Scanner 3D sur chantier oui mais, pourquoi et comment ?

Ir. F. Vandensteen

Ir. V. Didriche

Ir. C. Huenaerts

Depuis plusieurs années, le marché de la construction voit apparaitre des entreprises offrant des services de relevés en trois dimensions à l'aide de scanners. Ces solutions permettent de disposer d'un grand nombre d'informations dans la prise de mesures dans un délai très court. Cependant, faute de connaissances dans le domaine, l'utilisation de ce type de technologie n'est pas courante dans les entreprises de construction.

Cet article a pour but de comprendre quels sont les enjeux et la plus-value que peut apporter une telle technologie dans le domaine de la construction et de donner des pistes pour une prise de décision d'un tel levé.

Mots clefs : Scanner 3D, BIM, Modélisation, Construction

For some years now, the construction market has seen companies offering 3D measurements solutions using 3D scanners. Indeed, these solutions make it possible to dispose over a lot of information about measurements and this, in a short time span. However, due to a lack of knowledge in this sector, the use of this technology isn't very common in the construction companies.

The purpose of this article is to understand the goals and the benefits such technology can offer in the construction sector.

1. Le scanner 3D

1.1 Le principe

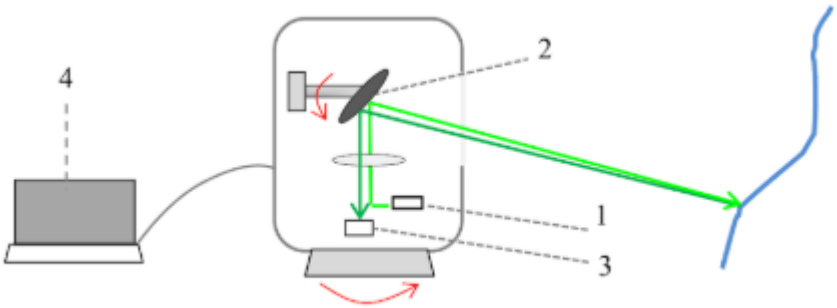


Figure 1 : schéma simplifié d'un scanner laser (Chandelier, 2014)

Le principe général de l'appareil est assez facile à comprendre :

- un laser émet une source lumineuse (1)

- au même moment, un capteur note virtuellement le temps de départ.

- Le rayonnement émis, réfléchi par le miroir rotatif (2), est envoyé vers le point ciblé et se réfléchit sur le premier obstacle.

- Une fois réfléchi le faisceau laser revient sur le miroir et arrive sur un récepteur (3) où le temps est noté. Par algorithme, en connaissant le temps de propagation t, l'angle horizontal et l'angle du miroir, il est possible de déterminer les coordonnées X, Y, Z du point à partir des coordonnées sphériques (ρ=distance, θ=angle verticale, φ=angle horizontal). On verra par la suite qu'une valeur d'intensité du signal retour est aussi enregistrée. Toutes ces données sont ensuite stockées dans la mémoire interne de l'appareil (4). Le balayage se fait de manière verticale et ensuite l'appareil pivote d'un certain angle horizontal et recommence son cycle vertical. Une fois la prise de points effectuée (d'une durée moyenne d'une minute), celui-ci peut prendre une série de photographies de manière à coloriser le nuage de points lors du post-traitement. Chaque point a alors une valeur de couleur RGB (Red, Green, Bleu).

1.2 Le type de mesure

Les appareils de mesures présents sur le marché n'ont pas tous la même technique d'acquisition. Il existe 3 types :

- Le scanner à impulsions
- Le scanner à différence de phase
- Le scanner à triangulation.

Le scanner à impulsions

Le scanner à impulsions aussi appelé scanner à temps de vol est équipé d'un distancemètre, d'un émetteur et d'un récepteur laser, d'un récepteur et d'un émetteur optique ainsi que d'une horloge.
Les dispositifs de mesures sont liés à un miroir actionné par un moteur permettant le balayage de l'objet étudié. Cette technologie se base sur le temps de parcours d'un rayon laser, entre le scanner et le point d'impact de l'objet visé.

