HAL open science

Topographie en milieu urbain : le cas des carrières souterraines d'Orléans (France)

Silvain Yart

To cite this version:

Silvain Yart. Topographie en milieu urbain : le cas des carrières souterraines d'Orléans (France). International Congress of Speleology - UIS 2022, Jul 2022, Le Bourget du Lac, France. hal-03617202

HAL Id: hal-03617202

https://brgm.hal.science/hal-03617202

Submitted on 23 Mar 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Topographie en milieu urbain : le cas des carrières souterraines d'Orléans (France)

Silvain YART (1,2)*, Jean-Luc FRONT (1)

(1) Comité Départemental de Spéléologie du Loiret, 6 rue Marcel Proust 45000 Orléans, France.
(2) BRGM – Direction Risques et Prévention, 3 av. Claude Guillemin 45060 Orléans, France.
* Corresponding author : s.yart@brgm.fr

Résumé

La ville d'Orléans (Loiret, France) a été édifiée à partir de matériaux extraits dans son environnement proche. Il en résulte une omniprésence d'anciennes carrières dans son sous-sol. A ce jour près de 700 cavités anthropiques sont recensées sur le territoire orléanais. Dans le cadre d'un partenariat avec la ville d'Orléans, le CDS45 réalise des levés topographiques de certaines carrières. Les techniques de topographie classiquement utilisées en spéléologie ont été adaptées au contexte urbain. Les relevés sont effectués à l'aide d'un DistoX2 et d'un PDA équipé du logiciel Auriga. Afin d'améliorer la précision des levés, le DistoX2 est fixé sur un trépied et les visées sont faites vers des cibles également fixées à des trépieds. Le dispositif a également été adapté afin de permettre une mesure manuelle de l'angle entre deux stations lorsque les mesures d'azimut au DistoX2 sont faussées par la présence d'objets métalliques à proximité. La comparaison avec d'autres techniques montre que la précision des levés est infra-métrique, ce qui démontre la validité de la méthode pour une restitution des topographies à l'échelle du cadastre. Ainsi, une dizaine de cavités est topographiée chaque année et intégrée à un système d'information géographique.

Abstract

Topographic survey in an urban environment: case of the underground quarries of Orléans (France). The city of Orléans (Loiret, France) was built from stones extracted from its immediate surroundings, resulting in an ubiquity of old underground quarries. To date, nearly 700 artificial cavities are known under the city. As part of a partnership with the Orléans city council, the Departmental Committee of Speleology carries out topographic surveys of some of them. The usual techniques of speleological topography have been adapted to the urban context. A DistoX2, connected to a PDA running Auriga software, is used to take the measurements. To improve survey accuracy, the DistoX2 is mounted on a tripod, and sights are made toward targets also attached to tripods. The device has also been improved to allow manual bearing measurements when metallic features in the surroundings disturb the DistoX2. The comparison with other techniques proved that the precision of the surveys is sub-metric, and therefore suitable for applications at cadastral scale. Thus, each year, a tenth of quarries is surveyed and integrated into a geographic information system.

1. Introduction

A l'instar de beaucoup d'autres villes dans le monde, le sous-sol d'Orléans (Loiret, France) a fait l'objet de nombreux aménagements au cours du développement de la ville. Les quartiers de l'intra-muros comportent principalement des caves, dont les plus anciennes sont datées du XIIe siècle (ALIX et al., 2017). Ces cavités sont constituées de salles ou galeries isolées, parfois sur plusieurs niveaux, suivant les limites du parcellaire en surface. Certaines d'entre elles sont reliées à un niveau de carrière, plus profond, ayant servi à l'extraction du calcaire de Beauce comme matériau de construction.

Dans les faubourgs de la ville, et dans les communes avoisinantes, le calcaire de Beauce a été exploité jusqu'au début du XXe siècle de façon artisanale. La pierre était extraite dans des carrières en piliers tournés, bien plus vastes que les exploitations de l'intra-muros (jusqu'à plusieurs milliers de mètres carrés).

Ces cavités, aujourd'hui situées dans des zones densément urbanisées, ont, pour beaucoup, été oubliées après leur exploitation. Elles posent de ce fait des problèmes de sécurité publique en raison des effondrements récurrents qu'elles engendrent.

