

# Prise en compte des vides de dissolution de gypse dans les projets de construction

**P. VEZOLE**

Dir. Scient. EIFFAGE  
Construction  
3, avenue Morane-Saulnier  
78140 Vélizy-Villacoublay  
pvezole@eiffage  
construction.com

## Résumé

Des dissolutions de gypse sont à l'origine de cavités, que l'on comble souvent par injection ; mais la solubilité du gypse est suffisante pour que l'environnement géotechnique présente un caractère évolutif, que le constructeur doit prendre en compte, et les injections, en modifiant les conditions des écoulements souterrains, peuvent avoir des conséquences désagréables. Dans certaines conditions, il peut être judicieux de ne pas procéder au comblement des cavités, et de recourir à la méthode observationnelle pour garantir la sécurité de l'ouvrage.

*Mots-clés* : gypse, cavité, dissolution, méthode observationnelle.

# Taking account of gypsum's dissolution gaps in building projects

## Abstract

Gypsum's dissolutions make holes, often filled by grouting ; but gypsum is soluble enough in order that geotechnical environment is evolutionary ; builders must take this in consideration, and groutings, as they modify underground water conditions, can induce unpleasant results. In certain conditions, it may be judicious not to fill holes, and to use observatioal method in order to assure security.

*Key-words*: gypsum, hole, dissolution, observational method.

## Introduction

Une assise comportant des cavités constitue toujours un contexte problématique pour le constructeur. En région parisienne, on se heurte souvent à de telles situations, par exemple du fait d'exploitations passées de carrières souterraines de craies, ou de calcaire, ou parce que des phénomènes de dissolution génèrent des conditions karstiques (les galeries de métro et les réseaux d'égouts sont un autre type de cavité qui ne pose pas les mêmes problèmes).

Les cavités posent deux problèmes :

- repérage et identification ;
- prise en compte dans les projets.

Dans le cas du gypse, un autre problème est le caractère évolutif associé à la solubilité.

Les activités des constructeurs sont pour l'essentiel largement codifiées (normes, règlements, recommandations, guides techniques), mais face au problème de la prise en compte des cavités souterraines, l'ingénieur ne dispose pas de texte (même si des informations précieuses pour guider sa réflexion peuvent être obtenues dans divers documents, tels que l'ouvrage « La pratique des sols et fondations » (Filliat *et al.*, 1981).

A Paris, l'Inspection générale des carrières, en imposant des directives relatives aux comblements et au mode de fondation oriente les choix de l'ingénieur.

On constate que, confrontés à des conditions karstiques comparables et des projets similaires, les ingénieurs adoptent des choix extrêmement variés ; ainsi lorsque des vides de dissolution de gypse ont été repérés au-dessous du niveau de fondation envisagé pour un ouvrage, à partir des mêmes indices (profondeur et proportion de vides repérés sur des forages destructifs avec enregistrement de paramètres), un géotechnicien considère qu'il est indispensable de procéder à une injection, et un autre avance que les indices ne sont pas alarmants et qu'il est inutile d'injecter.

Notre propos est ici limité aux vides de dissolution de gypse situés à une profondeur notable sous des fondations, nos réflexions nous amenant à proposer une autre voie que l'alternative injection ou pas.

## Dissolutions

On citera quelques chiffres de solubilité dans l'eau douce pour des roches :

- dolomie	0,006 g/l
- calcaire	0,06 g/l
- gypse	2,38 g/l
- sel gemme	280 g/l

Le gypse est 118 fois moins soluble que le sel, mais 40 fois plus que le calcaire.

La vitesse de dissolution du calcaire n'est rapide que dans une échelle de temps géologique, tandis que celle du sel est suffisante pour qu'il soit possible d'exploiter des gisements en organisant une circulation d'eau. Le gypse est assez soluble pour que les conditions puissent être évolutives à l'échelle de la durée de service

d'un ouvrage, au moins dans certaines conditions d'écoulements souterrains.

Un débit d'eau pure de 1 m<sup>3</sup>/s est capable de dissoudre 7 m<sup>3</sup> de gypse en un an. Mais cela ne signifie nullement que si ce débit transite à l'aplomb d'une construction, il créera annuellement sous cette construction des vides d'un tel volume, et si l'eau est déjà saturée en gypse avant de traverser la zone considérée, elle ne dissoudra rien du tout.