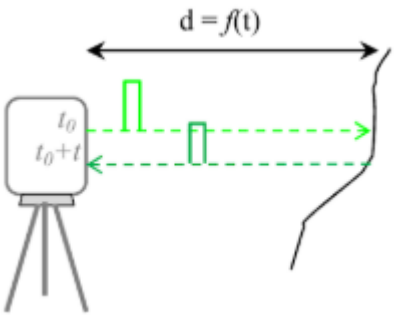


Figure 2 : Scanner à impulsion (Chandelier, 2014)

On connaît alors la différence de temps entre le départ et le retour du laser. Cela implique une horloge interne de grandes précisions pour augmenter la précision des mesures.

Le scanner à différence de phase

Le principe est toujours basé sur l'utilisation d'un faisceau laser.
Un faisceau est un signal continu de forte intensité, modulé de façon sinusoïdale et dirigé vers un objet. Il faut alors comparer la différence de phases entre les ondes émises et les ondes de retour.
Les instruments de mesures se basant sur le principe de différence de phases utilisent une modulation sinusoïdale de l'amplitude ou de la fréquence.
À l'aide d'un phasemètre numérique, on parvient à mesurer la différence de phases entre l'onde émise et l'onde de retour. Cette technique est similaire à la mesure de distance par ondes infrarouges à l'aide d'une station totale.

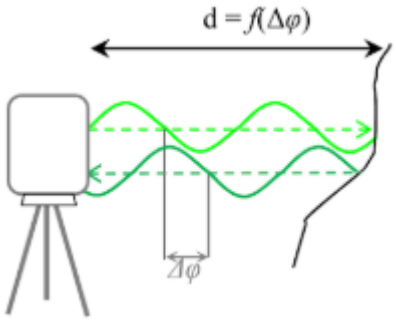


Figure 3 : Scanner à différence de phase (Chandelier, 2014)

Le scanner à triangulation.

Il n'est pas utilisé dans le domaine de la construction.

Le fonctionnement de ce type d'appareil est basé sur un triangle. L'onde de retour est observée par un système de récepteur optique, décalé dans l'espace d'une certaine distance que l'on nomme en général B. On le retrouve principalement dans les usines pour la vérification de pièces de plus petites dimensions.

Dans ce cas-ci, la distance entre l'objet et le scanner est fonction de B c'est à dire de la distance entre l'émetteur et le récepteur.

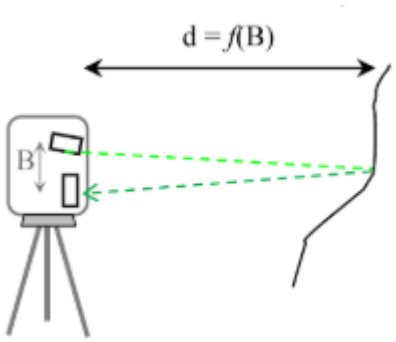


Figure 4 : Scanner à triangulation (Chandelier, 2014)

Pour améliorer les performances des appareils présents sur le marché, il est fréquent d'avoir des appareils qui combinent différentes techniques de mesures. On a alors une plus grande précision lors du relevé.

2. La photogrammétrie

Une autre technique d'acquisition est la photogrammétrie. Cette technique de prise de mesure consiste à prendre des clichés et à les restituer à l'aide d'un logiciel pour créer

- Des couples de photos stéréographiques (vues 3D)
- Des nuages de points (similaire au résultat par lasergrammétrie)
- Des orthophotos (photographies)

Pour obtenir des résultats valables géométriquement, il est nécessaire d'utiliser un appareil photo réglable manuellement et un logiciel de traitement orienté photogrammétrie.

Voici un exemple réalisé sur site :

Figure 5 : Façade classée (CIT Blaton)

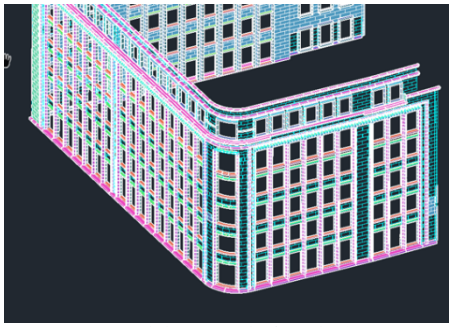


Figure 6 : Modélisation de façade (Geotop)

L'objectif poursuivit était de réaliser un plan des façades de ce bâtiments afin de pouvoir les reconstruire à l'identique étant donné qu'elles faisaient partie du patrimoine classé de la ville d'Anvers. Pour ce faire, la photogrammétrie a été privilégiée par rapport aux autres techniques de mesures. Un scanner 3D, aurait contenu plus d'informations mais aurait sans doute été moins précis et nécessité un post traitement plus important. Le choix de la station total quant à lui aurait été beaucoup trop lent et n'aurait pas permis d'voir un bon résultat. L'entrepreneur a donc opter pour une combinaison entre la photogrammétrie et la station totale (celle-ci permettant de faire la mise à l'échelle ET augmenter la précision lors de la restitution).

