CASE STUDY

ANALYSE MODALE OPÉRATIONNELLE DE L'OBÉLISQUE DE LOUXOR

PLACE DE LA CONCORDE, PARIS

PROFIL DU SITE

L'obélisque de Louxor, à Paris, a plus de 3 000 ans, est un monument emblématique du patrimoine parisien. Construit au centre de la place de la Concorde, il est situé dans un environnement particulièrement dense et exposé à de multiples contraintes: vibrations dues au trafic routier, manifestations publiques, travaux, et variations thermiques saisonnières.

Dans le cadre d'un marché attribué par la Direction régionale des affaires culturelles (DRAC) d'Île-de-France, sous l'égide du ministère de la Culture, un système de surveillance structurelle et vibratoire a été installé sur l'obélisque de Louxor (figure 1).

La présence de fissures visibles sur la structure et son âge justifient une observation accrue. L'instrumentation comprend des capteurs statiques (inclinomètres, extensomètres, sondes de température) pour la surveillance des mouvements lents, et une surveillance permanente des vibrations via des capteurs dynamiques. Une analyse modale opérationnelle est réalisée chaque année sur la base des charges naturelles, afin de détecter tout changement dans le comportement dynamique de l'ouvrage.

LA SITUATION

Ce projet, prévu pour une durée de quatre ans, vise à suivre en continu l'état du monument historique, grâce à l'observation des mouvements lents, des fissures existantes et du comportement dynamique de la structure. L'objectif est d'anticiper toute évolution anormale, notamment en lien avec les conditions climatiques, les activités urbaines environnantes ou les événements publics.

Chaque année, il comprend la réalisation d'une analyse modale expérimentale influencée par des facteurs environnementaux afin de déterminer les fréquences propres, les formes modales et les caractéristiques d'amortissement de la structure. Cette méthode permet d'établir une base de données modales, ce qui permet un suivi à long terme de toute variation pouvant indiquer des changements structurels.

Structure surveillée: Obélisque de Louxor, Paris
Application: Analyse Modale Opérationnelle (OMA)
Technologie: Balise autonome ROCK Acceleration de SYSCOM avec auto-orientation, auto-nivellement et synchronisation temporelle
Points de mesures: 2 Balises ROCK Acceleration synchronisés par GNSS avec capteur triaxial interne
Objectif: Suivi en continu de l'état structurel du monument
Durée de surveillance: 1-3 mois
Société d'ingénierie: ITMSOL (Réalise l'étude) AVNIR Energy (Distributeur)

Figure 1: Obélisque de Louxor

Figure 2: SYSCOM ROCK Acceleration

ORICA Digital Solutions

SYSCOM Instruments

TECHNICAL SOLUTIONS

PRINCIPE DE L'ANALYSE MODALE OPÉRATIONNELLE (OMA)

L'analyse modale opérationnelle (OMA) est une méthode permettant de caractériser le comportement dynamique d'une structure en fonction des contraintes environnementales naturelles, notamment les vibrations ambiantes. Cette technique permet d'identifier les fréquences propres, les déformations modales et l'amortissement d'une structure sans avoir besoin d'excitation artificielle. Cette technique est particulièrement adaptée au suivi à long terme des structures monumentales, où des interventions non intrusives et réversibles sont indispensables.

INTÉRÊT DE L'OMA

Dans le contexte urbain, les contraintes naturelles (circulation, vent, variations thermiques, etc.) sont suffisantes pour exciter les modes vibratoires des structures, permettant une analyse continue et peu invasive de leur état dynamique. Ce suivi permet de détecter de subtiles modifications structurelles, souvent imperceptibles à l'oeil nu, mais révélatrices d'une altération de l'intégrité de la structure.

L'analyse modale appliquée à un monument patrimonial tel que l'obélisque de Louxor s'inscrit dans une approche préventive, fournissant une base de référence à partir de laquelle identifier tout changement anormal de la réponse structurelle au fil du temps. Elle s'inscrit dans une approche globale de surveillance de l'état des structures (SHM), combinant mesures statiques et dynamiques.

AVANTAGE DU ROCK ACCÉLÉRATION POUR L'ANALYSE MODALE OPÉRATIONNELLE

L'analyse modale de l'obélisque a été réalisée avec les capteurs d'accélération SYSCOM ROCK.

