

Étude comparative de méthodes de mesure pour la vérification des tolérances dans le domaine de la construction

Ing. K. HANTHAZI – ing. C. HUENAERTS – dr. ir S. DUBOIS
ECAM – Bruxelles

1. Introduction

Les écarts par rapport aux aspirations sont inévitables dans la construction et peuvent survenir à différents stades du projet. Les tolérances sont nécessaires pour évaluer objectivement la conformité d'une réalisation sur base des normes ou des documents techniques.

La tolérance de planéité est l'une des plus fréquemment critiquées, que ce soit pour les parois verticales ou les planchers. Des exemples courants de problèmes liés à la planéité incluent des ondulations dans les enduits muraux en plâtre, des problèmes de stagnation d'eau sur les toits ou les terrasses. L'objectif est d'évaluer l'efficacité des méthodes de contrôle.

2. Théorie nécessaire

2.1. Plan de référence, points de mesure et méthodes

La norme abrogée NBN ISO 4464 définissait l'écart de planéité comme étant une *différence entre la forme effective d'une surface et celle d'une surface plane*.

La détermination des écarts est possible grâce à l'utilisation d'un plan de référence. La norme NBN ISO 7976-1 décrit différentes méthodes. Dans le cadre de cette étude, le choix s'est porté sur la méthode des droites locales. En effet, ce procédé consiste à l'écart entre une ligne droite et la forme réelle de cette ligne.

Une fois le plan de référence déterminé, l'emplacement des points de mesure est défini par la norme NBN ISO 7976-2. Le choix des emplacements le plus adéquat pour le contrôle de la planéité, qu'il soit sur chantier ou en usine, est porté sur la manière locale.

Pour réaliser ce contrôle, la norme NBN ISO 7976-1 reprend diverses méthodes. Le choix s'est porté sur une méthode dite classique au moyen d'une latte métallique et des méthodes plus actuelles dites numériques telles que la lasergrammétrie et la photogrammétrie.

Latte métallique de 2 m

Le contrôle de planéité est habituellement exécuté au moyen d'une latte rigide d'une longueur de 2 m. Des taquets fixes de l'épaisseur de la tolérance sont placés aux extrémités. Un taquet mobile permet de vérifier la planéité en le faisant coulisser le long de la règle métallique.

Scanner laser

Le scanner laser utilise la technologie LiDAR. Il consiste à mesurer la distance entre un objet et le scanner au moyen de l'émission d'impulsions de lumières laser vers le sujet en suivant un balayage. Cette distance est calculée grâce à la différence de temps qu'il faut pour qu'un faisceau laser se réfléchisse sur une surface et revienne au scanner. Cette technique permet de créer, après traitement des données brutes, un nuage de points.

Photogrammétrie

Le processus de photogrammétrie commence par la prise de photos. Elles sont ensuite compilées et traitées à l'aide d'un logiciel de photogrammétrie pour créer des modèles 3D.



Figure 1: Instruments utilisés

2.2. Erreurs possibles

Toute mesure est sujette à interprétation, mais également à certaines sources d'erreur. Par conséquent, la valeur réelle est généralement entachée d'approximations et donc

inconnue. En effet, de nombreux éléments influencent les mesures. Ces erreurs potentielles sont réparties en 3 rubriques: grossières, systématiques et accidentelles. Outre les erreurs de manipulation (dites grossières), 4 classes peuvent être dégagées telles que les erreurs liées à l'environnement, aux instruments, à la méthode ou encore à l'interprétation des données. Afin de limiter celles-ci, et donner un caractère rigoureux et scientifique à la démarche, une méthodologie précise est mise en place.

2.3. Critères comparatifs

L'objectif étant de pouvoir comparer différentes méthodes de mesure, une série de critères est établie. Ceci dans le but de pouvoir en tirer un classement le plus objectif possible. Afin de réaliser ce dernier, différents aspects doivent être pris en compte, tels que le coût, la facilité de mise en place et d'utilisation, la facilité de traitement des données, le temps d'acquisition et de traitement des données, la répliquabilité, ainsi que l'exactitude des mesures.

