

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 : GENIE CIVIL
OPTION : STRUCTURE

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par : AMROUNE SOUNDOUS & AMROUNE SOUAAD

Intitulé

**L'exploitation du scanner 3D dans le suivi
et le contrôle des ouvrages**

Soutenu devant le jury composé de :

Dr. BOULAOUAD Abderachide	UNIVERSITE de M'sila	Président
Pr. RAHMOUNI Zine El Abidine	UNIVERSITE de M'sila	Encadreur
Mr. KERMICHE Abdellatif Fawzi	UNIVERSITE de M'sila	Co-Encadreur
Dr. MENASRI Youcef	UNIVERSITE de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2019 /2020

Remerciement

Nous remercions tout d'abord et avant tout le tout puissant ALLAH qui nous a réussi a achever ce travail.

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

Nous remercions les membres du jury pour avoir consenti à lire ce modeste travail, ainsi que tout ce qui ont participé de près comme de loin à l'élaboration de mémoire.

Par ailleurs, nos remerciements sa dressent aussi de nombreux professeurs qui ont eu pour nos, une importance certaine de ma formation et tous les membres du département des Génie civil.

Merci



Dédicace

Je dédie ce mémoire

À mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse,
leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

À mes chères sœurs, pour leurs encouragements permanents, et leur soutien
moral.

À mes chers frères, pour leur appui et leur encouragement.

À mes aînés et mes camarades.

Sans oublier tout les professeurs que ce soit du primaire, du moyen,
du secondaire ou de l'enseignement supérieur.

À toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.

AMROUNE SOUAAD



Dédicace

***A mon père Amroune Abdelhakim et ma mère
Bouzidi Habiba.***

***J'aime beaucoup et que Dieu les garde
A mes chères sœurs et à mes chers frères.***

A toute ma famille.

A tous mes amis

***Tous mes collègues de la même spécialité
Toutes les personnes qui ont participé à la
réalisation de ce travail.***

A tous ceux qui aiment ce pays.

Je dédie ce modeste travail.

Amroune Soundous

Résumé

En génie civil, le scanner laser est un outil de mesure, pas différent d'une station totale, d'un niveau ou même d'un ruban en tissu. La clé est d'utiliser le bon outil pour le bon travail, afin de maximiser la qualité en minimisant les coûts. Le scanner est un outil de visibilité directe, il acquiert donc des données extrêmement détaillées sur tout ce qui est visible depuis la tête du scanner. Pour les volumes sur de grandes surfaces non végétalisées, un scanner est extrêmement productif et efficace.

Applications de la numérisation laser 3D dans les ouvrages de génie civil

Les utilisations efficaces de la numérisation en génie civil comprennent :

- Calculs volumétriques sur les travaux de béton armé.
- Relevés de ponts
- Relevés routiers
- Modèles numériques de terrain précis (DTM)
- Tuyauterie complexe et / ou structures surélevées (incapables de mesurer).
- Expertise de la charpente métallique.

Abstract

In civil engineering, the laser scanner is a measuring tool, no different from a total station, a level or even a cloth tape. The key is to use the right tool for the right job, in order to maximize quality by minimizing costs. The scanner is a direct visibility tool, so it acquires extremely detailed data on everything that is visible from the scanner's head. For volumes on large non-vegetated surfaces, a scanner is extremely productive and efficient.

Applications of 3D laser scanning in civil engineering works

Effective uses of civil engineering digitization include:

- Volumetric calculations on reinforced concrete works.
- Bridge surveys
- Road surveys
- Digital Precise Terrain Models (DTM)
- Complex piping and / or raised structures (unable to measure).
- Expertise in the metal frame.

ملخص

في الهندسة المدنية، يعتبر الماسح الضوئي أداة قياس، غير مختلفة عن محطة كاملة أو أداة قياس المستوى أو حتى شريط القياس القماشى. مفتاح السرهو استخدام الأداة المناسبة للوظيفة المناسبة، لتحقيق أقصى قدر من الجودة مع تقليل التكاليف. الماسح الضوئي هو أداة رؤية مباشرة، لذا فهو يجمع بيانات مفصلة للغاية عن كل شيء مرئي من رأس الماسح الضوئي. بالنسبة للأحجام في المناطق الكبيرة غير المزروعة بالنباتات، يكون الماسح الضوئي منتجًا وفعالًا للغاية.

تطبيقات المسح بالليزر ثلاثي الأبعاد في أعمال الهندسة المدنية

تشمل الاستخدامات الفعالة للرقمنة في الهندسة المدنية ما يلي:

-الحسابات الحجمية لأعمال الخرسانة المسلحة.

-مسوحات الجسور

-مسوحات الطرق

-نماذج التضاريس الرقمية الدقيقة (DTM)

-الأنابيب المعقدة و / أو الهياكل المرتفعة (غير قادرة على القياس).

-خبرة في الهيكل المعدني

Liste des abréviations

BIM : Building Information Modeling (ou Bâtiment et Informations Modélisés)

2D : Deux dimensions (X, Y)

3D : Trois dimensions (X, Y, Z)

DAO : Dessin assisté par ordinateur

CAO : Conception Assistée par Ordinateur.

MMT : Machine de Mesure Tridimensionnelle.

MN : Maquette Numérique.

GPS : Global Positioning System (système mondial de positionnement)

Glossaire

Leica Geosystems : est une entreprise suisse qui conçoit, fabrique et commercialise des appareils de topographie et géodésie, tels que des GPS, stations totales, niveaux optique, scanner 3D....

Scanner 3D : Appareil d'acquisition et de numérisation 3D. Cet appareil permet de générer des milliers de points par seconde et ainsi d'obtenir un nuage de points sur 360 degrés.

Lasergrammétrie : technique de relevé tridimensionnel à partir d'un balayage laser dont le pas est réglable par l'utilisateur. Sa cadence de prise de mesures est très élevée. Les scanners laser 3D constituent un outil utilisant cette technique.

BIM : Outil numérique comprenant à la fois une représentation graphique du bâtiment et une base de données liée au bâtiment. Nous noterons que la « Maquette Numérique » est également désignée par le terme BIM.

BIM Manager : Leader du BIM dans une entreprise ou sur un projet particulier.

Ce rôle requière une très grande expérience et la parfaite maîtrise des processus de construction virtuelle et de documentation.

SOMMAIRE

Remerciement

Dédicace

Résumé

Liste des abréviations

Glossaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale

CHAPITRE I : Recherche bibliographique concernant le scanner 3D de Leica Geosystems

I.1- Introduction :	1
I.2. Le scanning laser 3D :	2
I.2.1-Historique :	2
I.2.2- Qu'est-ce que le scan 3D ?	3
I.2.3- Le nuage de points :	4
I.2.4- La visualisation 3D :	5
I.2.5-la maquette numérique :	5
I.2.6- Type de scanner :	6
I.2.7-Le méthodologie de travail :	12
I.2.8- Domaine d'application :	13
I.2.9- Les avantages de scanner en 3D :	14
I.3- Building Information Modeling :	15
I.3.1- Qu'est-ce que le BIM ?	15
I.3.2 -Les enjeux du BIM :	16
I.3.3. Qu'apporte le BIM ?	17
I.3.4-Avantage et inconvénient de BIM :	18
I.3.5-Le Scan-vs-BIM :	18
I.4- Exploitation des données 3D :	19
I.4.1- Les logiciels de traitement de nuages de points 3D :	19
I.4.2- Les logiciels de modélisation 3D :	24
I.5- suivi de chantier :	27

I.5.1-Qu'est-ce que le suivi de chantier ?.....	27
I.5.2-Les étapes du suivi de chantier :.....	27
I.5.3-Les difficultés habituelles pendant le processus de suivi.	28
I.5.4- le contrôle par méthode nouvelle :	28
I.5.5- Le Suivi et contrôle de chantier par le scanner 3D :.....	29
I.6.Conclusion :	31

CHAPITRE II : Suivi et contrôle des ouvrages par la méthode traditionnelle

II.1.Introduction :	32
Partie 1 : suivi des ouvrages.....	32
II.1. C'est quoi le suivi de chantier ?.....	32
II.2. Quels sont les Objectifs du contrôle et suivi d'un chantier ?	32
II.3. Les utiles utilisés :	32
II.4. Suivi de chantier : différents points à observer :	32
II.5. Les étapes principales du suivi de chantier :.....	33
II.5.1.La préparation :.....	33
II.5.2.La mobilisation, l'installation :	33
II.5.3.La phase de travaux :	33
II.5.4. La fin du chantier :.....	34
II.6. Organigramme standard de chantier :.....	34
II.7. Personnes concernées :	34
Partie 02 : contrôle des ouvrages.....	35
II.1. Objectif d'une inspection détaillée périodique :	35
II.2. Déroulement d'une inspection détaillée périodique :	35
II.3. Compétences requises - Obligations de moyens :	36
II.3.1. Compétences requises :	36
II.3.2. Obligation de moyens :.....	36
II.4. Matériel d'inspection et moyens techniques de relevé :	37
II.5. INSPECTION DÉTAILLÉE - ÉTAPE 1 : PRÉPARATION.....	37
II.5.1 Synoptique :.....	37
II.5.2. Préparation organisationnelle :	39
II.5.3. Préparation technique :	39
II.5.4. Préparation « Sécurité » :.....	40
II.5.5. Planification :.....	40
II.6. INSPECTION DÉTAILLÉE - ÉTAPE 2 : INTERVENTIONS SUR SITE :	40

II.6.1. Rappel de l'objectif de l'inspection détaillée :	40
II.6.2 Synoptique :	40
II.6.3.interventions sur site -Détails complémentaires Fissures :	42
II.7.RÉALISATION D'UNE INSPECTION DÉTAILLÉE - ÉTAPE 3 :	42
II.7.1 Rapport d'inspection – Synoptique :	42
II.7.2. Contenu du rapport d'inspection – Précisions :	45
II.7.3 Qualité et complétude du rapport d'inspection :	45
II.8. Conclusion :	47
CHAPITRE III : Suivi et contrôle des ouvrages par la méthode scannérisation 3D	
III.1. Introduction :	48
III.2. Définition de la numérisation 3D :	48
III.3. Le but d'un scanner 3D :	49
III.4. Processus de la numérisation 3D :	49
III.4.1. Relevé 3D sur site :	50
III.4.2. Traitement du nuage de points :	55
III.4.3. Maquette BIM et plan :	59
III.5. Les résultats du processus de numérisation :	62
III.6. comparaison entre les deux méthodes (traditionnelle et scannérisation 3D) :	64
III.6.1. La méthode traditionnelle :	64
III.7. Conclusion :	65
CONCLUSION GENERALE	66

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : la nouvelle technologie scanner laser [4].....	3
Figure I.2 : communication entre les différentes technologies scan, PC et tablette.[4]	6
Figure I.3 : Leica BLK360 Scanner Laser [4]	7
Figure I.4 : leica RTC 360 [4].....	8
Figure I.5 : leica P30 / P40 [4]	8
Figure I.6 : lieca scanstation P50 [4]	9
Figure I.7 : backpack ou sacs à dos [13]	9
Figure I.8 : Numérisation mobile à main : ZEB HORIZON (gauche) et GEXCEL HERON LITE (droite) [13].....	10
Figure I.9 : Un trolley de numérisation 3D [13].....	10
Figure I.10 : Un appareil Leica Pegasus Two installé sur une voiture [13]	11
Figure I.11 : Scanner laser 3D d'aérien.[4]	11
Figure I.12 : Etapes chronologiques du scanning 3D [1].....	12
Figure I.13 : terme de BIM. [4]	15
Figure I.14 : Cycle de vie d'un bâtiment en BIM [4]	16
Figure I.15 : La méthodologie classique par rapport à la méthodologie BIM [1].....	17
Figure I.16 : Extraction des plans avec le module Building Extractor (Source : image capturée sur une vidéo de démonstration disponible sur le site de 3D Reshaper)[16].....	20
Figure I.17 : Visualisation d'un nuage contenant 7,7 millions de points sous Realworks.....	21
Figure I.18 : Arborescence d'un projet [16].....	22
Figure I.19 : Espace de travail sous le logiciel Scene (illustration issue d'une vidéo créée par FARO GB) [16]	23
Figure I.20 : suivi des travaux [4]	30
Figure II.1 : organigramme standard de chantier [24].....	34
Figure II.2 : Synoptique de déroulement d'une inspection détaillée [26]	35
Figure III.1 : site des travaux Pont Sed Roumi de Ouled Bdeira	48
Figure III.2 : les étapes de la numérisation [4]	49
Figure III.3 : BLK360 ET Accessoire [4]	50
Figure III.4 : les positions totales d'un scanner leica BLK360.....	50
Figure III.5 : Photos des positions de l'emplacement du BLK360 pour obtenir une image complète du chantier de construction	53
Figure III.6 : transfert donne BLK 360 ReCap pro mobile [4].....	53
Figure III.7 : exploitation nuage de points, mesures des distances	55
Figure III.8 : déménager du terrain au livrable [4]	56

Figure III.9 : les logiciels utilisés dans le processus de la modélisation.[4]	59
Figure III.10 : Interface Leica CloudWorx pour Revit[39].....	60
Figure III.11 : calcul la distance entre les paves	62
Figure III.12 : calcul la longueur des paves.....	63

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Tableau récapitulant les avantages et inconvénients du BIM [17]	18
Tableau I.2 : Exemple de contrôles BIM [20]	29
Tableau II.1 : le contenu de chacun des éléments de cette 1ère étape[26]	38
Tableau II.2 : le contenu de chacun des éléments de cette 2ère étape[26]	41
Tableau II.3 : le contenu de chacun des éléments de cette 3ère étape [26]	42
Tableau III.1 : récapitulant les avantages et inconvénients du la méthode traditionnelle	64
Tableau III.2 : récapitulant les avantages et inconvénients du la méthode scannérisation 3D	64

INTRODUCTION GENERALE

L'apparition de nouvelles technologies a considérablement contribué à la réduction de ce temps de conception et de production. La démarche de numérisation 3D s'inscrit pleinement dans cette évolution, aussi bien au niveau technologique qu'au niveau du besoin. Les domaines d'utilisations de la numérisation sont très variés : mécanique, design, architecture, art... . En ce qui nous concerne nous nous intéressons à son application dans le domaine du génie civil.

La capture de la réalité ou scanner laser 3D permet de créer un modèle numérique d'un espace réel avec une haute précision.

Les concepteurs utilisent de plus en plus la capture de la réalité comme un moyen de modéliser avec précision les conditions existantes des projets, Les entrepreneurs utilisant la capture de la réalité pour faire un suivi des travaux sur les chantiers de construction.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres :

-Le premier chapitre est consacré à une recherche bibliographique en définissant le scanner laser 3D, domaine d'application, les types du scanner 3D, les avantages, les logiciels exploités et suivi d'un chantier par scanner 3D.

- Le second chapitre explique méthode traditionnelle du suivi et contrôle des ouvrages, et les matériels utilisés

-Le troisième chapitre est consacré à une étude sur site d'étude le suivi et le contrôle des ouvrages par la méthode de scannérisation 3D et la comparaison entre les deux méthodes.

En fin une conclusion générale du mémoire et une liste bibliographique.



CHAPITRE I :

*Recherche bibliographique
concernant le scanner 3D de
Leica Geosystems*

I.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. [1]

I.2. Le scanning laser 3D :

I.2.1-Historique :

I.2.1.1- À propos de l'usage du Scanner 3D dans la santé & dans l'Industrie :

L'usage du premier scanner 3D à « rayons X » pour l'imagerie médicale remonte à 1972. L'ingénieur britannique Godfrey N. Hounsfield révolutionne par son invention l'exploration humaine dans le domaine de la santé et rend médicalement accessible, la représentation intérieure en trois dimensions d'un corps humain.

Une quinzaine d'années plus tard, commence à se développer la technologie du scanner laser 3D avec dans les années 1990, l'arrivée et la commercialisation des tous premiers appareils MMT pour l'industrie et plus particulièrement dans le secteur du nucléaire pour la prise de mesures à distance. Dans l'industrie automobile ou dans la mécanique ce dernier facilite en fabrication, le contrôle qualité des pièces à assembler.

Dans les années 2000 le scanner « laser » 3D fait son apparition dans l'industrie pétrolière. La société TOTAL en Argentine, sur son champ offshore de Terre de Feu, en fait usage pour cartographier des réseaux de tuyauterie bâtis au fil des ans et dont elle n'avait pas de plan « As built ».

Progressivement l'usage du scanner 3D s'étend à d'autres applications, dans des secteurs de plus en plus diversifiés, comme par exemple le relevé d'empreintes pour la réalisation de prothèses dentaires ou encore en rétro-ingénierie, dans l'assurance qualité ou dans la prévention des risques. Mais on retrouve aussi son usage pour la modélisation CAO de pièces de mécanique à fraiser, ou encore pour la conservation du patrimoine culturel en complément de la photogrammétrie. Utilisé pour la création de modèles et décors en animation, le scanner 3D fait son apparition également dans l'industrie du cinéma ou des jeux vidéo.

Avec le développement de l'usage du scanner laser 3D dans l'industrie, apparaît également la nécessité de développer des logiciels capables d'intégrer des outils de visualisation de nuages de points pour la modélisation en CAO et d'en traiter les données.

I.2.1.2- À propos de l'usage du Scanner 3D dans le Bâtiment :

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 où 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.

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.

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.

Le modèle final importé dans les logiciels de CAO arrive donc la plupart du temps dans les solutions métiers dépourvu d’intelligence architecturale. [2]

I.2.2- Qu’est-ce que le scan 3D ?

Le scanner laser 3D, aussi appelé Laser grammétrie, est utilisé dans les domaines de l’industrie, du bâtiment et de la construction. Cette technologie permet notamment d’effectuer de façon très précise des relevés d’environnement, de façades ou de volumes intérieurs. Elle est également utilisée pour l’élaboration de la documentation (BIM), l’analyse de déformations d’ouvrages de génie civil ou de structures métalliques ainsi que pour la surveillance de l’avancement d’une construction. Cette activité est basée sur l’utilisation d’un instrument de relevé qui balaye l’espace dans toutes les directions et mesure à l’aide d’un faisceau laser la position de millions de points par seconde. A l’issue de l’opération, un nuage de points exhaustif est obtenu pour ensuite être traité au moyen d’un logiciel CAO/DAO. Le scanner laser mesure, la position des points des objets présents dans un environnement d’espace et selon une densité prédéfinie. [3]

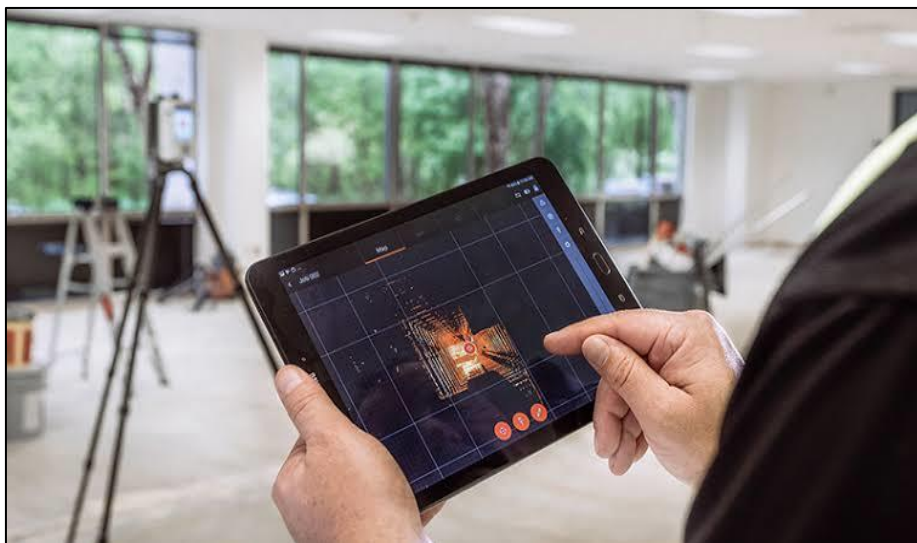


Figure I.1 : la nouvelle technologie scanner laser [4]

I.2.3- Le nuage de points :

Un nuage de points est un ensemble de points de données dans un système de coordonnées à trois dimensions. Ces points se définissent en général par les coordonnées x, y et z et servent souvent à représenter la façade d'un objet. Un numériseur balaie une surface extérieure dans ses trois dimensions pour en générer un nuage. Ses faisceaux prennent des mesures à un grand nombre de points d'une façon automatique pour produire le nuage sous forme de fichier de données. Tandis que le rendement et l'inspection direct d'un nuage sont possibles, il n'est pas en général praticable d'en faire une utilisation directe dans la plupart d'applications à trois dimensions. Le procédé courant est donc d'élaborer une maille par une technique de reconstruction de surface.