3. Le traitement de l'information

Une fois l'acquisition terminée, les informations enregistrées doivent être traitées en vue de créer un nuage de points. Celui-ci pourra être le produit fini ou servir de base à la construction d'une maquette numérique. Cette maquette peut servir de base par exemple dans les process BIM..

1.3 Qu'est-ce que le BIM ?

« Le BIM (*Building Information Model/Modelling/Management*) est une méthode de travail mettant en relation les objets qui composent un bâtiment, ainsi que leurs caractéristiques.
L'objet 'mur', par exemple, peut ainsi être caractérisé par des données géométriques (hauteur, largeur, épaisseur), physiques (résistance thermique…), mécaniques (résistance en compression…), voire environnementales et financières (coût d'exécution…), mais aussi par des informations liées aux éléments qui le constituent (mortier de pose, blocs) ou à son comportement vis-à-vis des autres objets. Il peut également faire partie d'un élément constructif composé et être associé à un isolant thermique, une lame d'air et une maçonnerie de parement, par exemple.
Cet objet, qui est le reflet virtuel de la réalité future, est intégré dans un modèle numérique du bâtiment également appelé '**maquette numérique**'. » (O. Vandooren, 2016)
Cette maquette est un élément important de la transition vers le monde virtuel du secteur de la construction.
Cet outil permet en effet de regrouper les informations au même endroit et de permettre l'échange d'informations avec les différents intervenants du chantier.
La maquette est complétée par les différents acteurs et évolue ainsi en théorie tout au long du chantier (et de la vie de l'ouvrage).
Finalement que peut-on réellement faire avec une maquette ?

Voici quelques exemples tirés d'un article du CSTC (O. Vandooren, 2016) :

- Réaliser un métré et calculer le prix
- Etablir un cahier spécial des charges
- Effectuer des études de stabilité
- Etudier les techniques spéciales
- Calculer la performance énergétique de l'ouvrage
- Optimiser l'isolation acoustique
- Identifier et traiter les conflits éventuels (croisement d'une poutre et d'une gaine de ventilation, par exemple)
- Préparer le planning d'exécution
- Garantir la conformité à la réglementation et aux normes en vigueur
- Analyser le cycle de vie ou l'impact environnemental

1.4 LoD :

Pour une maquette, plusieurs niveaux de détails sont possibles, on appelle cela le Level of Detail (LoD). Au plus on augmente dans les détails, au plus la modélisation reflétera ce qui sera exécuté sur chantier.

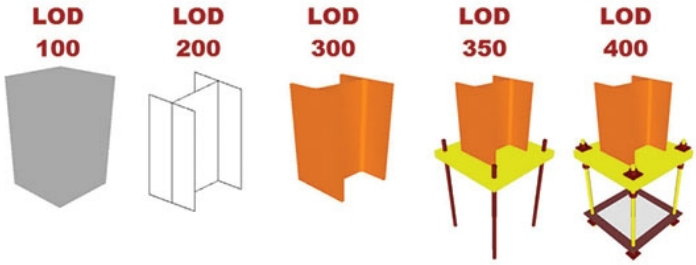


Figure 7 : Level Of Details (Scannel, 2014)

La figure ci-dessus illustre les différentes possibilités de modéliser un même objet de manière simplifiée à très fine. Diverses échelles de détails existent dont celle reprise ci-dessus, où le degré de détail s'intensifie avec l'augmentation du chiffre représentatif du LoD

Dans le secteur de la construction, à partir de la phase projet, les maquettes sont en moyenne représentées avec un niveau de détails de 300. (Dans l'industrie électromécanique, le LoD 400 est généralement privilégié)

Avant de commencer à modéliser, il faut toujours se poser les bonnes questions :

- Quel est le but de cette modélisation ?
- Quels bénéfices m'apportent t'elle ?

