

Evaluation de l'aléa mouvement de terrain lié à une exploitation souterraine par la modélisation numérique 3D : cas de la carrière de craie de Meudon.

L'INERIS a réalisé à l'aide de la modélisation numérique 3D, une étude de stabilité d'une carrière souterraine abandonnée sujette à un aléa mouvement de terrain. L'étude a pris en compte la complexité géométrique et géologique du site, qui rendait l'utilisation de méthodes analytiques inadéquate. La méthodologie utilisée a permis de déterminer l'état de stabilité des piliers ainsi que de définir et prioriser les zones de la carrière à traiter pour une stratégie de mise en sécurité la plus efficace possible.

Contexte. L'Ile de France et la ville de Paris sont caractérisées par la présence de nombreux vides souterrains liés à une longue histoire d'exploitation de matériaux de construction (calcaire, craie, gypse, argile, etc.). L'effondrement brutal d'une carrière de craie à Clamart en 1961 et ses nombreuses victimes ont marqué cette histoire d'une manière dramatique. La carrière « Arnaudet » à Meudon est une carrière de craie exploitée à la fin du XIXème siècle par la méthode de chambres et piliers abandonnés. Exploitée sur deux à trois niveaux, cette carrière présente un taux d'extraction localement élevé. De fait, plusieurs expertises ont considéré que le risque d'instabilité brutale ne pouvait être exclu.

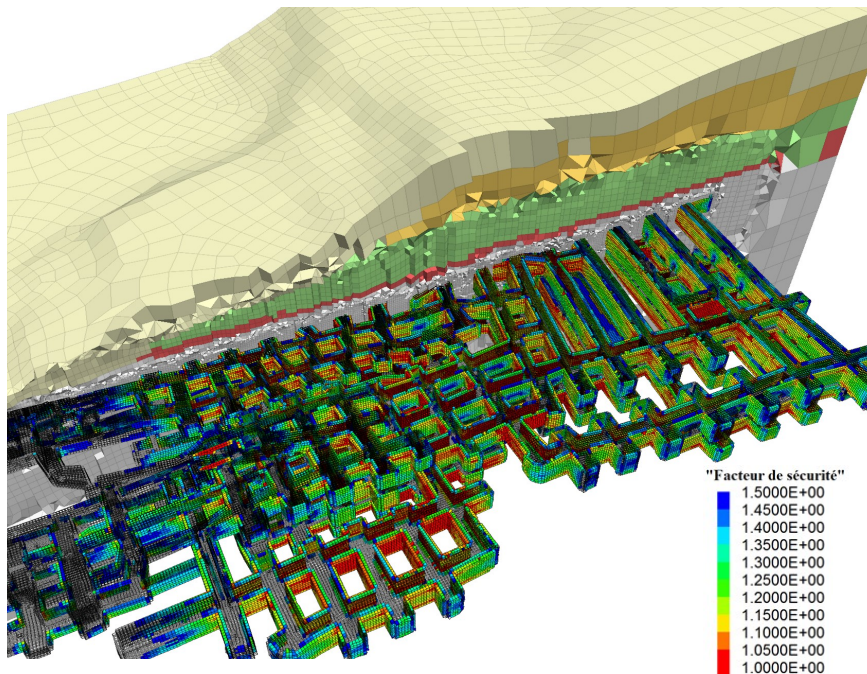
Dans un contexte urbanisé et face aux enjeux de sécurité publique, la commune de Meudon a souhaité disposer d'une évaluation et d'une cartographie précise de l'aléa mouvement de terrain ainsi que de recommandations sur les travaux de traitement prioritaires à mener pour assurer durablement la sécurité du site. La géométrie complexe de la carrière (mauvaise superposition des piliers, dimensions des piliers hétérogènes), les hétérogénéités géologiques et structurales, la variabilité spatiale des caractéristiques géomécaniques de la craie et la topographie accentuée du lieu (versant), rendaient inadéquate l'utilisation de méthodes analytiques ou d'approches empiriques (aire tributaire).



Exemple d'effondrement dans une carrière de craie

Solution. Le choix de faire appel à l'élaboration d'un modèle numérique tridimensionnel s'est imposé. Les outils modernes de modélisation dont dispose l'INERIS ont permis de surmonter les difficultés liées à la taille de la carrière (260 piliers répartis sur 6 ha) et à la nécessité d'effectuer un calcul de stabilité pour chacun des piliers.

La méthodologie adoptée a consisté en deux étapes principales. Tout d'abord, une mission de reconnaissance géotechnique a été réalisée, consistant à recueillir et à



analyser l'ensemble des données géométriques, géotechniques et hydrogéologiques du site, obtenues à partir de relevés de terrain et d'une analyse des documents et des études antérieures. Cette expertise a aussi été nourrie par des travaux de recherche conduits depuis de nombreuses années par l'INERIS sur le comportement de la craie sous sollicitations hydromécaniques.

