



INSPECTION GÉNÉRALE DES CARRIÈRES

## **NOTICE TECHNIQUE**

**du 10 janvier 2003**

**Travaux d'injection des anomalies  
liées à la dissolution du gypse antéludien**

## SOMMAIRE

<b>SOMMAIRE.....</b>	<b>2</b>
<b>1. OBJET DE LA NOTICE .....</b>	<b>3</b>
<b>2. RECONNAISSANCE DE SOL INITIALE .....</b>	<b>4</b>
2.1. CARACTÈRE OBLIGATOIRE DE LA RECONNAISSANCE DE SOL INITIALE .....	4
2.2. SONDAGE CAROTTÉ .....	4
2.3. SONDAGES DESTRUCTIFS .....	4
2.4. NOMBRE MINIMAL DE SONDAGES EN FONCTION DE LA PARCELLE ET DU PROJET .....	5
2.5. RECENSEMENT DES ANOMALIES CONSTATÉES .....	6
<b>3. ESSAIS DE REMPLISSAGE. ....</b>	<b>6</b>
3.1. OBJECTIFS DES ESSAIS DE REMPLISSAGE. ....	6
3.1.1. <i>Estimation du volume des vides.....</i>	6
3.1.2. <i>Responsabilité de l'exécution des essais de remplissage .....</i>	7
3.1.3. <i>Interprétation des résultats des essais.....</i>	7
3.2. MODE D'EXÉCUTION DES ESSAIS DE REMPLISSAGE. ....	7
3.3. SUIVI ET INTERPRÉTATION DES ESSAIS DE REMPLISSAGE. ....	8
3.3.1. <i>Rôle de l'Inspection générale des carrières .....</i>	8
3.3.2. <i>Fiches d'essais .....</i>	8
3.4. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS DES ESSAIS DE REMPLISSAGE. ....	8
<i>Liste des pièces justificatives à fournir à l'Inspection Générale des Carrières .....</i>	8
<b>4. LE TRAITEMENT DES ANOMALIES DÉTECTÉES.....</b>	<b>8</b>
4.1. CRITÈRES D'APPRÉCIATION DE LA NÉCESSITÉ DE TRAITER LES ANOMALIES DÉTECTÉES .....	8
4.2. LES TRAVAUX D'INJECTION .....	9
4.2.1. <i>Paramètres de forage .....</i>	9
4.2.2. <i>Maillage général minimum. ....</i>	9
4.2.3. <i>Injection de comblement des vides et clavage .....</i>	9
4.2.4. <i>Injection de traitement. ....</i>	10
4.3. QUALITÉ DES MATÉRIAUX MIS EN ŒUVRE .....	10
4.4. SONDAGES DE CONTRÔLE .....	12
<b>5. MISSION DU BUREAU DE CONTRÔLE TECHNIQUE. ....</b>	<b>13</b>
<b>6. DOCUMENTS À FOURNIR À L'INSPECTION GÉNÉRALE DES CARRIÈRES PAR LE MAÎTRE D'OUVRAGE .....</b>	<b>13</b>

## 1. Objet de la notice

Dès la fin des années 60, les risques dus à la dissolution du gypse antéludien, notamment la venue à jour de fontis naturels, étaient connus. Des études sommaires, fondées sur un nombre réduit de sondages utilisant les technologies disponibles à l'époque, ont été réalisées au début des années 70 et ont conduit à la définition d'un périmètre de risques, approuvé par l'arrêté inter préfectoral du 25 février 1977, pris en application de l'article R 111-3 du Code de l'Urbanisme et valant Plan de Prévision des Risques (cf. Code de l'Environnement titre V, ch. II, art L 562 – 6).

La répartition des inclusions de gypse dans les niveaux antéludiens présente un caractère aléatoire, ce qui explique la grande difficulté à circonscrire avec précision les zones dangereuses, d'autant que la présence du gypse ne constitue pas à elle seule un danger. Il faut qu'elle soit couplée à une circulation d'eau souterraine importante.

La dissolution des inclusions de gypse antéludien a eu lieu à l'échelle des temps géologiques depuis le dépôt de ces horizons gypsifères mais également à l'échelle humaine en raison des inversions du sens de l'écoulement des nappes et surtout des modifications de leurs équilibres statiques. Les pompages industriels réalisés dans le centre et le nord de Paris pendant au moins un siècle puis, la nette diminution, depuis 1970, de l'intensité de ces pompages ont provoqué une baisse généralisée puis une remontée des nappes phréatiques et sous jacentes. Cette baisse des nappes a engendré des circulations d'eau non saturée qui a provoqué une reprise de l'érosion gypseuse. La remontée qui l'a suivie a activé des processus de déstabilisation mécanique des fontis en formation. Dans Paris, plusieurs cycles de baisses et de remontées de nappes se sont succédé durant ces trente dernières années, provoquant de nouvelles dissolutions.