La littérature signale des cas où l'on a pu constater la formation de vides de dissolution de volume important à une échéance de l'ordre de l'année ; apparemment, on était toujours au voisinage d'un point où l'on pompait de forts débits d'eaux souterraines, une fraction importante de ces débits provenant d'un aquifère sus-jacent (eaux non chargées en gypse), et on conçoit aisément que de telles conditions favorisent considérablement la dissolution au voisinage immédiat des puits.

Hormis ce type de situation extrême, le caractère évolutif d'un contexte géotechnique n'est certainement pas à l'échelle de l'année, mais il doit être pris en compte en regard de la durée de service d'un ouvrage courant (typiquement 70 ans).

## Géométrie et évolution des cavités souterraines

Les cavités souterraines créées par la dissolution d'une roche soluble peuvent présenter des géométries très variées :

- boyau grossièrement cylindrique et puits ;
- salle de grande hauteur et de grande largeur ;
- banc dissous dont il ne subsiste que des piliers et des murs ;
- couloir étroit de grande hauteur (dissolution et érosion par un écoulement à surface libre) ;

Dans certaines roches et sous des contraintes notables, une évolution peut résulter du fluage des matériaux sollicités autour de la cavité.

L'évolution par instabilité mécanique est susceptible de suivre de nombreux scénarios ; des volumes se détachent du plafond et s'effondrent sur le sol ; les éléments de petite taille peuvent alors être entraînés par l'eau si le courant est suffisant, mais si les entraînements sont modestes, ils restent sur place dans un état foisonné ; des instabilités successives de voûtes ou de coupoles réduisent progressivement le vide effectif au fur et à mesure que le volume de matériaux déprimés augmente ; si la cavité est relativement profonde par rapport à son diamètre, la remontée de fontis cesse, et on ne perçoit en surface les effets de l'instabilité qu'à très long terme, du fait d'une évolution asymptotique par fluage vers un équilibre final ; si la cavité est peu profonde, le fontis débouche en surface, on voit un trou dont les parois sont en surplomb, et l'évolution ultérieure en l'absence d'intervention humaine passe par des effondrements des parois, vers la formation d'une cuvette que l'on appelle doline, dont le diamètre peut être voisin de la somme du diamètre de la cavité initiale et de sa profondeur (à moins que le volume de la cavité ne soit suffisant et les matériaux assez résistants pour que se constitue un gouffre, comme à Padirac).

Une remontée de fontis peut aussi se traduire par

un débouillage : lorsque le sommet de la coupole atteint les sols de couverture, il suffit d'une cohésion modeste pour que la stabilité existe ; mais un écoulement interstitiel depuis les sols de couverture vers la cavité est susceptible de déstabiliser le bouchon puis d'entraîner les matériaux meubles, ce mécanisme peut être rapide (il n'existe pas que pour les cavités naturelles : certaines carrières anciennes dont l'accès était organisé depuis un puits vertical, condamnées par simple obturation au moyen de fagots et d'un bouchon d'argile, sont sujettes à des débouillages dangereux).

Dans le cas d'une dissolution de banc ayant dégagé un volume de vide large et de faible hauteur relative, les piliers et murs résiduels sont soumis à de fortes contraintes, et peuvent périr par écrasement ; dans le cas d'une carrière souterraine, on constate alors souvent une réaction en chaîne, la défaillance d'un pilier conduisant à une augmentation de la sollicitation de ses voisins... ; cette réaction en chaîne brutale est *a priori* beaucoup moins probable pour une cavité naturelle, car il n'y a guère de raison que tous les points porteurs résiduels soient sollicités initialement avec une même marge modeste par rapport à la rupture.

4

## Conséquences d'une injection de comblement

En présence d'une cavité peu profonde (par rapport à son diamètre), un confortement s'impose le plus souvent (même des fondations profondes ancrées au-dessous de la base de la cavité peuvent être sollicitées anormalement par une instabilité de la cavité : frottement négatif, sollicitations transversales) ; plusieurs modes de confortement peuvent être envisagés selon le cas de figure : chemisage de piliers d'une carrière pour les fretter, revêtement en béton projeté, comblement meuble, comblement comportant un liant, murs ou piliers en béton ou en maçonnerie, etc. ; d'une manière générale, il convient de se préoccuper des conséquences du confortement sur le régime des eaux souterraines.

