



INNOVATION & TECHNOLOGIE

Simulation de chute de bloc pour des tests de kits de surveillance acoustique - © Ineris

SÉCURITÉ DES CAVITÉS SOUTERRAINES : LA PLATEFORME SCIENTIFIQUE DE L'INERIS À SAINT-MAXIMIN

Degas Marie, ingénieure, responsable d'études et de recherche à l'unité Risques après-mines, cavités et carrières (RMC2) de l'Ineris et responsable de la plateforme de Saint-Maximin

Lecomte Amélie, ingénieure, responsable d'études et de recherche à l'unité RMC2 de l'Ineris et responsable du programme d'appui dédié à la prévention des risques liés aux cavités souterraines, ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires (MTECT).

L'Ineris dispose d'une plateforme expérimentale et pédagogique dédiée à la prévention des risques liés aux cavités souterraines. Aménagée au sein d'une ancienne carrière souterraine, à Saint-Maximin (Oise, près de Creil), elle constitue un lieu unique pour la mise en œuvre de tests et d'expérimentations visant à améliorer la connaissance et les technologies pour la prévention de ces risques.

Environ 500 000 cavités souterraines sont reconnues en France à ce jour. Elles peuvent être d'origine naturelle (grotte, gouffre...) ou issues de l'activité humaine : carrières d'extraction, marnières, habitats troglodytes,... La répartition de ces cavités est relativement diffuse dans notre pays, mais certaines régions sont plus concernées par leur géologie et l'intensité

des activités extractives : l'Île-de-France, les Hauts-de-France, la Normandie, la Nouvelle-Aquitaine... Cinq à sept mille communes sont ainsi concernées par les risques que ces cavités souterraines font peser sur la sécurité tant des personnes que des bâtiments et infrastructures de surface.

Au cours du temps, les cavités se dégradent du fait de l'endommagement, du vieillissement et de l'altération du massif rocheux, phénomènes aggravés par des facteurs extérieurs comme les circulations d'eau, les surcharges, les vibrations. Ces dégradations peuvent provoquer des instabilités en surface sous forme de mouvements de terrain tels que les fontis, les affaissements et les effondrements, dont la gestion peut s'avérer délicate, particulièrement en milieu urbain et si elles sont inaccessibles. Également,

pour des projets de valorisation de cavités souterraines (économique ou touristique), ces dégradations doivent être gérées pour garantir la sécurité de personnes et des biens exposés.

Dans ce contexte, l'Ineris (Institut national de l'environnement industriel et des risques) identifié entre autres comme référent Cavités par le ministère en charge de l'Écologie, a pour mission de prévenir les aléas et les risques liés aux cavités souterraines, en améliorant les connaissances, les outils et les méthodes à toutes les échelles, que ce soit pour les particuliers, les collectivités, les gestionnaires d'ouvrages ou l'État.

3000 M² SOUTERRAINS DÉDIÉS AUX EXPÉRIMENTATIONS ET AUX ESSAIS

Dans le cadre de cette mission, l'Ineris a aménagé au sein d'une carrière, la première plateforme

souterraine d'expérimentation dédiée aux risques liés à la présence de cavités souterraines. Elle permet de mener, en toute sécurité, des expérimentations à l'échelle 1, dans les conditions réelles des carrières souterraines abandonnées. En effet, les caractéristiques du milieu sont difficiles à reproduire dans une halle d'essai et de démonstration conventionnelle (environnement confiné et obscur, géométrie complexe, obstacles naturels, forte humidité ambiante, température...).

Le site est situé sur la commune de Saint-Maximin (Oise), au cœur de la carrière souterraine « Parrain », propriété de la mairie de Saint-Maximin. La plateforme s'étend dans une ancienne carrière ayant exploité le calcaire sur environ 3 hectares, jusqu'au XIX^e siècle, par la méthode de chambres et piliers abandonnés (méthode « classique » dans le paysage des anciennes carrières souterraines en France et en Europe, consistant à laisser en place des piliers de roche pour soutenir les galeries laissées vides lors de l'extraction). Les galeries ont des portées de l'ordre de 5 à 8 m de large, pour un taux de défrèvement (rapport de la surface exploitée à la surface totale) global de l'ordre de 75 %. La hauteur des galeries est de l'ordre de 4 mètres (jusqu'à 7-8 m par endroits). La profondeur varie entre 13 et 20 m. Les galeries et carrières présentent des dimensions variées, permettant de disposer de nombreuses configurations géotechniques/géométriques et de surfaces libres rocheuses contrastées, saines ou fracturées.

Cinq à sept mille communes sont ainsi concernées par les risques que ces cavités souterraines font peser sur la sécurité tant des personnes que des bâtiments et infrastructures de surface.

Le gisement exploité correspond aux calcaires du Lutétien qui a fourni une pierre de taille de bonne qualité utilisée notamment pour des constructions, localement et dans l'agglomération parisienne. Il se compose de bancs décimétriques à métriques homogènes possédant une bonne résistance mécanique (de l'ordre de 15 MPa en compression simple sur échantillon). La nappe

Comprendre et maîtriser le risque lié aux cavités souterraines

Plateforme expérimentale et pédagogique de l'Ineris

Découvrez les missions de l'Ineris, référent national « cavités »

- Connaître les carrières souterraines et leurs mécanismes d'instabilité
- Maîtriser les risques et développer des stratégies pour les gérer

La plateforme souterraine de l'Ineris – Panneau d'accueil - © Ineris

phréatique est située sous le niveau de la carrière, et il n'y a pas de venues d'eau dans la carrière, seules quelques infiltrations ponctuelles.

