

## Interventions au niveau des cavités pour éviter leur effondrement

### Consolidation de la cavité

#### Construction de piliers en maçonnerie

Le principe est de recréer des piliers pour assurer la stabilité des excavations. La détermination du nombre, des dimensions et de l'implantation des piliers doit être réalisée par un géotechnicien en respect avec les règles existantes.

Les matériaux utilisés sont les moellons ou les parpaings pleins liés au mortier de ciment.

Les dimensions minimales retenues pour les carrières de Calcaire grossier en région parisienne sont les suivantes:

- Piliers parallélépipédiques: largeur supérieure au 1/3 de la hauteur, sans être inférieure à 1,20 m.
- Murs: épaisseur supérieure au 1/3 de la hauteur, sans être inférieure à 0,50 m.

Pour plus de précisions consulter  
la notice du 15 juillet 2004  
« Travaux de consolidations souterraines  
par piliers maçonnés »

Une attention doit être portée au sol support (ce doit être le terrain en place, non remanié, c'est à dire le sol réel de l'excavation) et au matage sous le ciel (clavage au mortier, après durcissement du mortier d'assemblage du pilier).

L'excavation doit évidemment être accessible, ou rendue telle avec des conditions minimales de sécurité.

Cette technique ne doit pas être retenue :

- dans le cas de recouvrement important >40m
- dans les matériaux autre que le calcaire

Cette technique pour être définitive est généralement couplée avec un remblaiement de la zone consolidée.

#### Remblaiement

Le principe est de supprimer l'essentiel du vide souterrain par la mise en place de matériaux sans liant hydraulique. Ces matériaux peuvent être variés: déblais criblés, terres de fouille en provenance de gros chantiers voisins, stériles miniers, etc... .

La mise en place s'effectue :

- par engins mécaniques si l'accès est possible pour les engins. Le matériau peut être acheminé à partir d'une entrée en cavage ou être déversé par un puits et repris ensuite par les engins au fond.
- par déversement gravitaire :
  - voie humide (sable et eau, cendre et eau, ...) par des forages de diamètre 100 à 200 mm, suivant une maille de 7x7 à 10x10 m.
  - voie semi-humide (mélange moitié terre, moitié eau). Le maillage est généralement compris entre 15x15 et 20x20 m
  - voie sèche, par l'intermédiaire de puits de 100 à 400 mm de diamètre. La distance entre puits doit être inférieure à deux fois la hauteur des vides, car l'étalement des matériaux n'est pas très bon, ce qui implique de réaliser un grand nombre de forages.

Il se forme un vide résiduel après tassement. Le clavage est alors nécessaire si l'on prévoit une construction au dessus.

Le clavage est réalisé à l'aide d'un coulis de ciment mis en oeuvre sous pression à travers des forages disposés entre les puits de déversement, après essorage des matériaux.

En cas de recherche d'une stabilisation totale en surface, il convient de sélectionner le matériau de comblement et son mode de mise en oeuvre fonction du tassement différé attendu.

### Injection par forages

Les matériaux injectés sont des sablons ou des cendres volantes traitées au ciment (quelquefois non traitées, dans le cas d'espaces vides en surface, auquel cas il convient de s'assurer que les matériaux ne risquent pas d'être entraînés par des circulations d'eau).

Il convient de s'assurer de la comptabilité des matériaux injectés vis-à-vis des contraintes environnementales.

Il faut au préalable établir un barrage pour circonscrire la zone à traiter. L'injection se déroule ensuite en deux phases : remplissage gravitaire puis clavage (coulis plus riche en ciment).

Les caractéristiques mécaniques du coulis doivent être adaptées dans le cas de constructions.

Un ordre de grandeur pour la densité des forages d'injection est donné par les maillages ci-après:

- 3x3 m ou 4x4 m sous une construction,
- 5x5 m sous un parking enterré,
- 7x7 m ailleurs.

Pour plus de précisions consulter  
la notice du 15 janvier 2003  
« Travaux de consolidations souterraines  
exécutés par injection »

Un cas particulier est le traitement d'une zone effondrée. Deux parties doivent être traitées:

- au niveau de l'excavation : injection des éboulis foisonnés après ceinturage de la zone effondrée (construction de murs si le secteur est accessible ou de barrière par injection dans le cas contraire).
- dans la zone décomprimée au-dessus de la cavité : traitement de consolidation. On injectera sous pression dans les terrains en place un coulis plus fluide, en veillant à ne pas provoquer le soulèvement des ouvrages environnants.

