE 30: EXEMPLE D'ECRAN DE REVIT. LE LOGICIEL POSSEDE UNE BOITE A OUTILS POUR LA CREATION DU PROJET.....	62
FIGURE 31: MODELE D'UNE MAQUETTE BIM A PARTIR D'UN RELEVÉ AU SCANNER LASER .....	62
FIGURE 32: ANALYSE STRUCTURALE SUR BASE D'UN MODELE BIM.....	64

## CHAPITRE - III -

FIGURE 33: PLAN DE SITUATION DE L'OUVRAGE .....	66
FIGURE 34: SCANNER 3D BLK360 SUR UN SUPPORT STABLE (TREPIED) .....	67
FIGURE 35: DIFFERENTES STATIONS DE RELEVES 3D <b>SUR SITE</b> .....	68
FIGURE 36: NUAGE DE POINTS DE DIFFERENTES STATIONS.....	69
FIGURE 37: ASSEMBLAGES DE NUAGE DE POINTS .....	70
FIGURE 38: RUBAN DU REVIT .....	71
FIGURE 39: INSERTION NUAGE DE POINTS DANS REVIT .....	71
FIGURE 40: COUPES TRANSVERSALES DANS REVIT .....	72
FIGURE 41: COUPES LONGITUDINALES DANS REVIT .....	73
FIGURE 42: LA SALLE AMPHI EXISTANTE .....	74
FIGURE 43: LA SALLE AMPHI APRES MODELISATION .....	74

## Liste des Tableaux

Tableau 1: Avantages et inconvénients des logiciels de traitement testés..... 56

## Liste des Sigles et Abréviations

**2D** : Deux dimensions.  
**3D** : Trois dimensions.  
**4D** : Quatre dimensions.  
**5D** : Cinq dimensions.  
**6D** : Six dimensions.  
**7D** : Sept dimensions.  
**AEC** : Architecture, Ingénierie et Construction.  
**APS** : Avant-projet Sommaire.  
**AVP** : Avant-projet.  
**BDS** : Database Building System.  
**BIM** : Building Information Modeling /Modeling / Management.  
**CAD** : Computer Aided Design.  
**CAO** : Conception Assistée par Ordinateur.  
**CM** : Construction Manager.  
**DAO** : Dessin Assistée par Ordinateur.  
**DCE** : Dossier de Consultation des Entreprises.  
**DWG** : Drawing.  
**GPS** : Global positioning system.  
**HD** : Haute définition.  
**HDR** : High dynamic range.  
**IAI** : International Alliance for Interoperability.  
**IFC** : Industry Foundation Classes.  
**LADAR** : LAsER Detection And Ranging.  
**LED** : Light-emitting diode.  
**LiDAR** : Light Detection And Ranging.  
**LOD** : Level of Development / Level of Definition (in UK).  
**LoD** : Level of detail.  
**LOI** : Level of Information.  
**PRO** : Projet.  
**RCP** : Responsabilité civile professionnelle.  
**SIG** : Système d'Information Géographique.  
**STEP** : Standard for the Exchange of Product model data.  
**TQC** : Tel que construit, en dessin technique.  
**VRD** : Voirie et Réseaux Divers.  
**QA/QC** : Qualité Assurance / Qualité Contrôle  
**FM** : Facilities management

## Glossaire

**BIM** : Processus de gestion de projet reposant sur le travail collaboratif des différents acteurs d'une maquette numérique du projet.

**Interopérabilité** : Capacité de matériels, de logiciels ou de protocoles différents à fonctionner ensemble et à partager des informations sans restriction d'accès ou de mise en œuvre.

**Relevé 3D** : le relevé 3D des bâtiments est une opération effectuée sur le terrain par des opérateurs équipés de scanners 3D qui vont capturer l'ensemble d'un bâtiment.

**Nuage de points** : est une base de données qui contient les points dans un système de coordonnées en trois dimensions de l'élément ou de l'installation à étudier.

**Maquette numérique** : Modèle numérique en trois dimensions d'une construction future ou existante qui contient la géométrie, la sémantique et les informations associées tout au long du cycle de vie de l'ouvrage, de sa conception jusqu'à sa démolition.

**Plateforme collaborative** : Plateforme permettant l'échange et le partage de maquette numérique et autres documents nécessaires au projet par les différents acteurs.

## ملخص

يمكن تعريف نمذجة معلومات البناء (BIM) كتمثيل رقمي للخصائص الفيزيائية و الوظيفية للمنشأة، و بالتالي فإن نموذج معلومات البناء يعتبر مصدر للمعلومات عن المنشأة، قابل للتحليل و المحاكاة و القياس مما يجعله موجهًا موثوقًا لاتخاذ القرار في جميع مراحل المنشأة (تصميم - تنفيذ - إدارة و صيانة). توجه نمذجة معلومات البناء من شأنه زيادة الإنتاجية و الكفاءة و تقادي الأخطاء البشرية و تنسيق العمل الجماعي التعاوني و زيادة دقة التوثيق.

ناقشنا في هذه المذكرة طريقة ودور المسح الضوئي إلى BIM من خلال استخدام المساحات الضوئية ثلاثية الأبعاد. فعلى مر السنين، أصبح المسح الضوئي بالليزر ثلاثي الأبعاد للمباني أداة مفضلة لأعمال البناء. وجزء من سبب نجاحه هو فوائده العديدة. باستخدام المسح ثلاثي الأبعاد ، يصبح التخطيط لمشاريع البناء أسهل.

أخيرًا، يجعل المسح ثلاثي الأبعاد عمل المتدخلين أسهل (هندسة معمارية، هندسة مدنية، ميكانيك/كهرباء/صحية). يمكنهم العمل في مشروع واحد (النموذج الرقمي) ، على الرغم من عدم وجودهم جميعًا في الموقع. من جهاز الكمبيوتر ، يمكن للجميع تعديل النموذج لإجراء تحسينات مختلفة.

### كلمات مفتاحية :

نمذجة معلومات البناء ، البناء، Revit، CAD ، التصميم بمساعدة الكمبيوتر ، المسح الضوئي بالليزر ، النظام الأساسي التعاوني ، التوافقية ، المسح ثلاثي الأبعاد ، سحابة النقاط ، النموذج الرقمي.

## Résumé

La modélisation de l'information sur le bâtiment (BIM) peut être définie comme une représentation numérique des caractéristiques physiques et fonctionnelles de l'installation, de sorte que le modèle d'information sur le bâtiment est une source d'information sur l'installation, qui est capable d'analyser, de simuler et de mesurer, ce qui en fait un guide de prise de décision fiable à toutes les étapes de l'installation (conception, mise en œuvre, gestion et maintenance). La modélisation de l'information de construction vise à accroître la productivité et l'efficacité, à éviter les erreurs humaines, à coordonner le travail d'équipe collaboratif et à accroître la précision de l'authentification.

Dans ce mémoire nous avons abordés la méthode et le rôle du Scan to BIM par l'utilisation des scanner 3d. Au fil des années, le scanner laser 3D bâtiment est devenu un outil de prédilection pour les travaux de construction. Et s'il a connu autant de succès, c'est notamment grâce à ses nombreux avantages. Avec la numérisation 3D, la planification des projets de construction est plus simple.

Enfin, la numérisation 3D facilite le travail des intervenants (Architecture, génie civil, MEP (mécanique / électrique / sanitaire)). Ces derniers peuvent travailler sur un seul projet (la maquette numérique), bien qu'ils ne soient pas tous présents sur le chantier. À partir d'un ordinateur, chacun pourra modifier la maquette pour apporter différentes améliorations.

### **Mots clés:**

BIM, Construction, Revit, CAD, CAO, scanner laser, Plateforme collaborative, Interopérabilité, Relevé 3D, Nuage de points, Maquette numérique.

## **Abstract**

Building Information Modeling (BIM) can be defined as a digital representation of the physical and functional characteristics of the facility, and therefore the BIM is a source of information about the facility, capable of analysis, simulation and measurement, which makes it a reliable guide for decision-making in all stages of the facility (design - implementation - management And maintenance). A BIM approach that increases productivity and efficiency, avoids human errors, coordinates collaborative teamwork, and increases documentation accuracy.

In this thesis we have discussed the method and role of Scan to BIM through the use of 3d scanners. Over the years, the 3D building laser scanner has become a tool of choice for construction work. And part of the reason it has been so successful is its many benefits. With 3D scanning, planning construction projects is easier.

Finally, 3D digitization facilitates the work of stakeholders (Architecture, civil engineering, MEP (mechanical / electrical / sanitary)). They can work on a single project (the digital model), although they are not all present on the site. From a computer, everyone can modify the model to make various improvements.

### **Keywords :**

BIM, Construction, Revit, CAD, CAD, laser scanner, Collaborative platform, Interoperability, 3D survey, Point cloud, Digital model.

### I INTRODUCTION GENERALE

Un bâtiment est le résultat d'une collaboration de plusieurs corps de métier suivant des procédés remontant jusqu'à plusieurs siècles. Il ne cesse cependant d'évoluer. Les procédés se numérisent et révolutionnent tous les processus de conception. Ces nouveaux outils, ainsi que l'avancée informatique, ont récemment mis en avant un nouveau procédé de projet architectural : le "Building Information Modelling" que nous appellerons BIM dans la suite de ce document. Cette nouvelle méthode a pour premier but de simplifier la conception du bâtiment, et de ce fait, de diminuer les coûts inhérents à son étude. L'idée du BIM est de concevoir le bâtiment dans un monde virtuel à l'identique de sa future conception. Les ingénieurs quittent alors leur plan 2D pour appuyer leurs études sur une maquette virtuelle qui possède toutes les caractéristiques nécessaires à la réalisation de leurs projets. Le processus de construction d'un bâtiment est le résultat de la collaboration d'une multitude de métiers. La maquette BIM, adaptée à cette particularité, place le travail collaboratif au cœur de l'étude et reçoit les informations de tout corps de métiers. Chaque corps de métier correspond, d'un point de vue ergonomique, à un profil utilisateur. Celui-ci doit obtenir des outils appropriés à ses problèmes et à ses besoins, car il représente une expertise bien spécifique pour le bâtiment. Ce processus BIM, unique en son genre, nécessite des outils de visualisation et d'interaction sur mesure.

Dans ce mémoire nous avons abordés la méthode et le rôle du Scan to BIM. qui est correspond au processus de modélisation d'un bâtiment sur la base de son nuage de points : l'empreinte 3D générée suite à un relevé de l'intérieur et/ou de l'extérieur du bâtiment via l'utilisation de technologies de scan 3D (lasergrammétrie et/ou photogrammétrie).

- Et nous avons divisé l'étude sur ce thème dans ce mémoire en trois chapitres :

**Chapitre 01** : Etude Bibliographique (BIM).

**Chapitre 02** : Le Scan to BIM (La Numérisation 3D Du nuage de points à la Maquette BIM.

**Chapitre 03** : Etude D'un Cas.

**CHAPITRE**

**- I -**

**ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

**-Building Information Modeling-**



### I.1 Historique

Historiquement le BIM est un concept développé pour la conception du bâtiment. Les premières réflexions à son propos apparaissent dans les années 1960 et il est défini en tant que conception architecturale basée sur la manipulation d'un modèle informatique réunissant représentations géométriques et bases de données relatives au projet. Dans les années 70 un premier logiciel de conception par bases de données est créé (BDS, pour Database Building System) et permet une conception de bâtiment à partir d'éléments individuels à ajouter tout en permettant la visualisation du projet et d'un ensemble de données sur ces éléments. En 1982, ArchiCAD est créé en Hongrie selon le même principe général et sera le premier logiciel BIM utilisable sur ordinateur personnel. C'est l'ancêtre de Revit utilisé actuellement en bâtiment. En 1995, une réflexion est engagée aux États-Unis pour faciliter les échanges de données entre les acteurs du projet et le format IFC est créé par l'organisation aujourd'hui nommée Building Smart International et devient la norme standard pour l'échange de données dans le domaine du bâtiment. En 2000, Revit est créé et la gestion du temps et des ressources apparaît dans le BIM, permettant la gestion des phases de construction. Depuis les années 2000, le BIM a continué à se développer et est utilisé dans la conception d'un nombre croissant de bâtiments, les outils informatiques permettant d'intégrer tous les éléments nécessaires à cette méthode de travail collaboratif. Il en est néanmoins seulement à ses débuts dans le domaine des infrastructures, de nombreux outils et méthodes restent à développer (logiciels compatibles, format IFC adapté aux spécificités des infrastructures, méthodes de travail à définir et/ou à améliorer, etc...) [3].

### I.2 Concept du BIM

#### I.2.1 Définition

BIM est vient de l'anglais de Building Information Modeling, de Building Information Model, ou encore de Building Information Management. Sa transcription française ne fait pas consensus, pour plusieurs raisons, « Building est à la fois un verbe (construire, réaliser, exécuter, fabriquer...) et un nom (bâtiment, ouvrage, construction...) de même que le, « Information », c'est l'élément majeur dans le processus. Ces informations sont stockées dans la base de données du projet et s'enrichissent au fur et à mesure du processus et de l'expertise des différentes

disciplines. Pour les industriels c'est la possibilité d'insérer dans le projet les informations techniques, documentations etc., de leurs produits et équipements. Pour le « M » qui peut désigner à la fois le « Modeling » (modéliser, modeler, donner forme, organiser, construire une maquette, imaginer...) et le « Model » (modèle, maquette, prototype...) ou « Management ». Cette multiplicité de sens est exploitée par les anglophones, ce qui rend le terme pratiquement intraduisible hors de tout contexte [4].

Le BIM est souvent assimilé à un logiciel ou à une technologie. Il est bien plus que cela. C'est en fait une suite de processus ou méthodes de travail utilisées tout au long de la conception, de la construction et de l'utilisation d'un bâtiment. Le BIM définit qui fait quoi ? Comment ? et à quel moment ? [4]

Le BIM ne convient pas uniquement aux bâtiments, il peut aller plus loin que sa il s'agit de construire des objets tels que :

- ❖ Des ponts.
- ❖ Les chemins de fer.
- ❖ Les autoroutes.

Vous pouvez également imaginer à quel point il convient à d'autres secteurs de l'environnement bâti comme :

- ❖ Arpentage (est la technique de la mesure de la superficie des terres, en particulier des terrains agricoles) ;
- ❖ Architecture de paysage ;
- ❖ Tunnel ;
- ❖ Exploitation minière.



Figure 2: Le BIM, qu'est-ce que c'est ? [2].

### I.2.2 Quelques questions auxquelles peuvent répondre les BIM

- **Qu'est-ce que le BIM pour le secteur du bâtiment ?**

- Le BIM, un processus de travail collaboratif pour gérer la vie d'un bâtiment ;
- La maquette numérique et sa richesse d'informations ;
- La modélisation des données intégrée aux objets 3D ;
- Le format IFC pour l'interopérabilité entre les logiciels... et les acteurs ! [5]

- **Comment puis-je commencer avec BIM?**

Pour les entreprises de design et de construction, la première étape est la même : choisir un premier projet pour tester le processus. Les deux types d'entreprises doivent également investir dans les logiciels BIM, le matériel, le personnel et la formation.

Les entreprises de design peuvent immédiatement commencer à utiliser le logiciel pour développer des conceptions pour leur projet prototype. À moins qu'ils travaillent avec une entreprise de conception utilisant BIM, les entreprises de construction devront créer un modèle 3D de leur projet pilote (en utilisant un processus appelé conversion 2D). Certaines entreprises trouvent utile d'avoir un consultant BIM aider à la formation et la mise en œuvre.

Un comité directeur du BIM peut aider l'équipe à rester concentrée sur ses objectifs tangibles. L'inclusion de la haute direction et de l'utilisateur final peut être un moyen efficace d'obtenir leur adhésion et leur soutien [6].

- **Quels sont les avantages de BIM?**

Grâce à l'environnement de travail collaboratif et à l'information qui peut être ajoutée en temps réel au modèle virtuel, la modélisation de l'information sur le bâtiment permet aux utilisateurs d'avoir un

aperçu et un aperçu plus large du projet. Ainsi, la méthodologie permet d'éviter plus facilement les erreurs, les interférences, les improvisations et les refacturations, ce qui réduit le temps et les coûts investis dans le projet [7].

- **À quoi sert BIM en architecture et en ingénierie ?**

BIM a pour fonction de représenter le développement du bâtiment ou de l'infrastructure dans l'environnement qu'il sera inséré (ville, quartier, rue, etc.), tout en simulant le comportement de la structure en ce qui concerne le climat, l'efficacité énergétique, la sécurité, la commodité et la consommation de matériaux. Avec toutes ces

données, il est possible d'avoir un aperçu des impacts sociaux et économiques et des avantages de la construction tout au long de sa vie utile [7].

- **BIM est-il un logiciel ?**

BIM n'est pas seulement un logiciel, cette vision trop simplifiée, qui ne correspond pas à la réalité, diminue lentement. BIM est bien plus qu'une innovation technologique, c'est une méthodologie de travail qui, grâce à divers outils technologiques et au travail collaboratif, intègre toutes les informations de la construction. Et, ce faisant, il optimise le projet et facilite le flux d'exécution et de gestion [7].

- **Quel est l'état actuel de BIM dans le monde et quels pays exigent l'utilisation de BIM dans l'architecture, l'ingénierie et la construction?**

BIM en architecture, ingénierie et construction est déjà répandu dans de nombreuses régions du monde et est devenu une exigence pour les projets financés par le gouvernement dans des pays tels que le Royaume-Uni, le Danemark, la Finlande, les Pays-Bas, la Suède, la Norvège et les États-Unis.

En Corée du Sud, BIM est obligatoire pour les bâtiments publics et les projets privés qui ont un investissement de plus de 50 millions de dollars.

Au Chili, la méthodologie est requise pour les offres d'hôpitaux.

En 2019, le BIM sera obligatoire pour les travaux gouvernementaux en Russie et sera également obligatoire pour les appels d'offres publics pour les travaux d'infrastructure en Espagne.

À Singapour, la Building Construction Authority, qui fait partie du ministère du Développement national de Singapour, a besoin d'un système d'approbation pour les projets architecturaux, structurels, hydrauliques, électriques et de climatisation par l'intermédiaire de l'analyse du modèle BIM, système étant le plus rapide dans le monde (aujourd'hui, il faut environ 26 jours, mais le corps prévoit de réduire ce délai à 10 jours au total).

L'utilisation du BIM est encouragée par l'Union européenne, puisque 14 pays ont adhéré et créé le Groupe de travail BIM de l'UE.

Des chercheurs irlandais ont créé l'étude mondiale BIM - Leçons pour le programme BIM de l'Irlande, qui présente le statut de l'adhésion de BIM aux travaux publics dans plusieurs pays.

Il est prévu que l'utilisation de la méthodologie BIM deviendra obligatoire en Allemagne, en France et en Australie pour les projets publics dans les années à venir. Même s'ils ne sont pas obligatoires, le Brésil, la Nouvelle-Zélande, le Canada, le Chili, le Pérou, l'Arabie saoudite, la Chine et le Japon utilisent régulièrement le BIM[7].

- **Le BIM va-t-il changer mon travail ?**

Travailler en BIM ne change pas fondamentalement le travail : il change la manière de le faire.

En effet, le BIM ramène l'essentiel de la collaboration et de la coordination vers le début du projet, ce qui demande de réadapter la méthode de travail, de redistribuer le travail et, en conséquence, les honoraires [8].

- **Faut-il simplement changer d'outil ?**

Passer d'un logiciel classique 2D vers un logiciel BIM est une étape indispensable sur le chemin du BIM.

Il en est de même pour la formation et les ordinateurs utilisés.

Néanmoins, bien qu'importants, mettre à jour ou changer son ordinateur, changer de logiciel et se former restent insuffisants.

Rappelons la signification de la lettre M dans le sigle BIM : modèle, modélisation, management.

Le BIM est plus qu'un logiciel : il nécessite de se familiariser avec la technologie, le processus et de planifier son implémentation [8].

- **Recourir à la maquette numérique signifie-t-il travailler en BIM ?**

La réponse à cette question nécessite de mettre en corrélation l'objectif BIM et la méthodologie.

L'usage du BIM souhaité et le processus mis en place pour y parvenir font que l'on travaille en BIM.

Faire simplement usage de la maquette numérique sans objectif BIM précis ne fait pas que l'on travaille en BIM [8].

- **Le BIM est-il fait pour tout type et toute taille de projet ?**

Le BIM favorise une collaboration rapprochée dès les phases préliminaires d'un projet et permet, à travers la simulation, d'étudier de nombreux scénarios et d'identifier le plus opportun.

Plus le projet est complexe et grand, plus le BIM trouve son utilité et sa signification.

Il est également vrai que l'on peut s'inspirer des principes du BIM et les appliquer à des projets de taille modeste.

En France et à l'international, plusieurs exemples ont démontré l'utilité du BIM et de la maquette numérique aussi bien en construction qu'en réhabilitation [8].

