

## La topo au Disto, bon marché, tient dans la poche

■ Yves EGELS - Emmanuel LAROZE

*Depuis que je suis en retraite, je suis souvent sollicité pour établir des relevés photogrammétriques du patrimoine historique. Or, même si l'on peut s'en passer dans certains cas, il est quand même prudent de réaliser un canevas d'appui topographique. Se pose alors le problème du matériel de levé, dont le coût ne justifie pas l'achat pour un emploi irrégulier. Je cherchais donc depuis quelque temps une solution pratique et peu onéreuse. Or, tous les architectes (et beaucoup d'archéologues) ont dans leur poche un distancemètre électronique.*

### Le cahier des charges

De nombreux logiciels de photogrammétrie permettent aujourd'hui de modéliser en 3D rapidement et précisément n'importe quel objet. En archéologie du bâti par exemple, il est ainsi facile de relever une façade, voire de dresser un plan ou une coupe dans certains cas. L'acquisition des images, tout comme les traitements sur les logiciels d'ailleurs, sont à la portée de tous avec un minimum de formation et quelques connaissances de base en photographie. Le canevas topographique, indispensable à la mise à l'échelle et à l'orientation du modèle demeure en revanche toujours aussi délicat à construire. Il reste en effet une affaire de spécialiste ; les calculs sont complexes et il requiert un matériel coûteux : station totale, récepteur GPS différentiel... Dans le cadre d'une mission archéologique ou d'une étude architecturale, les professionnels peuvent certes facilement se doter d'un tel équipement. Les situations dans lesquelles ce matériel fait défaut ne sont cependant pas rares, soit parce qu'il est déficient ou non disponible, soit parce que le contexte ne le permet pas – espace exigu, formalités, transport difficile, etc. soit tout simplement parce que l'opérateur n'en possède pas ! Il existe quelques astuces pour tenter de remédier à ces conditions : pose d'un fil à plomb ou d'une équerre dans la scène, mesures de distances entre différents repères, calage sur des éléments architecturaux a priori horizontaux...

### MOTS-CLÉS

Archéologie, photogrammétrie, architecture, relevés, distancemètre, trilatération

- En ne faisant aucun centrage ni aucune visée aller-retour
- En utilisant un seul pied léger, celui de l'appareil photo par exemple
- Réalisable par un opérateur seul
- Avec du matériel courant (disons moins de 500 €).

### La théorie

Un vieux théorème (que je n'ai pas pris le temps de démontrer, mais qui a tout l'air d'être exact) annonce que trois groupes de cercles concentriques centrés sur trois stations se coupent trois à trois de façon unique (à une symétrie près). Donc, si l'on mesure les distances (horizontales) de trois cibles à partir de trois stations (indépendantes) on peut reconstituer les coordonnées des cibles (et accessoirement celles des stations). Un test conduit dans la petite église rurale Saint-Jean-Baptiste du Monastier-sur-Gazeille (*Figure 1*) a permis de valider une procédure tout à fait efficace. L'espace dans lequel nous sommes intervenus mesure approximativement 22 m de long, 12 m de large pour une hauteur de 8 m. Nous livrons ici les détails de cette expérience.

Ces méthodes, bien que pratiques, sont toutefois souvent insuffisantes en particulier en termes de précision. Pour tenter de répondre à ce problème mais aussi pour élargir les possibilités d'intervention, j'ai réfléchi à une procédure qui permette de calculer un réseau de cibles avec le minimum de contraintes et un investissement raisonnable. Voici les objectifs visés :

- Applicable sur un chantier de l'ordre de 10 à 20 mètres de côté
- Permettre de mesurer les coordonnées 3D de quelques dizaines de cibles
- Avec une précision de l'ordre de quelques centimètres (1 ou 2 si possible)



Figure 1. Saint-Jean-Baptiste au Monastier-sur-Gazeille (XII, XV et XVIII<sup>e</sup> siècles) Haute-Loire

## Le matériel

Un distancemètre laser équipé d'un inclinomètre, un trépied photo avec une rotule munie d'un plateau gradué (Figure 2). Ce dernier peut être remplacé par une boussole (éventuellement électronique) qui sera adossée au distancemètre, à condition de vérifier que le distancemètre ne génère pas de perturbation magnétique excessive.

Pour notre test nous avons utilisé un Disto D5 dont la précision donnée par le constructeur est de l'ordre de 1 mm pour les distances et 0.3° pour les inclinaisons.