Les différents horizons où le gypse antéludien se rencontre, sont, du plus ancien au plus récent :

- les Marnes et Caillasses du Lutétien sous forme de bancs ou de lentilles de gypse, atteignant 5 à 6 mètres d'épaisseur moyenne en cumulé dans cette formation,
- les Sables de Beauchamp où le gypse est présent de façon exceptionnelle et sous faible épaisseur. Il se situe vers le milieu de la formation et se substitue partiellement au passage argileux qui se trouve habituellement à ce niveau,
- les Marno – Calcaires de St Ouen au sens large. Le gypse se rencontre en substitution du Calcaire de Ducy et de façon hétérogène en lentilles dans les marno – calcaires. Les bancs continus de gypse semblent rares dans Paris, en l'état des connaissances actuelles. Ils se présentent plutôt de manière discontinue.

Si les couches de terrain surmontant immédiatement les bancs ( ou lentilles ) de gypse sont peu résistantes, la dissolution n'a pour effet que la création de décompressions dans ces terrains, généralement suivies de re compactations plus ou moins lentes dans le temps . Ceci se traduit par des empilements d'assiettes de décompressions lorsque l'on fait des forages

En revanche, si ces couches de terrains de recouvrement sont suffisamment rigides , la dissolution engendre l'apparition d'un vide qui, par rupture du toit rigide, peut remonter jusqu'à la surface du sol : c'est le phénomène dit de « fontis naturel ».

Le mécanisme de remontée du fontis naturel s'apparente à celui qui accompagne l'effondrement des vides des carrières souterraines abandonnées.

L'objet de la présente notice est donc de rassembler les règles de l'art des reconnaissances de sol minimales à réaliser dans les zones touchées par la dissolution du gypse antéludien ainsi que celles des travaux de consolidation à mener pour s'affranchir du risque.

Ces règles sont fonction de la sensibilité au risque naturel de dissolution du gypse antéludien de la zone où se situe la parcelle et de la nature des constructions.

## 2. Reconnaissance de sol initiale

### 2.1. Caractère obligatoire de la reconnaissance de sol initiale

Une reconnaissance de sol initiale, doit être **obligatoirement** réalisée pour permettre de repérer sur l'ensemble de la parcelle les zones de risque de dissolution des bancs de gypse contenus dans les différentes couches géologiques du terrain situées au dessus du banc de calcaire grossier, en particulier dans les Marnes et Caillasses où l'on rencontre le plus souvent les poches de dissolution de gypse antéludien.

Le programme des reconnaissances de sol initiales à effectuer sera conçu et réalisé sous la responsabilité entière du géotechnicien missionné par le Maître d'ouvrage. Il devra constituer le moyen d'arriver rapidement à posséder le maximum d'indications sur la présence des poches de dissolution de gypse et des décompressions du terrain, en fonction des constructions bâties et des constructions nouvelles projetées.

Il devra permettre de préciser sans ambiguïté la hauteur totale du terrain présentant un risque de présence de gypse en dissolution éventuelle. Pour cette raison, il appartiendra au géotechnicien, dans le cadre de sa mission, de déterminer exactement la cote du toit du calcaire grossier notamment au moyen d'un sondage carotté réalisé sur les derniers mètres du forage, qui confirmera les informations qu'il aura pu recueillir sur la carte géologique du site.

### 2.2. Sondage carotté

Le but de ce sondage est de déterminer la cote N G F exacte du toit du calcaire grossier sur la parcelle (orthométrique Ville de PARIS = N G F - 0,33). Son implantation et son exécution s'effectuent sous la responsabilité du géotechnicien.

### 2.3. Sondages destructifs

Le but de ces sondages est de déterminer le plus précisément possible la présence et la cote (orthométrique Ville de Paris ), des bancs ou lentilles de gypse antéludien, des vides francs de dissolution du gypse et des zones de terrain décompressées. Il est recommandé de réaliser les forages en rotation simple

Un minimum de quatre paramètres de forage seront enregistrés :

1. vitesse d'avancement de l'outil de forage ;
2. pression sur l'outil de forage ;
3. pression d'injection du fluide de refroidissement ;
4. couple de rotation ou autre.

Pour une meilleure interprétation des enregistrements, il est recommandé de régler la pression sur l'outil à une valeur constante et suffisamment élevée, pour pouvoir déceler les vides de faible importance.