Afin d'anticiper les risques liés à ces cavités, la mairie d'Orléans a entrepris depuis le milieu des années 1990 une démarche d'inventaire des anciennes caves et carrières de la ville (DE PASQUALE, 1996). La base de données ainsi constituée recensait, en 2017, 690 cavités, dont seulement 270 disposaient de plans, issus soit de documents d'archives, soit de levés topographiques. Afin de compléter la connaissance des cavités sur son territoire, la mairie d'Orléans a mis en place, la même année, un partenariat avec le Comité Départemental de Spéléologie du Loiret (CDS45) visant à réaliser des levés topographiques de certaines cavités identifiées par les services de la ville.

Pour ce faire, les techniques de topographie classiquement employées en spéléologie ont été mises en œuvre et adaptées au contexte urbain. Nous présentons ici les travaux effectués dans le cadre de ce partenariat, et notamment les optimisations apportées aux techniques de topographie spéléologique pour la réalisation de relevés de cavités anthropiques en milieu urbain.

2. Matériel et méthode

Choix et optimisation du matériel

Le matériel sélectionné doit (i) permettre la réalisation de levés suffisamment précis pour une représentation sur fond cadastral, et (ii) être à la portée financière d'une association. Le choix de l'instrument de mesure s'est donc porté sur un distancemètre laser DistoX2 – distancemètre Leica Disto X310 équipé d'un compas/clinomètre 3 axes et d'un module Bluetooth (HEEB, 2014). Le DistoX2 permet l'acquisition rapide et précise de triplets de mesures distance-azimut-inclinaison. Les mesures sont transmises directement via une connexion Bluetooth à un PDA fonctionnant sous Palm OS équipé du logiciel de topographie souterraine Auriga (LE BLANC, 2003), évitant ainsi toute erreur de retranscription. L'utilisation d'un logiciel de topographie sur PDA tel qu'Auriga permet, de plus, de visualiser en temps réel le squelette de la cavité et ainsi de vérifier la validité des mesures. Le choix de cet équipement autorise également la multiplication des visées « radiantes » autour des stations topographiques, permettant ainsi de restituer le plus finement possible la géométrie de la cavité.

Afin d'optimiser la précision des levés, le distancemètre est positionné sur un trépied photographique (*Figure 1*a) et les visées sont faites vers une cible également montée sur trépied (*Figure 1*b). Les supports de fixation sur les trépieds du distancemètre et de la cible ont été spécialement conçus pour que le point de mesure du distancemètre à l'arrière de l'appareil et le centre de la cible soient situés au niveau de l'axe de rotation horizontale de la tête du trépied. Ainsi le point de mesure reste immobile lorsque le distancemètre ou la cible effectuent une rotation dans le plan horizontal. Lors du déplacement du dispositif d'une station de mesure *n* vers une station *n+1*, l'ensemble tête de fixation / distancemètre est déplacé et fixé sur le trépied de la station *n+1* en lieu et place de la cible. Ainsi le point de mesure se retrouve positionné exactement à l'endroit où se trouvait le centre de la cible. Cette dernière est déplacée vers la station *n+2* sur laquelle un trépied aura préalablement été positionné.

Le DistoX2 étant très sensible aux perturbations magnétiques induites par la présence d'éléments ferreux à proximité, l'ensemble de la visserie des trépieds a été remplacé par des éléments non magnétiques. Néanmoins ces précautions ne permettent pas de s'affranchir de toutes les sources de perturbations magnétiques rencontrées dans les carrières, spécifiquement en milieu urbain : câbles électriques, canalisations, portes métalliques, structures en béton armé, etc. Ces sources de perturbations sont essentiellement rencontrées en surface ou à faible profondeur. Les perturbations au fond des carrières (en moyenne à 10 m de profondeur) sont plus rares. L'existence d'une perturbation magnétique est mise en évidence par la réalisation de deux visées, directe puis inverse, entre deux stations. Si la valeur d'azimut mesurée pour la visée inverse s'écarte de l'azimut mesuré pour la visée directe plus 180°, cela signifie qu'une des deux stations est soumise à une perturbation. Certaines mesures ont révélé des écarts de 70° par rapport à la valeur d'azimut attendue pour la visée inverse. Pour pallier ce problème, la tête de fixation reliant le distancemètre au trépied est équipée d'un goniomètre, permettant ainsi une mesure manuelle de l'angle entre deux stations (*Figure 1*c). Le goniomètre permet une mesure angulaire au degré près, ce qui, à titre d'exemple, correspond à une erreur de 8,7 cm pour une visée de 5 m de long.