Dans le cas de cavités profondes et/ou difficilement accessibles, les moyens de confortement usuels recourent à l'injection, les matériaux injectés étant choisis en fonction des objectifs poursuivis : matériau très fluide avec ou sans liant (caractère autoplaçant) dont on attend un remplissage aussi complet que possible des cavités rencontrées, le plus souvent avec confinement latéral préalable et clavage final, ou bien matériau dont la rhéologie limite la progression (mortier avec rigidifiant ou fibres synthétiques par exemple) en vue de constituer des piliers, etc.

A l'échelle de la durée de service d'un bâtiment, une injection de comblement renforce « définitivement » le massif rocheux dans le cas du calcaire ; on doit se préoccuper des effets de l'injection sur le régime des eaux souterraines, mais le renforcement mécanique est acquis (même si on ne sait pas toujours quantifier le renforcement nécessaire ni celui obtenu). Mais il ne viendrait à l'idée de personne de considérer que le confortement est « définitif » en présence de sel gemme, et on peut se demander quel résultat est acquis avec du gypse.

Avant injection, il existe un régime hydraulique

(variable au gré des événements météo et éventuellement des interventions humaines) ; en injectant des cavités de dissolution de gypse, on modifie les conditions d'écoulement :

– les débits sont *a priori* amplifiés chez les voisins, et on peut donc craindre d'y augmenter la vitesse de dissolution ; une instabilité qui en résulterait pourrait se répercuter sur l'ouvrage de la zone injectée, la doline étant plus large que la cavité instable ; il n'y a pas encore à notre connaissance de jurisprudence mettant en cause des injections voisines ayant accéléré des dissolutions...

– à l'aplomb même de la zone traitée, les écoulements sont initialement localisés dans les vides de dissolution, et les fissures au sein des volumes entre les vides ne sont le siège que de dissolutions très lentes ; en remplissant les vides, on provoque une augmentation des débits dans ces fissures, et on y accélère donc la dissolution ; on en saurait donc exclure, si la dissolution existante n'est que partielle, qu'après quelques dizaines d'années la situation soit aussi défavorable qu'au départ, tandis que si on n'avait pas injecté, la situation aurait pu ne pas évoluer significativement.

Injecter des vides de dissolution de gypse détectés à une vingtaine de mètres sous les fondations d'un bâtiment est une disposition qui rassure les constructeurs. Ce n'est pourtant pas une panacée : nous venons de voir que cette injection peut être à l'origine de déboires chez les voisins, et que l'amélioration des conditions de stabilité n'est pas forcément pérenne. Il n'est pas exclu que cinquante ans plus tard la situation soit plus précaire que si l'on n'avait rien fait !

En présence de gypse, il faut évidemment exclure toute disposition susceptible d'accélérer notablement la dissolution localement ; certaines installations de pompe à chaleur peuvent ainsi avoir des conséquences pernicieuses (à moins d'organiser un fonctionnement en circuit fermé en prenant la précaution de saturer l'eau en gypse avant injection – mais alors il faut aussi maîtriser les dépôts dans les canalisations...).

5

## Autre solution ?

Si les vides repérés sont relativement profonds, par rapport au niveau des fondations et aussi par rapport au toit du massif rocheux (ou semi-rocheux), on ne craint pas le phénomène de débouillage, et une éventuelle remontée de fontis est un phénomène globalement progressif (chaque instabilité élémentaire restant évidemment brutale).

On peut alors recourir à la « méthode observationnelle » prévue par l'ENV 1997 (Eurocode 7), et se placer ainsi dans le contexte d'une solution « réglementaire » :

– on met en place des tassomètres destinés à détecter une éventuelle remontée de fontis bien avant que les fondations soient affectées ;

– on définit un programme de suivi des tassomètres ;

– on n'intervient pour bloquer la remontée de fontis que si c'est nécessaire.

Les tassomètres peuvent être des barres ou des tubes en acier galvanisé (ou en matière synthétique), scellés à la base d'un forage, lequel est tubé en PVC sur toute sa hauteur sauf les cinquante centimètres inférieurs. Ils dépassent en tête du dallage ou du radier

près d'un élément de structure sur lequel est fixé un repère ; si la zone de scellement est atteinte par une remontée de fontis, la tête du tassomètre descend par rapport au repère.