Au plus le LoD est élevé, au plus la maquette sera proche de la réalité mais aussi au plus le fichier sera lourd et difficile à traiter. Les différents partenaires ont donc tout intérêt à déterminer le niveau de détails souhaité, dès le début du processus. Actuellement, celui-ci est surtout lié à leur maturité BIM.

1.5 LoI :

Level of Information, correspond au niveau d'informations alpha-numériques que l'on va retrouver sur les différents objets. Il est complémentaire du LoD. Le LoI peut être différent du LoD. La combinaison du LoI et LoD est repris sous l'appellation LOD.

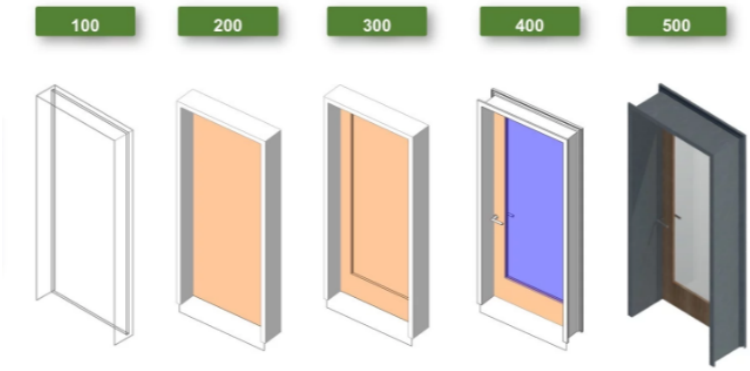


Figure 8 : LoI (Kristian Schartz (BIMagent), s.d.)

4. Les objectifs poursuivis lors d'un scanner 3 D ?

1.1 Utiliser une maquette ?? Créer une maquette de l'existant (rénovation) ??

Selon la manière de travailler sur un projet (process classique ou BIM) et la situation existante (rénovation, nouvelle construction, environnement existant à conserver,…), la réalisation d'une maquette pourra apporter une plus-value plus ou moins importante. Sa réalisation comportant un investissement important, tant humain que financier, une réflexion sera utile dès le début du projet.

1.2 Avoir un contrôle

Dans le cas d'un contrôle d'un lot complexe tels qu'une gare, un fond de fouille ou même un projet de rénovation, il est fortement conseillé d'avoir un relevé réalisé à l'aide d'un scanner 3D. Cela permet d'obtenir un relevé quasi exhaustif.

Le contrôle planéité

Il s'agit d'un type de vérification souvent difficile à réaliser par les méthodes classiques (niveau, station totale) étant donné que seul un nombre limité de points est mesuré (généralement par maillage d'ordre métrique) . Seule, une idée globale de la planéité est obtenue.

Le scanner laser permet non seulement d'obtenir un maillage très fin (de l'ordre du millimètre) mais aussi d'acquérir les données très rapidement. Il est cependant

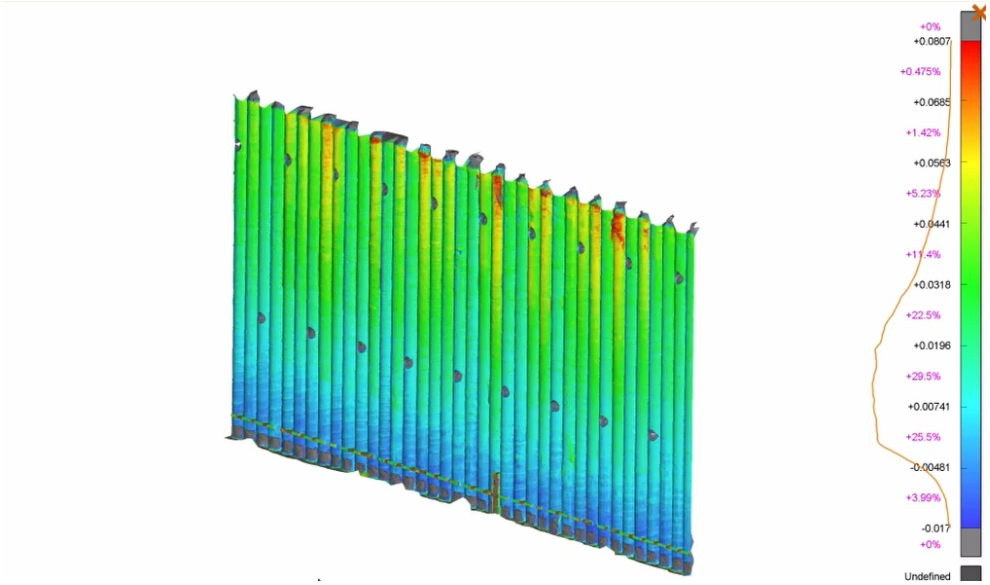
important de paramétrer correctement le scanner (maillage souhaité, points de calage, choix du positionnement de l'appareil)