Figure 1 : Matériel utilisé pour les levés : a) DistoX2 et goniomètre montés sur trépied, b) cible montée sur trépied, c) vue de détail du DistoX2 et du goniomètre.

Mise en œuvre des levés

La mise en œuvre de la méthode nécessite l'utilisation de trois trépieds amagnétiques identiques, chacun d'entre eux pouvant accueillir indifféremment soit l'ensemble goniomètre / DistoX2, soit une cible.

Après s'être assuré que l'opérateur ne porte pas sur lui d'éléments magnétiques, le DistoX2 est étalonné dans un environnement amagnétique (le plus souvent en fond de carrière).

Une station de référence, permettant de raccorder le levé à des points de repères géoréférencés à l'extérieur de la cavité, est ensuite identifiée. Celle-ci ne doit être soumise à aucune perturbation magnétique, ce qui est vérifié en réalisant des couples de visées directes et inverses entre la station de référence et une autre station quelconque selon la méthode décrite précédemment. Les deux stations sont déplacées jusqu'à ce qu'un emplacement non perturbé soit identifié. Si aucune position en surface ne remplit cette condition, le levé peut être initié au fond de la carrière après y avoir vérifié l'absence de perturbation.

Depuis la station de référence en surface, des visées sont effectuées soit vers un point du canevas topographique de la ville d'Orléans (matérialisé par des clous de géomètres) si l'un d'eux se trouve à proximité, soit vers des angles de bâtiments identifiables sur le cadastre.

Un cheminement de station en station est ensuite effectué vers l'entrée de la cavité puis à l'intérieur de celle-ci, chaque station étant matérialisée par un trépied muni d'une cible. A chaque station, des mesures de distance vers le haut et vers le bas sont réalisées ainsi qu'un certain nombre de visées radiantes, principalement dans le plan horizontal. A l'issue d'une visée depuis une station *n* vers une station *n+1*, le distancemètre est déplacé sur le trépied de la station *n+1* et une cible est positionnée sur le trépied de la station *n* de

façon à effectuer une visée inverse de contrôle depuis la station *n+1* vers la station *n*. Si la valeur d'azimut mesurée pour la visée inverse (*n+1* vers *n*) s'écarte de plus de 2° de l'azimut mesuré pour la visée directe (*n* vers *n+1*) auquel on ajoute ou retranche 180°, alors on considère que la station *n+1* est soumise à une perturbation magnétique. Dans ce cas la mesure d'azimut de la visée *n+1* vers *n+2* sera remplacée par une mesure au goniomètre de l'angle entre les stations *n*, *n+1* et *n+2*. Pour ce faire, le trépied et la cible positionnés sur la station *n* sont laissés en place, et un troisième trépied, muni d'une cible, est placé au niveau de la station *n+2*. Le distancemètre, toujours placé sur la station *n+1*, est positionné de façon à viser la station *n*, avec le repère du goniomètre placé sur la graduation 0. On fait ensuite effectuer au distancemètre une rotation dans le sens horaire jusqu'à viser en direction de la station *n+2*. La lecture du goniomètre donne alors la valeur de l'angle entre les stations *n*, *n+1* et *n+2*. L'azimut de la visée *n+1* vers *n+2* est alors calculé par la formule suivante :

$$Az_{n+1\rightarrow n+2} = (Az_{n\rightarrow n+1} - 180 + \alpha)\ mod\ 360$$

où $Az_{n+1\rightarrow n+2}$ est l'azimut de la visée de la station *n+1* vers la station *n+2*, $Az_{n\rightarrow n+1}$ est l'azimut de la visée de la station *n* vers la station *n+1*, et α l'angle mesuré à l'aide du goniomètre entre les visées *n* vers *n+1* et *n+1* vers *n+2* (*Figure 2*).

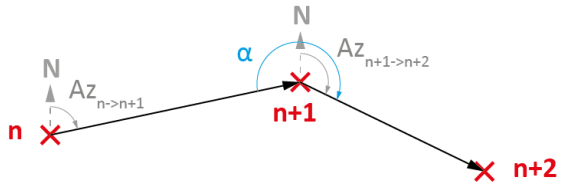

Figure 2 : Principe de la correction de mesure d'azimut par mesure d'angle au goniomètre.

Les visées dont les azimuts sont mesurés au goniomètre sont corrigées manuellement dans Auriga, soit directement pendant le levé, soit à l'aide d'un tableur au moment du traitement des données à l'issue du levé afin de minimiser les risques d'erreurs. Les corrections sont apportées dans l'ordre des visées.