### Comblement par mousse dure

Les produits à mettre en oeuvre doivent être compatibles avec les directives environnementales.

Leur mise en oeuvre est réalisée pour mettre en sécurité des sites souterrains complexes ou à stabilité précaire (cavité très dégradée et/ou recouvrement faible) dont le traitement par d'autres méthodes ne peut assurer la sécurité des travaux de surfaces nécessaires (forage risquant de créer des effondrements par exemple).

La construction au dessus d'une cavité traitée par cette méthode devra faire l'objet d'une étude par un expert et implique d'asseoir les fondations (pieux, puits) en sol de la cavité.

### Techniques de suppression du vide souterrain

#### Foudroyage

Le foudroyage des piliers est un procédé courant dans les mines.

Pour les carrières, il se révèle adapté lorsqu'il est prévu dès l'exploitation (géométrie régulière des piliers notamment) : c'est l'affaissement dirigé. Même dans ce cas là, il peut subsister des vides résiduels. Par ailleurs le sol est très remanié et le terrain n'est pas considéré, dans l'état et sans contrôle, comme constructible.

#### Terrassement de la cavité

La technique consiste à mettre à jour la cavité par terrassement et de procéder à un remblaiement avec compactage. C'est une solution possible lorsque l'excavation est à faible profondeur.

## Interventions au niveau de la construction ou de sa fondation destinées à la rendre insensible aux dégradations dues à l'évolution de la cavité.

### Renforcement de la structure d'une construction

Le principe est de rendre la construction quasi-monolithique : chaînages, fondations superficielles renforcées.

Cette solution est en principe réservée aux cas de vides dont la répartition est inconnue: karst, marnières, sapes, sites imparfaitement remblayés, foisonnés ou décomprimés.

### Réalisation de fondations profondes

Le principe consiste à reporter la surcharge au-dessous du niveau des excavations au moyen de puits ou de pieux. Il faut évidemment vérifier qu'il n'y a pas d'autres niveaux exploités sous la pointe des pieux de fondation.

Il y a nécessité de ceinturage des pieux ou de chemisage, à la traversée de la cavité.

*Pour plus de précisions consulter la notice du 6 janvier 2003 «fondations profondes - injection »*

On notera que la réalisation de fondations profondes n'empêche pas la remontée des fontis, avec les conséquences évidentes : danger aux abords de la construction, désordres dans les caves et les sous-sols, possibilités de frottement négatif ou d'efforts horizontaux sur les pieux qui doivent être armés, On doit donc combiner cette solution avec un comblement des cavités.

### Adaptation des réseaux souterrains

L'objectif est de limiter les risques de rupture et en particulier d'éviter les fuites d'eau qui peuvent accélérer le processus de dégradation d'une cavité.

On procédera soit par renforcement, soit en utilisant des raccords souples et déformables.

L'assainissement eaux pluviales et eaux usées devra être raccordé aux réseaux publics d'assainissement, il devront être étanches et faire l'objet de contrôles d'étanchéité.

Le rejet dans les fractures du massif rocheux (puisard) ou les excavations souterraines sont à proscrire ainsi que d'une manière générale toute injection ponctuelle dans le sous-sol.

### Adaptation de la voirie

Le renforcement de la structure de chaussée par des nappes de géotextiles ou de géogrilles réduit la déformation et donc limite le risque d'accident, mais n'évite pas certains désordres.

### Commentaires

La réalisation de ces travaux très spécifiques nécessite de les faire effectuer par une entreprise spécialisée dans ce domaine.

La définition, la réalisation et le contrôle de ces travaux restent de l'entière responsabilité du pétitionnaire ou du maître d'oeuvre du projet, du bureau de contrôle et de l'entreprise.