Il existe plusieurs techniques pour transformer un nuage en surface à trois dimensions. Certaines approches, telles que la triangulation de Delaunay, revêtent les sommets du nuage d'une maille triangulaire (voire d'une mosaïque de photos), alors que d'autres approches convertissent les points en champ volumétrique à l'aide d'un algorithme infographique. Le balayage à 3D rend les nuages de points utiles à de nombreuses applications. La métrologie et l'inspection industrielles sont deux domaines qui peuvent employer un nuage de points tel quel. Le nuage de points d'une pièce fabriquée peut être aligné sur un modèle, voire un second nuage, pour identifier les différences. Ces différences peuvent s'afficher sous forme de graphique qui indiquent, d'une manière visuelle, les écarts entre la pièce fabriquée et le patron. Il est également possible de tirer des tolérances et des dimensions géométriques directement du nuage. Les nuages de points servent aussi à représenter des données volumétriques, utilisées par des domaines tels que l'imagerie médicale. Ces nuages facilitent l'échantillonnage multiple et la compression des données. Les nuages sont en plus un moyen de dresser le modelé d'un terrain arpenté ou un modèle en 3D d'un environnement urbain. Ils s'avèrent utiles dans l'élaboration d'une sauvegarde numérique pour les objets d'art et la patrimoine de valeur inestimable.[5]

Quelle que soit la technologie de laser scanné utilisée il en résulte un nuage de points très dense à partir duquel il est possible d'obtenir un nombre impressionnant de traitements de données :

- ✓ Modélisations 3D en couleur des bâtiments détectés
- ✓ Modélisations 3D avec surfaces ou mesh
- ✓ Orthophotographie de façades et d'élévations
- ✓ Coupes et planimétries
- ✓ Navigations virtuelles à l'intérieur des nuages de points
- ✓ Implémentation dans des environnements numériques et logiciels RA (Réalité Augmentée)
- ✓ Implémentation dans des environnements BIM (Building Information Modeling) pour une modélisation rapide d'une situation réelle.

Le résultat peut être intégré aux technologies GNSS pour le géoréférencement du nuage de points, avec des arpentages d'aéro photogrammétries à partir de drones pour la construction de toits et tout autre arpentage numérique préexistant [6]

I.2.4- La visualisation 3D :

La visualisation 3D est importante car elle permet de présenter le projet à notre client ou, dans le cas d'une mise à l'enquête publique, aux citoyens. Le BIM et sa maquette numérique permettent de visualiser un projet à tous les stades de sa conception. Comme la visualisation est basée sur une maquette numérique, elle sera toujours à jour.

Un conseil toutefois : la visualisation 3D doit favoriser la précision avant la qualité. Il est tentant d'utiliser tous les artifices à disposition dans les logiciels de visualisation, toutefois la plus belle des images ou vidéos ne sert à rien sans la précision et l'exactitude. Beaucoup de projets sont bricolés avec des logiciels comme Photoshop, mélangeant photos non calibrées sur place avec des vues 3D du projet, mais ce type de visualisation peut vous amener plus de problèmes que de louanges. [7]

I.2.5-la maquette numérique :

La maquette numérique est "intelligente" dans le sens où elle est composée 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.

Un modèle virtuel BIM est composé d'objets paramétriques qui sont associés à des données et des règles. Ces objets sont consistants dans toutes les vues et il n'est pas possible de tricher les dimensions dans une vue. Lors d'une insertion ou d'une modification, ces objets réagiront intelligemment comme pour la mise en place dans un mur ou pour l'insertion d'un mur entre deux dalles. Les objets pourront être assemblés à d'autres et conserver leurs propriétés paramétriques. Les objets sont capables de réagir si les normes ou les critères ne sont pas respectés.

Le modèle est en fait une base donnée contenant toutes les informations concernant les propriétés de ses composants, leur construction et leur entretien. D'une manière générale, le niveau de détail de la maquette virtuelle est de représenter tout ce qui est visible d'une distance de 3-4 mètres. Une maquette détaillée jusqu'à la dernière vis serait extrêmement lourde à manipuler et ne serait pas rentable à réaliser. Le niveau de détail de la maquette doit être adapté à la phase du projet pour laquelle elle a été conçue. [7]

I.2.6- Type de scanner :

I.2.6.1- Scanner laser 3D en station fixe :

Les systèmes statiques fournissent des données de bonne qualité, mais il est long et difficile de produire des données sur un objet de grande dimension comme une rue ou même une ville entière. [8] Les scanners laser 3D en station fixe doivent, comme leur nom l'indique, rester immobiles le temps de la capture. Couramment, un trépied sera utilisé comme support, toutefois certaines configurations peuvent amener à utiliser d'autres types de supports. Lorsqu'une visibilité plus longue est attendue

- en restant dans la limite des capacités du scanner, variable selon le modèle

- on pourra par exemple utiliser des perches de grande hauteur équipées en tête d'une base stabilisatrice. [9] Les scanner en station fixe sont :

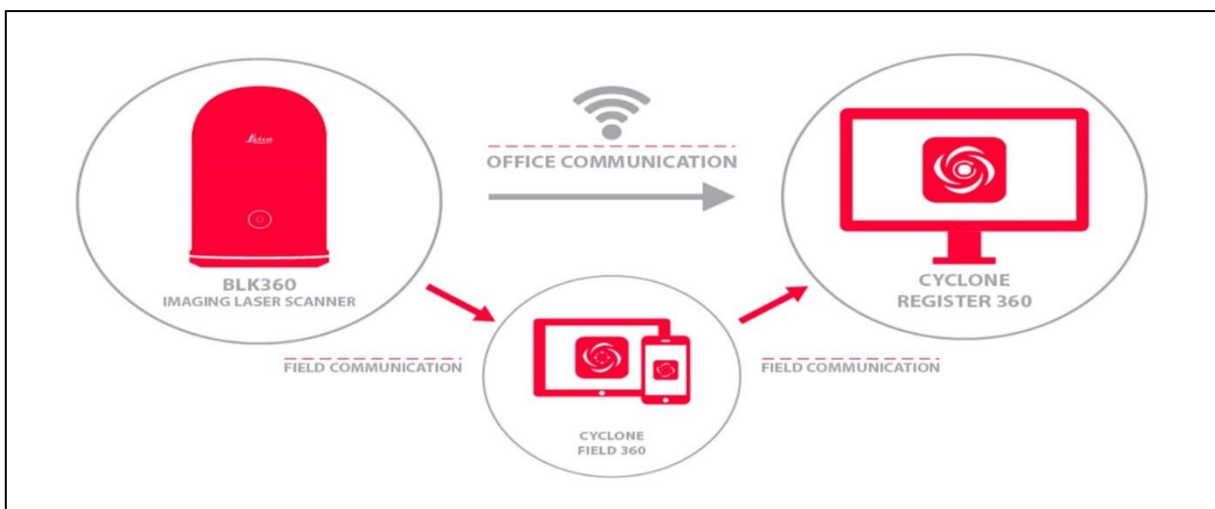
- **Leica BLK360 Scanner Laser avec imagerie :**

Le scanner laser avec imagerie le plus petit et le plus léger disponible sur le marché,

Le Leica BLK360 capture l'environnement avec des images panoramiques colorisées recouvertes par un nuage de points très précis. Simple d'utilisation avec une seule pression sur un bouton, le BLK360 est le plus petit et léger des scanners. Toute personne sachant utiliser un iPad peut dès à présent modéliser avec des images 3D panoramiques en haute résolution. En utilisant le logiciel Leica Cyclone FIELD 360 ou l'application mobile Autodesk ReCap Pro, le BLK360 transmet les données d'image et de nuages de points à un iPad ou les données finales du projet à Cyclone REGISTER 360 via Wi-Fi. Avec des flux de travail automatisés dans les deux offres logicielles, le BLK360 plus la solution logicielle de votre choix, simplifie et démocratise considérablement le processus de capture de la réalité, qui n'est plus réservé uniquement aux topographes. L'exportation simple de fichiers LGS ou RCP permet de travailler avec les données de nuages de points en aval dans les suites Leica Geosystems et Autodesk de manière simple et efficace, permettant aux utilisateurs de passer moins de temps à traiter les données et plus de temps à créer des livrables significatifs.

Figure I.2 : communication entre les différentes technologies scan, PC et tablette.[4]

-Caractéristiques principales de BLK360 :



- ✓ Vous permet de numériser rapidement et en haute résolution
- ✓ Poids 1kg / taille 165mm de long et 100 mm de diamètre
- ✓ Moins de 3 minutes pour un scan complet de dôme (en résolution standard) et 150MP d'image sphérique
- ✓ Laser scan de 360.000 points à la seconde
- ✓ Image HDR et thermique. [10]

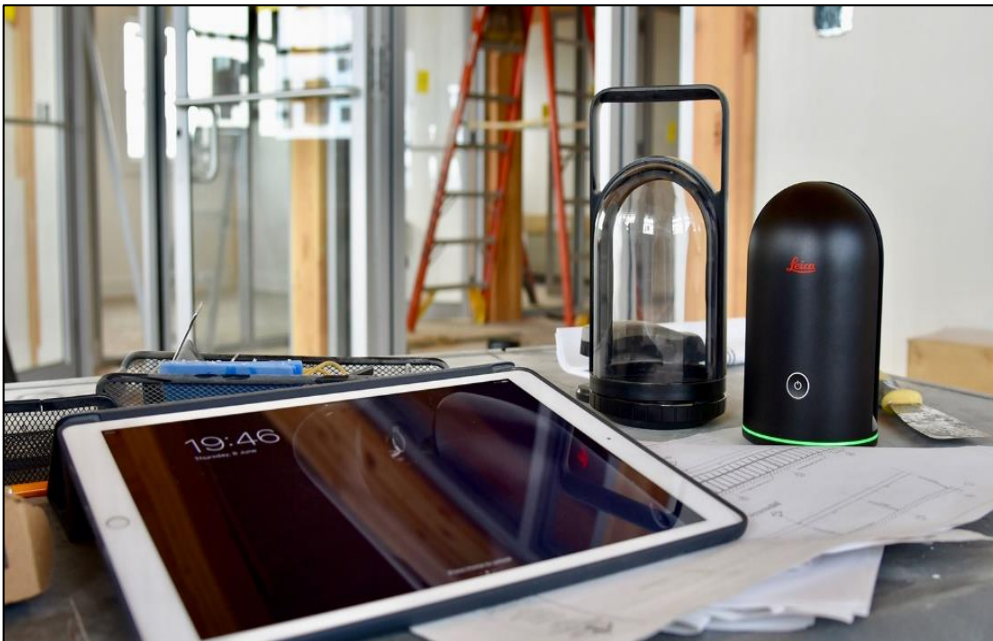


Figure I.3 : Leica BLK360 Scanner Laser [4]

▪ Leica RTC360 Solution de capture de la réalité 3D :

Solution de capture de la réalité 3D rapide, agile et précise. La nouvelle solution scanner laser Leica RTC360 a été conçue pour capturer et documenter votre environnement en 3D. Ce tout nouveau scanner laser 3D petit, précis compact et léger grâce à sa conception portable, vous permet d'améliorer votre efficacité et votre productivité sur site comme au bureau. C'est LA solution de capture 3D pour les professionnels travaillant sur des projets complexes nécessitant des représentations 3D précises et fiables quelques soient les conditions sur site.

- Une solution portable, automatisée, intuitive et conçue pour une productivité optimale, la solution RTC360 combine un scanner laser 3D de haute performance avec la solution Leica Cyclone FIELD 360, une application mobile pour gérer votre projet sur site en temps réel. La solution intègre également le logiciel de bureau Leica Cyclone REGISTER 360 pour intégrer vos modèles 3D dans vos flux de travail avec la plus grande fluidité.
- Réalisez vos scans, en moins de deux minutes, avec vos images sphériques en HDR.
- Enregistrement automatique des positions en temps réel sur site. Auto start & stoppas d'intervention manuelle de l'utilisateur.

- Améliorez vos acquisitions terrain en ajoutant des marqueurs ou des balises à vos projets, vous permettant ainsi une meilleure planification, une meilleure définition de la réalité et une meilleure lecture de la réalité sur site pour vos équipes. [11]



Figure I.4 : leica RTC 360 [4]

▪ **Leica Scan Station P40 / P30 - Solution de numérisation 3D Haute-définition :**

Solution de numérisation laser 3D intégrée offrant une vitesse, une précision et une portée inégalées pour des projets de numérisation exigeants. Que vous captiez la géométrie 3D d'infrastructures, des données de numérisation haute définition pour la réalisation d'une maquette 3D (BIM) ou pour des plans topographiques, vos projets nécessitent un outil de numérisation longue portée précis.

-Caractéristiques principales des ScanStation P30 /P40:

- Haute qualité de données 3D et d'imagerie HDR.
- Vitesse de numérisation extrêmement élevée de 1 million de points par seconde.
- Portées allant jusqu'à 270 m.
- Bruit de mesure très faible.
- Compensateur bi-axial intégré.
- Nuages de points 3D produits en couleurs détaillés et photo-réalistes.



Figure I.5 : leica P30 / P40 [4]

▪ **Leica Scan Station P50 – Scanner laser 3D terrestre longue portée**

Maximiser la productivité en numérisant les zones inaccessibles depuis un endroit sécurisé sur site, moins de mise en station permettant de réduire le temps sur le terrain

-Caractéristiques principales des Scan Station P50 :

- Une meilleure qualité des données 3D et d'imagerie HDR
- Une numérisation rapide avec 1 million de points par seconde
- Une portée à plus d'un kilomètre
- Un bruit de mesure très faible
- Un compensateur biaxial adapté au relevé topographique [12]



Figure I.6 : lieca scanstation P50 [4]

I.2.6.2- Scanner laser 3D en station mobile :

Les systèmes mobiles terrestres de cartographie sont ainsi apparus comme un compromis entre les autres méthodes. Ils consistent en une collecte d'informations sur plateforme mobile terrestre. [8]

▪ **Mobile-mapping de type backpack (sac à dos) :**

Les appareils de mobile-mapping de type “backpack” ou “sacs à dos” se positionnent à merveille sur ces marchés nécessitant une faible précision et une grande vélocité de captation.[13]



Figure I.7 : backpack ou sacs à dos [13]

▪ **Mobile mapping par appareil manuable :**

La capture de réalité est une activité qui nécessite une grande adaptabilité, tant sur les méthodes que sur les outils employés pour la numérisation 3D. Compte-tenu des nombreuses caractéristiques définissant un site, et considérant la diversité des raisons pouvant pousser à mener la campagne de scanning, il est tout bonnement impossible de trouver un appareil capable d’être le meilleur en toutes circonstances.

C’est une des raisons pour lesquelles une frange très spécifique du marché de relevé laser 3D se détache autour du mobile mapping indoor. Ce créneau est occupé par des constructeurs de scanners tels que :

- GEOSLAM avec la gamme ZEB,
- GEXCEL avec la gamme HERON LITE,



Figure 1.8 : Numérisation mobile à main : ZEB HORIZON (gauche) et GEXCEL HERON LITE (droite) [13]

▪ **Mobile mapping type trolley :**

La grande famille des appareils de mobile mapping destinés à être déplacés par un humain voit une branche se séparer du reste du lot au travers de la notion de “chariot”, le terme anglo-saxon “trolley” étant plus fréquemment utilisé. Si cette configuration présente évidemment des inconvénients en termes de franchissements d’obstacles (des escaliers par exemple), la stabilité du matériel n’est pas sans avantages au regard de la qualité des données collectées. Voici donc une corde supplémentaire à ajouter à votre arc ! [13]



Figure I.9 : Un trolley de numérisation 3D [13]

▪ **Mobile-mapping sur véhicule :**

Toujours dans le domaine des méthodes de numérisation 3D mobile, un autre moyen de véhiculer un LiDAR est de l'installer sur une voiture.

Plus rapide qu'une humaine et capable de numériser sur de plus longues distance, mais plus encombrante et moins polyvalente, voici les détails de cette autre solution de numérisation 3D.[13]



Figure I.10 : Un appareil Leica Pegasus Two installé sur une voiture [13]

I.2.6.3- Scanner laser 3D d'aérien :

Ces systèmes sont utilisés pour des études ou des documentations de scènes de grande dimension comme une ville complète. [8]



Figure I.11 : Scanner laser 3D d'aérien.[4]

I.2.7-Le méthodologie de travail :

Malgré le fait que les scanners sont devenus un outil polyvalent et convivial, exécuter un relevé 3D qualitatif impose un travail et une préparation conséquente en amont et en aval de l'opération de scanning afin d'obtenir des produits répondant aux exigences. L'utilisation adéquate de la technologie complexe nécessite une bonne connaissance des instruments et de leurs limitations (sources d'erreurs). Un travail méticuleux et une bonne vue générale du processus complet est indispensable. La méthodologie de travail présentée ci-après a été élaborée dans le cadre du travail de fin d'études et s'applique à la base pour l'utilisation de scanners terrestres statiques dans le domaine de la construction. Néanmoins, la majorité des étapes et des points d'attention restent applicables lors d'une utilisation d'un autre type de scanner.

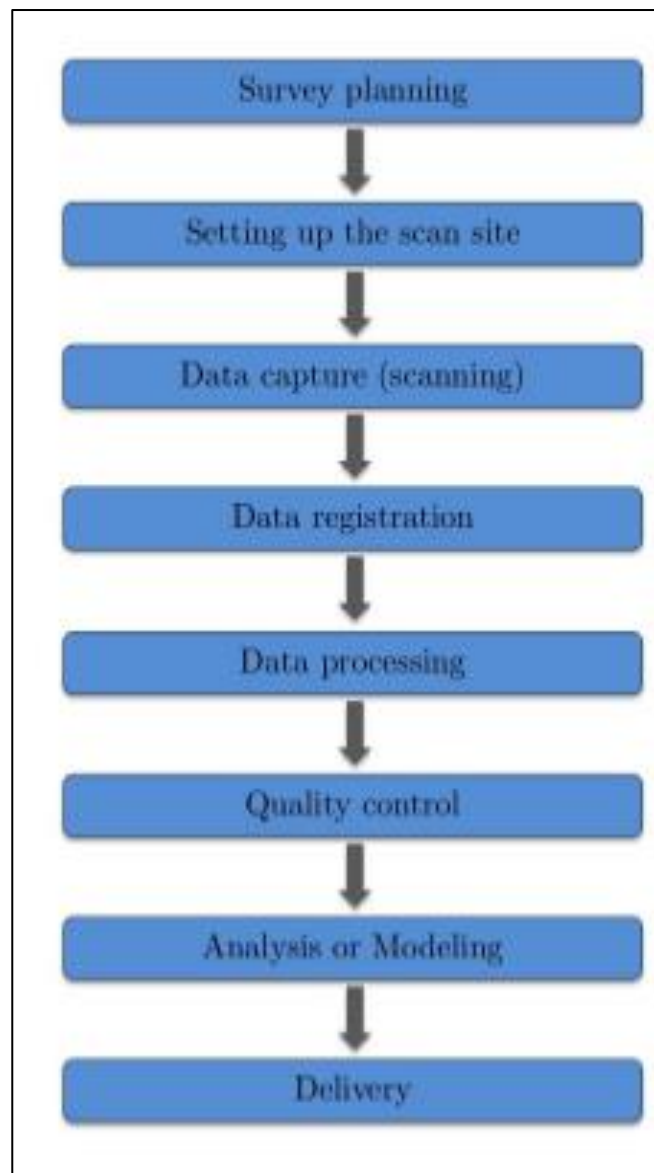


Figure I.12 : Etapes chronologiques du scanning 3D [1]

La figure 12 montre la chronologie des actions à effectuer lors des processus de scanning. Il est important de noter que chaque prise de décision dans une des étapes aura une influence sur les autres étapes du processus.

Deux étapes sont cruciales dans ce processus. La première est la phase de préparation et de planification du scanning (Survey planning). Durant cette première étape il faut définir clairement les objectifs et exigences du projet de scanning (précision, niveau de détail, tolérances dimensionnelles, utilité du produit à livrer, etc.), définir les produits finaux (nuages de points, modèles, plans, coupes, etc.), avoir une bonne connaissance du terrain, choisir le matériel et la méthode de scanning adéquats et élaborer un plan de scanning avec les différents emplacements du scanner.