- **Le BIM est-il réservé aux grandes structures ?**

Avec le BIM comme support, la communication et la collaboration autour d'un projet sont facilitées et beaucoup plus efficaces.

Il en est de même pour l'étude de variantes ainsi que le partage de l'information.

Le BIM offre la possibilité de saisir l'information une seule fois et de l'exploiter de manière multiple. Fabriquer l'information coûte cher ; la dupliquer ou la copier permet d'économiser du temps et de l'argent.

Si l'application de ces principes à l'échelle d'un grand projet et de grandes structures permet de tirer pleinement parti du BIM, rien n'empêche de s'en inspirer et de profiter du BIM à une plus petite échelle. Le BIM n'est pas réservé aux grandes entreprises ni aux grands projets ! [8].

### **I.2.3 Le BIM n'est pas un logiciel**

Le choix du logiciel BIM se pose fréquemment. Or, le BIM n'est pas un logiciel mais bien un processus (complexe) de travail collaboratif. Il permet aux différents acteurs du projet de travailler sur une même maquette numérique et de pouvoir simuler toutes les phases de construction. L'outil de base du BIM est donc une maquette numérique qu'il faut élaborer grâce à un logiciel 3D « orienté objet ». La question de « l'objet » est-ce qui distingue un logiciel BIM d'un logiciel 3D standard. Dans un logiciel BIM, nous ne dessinons plus des géométries mais bien des objets ayant des caractéristiques comme, par exemple, leur matérialité.

Et le choix du logiciel 3D BIM doit s'opérer en fonction des besoins spécifiques de chaque métier et de chaque type de projet à réaliser.

L'architecte devra donc être attentif au choix de son logiciel. Ce dernier doit garantir l'indépendance de l'architecte étant entendu qu'il existe un dialogue possible entre les logiciels choisis par les différents acteurs concernés et ce, par le biais du format d'échanges IFC (Industry Foundation Classes) créé par « Building Smart » [9].

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

### **I.2.4 Objectifs généraux des BIM**

L'objectif du BIM est de construire plus vite, moins cher et offrir au maître d'ouvrage une modélisation du bâtiment exploitable durant toute la durée de vie de ce dernier grâce à un mode de conception numérique et collaborative. Voici une liste non exhaustive de ces derniers:

- visualisation 3D.
- Paramétrage des objets.
- Maitrise des quantitatifs.
- La création et la gestion d'une bibliothèque d'objets BIM sont impératives.
- Amélioration de la capacité à réaliser des projets plus rapidement et plus économiquement avec une plus grande complexité et avec un impact environnemental réduit.
- Prévion du cycle de vie du bâtiment.
- Amélioration de l'exploitation du bâtiment.
- Utilisation d'outils de quantification, d'analyses et de présentation.
- Augmentation des performances de l'entreprise.
- facilité la communication.
- La capacité d'analyser et de simuler des performances énergétiques et environnementales d'un bâtiment [4].

### **I.2.5 Quelques fausses idées sur les BIM**

- **Le BIM ne vaut que pour les projets de construction neuve**

S'il est souvent question du BIM en phase de conception et de construction, le BIM couvre par nature toutes les étapes : conception, construction, exploitation et maintenance, rénovation et réhabilitation et enfin la déconstruction. La montée en puissance des solutions de scannérisation de l'existant permet en effet de procéder à la numérisation du patrimoine existant, en vue de son intégration dans des solutions BIM pour création de la maquette BIM à des fins de rénovation et d'exploitation [4].

- **Avec le BIM, il suffit d'appuyer sur un bouton pour obtenir les résultats**

Le BIM n'ôte en rien le besoin de compétences. Ni la machine, ni le processus à eux seuls ne peuvent garantir la pertinence, la qualité et la fiabilité du projet. Seuls le savoir-faire, les connaissances, l'expertise, l'expérience, permettent de bien comprendre les besoins, de bien identifier les données, de les analyser, de percevoir les éventuelles erreurs, de savoir les traiter. Si le BIM permet d'optimiser les tâches qui relèvent de la saisie, du calcul, de mieux communiquer, mieux se coordonner, il repose sur les compétences des différents intervenants, qui vont devoir travailler ensemble, en mode collaboratif, en conservant leur expertise propre qui fait leur valeur ajoutée [4].

- **Le BIM, ce n'est que pour les grosses structures et les gros projets**

Le BIM selon certains est plutôt fait pour les projets d'envergure qui associent de nombreux intervenants, dans le cadre de gros contrats, le tout donc plutôt pour les « grosses » entreprises, les majors. Or, les avantages du BIM en tant que processus de travail sont aussi présents pour des projets de plus petite envergure (habitat individuel par exemple), et le BIM répond à une demande forte, pour mieux construire et mieux exploiter tout au long du cycle de vie du bâtiment, demande qui est valable quel que soit le projet [4].

### I.3 La différence entre BIM et CAD :



**Figure 3: BIM vs CAD : quelle est la différence ? [2].**

#### I.3.1 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[10].

### **I.3.2 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 [10].

### **I.3.3 Les différences entre la CAO et le BIM**

#### **I.3.3.1 Différences fondamentales**

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

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

Les éléments du modèle contiennent des informations (géométrie, matériaux, apparence, coût, qualités énergétiques, etc.) qui rendent possible les analyses et les simulations. Le calcul automatique des quantités, des coûts de construction et la planification peuvent se faire en temps réel et sont toujours à jour avec le modèle paramétrique 3D [11].

### I.3.3.2 Différences au niveau du temps dédié la conception initiale

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

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

L'augmentation de la charge de travail initiale est parfois difficile à faire comprendre au Maître de l'ouvrage. Les avantages du BIM devront lui être expliqués clairement [11].

### I.3.3.3 Différences au niveau des compétences des employés

La réalisation d'un modèle BIM, qui est une reproduction virtuelle du bâtiment, requière des projeteurs ayant beaucoup d'expérience tant au niveau de la conception que de la construction. Il sera difficile pour un dessinateur CAO sans expérience de conception d'utiliser un logiciel BIM sans l'aide d'un projeteur expérimenté en raison du grand nombre d'informations devant être fournies dès la conception initiale [11].

## I.4 Avant BIM

### I.4.1 Quelques problèmes actuels dans l'industrie

- Manque d'efficacité (travail à double ou triple) ;
- Nombre d'erreurs élevées dues au manque de coordination et de suivi ;
- Situation traditionnellement conflictuelle entre les intervenants de l'industrie ;
- Report des responsabilités sur d'autres ;
- Absence ou non-respect des standards/normes de dessins ;
- Problèmes d'échanges de données et collaboration entre les différents intervenants ;
  - Livrables basés sur des documents 2D papier ;
  - Gestion du coût approximative ;
  - Problèmes liés à la maintenance des ouvrages après conception ;
  - Problèmes liés à l'interaction avec l'environnement... [4].

### I.4.2 Quelle est la relation entre BIM et DAO

Les BIM en réalité sont développés par la compagnie Autodesk, leader en DAO ou CAO, les plateformes logiciels programmées dans les dernières années par Autodesk ont mis l'accent sur le paramétrage des objets prédéfinis. Ce qui rend les BIM des logiciels DAO intelligents.

La DAO offre une représentation graphique du bâtiment .Le BIM représente un modèle 3D paramétrique qui est une réplique virtuelle de l'ouvrage.

Le modèle BIM est dit "intelligent" dans le sens où il est composé d'éléments qui interagissent entre eux. Comme il s'agit d'un seul modèle, les coupes et les vues seront mises à jour automatiquement lors de modifications.

Les éléments du modèle BIM contiennent des informations (géométrie, matériaux, apparence, coût, qualités énergétiques, etc.) qui rendent possibles les analyses et les simulations [4].

### I.5 Le rôle d'un BIM

De nos jours, les projets sont de plus en plus complexes et exigeants avec de fortes contraintes temporelles et budgétaires. Une bonne collaboration entre tous les intervenants est donc un élément essentiel pour le bon déroulement d'un projet. Ainsi le BIM est un outil d'aide au déroulement d'un projet, qu'il soit de petite ou de grande envergure.

❖ **Faciliter la conception** : La phase de conception d'un projet connu avec sa longue durée et sa difficulté. Le BIM permet de réduire le plus possible le gaspillage d'efforts et de travaux.

L'efficacité de la conception augmente grâce à l'utilisation d'objets prédéfinis avec des propriétés et des relations incorporées, y compris des informations sur les modèles principaux pour les coûts, les données de fabrication du fournisseur et les valeurs de spécification de performances.

❖ **Rendre la coordination plus simple**

Le bâtiment numérique fournit une source unique de données, ce qui simplifie la gestion de toutes les informations, chiffres et dimensions d'un projet. Le BIM facilite la coordination du contenu dessiné et non graphique.

❖ **Assurer la sécurité de la structure**

L'amélioration de la sécurité est l'un des principaux moteurs du BIM, dans toutes les applications mais surtout dans l'adoption des infrastructures. Cela implique la sécurité du

site et la prise de conscience des problèmes potentiels, mais implique également de prendre des décisions le plus tôt possible dans le respect de la santé et de la sécurité, de concevoir des risques et de modéliser des scénarios de construction et de maintenance sécurisés.

### ❖ **Analyser la consommation d'énergie**

Les bâtiments très fréquentés et les infrastructures modernes sont très coûteux à gérer, notamment en raison de la hausse des prix du gaz et de l'électricité. Vous pouvez réaliser l'une des économies de coûts les plus importantes pour un actif construit, non pas en économisant des frais de conception ou de construction, mais au cours de l'utilisation de l'actif et de son cycle de vie opérationnel. Le coût le plus important est la consommation d'énergie.

### ❖ **Gestion et maintenance de l'actif construit**

Une autre façon de concevoir le modèle d'information consiste à intégrer toutes les informations dans la représentation numérique du bien physique pour qu'elles puissent être gérées et maintenues à long terme. On concentre sur les résultats et sur les informations nécessaires dont nous aurons besoin plus tard dans la vie du projet. Un bâtiment devrait avoir un modèle numérique intégré avec des données et des informations claires sur les achats.

### ❖ **Meilleure information**

De plus, les informations numériques nous permettent de tester et de valider les données beaucoup plus rapidement qu'avec les processus traditionnels. À mesure que le modèle évolue, une prise de conscience instantanée de l'impact des modifications à tout moment du projet permet une meilleure évaluation et une prise de décision rapide.

### ❖ **Échange de données sur la chronologie du projet**

Le BIM peut nous aider à éviter la perte de données au cours d'un projet. À de nombreux points d'échange d'informations, nous pouvons utiliser les données de projet de manière plus collaborative avec peu de gaspillage ou de duplication. Ce qui est encore plus important, c'est que plusieurs rôles et disciplines puissent utiliser les mêmes données dans le projet.

### ❖ Communication

Grâce à une combinaison de données 3D et non graphiques, on peut mieux comprendre l'environnement bâti que jamais. Mieux encore, on peut également tester des idées dans la sécurité du modèle.

### ❖ Nouvelle efficacité

La précision potentielle du BIM et la possibilité de perfectionner l'ingénierie bien avant la mise en chantier.

### ❖ Santé et sécurité

Nous pouvons comprendre les zones de risque du projet, notamment celles où des activités dangereuses auront lieu, et atteindre des niveaux de sécurité élevés. Au cours des phases ultérieures du projet [4].

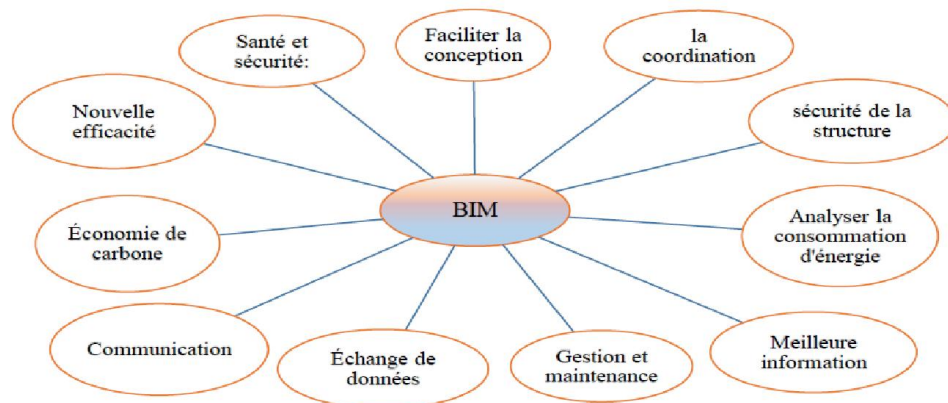


Figure 4: Les rôles d'un BIM[4].

## I.6 Les avantages et les inconvénients du processus BIM

### I.6.1 Les avantages

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 [12].

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 [12].

Nous allons citer ci-dessous quelques avantages du BIM:

- Travail collaboratif permettant d'améliorer le dialogue entre intervenants et de décloisonner les métiers grâce à l'utilisation d'un modèle 3D ;
- Erreurs minimisées lors de la conception, la synthèse et la construction ;
- Synchronisation de la conception et la construction grâce à la 4D ;
- Détection des conflits entre les métiers ;
- des visualisations précises à toutes les étapes du projet grâce au modèle virtuel 3D ;
- estimation des quantités et des coûts de construction en temps réel ;
- Minimisation des ressaisies de données ;
- Mieux comprendre le fonctionnement du bâtiment pour adapter, rénover, ajouter et modifier le bâtiment plus rapidement et à un coût inférieur aux processus traditionnels [12].

### **1.6.2 Les inconvénients**

Malgré de nombreux avantages certains, il subsiste des inconvénients liés à la jeunesse de l'utilisation du BIM en entreprise, et que seules les années d'utilisation vont permettre d'effacer. C'est le cas notamment du prix, qui aujourd'hui reste encore extrêmement élevé étant donnée l'inexpérience que la plupart des entreprises ont en la matière. De plus, légalement, l'utilisation du BIM engendre encore quelques zones d'ombre, notamment concernant la propriété du modèle 3D puisque tout le monde peut intervenir dessus. En outre, seuls les plans du marché ont aujourd'hui une valeur contractuelle, la maquette numérique générée par le BIM n'en est pas une, elle ne constitue qu'une aide à la réalisation et à la gestion de l'ensemble du projet. Bien que le BIM facilite la faisabilité de projets conçus de bâtiments, il n'aide pas la qualité de la conception dans des phases en amont des projets. Les logiciels de BIM ne sont pas encore tous encore assez stables et murs afin d'être totalement exploité en production. Bien évidemment, l'utilisation du BIM et de ces méthodes n'a pas de conséquence bénéfique immédiate pour les entreprises qui commencent à s'y mettre. Son utilisation est très complexe, demande un temps d'adaptation et coûte cher à mettre en place. La création de pièces standards au début demande également du temps. Les temps de travail par phase sont également différents par rapport à une méthode de travail classique. En effet, la phase de conception qui nécessite le plus de ressource avec le processus BIM est celle du DCE ou des phases antérieures (PRO, AVP, APS, etc.) [12].

### I.7 Pourquoi le BIM est-il important de gestionnaires de la construction ?

BIM est le plus associé à l'équipe de conception. Les gestionnaires de la construction (CM) peuvent ne sont généralement pas impliqués dans l'auteur de modèles, mais ils jouent un rôle vital dans s'assurer que les éléments clés nécessaires à la réalisation d'un projet réussi sont présents et correct. Les gestionnaires de la construction doivent comprendre les processus et les outils qui sont utilisés tout au long du cycle de vie d'un projet, au-delà de la phase de conception.

Il est nécessaire de gérer l'actif de la création jusqu'à l'exploitation et la fin de la vie. Les gestionnaires de la construction doivent comprendre, interroger, contribuer et valider les données BIM, afin de maximiser ses avantages. Ils doivent exploiter la valeur de données en utilisant des informations

modèles et de nouvelles façons de travailler pour mieux soutenir nouvelles techniques de construction, planification, coût, qualité, coordination, fabrication, séquençage et gestion des installations pour n'en nommer que quelques-uns. Pour être en mesure pour s'attaquer à ce rôle élargi du gestionnaire de la construction qu'il doit considérer nouveaux outils, processus et ensembles de compétences [13].

### I.8 Les différentes dimensions du 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 [10].



Figure 5: Les différentes dimensions du BIM [10].

**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.[10].

### Les avantages

- Amélioration de la visualisation du projet, communication de l'intention de conception ;
- Amélioration de la collaboration multidisciplinaire ;
- Réduction du remaniement [14].

**BIM 4D** : Ajoute une donnée "temps" aux trois dimensions géométriques. Permet de lier les éléments géométriques avec une information "temps" ou un planning déconstruction, 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 [10].

### Les avantages

- L'intégration du BIM avec des modèles de simulation ca CAD 4D apporte des avantages aux participants en termes d'optimisation de la planification ;
- Les constructeurs et les fabricants peuvent optimiser leurs activités de construction et leur équipe Coordination [14].

**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 [10].

### Les avantages

- L'avancement de développement projet plus productifs, rentables et durables. [18]

**BIM 6D** : Traite de tout ce qui concerne le développement durable d'un bâtiment, par exemple les analyses énergétiques [10].

### Les avantages

L'intégration de BIM avec des modèles de simulation CAO 6D entraîne une réduction globale de l'énergie Consommation [14].

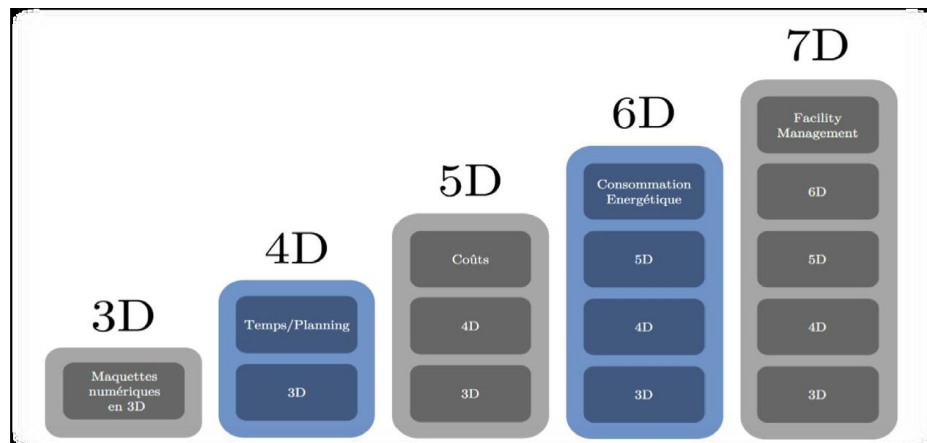
**BIM 7D** : Lie les éléments du projet à tous les aspects de la durée de vie du bâtiment.

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 [10].

### Les avantages

L'intégration de BIM avec des modèles de simulation 7D CAD optimise la gestion d'actifs, conception à la démolition [14].

**BIM XD** : Le X représente ici toutes les données additionnelles imaginables qui pourraient encore venir s'ajouter aux autres dimensions [10].



**Figure 6: Dimensions du BIM [4].**

### I.9 Les LODs

Traditionnellement, les différentes appellations (phase d'esquisse, d'avant-projet, de projet...) sont utilisés pour déterminer les étapes d'avancement du projet. Avec la maquette numérique, l'état d'avancement du projet est caractérisé par la quantité d'informations ou le niveau de détail qu'elle requiert. Le niveau d'informations de la maquette numérique est utile à savoir pour déterminer l'étape actuelle du projet et l'élaboration des données à rajouter pour les prochaines étapes du projet. Souvent appelé level of détail, développement ou data, le LOD définit le niveau d'informations des éléments composant la maquette à différents stades du projet [15].

- **Niveau de détail**

Le niveau de détail est la quantité d'information qu'un objet modélisé comporte ou la quantité d'informations relatives à la représentation graphique de l'objet modélisé. On peut dire que c'est un outil pour mesurer la quantité d'information de la représentation graphique des objets [15].

- **Le niveau d'information**

Le niveau d'information fait référence à la quantité de données relatives aux aspects techniques de l'objet de la maquette numérique, les plannings, références [15].

- **Le niveau de développement**

La modélisation de la maquette BIM dépend également de son niveau de développement (LOD) qui correspond à son niveau de détail (LoD) et à son niveau d'information (LoI) «  $LOD = LoD + LoI$  ». Cette notion est essentielle pour définir le niveau d'exigence attendu de la maquette aux différentes étapes du projet.