Figure 2. Le distancemètre sur sa rotule

## Le principe de mesure

La méthode envisagée consiste à baser le calcul des coordonnées planimétriques de points uniquement sur les mesures de distance horizontale. Les angles verticaux permettent la réduction à l'horizontale et le calcul altimétrique. Les angles horizontaux, quant à eux sont utilisés pour lever les ambiguïtés de symétrie propres à la trilatération ; accessoirement, ils facilitent les calculs approchés et la détection des fautes (l'enregistrement se fait manuellement et le risque

d'erreur est grand). Les mesures angulaires horizontales n'ont cependant pas besoin d'être très précises puisqu'elles sont essentiellement destinées à détecter les bonnes intersections. La précision des coordonnées calculées est quantifiée par les résidus des mesures redondantes.

## La procédure

Nous avons fixé 8 cibles, disposées le plus régulièrement possible sur les 4 parois. La méthode consiste à viser chaque repère depuis 3 stations différentes en prenant soin que celles-ci ne soient pas alignées (Figure 3). Ces 3 stations doivent donc dessiner un triangle.

En réalité, il est impératif que 3 cibles soient mesurées depuis 3 stations, mais certaines cibles complémentaires peuvent n'être vues que de deux positions, et il est tout à fait possible (et même conseillé) de rajouter des stations supplémentaires, surtout si le chantier est étendu (Figure 4).

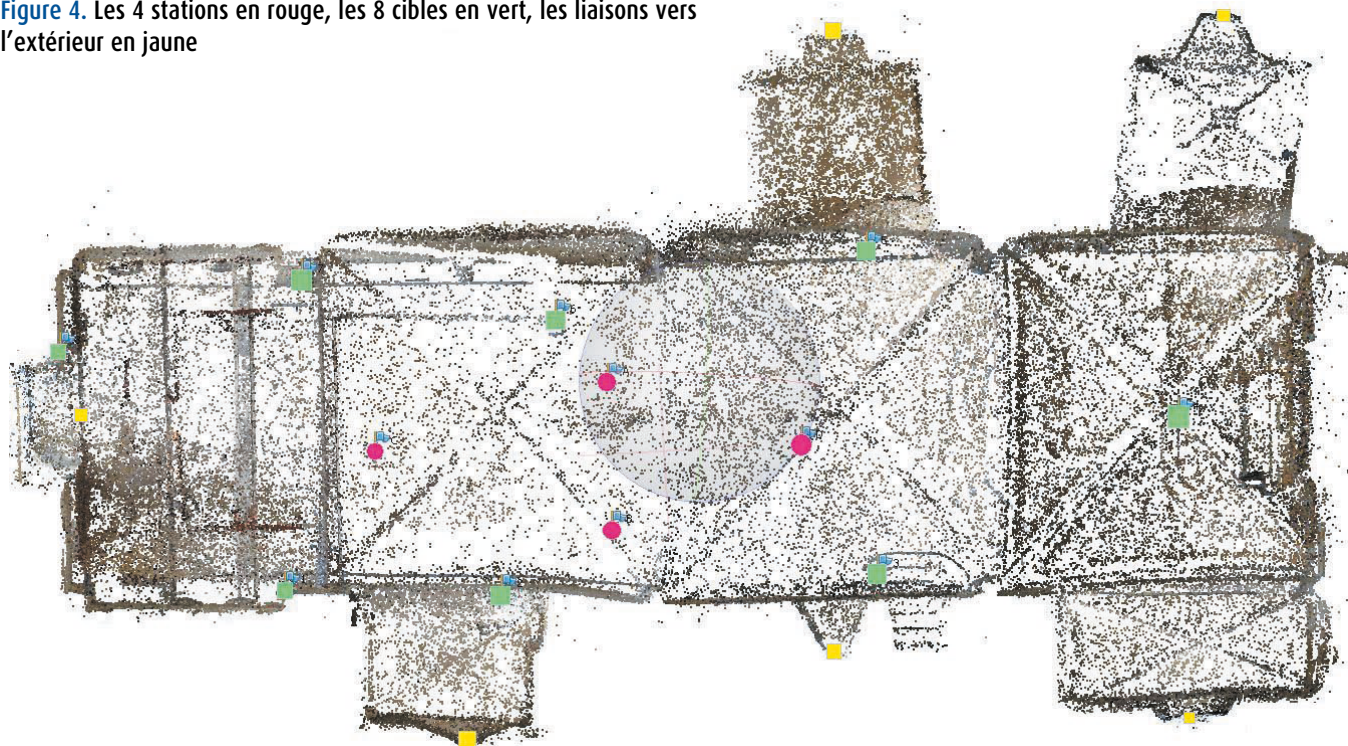
À chaque fois, on enregistre la distance, l'angle vertical et l'angle horizontal.