Mise en forme et restitution des topographies

Après correction des visées, les données (mesures et croquis) sont exportées depuis Auriga au format DXF puis intégrées et mises en forme dans un système d'information géographique (SIG) conçu sous le logiciel QGis. Le SIG centralise l'ensemble des informations sur les cavités topographiées : les relevés topographiques, mais également des photos, des annotations ou encore les informations spéléométriques associées. Le SIG permet également de générer automatiquement un atlas des plans de toutes les cavités topographiées selon une mise en page normalisée comportant les principales informations relatives à chaque cavité (*Figure 3*).

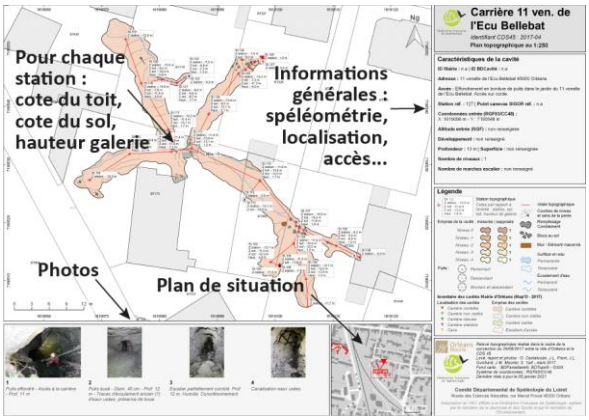

Figure 3 : Exemple de restitution en plan d'une topographie de carrière générée automatiquement à partir du SIG (réduction d'un plan au format A3).

3. Validation de la méthode

Afin de valider la méthode décrite précédemment, les mesures effectuées sur l'une des carrières topographiées sont comparées à des données de scan 3D acquises au sein de cette même cavité (*Figure 4*).

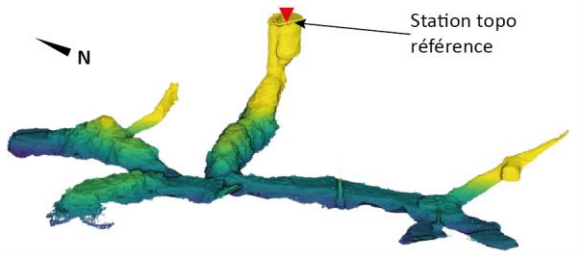

Figure 4 : Scan 3D de la carrière utilisé pour la validation de la méthode. Le dégradé de couleur représente l'altitude.

Les données 3D ont été acquises par le BRGM à l'aide d'un scanner laser mobile GeoSLAM ZEB-REVO (ZLOT & BOSSE, 2014). Cet outil, couramment mis en œuvre pour la cartographie rapide et exhaustive des milieux complexes tels que les cavités, permet de numériser les vides accessibles sous forme de nuages de points 3D avec une précision infra-centimétrique (DEWEZ *et al.*, 2017).

Les deux jeux de données sont alignés l'un par rapport à l'autre par une translation rigide de l'ensemble des visées du levé topographique de façon à placer la station de référence au niveau de sa localisation sur le nuage de points du scan 3D. Cette station constitue donc un « point fixe » pour la comparaison des jeux de données. Les extrémités des 620 visées radiantes du levé topographique, sensées se trouver sur « l'enveloppe » de la cavité, sont extraites sous forme d'un nuage de points 3D. Afin d'appréhender l'écart entre les extrémités des radiantes et l'enveloppe de la cavité, la distance entre chacune des extrémités de radiantes et le nuage de points issu du scan 3D est calculée.

La distribution des écarts des extrémités de radiantes au scan 3D (*Figure 5*) s'étend de 1 mm à 1,33 m, avec un écart

moyen de 20,3 cm. 50% des extrémités de radiantes se trouvent à moins de 16 cm de l'enveloppe de la cavité, et 99% à moins de 68,4 cm.

La répartition spatiale des écarts (*Figure 6*) montre dans l'ensemble des écarts plus faibles dans les galeries sud-est et sud-ouest de la carrière, tandis que ceux-ci sont plus importants dans les deux galeries nord-est et nord-ouest. Les écarts ne sont pas corrélés à la longueur du cheminement topographique depuis la station de référence, ce qui indique que les erreurs accumulées au cours des visées successives n'influencent pas significativement la précision du levé pour les développements de cavités rencontrés à Orléans.