Les LOD sont généralement gradués de 100 à 500, allant du niveau le moins détaillé au niveau le plus complet. C'est-à-dire de l'esquisse du projet à la construction du bâtiment voire jusqu'à son exploitation et sa maintenance (LOD 600). [35]

#### I.9.1 Les niveaux de détail de BIM

**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.

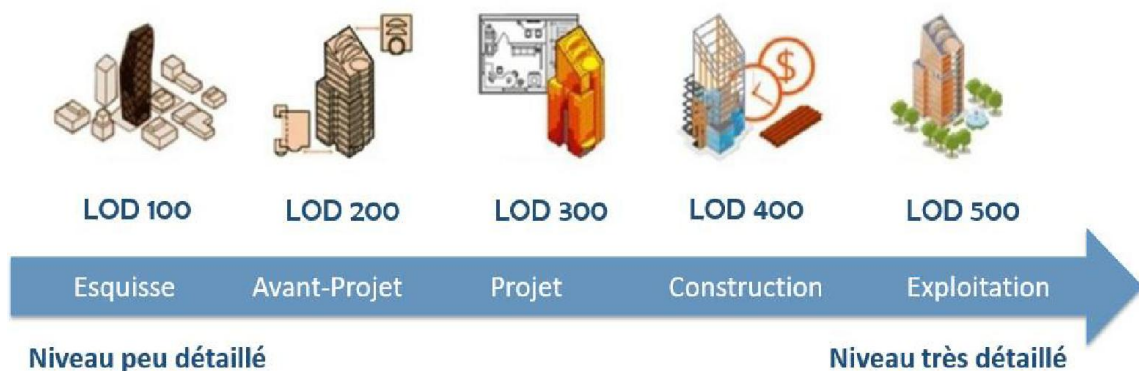
**LOD 200** : Les éléments du modèle sont représentés graphiquement d'une manière générique en tant qu'objet ou assemblage. Les dimensions, quantités, formes, positions et orientations des éléments peuvent être approximatives.

**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. [10]



**Figure 7: Les différents niveaux de développement LOD [35].**

### I.10 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 [10].

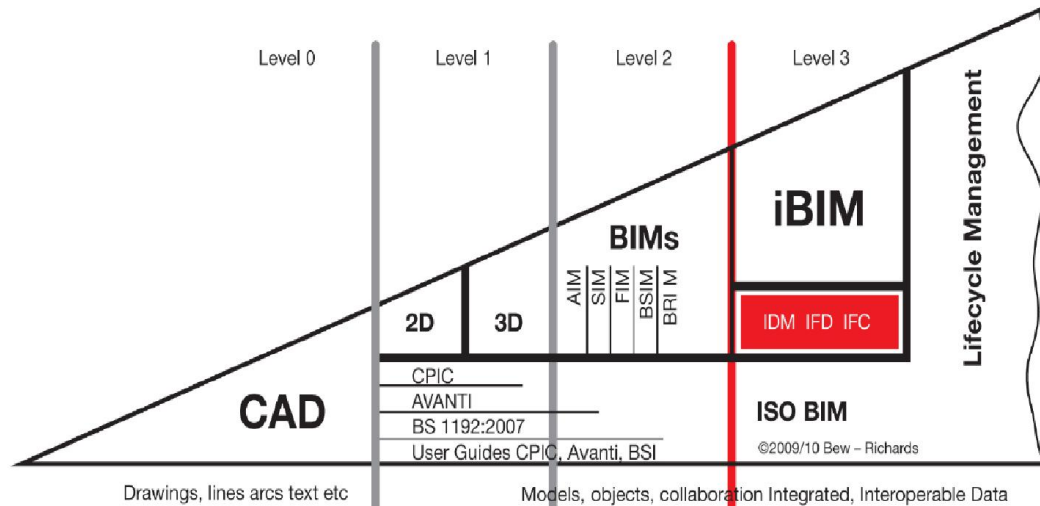


Figure 8: La maturité du BIM [10].

### BIM Niveau 0 : Pré-BIM

Les dessins sont faits en 2D non gérée ou non structurée. C'est le niveau où la majorité de notre professionnel et étudiants travaillent car cette méthode est traditionnelle [4].

### BIM Niveau 1 : la modélisation orientée-objet

Est considéré comme une pré-étape. Durant cette phase, le travail est effectué en 2D et en 3D mais la notion des LOD n'est pas encore prise en compte sur les objets modélisés. Chaque partie travaille de son côté sans qu'il y ait de collaboration directe avec les autres intervenants. La partie collaborative pour échanger les informations reste toujours au format 2D avec des fichiers qui sont envoyés individuellement [15].

### BIM Niveau 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 ;

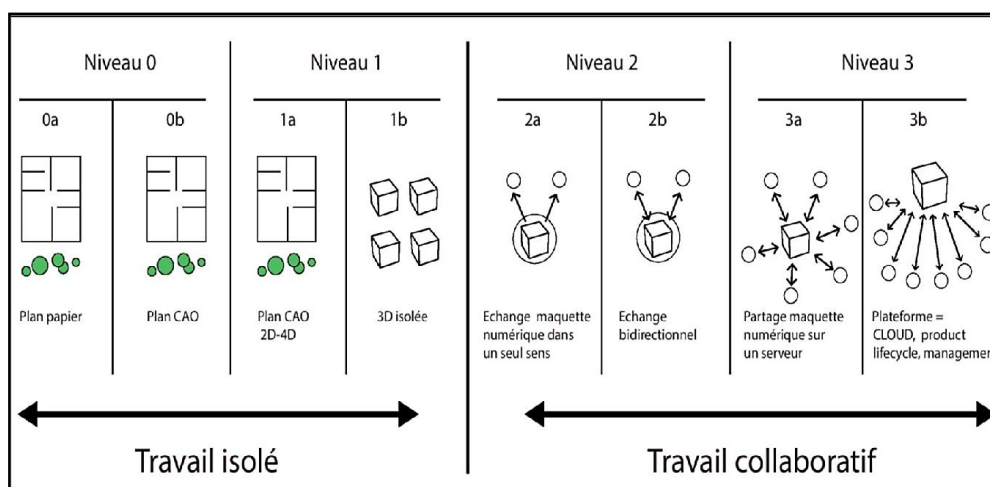
- des logiciels "non-BIM" sont également utilisés pour ajouter des dimensions complémentaires comme le temps (4D), ou les ressources financières (5D) au modèle.

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 » [29]

### BIM Niveau 3 : l'intégration orientée-réseau

Est perçue comme la seule méthodologie pour le processus BIM, souvent testée sur les grands marchés publics. Avec cette méthode, tout le travail des différentes parties se base autour d'une seule et unique maquette. Celle-ci La maquette se trouve dans un serveur ou une plate-forme en ligne accessible aux différents corps de métier ; de même que les différents formats de partage. Ainsi, les différentes maquettes métiers produits vont aider à constituer la maquette globale [15].

Le niveau 3 n'existe pas à l'heure actuelle, dans aucun pays. Il est caractérisé par le partage d'une seule et unique maquette. Les échanges et l'interactivité sont donc très efficaces [16].

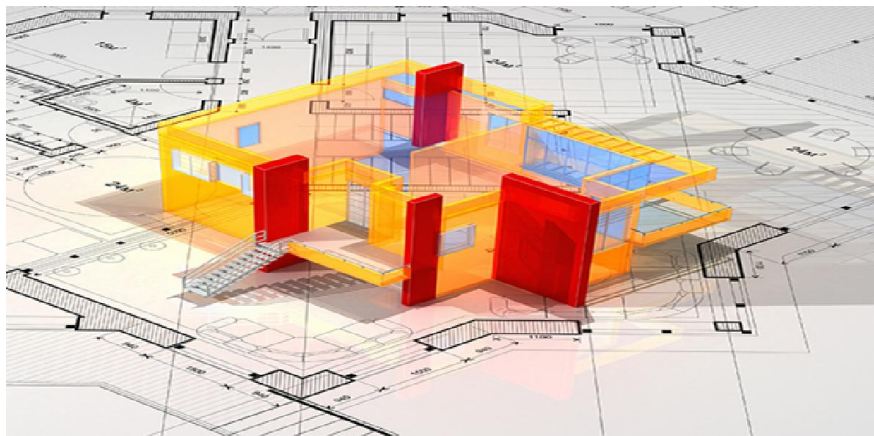


**Figure 9 : Les niveaux de maturité BIM [4].**

### I.11 La modélisation des informations du bâtiment

#### I.11.1 Présentation

Le terme BIM peut signifier plusieurs choses ; « Building Information Modeling », « Building Information Model » ou encore « Building Information Management ». Ces trois significations sont complémentaires pour la définition du paradigme que représente le BIM. D'une part, le BIM se base sur l'utilisation de maquettes numériques représentant le produit. La modélisation de l'ouvrage se fait alors grâce à de nouveaux outils de modélisation qui permettent de rattacher de l'information aux éléments du modèle. Le BIM repose, d'autre part, sur un ensemble de processus qui redéfinissent la manière dont le travail est organisé et les informations échangé entre les différents intervenants et entre les différentes phases des projets de construction. Dans le cadre d'un projet réalisé avec le BIM, les professionnels sont capables de créer un modèle 3D avec toutes sortes d'informations concernant les spécificités du bâtiment modélisé. La maquette obtenue sert ensuite d'élément central pour supporter les processus de conception, de construction et d'exploitation de l'ouvrage. Chaque intervenant devrait alors pouvoir exploiter la maquette numérique via des outils appropriés à sa spécialité [17].



**Figure 10: La modélisation des informations du bâtiment [2].**

#### I.11.2 Modélisation paramétrique

Les outils de CAO traditionnels définissent les objets d'un modèle d'un point de vue uniquement géométrique. Les objets sont créés à partir de ligne surfaces ou volumes. Les outils de modélisation BIM permettent en plus de générer une base de données rattachée à la géométrie des éléments. Il est donc possible grâce aux BIM de créer des bibliothèques

d'objets intelligents capables de stocker et d'utiliser des informations relatives au projet. Par exemple une porte, placée dans un modèle BIM, ne sera plus qu'un simple assemblage de lignes et de surfaces, mais devient un objet intelligent ayant pour hôte un mur ou une cloison et contenant des informations relatives aux matériaux, aux coûts, aux fournisseurs, etc.

Les outils de conception BIM permettent de faire de la modélisation paramétrique. C'est-à-dire que le modèle réalisé ne représente pas des objets avec une géométrie des propriétés fixées.

Il représente plutôt des objets en fonction de paramètres et de règles qui vont déterminer la géométrie et les propriétés non géométriques.

Les possibilités offertes par la modélisation paramétrique vont bien au-delà de la simple cartographie des relations entre les objets et les assemblages d'une maquette numérique. Le modèle BIM renseignera de plus sur les composants structuraux, la valeur de l'isolation, les matériaux, les coûts [17].



**Figure 11: La modélisation paramétrique [2].**

### I.11.3 Interopérabilité

De nombreux outils informatiques existent pour supporter le travail des différentes spécialités des acteurs des projets de construction. Cependant, il existe une très grande variété de formats utilisés par les différents professionnels. Ceci entraîne bien souvent un effort supplémentaire lorsque les fichiers passent d'un système à un autre.

L'interopérabilité offre la possibilité d'échanger les informations entre différents outils informatiques. Ceci permet d'éliminer le besoin de ressaisie d'information et de faciliter la circulation des flux d'information et rend donc possible l'automatisation de certaines tâches. Il y a eu ces dernières années une forte croissance de l'utilisation d'outils BIM dans l'industrie AEC (Architecture, Ingénierie, Construction). Les données fournies par ces outils viennent sous une variété de formats. La plupart de ces formats sont des

« Formats propriétaires » en raison de la nature commerciale des applications qui les fournissent.

C'est donc dans l'optique de rendre les systèmes interopérables que le format ouvert IFC (Industry Foundation Classes) a été créé par l'IAI (International Alliance for Interoperability) en 1997. L'IAI a depuis changé de nom pour Building SMART. Le format IFC est dérivé du STEP (Standard for the Exchange of Product model data) utilisant le format texte. L'IFC présente les informations de construction grâce à un ensemble de classes prédéfinies. L'IFC est capable de transporter les informations relatives à la géométrie des éléments ainsi que des informations plus réalistes comme les couleurs, les matériaux, les textures ou encore les prix [17].



Figure 12: L'interopérabilité [2].

### I.11.4 L'utilisation du BIM à différentes étapes du projet

Grâce à l'interopérabilité des systèmes, les différents intervenants peuvent exploiter les données de projets BIM à différentes étapes du projet de construction. Le BIM peut être exploité pour les architectes et ingénieurs durant la phase conception grâce à des outils de conceptions et de coordination 3D. Ensuite certaines solutions informatiques proposent des solutions pour l'étude d'autres dimensions telles que le temps, les coûts, le développement durable et la gestion des installations. On parle alors respectivement du BIM 4D, 5D, 6D et 7D. Le BIM peut par ailleurs être utile lors de la conception, de la construction et de la gestion des installations une fois la construction terminée. Ceci est principalement dû à la facilité de la présentation du design. Cependant, les solutions informatiques pour exploiter pleinement le BIM à toutes les étapes du projet ne sont pas

encore à maturité. Les solutions envisagées par plusieurs chercheurs sont le développement des « vues métiers » permettant de présenter des collections d'informations utiles pour les différents intervenants. Grâce à ces « Vues métiers », les différents intervenants pourront alors simplement accéder aux informations dont ils ont besoin et fournir des informations complémentaires et utiles pour les autres intervenants.

Concernant les solutions techniques pour arriver à de tels résultats, Froese (2010) déclare que les outils traditionnellement utilisés (avant l'arrivée du BIM et de l'interopérabilité) ne sont pas adaptés, car leur structure de développement ne permet pas de communiquer facilement avec les autres plateformes du même type. Cependant, ces outils sont amenés à évoluer.

D'autre part une nouvelle génération d'outils est apparue pour agir comme un collecteur de l'ensemble des informations fournies par les outils fonctionnant indépendamment. Ces outils de collecte reposent sur l'utilisation du format IFC qui facilite l'échange d'informations entre les plateformes BIM [17].

### **1.11.5 La détection de conflit entre les maquettes numériques**

Les outils BIM de coordination 3D permettent de réaliser des détections de conflits statiques et dynamiques. Les conflits statiques représentent les interférences entre deux objets statiques du modèle comme un mur et une conduite de ventilation. Les conflits dynamiques concernent des interférences à un moment donné de la construction par exemple entre un mur et une grue ou entre une grue et un échafaudage. Ces types de conflits comprennent les conflits durs (collisions entre deux objets) et les conflits de jeu (distance trop courte entre les objets).

La détection de conflit est l'une des applications du BIM la plus utilisée actuellement étant donné l'enjeu financier et les retards dans les travaux liés aux conflits non détectés et résolus avant la construction. Cependant, les rapports de conflits contiennent généralement un très grand nombre de « faux » conflits et pour l'instant les solutions logicielles obligent l'utilisateur à vérifier manuellement chacun des conflits. Il est donc important de prévoir des stratégies de détection et de résolution d'interférences.

Il est aussi à noter que les outils actuels de détection de conflits 3D se basent sur les éléments géométriques. Si l'on souhaite étudier la détection de conflits entre les espaces du projet, il est donc nécessaire de les modéliser en 3D [17].

### I.11.6 Analyse et discussion

Le BIM et les outils associés fournissent un précieux support pour structurer la communication des informations des projets de construction entre les différents intervenants. Cependant, beaucoup de travail reste à faire pour développer le cadre légal et les solutions technologiques pour profiter pleinement de cette philosophie. Un important travail reste alors à faire sur le développement de « vues métiers » et sur les formats d'échanges adaptés pour permettre aux différents acteurs d'obtenir toujours plus facilement et de communiquer les informations utiles pour la réalisation de leurs tâches.

Pour éviter d'éventuelles confusions dans la suite du document, voici quelques termes fréquemment employés et le sens de leur emploi.

- **modèle ou maquette numérique BIM** : Il s'agit du modèle numérique du projet auquel sont rattachées les informations du projet. Ce modèle agit comme élément central pour la communication des informations ;

- **outils ou logiciels BIM** : Il s'agit d'outils informatiques qui permettent de créer les modèles numériques BIM ou de structurer l'échange d'information. Ces outils sont capables de générer et de recevoir des données IFC ou interopérables ;

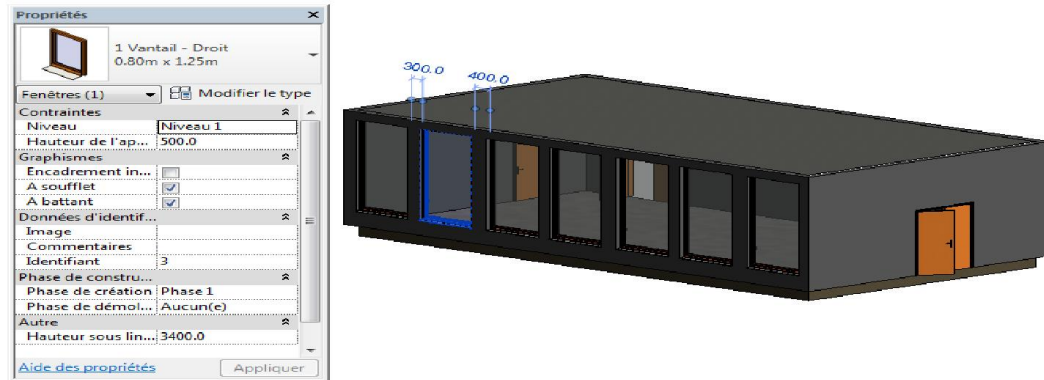
- **processus BIM** : Il s'agit des processus mis en place pour structurer la modélisation et la communication des informations du projet. Ces processus utilisent alors la maquette numérique BIM et les outils BIM comme vecteur de communication entre les différents intervenants ;

- **BIM** : le terme utilisé seul est alors la combinaison des trois autres termes [17].

### I.12 La maquette numérique BIM

Le terme maquette numérique ne peut pas résumer à lui seul toutes les facettes du BIM, puisqu'il se contente de décrire le modèle numérique. Il s'agit d'un modèle 3D «intelligent» du bâtiment, où les objets sont définis en termes d'éléments de construction, tels que des murs, des plafonds, des planchers, des toits, etc .Les paramètres des objets sont stockés dans une base de données associée au modèle 3D.

La figure 13 présente un exemple d'objet (une fenêtre) ainsi que ses paramètres associés dans l'environnement du logiciel Revit (Autodesk). Outre les dimensions de la fenêtre, les paramètres renseignés traitent également des matériaux qui la composent, de ses propriétés physiques, mécaniques, etc.[19].



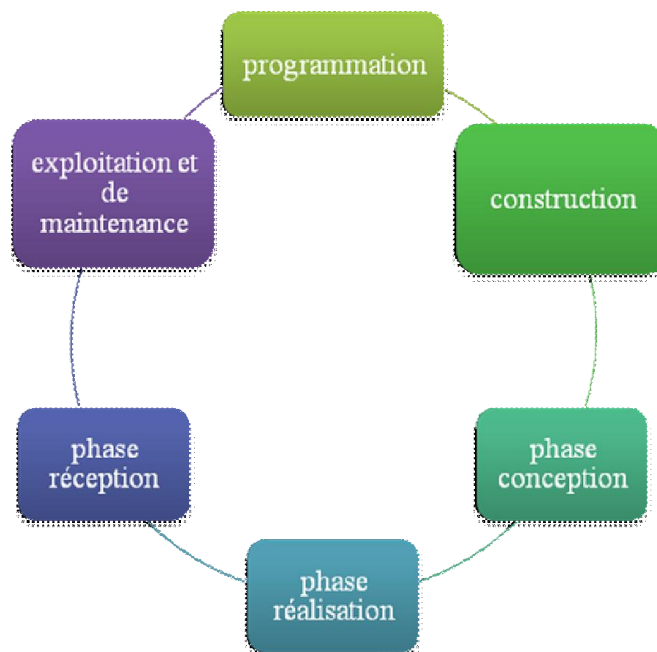
**Figure 13: Exemple d'un objet avec ses propriétés associées (Revit, Autodesk) [19].**

La richesse de la maquette numérique réside dans le fait qu'elle a vocation à contenir l'ensemble des données nécessaires au bâtiment pendant tout son cycle de vie : programmation, conception, réalisation, réception, exploitation et maintenance et finalement la déconstruction.

La maquette numérique décrivant un ouvrage peut être unique ou constituée de la somme des maquettes: une maquette architecturale, une maquette de la structure du bâtiment, une maquette pour la plomberie, l'électricité, etc. [4].

**- en fonction des étapes du cycle de vie de l'ouvrage :**

Elle prend les appellations suivantes :



**Figure 14: les types de Maquette Numérique [4].**

### **1. Maquette numérique de programmation**

Maquette numérique utile pour l'établissement du programme du projet. Cette maquette est élaborée par le maître d'ouvrage ou sous sa responsabilité, elle contient les contraintes programmatiques et réglementaires du projet [20].

### **2. Maquette numérique de construction**

Maquette numérique couvrant les phases conception, réalisation et réception [20].

### **3. Maquette numérique de phase conception**

Elle est élaborée sous la responsabilité de la maîtrise d'œuvre. Elle est une compilation des maquettes numériques métiers de tous les intervenants constituant une représentation numérique du projet. Les documents graphiques présentés sous forme de plans et prévus par le contrat de maîtrise d'œuvre sont issus de la maquette numérique. Elle peut servir à la consultation des entreprises [20].