Chaque position de prise de mesures du scanner va permettre de générer un nuage de points 3D. Le calage des différents nuages se fait sur base de corrélations automatiques entre nuages de points et/ou de points de calage.

Une fois le nuage généré, un programme d'analyse de nuages de points permet d'établir l'état de planéité de l'élément par rapport à ses orientations et positions théoriques.

Par exemple, un modèle avec des marqueurs de couleurs pourra être généré : un gradient de couleur permettra d'indiquer si le niveau est bon, acceptable ou hors tolérance. Les valeurs de tolérances sont des paramètres imposés par le contrôleur.

Voici un exemple réalisé sur site:



Il s'agit de l'analyse d'une paroi de pieux tangents. L'objectif est de déterminer la verticalité de cette paroi afin de connaitre les endroits critiques où les pieux mis en œuvre sont hors tolérances. À l'aide d'un scanner 3D et d'un logiciel de post traitement, on peut facilement déterminer les zones problématiques où une action est nécessaire vis-à-vis des zones dites acceptable selon les tolérances.

Le comparatif plan VS exécution

Il s'agit de modéliser la situation existante à l'aide d'un scanner 3D et de la comparer avec la situation projetée dans la maquette BIM. Cette possibilité n'est pas adaptée et ni adaptable à tous les chantiers. En effet, une maquette BIM doit déjà être prévue sur chantier afin que cette solution soit utilisable. A l'heure actuelle « seulement », peu de chantiers ont recours à l'utilisation du BIM. On remarque cependant le début d'une digitalisation du secteur.

Le contrôle d'autres lots

Sur chantier, il n'est pas rare que celui-ci soit divisé en plusieurs lots. Il faut que chaque lot réceptionné soit conforme au cahier des charges et aux plans d'exécutions. Pour faciliter cette réception, un scanner 3D pourrait être utilisé afin d'avoir une vue globale de la situation existante et mettre en évidence s'il y a ou non des manquements et/ou des défauts d'exécution.. Mais ce scan peut aussi être fait pour des missions telles que la réception de fouilles blindées ou de pieux sécants. Il faut cependant être prudent quant aux deux derniers exemples cités. Il est préférable de laisser un géomètre faire ce travail car il est plus judicieux de lui laisser la responsabilité de la prise de mesures en cas de litiges. Ceci est valable de manière générale lorsque l'on utilise des appareil de mesures.

1.3 Répondre à une demande

Sur chantier, il n'est pas rare que dans les contrats qui lient l'entrepreneur général et les différents sous-traitants, il soit demandé un état des lieux de la situation avant de commencer les travaux afin de connaitre les positions des différents éléments dans leur environnement. Ce fut le cas pour le chantier Mechelen Station Il était demandé d'avoir un état des lieux pour implémenter :

- La position de la structure
- Le béton architectonique

1.4 Analyser les états d'avancement du chantier

Des états d'avancements du chantier sont régulièrement réalisés en vue de faire la comptabilité des travaux prestés par les différents sous-traitants. Un moyen permettant d'avoir une trace visuelle de ce qui est fait, est de réaliser un scanner 3D du chantier. Il ne faut pas pour autant le remodéliser. En effet, la génération du nuage de points est suffisante pour mettre en évidence les éléments discutables. La figure suivante montre un état d'avancement fait à l'aide d'un nuage de points. On peut y

voir le placement des conduites d'eaux chaudes et froides sanitaires, l'installation des câbles électriques mais aussi les maçonneries. À l'aide d'un scanner 3D, on peut donc en théorie contrôler trois corps de métiers différents. Il s'agit bien d'une situation théorique. Sur chantier ce procédé n'est pas utilisé car encore trop couteux.