Ces capteurs (Figure 3) intègrent un accéléromètre triaxial, une connectivité 4G, un module GNSS, une carte SIM intégrée et une batterie rechargeable, le tout dans un boîtier compact et robuste. La version ROCK Acceleration HD est particulièrement adaptée aux structures massives : son niveau de bruit intrinsèque extrêmement faible (0,2 µg RMS/√Hz) permet de détecter des amplitudes de vibration extrêmement faibles.

La synchronisation temporelle de haute précision (< 10 µ s) entre les capteurs permet des enregistrements multicanaux synchronisés, essentiels pour une analyse modale fiable.

RÉSULTATS

Le déploiement sur site (figure 4) a été efficace et simple, grâce à la compacité et à l'autonomie des capteurs. La synchronisation automatique de l'heure entre les capteurs a permis d'assurer la qualité des acquisitions de données.

La gestion des campagnes a été rationalisée à l'aide de la plate-forme SYSCOM Cloud Software (SCS), qui a permis la configuration des capteurs à distance, la surveillance des enregistrements en temps réel (figure 5) et la récupération transparente des données, éliminant ainsi le besoin d'intervention sur site.

Plusieurs modes d'acquisition ont été programmés : (figure 6)

- Acquisition d'événements ponctuels en cas de dépassement de seuil pour saisir d'éventuels chocs
- Acquisition dynamique des vibrations ambiantes de 7 minutes 30 secondes toutes les 12 heures pour l'OMA

Acquisition en continu d'un mode « arrière-plan » avec enregistrement de la valeur d'accélération maximale de chacun des trois axes par période échantillonnée de 30 secondes (deux valeurs d'accélération maximales enregistrées par minute).

L'utilisation des capteurs d'accélération SYSCOM ROCK s'est avérée très efficace dans ce contexte de patrimoine urbain, répondant à toutes les exigences techniques du projet avec précision et fiabilité.

Figure 3: Mesure dynamique avec un ROCK Acceleration sur l'obélisque

Figure 4: Obélisque de Louxor avec l'installation du dispositif d'accélération SHM SYSCOM ROCK