### **4. Maquette numérique de phase réalisation**

Elle permet l'élaboration des plans d'exécution réalisés par la maîtrise d'œuvre et le visa des plans d'exécution réalisés par les entreprises. Elle prend en compte les conditions de la réalisation effective de l'ouvrage par un processus itératif mis en place avec les équipes de réalisation. Les documents graphiques présentés sous forme de plans et prévus par les contrats de travaux et de maîtrise d'œuvre sont issus de la maquette numérique [20].

### **5. Maquette numérique de phase réception**

Maquette numérique représentative de la construction telle qu'elle est au moment de la réception et de la livraison de l'ouvrage. Elle est remise par la maîtrise d'œuvre au maître d'ouvrage.

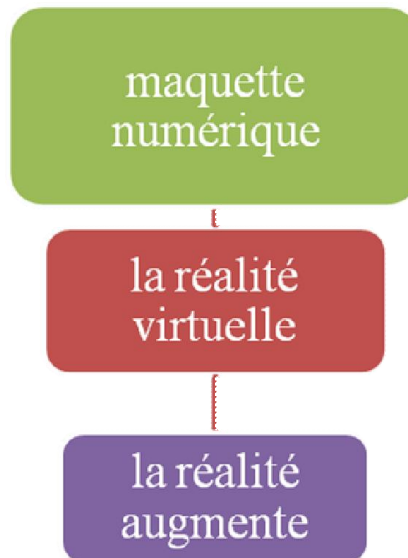
Les maquettes numériques des phases conception, réalisation et réception sont trois états successifs d'une même maquette qui gagne en précision au fur et à mesure de l'avancement des études et du chantier [20].

### **6. Maquette numérique d'exploitation et de maintenance**

Elle répond aux besoins exprimés par le maître d'ouvrage, dans le cahier des charges BIM, pour la maintenance et l'exploitation de l'ouvrage livré. En cas de construction neuve, elle est issue de la maquette numérique de construction et incorpore de nouvelles données notamment liées à l'usage. Elle est enrichie de données spécifiques à l'exploitation et à la maintenance, d'informations sur les valeurs de mesure attendues pour les contrôles, d'un recensement des contrats et des contacts fournisseurs. Pour les

bâtiments existants elle est élaborée à partir d'un relevé réalisé par un géomètre avec un niveau de précision adaptée aux besoins de l'exploitation et de la maintenance. Elle peut servir à la consultation d'un prestataire pour l'exploitation et maintenance [20].

- **visualisation des maquettes numériques :**



**Figure 15: Méthodes de visualisation de la Maquette Numérique [4].**

### 1. La réalité virtuelle

Permet de faire vivre une expérience sensorimotrice à un utilisateur. Celui-ci est plongé dans un monde virtuel interactif. Cette technologie se base essentiellement sur un environnement 3D, au moyen d'un casque et de capteurs de mouvements qui vont nous faire « vivre » dans cet univers [21] (Voir figure 16).



**Figure 16: La réalité virtuelle [4].**

Une application de réalité virtuelle va nous permettre de visualiser le projet dans son ensemble [21].

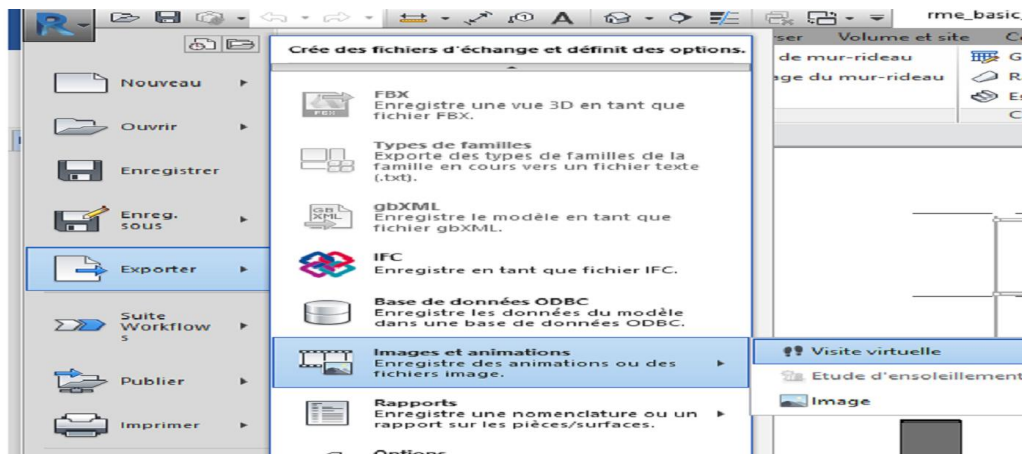


Figure 17: mode réalité virtuelle sur Revit [4].

### 2. La réalité augmentée

La réalité augmentée est une technologie qui permet de superposer des éléments virtuels directement sur le réel. A l'aide d'une tablette ou d'un Smartphone, vous pouvez faire apparaître des produits, des matériaux ou encore des bâtiments (préalablement modélisés en 3D), dans l'environnement réel dans lequel vous vous trouvez [4].

Les solutions de réalité augmentée adaptée à l'immobilier (projection d'un programme neuf sur le chantier de construction par exemple) deviennent d'ailleurs de plus en plus courantes lors de la promotion d'un programme [4].

La superposition d'une maquette numérique au monde réel va permettre au maître d'œuvre de vérifier l'état d'avancement des travaux déjà réalisés de son chantier [4].



Figure 18: La réalité augmente [4].

### I.13 Le BIM et les nouvelles tendances

#### Le BIM et le développement durable

- Du point de vue environnemental une meilleure gestion des ressources naturelles grâce à des bases de données d'objets BIM pouvant intégrer des informations relatives notamment à leur nature, leur provenance et les moyens dispensés pour les produire ;
- Du point de vue social de sensibiliser à la qualité environnementale des constructions mais aussi à rendre accessible des constructions de qualité à tous ;
- Du point de vue économique une maîtrise de toutes les phases d'un projet de construction et d'optimiser au mieux l'utilisation des ressources naturelles et permettre une vision à long terme de la gestion financière d'une construction [4].

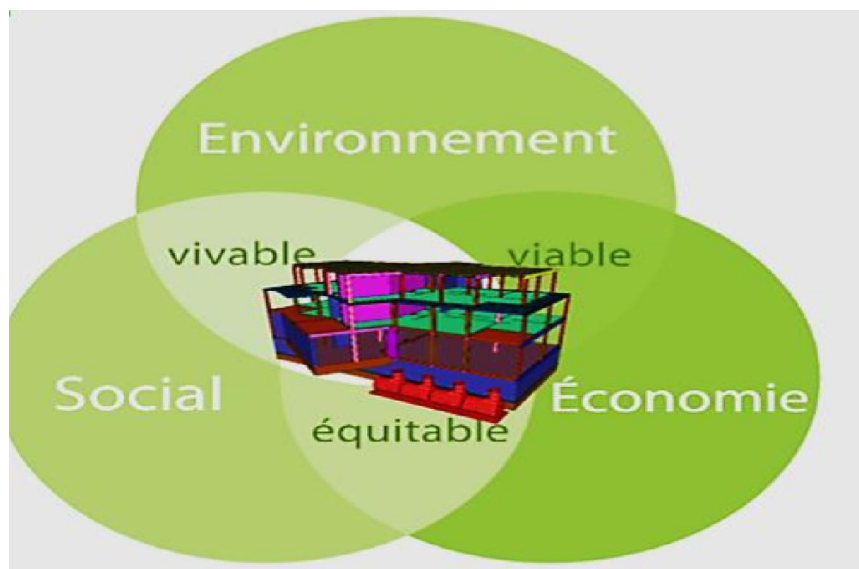


Figure 19: Le BIM et le développement durable [4].

#### Le BIM et l'économie circulaire

- D'intégrer dès les phases de conception grâce aux outils qu'il met à notre disposition toutes les données relatives notamment à la réutilisation des matériaux de construction ;
- De disposer d'une base de données relativement importante qui grâce à un processus maîtrisé de gérer les flux de matériaux durant tout leur cycle de vie ;

- D'optimiser durant la vie d'un bâtiment son entretien et la recyclabilité des matières utilisées pour le gérer ainsi que la réutilisation des éléments qui pourraient être changées tout au long de sa vie ;

- De réduire encore plus la charge de matière non recyclable dans le cycle de vie et après la démolition d'un bâtiment [4].

### **Le BIM et le smart City**

- En association avec les SIG une meilleure gestion d'un territoire notamment en intégrant les infrastructures ;

- De numériser, au-delà du bâtiment tous les éléments qui participent à une rendre plus intelligent l'usage de la ville et de constituer ainsi des bases de données de plus en plus complexes ;

- D'imaginer de nouveaux outils de gestion du territoire managé grâce à la centralisation des données outil d'une maquette numérique ;

- Un partage organisé des données permettant de fournir des informations pertinentes à tous les secteurs qui font vivre un territoire [4]

**CHAPITRE**

**- II -**

**Le Scan to BIM**  
**La Numérisation 3D**  
**Du nuage de points à la**  
**Maquette BIM**

### **II.1. Introduction**

Le scanning laser 3D a rencontré un développement technologique impressionnant au cours de la dernière décennie, ainsi qu'un intérêt croissant dans plusieurs secteurs d'activité. C'est devenu une solution innovante pour des relevés as-built. Il offre des avantages considérables en termes de précision, niveau de détail, vitesse de relevé, confort et sécurité du géomètre. L'opérateur du scanner peut en un rien de temps capturer l'environnement complet en 3 dimensions, y compris le moindre détail. Le scanning se veut être une alternative innovante pour les instruments et méthodes de relevés topographiques classiques. Néanmoins, pour plusieurs raisons, son utilisation est loin d'être répandue chez les entrepreneurs et bureaux d'études.

Dans de nombreux projets de construction et à différents stades de ceux-ci (avant-projet, conception, dimensionnement, exécution, ... ) l'approche BIM (Building Information Modeling) est choisie et requiert de l'information as-built. De l'information fiable et complète ne peut pas toujours être récoltée dans des plans as-built, lorsque ceux-ci existent. Par ailleurs, mener des relevés topographiques classiques avec un haut niveau de détail pour mettre en plan des structures est souvent une action coûteuse, laborieuse et longue.

Une application spécifique du scanning laser 3D est l'utilisation des nuages de points pour construire un modèle BIM. A ce jour, il n'y a encore que très peu d'informations et d'expertise concernant ce processus de modélisation BIM. L'objectif principal du travail de fin d'études était d'identifier clairement les bénéfices et l'utilité du scanning pour le BIM dans des projets de construction afin de guider et de faciliter l'utilisation des scanners. La rentabilité économique de ces processus, ainsi que la plus-value qu'apporte leur intégration dans des projets BIM ont également été analysés.[25]

### II.2. Scan to BIM

#### II.2.1. Qu'est-ce que le « Scan to BIM » ?

Le Scan to BIM correspond au processus de modélisation d'un bâtiment sur la base de son nuage de points : l'empreinte 3D générée suite à un relevé de l'intérieur (et/ou de l'extérieur) du bâtiment via l'utilisation de technologies de scan 3D (lasergrammétrie et/ou photogrammétrie). Cette méthodologie permet de créer ou de mettre à jour la maquette numérique d'un bâtiment en se basant sur une empreinte représentative du réel dotée d'une précision centimétrique.

Deux principaux types d'usages sont récurrents en fonction des projets :

- la création d'une maquette numérique depuis zéro, via une modélisation classique basée sur l'empreinte et les coordonnées du nuage de points, permettant d'en déduire des dimensions précises ;
- la mise à jour d'une maquette numérique, via l'importation du nuage de points dans une maquette existante afin de détecter les différences (aussi appelés « clash ») entre ces deux représentations du bâtiment et apporter les modifications nécessaires à une mise à jour suivant l'empreinte du nuage de point, cette dernière étant précise et à jour puisqu'elle a été relevée sur site.[31]

Dans un processus Scan to BIM, un scanner laser est utilisé pour capturer une analyse 3D précise des conditions du monde réel sur un projet. Les données d'analyse sont

ensuite importées dans un environnement de modélisation 3D pour créer des modèles précis tels que construits ou pour informer la conception avec les conditions du monde réel. Tel que défini par le BIM, Scan to BIM est :

“Le processus de balayage laser 3D un espace physique ou un site pour créer une représentation numérique précise de celui-ci. Cette représentation peut ensuite être utilisée pour concevoir, évaluer les progrès ou évaluer l'option“. [28]

#### II.2.2. Les Avantages de Scan to BIM - Pourquoi devriez-vous investir dans elle?

Les principaux avantages de Scan to BIM sont les suivants :

- A. Qualité:** Le design dérivé de Scan to BIM est plus fiable et de qualité assurée.
- B. Gagne du temps :** il élimine les visites fréquentes sur les sites. Ainsi, il augmente la disponibilité de temps avec l'entrepreneur pour lancer le processus de planification et d'évaluer le risque du projet.

- C. Erreurs minimales :** Il facilite la prise de décision et la modification du projet.
- D. Durabilité :** L'utilisation du BIM à chaque processus de construction permet d'améliorer la durabilité du projet.
- E. Économisez des coûts :** Le modèle sourcing 3D a certainement un coût, mais quand nous le comparons avec l'enquête 2D traditionnelle, cela se traduit par des économies importantes.
- F. Environnement de données commun :** Scan to BIM facilite la transparence, une meilleure communication et favorise la collaboration. [32]

### II.2.3. Applications variées de Scan to BIM

Le motif derrière l'application d'un scan to BIM est de capturer les conditions réelles comme construit du bâtiment. BIM aide à servir le référentiel de connaissances qui génère ainsi que coordonne les installations de construction tout au long du cycle de vie. Passons à la façon dont scan to BIM peut être bénéfique à différentes étapes des projets de construction. [32]

**A. Conception :** Dans la phase de conception, le modèle BIM tel que construit du terrain de chantier et les bâtiments environnants et l'environnement permettent aux concepteurs de mieux comprendre les conditions du site et de prendre de meilleures décisions sur la conception du bâtiment.

**B. Construction :** Pendant la construction, BIM représente largement tous les travaux de construction sur place qui sont en cours. Il identifie tout type d'écarts entre le modèle BIM tel que construit et un modèle BIM conçu, qui est en outre comparé aux valeurs de tolérance spécifiées dans les codes et règlements pertinents. Dans la phase de construction, il y a différents aspects comme :

- **Installation virtuelle :** Grâce à des modèles de construction BIM précis, l'installation virtuelle et les assemblages sont devenus possibles grâce à une Scan to BIM. Scan to BIM peut être adoptée pour simuler le processus d'installation et d'assemblage dans un environnement virtuel. Cela permettra d'identifier tout problème ou difficulté potentiel avant l'installation réelle, connu sous le nom d'affrontements, conduisant à un temps important et des économies de coûts.

- **Gestion de la sécurité :** Le modèle Scan to BIM a le potentiel d'améliorer la gestion de la sécurité de la construction puisqu'il identifie tous les dangers pour la sécurité et suggère des mesures à prendre pour assurer la sécurité complète du projet.
- **Reproduction numérique :** Scan to BIM permet de remplacer des milliers de dessins en fournissant un modèle 3D détaillé sur une plate-forme numérique. Il offre également la possibilité de visualiser la conception et apporter les modifications nécessaires à la conception.
- **QA/QC :** Le modèle BIM couvre tous les composants préfabriqués qui sont tous traités pour l'assurance de la qualité et le contrôle de la qualité.

### C. Gestion des installations (FM) :

- **Documentation:** Les bâtiments qui sont déjà construits et n'ont pas la documentation appropriée de sa conception et la fonctionnalité, Scan to BIM contribue à créer une source de documentation qui peut être utilisée pour toute autre modification. La documentation des géométries et des textures complexes du bâtiment est l'application la plus fondamentale de Scan to BIM dans cette phase.
- **Analyse des performances du bâtiment :** cela inclut des fonctions comme l'analyse des performances, le diagnostic d'accessibilité et l'analyse structurelle. L'analyse des performances des bâtiments est effectuée afin d'étudier et d'améliorer la performance du bâtiment en ce qui concerne la consommation d'énergie, l'accessibilité et la fiabilité structurelle.
- **Fonctionnalités FM :** Grâce à une capacité de visualisation 3D supérieure et à des informations de construction riches et bien organisées dans le BIM, plusieurs fonctionnalités FM peuvent être améliorées, telles que les opérations et la gestion, la gestion de l'espace, la planification et l'exécution de la rénovation, la gestion des urgences et la formation du personnel, et le développement. [32]

### II.2.4. Pourquoi Scan to BIM ?

- ✓ Offre une plate-forme facile pour tous les spécialistes de collaborer;
- ✓ Vous avez un modèle 3D propre et précis;
- ✓ Vous avez des informations sur chaque élément du modèle 3D ;
- ✓ Normes bien connues afin que vous sachiez ce que vous recevrez;
- ✓ Vous pouvez générer automatiquement des plans 2D;

- ✓ Vous pouvez obtenir la liste des quantités automatiquement;
- ✓ Modèles interconnectés pour la structure, l'architecture et le MEP;
- ✓ Vous pouvez faire la détection de choc;
- ✓ Vous pouvez comparer l'analyse réelle au modèle BIM et voir les différences. [33]

### II.2.5. Scan-Vs-BIM

Lorsque les technologies de numérisation au laser et de modélisation de l'information sur les bâtiments (BIM) ont émergé, l'industrie de la construction a montré un intérêt significatif pour ce qui devait être appelé éventuellement « Scan-to-BIM » : le processus d'utilisation d'un nuage de points scannés au laser pour développer des modèles BIM d'actifs existants. Cependant, avec l'utilisation de BIM pour la conception, une autre utilisation importante de ces technologies est ce que certains d'entre nous ont appelé « Scan-vs-BIM »: la comparaison des nuages de points scannés au laser (capturer les états tel que des constructions) aux modèles BIM (représentant les états conçus des constructions). Scan-vs-BIM offrent d'importantes possibilités d'automatisation dans la réalisation de projets de construction, par exemple pour le progrès ou le contrôle de la qualité. [34]

### II.3. La technologie laser scanner 3d

#### II.3.1. Historique

Avec l'arrivée du BIM, le secteur du bâtiment se lance dans sa propre révolution numérique en s'inspirant de celle vécue précédemment par l'industrie et tente de s'approprier certaines techniques mises au point et approuvées par sa grande sœur durant ces trois dernières décennies. Après avoir adopté les méthodes informatisées de dessin industriel en 2D, le bâtiment se met lui aussi progressivement à la 3D, puis à la CAO et complète sa palette d'outils numériques avec notamment, le laser 3D, appelé couramment « Disto » (du nom de sa marque) sur le chantier. L'appareil photo numérique remplace progressivement l'argentique et le masque de réalité virtuelle donne aux architectes les moyens d'immerger virtuellement leurs clients dans leurs projets de construction. À l'heure ou l'imprimante 3D prend place à côté du traceur dans nos agences d'architecture, le scanner laser 3D s'impose lui aussi dans notre secteur comme l'outil de référence pour le relevé de bâtiment existant [22].

Mais, si ce dernier a fait ses preuves dans l'industrie il n'apporte à ce jour qu'une réponse partielle à la problématique de modélisation BIM [22].

La reconstruction de forme à partir d'un nuage de points aboutit à un maillage 3D. La modélisation se fait en général à partir des algorithmes de reconstruction du logiciel de post-traitement des données du scanner et non dans le logiciel de conception architecturale assistée par ordinateur [22]. Le modèle final importé dans les logiciels de CAO arrive donc la plupart du temps dans les solutions métiers dépourvu d'intelligence architecturale [22].

#### II.3.2. Définition

Les scanners sont aussi appelés scanners tridimensionnels, ce sont des appareils de numérisation et d'acquisition 3D.

Un scanner tridimensionnel est un appareil qui analyse les objets ou leur environnement proche pour recueillir des informations précises sur la forme et éventuellement sur l'apparence (couleur, texture...) de ceux-ci. Les données ainsi collectées peuvent alors être utilisées pour construire des images de synthèse en trois

dimensions à des fins diverses. Ces appareils sont beaucoup utilisés par les industries du divertissement pour des films ou des jeux vidéo et maintenant dans le domaine du bâtiment [23].

### **II.3.3. Utilisation**

Le scanner terrestre a au début été créé pour obtenir une information 3D sur des objets tel que construit (TQC).

Aujourd'hui, on s'aperçoit que la valeur ajoutée de ce type de matériel va au-delà des limites prédéfinies et que l'ouverture des champs d'action des scanners s'étend vers des perspectives auxquelles on ne pouvait s'attendre.

De ce fait, le scanner ne constitue plus une simple « technique nouvelle » mais s'insère désormais dans un processus de traitement complet et précis pour les travaux de types relevés, avec parfois la complémentarité des techniques traditionnelles de topographie.

Cette technique reste très pertinente lorsqu'un projet nécessite une information détaillée, précise, visuelle immédiatement exploitable sur des moyens et grands ensembles. Elle permet d'obtenir des mesures fiables et précises même à des longues distances et ce en toute sécurité. Elle reste une solution très efficace lorsque le temps et les délais d'interventions sont très limités.