Figure 9 : état d'avancement fait à partir de scanner 3D (David Güth)

Cela permet aussi d'alimenter des points de discussion lors de réunion de chantier sans pour autant devoir se rendre sur site.

1.5 Proposer une visite virtuelle

Dans le cadre de la promotion immobilière, une visite virtuelle est un plus. En effet, il est plus facile de se projeter dans un appartement que l'on peut visiter virtuellement que sur base de plan papier. Ce type de visite est particulièrement intéressant pour la filière CIT RED qui est responsable de la promotion immobilière du groupe Blaton.

Ce type de visite virtuelle n'est pas destiné uniquement pour les choix acquéreurs mais peut aussi être un élément de discussion lors de réunions : elle permet de se placer virtuellement à l'endroit souhaité et de visionner l'endroit source de discussions/questions.

Cela permet aussi d'orienter plus facilement les sous-traitants. Par exemple, pour un travail complexe, un peintre pourra, via un viewer gratuit par exemple, se rendre compte de l'étendue du travail à réaliser sans pour autant être obligé d'aller sur chantier pour remettre prix. Attention que le scanner 3D ne remplace pas pour autant

cette visite de chantier. Cette démarche n'est pas nécessaire si le chantier possède déjà une maquette 3D du bâtiment.

1.6 Fournir un plan As Built

La tendance actuelle dans le secteur de la construction concerne la demande du client d'avoir une documentation AS Built de son bâtiment. Pour se faire, le scanner 3D est une solution efficace car elle permet d'avoir l'ensemble des éléments présents sur chantier avec leur position exacte. Il suffit alors de remodéliser, sur base du nuage de points, afin d'obtenir la maquette numérique du telle que construit et non sur base des plans d'exécution théorique (même si ceux-ci doivent en théorie être respectés). Il se peut par exemple qu'une gaine ait été décalée par rapport aux plans initiaux. Le scanner 3D mettra ce type de détails en évidence.

1.7 Analyser la situation (problème hiérarchie titre je pense)

Nous allons aborder le choix de la technologie en fonction de plusieurs situations qui pourraient être rencontrée lors de chantiers. Parmi les technologies, nous allons en retenir seulement trois :

- Le scanner 3D
- La station totale
- La photogrammétrie

Pour commencer, prenons le cas d'une façade. Chaque typologie de façade est différente :

- Façade simple :
  Le terme façade simple désigne dans le cadre de ce travail, une façade type résidentielle où l'on retrouve des formes simples (rectangulaires) avec des percement (fenêtres, portes, garages,…) et un revêtement type briques de parement.

Figure 10 : Maison unifamiliale (F. Vandensteen)

Dans ce cas-ci, l'utilisation d'une station totale est recommandée, les formes étant de manière générale assez simples. De plus le post traitement est facile à faire. Certes, il y a moins d'informations que si on avait utilisé une autre méthode, mais le résultat correspond aux attentes initiales.

- Façade complexe :
  Ceci désigne les façades où l'on retrouve des pierres ornementales, des statues, des différences de reliefs entre étages/travées. Par exemple, l'hôtel de ville de Bruxelles situé sur la Grand Place.

Figure 11 : Grand Place (Ville de Bruxelles)

  Dans ce type de configuration, le scanner 3D est vivement recommandé afin d'avoir une grande quantité d'informations et de pouvoir au mieux représenter l'existant.

- Façade pierre à pierre :
  Façade décrite comme pierre à pierre est la situation où l'on souhaite faire un plan en relevant l'existant jusqu'au détail de l'appareillage (pas que, pour pouvoir démonter et remonter, pour garder une trace quand pas de reconstruction,..). Ce point est illustré dans la partie photogrammétrie.

On remarque que pour une façade, trois technologies peuvent être utilisées pour obtenir un même résultat de type plan. Cependant, le niveau d'information sera différent selon la méthode de mesures.

Voici un tableau reprenant quelques situations en fonction de la méthode de mesures utilisée.