2.4. Méthodologie

Afin d'avoir une comparaison fiable, une méthodologie est mise en place. Parmi l'ensemble de ces étapes, certaines doivent être réalisées quelle que soit la méthode choisie tandis que d'autres seront propres à l'instrument utilisé.

Généralités

Tout d'abord, la taille de la zone à contrôler est de 2,5 m de hauteur et de 4 m de longueur afin de ressembler au plus à une paroi classique d'un logement.

Ensuite, contrairement aux méthodes numériques, la latte de 2 m demande une prise de mesure ponctuelle. Un maillage dont l'espacement est de 50 cm entre chaque point est respecté. Celui-ci servira de points de comparaison avec les nuages de points extraits. De plus, différents repères seront appliqués pour faciliter le focus des mesures mais aussi l'alignement des nuages.

Une distance minimale/maximale de mise au point est nécessaire dans le cadre des méthodes numériques. Une ligne repère est mise en place à égale 2m des surfaces à contrôler dans le but de garantir l'équidistance tout au long de la procédure de mesures.

Pour finir, le plan de référence de données est acquis au moyen d'une station totale.

Points spécifiques aux méthodes numériques

La méthodologie de lasergrammétrie varie selon le type de scanner utilisé. Pour contrôler la surface, un trépied est positionné au milieu de la ligne repère, évitant ainsi les erreurs liées aux multiples installations de l'appareil. Ensuite, l'appareil est positionné sur son pied et connecté à l'application de contrôle, avec une période d'attente de 10 à 15 minutes pour atteindre la température optimale. Les scanners sont généralement auto-nivelant, sauf la version P40 (Leica Geosystems) qui nécessite un nivellement manuel.

En photogrammétrie, une ligne repère guide l'opérateur, qui prend des photos perpendiculaires à la surface pour réduire la distance entre l'objet et la lentille. Les photos se chevauchent, avec une superposition horizontale de 80% et verticale de 50%.

Traitement

Le traitement de données numériques passe d'abord par une extraction ainsi qu'un assemblage de celles-ci. Pour la partie scanner, une première partie du traitement est réalisée par l'application "Cyclone Register 360+". Elle permet d'optimiser et/ou assembler les nuages pris par différentes stations. Pour la partie liée à la photogrammétrie, un autre logiciel Open Source "Agisoft Metashape 1.8.4" est utilisé. Le but de ce logiciel est de récupérer un nuage de points au travers de diverses manipulations. La suite de cette analyse utilise un software open source (CloudCompare).

3. Mise en pratique

L'ensemble des techniques et instruments sont utilisés sur des supports distincts dans le but de comparer ces méthodes.

3.1. Explications des étapes et traitements

Dans la première phase des essais, plusieurs étapes sont accomplies. Tout d'abord, une zone de contrôle est définie sur chaque surface à l'aide d'un adhésif, avec une ligne de repère à une distance de 2 m. Ensuite, un maillage est placé pour permettre la comparaison des méthodes, et des repères sont positionnés pour le calibrage 3D et l'alignement des nuages de points.

Les mesures commencent par un relevé des angles de la zone à l'aide d'une station totale pour obtenir les données cartésiennes de chaque point et créer un plan de référence. Le contrôle à la latte métallique se fait au niveau du maillage. Pour la lasergrammétrie, les relevés sont effectués le long de la ligne repère à l'aide d'instruments comme le BLK2GO et un trépied pour d'autres scanners. L'ensemble de la pièce est

scanné, et les données sont examinées et optimisées avec le logiciel "Cyclone Register 360+" de Leica. En ce qui concerne la photogrammétrie, deux méthodes sont utilisées. La première implique la prise de photographies uniquement autour de la zone, tandis que la seconde nécessite des images prises presque perpendiculairement à la surface, avec une légère inclinaison de 15 degrés. Les images sont traitées avec le logiciel open source "Agisoft Metashape 1.8.4" pour créer un nuage de points.

Après l'importation des données dans le logiciel, un premier nettoyage des nuages est nécessaire pour éliminer les reflets et zones non désirées. La phase suivante consiste à aligner ces nuages en sélectionnant les multiples repères positionnés. Une fois cette étape de regroupement réalisée, un second nettoyage ainsi qu'un découpage de la zone à contrôler sont exécutés. Il est à présent possible d'intégrer le plan de référence établi précédemment.