Il convient aussi de noter que cette technologie permet d'obtenir de l'information en 3 dimensions en vue de réaliser de la modélisation.

Néanmoins, les constructeurs ont dû s'adapter aux exigences du marché actuel qui nécessitent de pouvoir encore fournir des documents 2D, très majoritairement utilisée en France.

En ce qui concerne son utilisation, il existe sur le marché différents types de scanner qui diffèrent principalement par :

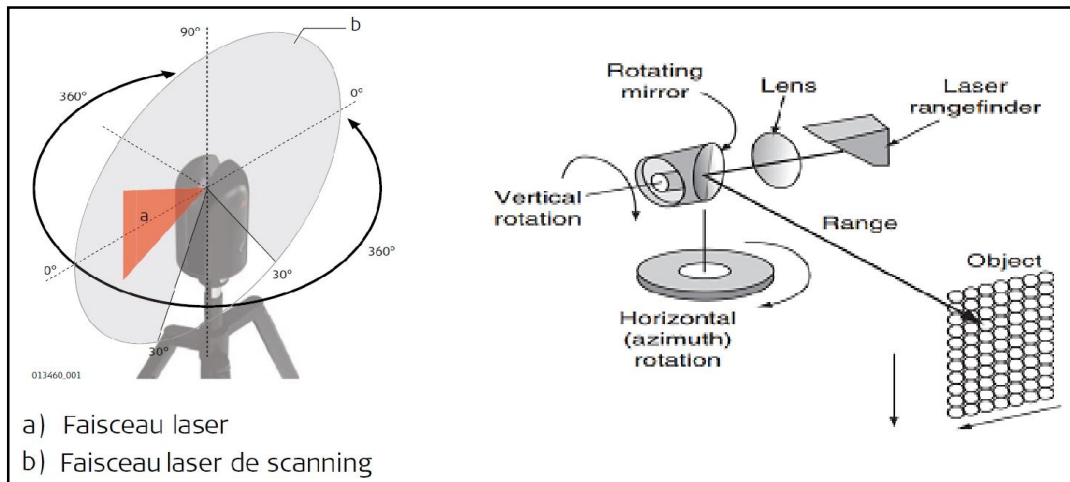
- leur précision en position, distance et angle ;
- leur portée ;
- leur vitesse de scan [24].

**II.4. Principes et fonctionnement de la numérisation 3D**

Le scanning laser 3D fait appel à la technologie de mesurage avec un laser, une technique de mesurage dite "active", utilisant de la lumière émise par l'instrument lui-même.

La lumière émise, en l'occurrence un faisceau laser concentré, est réfléchi par le premier objet qu'elle rencontre et renvoyée (en partie) vers l'instrument où elle est captée par un détecteur. Le transmetteur-récepteur, également appelé télémètre laser, permet au scanner de calculer la distance. De ce fait, les scanners laser 3D font partie des instruments LiDAR (Light Détection And Ranging)ou encore LADAR (Laser Détection And Ranging).

Deux technologies de mesurage sont principalement à distinguer parmi les instruments LADAR : les instruments Time-of-Flight (temps de vol) et les instruments Phase-based (décalage de phase). La première technologie mesure le temps entre l'émission et la réception du signal laser et le convertit en distance, connaissant la vitesse de la lumière dans l'air. La technologie Phase-based quant à elle calcule la distance à partir du déphasage qu'il existe entre le signal sortant et entrant. Chacune des deux technologies présente des avantages et des inconvénients en termes de précision, rapidité de mesure, portée et sensibilité aux erreurs [25].



**Figure 20: Rotation angulaire verticale et horizontale [25].**

Contrairement aux télémètres laser et aux stations totales par exemples qui ne mesurent qu'un seul point prédéfini, les scanners mesurent une énorme quantité de points tout autour de l'instrument afin de construire un "nuage de points". Pour ce faire, le

faisceau laser est dévié dans toutes les directions voulues. Certains instruments sont équipés de miroirs ou de prismes pour assurer la rotation du faisceau laser. Dans le cas d'un scanner statique (voir plus loin) le principe de "balayage" de l'environnement à scanner peut être schématisé comme à la figure 20. Ces rotations verticales et horizontales simultanées permettent d'obtenir un nuage de points en 3D. Les angles du faisceau sont mesurés à chaque instant afin que l'instrument puisse transformer ces données et la distance mesurée en un point avec des coordonnées XYZ, représenté dans un système d'axes avec la position de l'appareil comme origine.

Le résultat final sortant d'un scan est alors un nuage de points tel qu'illustré à la figure 21.

Les différences de couleur correspondent aux différences d'intensité du signal retour capté par le récepteur pour chaque point mesuré. Cette intensité varie en fonction de la distance, de l'inclinaison de la surface, de sa réflectivité (matériau, couleur, etc.) et de certaines conditions environnementales [25].

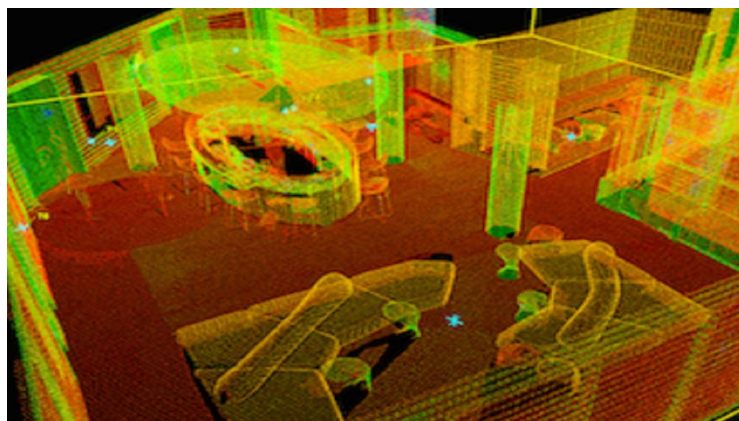


Figure 21: Nuage de points [25].

### II.5. Numérisation laser à distance pour numérisation - Scan to BIM

La numérisation vers BIM est également connue sous le nom de nuage de points vers BIM, car lorsque les bâtiments sont examinés avec un scanner laser 3D, les données sont collectées sous la forme d'un nuage de points (un groupe de millions de points dans un espace 3D). Les experts importent ces nuages de points dans des outils logiciels comme Revit et les convertissent en modèles 3D prêts pour le BIM. Les services Scan to BIM sont utilisés pour la modélisation As-built et sont l'une des plates-formes à la croissance la plus rapide dans le domaine de la construction.

## **II.6. Exploitation les relevés 3D**

3 Étapes pour exploiter les RELEVÉS 3D

**A- Relevés 3D sur site :** Le scanner 3D utilise une technologie laser pour générer un nuage de points en 3D. Il produit des environnements détaillés et des géométries complexes en quelques minutes.

**B-Traitement du nuage de points :** Du retour au bureau, les différents nuages de points sont traités, positionnés et assemblés pour exploitation (mesures de distances, calcul de superficies, annotations...).

**C- Maquette BIM et plan :** Le nuage de points finalisé permet la création de la maquette numérique 3D. Les plans 2D générés reproduisent l'état existant du bâtiment scanné avec un haut niveau de fidélité.

## **II.7. Le relevé 3D du bâtiment**

### **II.7.1. Introduction**

Comme nous le précisons ci-dessus, le relevé 3D des bâtiments sujets à un projet de Scan to BIM est une opération effectuée sur le terrain par des opérateurs équipés de scanners 3D qui vont capturer l'ensemble d'un bâtiment.

Suite à ce relevé laser 3D, les millions de points acquis par les scanners sont alors rassemblés sous la forme d'un nuage de points, qui sera livré au modelleur 3D afin qu'il puisse initier son travail de modélisation en important le nuage de point dans son logiciel de CAO. [38]

Initier un projet de modélisation sur la base d'un relevé 3D permettra au modelleur de bénéficier d'un référentiel à jour de l'état du bâtiment et commun avec son client, remplaçant ou venant compléter ainsi l'ensemble des plans, sections, élévations et autres documents parfois vieux et erronés pouvant leur être proposés.

Dans ce travail, nous avons utilisé un scanar 3D BLK360 fabriqué LEICA GEOSYSTEMS



**Figure 22: Relevés 3D sur site [2].**

### **II.7.2. Présentation de LEICA GEOSYSTEMS**

Leica Geosystems développe, fabrique et commercialise des systèmes pour la topographie, la cartographie et le positionnement. Elle se place parmi les entreprises majeures de son secteur, notamment grâce à ses innovations dans le positionnement par satellite (GPS).

Leica Geosystems est l'une des plus anciennes sociétés industrielles, et depuis 1819 elle est à l'origine de nombreuses avancées technologiques pour le positionnement et la topographie. Le siège est installé à Heerbrugg, dans la vallée du Rhin en Suisse, et le groupe possède des sites de développement et de production en Amérique et en Asie. Leica Geosystems possède 18 filiales et plus d'une centaine de partenaires lui permettant un dialogue permanent avec ses clients, partout dans le monde. Leica Geosystems a également développé des partenariats stratégiques avec des entreprises leaders dans les technologies complémentaires, tels que les semi-conducteurs, les Systèmes d'Information Géographique (SIG) et le laser tridimensionnel.

En 2005, Leica Geosystems entre dans le groupe Hexagon AB tout en conservant sa marque et son siège à Heerbrugg (Suisse).

L'intégration du réseau de distribution de la division Metrology de Leica Geosystems dans la division d'Hexagon optimise l'engagement du groupe vis à vis de ses clients par une gamme élargie, un circuit de distribution plus vaste et un service après-vente et d'assistance technique plus étendu.

Hexagon Metrology fait partie de Hexagon Measurement Technologies, une nouvelle entité au sein de Hexagon Group.

Hexagon Metrology englobe des marques leader telles que Brown & Sharpe, CE Johansson, CimCore, DEA, Leitz, Sheffield, Romer, TESA et intègre à présent Leica Geosystems (Metrology Division).

Fort d'une distribution de 50 000 solutions de mesures tridimensionnelles portatives, de plus de 4 000 bras articulés, de millions d'instruments portatifs et de plus de 20 000 licences du logiciel PC-DMIS, Hexagon Metrology fournit un support quotidien à ses clients en vue d'une supervision efficace de leurs processus et d'une adéquation parfaite entre les phases de conception et de fabrication.

Les appareils, systèmes et logiciels proposés sont complétés par des prestations étendues en matière de support technique et de service après-vente.

Leica Geosystems s'engage également pour la protection de l'Environnement : elle a été une des premières sociétés à signer la charte de la Chambre de Commerce Internationale qui prévoit le respect des normes internationales en matière d'environnement.

Leica Geosystems SARL est la représentation en France de la société suisse du même nom spécialisée dans le développement et la fabrication d'instruments de mesure dirigé par M PICON.

Leica Geosystems SARL, forte de 60 collaborateurs, est l'une des filiales commerciales les plus importantes du groupe Leica Geosystems AG en Europe. Leica Geosystems SARL renforce également son réseau de distributeurs indépendants dans les domaines de la mesure et du négoce professionnel afin d'assurer un service de proximité à ses clients.

Leica Geosystems France collabore avec des partenaires de renom spécialistes dans leurs domaines comme GEOMEDIA, Scan Laser, ESRI France, ATLOG. [36]



**Figure 23: Leica Geosystems. [36]**

### II.7.3. Différents secteurs visés

Depuis longtemps, Leica Geosystems a su fournir des solutions prêtes à l'emploi et ce dans divers domaines. L'objectif étant de créer un lien de fiabilité, qualité et confiance avec tous ses clients.

- **cadastre** : gestion de données cadastrales pour SIG ;
- **génie civil** : route, rail, ponts, raffineries ;
- **auscultation** : ouvrage d'art, monitoring, surveillance phénomènes naturels ;
- **chantiers et constructions** : constructions de tous types ;

- **exploitation et exploration** : mines, sous-sols, déplacements par satellites d'engins de chantiers ;
- **gestion d'équipements** : mesure d'utilité publique pour mobilier urbain ;
- **agriculture** : gestion de parcelle agricole, mesures profondeurs de puits ;
- **aérospatial** : mesure à grande échelle, inspection ;
- **automobile** : mesure, design, inspection ;
- **Industrie** : métrologie.

Cette diversité de champs d'applications s'accompagne bien entendu par une diversité de matériels répondants tous à un besoin spécifique.

Leica Geosystems démontre ainsi à ses clients sa capacité à s'adapter et être à l'écoute d'un besoin particulier [24].

### II.7.4. Les scanners 3D

Leica Geosystems propose la gamme Leica ScanStation comme partie intégrante d'une solution de numérisation complète comprenant le matériel, le logiciel, le service, la formation et l'assistance. Les données du scanner laser 3D peuvent être traitées dans les suites de logiciels de nuage de points 3D leader du secteur, qui comprennent le logiciel autonome Leica Cyclone , les utilitaires pour les systèmes de CAO Leica CloudWorx et le logiciel gratuit de visualisation Leica TruView. [36]

#### A. Scanner laser 3D Leica RTC360

Pré-enregistrez automatiquement les données de nuages de points sur le terrain pour effectuer rapidement des contrôles de qualité, améliorer la productivité et prendre des décisions mieux informées sur site.

La solution de capture de réalité 3D Leica RTC360 permet aux utilisateurs de documenter et de capturer leurs environnements en 3D, améliorant ainsi l'efficacité et la productivité sur le terrain et au bureau grâce à un matériel et des logiciels rapides, simples à utiliser, précis et portables. Le scanner laser 3D RTC360 est la solution pour les professionnels pour gérer la complexité des projets avec des représentations 3D précises et fiables et découvrir les possibilités de n'importe quel site.

### B. Les Leica ScanStation P30/P40

Les scanners laser 3D Leica ScanStation de la série P sont le partenaire idéal pour capturer la géométrie 3D d'infrastructures civiles, créer une représentation telle que construite d'un grand complexe industriel, reconstruire une scène de crime ou générer des données 3D à intégrer dans la modélisation des informations du bâtiment (BIM).

Les Leica Scan Station P30/P40 offre:

- La plus haute qualité de données 3D et une imagerie HDR ;
- Vitesse de numérisation extrêmement élevée de 1 million de points par seconde ;
- Portée jusqu'à 270 m ;
- Faibles interférences dues à la distance ;
- Compensateur biaxial de qualité topographique ;
- Nuages de points en couleur 3D très détaillés, cartographiés avec une clarté réaliste.

### C. Leica ScanStation P50 : Scanner laser terrestre 3D longue portée

Scanner laser terrestre 3D longue portée Maximisez la productivité en scannant les endroits inaccessibles dans une position sûre sur le site, ce qui réduit le temps sur le terrain avec moins de configurations.

Leica ScanStation P50 offre:

- Données 3D et imagerie HDR de la plus haute qualité ;
- Taux de balayage extrêmement rapide de 1 million de points par seconde ;
- Portées jusqu'à 1 kilomètre ;
- Bruit à faible portée ;
- Compensation à deux axes de qualité topographique [36].



Figure 24: Leica ScanStation [36].

### D. Leica BLK 360

BLK 360 est un scanner 3D conçu par LEICA et Autodesk avec lequel l'utilisateur sera en mesure de faire un scan complet d'une certaine zone dans un court laps de temps, et qui est normalement associé à une utilisation professionnelle dans le travail comme l'architecture ou la conception intérieure, par exemple, avec un scanner BLK 360 l'utilisateur sera en mesure de scanner l'intérieur d'un département avec précision et automatiquement en 3D.

La taille du nouvel appareil est seulement 16 cm avec un diamètre de 10 cm, pèse moins de 1 kg et a un seul bouton. Il est destiné à être contrôlé via un iPad. Il enregistre également sans fil les scans capturés avec l'édition reCap 360 Pro Mobile, une application développée pour l'iPad qui a été gérée par Autodesk.

Le scanner est capable de capturer 360 000 points par seconde. Il a une portée de 60 mètres et une précision de 4mm, a plusieurs méthodes de numérisation avec des capteurs infrarouges pour les images thermiques, des images laser et la lumière visible, ainsi que l'inclusion d'un support flash LED et d'être équipé pour HDR. Selon LEICA, le BLK 360 peut créer un scan 360 en seulement 3 minutes [26].

- Petit et léger ;
- Caractéristiques multiples ;
- Rapide [26].



Figure 25: LEICA BLK360 [36].

## **II.8. Le post-traitement des données de scan**

Une fois que les données terrains ont été acquises (avec les différentes technologies que nous vous avons présentées), il faut alors les charger dans un logiciel tel que Autodesk Recap Pro, Faro Scène, Leica Cyclone ou autre pour procéder à l'étape de l'on appelle post-traitement. Celle-ci se décompose globalement en deux parties :

L'assemblage/recalage puis le nettoyage des nuages de points.

La première étape consiste à assembler le différent nuage de points captés sur site et à les recalcr les uns aux autres, pour se faire plusieurs méthodes peuvent être utilisées :

- le recalage de nuage à nuage : il s'agit de faire correspondre les nuages entre eux en fonction du nombre de points communs, du taux de recouvrement), de l'équilibre (inclinaison) et de la densité de points ;
- le recalage utilisant les plans : ici il s'agit d'agrèger les nuages en fonction du nombre de plans verticaux et horizontaux communs ;
- le recalage utilisant des cibles et sphères : généralement le plus précis, il sert des différentes cibles et sphères mises en place sur le terrain pour recalcr de manière semi-automatique les nuages entre eux.

Une fois les nuages assemblés, il faut aussi identifier les zones qui doivent être nettoyées (présence de miroir, de fenêtre, de personnes...) et supprimer dans les stations concernées les points qui correspondent à ces objets. [38]

### **II.8.1. Génération et utilisation de nuages de points**

Un nuage de points est une aide précieuse pour identifier les éléments existants d'un site et peut fournir des plans très détaillés en un clic, indiquant où sont situés les éléments, ainsi que leurs tailles et leurs hauteurs. Consultez dans un logiciel de modélisation de la construction (Autodesk Revit, ArchiCAD, Allplan, Tekla, Solidworks ...).

Dans un nuage de points, toute vue à l'écran peut toujours être référencée. Cela signifie que, dans une vue en plan, une élévation, une coupe ou une 3D, il y aura toujours des détails clairs sur ce qui existe dans cette partie particulière du bâtiment.

Cela nous permet également de modéliser les propositions par rapport à ce qui existe en les combinant. ce qui est très utile pour rechercher des problèmes et détecter des conflits avec des composants existants. Cela est utile non seulement pour les architectes et les constructeurs, mais également pour les entrepreneurs de services, car le niveau de détail

qu'un nuage de points peut fournir est extrêmement précis. Par exemple, il peut être extrêmement utile d'indiquer clairement l'emplacement des conduites existantes. [37]

### II.8.2. Qu'est-ce qu'un nuage de points?

Techniquement, le nuage de points est une base de données qui contient les points dans un système de coordonnées en trois dimensions de l'élément ou de l'installation à étudier. Toutefois, du point de vue du flux de travail typique, le nuage de points est un enregistrement numérique très précis d'un objet ou d'un espace, qui contient un grand nombre de points recouvrant les surfaces d'un objet, obtenus par scanner laser ou photogrammétrie.

Les points dans un nuage de points sont toujours situés sur les surfaces externes des objets visibles, car ce sont les points où le faisceau lumineux du scanner est réfléchi par un objet. Si la taille des points individuels est suffisamment grande dans une vue ou un réglage de zoom donné, le nuage de points peut être perçu comme une surface continue. Si la distance entre les points est légèrement plus grande, alors nous pouvons clairement voir que cette image est composée de points individuels, mais même dans ce cas, notre cerveau peut prendre les formes d'un objet de cette image avec une relative facilité.

Il est essentiel de comprendre que le nuage de points est un ensemble de points individuels, non liés, ayant une position et une couleur définie. Cela rend les nuages de points assez faciles à éditer, afficher et filtrer.

L'utilité des nuages de points trouve son origine dans la mesure où les points sont des objets faciles à manipuler en grande quantité. Un ordinateur n'a pas à s'inquiéter de l'échelle, de la rotation et des relations avec d'autres objets. Seules la position et la couleur sont des éléments importants pour le calcul. Cela rend les nuages de points assez faciles à modifier, afficher et filtrer les données. [37]

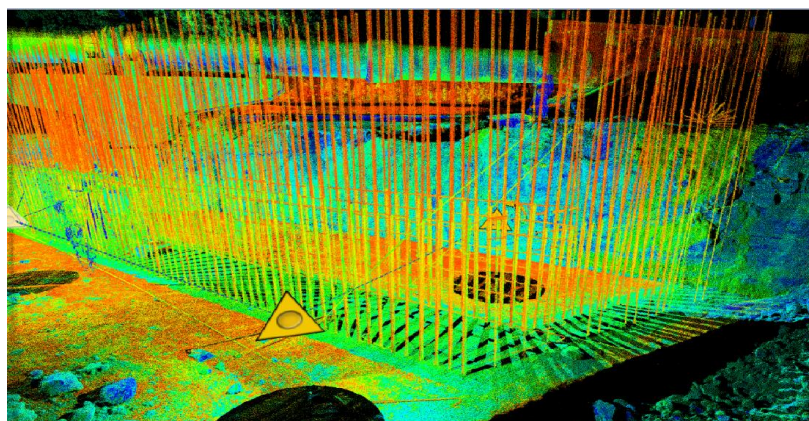


Figure 26: Nuage de points généré par balayage laser 3D.