Dans un délai d'un mois après l'achèvement de ces travaux, le pétitionnaire devra communiquer, pour information, à l'Inspection Générale des Carrières, 145 – 147 rue Yves Le Coz - 78000 Versailles :

- Le dossier de recellement des travaux réalisés
- Un plan exact d'implantation des travaux à l'échelle du 1/200, 1/100 ou 1/50

## Textes techniques auxquels il convient de se référer pour la réalisation de ces travaux.

Ces documents constituent la référence pour la mise en oeuvre de ces travaux spéciaux. Le respect de ces prescriptions est votre meilleure garantie de résultat. Mis en application, ils constituent une base de discussion en cas de litige.

Voici une partie des normes publiées qui concernent les sols et la géotechnique. Pour connaître l'intégralité des normes, le prix, la disponibilité et commander et télécharger le ou les documents, connectez-vous sur le site «Normes en ligne» <http://www.boutique-normes.afnor.fr>

Référence	Titre	Date
NF EN 12699	Exécution de travaux géotechniques spéciaux - Pieux avec refoulement de sol	20010301
NF EN 12715	Exécution des travaux géotechniques spéciaux - Injection	20001005
NF EN 1536	Exécution des travaux géotechniques spéciaux - Pieux forés	19991001
NF EN 1538	Exécution de travaux géotechniques spéciaux - Parois moulées	20000501
NF P11-212-2	DTU 13.2. Travaux de bâtiment - Travaux de fondations profondes pour le bâtiment - Partie 2 : cahier des clauses spéciales	19941101
NF P94-110	reconnaissance et essais - Essai pressiométrique Ménard	19910701
NF P94-110-1	reconnaissance et essais - Essai pressiométrique Ménard - Partie 1 : essai sans cycle	20000101
NF P94-113	reconnaissance et essais - Essai de pénétration statique	19961001
NF P94-114	reconnaissance et essais - Essai de pénétration dynamique type A	19901201
NF P94-115	reconnaissance et essais - Sondage au pénétromètre dynamique type B	19901201
NF P94-116	reconnaissance et essais - Essai de pénétration au carottier	19911001
NF P94-156	reconnaissance et essais - Mesures à l'inclinomètre	19951001
NF P94-500	Missions géotechniques – classification et spécifications	20000601
NF P95-307	Équipements de protection contre les éboulements rocheux - Terminologie	19961201
NF P95-308	Équipements de protection contre les éboulements rocheux - Écrans de filets	19961201
P11-212	DTU 13.2. Travaux de bâtiment - Travaux de fondations profondes pour le bâtiment - Partie 2 : Cahier des clauses spéciales (Référence commerciale des normes P11-212 et NF P11-212-2)	19941101
P11-221	DTU 14.1 - Travaux de bâtiment - Travaux de cuvelage - Partie 1 : cahier des clauses techniques - Partie 2 : cahier des clauses spéciales (référence commerciale des parties 1 et 2 de la norme NF P11-221)	20000501
XP ENV 1997-1	Eurocode 7 : calcul géotechnique - Partie 1 : règles générales	19961201
XP P94-010	reconnaissance et essais - Glossaire géotechnique - Définitions - Notations - Symboles	19961201
XP P94-011	reconnaissance et essais - Description. Identification. Dénomination des sols - Terminologie. Éléments de classification	19990801
XP P94-110-2	reconnaissance et essais - Essai pressiométrique Ménard - Partie 2: essai avec cycle	19991201
XP P94-123	reconnaissance et essais - Diagraphie dans les sondages - Méthode de la sonde à neutrons	19990901

### Notices techniques - I.G.C. - Ville de Paris (Documents consultables au service)

Injection gravitaire, clavage et traitement des fontis, préalable à la mise en oeuvre de fondations profondes, de type pieux ou micropieux de type supérieur ou égal à II, en zone sous minée par d'anciennes carrières souterraines ou à ciel ouvert	6 janvier 2003
Travaux de consolidations souterraines exécutés par injection pour les carrières de Calcaire Grossier, de gypse, de craie et les marnières	15 janvier 2003
Travaux d'injection des anomalies liées à la dissolution du gypse antéludien	10 janvier 2003
Travaux de consolidations souterraines exécutées par piliers maçonnés dans les carrières de calcaire grossier situées en région parisienne.	15 juillet 2004
<b>Recommandation - I.G.C. - Service Interdépartemental – 95/78/91 (Document consultable au service)</b>	
Reconnaissance des sols par sondages	09 sept 2004