Mise en sécurité géotechniquement par des travaux de confortement, la plateforme peut accueillir tout type d'expérimentations désireuses de mettre à profit les configurations d'une carrière abandonnée représentative de celles rencontrées en France ou, plus largement, tout projet requérant un environnement souterrain spécifique.

La plateforme offre les conditions idéales pour tester avec précision des technologies de reconnaissance et de télémesure innovantes, ou tout autre matériel destiné à de tels environnements souterrains, permettant d'éprouver leurs performances et leur adaptabilité au milieu. Un modèle spatial numérique 3D de la carrière, issu d'un levé de haute précision et géolocalisé, est disponible. Il peut servir de base comparative à d'autres levés ou données d'entrée pour des modélisations numériques.

Des aménagements spécifiques peuvent y être entrepris pour conduire des expérimentations en grand ou tester, par exemple, des méthodes de confortement.

La plateforme dispose d'une alimentation électrique, d'éclairage, d'une connexion Internet pour le suivi des expérimentations à distance (notamment via la plateforme de webmonitoring e.cenaris de l'Ineris). L'accès au site est fermé et contrôlé pour éviter tout vol ou vandalisme.

DIFFÉRENTES VOCATIONS POUR UNE PLATEFORME UNIQUE

La vocation première de la plateforme est d'appuyer des travaux de recherche, des tests et des essais, dans l'objectif d'accroître et

développer les connaissances des phénomènes d'instabilité des cavités souterraines (pour en prévenir les risques potentiels sur les biens et les personnes). Ces expérimentations concernent l'étude des mécanismes d'instabilités, mais également les méthodes de mise en sécurité et de surveillance instrumentée. Elles peuvent concerner des travaux de recherche académique (lois de comportement des matériaux, effets de l'eau, endommagement des roches...), mais aussi des tests de matériels voués à appuyer la caractérisation des aléas et des risques liés aux cavités souterraines ou à améliorer les conditions d'interventions au sein de ces cavités.

La vocation première de la plateforme est d'appuyer des travaux de recherche, des tests et des essais, dans l'objectif d'accroître et développer les connaissances des phénomènes d'instabilité des cavités souterraines (pour en prévenir les risques potentiels sur les biens et les personnes).

QUELQUES EXPÉRIMENTATIONS RÉCENTES

- Surveillance des cavités souterraines peu profondes

Les mesures acoustiques permettent de détecter les ondes sonores émises

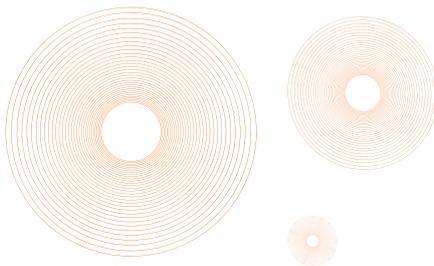


Tests de matériels d'inspection innovants - © Ineris

par des chutes et basculements de blocs, des cassures et craquements, signes précurseurs d'instabilités. Des tests ont été réalisés au sein de la plateforme pour évaluer la fiabilité de kits microphoniques à bas coût, en conditions réelles d'humidité. Une campagne d'écoute de chute de blocs, simulée par des poids, a été menée, suivie d'une évaluation de la résistance à l'humidité sur une longue durée. Une deuxième campagne de tests comparatifs est en cours afin de conclure sur la fiabilité de ces capteurs ;

- Veille technologique sur les outils d'aide au diagnostic géotechnique en souterrain

Une expérimentation a été montée avec l'École des mines de Nancy (Techlab), du bureau d'études TTGéomètres-Experts et des entreprises Flyability-Foretect et Emesent. Des robots-chiens, drones et Lidar embarqués ont été mis à l'épreuve dans l'environnement souterrain de la plateforme expérimentale, pour tester leurs capacités d'emport¹ et de déplacements souterrains dans diverses conditions et milieux (accidentés, étroits, humides, obscurs...), ainsi que leur contrôle à distance. Des essais avec différentes technologies de capteurs 3D ont été également menés, afin de créer une base de comparaison et d'aide au choix pour la numérisation 3D embarquée sur drones en milieux souterrains complexes ;



- Inspection et diagnostic des conditions de dégradations des cavités souterraines

En lien avec le BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières) et le Cerema (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement), les opérateurs présents ont mis en œuvre différents outils de caractérisation de l'état de dégradation de la cavité : comme la photogrammétrie, le radar géologique, l'imagerie électrique, le scanner laser 3D pour pouvoir les apprécier tant au niveau de la précision technique, que des aspects pratiques de mise en œuvre et de post-traitement.

ATELIERS DIDACTIQUES POUR ACCULTURER À LA PRÉVENTION DU RISQUE LIÉ AUX CAVITÉS SOUTERRAINES

La plateforme bénéficie également d'une exposition pédagogique sur les risques liés aux cavités souterraines. Basée sur des ateliers didactiques et la mise en valeur de l'espace souterrain, elle a pour vocation de sensibiliser un public varié, comme lors de journées techniques pour des agents de l'État en charge de la prévention des risques, de collectivités ayant la responsabilité des cavités et des risques qu'elles génèrent sur leur territoire ou de bureaux d'études impliqués dans divers travaux / chantiers impactés par la présence de cavités.

¹ Masse maximale de charge



Tests de matériels d'inspection innovants - © Ineris