La deuxième étape qui nécessite une attention particulière est la gestion des données et en particulier le regroupement des différents nuages de point en un seul nuage (data registration). C'est sur cette manipulation que les erreurs peuvent vite s'accumuler et engendrer des écarts de mesures hors des tolérances initialement imposées. Plusieurs techniques de regroupement existent, avec chacune leurs spécificités et précision. La méthode de regroupement détermine en partie la méthode de scanning sur le terrain. Dans la plupart des cas un regroupement de haute précision nécessitera une méthode de scanning plus laborieuse et lente (un nombre accru de scans, utilisation de cibles, résolution plus élevée, etc.). [1]

I.2.8- Domaine d'application :

- **Architecteur :**

Mise en plan du relevé architectural, modèle BIM...

- **Génie civil :**

Modélisation 3D d'un ouvrage d'art, contrôle de construction complexe, auscultation, Documentation (tel que construit).

- **Industriel :**

Plans d'installations industrielles, contrôle de qualité.

- **Patrimoine culturel :**

Restitution 3D d'un objet pour restauration à l'identique ou visualisation auprès du grand public, archive numérique. [14]

I.2.9- Les avantages de scanner en 3D :

• **La rapidité :**

Un seul scanner laser peut capturer jusqu'à un million de points de données 3D par seconde, fournissant des détails incroyablement précis et riches de tous les aspects de votre projet.

• **La précision :**

Les mesures individuelles acquises manuellement ou avec des appareils portatifs sont sujettes à des erreurs. Le scanner laser 3D est la forme de mesure la plus précise disponible à ce jour, offrant une précision proche du millimètre et vous donne la garantie de n'oublier aucune mesure et recoin.

• **La réduction :**

Des coûts On estime qu'un relevé par scanner laser est 7 fois plus rapide que par une méthode traditionnelle. Grâce à l'intégration d'un scanner laser 3D dans la conception de votre projet, vos visites sur site seront fortement réduites. De plus, nos tarifs très compétitifs vous assureront de rentabiliser le coût de la prestation.

• **L'exploitation et le partage de vos données :**

Une fois le scannage terminé, les données peuvent être livrées brutes ou post-traitées via un lien sécurisé. Ces données relevées permettent de générer des plans 2D ou même de proposer une modélisation 3D qui servira pour la documentation (BIM) et la visualisation de votre projet en images de synthèse. Les plans et objets modélisés peuvent être exportés vers n'importe quel logiciel CAO/DAO standard.

• **Sécurité :**

Le scan laser 3D peut obtenir des mesures dans des endroits difficiles d'accès ou dangereux, tout en protégeant vos employés. La numérisation s'effectue en toute sécurité depuis le sol sans avoir besoin de harnais, d'ascenseurs ou de grues.[3]

I.3- Building Information Modeling :

I.3.1- Qu'est-ce que le BIM ?

BIM (Building Information Modeling) Processus de travail collaboratif mettant sur un même plan l'ensemble des acteurs d'un projet immobiliers. Mutualiser le travail et éviter la répétition des travaux, ainsi que réduire les risques de malfaçon. L'ensemble des informations sont gérées tout au long de la vie de l'ouvrage. 4 définitions à ce stade :

- Building Information Model** : maquette numérique du bâtiment. Le BIM est alors un ensemble structuré d'informations sur un bâtiment, existant ou en projet.
- Building Information Modeling** : processus qui permet à tous les intervenants d'avoir accès aux mêmes informations numériques en même temps grâce à l'interopérabilité entre les plates-formes technologiques.
- Building Information Management** : organisation et contrôle du processus qui utilise les informations contenues dans la maquette numérique pour effectuer le partage de l'information sur le cycle de vie complet d'un bâtiment.
- Bâtiment et informations modélisés** : francisation de l'acronyme, proposée par le groupe de travail BIM et gestion du patrimoine du Plan bâtiment durable.[15]



Figure I.13 : terme de BIM. [4]

I.3.2 -Les enjeux du BIM :

Le BIM est vécu comme une révolution dans le domaine de la construction. Les nombreux intervenants de ce secteur collaborent peu ensemble. Les échanges d'informations entraînent parfois des pertes ou des informations erronées entre les différentes phases du projet. Une construction est donc un projet qui s'avère généralement long et coûteux.

Les objectifs du BIM sont multiples. Le travail collaboratif en est la base fondamentale. Cette interaction entre les acteurs permet une rationalisation des échanges, une unicité des documents et par conséquent une pérennisation ainsi qu'une fiabilisation de l'information. Ces éléments permettent une meilleure gestion du projet et limitent les risques de désagréments liés à une mauvaise organisation ou communication entre les différents intervenants.

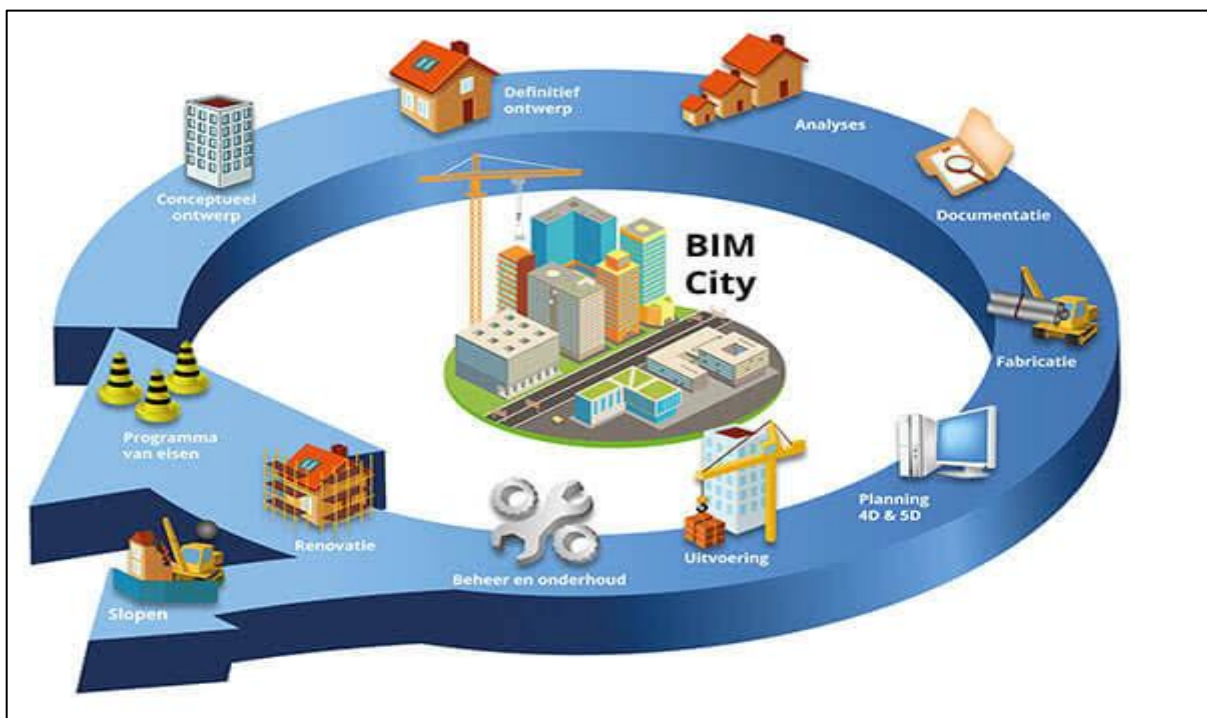


Figure I.14 : Cycle de vie d'un bâtiment en BIM [4]

La figure ci-dessus illustre toutes les phases où le BIM intervient. Il permet de suivre la vie du bâtiment. C'est une véritable « carte d'identité ». Il constitue un historique des différentes opérations effectuées, modifications et réparations réalisées.

Un autre avantage important est le coût de construction. De nombreux problèmes sur les chantiers sont liés à des changements effectués sur le plan et non communiqués, ce qui implique des adaptations ou dans le pire des cas des reconstructions. Le géomètre y est d'ailleurs confronté. Lors des chantiers de constructions, il est appelé à matérialiser différents éléments, notamment les fondations et les axes de murs. Les plans qui lui sont communiqués sont parfois des anciennes versions. L'intérêt du BIM manager est donc réel.

En évitant ces problèmes, certains spécialistes annoncent une économie allant jusqu'à 20% du coût de construction. Ces nouvelles méthodes intègrent une réduction des émissions de gaz à effet de serre et du gaspillage, ainsi qu'une amélioration de la qualité des constructions. De plus, la meilleure gestion du planning permet d'éviter les attentes de certains corps de métier. Il s'agit de construire d'une manière raisonnée et écologique.

Le BIM doit permettre également une meilleure réflexion préalable du projet pour anticiper d'éventuels problèmes. L'avantage indéniable du BIM est de pouvoir construire avant de construire. Le DOE sera alors conforme au bâtiment tel que construit si la maquette numérique 3D intelligente est renseignée pendant la construction. La qualité des ouvrages réalisés et leur traçabilité s'en trouve grandement améliorée.[16]

I.3.3. Qu'apporte le BIM ?

De nombreux projets de construction ont à ce jour été menés à bien avec et grâce à l'approche BIM. Le processus apporte de nombreux avantages pour toutes les parties prenantes, parmi lesquels :

- La compréhension correcte du projet est favorisée grâce à l'accès dès l'avant-projet à un modèle ergonomique et riche en informations, ce qui permet à l'équipe du projet de prendre des décisions fondées au plus tôt. Ces décisions auront un impact positif sur les coûts et le planning. Pour ce faire, le processus BIM nécessite un plus grand effort durant la phase de conception que pour un processus classique (drafting-centric), tel qu'illustré sur le graphe à la figure 15.
- La coordination entre les différents corps de métier, entre preneurs, sous-traitants, architectes, bureaux d'études, fournisseurs et le maître d'œuvre est sensiblement améliorée.

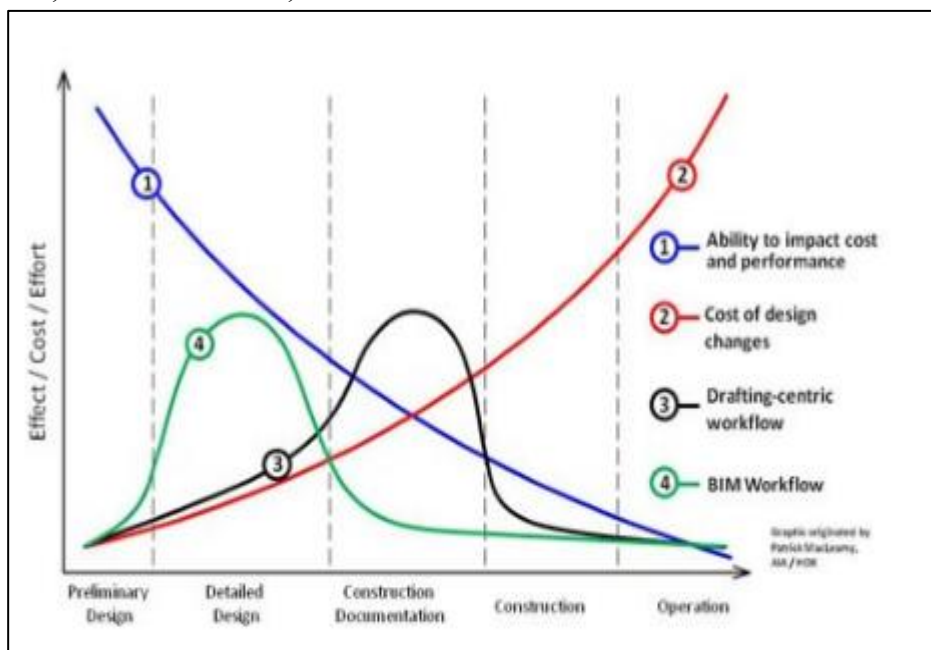


Figure 1.15 : La méthodologie classique par rapport à la méthodologie BIM [1]

- L'intégration et la superposition de différents modèles (p.ex. structure, façade et techniques spéciales) dans un seul modèle BIM partagé permet une détection et résolution précoce de conflits ou "clashes" (p.ex. un conduit de ventilation qui passe dans une colonne). Cela diminue le travail à refaire, ainsi que les erreurs de conception et de construction.

- Les modifications sont faciles à implémenter dans le modèle et tous les autres impacts de ces modifications seront pris en compte directement. Le projet est ainsi plus flexible, le modèle constitue la source d'informations la plus à jour et accessible par tout le monde. [1]

I.3.4-Avantage et inconvénient de BIM :

Les avantages du BIM sont nombreux et les inconvénients sont à l'inverse peu nombreux. Ci-dessous un tableau qui récapitule les avantages et inconvénients que les Utilisateurs du BIM citent :

Tableau I.1 : Tableau récapitulatif des avantages et inconvénients du BIM [17]

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation des profits - Fidélisation des clients - Gain de nouveaux marchés - Baisse des réclamations et des litiges - Réduction de la durée globale du projet - Baisse du coût de la construction - Diminution des erreurs - Raréfaction des reprises - Amélioration de la productivité - Meilleure communication entre les acteurs du projet - Meilleure compréhension collective des intentions - Raréfaction des conflits dans la construction - Meilleure prévisions et maîtrises des coûts - Projet mieux conçus - Bâtiment plus performant - Gain de temps pour les coupes, façades, ... 	<ul style="list-style-type: none"> - Logiciel et mise à jour cher - Formation nécessaire - Beaucoup de temps au début de la conception - Plus de données à gérer - Projet plus lent dans les phases initiales - Choix des bons logiciels pour une meilleure communication.

I.3.5-Le Scan-vs-BIM :

Le Scan-vs-BIM ("Scan versus BIM") est une autre application qui combine les atouts du scanning laser 3D et du BIM. Le modèle BIM de conception (préexistant) est superposé à un nuage de points as-built afin de faire du suivi de l'état d'avancement de chantier ou d'assurer et de contrôler la compatibilité de la conception (modèle BIM) avec la réalité (scan). En pratique, l'état actuel du chantier est scanné par un opérateur : le logiciel informatique superpose par la suite les données du scanning et du modèle BIM. Il détecte dans le nuage de

points la présence d'objets du BIM (p. ex. un voile en béton, une colonne, une poutre, une conduite d'eau). La détection des objets présents permet de calculer l'état d'avancement du chantier et de le comparer à ce qui est prévu au planning. Ensuite, le logiciel va contrôler la position et les dimensions de chaque objet afin de vérifier si les tolérances sont respectées. Le modèle BIM de conception évoluera au cours du chantier vers un modèle BIM as-built fidèle à la réalité.

Cette application du scanning laser 3D répond à plusieurs déficiences de la pratique actuelle de suivi de chantier en termes d'état d'avancement et de contrôle qualité : manque de données, manque de précision, travail intensif qui demande du temps, coûts élevés, pas en temps réel, etc. La qualité des données et le niveau d'automatisation de ce processus sont les deux principaux atouts des différents processus scan-vs-BIM proposés dans des études récentes et en cours.

L'identification précoce de déviations entre les conditions as-built et la conception permet de prendre des mesures correctives rapidement et d'éviter les coûts élevés d'adaptations dues à des erreurs de construction. Par ailleurs, un contrôle qualité et un état d'avancement plus fiables résulteront en une acceptation plus rapide de ceux-ci de la part du maître d'œuvre et un paiement plus rapide. [1]

I.4- Exploitation des données 3D :

I.4.1- 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.

I.4.1.1- 3D Reshaper :

L'entreprise Technodigit a développé un outil performant et incontournable : 3D Reshaper. Il permet notamment la création de maillage 3D et la segmentation de nuage de points de toute taille rapidement. Le plugin topographie disponible permet d'effectuer des analyses de surface. La planéité et la verticalité d'un mur peuvent ainsi être vérifiées et être utiles lors de relevés de façades.

Les nuages possédant plusieurs millions de points sont très faciles à gérer dans 3D Reshaper et n'entraînent pas de ralentissement de l'ordinateur. La création de maillage est une fonctionnalité très performante.

De plus, depuis la version sortie en 2015, le « building extractor », module d'extraction de contour, est disponible. Son utilisation requiert un clic sur une surface plane du nuage et la définition d'une tolérance. Cette dernière se traduit par une distance au-delà de laquelle les points seront réputés ne pas appartenir au plan. Un modèle simplifié du bâtiment est réalisé et peut servir de base pour modéliser un bâtiment.

Cependant, cliquer sur chaque surface plane peut s'avérer une étape longue et fastidieuse lorsque le bâtiment est grand ou comporte des formes complexes. Par contre, cet

outil peut s'avérer très efficace pour les constructions simples dont les surfaces planes sont facilement identifiables.

Une alternative à l'utilisation de ce module aurait été de créer un maillage assez fin et précis du bâtiment. À partir de cet élément, la fonction « Feature line » permettrait d'extraire les lignes caractéristiques. Malheureusement cette manipulation s'avère assez longue. Il faut garder à l'esprit que l'automatisation doit permettre également un gain de temps par rapport au travail actuel afin d'être utile et intéressante. De plus, la création d'un maillage lisse est difficile. Le nuage de points présente du bruit. Il n'est donc pas possible de modéliser des murs de façon précise.[16]

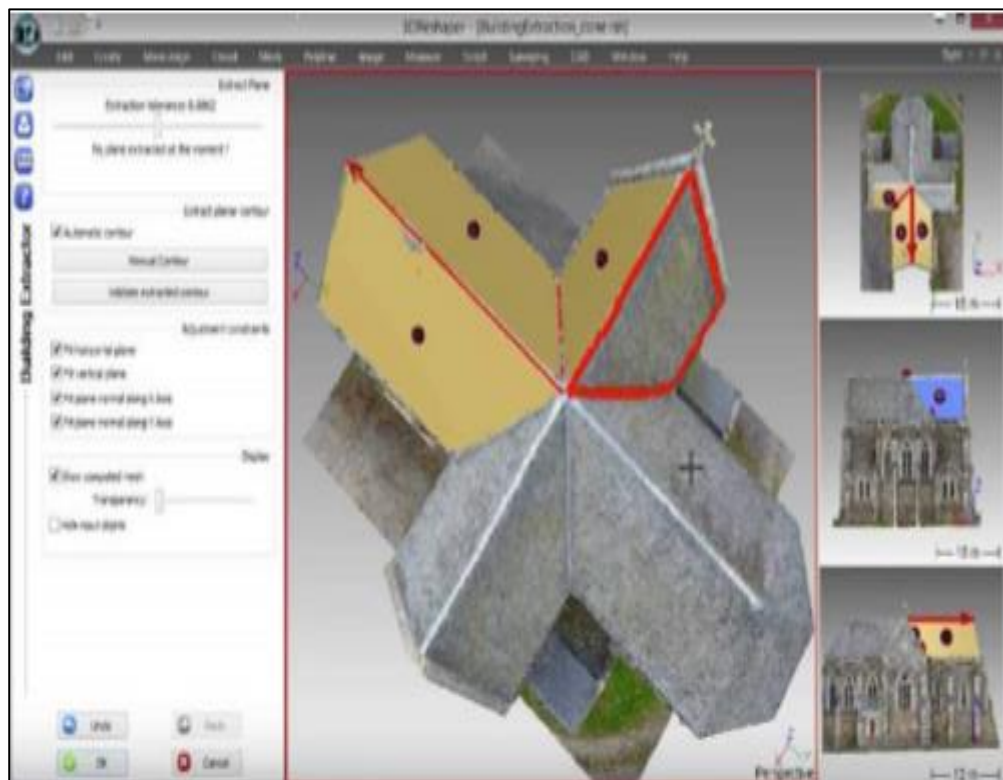


Figure I.16 : Extraction des plans avec le module Building Extractor (Source : image capturée sur une vidéo de démonstration disponible sur le site de 3D Reshaper)[16]

I.4.1.2 RealWorks :

Distribué par TRIMBLE, il permet la lecture et l'assemblage des scans. Ce logiciel est actuellement utilisé par Campenon Bernard Topographie. Ses principaux atouts sont la gestion des gros nuages de points et la vitesse d'exécution des différentes tâches réalisables. Le recalage des stations de scans se fait simplement et est largement automatisé. Il peut s'effectuer à l'aide de cibles préalablement positionnées à l'acquisition des données mais également grâce à la détection de points commun.