Une description sommaire du matériel utilisé doit être fournie (type de foreuse, outil de perforation, système de foration, diamètre de l'outil foreur,...)

En cas de roto percussion, la percussion réfléchie doit être enregistrée.

La valeur des paramètres, à partir desquels un vide franc est décelé, doit être impérativement précisée par le géotechnicien en fonction du matériel de forage utilisé. Ces valeurs doivent être déterminées et étalonnées à partir d'essais de chute libre de l'outil de forage effectués à différentes profondeurs.

#### **Détection des bancs de gypse antéludien par diagraphie Gamma Ray :**

Un certain nombre de ces forages seront équipés pour le passage d'une sonde permettant d'effectuer une diagraphie de radioactivité naturelle, couramment appelée gamma-ray ou R.A.N., et consistant à mesurer le long de la paroi du forage l'émission radioactive naturelle du terrain .

Cette diagraphie permet le repérage des bancs de gypse et en cas de dissolution, fournit l'épaisseur et la position dans le sol de bancs gypseux ou des vides, permettant ainsi de compléter les informations fournies par le sondage destructif.

L'interprétation de la diagraphie gamma-ray et celles des sondages destructifs devront faire l'objet d'un commentaire de la part du géotechnicien. Il est recommandé d'étalonner la sonde à partir du sondage carotté de référence.

### **2.4. Nombre minimal de sondages en fonction de la parcelle et du projet**

Le nombre de sondages à effectuer sera déterminé par le géotechnicien dans le but de recueillir le maximum d'informations sur le sol de la parcelle.

Ce nombre permettra de circonscrire les risques, de détecter les anomalies potentielles et de définir un programme de travaux assurant le traitement de ces anomalies , permettant de livrer au maître d'ouvrage, en fin d'opération, une parcelle exempte de tout risque d'affaissement de terrain ou de remontée de fontis.

**Pour les constructions neuves, la base d'évaluation déterminant le nombre minimal de sondages sera de un pour 1000 m<sup>2</sup> non bâti et un pour 500m<sup>2</sup> bâti dont 50 % seront équipés en Gamma –Ray.**

Ce pourcentage de sondages équipés en Gamma Ray pourra être réduit si le Maître d'Ouvrage est en mesure de fournir une étude historique et géologique de la totalité de la parcelle, précisant sans ambiguïté l'existence, et la hauteur de bancs de gypse inclus dans les Marnes et Caillasses, les Sables de Beauchamp ou les Marno-Calcaires de St Ouen. La validité de cette étude sera appréciée par l'Inspection générale des carrières. Elle ne pourra être prise en compte que dans la mesure où elle comportera un nombre suffisant de sondages carottés.

En l'absence d'une telle étude et en tout état de cause, il sera réalisé au minimum deux sondages dont un Gamma – Ray.

Pour un pavillon individuel, le nombre de sondages minimum pourra être au minimum de deux dont un équipé de Gamma Ray. En cas d'anomalie détectée, il pourra s'avérer utile d'équiper immédiatement le forage afin qu'il puisse être utilisé pour une injection ultérieure.

Cette base d'évaluation du nombre minimal de sondages de reconnaissance préliminaire demandé lors de l'instruction du Permis de Construire pourra être modifiée par l'Inspection générale

des carrières, et conduire dans certains cas à une augmentation significative du nombre de sondages demandés en fonction de la sensibilité du site.

Ce nombre minimal peut être insuffisant pour permettre un dimensionnement du programme des travaux de traitement complet des anomalies détectées. Il est alors de la responsabilité du Maître d'œuvre, s'il le juge nécessaire, de définir, en liaison avec le géotechnicien, un nombre de sondages supplémentaire lui permettant de définir le programme complet des travaux à réaliser pour assurer la mise en sécurité totale de la parcelle à construire.

## **2.5. Recensement des anomalies constatées**

La campagne de reconnaissance de sol effectuée par le géotechnicien aura permis de constater l'absence d'anomalies ou, au contraire, aura révélé des anomalies.

Le recensement de ces anomalies et l'interprétation des diagraphies des sondages restent de la seule responsabilité du géotechnicien.

Dans le cas où la reconnaissance de sol aura décelé sur la parcelle une anomalie, un vide franc ou une décompression significative, et compte tenu de son analyse et de son interprétation des sondages, il appartiendra au géotechnicien de décider, en accord avec le maître d'ouvrage, de l'opportunité de compléter la campagne de reconnaissance de sols par un essai de remplissage pour apporter sur l'ensemble de la parcelle, les précisions permettant au Maître d'Oeuvre, d'affiner l'estimation du volume des vides éventuels de dissolution.