Un modèle numérique 3D de la carrière a ensuite été réalisé, intégrant l'ensemble de ces informations. L'étendue importante de la carrière, son exploitation sur trois niveaux, la prise en compte d'une loi de comportement élastoplastique de la roche encaissante et la complexité géométrique des vides ont conduit à construire un modèle de plus de 5 millions de zones (mailles). L'état de contraintes et le facteur de sécurité en tout point de la carrière ont ainsi pu être déterminés, permettant d'identifier les zones

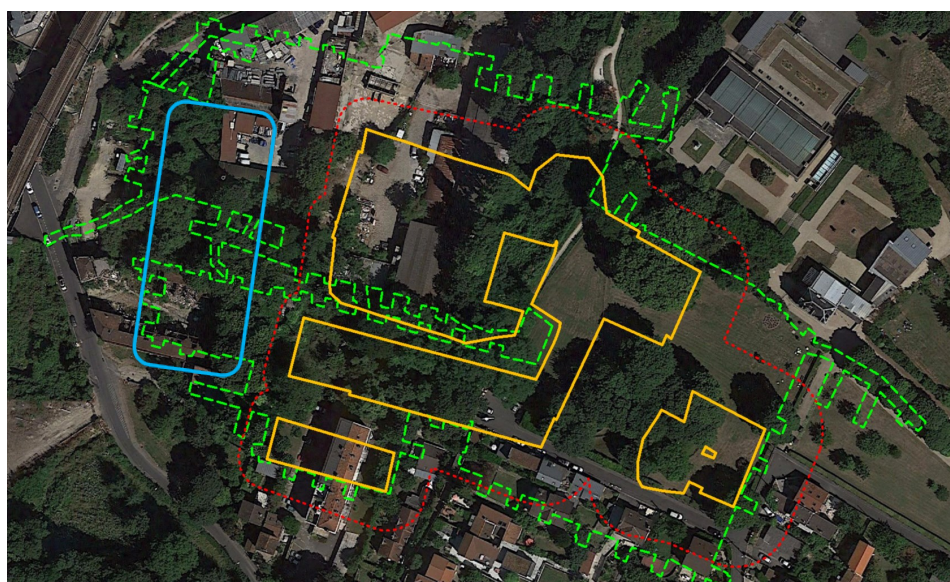
de la carrière les plus vulnérables et nécessitant par conséquent un traitement prioritaire. Ces zones se sont révélées coïncider avec celles où les dégradations les plus importantes ont été observées sur le terrain. Une bonne corrélation entre l'état de contraintes prédit par le modèle et celui mesuré dans certains piliers a aussi été constatée. Un scénario de « vieillissement » montrant les conséquences de la dégradation des propriétés de la craie sur la stabilité de la carrière a également été modélisé.

L'analyse globale des résultats a permis de déterminer, pour chaque niveau, les zones les plus sensibles au risque d'instabilité potentielle. Celles-ci ont été projetées en surface, avec un angle d'influence de 20°, pour construire une carte d'aléa. Ces simulations, court-terme et long-terme, ont permis d'émettre des recommandations sur la surveillance (au moins jusqu'à la fin des travaux de mise en sécurité) et de suggérer des moyens de traitement (remblayage, cerclage, boulonnage) à mettre en œuvre afin de rétablir un confinement des piliers les plus fragiles.

Enseignements. En France, de très nombreux territoires et collectivités sont exposés à des aléas mouvement de terrain de type affaissement ou effondrement liés à la présence de cavités, en particulier de carrières souterraines complexes. Dans de nombreux cas, des études de reconnaissance et d'évaluation du niveau d'aléa sont disponibles mais avec un niveau de précision insuffisant pour aider les gestionnaires à définir une stratégie de gestion du risque.

Sous certaines conditions, l'approche par modélisation numérique 3D est une approche pertinente pour évaluer et cartographier de manière précise l'état de stabilité d'une ancienne carrière de craie sujette au risque d'effondrement.

Cette étude a montré que la modélisation numérique 3D constitue un complément décisif d'évaluation de la stabilité d'ouvrages souterrains dans des milieux géométriques et géomécaniques complexes, fournissant aux gestionnaires du risque et collectivités un outil précieux d'aide à la décision.



- Limites de la carrière
- Emprise des secteurs sensibles
- Limites des zones d'influence
- Massif très fracturé et forte humidité



www.ineris.fr



controlling risks
for sustainable development

Carte de l'aléa effondrement généralisé