La segmentation, le rééchantillonnage et la réalisation d'orthophoto constituent les avantages importants de ce logiciel, en plus de ses possibilités de lecture et de recalage des relevés 3D effectués. Il est possible de créer plusieurs objets en segmentant le nuage et de les exporter individuellement. L'exploitation directe des points est possible grâce à l'intégration du logiciel Sketchup, que nous présenterons dans la Partie II.2.4

La figure visible ci-dessous illustre l'organisation du logiciel, avec l'arborescence des différents objets créés ainsi que la fenêtre de visualisation du nuage de points.[16]

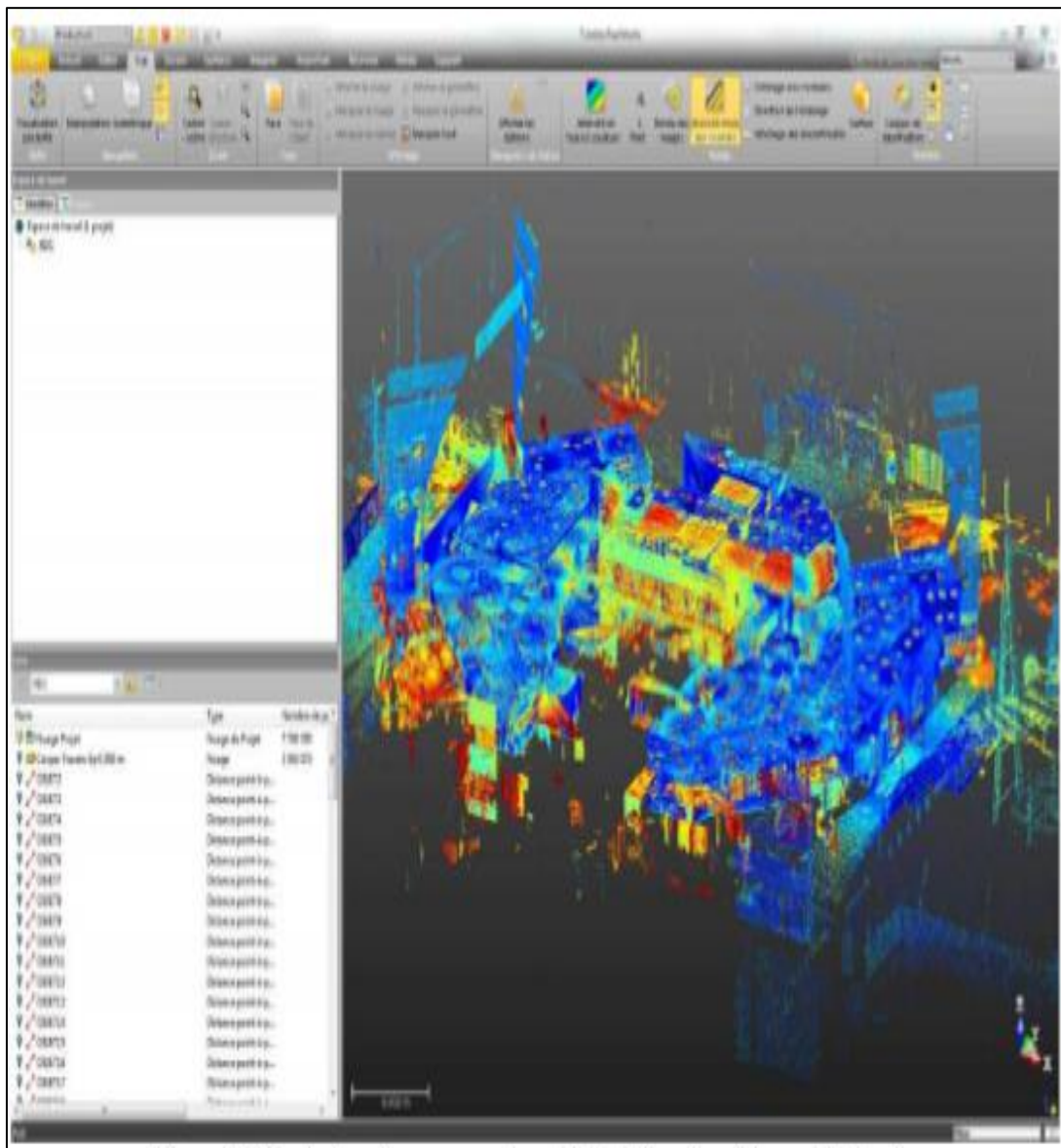


Figure I.17 : Visualisation d'un nuage contenant 7,7 millions de points sous Realworks

De nombreux formats d'export sont disponibles. Ils concernent le nuage de point du projet, les éléments segmentés, les objets modélisés mais aussi les différentes mesures que l'on a pu effectuer. [16]

I.4.1.4 Scene :

L'entreprise FARO est connue pour la commercialisation de scanner laser 3D, c'est donc tout naturellement qu'elle propose une solution de traitement à ses clients. Il est tout de même compatible avec les relevés effectués avec tous types de scanner laser 3D.

Il est très intuitif, avec une interface conviviale. Le recalage des scans se fait rapidement et de manière automatique grâce à la reconnaissance d'objets. Il peut aussi s'effectuer sans cibles grâce à la détection de points communs comme RealWorks.

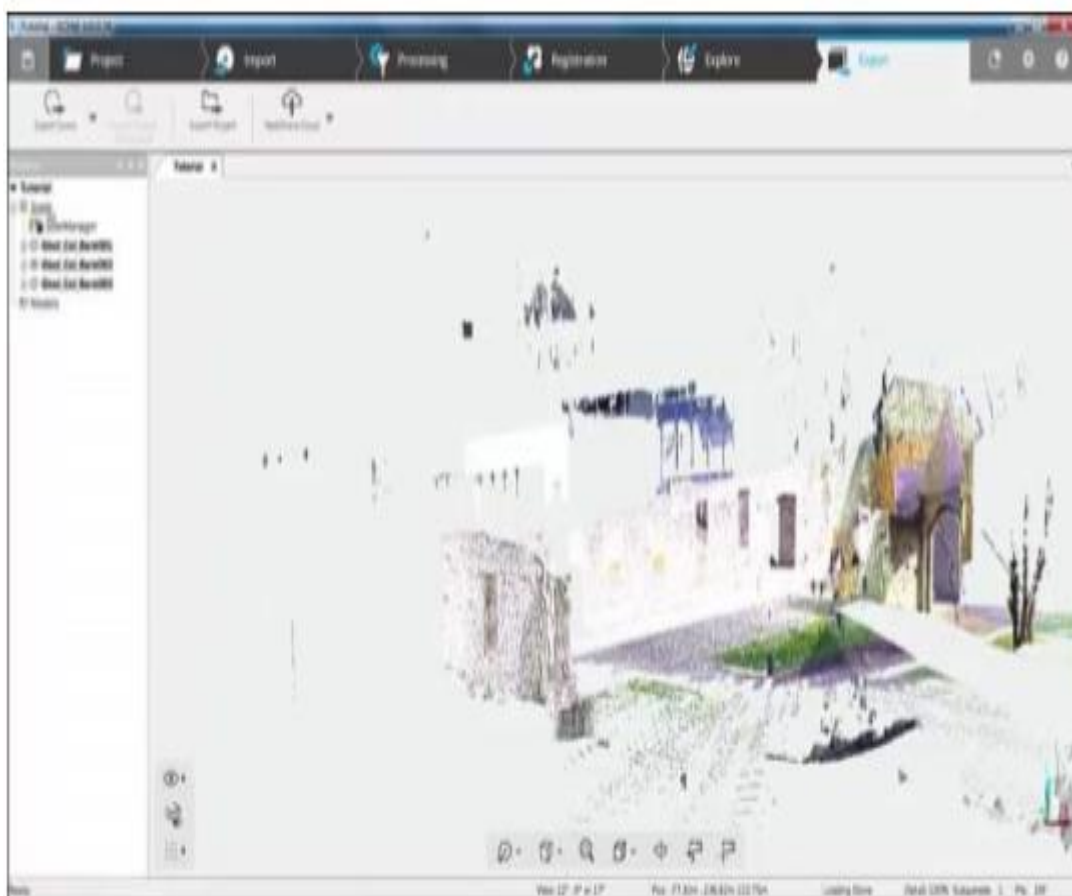


Figure I.19 : Espace de travail sous le logiciel Scene (illustration issue d'une vidéo créée par FARO GB) [16]

Un autre atout du logiciel se trouve dans les exports. Les fichiers peuvent être enregistrés dans le format Autodesk Recap depuis la version 6.0. C'est donc une porte ouverte à l'utilisation du logiciel de modélisation 3D du même éditeur : Revit.

On peut noter tout de même une certaine latence et difficulté à traiter les nuages de points importants avec beaucoup de positions de scans. Il peut donc montrer ses limites lors de grands chantiers de réhabilitation. [16]

I.4.1.5 -Recap Pro :

L'outil gratuit Recap d'Autodesk permet d'obtenir à partir d'un fichier issu du scanner laser un document .rcp4 exploitable dans Revit. C'est avant tout un logiciel de conversion.

Il existe également une version payante, Recap Pro. Elle possède plus de fonctionnalités. De nombreux formats en import sont disponibles, quel que soit la marque du scanner laser utilisé pour le relevé. Il est possible d'assembler et de géoréférencer les scans effectués. Cependant, il n'est pas capable de détecter automatiquement les cibles permettant l'appariement des différents nuages. Cela peut devenir dommageable pour les gros chantiers. L'utilisateur est obligé de cliquer sur chacune d'elles, cette étape peut s'avérer assez longue.

Ensuite les points peuvent être visualisés selon leurs couleurs, leur élévation ou par sélection manuelle.

Le nuage peut être segmenté en plusieurs zones. Le nuage peut ensuite être exporté dans d'autres formats que RCP, et notamment en PTS, las, E57... Ce dernier format est un format d'échange supporté par grand nombre d'applications. Le fichier las, utilisé à l'origine pour le traitement des données Lidar aéroporté, est aussi très répandu. [16]

I.4.2- 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. Une étude avait déjà été réalisée par K. DEHODENT lors de son TFE en 2015. Cependant, ces solutions évoluant très rapidement, il est conseillé de refaire un état des lieux sommaire.

I.4.2.1- AllPlan :

La cellule de recherche BIM de Vinci a débuté la modélisation avec AllPlan, logiciel du groupe Nemetschek. L'interface intuitive permet une prise en main facile et rapide du logiciel. Le format d'échange IFC, qui tend à devenir le format d'échange est supporté en import et en export.

Il offre de très nombreuses possibilités de modélisation. Depuis peu, l'import de nuage de points est possible mais demande l'installation d'un module complémentaire assez coûteux.

Bien qu'il soit un très bon logiciel de modélisation. Il reste tout de même en retrait face à ses concurrents, notamment au niveau de la bibliothèque d'objets disponibles.

L'exploitation du nuage reste très limitée avec le logiciel de base. Il n'est donc pas forcément adapté pour une utilisation en réhabilitation, malgré ses évolutions majeures de ces dernières années.

I.4.2.2 ArchiCAD :

La société hongroise Graphisoft, appartenant au groupe Nemetschek depuis 20075, a développé la première solution BIM développée pour les architectes. Il continue d'être innovant dans le domaine de l'industrie.

La création de BIMcloud, outil complémentaire à ArchiCAD, permet une meilleure collaboration entre les intervenants grâce à une gestion efficace du stockage des données de la maquette. De plus une application pour mobile et tablette a également été développée, BIMx permet la visualisation de l'environnement BIM créé à partir de la maquette. La mobilité du projet est donc assurée et contribue à la démocratisation du BIM.

Ce logiciel est vraiment simple d'utilisation. Il intègre l'import et l'export des IFC ainsi qu'une bibliothèque d'objets paramétriques exhaustive. La limite d'ArchiCAD se situe dans la création d'objet personnel. Ce défaut peut s'avérer contraignant, les bâtiments existants peuvent présenter des formes spécifiques et non standards.

L'éditeur a apporté une mise à jour importante et incontournable pour son utilisation dans notre cas. Depuis la version 196, il gère la lecture et l'insertion de nuage de points. On peut donc reprocher un certain retard pour la réalisation de (Scan to BIM).

I.4.2.3 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.

- 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.

-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.

Les limites du logiciel sont difficiles à atteindre, en contrepartie il faut une machine bien équipée capable de supporter le poids et les besoins du logiciel. Sa prise en main est également la plus difficile, et demande une période d'adaptation. Lors du processus de collaboration, il est important que chacun possède la même version de Revit. Il n'est pas possible d'enregistrer dans un format de version antérieure.

Grâce à son expérience, 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 :

O À partir du nuage de points

O À partir d'un plan DWG 2D ou 3DI.2.4

I.4.2.4-SketchUp :

TRIMBLE est propriétaire de ce logiciel, issu de l'initiative de développement de Google. Le lien avec RealWorks est réalisé avec la fonction Scan Explorer ce qui constitue un atout majeur.

Une des fonctionnalités intéressantes est la détection des arrêtes contenues dans le nuage de points. Les éléments sont ensuite exportés automatiquement dans le logiciel de modélisation. Ils constituent une base au travail de création de la maquette numérique. L'utilisateur n'intervient pas pour positionner les murs.

SketchUp est désormais compatible avec la norme IFC depuis sa version 2015. La bibliothèque disponible est complète et le développement d'outils est assez simple. Cependant, après avoir modélisé les murs par extrusion, leurs caractéristiques doivent être rentrées manuellement. La procédure à effectuer est assez fastidieuse.

Il a également d'autres inconvénients. Le principal est qu'en l'absence de Trimble RealWorks, aucun lien n'existe avec le nuage de points Sources. On peut également observer des écarts entre les arrêtes et les faces extraites à partir d'une même surface. Un réajustement est donc à effectuer pour obtenir une modélisation correcte du bâtiment. [16]

I.5- suivi de chantier :

Dès lors qu'un chantier nécessite de gros travaux comme l'agrandissement ou la construction d'une maison individuelle, le suivi de chantier est essentiel. Réalisé par un professionnel qui prend en charge la coordination des équipes, le suivi de chantier permet de contrôler l'avancement des travaux et le respect du budget. Il est donc important de savoir ce qu'est un suivi de chantier et les étapes qu'il comporte. L'utilisation d'un logiciel de suivi de gestion comme Batappli permet d'accompagner les entrepreneurs dans la gestion de leur entreprise, gérer et imprimer les devis et factures et enfin suivre les chantiers, un outil qui peut s'avérer être une aide précieuse.

I.5.1-Qu'est-ce que le suivi de chantier ?

Le suivi de chantier est un process qui vise à surveiller de manière précise et continue le déroulement d'un chantier et donc sa bonne exécution. L'ensemble des acteurs, de l'architecte au maître d'œuvre en passant par le conducteur de travaux, doit s'assurer que les travaux sont réalisés en conformité avec la demande des clients. Il est alors nécessaire de veiller à ce que le cahier des charges (normes et techniques) et les plans soient strictement respectés. En général, le gros œuvre et/ou le second œuvre sont concernés par ces mesures de surveillance. Le suivi de chantier peut être effectué par un architecte moyennant une commission comprise entre 1 et 4 % du prix du chantier en fonction des vérifications prises en charge.

I.5.2-Les étapes du suivi de chantier :

Dès le commencement du chantier, les responsables doivent pouvoir contrôler l'avancement des travaux mais aussi piloter le budget. Chaque étape du suivi de chantier a vocation à favoriser la livraison à la date prévue contractuellement et ce, dans le respect du budget alloué.

I.5.2.1-La préparation du chantier :

Avant même le lancement de l'exécution des travaux, certaines opérations doivent être effectuées. En tout premier lieu, il convient de chiffrer les travaux et de faire signer le devis pour acter la validation par le client des différents éléments.

Ensuite, il convient de planifier le chantier et de répartir les tâches. Pour cela, l'établissement d'un calendrier d'intervention est primordial. Il permet d'organiser efficacement et de manière optimale l'intervention des différents professionnels sur un même chantier. Le temps de travail nécessaire et l'appel à la sous-traitance devront également être estimés.

En effet, en amont de tout chantier, il est important de déterminer les ressources (main d'œuvre et matériel) et de les affecter. Dès lors, en plus du planning d'intervention, il faut prévoir les relations avec les fournisseurs pour les matériaux ainsi qu'un lieu de stockage.

Dans le cadre du suivi de chantier, la préparation permet de :

-Définir les méthodes à utiliser

- Sélectionner le personnel compétent
- Estimer le matériel nécessaire
- Anticiper les dépenses notamment les prestations externes
- Planifier les travaux
- Affecter les missions à chacun
- Définir les règles de suivi de chantier pendant l'exécution

I.5.2.2-L'exécution des travaux :

Pendant toute la durée des travaux, un suivi du chantier doit être effectué. Cela implique d'être rigoureux dans la collecte et l'archivage des informations mais aussi des différents documents afférents au chantier en cours. Des réunions de chantiers et des comptes rendus sont ainsi mis en place afin de permettre une bonne communication entre les différents intervenants et acteurs. L'avancement des travaux fait l'objet d'une surveillance accrue. Cette évaluation est réalisée en comparaison avec le planning prévisionnel. Il est alors possible de voir les écarts et de les corriger le plus tôt possible et donc de réduire les impacts négatifs. De même, faire des points réguliers permet de suivre la comptabilité du chantier. L'utilisation des ressources et le respect du budget sont ainsi contrôlés.

I.5.2.3-Le bilan de fin de chantier :

Le suivi de chantier ne prend fin qu'une fois le chantier livré. Un rapport est alors rédigé. Il retrace la vie du chantier et précise notamment les caractéristiques du chantier, les événements marquants, le planning réel, les états Pentagone ainsi que les points clés du chantier.[18]

I.5.3-Les difficultés habituelles pendant le processus de suivi.

-Les problèmes rencontrés :

- Absence de plans existants.
- Environnement complexe et à risque, hauteur, espace réduit, objets dangereux.
- Manque de précisions des relevés traditionnels.
- Planning serré. [19]

I.5.4- le contrôle par méthode nouvelle :

Dans le cadre d'une Convention BIM, l'équipe de BIM Management met en place un journal ou une check-list des contrôles. Il devra déterminer qui réalise ou participe à l'exécution des tâches associées à ces différents contrôles. La publication des modèles est dans le périmètre d'intervention des Coordinateurs BIM. L'équipe de BIM Management contrôle les informations du modèle, qui selon les éléments contractuels, peut être succinct à complet. Selon les résultats (quantités, criticité, etc.) l'équipe de BIM Management pourra :

- Demander aux contributeurs de documenter les écarts ;
- Demander aux responsables du modèle d'émettre à nouveau le modèle.

L'équipe de BIM Management suit la modification, les mises à jour et publie les modèles après accord.[20]

Tableau I.2 : Exemple de contrôles BIM [20]

Contrôles	Définition	Responsable
Contrôle visuel	Vérifier la concordance du modèle avec le projet	BIM Management
Contrôle géographique	Vérifier le positionnement géo-référencé du projet	Coordination BIM
Contrôle d'interférence	Détecter des incohérences physiques et logiques entre 2 éléments des modèles de projet	BIM Management Coordination BIM Production BIM
Contrôle de niveau de détail et d'information	Vérifier que les attributs des objets respectent bien le niveau de développement convenu pour la phase considérée	BIM Management
Contrôles des modèles	Vérifier l'adéquation des modèles géométriques, alpha numériques et analytiques vis à vis des objectifs définis dans les cas d'usages.	Coordination BIM
Contrôle des standards graphiques	Vérifier des standards graphiques CAD	Coordination BIM
Contrôle des processus	Vérifier que les processus des cas d'usage sont suivis.	BIM Management
Contrôle des notes et observations	Vérifier les processus de prise en compte des notes	BIM Management Coordination BIM
Contrôle des livrables	Vérifier la liste des livrables avec ceux attendus.	Coordination BIM
Contrôle la qualification des codes et nomenclatures	Vérifier le respect des classifications retenues pour le projet ou par les usages BIM.	Coordination BIM
Contrôle de l'environnement BIM	Vérifier le bon fonctionnement du serveur ou de la plateforme comme défini par la convention	BIM Management

I.5.5- Le Suivi et contrôle de chantier par le scanner 3D :

on ne compte plus les retards de chantier à la construction dus à des défauts de construction non constatés à temps. Une mesure 3D à intervalle régulier va permettre de coller aux plans de base et va éviter les mauvaises surprises de construction en fin de chantier qui peuvent induire des surcoûts importants comme des retards importants.

- Tout est mesuré. Numériser en 3D va permettre de prendre entre 500 000 à 2 millions de mesure par seconde. Tout est pris dans le moindre recoin : hauteur, distance des murs, cloisons, fenêtres, décrochés, plafonds, sols... Rien n'échappe au scanner laser 3D.
- Pas besoin de revenir sur site. Une mesure ne peut pas être oubliée si le scan est bien fait. Plus de mesures manquantes nécessitant des allers et retours longs et coûteux.