### **II.8.3. Pourquoi utiliser des nuages de points?**

Les détails et la précision du système de cartographie de nuages de points obtenus au moyen d'un scanner laser 3D en font un outil extrêmement utile pour représenter numériquement les conditions existantes. Il permet de créer une représentation du "monde réel" du lieu de travail. Il n'est donc plus nécessaire de faire des conjectures (hypothèses), d'effectuer des visites sur site et d'effectuer des mesures manuelles qui consomment du temps et des efforts.

Par exemple, si nous concevons un bâtiment qui se connecte à un bâtiment existant, nous aurons essentiellement la représentation existante et précise, mais en 3D!

Les nuages de points supportent notre conception en nous permettant de concevoir en fonction de la configuration réelle du site, ce qui nous permet de détailler et de modéliser avec précision les bâtiments existants. Cela nous aidera à éliminer les tâches, à planifier les coûts et à élaborer les détails de la construction. Il fournira également les configurations précises pour la préfabrication et la vérification de l'installation de construction.

### **II.8.4. Utilisation de nuages de points dans les nouveaux projets de construction**

Cela peut sembler étrange au début, mais le balayage laser 3D peut également jouer un rôle important dans les nouveaux projets de construction. On sait que de nombreux projets de construction doivent faire face à des coûts d'erreurs élevés, par exemple, car les nouveaux éléments placés s'adaptent déjà car le prédécesseur a commis une erreur dans les dimensions. En d'autres termes, il peut arriver que le bâtiment s'écarte de la conception lors de la construction. Ce type de problème peut être évité en vérifiant les dimensions des éléments déjà construits entre-temps. Les nuages de points offrent la possibilité de détecter rapidement les divergences entre le modèle 3D théorique (la conception) et la situation actuelle à un moment donné du processus de construction. [37]

### **II.8.5. Acquisition de nuages de points**

Le facteur clé pour l'acquisition de données à partir du nuage de points est l'accès / la visibilité sur les surfaces numérisées. Il est important de se rappeler que le nuage de points est obtenu par un accès visible à des objets réels. Quelle que soit la méthode d'acquisition (scanner laser ou photogrammétrie), il est impossible d'obtenir des points sur des surfaces non visibles à partir de la position à partir de laquelle nous recueillons des données. Cela

Signifie que pour couvrir tous les objets qui doivent combiner plusieurs positions de numérisation.

La densité est utilisée pour décrire la résolution dans l'ensemble des données collectées, c'est généralement la distance d'un point à un autre. Les nuages de points moins denses sont évidemment beaucoup plus rapides à capturer, mais moins détaillés.

La plupart des données de nuages de points contiennent non seulement la position d'un point, mais également une description des propriétés visuelles, telles que la couleur d'un objet ou sa réflectivité.

### **II.8.6. Géoréférencement de nuages de points**

Les nuages de points deviennent de plus en plus un élément commun des flux de travail pour la génération de modèles 3D, particulièrement utiles pour les projets BIM (Building Information Modeling). La référence géographique est l'une des tâches les plus importantes pour ceux qui souhaitent utiliser un nuage de points dans un modèle avec des coordonnées réelles.

L'une des principales préoccupations concernant les nuages de points est la nécessité de les géoréférencer (transformation à partir des points de contrôle au sol) ou de les contextualiser dans un système de coordonnées.

Les références géographiques des données de nuage de points peuvent être insérées dans plusieurs plates-formes, telles que Scène de Faro, AutoCAD, Navisworks, Revit, Civil 3D et autres. [37]

### **II.8.7. Les logiciels de traitement de nuages de points 3D**

Il est primordial de s'intéresser dans un premier temps aux différents logiciels capables d'interagir avec un nuage de points et étudier les possibilités de modélisation dans le cadre de la réhabilitation. En effet, il est important de connaître toute la chaîne de traitement pour proposer un outil d'automatisation efficace [16].

les logiciels	Avantages	Inconvénients
<b>3D Reshaper</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Création de maillages simple, rapide et Efficace.</li> <li>- Fonctionnalité « Building extractor».</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Etape de détection des plans Fastidieuse.</li> <li>- Pas de lien avec un logiciel de</li> </ul>
<b>RealWorks</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recalage automatique.</li> <li>- Gestion des gros nuages.</li> <li>- Intégration de Sketchup.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Format d'import.</li> <li>- Modélisation limités.</li> </ul>
<b>Cyclone</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Robustesse d'une base de données.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interface peu convivial.</li> <li>- Nécessité de CloudWorx.</li> <li>- Pas de recalage automatique.</li> </ul>
<b>Scene</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Logiciel intuitif.</li> <li>- Recalage automatique.</li> <li>- Export au format RCP.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mauvaise gestion des nuages Importants.</li> </ul>
<b>Recap Pro</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Simplicité d'utilisation.</li> <li>- Réelle interaction avec le nuage.</li> <li>- Export au format RCP.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Peu adapté pour des gros chantiers.</li> </ul>

Tableau 1: Avantages et inconvénients des logiciels de traitement testés [16].

### II.8.8. Leica Cyclone REGISTER 360

Leica Cyclone REGISTER 360 est la dernière version du logiciel d'assemblage de nuage de point le plus performant, [Cyclone REGISTER](#). Ce tout nouveau produit offre de toutes nouvelles fonctionnalités, allant du simple flux de travail guidé à l'assemblage automatisé et aux livrables prêts en un seul clic.



Figure 27: Logiciel de post traitement - Cyclone REGISTER 360. [36]

REGISTER 360 permet aux utilisateurs de tout niveau de compétence de travailler plus intelligemment, d'obtenir des résultats plus précis, de visualiser plus en détail et de collaborer plus efficacement, en plaçant les utilisateurs au centre de leurs projets.

Qu'il soit déployé en tant que solution autonome ou dans le cadre d'une solution de réalité numérique intégrée de bout en bout, Cyclone REGISTER 360 est l'option la plus rapide et la plus simple pour que le travail soit bien exécuté du premier coup.

Cyclone REGISTER 360 est disponible dans une édition spéciale BLK optimisée pour être utilisée avec la famille de produits de capture de la réalité BLK.

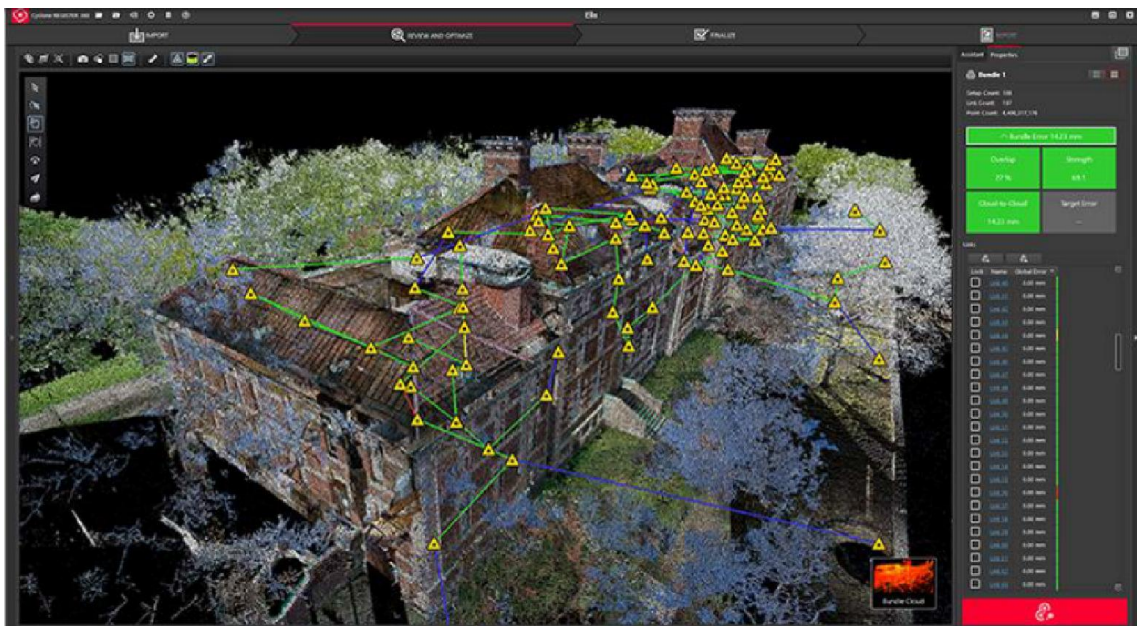


Figure 28: Assemblage de nuage de point. [36]

## II.9. La modélisation

Vient alors la partie « to-BIM » de cette méthode, durant laquelle il s'agira d'utiliser le nuage de points relevé directement dans un logiciel de CAO afin de le modéliser en se basant sur son empreinte. Pour cela, le nuage de points est alors retravaillé, désassemblé en différents « set » de données représentatifs de zones précises du bâtiment (étages, pièces, structure, réseaux, etc.) afin d'obtenir des fichiers moins lourds et donc plus facilement exploitables dans des logiciels de modélisation.

### II.9.1. Géoréférencement et nord du projet

La première étape consiste à bien définir les coordonnées du projet (point topographique et point de base). Cela permettra de faciliter les échanges de modèles entre différents acteurs et d'assurer le travail dans un même référentiel.

### **II.9.2. Création des niveaux**

Par la suite, à l'aide du nuage de points comme « calque 3D » nous effectuons des coupes longitudinales et transversales afin de définir les hauteurs des niveaux. Cela va nous permettre de travailler dans chaque niveau de manière isolée.

Des logiciels utilisés (tels que Autodesk Revit ou Archicad de Graphisoft) pour modéliser. Il est important d'utiliser les outils adaptés dans les logiciels de modélisation afin de s'assurer que l'export .ifc qui pourra être fait soit conforme aux exigences du client, par exemple un mur généré en utilisant l'outil approprié sera bien exporté en .ifcwall ou ifcwallstandardcase. Le format de fichier IFC est un format orienté objet assurant l'interopérabilité entre les différents logiciels de maquette numérique, et a ainsi un rôle très important à jouer dans l'échange de données.

### **II.9.3. Intégration des réseaux MEP**

Puis, les réseaux électriques, de plomberie et de ventilation peuvent être modélisés. Là encore, le nuage de point nous sert de calque 3D et les différentes sections de câbles, gaines ou tuyaux sont directement retrouvées dans le nuage, les différents équipements de régulation (vannes, clapet, etc.) peuvent aussi être modélisés.

La captation multi-technologies prend alors ici tout son sens et nous comprenons bien l'intérêt d'avoir un scanner fixe en complément d'un scanner dynamique si des réseaux de diamètres inférieurs à 1cm situés à plus de 15m de hauteur doivent être relevés et modélisés. Il est à noter que suivant la typologie de bâtiment d'autres réseaux peuvent être modélisés comme : sprinkler, désenfumage, air comprimé, etc.

Par ailleurs, suivant la complexité du bâtiment deux options peuvent se présenter concernant les réseaux. La première est de ne modéliser que les réseaux apparents, la seconde est de relever l'ensemble des réseaux, la campagne de scan doit alors être beaucoup plus complète (lever les dalles de faux-plafonds, ouvrir les gains techniques, lever les dalles de plancher techniques, ...) et dans ce cas nous pouvons aussi modéliser les réseaux "cachés". Il est à noter que même si la deuxième option est sélectionnée il faut bien souvent en plus des nuages de points, les plans DOE pour modéliser tous les réseaux.

### **II.9.4. Eléments de finition de second œuvre**

En fonction des besoins, les revêtements de sols, murs ou autres peuvent aussi être intégrés. Il faut alors bien faire attention à la manière dont la modélisation est réalisée (par exemple en utilisant des murs multi-couches permettant d'identifier clairement la volumétrie de chaque matériaux : béton, isolant, plaque de plâtre et finition), cette question est primordiale dans la définition initiale de la modélisation.

### **II.9.5. Autres avantages à exploiter un nuage de points en phase de modélisation**

Au delà d'exploiter le nuage de points dans le logiciel de CAO, le modelleur peut également naviguer dans le nuage de points dans une visionneuse 3D afin d'explorer le bâtiment et ainsi inspecter des éléments ou composantes pouvant être sujet à des doutes, sans avoir à se déplacer.

### **II.9.6. Les logiciels de modélisation 3D**

Nous allons désormais nous intéresser aux différents logiciels disponibles qui permettent de modéliser des objets en trois dimensions en vue de produire une maquette numérique. Les possibilités de travailler à partir du nuage de points seront analysées.

Ils sont assez nombreux sur le marché. C'est pourquoi il est primordial de les tester dans la mesure du possible et d'étudier à chacun leurs avantages et inconvénients [16].

#### **A. AllPlan**

Le premier logiciel que j'ai installé est le logiciel « Allplan » de la société Nemetschek. Celui-ci est très connu et c'est un très bon logiciel de modélisation 3D. Cependant je n'ai pas trouvé le moyen de travailler à partir d'un nuage de points. Je l'ai donc rapidement écarté. Par la suite j'ai rencontré un dessinateur-projeteur qui utilisait ce logiciel mais qui a changé pour « Revit » (qui sera abordé ensuite) car «Allplan » n'avait pas pris le bon tournant du BIM et ne s'est pas assez adapté par rapport à la rapidité du développement du BIM [27].

#### **B. Archicad**

« Archicad » est un logiciel très répandu chez les architectes. Il permet de faire la modélisation 3D. Il était donc intéressant de le tester et de voir ses limites par rapport au BIM et s'il était capable de gérer le nuage de points. Et malheureusement, encore une fois, il m'a été impossible d'insérer un nuage de points ou une coupe de nuage de points. En revanche, en ce qui concerne le BIM, « Archicad » a su prendre le bon virage. Il est un

grand acteur de cette technologie et il serait donc intéressant qu'il évolue vers une meilleure capacité d'intégration de nuage de points [27].

### **C. Autodesk**

Autodesk est très connu dans le monde de la DAO classique et a su prendre le tournant de la modélisation 3D en vue d'une utilisation BIM. La société apporte les ressources nécessaires à l'utilisateur avec AutoCad Architecture et Revit.

La modélisation 3D nous oblige à changer notre approche habituelle avec le dessin 2D classique. Cependant, Autocad reste un acteur majeur, il est donc important d'étudier ses possibilités. La fonction d'insertion de nuage de points est assez récente ; une manipulation préalable est obligatoire, à travers le logiciel Recap.

Cependant la version classique d'Autocad suffit pour effectuer des modélisations 3D mais pas pour réaliser une maquette numérique. En effet, les objets créés ne sont pas dit « intelligents » et restent une simple représentation qui est ensuite figée [16].

### **D. AutoCad Architecture**

La solution proposée par Autodesk se nomme AutoCad Architecture. Elle se présente comme une alternative à Revit. Les utilisateurs habitués à travailler avec Autocad en DAO classique retrouveront leurs marques rapidement grâce à une interface intuitive.

La bibliothèque des objets disponibles est complète. Elle est tout de même moins riche que les autres solutions présentées dans cette partie. Les éléments sont insérés dans différents calques. La gestion des objets est donc relativement simple. Les éléments sont paramétriques et les propriétés sont modifiables facilement. Malheureusement, ce ne sont pas des objets intelligents.

La gestion des différents niveaux du bâtiment se fait par élévation. Ainsi il faudra créer le mur de la dimension voulue puis renseigner dans ses propriétés son élévation, qui correspond à la hauteur cumulée des murs précédemment créés [16].

### **E. Revit**

C'est l'un des logiciels les plus intéressants actuellement proposé sur le marché. Sa bibliothèque de familles d'objets est complète et puissante. La création de nouveaux éléments est possible grâce à un éditeur d'objet inclus. Chaque objet est intelligent. Les propriétés sont paramétrables manuellement et se mettent à jour lorsque des objets liés sont modifiés. Une base de données regroupe l'ensemble des informations et permet de créer des listings ou métrés des éléments.

Autodesk propose un logiciel complet et qui ne cesse d'évoluer. De nombreux plug-ins sont disponibles pour automatiser certaines tâches, notamment celles qui concernent la manipulation et l'export d'éléments dans la base de données.

Il existe plusieurs possibilités pour créer une maquette numérique sous Revit :

- À partir du nuage de points ;
- À partir d'un plan DWG 2D ou 3D. [16]

### II.9.7. Fonctionnalités de Revit

Le logiciel Revit dispose d'outils qui prennent en charge la conception architecturale, l'ingénierie MEP et structure, ainsi que la construction. Il est conçu spécifiquement pour la modélisation des informations du bâtiment (technologie BIM) et dispose d'un ensemble de fonctionnalités complet qui en font la solution idéale pour toute l'équipe du projet de construction. Découvrez comment Revit Architecture peut vous aider à concevoir, construire et gérer des bâtiments de meilleure qualité et plus éco-énergétiques. [40]

- Conception Architecturale ;
- Ingénierie Structure ;
- Ingénierie MEP ;
- Construction de bâtiments.

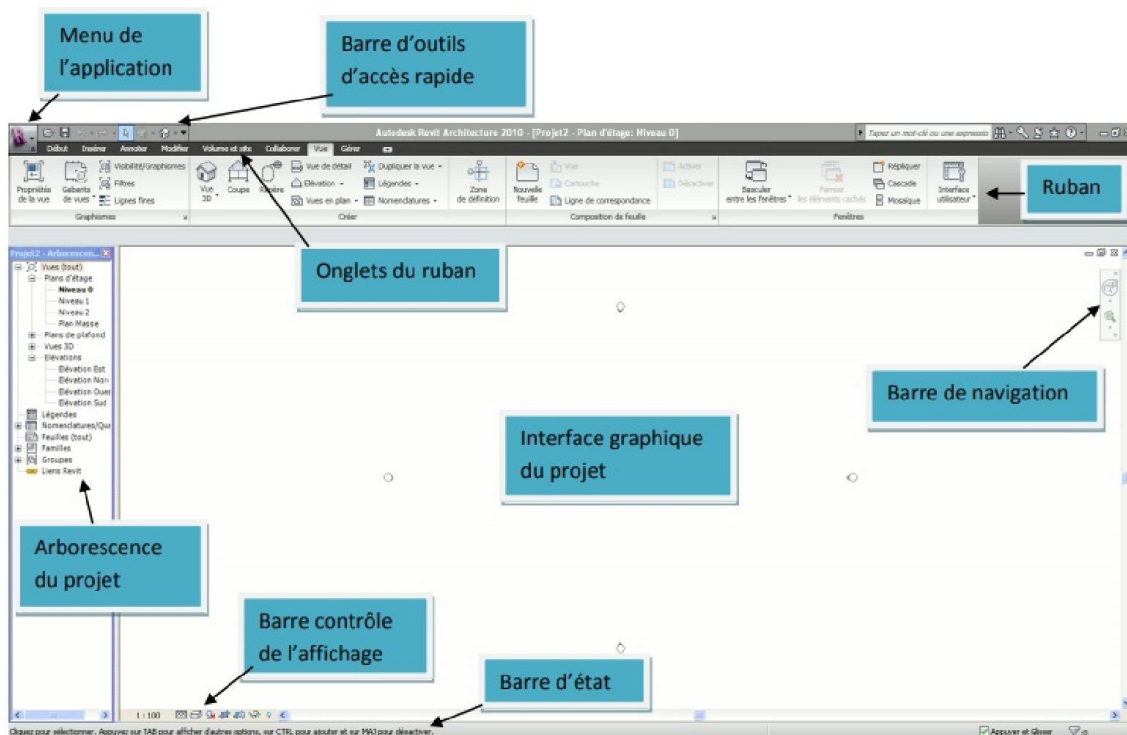
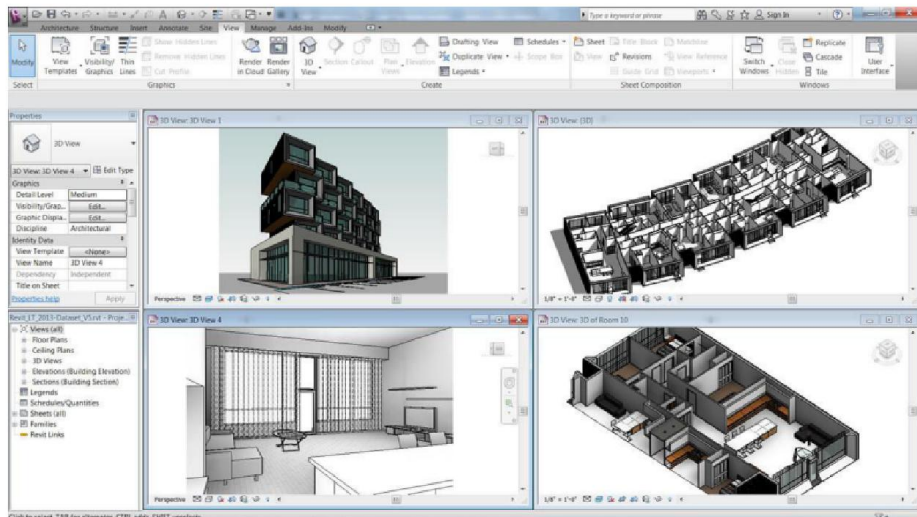


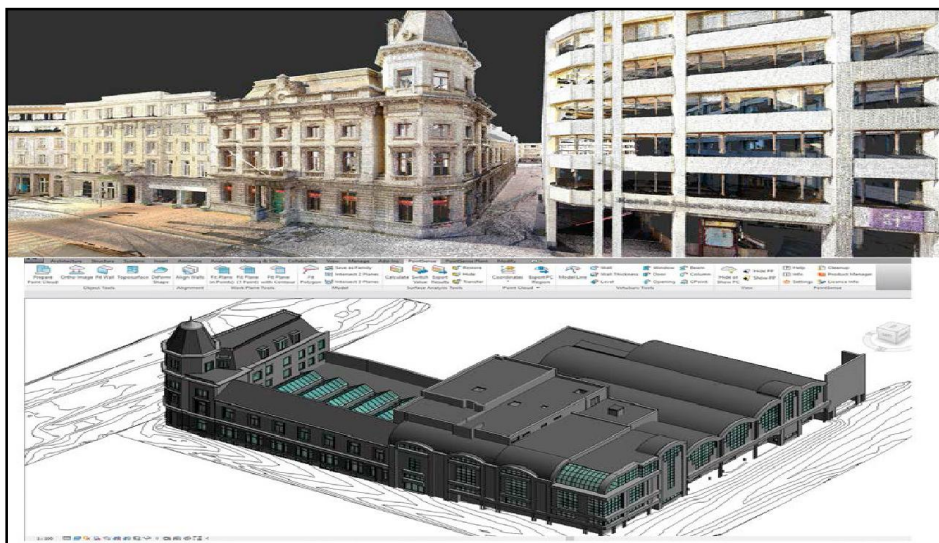
Figure 29: Interface logiciel REVIT.