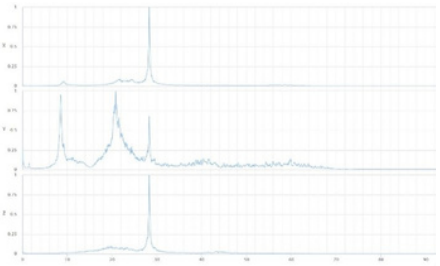

Figure 5: Analyse dans le domaine fréquentiel d'un événement

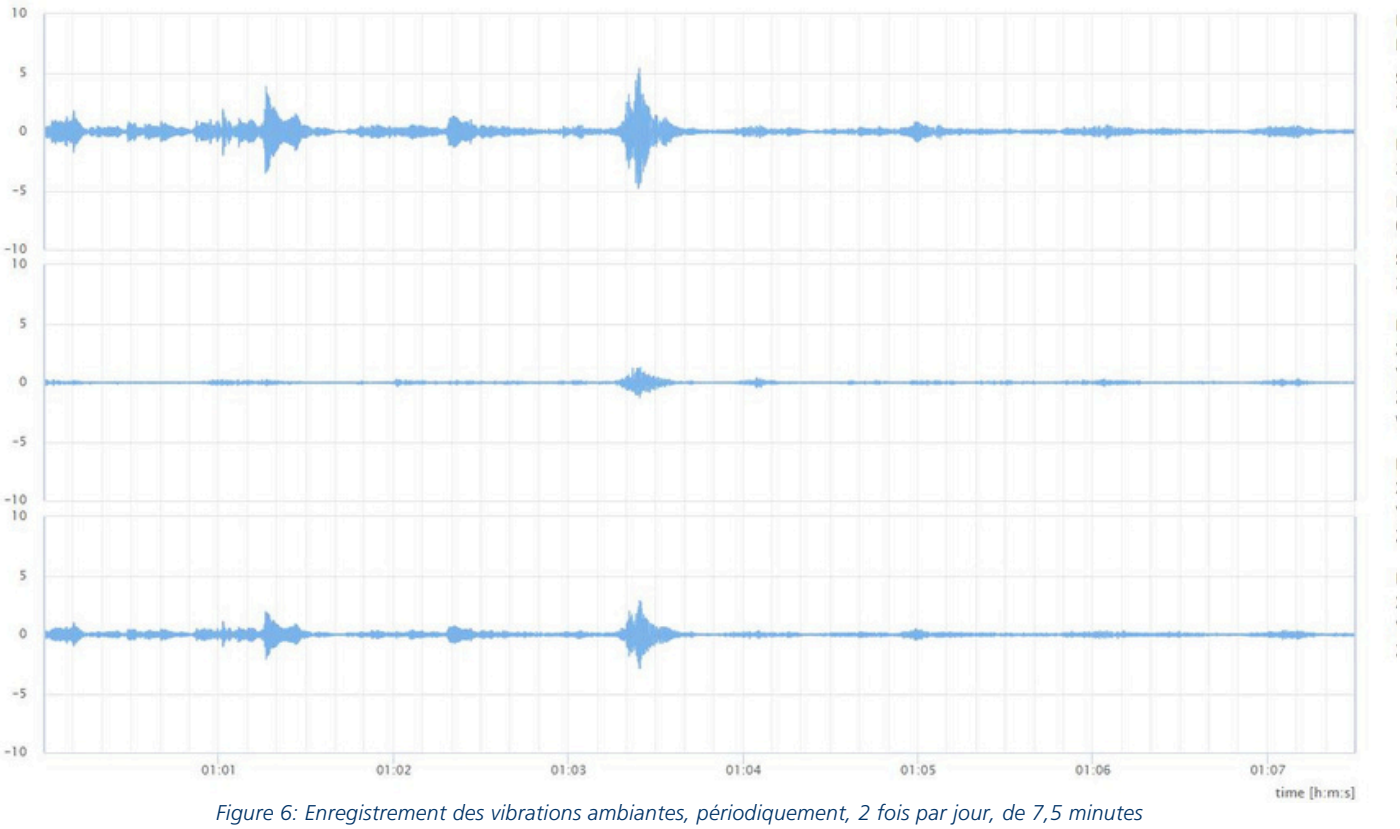

Figure 6: Enregistrement des vibrations ambiantes, périodiquement, 2 fois par jour, de 7,5 minutes

CONCLUSION

Le projet de surveillance dynamique de l'obélisque de Louxor illustre l'efficacité de l'analyse modale opérationnelle pour la surveillance structurelle non intrusive d'un monument historique. Les capteurs d'accélération SYSCOM ROCK se sont avérés parfaitement adaptés aux exigences de la ville et du patrimoine grâce à leur faible bruit, leur compacité et leur synchronisation précise. Leur déploiement rapide et leur connectivité intégrée ont grandement facilité la mise en oeuvre et la gestion des données à long terme, permettant un suivi efficace et fiable.

REMERCIEMENTS

Merci à ITMSOL et à AVNIR ENERGY, partenaire de SYSCOM en France (contact@avnir-energy.fr), pour le partage de photos et de contenus liés à cette étude de cas.
Date: Juillet 2025

Pour plus d'informations sur la façon dont SYSCOM Instruments peut soutenir vos opérations, veuillez contacter votre représentant Orica Digital Solutions local ou visiter orica.com/geosolutions

©2025 Groupe Orica. Tous droits réservés. Toutes les informations contenues dans ce document sont fournies à titre informatif uniquement et peuvent être modifiées sans préavis. Étant donné que le Groupe Orica ne peut pas anticiper ou contrôler les conditions dans lesquelles ces informations et ses produits peuvent être utilisés, chaque utilisateur doit examiner les informations dans le contexte spécifique de l'application prévue. Dans toute la mesure permise par la loi, le Groupe Orica décline spécifiquement toute garantie expresse ou implicite en droit, y compris l'exactitude, l'absence de contrefaçon et les garanties implicites de qualité marchande ou d'adéquation à un usage particulier. Le Groupe Orica décline spécifiquement et ne sera pas responsable de toute responsabilité ou de tout dommage résultant de l'utilisation ou de la confiance accordée aux informations contenues dans ce document.

Le mot Orica et l'appareil Ring sont des marques commerciales du groupe Orica.