- Utilisation des mesures pour des plans 2D ou maquette 3D. Les mesures 3D converties en nuages de points et ortho-images (appelés aussi ortho-photos, ortho-projections) vont servir de base pour des plans 2D, des coupes, profils en long, profils en travers, des élévations du bâtiment. Une modélisation 3D à partir du nuage de points est aussi réalisable.
- Visite virtuelle. Une visite virtuelle du bâtiment entier est possible et partageable à distance avec les divers intervenants. Il est possible de mesurer sur cette visite. Un besoin de hauteur sur une pièce se situant au 3ème étage ? De mon bureau, un clic sur la visite virtuelle dans la pièce et la mesure est obtenue ! Il faut bien comprendre que des milliards de mesures sont faites et que donc tout est à disposition depuis son bureau.
- Obtention possible en 3D de structures complexes de bâtiment : charpentes compliquées, toiture en cône, endroits peu accessibles ou trop hauts (mesures 3D alors par drone).
- Simulation d'éclairage : à l'aide du modèle 3D et de logiciels de CAO, les infographistes peuvent simuler tous type d'éclairage. En maîtrisant différents paramètres comme la température des couleurs, l'intensité lumineuse ou encore les données constructrices sur les différentes formes de faisceaux (fichiers IES), vous obtenez un rendu 3D identique au résultat réel.
-
- Gestion du bâtiment à travers la maquette numérique. Le plus important de la démarche du bâtiment numérique sera la gestion du bâtiment tout au long de sa vie. Chaque intervenant pourra renseigner en temps réel la mise à jour de la maquette. Quand on sait que 70 à 80% du cout d'un bâtiment vient de sa gestion, on comprend mieux les économies de gestion apportées en travaillant de manière intelligente et connectée sur le jumeau numérique d'un bâtiment. [21]



Figure I.20 : suivi des travaux [4]

I.6.Conclusion :

Le BIM tend à se démocratiser dans les grands projets de construction grâce à la force du travail collaboratif qui le caractérise. La maquette numérique 3D intelligente et la base de données associée sont les piliers techniques du BIM.

Il existe aujourd'hui un fort engouement à développer l'usage du BIM, entraînant par ailleurs quelques dérives.

Les grands chantiers ne se limitent pas à des constructions neuves. La réhabilitation de bâtiments est en plein essor. Le scanner laser 3D est alors utilisé lors du relevé de l'existant. Son exhaustivité et sa simplicité de mise en œuvre sont des atouts indéniables. Les phases d'acquisition et de traitement sont généralement bien maîtrisées.

Le nuage de points issus du relevé scanner laser 3D constitue la base pour la modélisation du bâtiment et créer une maquette numérique en vue d'une application BIM. Seulement, de nos jours, la majorité des acteurs n'utilise pas le nuage de points à sa juste valeur. L'enjeu majeur est donc d'exploiter pleinement les informations présentes dans le nuage de points de manière automatique. [16]



CHAPITRE II :

*Suivi et contrôle des ouvrages
par la méthode traditionnelle*

II.1.Introduction :

Un projet de construction nécessite une organisation, un suivi et un contrôle du chantier rigoureux, afin de respecter les délais et l'enveloppe financière fixée d'être approvisionnés au moment, etc.

Le maître d'œuvre que doivent s'assurer que l'entreprise respecte le projet dans les conditions du marché. Ils doivent également contrôler que les travaux respectent la réglementation, notamment en matière de respect des normes de construction mais aussi de conditions de travail, d'environnement, de sécurité, de qualité d'exécution....[22]

Partie 1 : suivi des ouvrages

II.1. C'est quoi le suivi de chantier ?

Le suivi de chantier est essentiel lors de gros travaux, d'un agrandissement ou d'une construction neuve. Réalisé par un conducteur de travaux, un maître d'œuvre ou un architecte, il offre des garanties incontournables au propriétaire. Le professionnel accompagne, conseille, gère les entreprises du BTP et tente de réduire les délais de réalisation.[23]

II.2. Quels sont les Objectifs du contrôle et suivi d'un chantier ?

- Donner les repères nécessaires au bon suivi du chantier, tels que : planning, réunion de chantier et réception.
- Eviter les conflits liés à la méconnaissance des responsabilités de chaque intervenant
- Limiter les aléas de chantier : perte de temps, modifications, reprise d'ouvrages, malfaçons et retards. [24]

II.3. Les utiles utilisés :

- Appareille topographique (permanent).
- Vibreur
- Ecrasement
- ultrasonique
- Mètre (pour mesuré et vérification distances).
- Scléromètre.

II.4. Suivi de chantier : différents points à observer :

Pour la bonne marche de gros travaux, il est impératif de prévoir et surveiller les points suivants :

- ✓ Établir un planning des travaux et le faire respecter.
- ✓ Fixer les horaires d'intervention du maître d'ouvrage.
- ✓ Prévenir ses voisins qu'ils risquent d'être quelque peu importunés tout au long du chantier.
- ✓ Prévoir un lieu où stocker le matériel.
- ✓ Prévoir un lieu où les ouvriers pourront stationner. [25]

Bien entendu, le maître d'ouvrage se doit d'être régulièrement présent sur le chantier pendant les horaires de travail des ouvriers. C'est indispensable pour veiller :
au bon déroulement des travaux ; au respect des règles établies préalablement.

II.5. Les étapes principales du suivi de chantier :

II.5.1.La préparation :

Elle consiste à définir tout ce qu'il va falloir faire sur le chantier :

- **les moyens en hommes :** quelles équipes, quelles qualifications, combien de personnes, pendant combien de temps...
- **les moyens en matériel :** combien d'engins, de quels types, comment concevoir leur implantation sur le chantier le cas échéant, les parties confiées à des sous-traitants.
- **le planning :** qui intervient à quel moment, et comment les différentes tâches s'organisent les unes par rapport aux autres.

II.5.2.La mobilisation, l'installation :

Il s'agit de constituer les équipes, et de nommer les responsables et les collaborateurs. Derrière les titres, des noms. Chacun va prendre sa mission.

Parallèlement, sont implantés les matériels, les équipements sanitaires et de sécurité ... sans oublier le coin café.

II.5.3.La phase de travaux :

Le chantier va être découpé en phases. Les phases sont très différentes d'un ouvrage à l'autre.

- s'il s'agit d'un pont, l'équipe va commencer par les ancrages sur les deux rives, puis implanter les pylônes, puis le tablier du pont...
- s'il s'agit d'une route, l'équipe va commencer par le terrassement, puis construire les fondations,
- déposer la couche de revêtement, réaliser les ouvrages annexes...
- Il faut beaucoup d'organisation faire ce que l'on a prévu de faire, quand on a prévu de le faire, que chacun sache bien ce qu'il doit faire.
- Il faut en même temps d'une grande souplesse face aux imprévus :
 - le sol, la nature
 - la météo
 - l'histoire.

II.5.4. La fin du chantier :

En termes de métier, cela s'appelle la réception de l'ouvrage.

- Pour que l'ouvrage puisse être considéré comme terminé, il faut que le Maître d'ouvrage en « prenne réception », c'est-à-dire qu'il juge le travail conforme au contrat.
- La réception va être précédée par une inspection très détaillée.
- Le Maître d'ouvrage est susceptible de formuler des « réserves », et de demander à l'entreprise de Travaux Publics de parfaire son ouvrage.
- La réception définitive a lieu lorsque les réserves sont levées.
- Les équipes quittent alors le chantier. [24]

II.6. Organigramme standard de chantier :

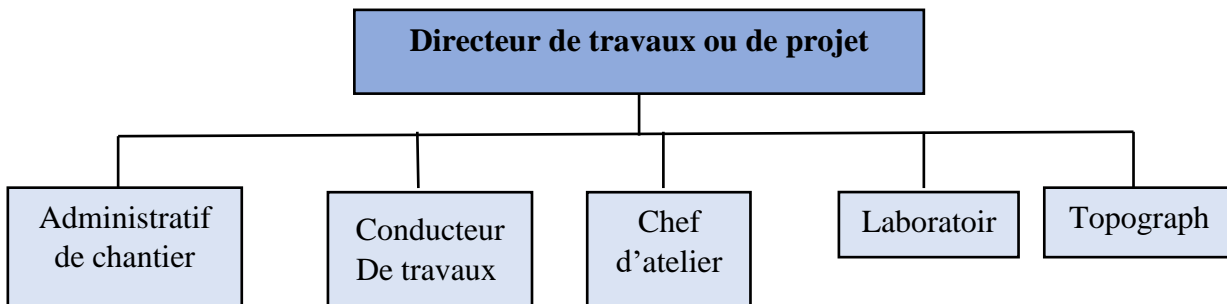


Figure II.1 : organigramme standard de chantier [24]

II.7. Personnes concernées :

- Maîtres d'ouvrages, Chargés d'opérations, Conducteurs de travaux, assistants et toute personne en charge du suivi d'une opération de construction ou de réhabilitation.
- Techniciens de maintenance.
- Architecte.
- Sous-traitants et Tâcherons.
- Les sous-traitants sont suivis par le biais de leur contrat. Contrairement aux sous-traitants qui possèdent d'ores et déjà une structure d'entreprise permettant les procédures de facturation, les tâcherons doivent faire l'objet d'un suivi comptable rapproché. [24]

Partie 02 : contrôle des ouvrages

II.1. Objectif d'une inspection détaillée périodique :

Une inspection détaillée périodique doit :

- donner un avis argumenté sur l'état de l'ouvrage et son évolution probable, à partir du relevé et de l'analyse des dégradations visibles, de l'examen du dossier de l'ouvrage et, le cas échéant, de l'analyse des actions de surveillance métrologique, d'auscultations ou de contrôles non destructifs ;
- proposer les actions à entreprendre pour garantir la sécurité des usagers et maintenir le niveau de service de l'ouvrage. [26]

II.2. Déroulement d'une inspection détaillée périodique :

Le synoptique ci-après présente les trois étapes essentielles d'une inspection détaillée périodique.

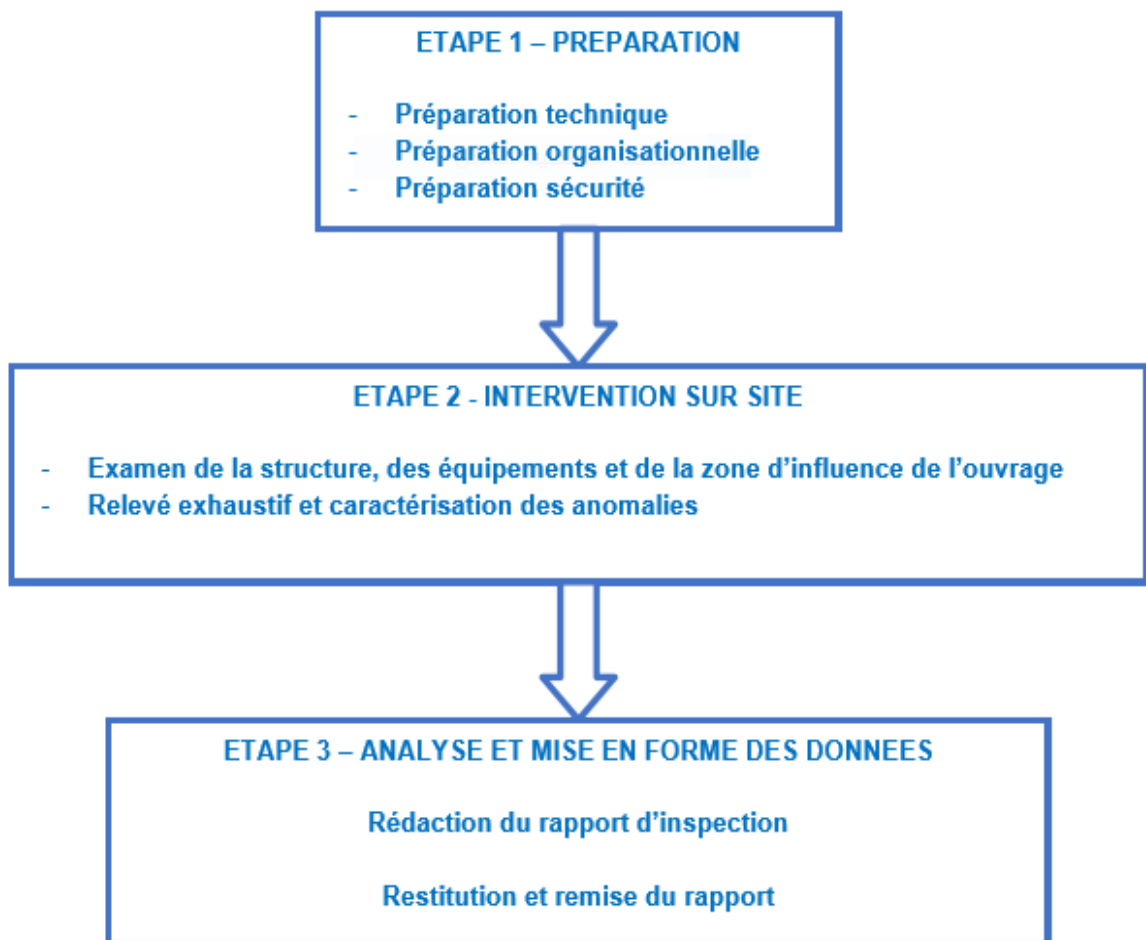


Figure II.2 : Synoptique de déroulement d'une inspection détaillée [26]

II.3. Compétences requises - Obligations de moyens :

II.3.1. Compétences requises :

L'inspection détaillée périodique d'un ouvrage d'art courant nécessite l'intervention d'une équipe comprenant à minima :

- Une personne de niveau ingénieur justifiant d'une formation spécialisée initiale ou continue en ouvrages d'art et en pathologie, ou d'une personne ayant suivi une formation qualifiante de chargé d'études en ouvrages d'art ;

Cette personne, dite « Chargé d'Études Ouvrages d'Art » est chargée de diriger et d'exploiter l'ensemble de l'inspection détaillée ;

- Une ou plusieurs équipes d'inspection dirigées :
 - ✓ soit par une personne titulaire d'un diplôme de niveau BTS génie civil (ou équivalent) et justifiant d'une expérience d'au moins 5 ans en inspection détaillée d'ouvrages d'art,
 - ✓ soit par un ingénieur ayant moins de 5 ans d'expérience et justifiant d'une formation spécialisée en génie civil et ouvrages d'art,
 - ✓ soit par une personne ayant suivi une formation qualifiante d'inspecteur en ouvrages d'art

Cette personne, dite « Inspecteur Ouvrages d'Art » intervient dans l'organisation pratique de l'inspection, réalise les relevés d'observation et propose au Chargé d'Études une interprétation des observations (cause, gravité).

Les compétences de l'équipe doivent être justifiées par les attestations de formation et de qualification externes et internes propres à leurs organisations.

Si, au moment de la réalisation, les qualifications des intervenants s'avèrent être autres que celles proposés dans son offre, l'entreprise devra fournir les curriculum vitae des intervenants effectifs pour soumission à l'approbation du représentant du pouvoir adjudicateur.

II.3.2. Obligation de moyens :

Le relevé visuel de l'état d'un ouvrage dans le cadre d'une inspection détaillée nécessite de passer un temps minimal d'observation.

A titre indicatif, le temps minimal à passer de jour, à pied d'œuvre, hors temps de pose et de dépose des moyens de protection (balisage, signalisation, déviation, coupure des voies) pour une équipe d'inspection constituée de deux personnes est :

- de 3 heures pour les petits ouvrages (type PICF¹, PIPO²) à une seule travée ;
- de 3 heures pour les ouvrages courants de moins de 50 mètres de long. Cette durée est augmentée d'environ une heure par tranche de 15 mètres de longueur de l'ouvrage au-delà de 50 mètres.

¹ PICF : Passage Inférieur Cadre Fermé

² PIPO : Passage Inférieur à Portique Ouvert

II.4. Matériel d'inspection et moyens techniques de relevé :

Le matériel et les moyens techniques doivent permettre à l'équipe d'inspection d'observer, de caractériser et de relever sur support durable les observations, anomalies et défauts constatés lors de l'inspection détaillée.

✚ Liste-type de matériel courant d'inspection

Liste non exhaustive ajustable aux caractéristiques particulières des ouvrages :

- Mètre ruban, décamètre, pied à coulisse ;
- Appareil photo numérique avec flash ;
- Jumelles, loupe, rétroviseur, lampe de poche ;
- Fissuromètre ;
- Marteau, burin, brosse métallique, grattoir ;
- Jauge de profondeur (cordon d'angle) ;
- Peinture en bombe, craie ou feutre indélébile ;
- Fil à plomb, niveau de maçon, niveau à bulle ;
- Sachet de prélèvement ou pilulier ;
- Échelle d'enroulement ;
- Planchette de relevé, papier, crayon, gomme ;
- Thermomètre / hygromètre ;
- Éventuellement : matériel de mesure particulier (extensomètre).

II.5. INSPECTION DÉTAILLÉE - ÉTAPE 1 : PRÉPARATION

II.5.1 Synoptique :

Tableau II.1 : le contenu de chacun des éléments de cette 1ère étape[26]

Désignation	Contenu
Organisation	Réunion de lancement
	Prévisite des ouvrages
	Identification des conditions d'accès
	Identification des conditions d'intervention
	Identification de la nature et de la durée d'obtention des autorisations d'interventions
	Identification des obstacles à la bonne exécution de l'inspection
	Définition des actions spécifiques à mener sur les ouvrages préalablement à l'inspection
	Validation des moyens d'accès
	Identification et communication des coordonnées des organismes impactés par l'inspection
	Plan d'Assurance Qualité
Technique	Communication des données d'entrée existantes
	Préparation des supports de relevés pour l'inspection
	Identification, préparation et vérification des techniques et du matériel de relevé
	Validation de la forme et des supports de diffusion des livrables
Sécurité	Plan de Prévention
	Définition des mesures de protection
Planification	Programmation des inspections (intégrant les aspects sécurité, autorisations et moyens d'accès)

II.5.2. Préparation organisationnelle :

- Réunion de lancement, à laquelle toutes les parties concernées par l'inspection devront participer.
- Prévisite des ouvrages objets de la commande en présence du gestionnaire :
 - Reconnaissance préalable.
 - Validation des moyens d'accès proposés dans l'offre.
 - Identification complète des moyens techniques à prévoir pour l'inspection.
 - Identification des obstacles susceptibles de gêner la bonne exécution de l'inspection et notamment l'évolution des moyens d'accès : végétation grimpante, arbres, lignes électriques, réseaux, dépôts divers, véhicules en stationnement gênant, campements, etc.
 - Identification des actions à prévoir pour supprimer ou éviter ces obstacles.
 - Validation des conditions d'intervention, notamment en termes de sécurité.
 - Validation des mesures de protection à mettre en œuvre.
- Identification de la nature et des durées d'obtention des autorisations d'intervention.
- Identification des organismes impactés par l'inspection de l'ouvrage (voies franchies, voies portées, voies soutenues, voies protégées, avoisinants).
- Identification des conditions particulières d'intervention, notamment pour des ouvrages franchissant, portant, protégeant ou soutenant des voies ferroviaires, des voies fluviales ou des domaines privés.
- Planning prévisionnel d'intervention.

II.5.3. Préparation technique :

- Communication et transmission par le maître d'ouvrage des données d'entrée existantes (dossier d'ouvrage, plans d'exécution, historique, rapports d'inspections et de visites antérieures...).
- Identification par l'entreprise et communication au gestionnaire de la liste des documents incomplets ou manquants pouvant nécessiter le recueil et / ou la vérification de certaines caractéristiques de l'ouvrage.
- Identification et analyse du type et du mode de fonctionnement des ouvrages.
- Analyse de l'historique :
 - Derniers événements de la vie de l'ouvrage, en particulier depuis la dernière action de surveillance.
 - Événements particuliers intervenus lors de la construction de l'ouvrage ou depuis sa réception (dans le cas d'ouvrages dont la mise en service date de moins de 8 ans).

- Préparation des supports (listes de points de contrôle, fonds de plans...) nécessaires au report et à la caractérisation des observations à partir des données d'entrée.
- Validation de la forme des livrables et de leurs supports de diffusion.