A partir de cette étape, une comparaison entre ces nuages de points et le plan de référence est possible, en paramétrant l'échelle de graduation désirée en fonction de la tolérance à appliquer. Néanmoins, pour pouvoir le comparer à la méthode ponctuelle de la latte, un sectionnement permet d'extraire les données aux bons endroits.

Toutefois, les données brutes extraites ne peuvent pas être directement comparées aux mesures effectuées à la latte de 2m. Pour ce faire, une manipulation mathématique des valeurs obtenues est réalisée en fonction du sens du contrôle effectué. Effectivement, étant donné que la méthode de la latte repose directement sur des points du support, la valeur de planéité obtenue entre ceux-ci dépend intrinsèquement d'eux.

3.2. Analyses

L'étude comparative de trois méthodes de mesure de planéité, à savoir la latte de 2 mètres, la lasergrammétrie et la photogrammétrie, a produit des résultats significatifs. La latte de 2 mètres s'est révélée capable de détecter les bosses et les creux, mais sa performance diminue lorsqu'il s'agit de réaliser de nombreuses mesures.

En revanche, la lasergrammétrie offre une analyse exhaustive de la surface, bien qu'elle soit sensible aux variations et dépende de la qualité de l'appareil utilisé. Parmi les dispositifs testés, le RTC360 (Leica Geosystems) a montré une fiabilité exceptionnelle, avec 98,1 % des valeurs se situant dans l'intervalle de confiance pour le revêtement en résine.

Les divergences constatées entre les méthodes s'expliquent par la précision des appareils, le bruit de mesure et les différentes étapes de traitement des données. Il est également à noter que la nature des surfaces contrôlées peut influencer les mesures, notamment les fibres non comprimées d'un sol textile.

Concernant la photogrammétrie, elle s'est avérée peu efficace pour les murs enduits en raison de la couleur claire et du manque de texture de la surface, mais elle a donné de bons résultats pour le revêtement en textile.

Dans l'ensemble, l'étude a conclu que la latte de 2 mètres demeure la méthode la plus appropriée pour le contrôle de planéité, en particulier pour les mesures ponctuelles. La lasergrammétrie et la photogrammétrie présentent également leur utilité, avec des considérations spécifiques en fonction du type de surface et de l'objectif du contrôle de planéité.

4. Conclusions

L'analyse a révélé que la teinte et la texture influencent fortement les mesures. Les essais ont permis de comparer divers appareils, montrant que la latte métallique est précise pour des mesures ponctuelles, mais prend du temps pour les procédures de réception nécessitant un maillage. Les scanners laser varient en termes de résultats et de critères de choix, comme la précision et le bruit de mesure. La photogrammétrie nécessite un contraste adéquat sur la surface, excluant les surfaces très lisses, comme un enduit mural, et exige une attention particulière à la luminosité. En somme, le choix d'instrumentation dépend des caractéristiques de la surface et des besoins spécifiques de mesure.

5. Sources

- [1] "Tolérances pour le bâtiment – Liaison entre les divers types d'écarts et de tolérances utilisés pour la spécification", Bureau de normalisation, Bruxelles, norme NBN ISO 4464, 1992.
- [2] "Tolérances pour le bâtiment - Méthodes de mesure des bâtiments et des produits pour le bâtiment - Partie 1 : Méthodes et instruments", Bureau de normalisation, Bruxelles, norme NBN ISO 7976-1, 1989.
- [3] "Tolérances pour le bâtiment - Méthodes de mesure des bâtiments et des produits pour le bâtiment - Partie 2 : Positions des points de mesure.", Bureau de normalisation, Bruxelles, norme NBN ISO 7976-2, 1992.
- [4] M. DE BOUW, S. DUBOIS et Y. VANHELLEMONT, *Le relevé 3D à l'heure du BIM*, Woluwe-Saint-Etienne: Buildwise, 52018.
- [5] L. DAOUD, *Étude de la capacité de la photogrammétrie sans cibles pour la mesure de tuyauteries*. Paris : École normale supérieure de Cachan, 2015.