**Figure 30 : Exemple d'écran de Revit. Le logiciel possède une boîte à outils pour la création du projet.**

### II.9.8. La maquette numérique

La maquette numérique La maquette BIM contient une représentation 3D, correspondant à un ensemble d'objets 3D qui forme le projet du bâtiment. Ces objets peuvent être composants du bâtiment final comme les murs ou les fenêtres. Mais ils peuvent aussi représenter un objet d'un processus de construction comme un camion ou une grue. Ces objets ont chacun un nom, une forme et un matériau. De plus, en fonction de leur utilisation, ils peuvent contenir des informations complémentaires comme leurs dates de création, leurs provenances ou leurs fiches techniques. Cette maquette numérique est le résultat de la combinaison de l'étude de tous les corps de métiers présents dans la construction.



**Figure 31: Modèle d'une maquette BIM à partir d'un relevé au scanner laser.**

### **II.10. BIM : repenser le rôle de l'ingénieur en bâtiment**

#### **II.10.1. Introduction**

Les ingénieurs en bâtiment travaillent en collaboration avec des architectes, des urbanistes et d'autres types d'ingénieurs et d'entrepreneurs dans le but de concevoir, de construire et de gérer des bâtiments résidentiels, commerciaux, industriels ou institutionnels. Ils sont responsables de concevoir, de construire, d'installer ou de mettre en opération différents systèmes d'un bâtiment y compris les fondations, les structures, les systèmes mécaniques, électriques et énergétiques ainsi que leurs certifications.

#### **II.10.2. Les 5 rôles d'un ingénieur en bâtiment**

Un ingénieur en bâtiment est responsable de la gestion d'un projet de construction en bâtiment. Il y joue 5 rôles principaux :

1. Étude des paramètres des projets ;
2. Élaboration des plans, calculs et étude de la faisabilité du projet ;
3. Prise en charge des démarches administratives ;
4. Coordination du chantier ;
5. Veille du respect des délais et budgets .

Le BIM ne change pas en tant que tel ses rôles et responsabilités. Cependant, les outils et les compétences mobilisés pour coordonner le projet vont fondamentalement être modifiés.

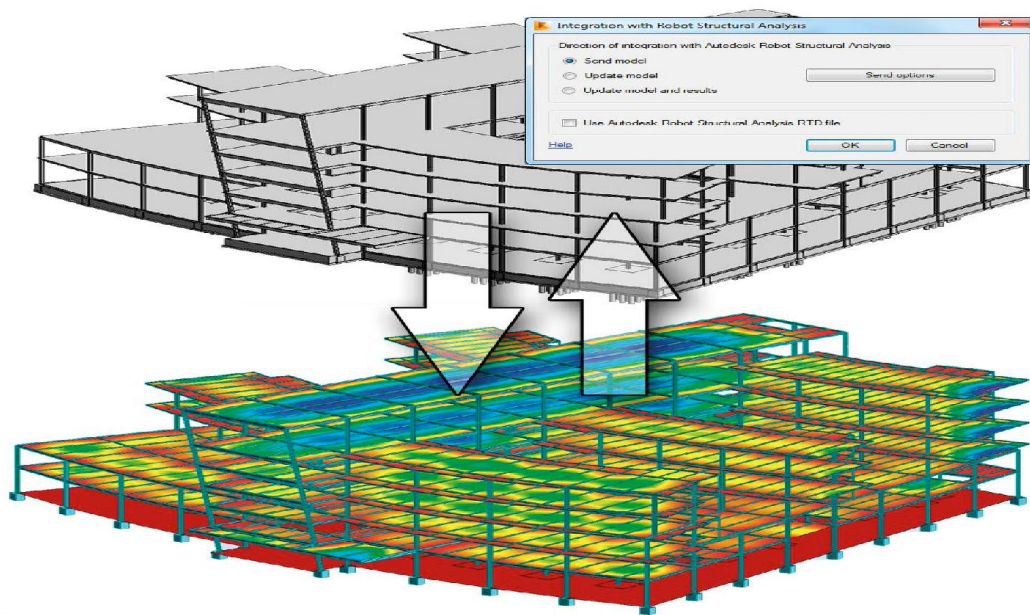
#### **II.10.3. Le BIM et l'ingénieur en bâtiment**

Le secteur du bâtiment est confronté à des bouleversements relatifs à la modélisation des données et au passage à l'ère numérique qui permet de visualiser les projets de construction en 3D. On assiste à l'intensification de la collaboration entre les différentes parties prenantes dont l'ingénieur en bâtiment. Le BIM, en tant que technologie de rupture de paradigme dans le secteur de la construction, permet de repenser et d'ajuster le rôle et les responsabilités d'un ingénieur en bâtiment.

#### **II.10.4. Expert en modélisation des données du bâtiment**

Au-delà des rôles traditionnels que joue l'ingénieur en bâtiment, celui-ci est appelé à accroître ses compétences et ses connaissances afin de modéliser les données du bâtiment. L'ingénieur en bâtiment intervient dans le processus BIM pour procéder à l'ajout, l'extraction, l'édition et la modification des informations contenues dans la maquette numérique.

Son rôle est d'assurer que la conception des bâtiments se fait dans le respect des normes en vigueur. En ce sens, il définit un cahier des charges précis pour permettre la modélisation du bâtiment en 3D, 4D, 5D en fonction des normes environnementales et techniques en vigueur. Cette maquette numérique constitue une représentation des caractéristiques physiques ou fonctionnelles du futur bâtiment. En outre, le prototype permet une représentation virtuelle dans les moindres détails du bâtiment qui sera testé et analysé avant d'être construit.



**Figure 32: Analyse structurale sur base d'un modèle BIM.**

**CHAPITRE**

**- III -**

**Application du  
SCAN TO BIM**

**ETUDE D'UN CAS**

**(Siège du ministère de l'habitat, de l'urbanisme  
et de la ville (MHUV))**

### III.1. Présentation de l'ouvrage :

L'ouvrage faisant l'objet de la présente numérisation en scan to BIM est Le ministère du l'habitat, de l'urbanisme et de la ville (MHUV).

Le ministère du l'habitat, de l'urbanisme et de la ville (MHUV) est la branche ministérielle du gouvernement algérien en charge du logement.

**Adresse :** 135 Rue Didouche Mourad, Sidi M'Hamed 16000.



Figure 33: Plan de situation de l'ouvrage.

### III.2. Le travail effectué :

Capturer la réalité du bâtiment existant en effectuant des relevés détaillés à l'aide d'un **Leica BLK 360**.

- 3 Étapes pour exploiter les relevés 3D.

#### III.2.1. Relevés 3D sur site

Nous utilisons un scanner 3D performant appelé Leica BLK360. Celui-ci est doté d'un laser qui nous permet de scanner différentes surfaces afin d'obtenir l'information volumétrique d'un espace intérieur comme extérieur.



Figure 34: scanner 3D BLK360 sur un support stable (trépied).

### CH 3 : Application du SCAN TO BIM -Etude d'un cas-

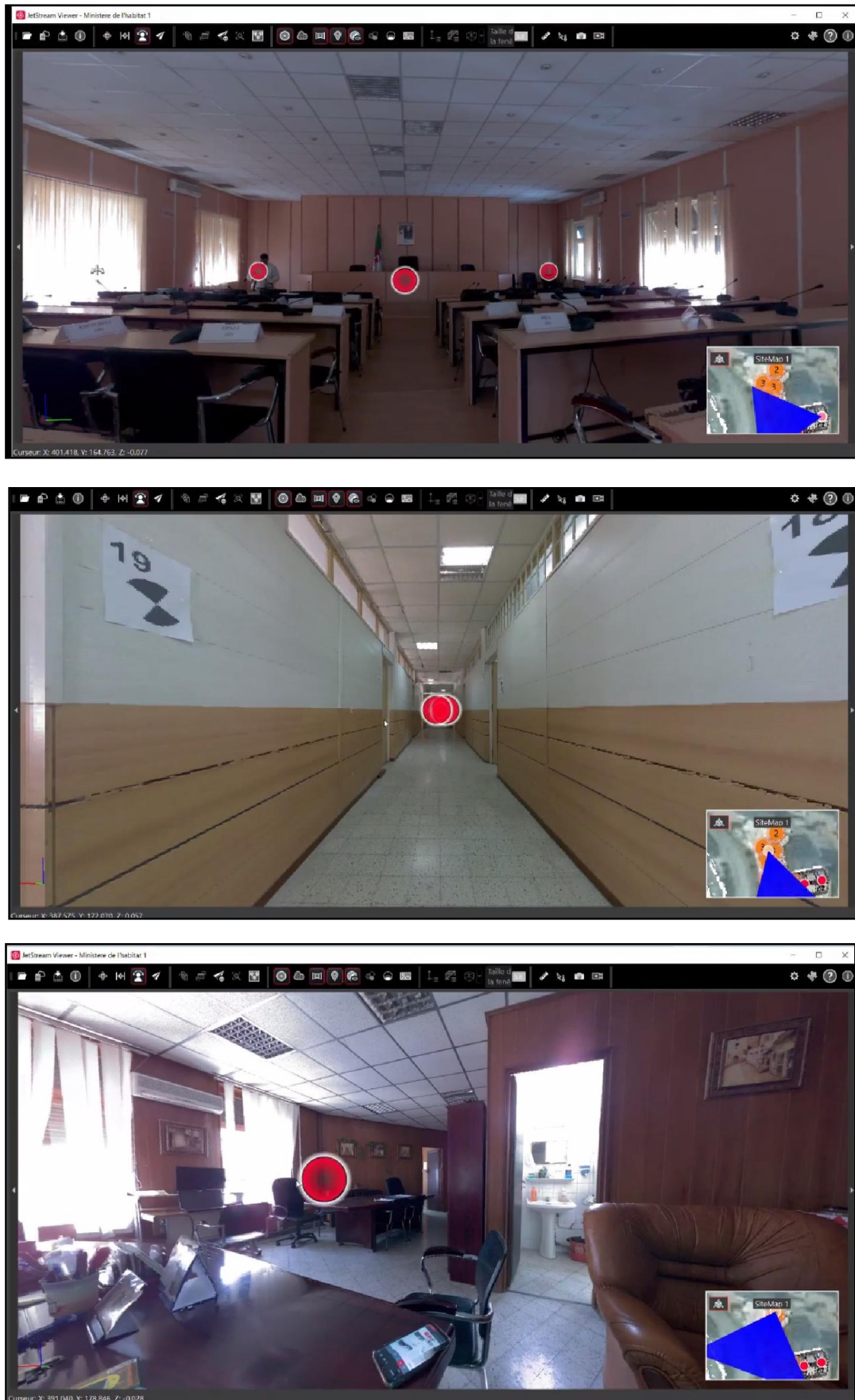


Figure 35: différentes stations de relevés 3D sur site.

### III.2.1.1. Terminer le relevé avec le BLK 360

- 1- Une fois l'ensemble des scans mesurés et recalés, on peut arrêter le BLK avec le bouton Marche/Arrêt de l'instrument ;
- 2- Transférer le dossier complet sur l'ordinateur pour post-traiter.

**III.2.2. Traitement du nuage de points :** Du retour au bureau, les différents nuage de points sont traités, positionnés et assemblés par Cyclone REGISTER 360 pour exploitation (mesures de distances, calcul de superficies, annotations...).



Figure 36: nuage de points de différentes stations.

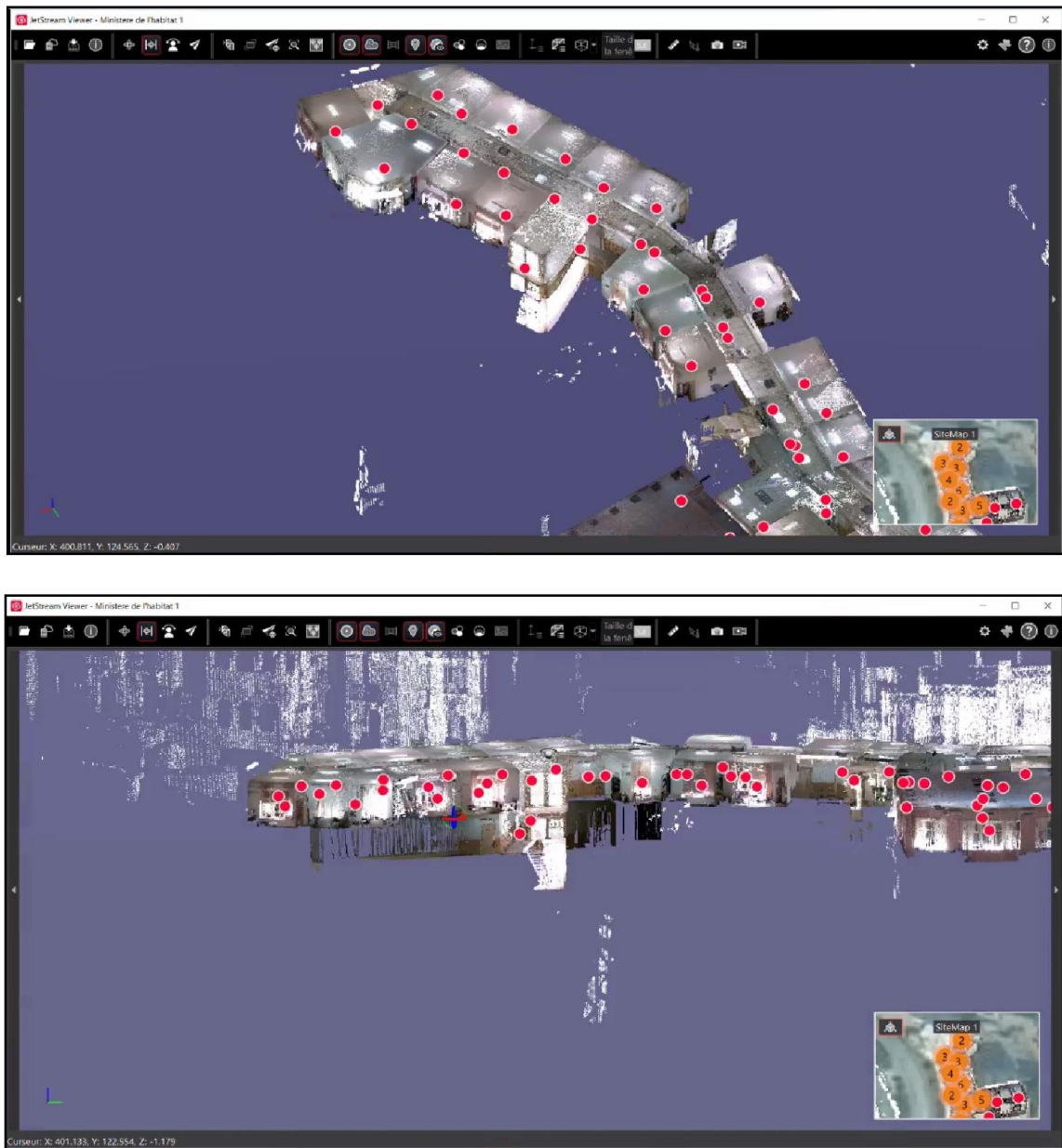


Figure 37: Assemblages de nuage de points.

### III.2.3. la modélisation

Vient alors la partie « to-BIM » de cette méthode, durant laquelle il s'agira d'utiliser le nuage de points relevé directement dans un logiciel de CAO afin de le modéliser en se basant sur son empreinte. Pour cela, le nuage de points est alors retravaillé, désassemblé en différents « set » de données représentatifs de zones précises du bâtiment (étages, pièces, structure, réseaux, etc. ) afin d'obtenir des fichiers moins lourds et donc plus facilement exploitables dans des logiciels de modélisation.

#### III.2.3.1. Insertion Nuage de points dans Revit

L'insertion du nuage de points dans Revit permet de vérifier les résultats obtenus et de les ajuster si besoin. La fonction est disponible dans l'onglet « Insérer » du ruban Revit.

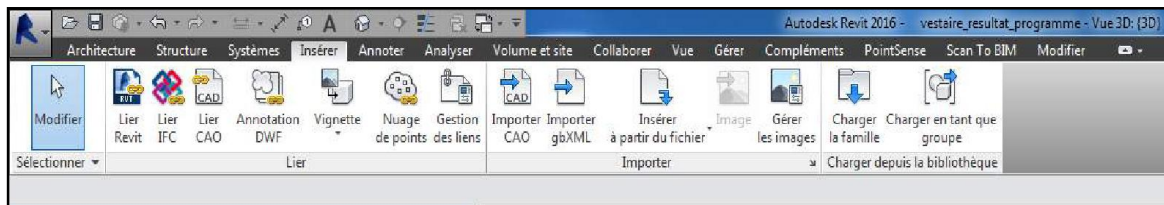


Figure 38: ruban du Revit.

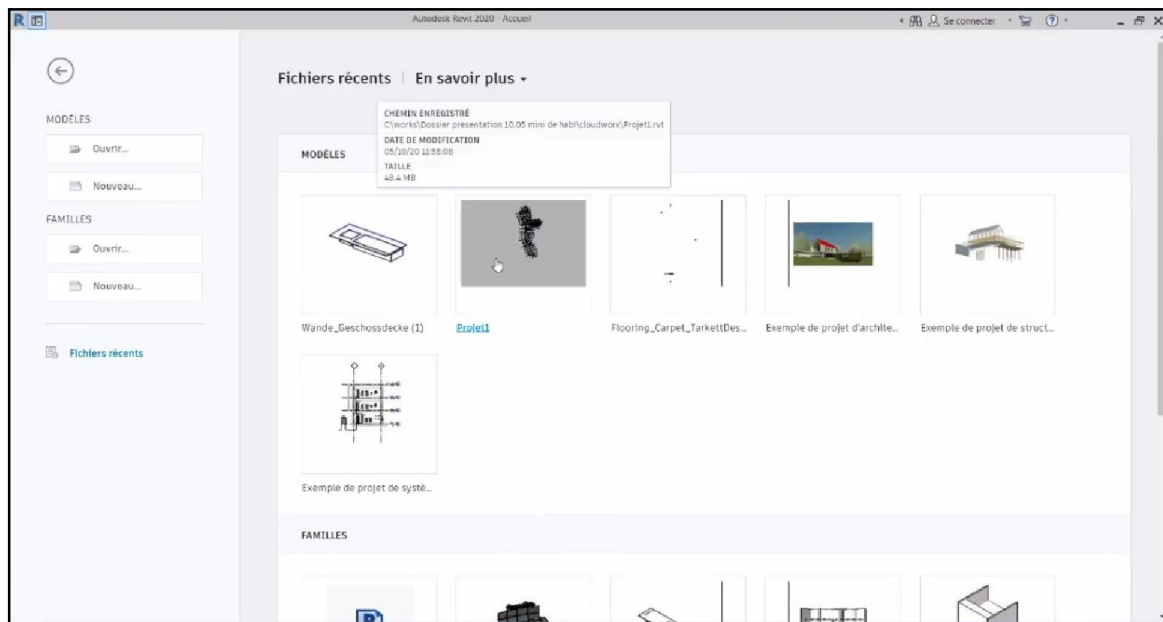


Figure 39: Insertion Nuage de points dans Revit.