II.5.4. Préparation « Sécurité » :

- Analyse des risques spécifiques liés à l'inspection détaillée (analyse effectuée à l'issue de la Prévisite et de la réunion de lancement).
- Identification des mesures de protection et de sécurité à mettre en œuvre.
- Identification des autorisations et des intervenants nécessaires à la mise en œuvre de ces mesures.
- Signature d'un Plan de Prévention.

II.5.5. Planification :

- Planification de la mise en œuvre des moyens de protection (déviations, balisage, signalisation temporaire sur voies portées, franchies, soutenues, protégées ou avoisinantes).
- Définition des dates d'intervention, en tenant compte des délais d'obtention des autorisations et arrêtés de circulation : environ 4 semaines pour des voiries automobiles courantes, voire beaucoup plus pour d'autres types d'infrastructures (ferroviaires, fluviales, portuaires...).
- Commande des moyens d'accès spécifiques (nacelles, passerelles, nacelles sur rails...).
- Planification générale du programme d'inspection.
- Validation de ce programme par le maître d'ouvrage.

II.6. INSPECTION DÉTAILLÉE - ÉTAPE 2 : INTERVENTIONS SUR SITE :

II.6.1. Rappel de l'objectif de l'inspection détaillée :

L'inspection détaillée constitue un bilan de santé de l'ouvrage. À ce titre, lors des interventions sur site, elle comprend :

- L'examen visuel dit « au contact » de toutes les parties d'ouvrage.
- La caractérisation, au moyen de contrôles et de mesures simples, des observations : type, caractéristiques, étendue et localisation.
- Le report systématique des observations sur les documents supports préparés à l'étape 1 avec la prise de photographies permettant de visualiser l'ensemble de l'ouvrage et les observations réalisées.

II.6.2 Synoptique :

Tableau II.2 : le contenu de chacun des éléments de cette 2^{ème} étape[26]

Désignation	Contenu
Vérifications préalables	Conformité des dispositifs de sécurité et de protection définis à l'étape 1
	Complétion des travaux préparatoires définis à l'étape 1
	Mise en place des moyens d'accès définis à l'étape 1
	Mesure de la température ambiante sur et sous l'ouvrage Mesure de la température en surface de la structure (béton, métal ou maçonnerie)
Examen visuel exhaustif Caractérisation des observations (type, caractéristiques, localisation, étendue).	Structure
	<ul style="list-style-type: none"> Tablier Appuis (piles, culées, piédroits) Appareils d'appui Protection anti-corrosion Assemblages Fondations Structure et parement apparent (murs de soutènement) Ancrages, tirants (murs de soutènement)
	Équipements
	<ul style="list-style-type: none"> Étanchéité Dispositifs de retenue Dispositifs de protection Dispositifs de drainage et d'évacuation des eaux Chaussée Trottoirs Bordures Relevés d'étanchéité Joints de chaussée Joints de trottoirs Corniches Remblais, talus, quart de cône Signalisation permanente Eclairage Réseaux
	Zone d'influence et avoisinants
	<ul style="list-style-type: none"> Raccordement des accès à l'ouvrage Chaussée, trottoirs et revêtement des accès Dispositifs de drainage et d'évacuation des eaux Déplacement ou inclinaison d'arbres, de poteaux divers Présence et trace d'animaux fouisseurs Reliquats de travaux

II.6.3.interventions sur site -Détails complémentaires Fissures :

- Localisation, caractérisation (ouvertures, longueurs, présence d'exsudat, de méplats, de coulures de rouille...), et étendue de zones fissurées. - Relevés des observations sur les documents supports.

✓ Appareils d'appui :

Le relevé de l'état des appareils d'appui, inclut, entre autres, des schémas en plan permettant de visualiser leurs déformations, leurs déplacements et leur mode de fonctionnement (appareils d'appui fixes, glissants, mobiles...).

✓ Étanchéité :

Les observations relatives aux indices de défaut d'étanchéité doivent être clairement distinguées de celles concernant les joints (chaussées, trottoirs, joints de dilatation).

✓ Parements en béton :

Examen « acoustique » des parements douteux par sondage au marteau afin d'identifier, de localiser et de cartographier les zones « sonnantes creux ».

✓ Relevé « au contact » :

Le relevé de l'état des parements (intrados, piédroit...) et des éléments structuraux est réalisé à moins d'un mètre de distance afin d'être au contact de l'élément à inspecter structurel. Les zones d'appui (sommiers, appareils d'appui) doivent être rendues observables par un dépoussiérage dont la méthode interdira toute possibilité de colmatage des fissures et si besoin par un éclairage.

II.7.RÉALISATION D'UNE INSPECTION DÉTAILLÉE - ÉTAPE 3 :

II.7.1 Rapport d'inspection – Synoptique :

Tableau II.3 : le contenu de chacun des éléments de cette 3ème étape [26]

Élément de rapport	Contenu
Page de garde	Année de l'inspection détaillée Identification de l'ouvrage Vue générale
Identification	Voie de rattachement Centre de gestion Numéro d'identification
Localisation	Plan de situation Coordonnées GPS

Élément de rapport	Contenu
Caractéristiques générales	Coupe(s) transversale(s) Vue(s) en plan Elévations Appareils d'appui Autres détails nécessaires à la compréhension
Conception et exécution	Extraits pertinents du dossier d'ouvrage Liste des documents existants (notes de calcul, plans d'exécution...) Niveau de service
Historique	Historique millésimé depuis la construction Date de mise en service Actions de surveillance : inspections, visites Investigations spécifiques : essais, auscultations, mesures, diagnostics... Aménagements Réparations Modification de niveau de service Accidents, incidents
Conditions d'intervention	Inspection de jour / de nuit Durée de l'inspection, Conditions météorologiques
Parties d'ouvrages non inspectées	Avec justification précise de la raison de l'impossibilité de l'examen visuel rapproché
Moyens d'accès utilisés	Échelles, nacelles, passerelles, embarcations...
Moyens techniques particuliers utilisés	Endoscopes, matériel de mesure
Relevé des observations	Selon l'ordonnancement proposé au § 15.2 et 15.3

Élément de rapport	Contenu
<p>Note de synthèse (Détails au paragraphe 16.2)</p>	<p>Rappel des conclusions des dernières visites et inspections.</p> <p>Interprétation des constatations, mesures, essais et reconnaissances effectués lors de l'inspection.</p> <p>Avis argumenté sur l'état de l'ouvrage et son évolution probable, avec ou sans mesure préventive retardant les évolutions.</p> <p>Recommandations sur les actions à entreprendre pour assurer la sécurité et maintenir le niveau de service :</p> <p>Alerte sur les mesures à prendre pour assurer la sécurité des usagers et des avoisinants,</p> <p>Maintenance courante,</p> <p>Entretien spécifique,</p> <p>Suggestions de réparations, avec avis sur la nécessité d'entreprendre des études spécifiques en cas de réparations structurelles,</p> <p>Propositions d'investigations, des mesures et d'auscultations spécifiques pour lever les incertitudes sur la cause, la gravité et l'évolution des défauts,</p> <p>Suggestions d'aménagement de l'ouvrage,</p> <p>Proposition de périodicité pour les prochaines actions de surveillance.</p> <p><i>Si demandé explicitement par le maître d'ouvrage :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - cotation de l'ouvrage, - avant-métré des défauts.
<p>Cadre qualité</p>	<p>Dates, noms et signatures</p> <ul style="list-style-type: none"> - du rédacteur du rapport - du vérificateur du rapport - de l'approbateur du rapport
<p>Annexe photographique</p>	<p>Détail du contenu au paragraphe 16.2</p>
<p>Annexe graphique</p>	<p>Détail du contenu au paragraphe 16.2</p>

II.7.2. Contenu du rapport d'inspection – Précisions :

➤ **Relevé et analyse des observations :**

Chaque observation reportée dans le rapport sous forme de texte, de photographie ou de schéma doit être clairement qualifiée comme suit :

- type de défaut,
- caractéristiques physiques et dimensionnelles,
- étendue,
- localisation précise.

➤ **Analyse des défauts :**

Pour chaque défaut ou ensemble de défauts identifié comme tel dans le rapport, il sera indiqué clairement :

sa (ses) cause(s) possibles,

- sa gravité, en termes d'étendue, d'évolution et d'impact sur la sécurité et le niveau de service de l'ouvrage en cas d'absence de traitement correctif,
- si l'inspection détaillée ne l'a pas permis, les actions à prévoir pour identifier les causes, la gravité et l'évolution potentielle des défauts, avec indication du type d'investigation à mener (mesures, instrumentation, recherche documentaire approfondie, essais sous charge, recalcul).

➤ **Classement des défauts :**

L'analyse des défauts conduira à une proposition de classement en termes de causes, de gravité et de cinétique d'évolution probable.

Ce classement facilitera la priorisation et la programmation des actions à entreprendre.

II.7.3 Qualité et complétude du rapport d'inspection :

1. Pour les ouvrages en béton précontraint, si les données sont disponibles dans le dossier d'ouvrage et dans le cas de défauts liés à des anomalies de la précontrainte, il est pertinent de superposer les défauts relevés au tracé des câbles.
2. Pour les parties d'ouvrage en béton précontraint, toutes les fissures d'ouverture supérieure à 1/10 mm doivent être répertoriées de manière individuelle.
3. Pour les ouvrages en béton armé, seules les fissures supérieures à 3/10 mm le seront. Si l'ouvrage est très fissuré, avec de nombreuses fissures supérieures à ces échelles, on reportera en priorité les fissures les plus importantes.
4. Pour les parties en béton, si les défauts observés sont un faïençage dû à une réaction de gonflement interne avérée, les dimensions des zones dégradées seront relevées sans détail de la fissuration, sauf sur trois zones témoins de dimensions 20 x 20 cm.

5. Les épaufrures de béton avec aciers apparents de surface supérieure à 10 cm² devront être reportées sur les relevés graphiques.
6. Si la surface des épaufrures est supérieure à environ 100 cm², des précisions sur leur étendue, leur profondeur et sur l'état des aciers apparents seront fournies.
7. Pour les structures métalliques, toute fissure doit être relevée et caractérisée (localisation, longueur, ouverture).
8. Chaque partie d'ouvrage devra faire l'objet d'une photo générale.
9. Au cas où le maître d'ouvrage souhaite une cotation IQOA de son ouvrage, tout défaut côté 2E, 3 ou 3U fera l'objet d'une photo et d'un commentaire justifiant ce classement.
10. A titre indicatif, le rapport contiendra un nombre minimal de 15 à 30 photographies selon les dimensions et l'état de l'ouvrage.
11. Sous réserve que l'entreprise dispose d'un rapport d'inspection détaillée antérieur exploitable, les évolutions constatées sont clairement signalées sur les relevés de défauts, par exemple par un jeu de couleur spécifique.
12. Toutes les photos et schémas sont référencés et localisés.
13. Les rapports seront écrits en français et devront être exempts de fautes d'orthographe et de syntaxe. [26]

II.8. Conclusion :

Le suivi et le contrôle d'exécution des ouvrages d'art est un acte complexe du fait de nombreux aléas que peut subir un chantier. Pour maîtriser les risques techniques, les coûts et les délais d'exécution, les approches appropriées concernant l'organisation, le suivi et le contrôle sont donc nécessaires.[27]



CHAPITRE III :

*Suivi et contrôle des ouvrages
par la méthode scannérisation
3D*

III.1. Introduction :

Deux avancées techniques sont en train de conquérir les chantiers, en neuf et en rénovation, car ils permettent d'importants gains de productivité et de qualité : le scan, de plus en plus léger et abordable, et la géolocalisation.

Le scan, où comment améliorer la productivité sur chantier, Le scan 3D est utilisé en construction neuve d'abord pour repérer l'environnement avant le début des travaux. Pour les bâtiments existants, il permet dorénavant de créer facilement des plans en 3D pour les réintégrer dans les logiciels BIM. Ensuite, durant le processus de construction ou de rénovation, il est utilisé pour réconcilier les ouvrages construits avec différents degrés de précision, et identifier les divergences entre le prévisionnel et la réalité pour les corriger.[28]

Dans ce chapitre, nous expliquerons comment utiliser Lieca BLK360 Pendant le processus de construction, Pont Sed Roumi de Ouled Bdeira, wilaya de M'sila.



Figure III.1 : site des travaux Pont Sed Roumi de Ouled Bdeira

III.2. Définition de la numérisation 3D :

Notre analyse du marché de la modélisation numérique des bâtiments dans une démarche collaborative BIM a mis l'accent sur le besoin de posséder une image exacte tridimensionnelle des bâtiments "Tels Que Construits", renforcé par l'émergence de nouvelles franges d'activités digitales reposant sur la numérisation des espaces. Ce contexte permet de comprendre les enjeux ayant donné naissance à la numérisation 3D. Maintenant que nous saisissons la vision qui se cache derrière cette activité, il est temps de la définir de manière plus précise.

La numérisation 3D représente l'activité visant à virtualiser un espace réel sous la forme de données numériques tridimensionnelles à des fins d'exploitation informatique.[29]

III.3. Le but d'un scanner 3D :

Le but d'un scanner 3D est généralement de créer un modèle 3D. Ce modèle 3D se compose d'un nuage de points d'échantillons géométriques sur la surface du sujet. Ces points peuvent ensuite être utilisés pour extrapoler la forme du sujet (un processus appelé la reconstruction). Si l'information couleur est collectée à chaque point, puis les couleurs sur la surface du sujet peuvent également être déterminées. [30]

III.4. Processus de la numérisation 3D :

Les relevés 3D sont effectués en 3 étapes :

La première étape consiste en la numérisation physique avec des appareils de relevé de site (Faro ou Leica), la deuxième étape consiste à traiter les nuages de points relevés (transformation en objets), et la dernière étape consiste finalement à extraire les informations souhaitées par l'opérateur de la maquette numérique de l'existant pour les fournir et les utiliser comme souhaité.[31]



Figure III.2 : les étapes de la numérisation [4]

III.4.1. Relevé 3D sur site :

III.4.1.1. Matériels et logiciels utilisée :

III.4.1.1.1. concernant la scanner laser lieca BLK360 :

Leica BLK360 Scanner laser avec imagerie

- Vous permet de numériser rapidement et en haute résolution
- Poids 1kg / taille 165mm de long et 100 mm de diamètre
- Moins de 3 minutes pour un scan complet de dôme

(en résolution standard) et 150MP d'image sphérique

- Laser scan de 360.000 points à la seconde
- Image HDR et thermique. [32]



Figure III.3 : BLK360 ET Accessoire [4]

III.4.2. Flux de travail du BLK360 :



Figure III.4 : les positions totales d'un scanner leica BLk360

III.4.2.1. Etapes 1 : Capture

✚ Situer le modèle dans l'espace :

Les coordonnées X, Y, Z d'un point peuvent être exprimées selon de nombreux référentiels. Si aucun référentiel spécifique n'est associé à l'appareil lors du relevé, la position absolue des points sera donc arbitraire. Pour certaines techniques, la dimension même des objets sera arbitraire, et seul le rapport de distance entre les différents points de l'objet sera respecté dans le nuage.

On peut donc appliquer différents types de référencement à des données tridimensionnelles. Il peut s'agir d'un référencement absolu, ou « géolocalisation », où la position de chaque point est donnée sur un référentiel terrestre, sur base de mesures GPS par exemple. On peut également choisir un référencement local, avec une origine (0, 0, 0) choisie sur base pratique.[33]



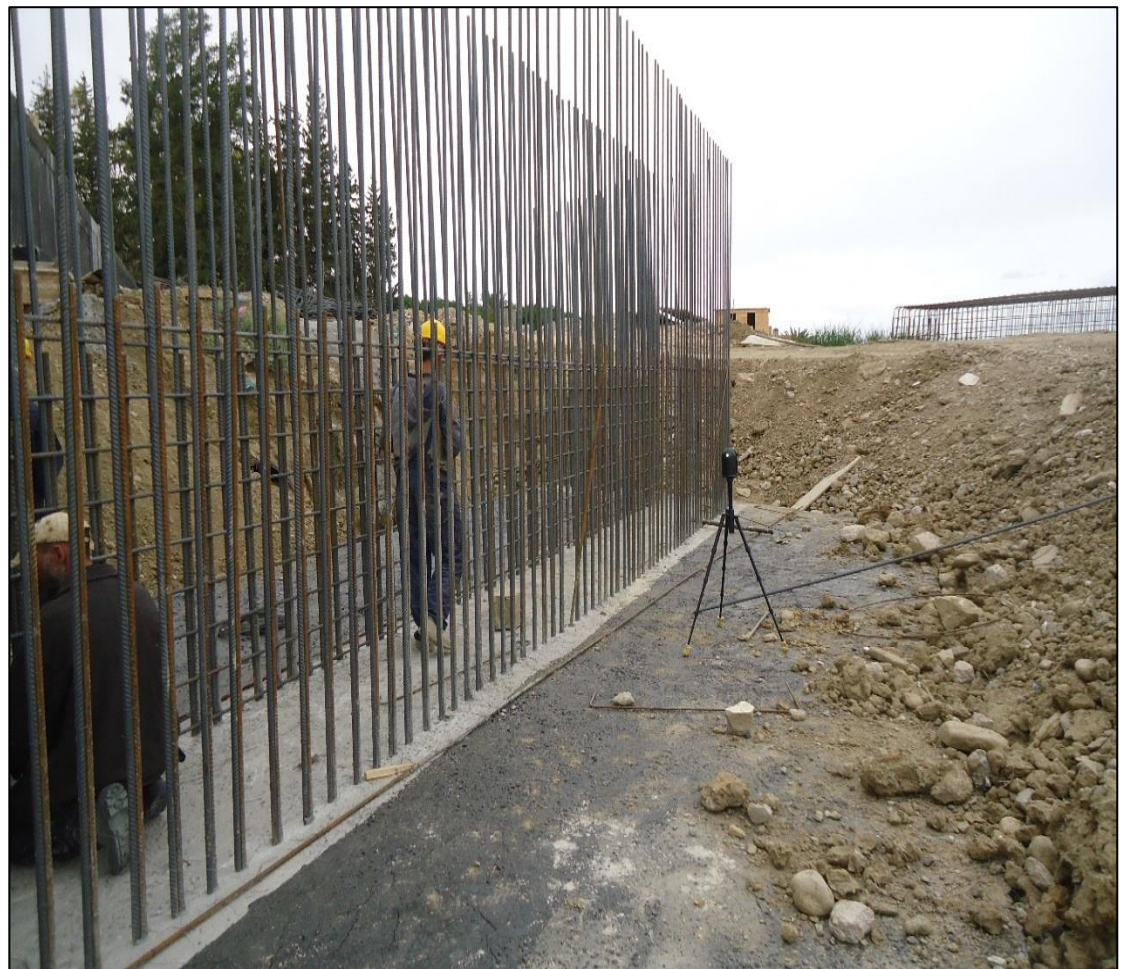




Figure III.5 : Photos des positions de l'emplacement du BLK360 pour obtenir une image complète du chantier de construction

III.4.2.2. Etapes 2 : Transfert de données

✚ Flux De Travail Avec ReCap® Pro Pour Mobile :

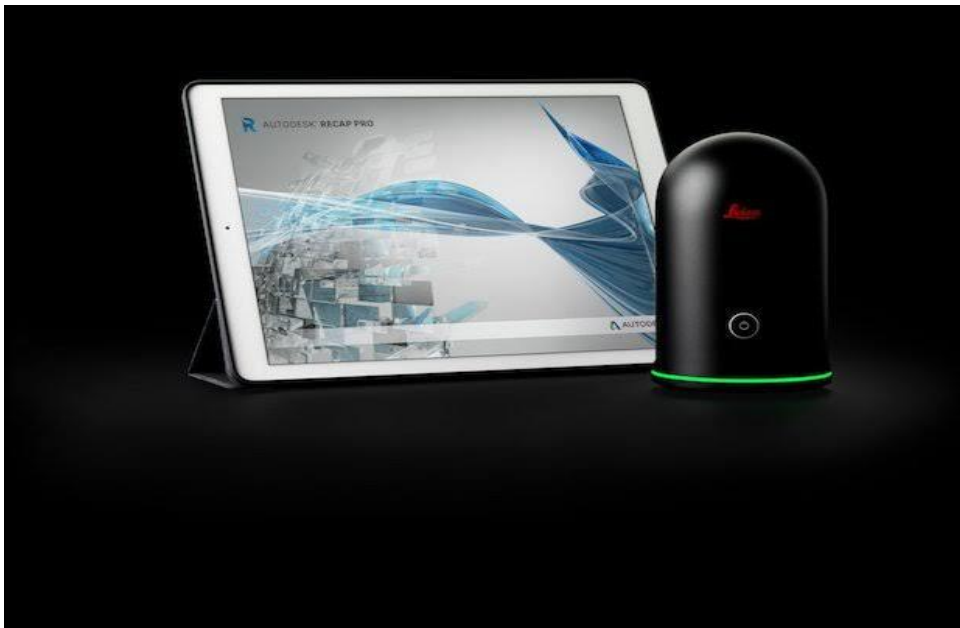


Figure III.6 : transfert donne BLK 360 ReCap pro mobile [4]

ReCap® Pro pour mobile intègre les fonctions les plus appréciées de la version de bureau de ReCap® Pro dans votre iPad Pro™. Elles sont comprises dans toutes les souscriptions à ReCap® Pro.