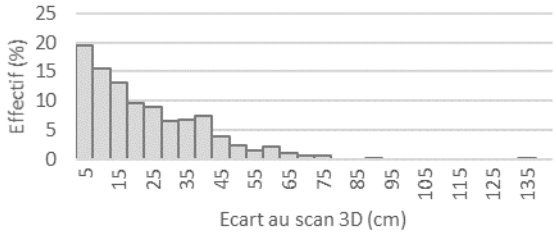

Figure 5 : Distribution des écarts entre les extrémités de radiantes et le nuage de points issu du scan 3D.

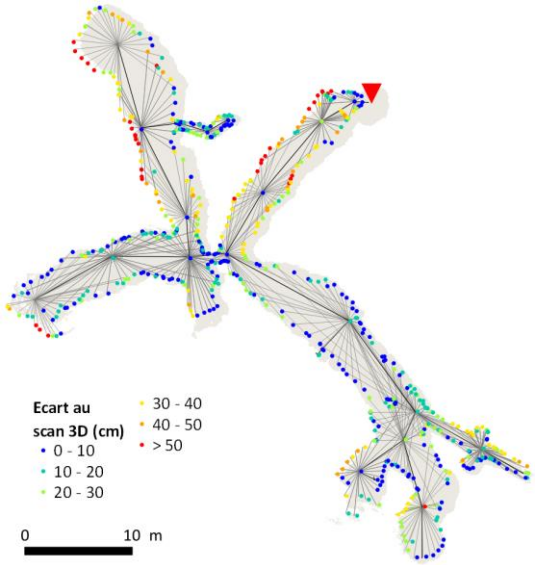

Figure 6 : Vue en plan des extrémités de radiantes et de leur écart au scan 3D (points colorés). La surface grisée représente l'emprise du nuage de points 3D projetée sur un plan horizontal. Le triangle rouge figure la station topographique de référence.

4. Conclusion

L'environnement urbain représente un environnement particulièrement contraignant pour la réalisation de levés topographiques avec les méthodes classiquement utilisées en spéléologie en raison de la présence en sub-surface de nombreux éléments métalliques susceptibles de fausser les mesures d'azimut. De plus, les levés réalisés dans le cadre du partenariat avec la mairie d'Orléans se doivent d'être les plus précis possibles afin d'être exploitables pour des problématiques d'urbanisme et de gestion des risques. L'optimisation des équipements et méthodes de topographie spéléologique permet de les adapter au contexte urbain et de répondre aux objectifs fixés. Trente-trois caves et carrières ont ainsi été topographiées entre 2017 et 2020.

Des investigations complémentaires sur les facteurs influençant la qualité des levés seraient à entreprendre. Néanmoins la comparaison avec les données de scan 3D a montré que les écarts mesurés entre les deux méthodes, bien que significatifs, restent acceptables compte tenu de l'échelle du cadastre, sur lequel les topographies sont restituées (typiquement 1/5000 ou 1/2500).

Remerciements

Nous remercions la mairie d'Orléans, et particulièrement Imed KSIBI, Daniel CHAILLOUX, qui nous a formés sur l'utilisation du matériel, Luc LE BLANC pour ses conseils et la réactivité de ses développements sur Auriga, les propriétaires qui nous ont donné accès à leur carrière, et tous les spéléologues bénévoles qui participent à ce projet.

Références

ALIX C., MORLEGHEM D., BARRAY C., PHILIPPE M. (2017) SICAVOR : Système d'Information Contextuel sur les Caves d'Orléans (2015-2017), rapport de prospection thématique pluriannuelle. Orléans : SAMO/SRA Centre, décembre 2017.

DE PASQUALE J. (1996) Carrières souterraines d'Orléans : connaître et gérer le risque. Mairie d'Orléans, 105 p.

DEWEZ T.J.B., YART S., THUON Y., PANNET P., PLAT E. (2017) Towards cavity-collapse hazard maps with ZEB-REVO handheld laser scanner point clouds. The Photogrammetric Record 32(160): 354-376.

HEEB B. (2014) The Next Generation of the DistoX Cave Surveying Instrument. CREG Journal 88: 5-8.

LE BLANC L. (2003) Auriga, or Trading your Survey Notebook for a PDA. BCRA Cave Surveying Group, Compass Points 32: 8-11.

ZLOT R., BOSSE M., (2014) Efficient large-scale three-dimensional mobile mapping for underground mines. Journal of Field Robotics 31(5): 758-779.