On peut raffiner l'observation en installant des paires de tassomètres : le premier est scellé au tiers inférieur de la couverture de la zone des vides de dissolution, et le second à mi-hauteur ; un enfoncement du premier constitue un critère d'alerte et un enfoncement du deuxième un critère d'arrêt.

Le suivi des tassomètres est fréquent au début, de manière à identifier l'amplitude des « souffles » naturels (effets par exemple des variations de la température et de la teneur en eau, stabilisation des tassements) ; il peut ensuite être par exemple annuel.

Le constat d'atteinte du critère d'alerte déclenche *a priori* des investigations (sondages, pose d'extensomètres, etc.), et la préparation d'une intervention de confortement ; le critère d'arrêt impose une intervention de confortement (dans le cas de tassomètres disposés par paires, le critère d'alerte peut être par exemple une descente du tassomètre le plus profond excédant d'au moins 2 cm les variations saisonnières, et le critère d'arrêt le constat d'une descente de plus de 10 cm du tassomètre le plus profond ou de plus de 2 cm du tassomètre le moins profond). Un mode de confortement doit être défini dès le stade de la conception ; on ne doit toutefois pas perdre de vue que, s'il faut un jour intervenir, on disposera peut-être de technologies que l'on n'imagine pas aujourd'hui (aussi bien en matière de diagnostic que de traitement), et que les principes d'intervention que l'on doit définir au départ pour appliquer rigoureusement la méthode observationnelle sont susceptibles d'être aménagés ultérieurement.

Il reste évidemment à choisir l'implantation des tassomètres de telle sorte qu'ils soient aisément accessibles et qu'ils ne gênent pas l'exploitation du bâtiment, en les distribuant selon une trame pertinente pour l'observation (cette trame peut être choisie en référence à la profondeur des vides de dissolution).

Du point de vue économique, on peut considérer que des vides de dissolution non porteurs d'un danger immédiat, et pouvant donc relever de l'approche présentée ici, ne sont susceptibles de nécessiter une intervention qu'à une échéance lointaine, et ceci si l'on n'a pas de chance.

Dans le cas le plus probable, on ne procédera à aucun traitement pendant tout le service de l'ouvrage, et l'investissement consenti pour la pose et le suivi des tassomètres est sans commune mesure avec le coût des injections ; s'il faut procéder un jour à un traitement, un simple calcul d'intérêts composés montre

que l'économie initiale en couvre très largement le coût.

Et n'oublions pas que, comme nous l'avons vu ci-dessus, les injections préventives n'apportent pas des garanties absolues sur la durée de service de l'ouvrage, et devraient donc en toute rigueur être complétées par l'installation du même type de dispositif d'observation. On peut ajouter qu'un danger est d'autant plus grave qu'on ne l'a pas identifié, et qu'en considérant que des comblements préventifs sont une « bonne garantie », donc en oubliant le comportement évolutif, on prend beaucoup plus de risques qu'en organisant l'observation sans combler.

## 6

## Conclusion

En présence de gypse, pour un projet courant dont la durée de service caractéristique peut être estimée à 70 ans, il convient de considérer que l'environnement géotechnique est susceptible de présenter un caractère évolutif. Un comblement par injections de cavités que l'on a repérées n'est pas nécessairement une solution efficace à moyen et long terme, du fait des perturbations qui en résultent pour les écoulements souterrains.

Si les dispositions adoptées ne mettent pas efficacement l'ouvrage à l'abri de toute conséquence dommageable des dissolutions se produisant pendant le service de l'ouvrage, un dispositif de détection doit être prévu.

L'application de la méthode observationnelle exploitant un dispositif de détection de remontée de fontis peut être une réponse adaptée au problème que posent des vides repérés sous une épaisseur suffisante de matériau de consistance rocheuse ou semi-rocheuse ; cette solution peut être beaucoup plus fiable ; elle est réglementaire ; elle est peu coûteuse ; elle pose néanmoins un problème d'ordre contractuel, du fait de la sujétion de suivi qui en résulte, accompagnée de l'éventualité de devoir un jour procéder à un confortement.

## Bibliographie

- Afnor XP P94-250-1 ; ENV 1997-1 – Eurocode 7. *Calcul géotechnique*. Partie 1 : règles générales.  
Filliat G. et al. – *La pratique des sols et fondations*. Éditions du Moniteur, 1981.