Eléments	**Scanner 3D**	**Station totale**	**Photogrammétrie**
Façade : Complexe	1	3	2

Simple Pierre à pierre	3 2	1 3	2 1
Quai de gare	1	2	3
Fonds de Fouilles	1	2	3
Site : Vierge Herbes hautes Urbain	 1 2 1	 2 1 2	 3 3 3 (*)
Rénovation	1	2	3

(*) attention aux réglementations en vigueur concernant l'usage de drone en milieu urbain

1: recommandé 2 : second choix 3 : troisième choix

Afin d'augmenter la précision lors de la prise de mesures, l'utilisation de la station totale est recommandée lorsque l'on exécute un relevé à l'aide de photogrammétrie ou d'un scanner 3D. Pour cela, on utilise des points de références communs entre la station totale et le scanner / photogrammétrie.

5. Analyse décisionnelle

Pour mieux comprendre le choix de l'utilisation du scanner 3D sur un chantier, voici un exemple :

1) Le projet

Il s'agit de la nouvelle gare de Malines.

Figure 12 : Quai Gare Malines (CIT Blaton)

Figure 13 : Dessous quai gare de Malines (CIT Blaton)

2) Les questions posées

- Quel est l'objectif ?
  Dans ce cas-ci, il s'agit de faire un état des lieux de la structure déjà présente sur le site
- Quelles sont les informations à obtenir ?
  Avoir un plan de situation et un modèle 3D de la structure existante
- Quelle plus-value est attendue ?
  Pouvoir implémenter la structure secondaire sur la structure primaire
- Est-il préférable de réaliser la prise de mesures et le traitement en interne ou en externe ?
  Ce point est fonction des ressources disponibles en interne. Dans ce cas-ci, il a été décidé de le faire faire par une société extérieure.

3) La méthode d'acquisition

Plusieurs méthodes d'acquisition sont présentes sur le marché. Que ce soit la station totale ou bien la photogrammétrie (prise de mesures à partir de restitutions photographiques. Le scanner 3D reste cependant la meilleure technique de mesures pour ce type de mission. En effet, il permet d'acquérir un grand volume de données en un temps restreint.

4) Le résultat brut : nuage de points

Une fois la prise de mesures sur site effectuée il faut traiter l'information, c'est-à-dire assembler les différentes mises en stations mais aussi nettoyer le nuage de points. Lors du traitement, l'opérateur supprime toute les données parasites non utiles pour la phase de modélisation.

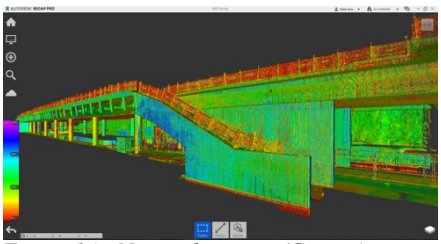


Figure 14 : Nuage de points (Geotop)

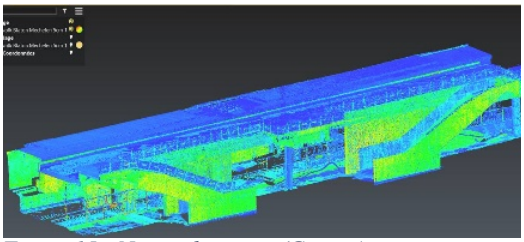


Figure 15 : Nuage de points (Geotop)

5) Modélisation

- Quel niveau de détails souhaité ?
  Dois je avoir le détail sur la rugosité des parois ou bien juste les volumes globaux ?
  Dans ce cas-ci, l'entreprise souhaite avoir les différents volumes.

- Quel est l'objectif de la modélisation ?
  La modélisation a-t-elle un but commercial (faciliter la projection du client dans le projet) ou technique(anticiper les problèmes sur le chantier) ?
  Il s'agit, ici, d'une modélisation dans le but d'anticiper et contrôler la pose de la charpente de la nouvelle gare.