### III.2.3.2. Création des niveaux

Par la suite, à l'aide du nuage de points comme « calque 3D » nous effectuons des coupes longitudinales et transversales afin de définir les hauteurs des niveaux. Cela va nous permettre de travailler dans chaque niveau de manière isolée.

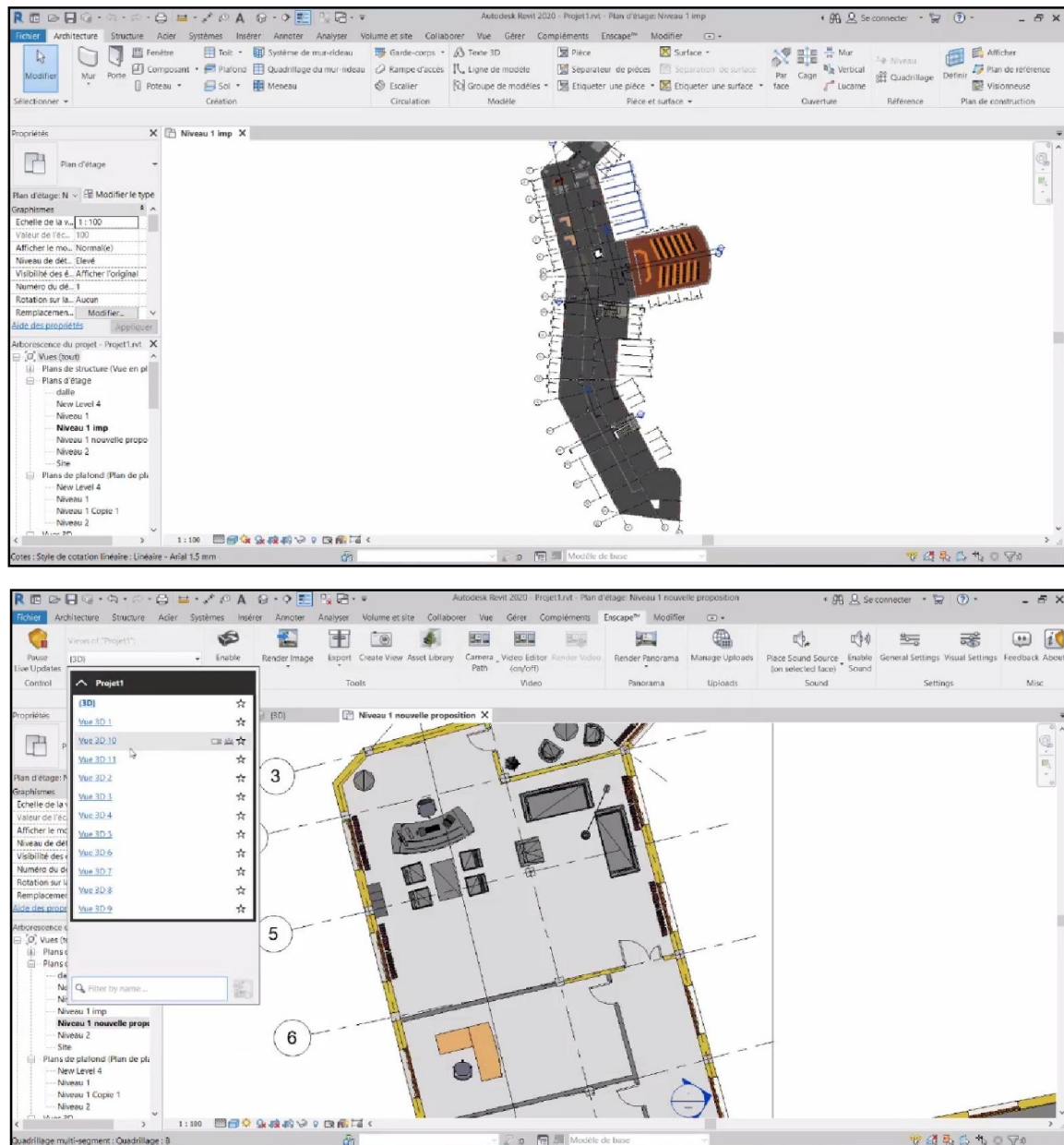


Figure 40: coupes transversales dans Revit.

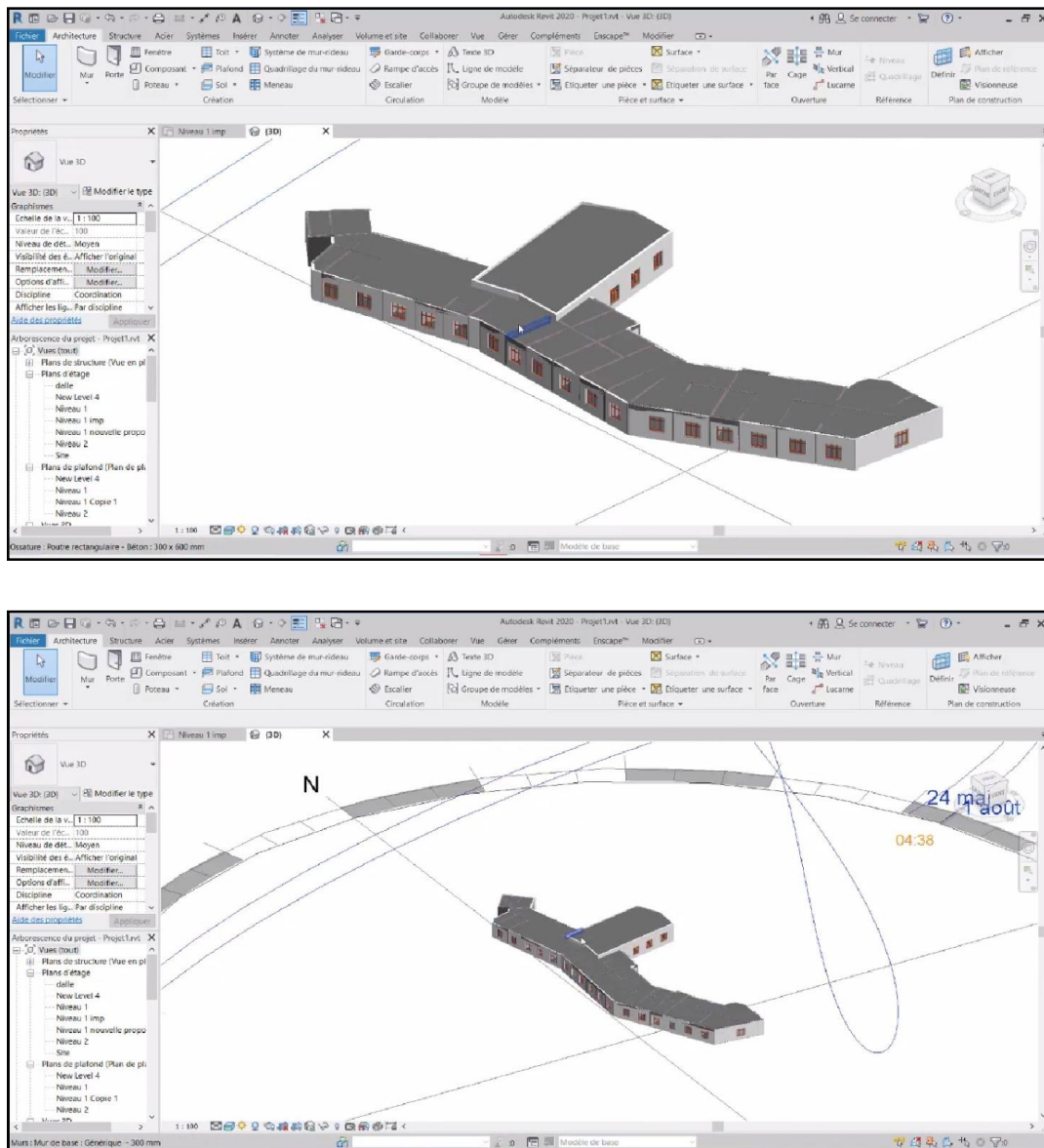


Figure 41: Coupes longitudinales dans Revit.

### III.2.3. Maquette BIM et plan

Le nuage de points finalisé permet la création de la maquette numérique 3D. Les plans 2D générés reproduisent l'état existant du bâtiment scanné avec un haut niveau de fidélité.

### CH 3 : Application du SCAN TO BIM -Etude d'un cas-

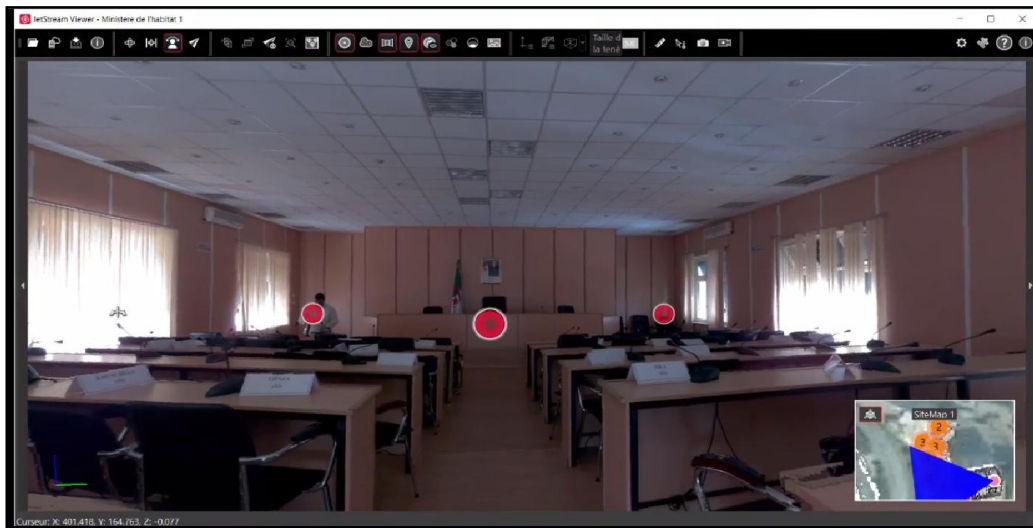


Figure 42: la Salle amphi existante.

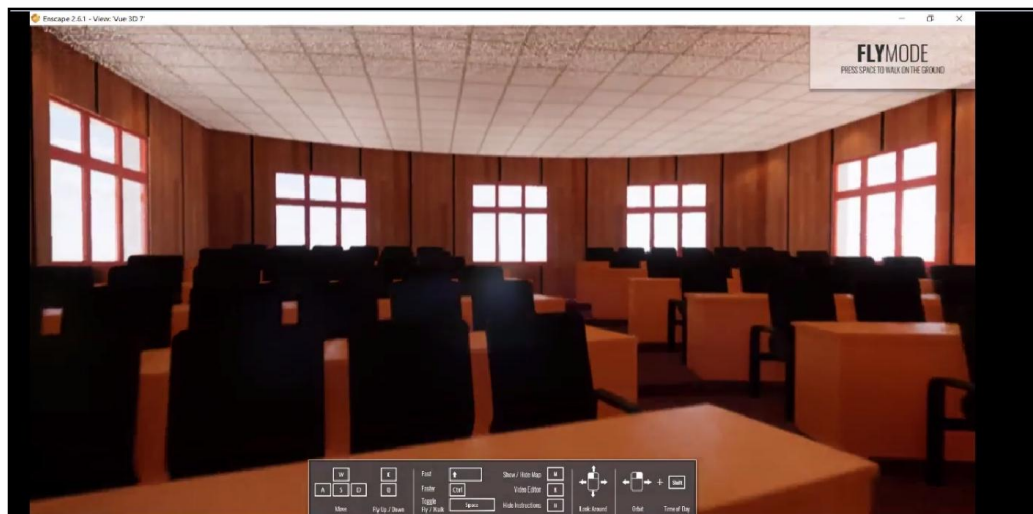


Figure 43: la Salle amphi après modélisation.

### Conclusion Générale

Le scan to BIM ou la numérisation 3D a connu une réelle évolution depuis ces dernières années. Ce procédé s'utilise désormais dans de nombreux domaines. Néanmoins, il est surtout employé dans le secteur de la construction. Les constructeurs sont unanimes sur l'efficacité et les nombreux atouts de la numérisation 3D. Cette technologie donne des informations utiles tout au long de l'exécution des travaux.

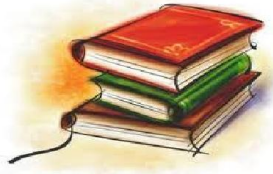
Le scanner laser 3d bâtiment se démocratise de plus en plus. Aujourd'hui, cet outil révolutionnaire a beaucoup évolué et suscite un intérêt croissant dans plusieurs secteurs d'activité. Que ce soit dans le domaine médical, aéronautique ou industriel, cette technologie trouve sa place. Mais les professionnels du bâtiment restent les plus grands utilisateurs de cette innovation.

Le scanning 3D utilise une technique de mesurage « active » par laser pour scanner un objet ou environnement à distance. Dans les travaux de construction, cette approche consiste à analyser le terrain et capturer les données nécessaires à la constitution des nuages de points. Ces derniers seront ensuite intégrés et étudiés dans un logiciel BIM. Cette démarche servira à mesurer et de reproduire en détail la forme du site en image de synthèse 3D. L'architecte, avec l'aide du géomètre et des ingénieurs, exploitera par la suite cette représentation tridimensionnelle pour créer une maquette virtuelle (une maquette numérique). Cela donne les moyens d'imaginer la future bâtisse et de corriger certains défauts. De la même manière, cette opération permet de faire des analyses structurelles ainsi que des estimations de coût plus détaillées.

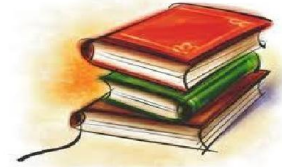
Au fil des années, le scanner laser 3D bâtiment est devenu un outil de prédilection pour les travaux de construction. Et s'il a connu autant de succès, c'est notamment grâce à ses nombreux avantages. Avec la numérisation 3D, la planification des projets de construction est plus simple, puisque les professionnels disposent d'une information fiable. La finesse du relevé est effectivement plus précise qu'avec une approche manuelle. Ce qui permet d'éviter les erreurs et de déterminer plus exactement les coûts des travaux. Selon une étude, cette démarche réduit jusqu'à 70% les risques de surcoûts.

Par ailleurs, cette technologie participe à la réduction des charges allouées à la main d'œuvre. En effet, grâce au scanner 3D, les descentes sur terrain et les ressources employées sont limitées. De plus, la récolte des données se fait dans un bref délai. Ce qui favorise non seulement un gain de temps, mais cela aide aussi à réaliser des économies.

Enfin, la numérisation 3D facilite le travail des professionnels. Ces derniers peuvent travailler sur un seul projet, bien qu'ils ne soient pas tous présents sur le chantier. À partir d'un ordinateur, chacun pourra modifier la maquette pour apporter différentes améliorations.



## Références bibliographiques



- [1] <https://www.researchgate.net/profile/Fozia-Hassan> Consulté le : 22/03/2020 à 20:12.
- [2] Image Google.
- [3] Rapport : Le BIM pour les infrastructures - Etat des lieux et problématique - septembre 2017.
- [4] BENKHEDDA Assia & CHERDOUDI Faiza, La synergie entre les BIM et les SIG. Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent, 2019.
- [5] Grégory Coste, Comment BIM, maquette numérique et logiciels transforment le Bâtiment, le 23.10.2017.
- [6] <https://www.wisdomjobs.com/e-university/building-information-modeling-bim-interview-questions.html>. Consulté le : 25/03/2020 à 09:17.
- [7] <https://www.e-zigurat.com/blog/en-bim-questions-and-answers/>  
Consulté le : 25/03/2020 à 12:33.
- [8] Le-moniteur, 21-mars-2014, article-bim.
- [9] BOUTEMADJA Abdelkader, LE BIM, UN ENJEU MAJEUR POUR LES ARCHITECTES, Imprimée en Belgique.
- [10] CHELBAB Nassima & RAHMOUNI Amina, L'interopérabilité entre la maquette numérique et les dimensions du processus BIM. Université de M'sila, 2019.
- [11] <https://www.objectif-bim.com/index.php/bim-maquette-numérique/processus/differences-entre-cao-et-bim>. Consulté le : 03/04/2020 à 15:20.
- [12] STOFFEL F., "Implantation du processus BIM pour les études structurelles, Mémoire, Strasbourg," 2017.
- [13] INGIBJÖRG BirnaK jartansdóttir, Stefan MORDUE, Paweł NOWAK, David PHILP, Jónas Thór SNÆBJÖRNSSON, BUILDING INFORMATION MODELLING BIM, Iceland, Great Britain, 2017.
- [14] TEBANI Takieddine, The added value of interoperability and communication between the actors in the BIM project. Université de M'sila, 2017.
- [15] SAMB, ATTOUMANE, Promoteur (s) : BOUTEMADJA Abdelkader; Mémoire de fin d'études : "L'enseignement du projet d'architecture par le BIM". Université de Liège, 2018.
- [16] RENAUD Maxime; Création automatique d'une maquette numérique 3D d'un bâtiment à partir d'un relevé scanner laser 3D, 2018.
- [17] MAZARSThibault, Mémoire : Exploitation du BIM pour la modélisation Chronographique de la planification et la simulation 4D, MONTRÉAL, LE 17 NOVEMBRE 2017.
- [18] <https://www.blog-logiciel-btp.com>. consulté le : 01/04/2020 à 10:25.
- [19] MACHER Hélène, Du nuage de points à la maquette numérique de bâtiment : reconstruction 3D semi-automatique de bâtiments existants, 2017.

- [20] COM H., C.ROMON, B.DELCAMBRE, G. LAMOUR, F.VERCRUYSSSE, “BIM et maquette numérique, Guide de recommandations à la maîtrise d’ouvrage”. Revue. 2016.
- [21] MARTIN H., “Maquette numérique 3D pour la construction: visualiser les connaissances métier et interagir avec des dispositifs immersifs, Mémoire, Université Paris-Saclay France,” 2016.
- [22] Thèse Professionnelle, DU SCAN 3D AU BIM POUR LES GESTIONNAIRES DE PATRIMOINE, 2015.
- [23] Compte Rendu Salon BIM WORLD 2017, Gr 5, Le scanner 3D.
- [24] OUMGHAR Faïz, travail de fin d’étude : Le scanner laser au quotidien pour un géomètre expert français, Responsable Ecole : Emmanuel NATCHITZ.
- [25] LAMAILLE. G., J. LAHAYE, Dr ir T. VANDENBERGH, ECAM Bruxelles, L’utilisation du Scanning Laser 3D pour la documentation as-built des projets BIM, 2016.
- [26] <https://es.wikipedia.org/wiki/leica-BLK360>. Consulté le : 20/03/2020 à 09:10.
- [27] ROUMAIN DE LA TOUCHE Maxime, L’intégration du scanner 3D dans le processus BIM (Réhabilitation), ÉCOLE SUPÉRIEURE DES GÉOMÈTRES ET TOPOGRAPHES, 2014.
- [28] <https://constructible.trimble.com/construction-industry/what-is-scan-to-bim-2>. Consulté le : 04/04/2020 à 18:40.
- [29] BOTON Conrad, Sylvain KUBICKI. Maturité des pratiques BIM : Dimensions de modélisation, pratiques collaboratives et technologies, 2014.
- [30] SAMUEL Dubois, YEVES Vanhellefont, MICHAEL Debouw.: Le relevé 3d à l’heure du BIM-capturer la réalité en haute définition : Octobre 2018.
- [31] <https://mydigitalbuildings.com/blog/usage/2020/le-scan-to-bim-du-nuage-du-point-a-la-maquette-bim.html> Consulté le : 18/09/2020 à 12 :30.
- [32] <https://united-bim/ultimate-guide-of-scan-to-bim/> Consulté le : 18/09/2020 à 14 :21.
- [33] <https://arenacad.com/scan-to-bim/> Consulté le : 18/09/2020 à 17 :02.
- [34] <https://www.ar.tum.de/en/news/singleview-en/article/loc-talk-prof-frederic-bosche-scan-vs-bim-for-construction-control/> Consulté le : 19/09/2020 à 11 :49.
- [35] <https://www.kelarpacific.com/construction-design-phases-vs-bim-levels-development-part-2-4/> Consulté le : 20/09/2020 à 20 :19.
- [36] <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners> Consulté le : 15/09/2020 à 16 :09.
- [37] <https://www.scanphase.com/scan-to-bim-fr> Consulté le : 20/09/2020 à 20 :19.
- [38] <https://mydigitalbuildings.com/blog/usage/2020/le-scan-to-bim-du-nuage-du-point-a-la-maquette-bim.html> Consulté le : 06/09/2020 à 09:25.