Figure 3. Exemple de cible (haut) et de pointage d'une cible (bas)



Figure 4. Les 4 stations en rouge, les 8 cibles en vert, les liaisons vers l'extérieur en jaune



Dans cette procédure la hauteur de l'instrument n'a pas besoin d'être connue. Il conviendra par ailleurs de renseigner la distance du point de mesure du distancemètre au centre de la sphère de la rotule (excentrement vertical). Enfin, si le distancemètre le permet, il faudra régler la base de la mesure sur la vis de fixation. Les mesures ont ensuite été entrées dans un tableau pour procéder aux calculs de corrections (conversion degrés-grades, conversion de la lecture du plateau gradué du pied, correction de l'angle de site dû à l'excentrement vertical). Ensuite, le calcul se fait simplement par moindres carrés : les points approchés sont calculés par rayonnement avec l'angle horizontal approché, et/ou trilatération pour les stations, les coordonnées définitives par compensation (ici avec Comp3D, parfaitement adapté) avec des précisions a priori en accord avec les caractéristiques de l'instrument.

## La précision

Les calculs ont donné un écart-type des distances d'environ 3 mm, une valeur tout à fait convenable en absence d'organe de pointé. Les zénithales sont autour de  $0.2^\circ$ , une valeur relativement médiocre – de l'ordre de

5 cm en Z pour les points les plus lointains –, d'où l'intérêt de rajouter des stations pour raccourcir les distances. Les angles horizontaux sont quant à eux autour de  $2^\circ$  à  $3^\circ$ . Le calage du modèle photogrammétrique sur les 8 points présente un écart-type de 27 mm en 3D, ce qui semble en accord avec les estimations de précision du calcul topographique. La principale difficulté pratique (et cause d'imprécision) est due au pointé avec une

rotule, qui est prévue pour le poids d'un appareil photo, bien supérieur à celui du distancemètre, et qu'il est difficile de manier avec assez de précision. On trouve dans le commerce un support à vis micrométrique qui résout probablement ce problème (Leica FTA 360 par exemple). De même, certains de ces appareils sont munis d'une caméra facilitant le repérage du point de mesure, difficile à voir en extérieur.



Figure 5. Prise de vue à la perche (ici sur l'église abbatiale Saint-Chaffre)