Appuyez sur le bouton de votre scanner BLK360 pour allumer l'appareil. Dès lors, l'interface utilisateur simple de ReCap® Pro pour mobile vous guide dans le processus de capture de la réalité.

Le BLK360 est relié à ReCap® Pro pour mobile par une connexion wifi. Pour commencer la numérisation, tapotez sur « Nouvelle numérisation », puis personnalisez vos paramètres de numérisation.

Au fur et à mesure que le BLK360 exécute le processus de numérisation, les images et les données du scan sont transmises dans l'appli en temps réel. Une numérisation complète à 360° peut se faire en 3 minutes seulement. Au fur et à mesure que vous collectez vos numérisations, elles s'enregistrent automatiquement dans un même projet de nuage de points.

Lorsque c'est terminé, visualisez l'image à 360°. Vous pouvez prendre des mesures de distance dans l'application mobile directement sur votre iPad.

Repérez des éléments de l'image avec du texte et des annotations sur les photos.

Visualisez les données concernant le chantier, où que vous soyez. Revenez sur les lieux dans le contexte du monde réel en visualisant l'image sphérique.

Lorsque vous êtes prêt(e), téléchargez vos données dans ReCap® Pro sur votre ordinateur de bureau, puis préparez votre nuage de points pour utiliser les outils de conception de Autodesk. [34]

III.4.2. 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...) [35]



Figure III.7 : exploitation nuage de points, mesures des distances

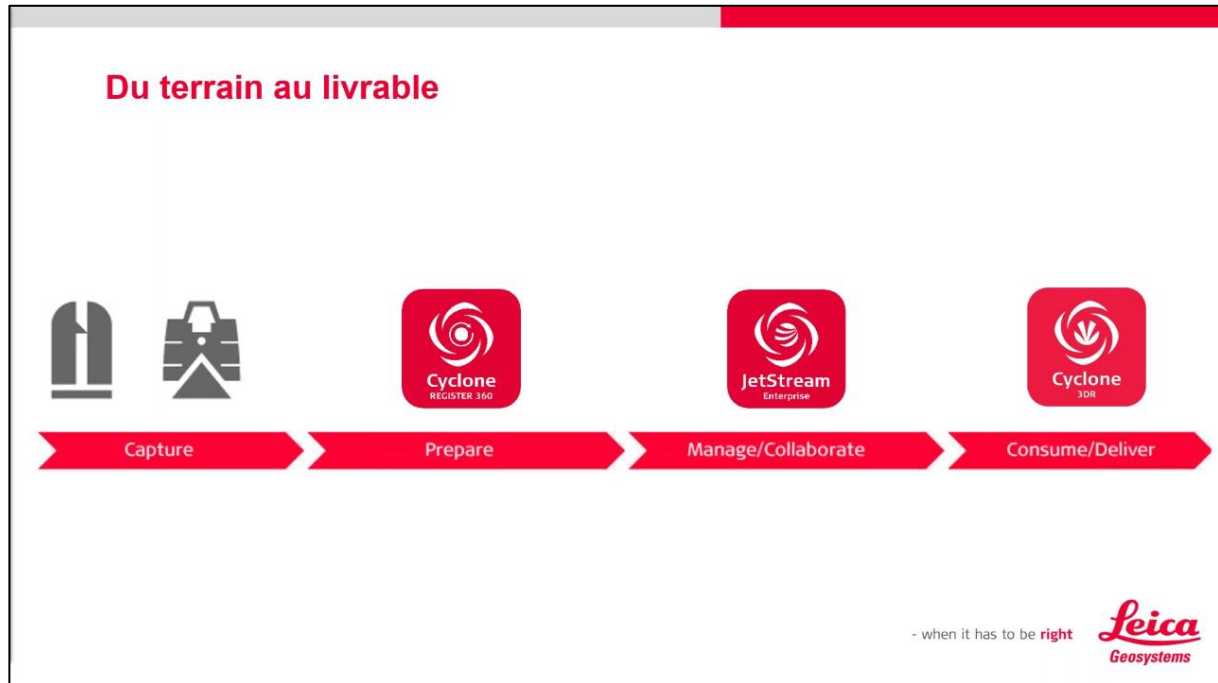


Figure III.8 : déménager du terrain au livrable [4]

III.4.2.1. cyclone REGISTER360 :

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.

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.

- **Vitesse :**

Glissez, Déposez, Terminez. De la création du projet au rapport final, l'achèvement du projet est nettement plus rapide grâce à un ensemble de routine multi-tâches, à une importation et un traitement en une étape, à des flux de travail guidés, à des outils de contrôle de qualité et intégrés et à des rapports automatisés permettant de gagner un temps considérable

- **Echelle :**

Cyclone REGISTER 360 s'adapte à vos besoins pour que même les nouveaux utilisateurs puissent exécuter de grands projets avec une interface simple mais puissante.

- **Simplicité :**

Délivrez facilement les résultats attendus d'un projet de niveau professionnel. Cyclone REGISTER 360 fournit des flux de travail guidés pour aider les nouveaux utilisateurs et accélérer le processus pour les utilisateurs expérimentés. Des outils de contrôle de qualité intuitifs et des rapports simplifient la certification de la qualité de votre assemblage et mettent toutes les informations dont vous avez besoin à portée de main. Groupez les exports de vos produits finis vers de nombreux formats standard et transférez vos données vers les produits cloud et d'entreprise intégrés de Leica Geosystems pour une collaboration en un clic. [36]

III.4.2.2. Jetstream Entreprise :

Leica JetStream Entreprise - Gestion rapide, Affichage pour le Big Data

Points illimités, tout le temps

Leica JetStream Entreprise apporte vitesse, échelle et simplicité à travailler avec les nuages de points dans les systèmes CAO.

JetStream Entreprise permet tout le temps de rendre à très haut débit tous vos points pour vous permettre de travailler avec vos plus grands jeux de données cloud de points de manière transparente dans votre système CAO préféré.

L'accès facile à vos données cloud de point de projet, en combinaison avec la suite de plugins Leica Cloudworx, vous permet de travailler intuitivement au sein de l'interface familière et de l'écosystème de projet de votre plate-forme CAO pour réduire la courbe d'apprentissage et les maux de tête de travailler avec les données de nuage de point.

Le stockage et l'accès centralisés des données simplifient une approche de travail d'équipe en supprimant les doubles emplois inutiles et sujets aux erreurs, en simplifiant les flux de travail de sauvegarde et en apportant de l'efficacité à la gestion des données pour vous faire économiser du temps et de l'argent.

- **Vitesse et rendu sans couture :**

La technologie JetStream exclusive de Leica Geosystems permet au rendu ultra-haute vitesse de vos données de cloud de points d'ouvrir instantanément et d'afficher un nombre illimité de points tout le temps lorsque vous naviguez dans votre jeu de données. En éliminant les temps de décalage frustrants entre les zooms, les panoramiques et les clips, JetStream aide à éliminer la confusion et améliore la compréhension et la productivité des utilisateurs.

- **Échelle pour le Big Data et le petit stockage :**

Leica JetStream Entreprise a été conçu avec les utilisateurs de big data à l'esprit. JetStream Entreprise surmonte le plus grand défi de productivité en utilisant des nuages de points à l'intérieur des systèmes CAO : la taille sans cesse croissante des données de nuage de points. Avec des tailles de fichiers 5x à 10x plus petites que le stockage traditionnel, JetStream Entreprise réduit vos coûts de stockage.

Même les plus grands jeux de données rendent en deuxième vous donnant la plus grande fidélité de nuage de point possible. Ne sacrifiez pas la précision à cause d'un mauvais rendu ; prendre des décisions éclairées en fonction de toutes vos données.

Le serveur JetStream Enterprise est un référentiel de données facile à gérer qui accepte les nuages de points directement à partir de Cyclone et les rend disponibles directement aux utilisateurs de CAO via le plugin CloudWorx.

Le serveur est robuste et configurable sur le backend mais presque transparent sur le front end afin que les utilisateurs productifs n'ont pas à penser à la gestion des données et des transferts.

- **Flux de travail simples, collaboration et sauvegarde :**

La gestion de projet simplifiée de JetStream Enterprise isole les utilisateurs de la nécessité d'une expertise détaillée en matière de cloud de points en leur permettant de travailler directement dans leurs systèmes CAO préférés grâce à des plugins intuitifs Leica CloudWorx. Le stockage et l'accès centralisés des données simplifient une approche de travail d'équipe en supprimant les doubles emplois inutiles et sujets aux erreurs, en simplifiant les flux de travail de sauvegarde et en réduisant l'efficacité de la gestion des données pour vous faire économiser du temps et de l'argent. [37]

III.4.2.3. Cyclone 3DR :

Leica Geosystems, filiale du groupe Hexagon, a lancé le nouveau logiciel Leica Cyclone 3DR pour la capture de la réalité. Ce nouveau logiciel associe la technologie de gestion centralisée des nuages de points de Leica Cyclone à l'analyse automatique avancée des nuages de points et de modélisation de 3DReshaper. Le nouveau logiciel offre aux utilisateurs une plate-forme simplifiée pour l'arpentage, l'architecture, l'ingénierie, la construction et l'inspection de réservoirs.

Cyclone 3DR, basé sur des workflows spécifiques à l'industrie, offre une série de fonctionnalités utiles et adaptables permettant d'automatiser le nettoyage, la modélisation, le maillage, l'extraction de données, l'inspection et la création de rapports. Une large gamme de produits 3D peut être créée pour répondre aux besoins des professionnels de la capture de la réalité dans un large éventail de domaines de travail. Des flux de travail spécifiques pour la supervision de la construction et l'inspection des tunnels et des réservoirs (basés sur la norme API 650/653) sont également disponibles. Cyclone 3DR permet également l'utilisation d'applications de capture de la réalité dans de nombreux autres secteurs en prenant en charge des formats de données tels que IFC, STL, OBJ, VRML, DXF, STEP et IGES.

« Leica Cyclone 3DR est une avancée majeure », explique Sander Schrodor, responsable de l'innovation chez Coenradie Engineering. « La possibilité de combiner les flux de travail Cyclone et 3DReshaper améliore considérablement l'efficacité et permet de bénéficier du meilleur des deux solutions pour optimiser la productivité de l'ensemble du processus. »

Basé sur la technologie Leica Jetstream, qui permet de visualiser et d'utiliser rapidement des données de capture de la réalité, Cyclone 3DR simplifie le processus de mise

à disposition directe des informations de travail aux clients. Cyclone 3DR combine les compétences combinées de 3DReshaper et de Cyclone pour offrir une solution innovante capable d'accélérer et d'améliorer à la fois le traitement des données, la visualisation et la production de maillages ou de rapports. »

« Notre objectif principal est de faciliter le travail quotidien de nos clients. C'était notre point de départ pour le développement de Cyclone 3DR », a ajouté Faheem Khan, Vice-président Survey Solutions chez Leica Geosystems. « Non seulement les utilisateurs – existants et nouveaux – trouveront l'interface utilisateur intuitive du logiciel très attrayante et confortable, mais nous avons également créé des workflows spécifiques sur mesure pour les secteurs et les applications dans lesquelles travaillent nos clients. » [38]

III.4.3. Maquette BIM et plan :

Le nuage de points finalité permet la création de la maquette numérique 3D.[35]

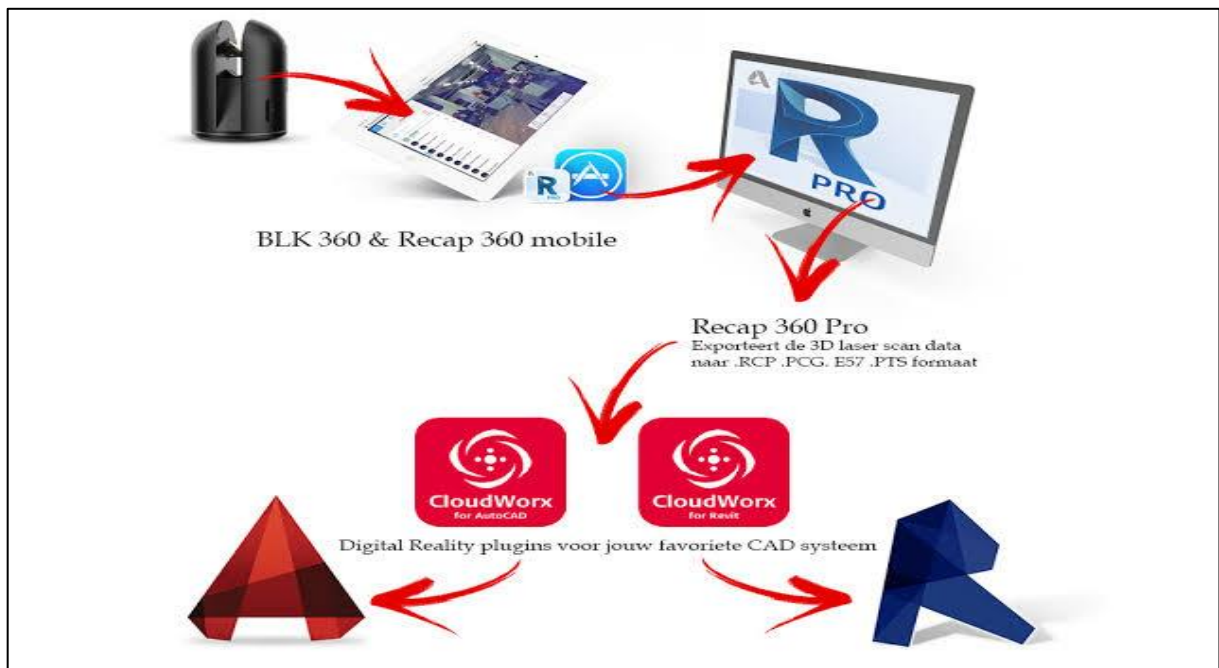


Figure III.9 : les logiciels utilisés dans le processus de la modélisation.[4]

III.4.3.1. Leica CloudWorx pour Revit Applicatif pour nuages de points :

Leica CloudWorx pour Revit est un incroyable applicatif pour utiliser avec efficacité le nuage de points, capturé par scanner laser 3D, directement dans Revit pour une modélisation BIM optimale des bâtiments existants. Utilisé pour diverses applications BIM (la rénovation, la construction et les chantiers, ainsi que la gestion et la maintenance du cycle de vie du bâtiment), cet applicatif offre une visite virtuelle du site avec une vue complète de la réalité capturée.

L'utilisateur utilise l'interface et les outils familiers de Revit ce qui réduit le temps d'apprentissage pour exploiter des nuages de points. Leica CloudWorx utilise les puissants

outils de gestion de nuages de point de Leica Cyclone et de JetStream pour permettre aux utilisateurs de Revit de visualiser et créer des modèles BIM avec efficacité depuis des jeux de données toujours plus importants des nuages de points. L'utilisateur profite de tous les avantages d'une application haute performance de gestion de nuage de point directement dans Revit.

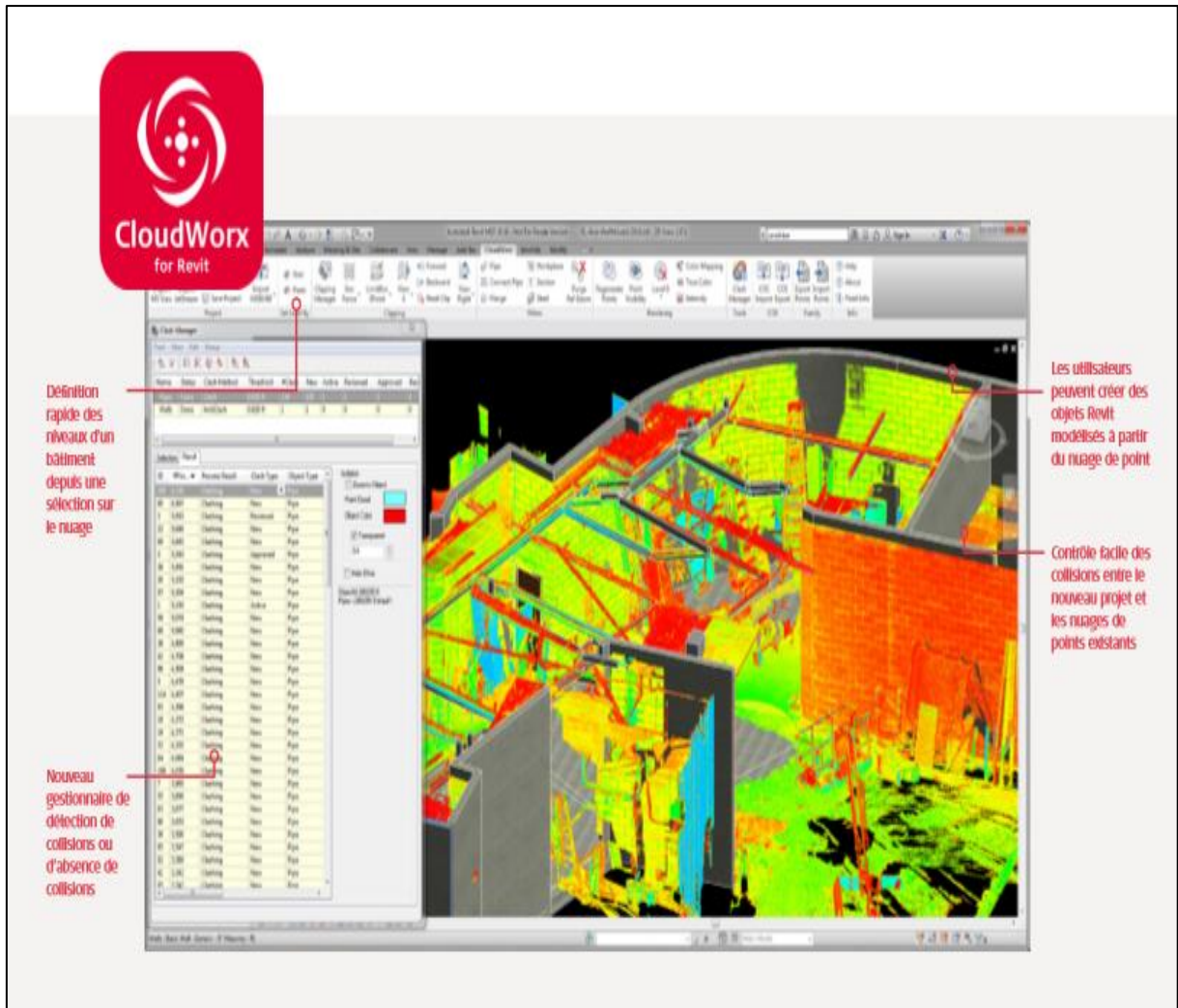


Figure III.10 : Interface Leica CloudWorx pour Revit[39]

III.4.3.1.1. Caractéristiques et avantages :

- JetStream Experience vous permet d'expérimenter les performances de JetStream.
- Gestionnaire d'interférence
- Import/Export COE
- Sources de données optionnelles Cyclone, JetStream, et ReCap
- Manipulez et naviguez de large jeu de données de nuage de points plus rapidement
- Modélisez des murs qui ne sont « pas d'aplombs »
- Travaillez avec des données de nuage de points issues de n'importe quel scanner laser dans Revit

- Éliminez de votre processus les temps d'export/import trop longs avec les données de nuage de point de Cyclone
- Définissez les niveaux de vos bâtiments directement depuis le nuage de points
- Ajustez l'affichage du nuage de point avec les coupes, sections et boîtes de limite.
- Trouvez automatiquement les lignes de centre et diamètres des tuyaux, conduites et colonnes
- Définissez votre plan de travail depuis le nuage de point
- Positionnez n'importe quel objet modélisé de Revit (murs, sols, etc.) depuis une sélection sur le nuage de points
- Importez les projets ReCap.