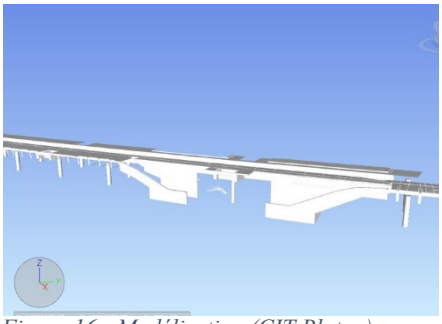


Figure 16 : Modélisation (CIT Blaton)

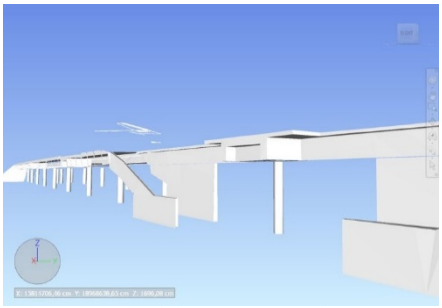


Figure 17 : Modélisation (CIT Blaton)

6) Résultat final

À la suite de la modélisation, on obtient le résultat suivant.

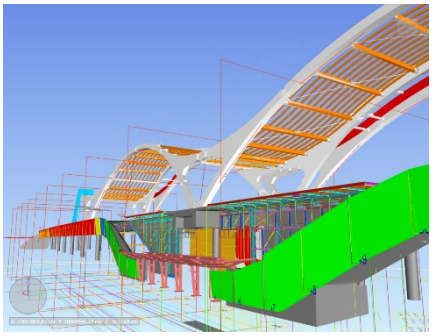


Figure 18 : Résultat modélisé (CIT Blaton)

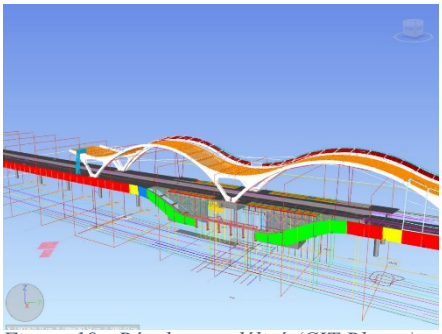


Figure 19 : Résultat modélisé (CIT Blaton)

On remarque que l'ossature (arches) a été ajoutée par rapport à la modélisation initiale mais aussi les bétons architectoniques (partie latérale des quais) qui viennent habiller les bétons de structures.

6. Conclusion

À la suite de ce travail de fin d'études, nous avons pu remarquer que le scanner 3D connait un véritable essor dans le monde du travail des géomètres mais aussi un intérêt tout particulier pour l'entreprise générale de construction.

Numériser le chantier, avoir recours à l'utilisation de scanners 3D sur un chantier c'est bien, mais est-ce nécessaire de le faire pour chaque site de construction dont l'entreprise est responsable ?

Une série de questions et de critères a été émise afin d'aider l'entreprise mais surtout le personnel de chantier à prendre la décision. Un scanner donner-t-il un meilleur résultat qu'une autre technique d'acquisition ? Le résultat répondra-t-il à mes attentes ? Ce sont bien entendu des éléments de réflexions. Il se peut qu'avec l'expérience, d'autres éléments décisionnels viennent s'y ajouter.

A la suite de ce travail de fin d'études, on se retrouve avec un schéma décisionnel permettant d'analyser diverses situations. Cela permet de choisir ou non l'utilisation d'un scanner 3D mais aussi de se rendre compte de la plus-value qu'une telle solution de prise de mesures peut apporter sur un chantier. Ceci a d'ailleurs été démontré pour une analyse de situation pour la gare de Malines. Sans le recours à une telle technologie, le relevé de situation tel qu'il a été fait avec le scanner 3D n'aurait pas été possible. La quantité d'informations n'aurait pas non plus été suffisante que pour réaliser un bon modèle.

7. Bibliographie

Chandelier, R. H. (2014). *Numérisation 3D de bâtiments cas des édifices remarquables* . ISTE Editions .

Kristian Schartz (BIMagent), B. (s.d.). *Was bedeutet LOD/LOI?* . Récupéré sur Baunetz_Wissen_: https://www.baunetzwissen.de/bim/fachwissen/modellinhalte/was-bedeutet-lod-loi-5285890

O. Vandooren, i. d. (2016, Mars). *https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact51&art=774*. Récupéré sur CSTC-Contact n°51 .

Scannel, J. (2014, Décembre 08). *The lowdown on LODs: Bringing clarity to BIM*. Récupéré sur Building Design + Construction : https://www.bdcnetwork.com/blog/lowdown-lods-bringing-clarity-bim