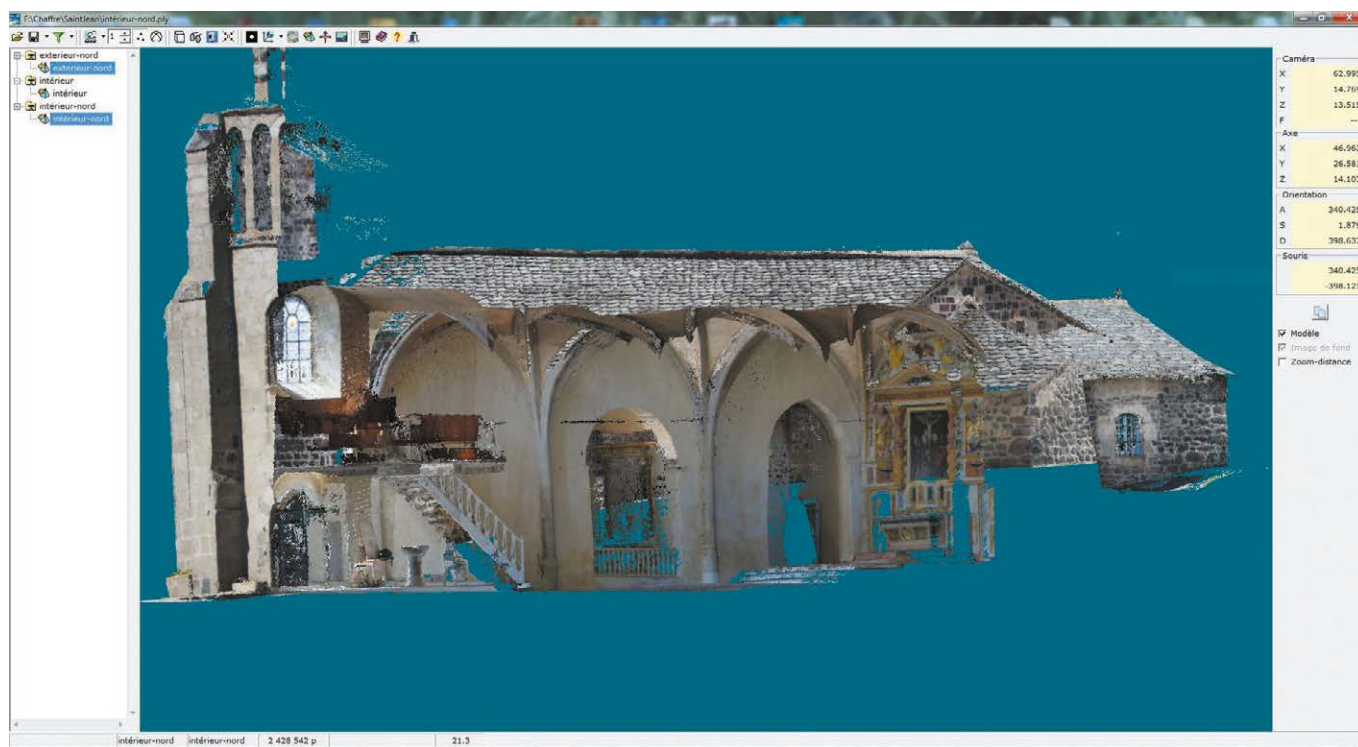


Figure 6. Modèle de la partie nord de la nef

## Le relevé photogrammétrique de l'église

Le relevé avait pour but de produire des coupes horizontales et verticales de l'édifice ainsi que des orthophotos des voûtes. Se posait alors le problème du raccord entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. La méthode topographique employée à l'intérieur peut difficilement être prolongée à l'extérieur, en raison de la nécessité de voir des points depuis trois stations bien disposées. L'étroitesse de l'unique porte ne permettait pas d'étendre le réseau d'appui à tout l'extérieur du monument. Aussi, la communication intérieur-extérieur a-t-elle été établie par photogrammétrie, en mesurant dans les images photographiques des points identifiables dans les baies, visibles des deux côtés, essentiellement des plombs de vitraux, souvent doublés car leur interprétation est souvent délicate. Cette méthode induit une petite perte de précision, le calage extérieur/intérieur présentant un écart-type de 45 mm, essentiellement dû à l'épaisseur des vitraux.

Le reste du chantier a été conduit de façon maintenant assez classique par corrélation dense. Quoique l'édifice paraisse relativement simple, les nombreuses chapelles, la tribune, l'irrégularité

du plan et l'étroitesse de la ruelle nord ont nécessité la prise d'un grand nombre de photos : 180 à l'extérieur, 200 à l'intérieur. La couverture photographique de la toiture a été rendue possible par l'emploi d'une perche télescopique de 6 m (Figure 5). L'ensemble de la prise de vue a nécessité une grosse journée de travail (en plusieurs fois en raison des problèmes d'ombre à l'extérieur). Le résultat est un modèle 3D complet, intérieur et extérieur, d'environ 60 millions de points, ramené à 10 millions de faces de façon à le rendre manipulable (Figure 6). C'est à partir de ce modèle que sont établis les différents relevés nécessaires à l'étude archéologique du monument.

## En conclusion

À la suite des évolutions très rapides de la photogrammétrie ces dernières années, qui rendent la technique accessible aux acteurs de la conservation du patrimoine, il restait un frein important au niveau des canevas d'appui. La méthodologie mise au point permet, dans les limites décrites (édifice de taille moyenne et de forme assez compacte) d'établir efficacement ce canevas avec des moyens très légers et peu onéreux. ●

## Bibliographie

Egels, Yves, Logiciel Comp3D (<http://yves.egels.free.fr/Soft/Comp3D.zip>)

Egels, Yves, On trouvera un tutoriel de Comp3D spécifique et le jeu de données correspondant à ce cas d'étude sur le blog de photogrammétrie architecturale de la SFPT : <http://sfpt.fr/parchi/?p=326>

## Contacts

**Yves EGELS**

ENSG/IGN - yves.egels@free.fr

**Emmanuel LAROZE**

CNRS UMR8167

laroze.emmanuel@gmail.com

## ABSTRACT

*Photogrammetry is imposing itself more and more as a method for recording historical heritage. The establishment of a topographic network remains the only expensive operation. We propose a light and efficient method, using a simple electronic distance meter, which allows a single operator to raise the 3D control points required for the orientation of a photogrammetric model. The method is demonstrated in the case of a rural church in the center of France.*