III.4.3.1.2. L'avantage d'un applicatif :

La prise en charge de nuages de points d'Autodesk Revit, bien que disponible, est limitée et insuffisante pour beaucoup de vos traitements de base de nuage de points. Les utilisateurs de l'applicatif Leica CloudWorx profitent d'outils additionnels et d'une solution de modélisation BIM offrant une meilleure productivité et une plus grande efficacité. Les utilisateurs de CloudWorx pour Revit ont l'avantage d'un accès au nuage de points simplifié, l'utilisateur peut ouvrir un projet Cyclone ou JetStream directement dans Revit, sans avoir besoin de convertir les formats. L'utilisateur aura à sa disposition une large sélection d'outils pour efficacement ajuster et contrôler les paramètres d'affichage du nuage de points, quelle qu'en soit sa taille grâce à la technologie de Leica JetStream.

III.4.3.1.3. Commande d'affichage de nuages de points :

Pour se concentrer sur une zone d'intérêt, des outils simples d'utilisation définissent une zone de points en 3D à afficher. Pour une compréhension améliorée du nuage de points ; des coupes, des fenêtres ou encore des sections peuvent être sélectionnées.

III.4.3.1.4. L'avantage de la modélisation BIM :

Des outils pour modéliser directement des plans de travail depuis le nuage de point ou configurer des plans de travail facilitent le processus du BIM depuis les nuages de points. Des outils additionnels permettent la modélisation intelligente de sections acier, poutres, tuyauteries et de lignes 2D ou encore le positionnement précis de murs, sols, éléments de structure, portes, fenêtres, équipement mécanique, etc. Leica CloudWorx pour Revit permet d'importer directement des modèles COE depuis Cyclone, et/ou d'exporter certains modèles Revit en COE, tout ceci facilite l'interopérabilité totale.

III.4.3.1.5. BIM pour les projets de rénovation :

Les ingénieurs, les entrepreneurs, les architectes et les concepteurs peuvent utiliser CloudWorx pour les projets de rénovation afin d'examiner les conceptions proposées à la recherche de conflits éventuels avec les conditions existantes telles que construites pour arrêter les erreurs critiques le plus tôt possible avant qu'elles n'aient le temps de ralentir ou arrêter un projet. Le niveau de détail inégalé fourni par les nuages de points permet aux utilisateurs de concevoir, créer, détecter les interférences, visualiser et interagir dynamiquement avec le monde réel tel qu'il a été capturé dans le nuage de points. Les utilisateurs bénéficient alors d'une immersion virtuelle sur le site directement dans Revit

Leica CloudWorx pour Revit fournit les outils essentiels de modélisation nécessaires pour créer un modèle BIM avec efficacité et précision d'une structure existante.[39]

III.5. Les résultats du processus de numérisation :

Images Full 3D et HDR. Complet pour chaque site à travers lequel nous pouvons obtenir des mesures de longueurs et de distances. Nous pouvons également obtenir les coordonnées de chaque point.

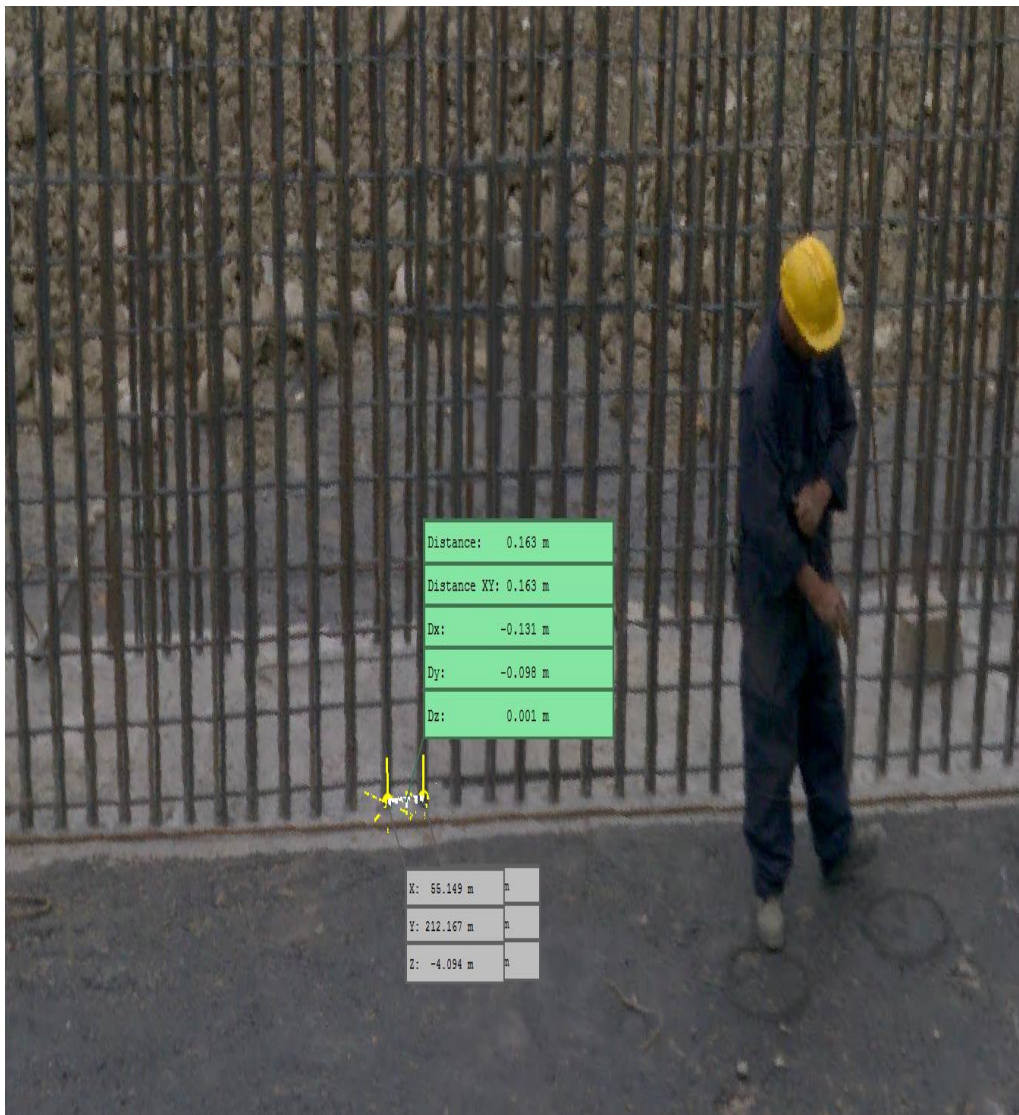


Figure III.11 : calcul la distance entre les pares

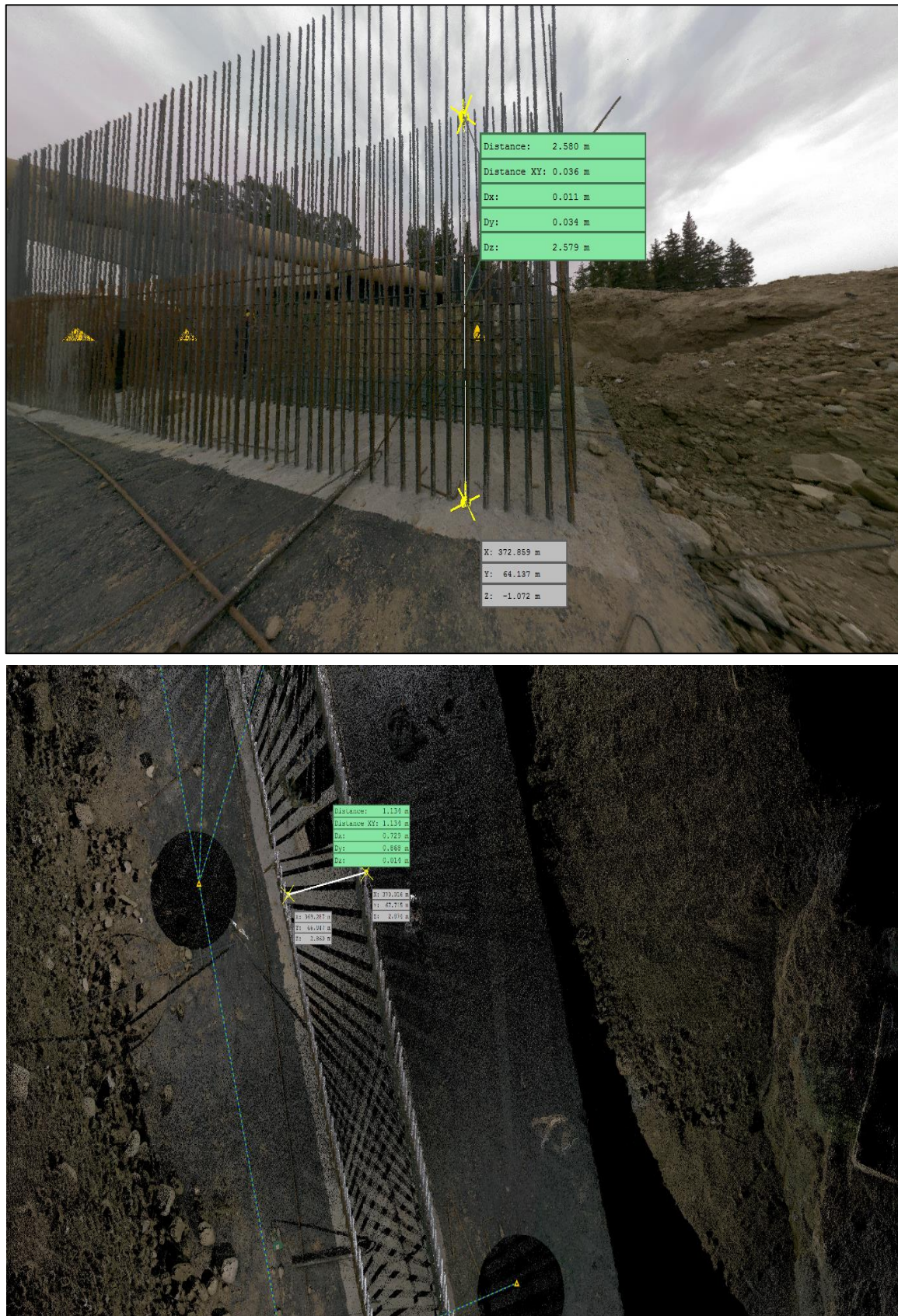


Figure III.12 : calcul la longueur des paires

III.6. comparaison entre les deux méthodes (traditionnelle et scannérisation 3D) :

III.6.1. La méthode traditionnelle :

Tableau III.1 : récapitulant les avantages et inconvénients du la méthode traditionnelle

Les avantages	Les inconvénients
-L'équipement est très bon marché.	-inconvénients liés à l'œil humain, c'est-à-dire une faible productivité et une certaine subjectivité, entraînant un manque de fiabilité. -il a besoin d'une longue période dans le site. -Exposition aux dangers lors de la surveillance, en particulier dans les grandes structures.

III.2. La méthode scannérisation 3D :

Tableau III.2 : récapitulant les avantages et inconvénients du la méthode scannérisation 3D

Les avantages	Les inconvénients
-vitesse de travail : 3 min pour chaque station -Contrôle à distance : Enregistrement automatique et visualisation des données sur le terrain. -Utilisation simple : Un seul bouton pour lancer le scan. - Léger : 1kg -Visite virtuelle du levé avec prise de cotes complémentaires, annotations, ... - Possibilité de ne pas pointer les cibles lors de la mise en station, reconnaissance auto des cibles lors du traitement. Longue portée : jusqu'à 60m. Un seul logiciel : Cyclone. - une précision proche du millimètre et vous donne la garantie de n'oublier aucune mesure et recoin.	- Logiciel et mise à jour cher. - les appareils chers - Formation nécessaire. - Le désavantage est que pour passer d'un nuage de points à une maquette numérique présentant des objets, le temps passé est long.

Après la comparaison, nous voyons que la méthode scannérisation 3D c'est une Meilleure méthode pour suivi et contrôle des ouvrages.

Parce que l'on estime qu'un relevé est 5 fois plus rapide que la méthode traditionnelle, les scanners 3D sont aujourd'hui le point d'entrée optimal pour la création d'une maquette numérique de l'existant. Qu'ils soient fixes ou mobiles, les scanners projettent un laser dans toutes les directions autour de son axe pour détecter les distances de chaque paroi. Différents modèles existent avec des prix variant de 15 000 à plus de 80 000€ et avec des niveaux de précision plus ou moins importants. "Les scanners 3D constituent la réponse la plus efficace et fiable pour numériser un bâtiment. En effet, contrairement aux plans 2D, qui s'avèrent très souvent obsolètes, ces machines effectuent un relevé du « tel que construit ».[40]

III.7. Conclusion :

En raison de sa polyvalence et du degré élevé d'automatisation des processus de mesure, un scanner laser n'est pas seulement un appareil géodésique, un scanner laser est un outil permettant de résoudre rapidement un large éventail de problèmes d'ingénierie appliquée.

La technologie même du balayage laser s'ouvre ligne entière nouvelles opportunités auparavant indisponibles. Cela est principalement dû à l'utilisation plus complète de la technologie informatique... Les résultats obtenus sous la forme d'un nuage de points ou d'un modèle 3D peuvent être rapidement déplacés, mis à l'échelle et pivotés. Il existe une possibilité de visite virtuelle de l'image avec un enregistrement dans un fichier multimédia standard pour un affichage ultérieur. Aucune autre méthode ne peut donner une image aussi complète de l'objet. Dans le même temps, nous travaillons non seulement avec une image, mais avec un modèle qui préserve la correspondance géométrique complète avec les formes et les tailles d'un objet réel. Cet état de fait permet de mesurer les distances réelles entre tous les points ou éléments du modèle. Malgré la nouveauté exceptionnelle, la technologie offre la possibilité d'obtenir automatiquement ou semi-automatique des informations et des documents sous la forme habituelle - dessins de profils, coupes transversales, plans, schémas.

CONCLUSION GENERALE

Dans cette mémoire, nous avons fait une comparaison entre les méthodes traditionnelles qui sont encore utilisées en Algérie pour suivi et contrôle les travaux de construction et les ouvrages, et les méthodes de surveillance modernes qui dépendent de la technologie de laser scanning 3D. Et nous avons trouvé que :

Le scanning laser 3D est un développement impressionnant et constitue désormais une alternative solide à la réalisation de levés topographiques détaillés et dans le domaine de la surveillance des travaux. Il a été décrit comme une solution intéressante en termes de précision, de fiabilité, de polyvalence, de vitesse et de portabilité.

Les scanners laser 3D sont des outils faciles à prendre en main. Ils permettent de révolutionner les techniques de mesures dans la construction.

Références bibliographiques :

- [1] Ing. G. LAMAILLE Ing. J. LAHAYE L'utilisation du Scanning Laser 3D pour la documentation as-built des projets BIM ; 2016
- [2] Thèse Professionnelle, DU SCAN 3D AU BIM POUR LES GESTIONNAIRES DE PATRIMOINE ; 2014-2015.
- [3] <http://virtuascan.ch/notre-offre>. Consulter le 3/3/2020 en 16h29min
- [4] image Google
- [5] [http://fr.m.wikipedia.org/wiki/Nuage_de_points_\(géométrie\)](http://fr.m.wikipedia.org/wiki/Nuage_de_points_(géométrie)) consulter le 29/2/2020 en 16h57min
- [6] <http://biblus.accasoftware.com/fr/scanners-laser-drones-et-photogrammetrie-numerique-les-nouvelles-technologies-pour-la-construction/> consulter le 4/3/2020 en 12h41min
- [7] <http://www.objectif-bim.com/> consulter le 3/3/2020 en 19h2min
- [8] Hyun-Jae YOO le 13 janvier 2011 ; Analyse et conception de scanners laser mobiles dédiés à la cartographie 3D d'environnements urbains ; CONFIDENTIEL JUSQU'AU 13 JANVIER 2014
- [9] <https://numerisation3d.construction/definition-scanner-laser-3d/?v=fa3c7f2b5dae>
- [10] <https://leica-geosystems.com/fr-fr/products/laser-scanners/scanners/blk360> consulter le 28/4/2020 en 13h30min
- [11] <https://leica-geosystems.com/fr-fr/products/laser-scanners/scanners/leica-rtc360> consulter le 28/4/2020 en 13h4min
- [12] <https://leica-geosystems.com/fr-fr/products/laser-scanners/scanners/leica-scanstation-p40---p30> consulter le 28/4/2020 en 12h
- [13] <https://numerisation3d.construction/numerisation-3d-mobile/> consulter le 28/3/2020 en 16h10min
- [14] <http://www.evidence-info.fr/scanner-3d/> consulter le 28/5/2020 en 6h40min
- [15] Le BIM : 6 questions pour comprendre et agir Mieux concevoir, construire et exploiter les bâtiments de demain ; page 22
- [16] Maxime RENAUD, mémoire Création automatique d'une maquette numérique 3D d'un bâtiment à partir d'un relevé scanner laser 3D ; Soutenu le 06 juillet 2016
- [17] Maxime ROUMAIN de la TOUCHE ; mémoire L'intégration du scanner 3D dans le processus BIM (Réhabilitation) ; Soutenu le 08 juillet 2014 ; page 11
- [18] suivi de chantier ; par Hasina R ; sep 30,2019 ; outils et matériaux. Consulter le 14/4/2020 en 16h30min
- [19] « LA MODELISATION 3D PAR SCANNER 3D.pdf
- [20] Guide méthodologique pour des conventions de projets en BIM ; page 34 et 35

- [21] <https://www.numerisation3d.com/scan-3d-batiment-numerisation.html> consulter le 15/4/2020 en 13h28min
- [22] https://www.pseau.org/outils/ouvrages/parasismique/croix-rouge-fr-construction-et-rehabilitation/Pagesweb/Etapes_construction/Chantier/suivi_chantier.html consulter le 3/9/2020 en 14h23min
- [23] <https://www.travaux.com/construction-renovation-maison/guide-des-prix/prix-suivi-de-chantier> consulter le 3/9/2020 en 13h15min
- [24] <https://fr.slideshare.net/mobile/AsmaElhouch/themesuivietcontroledunchantier> consulter le 3/9/2020 en 12h5min
- [25] <https://construction-maison.ooreka.fr/astuce/voir/282669/assurer-le-suivi-de-son-chantier> Consulter le 15/9/2020 en 19h16min
- [26] Inspection détaillée des ouvrages d'art I IDRRIM – Juin 2018 ; PDF
- [27] <https://formation-continue.enpc.fr/nos-formations-courtes/11-genie-civil/231-ouvrages-dart/34145-suivi-et-contrôle-dun-chantier-douvrage-dart.html> consulter le 3/9/2020 en 20h00min
- [28] <https://www.construction21.org/france/articles/fr/la-numerisation-des-chantiers-est-en-marche.html> consulter le 3/9/2020 en 15h46min
- [29] <https://numerisation3d.construction/le-marche-de-la-numerisation-3d/?v=fa3c7f2b5dae> consulter le 3/9/2020 en 12h51min
- [30] https://fr.qwe.wiki/wiki/3D_scanning consulter le 3/9/2020 en 17h28min
- [31] <https://structalis.fr/scan-relevelaser-3d/> consulter le 4/9/2020 en 23h57min
- [32] <https://www.africageomatic.com/produits/scanner-3d/leica-blk360.html> consulter le 4/9/2020 en 15h46min
- [33] Le relevé géométrique à haute définition La numérisation 3D à l'heure du BIM ; Mars 2017 ; page 7
- [34] <http://www.blk360expert.com/presentation-scanner-laser-3d-blk360.html> consulter le 3/9/2020 en 15h50min
- [35] www.numériplan.fr consulter le 29/8/2020 en 4h15min
- [36] <https://leica-geosystems.com/fr-fr/products/laser-scanners/software/leica-cyclone/leica-cyclone-register-360> consulter le 21/09/2020 en 16h49min
- [37] <https://leica-geosystems.com/fr-ch/products/laser-scanners/software/leica-jetstream/leica-jetstream-enterprise> consulter le 32/09/2020 en 23h36min
- [38] <https://www.construirelawallonie.be/artikel/le-logiciel-leica-cyclone-3dr-rationalise-les-processus-de-travail-autour-de-la-capture-de-la-realite/> consulter le 10/9/2020 en 1h51min
- [39] www.leica-geosystems.fr Leica CloudWorx pour Revit Applicatif pour nuages de points PDF

[40] <https://www.snapkin.fr/le-scan-to-bim-ce-quil-faut-retenir-de-cette-methode-pour-modeliser-le-bati-existant/> consulter 5/9/2020 en 10h19min