Cet essai consistera à réaliser au moins deux forages complémentaires, l'un situé dans une zone anormale détectée lors de la campagne de reconnaissance préliminaire, l'autre dans une zone saine. On procèdera alors à un remplissage gravitaire d'un coulis adapté et fabriqué pour la circonstance (sable-ciment, ou produit de qualité équivalente et conforme aux dispositions édictées au §.IV.3.) afin d'apprécier la capacité d'absorption du terrain dans les deux contextes spécifiques.

Cette campagne complémentaire d'essais de remplissage est menée sous la responsabilité du géotechnicien.

Les résultats des sondages avec ou sans essai de remplissage devront permettre au Maître d'œuvre de définir le programme de travaux de mise en sécurité de la parcelle à l'égard des risques naturels de dissolution de gypse susceptibles de générer à terme un risque d'affaissement de terrain ou de remontée de fontis en surface.

## **3. ESSAIS DE REMPLISSAGE.**

### **3.1. Objectifs des essais de remplissage.**

L'objectif de ces essais est de permettre d'apprécier la capacité d'absorption des terrains de la parcelle, de fournir les critères d'appréciation de la nécessité de traiter les anomalies détectées et d'affiner l'évaluation de l'ampleur des travaux de consolidation de la parcelle.

#### **3.1.1. Estimation du volume des vides**

La possibilité pour le maître d'œuvre et pour le géotechnicien dans le cadre d'une mission spécifique d'estimer le plus finement possible le volume des vides à injecter nécessite un nombre de forages d'essais de remplissage complémentaires à réaliser au voisinage immédiat du sondage ayant détecté l'anomalie.

### 3.1.2. Responsabilité de l'exécution des essais de remplissage

L'essai de remplissage fera partie d'une campagne de reconnaissance complémentaire donnant au géotechnicien les moyens de localiser précisément les anomalies, de mieux les délimiter, de permettre d'évaluer leur importance volumétrique et par là même de préciser le niveau du risque existant sur la parcelle à la date de la campagne de reconnaissance de sol. Le maillage sera déterminé par le géotechnicien ainsi que les points de forage où seront réalisés les essais de remplissage.

La responsabilité de la conception et de l'exécution des essais de remplissage relève du géotechnicien.

Il lui appartient de mettre en œuvre tous les moyens à sa disposition pour faire exécuter l'ensemble des essais prévus.

Le nombre minimal de ces essais sera déterminé par le géotechnicien sur la base de son interprétation des diagraphies des forages.

Le suivi de la bonne exécution de ces essais est de sa responsabilité.

### 3.1.3. Interprétation des résultats des essais.

L'interprétation du résultat des essais reste de la responsabilité du géotechnicien et/ou du Maître d'œuvre de l'opération.

Ses conclusions doivent être explicitement fournies dans le rapport de conclusion à fournir à l'Inspection générale des carrières et/ou au Bureau de Contrôle Technique.

## 3.2. Mode d'exécution des essais de remplissage.

Les forages seront équipés, soit de tubes lisses, soit de tubes crépinés, selon la nature du terrain traversé. Le diamètre de ces tubes sera adapté à la nature du mortier à mettre en œuvre ainsi qu'aux volumes et débits correspondants. Le diamètre et les ouvertures des crépines devront être adaptés à la dimension des plus gros grains du mortier et des caractéristiques du terrain (15 mm).

En principe, 100 mm de diamètre intérieur minimal pour les mortiers de comblement afin d'éviter tout risque de colmatage du tube. Le diamètre du forage sera adapté à l'équipement prévu et à la profondeur à atteindre. Toutes les dispositions devront être prises pour éviter la dispersion du mortier hors de la parcelle concernée, en particulier, sa pénétration dans les ouvrages souterrains à conserver.

Du fait de l'éboulement possible des parois du terrain, il conviendra de maintenir les terrains par tous les moyens possibles pour garantir un remplissage réel depuis le fond du forage.

Le comblement se fera par remplissage de chaque forage d'un volume prédéterminé par le géotechnicien. La profondeur du mortier dans le forage sera mesurée à l'issue de l'essai. Ces données permettront de comparer les diagraphies des forages avec la quantité de mortier absorbé pour une couche de terrain donnée.

L'utilisation de coulis prêt à l'emploi pour l'essai de remplissage est possible, sous réserve qu'il respecte les dispositions d'assurance qualité édictées au § IV.3.

### **3.3. Suivi et Interprétation des essais de remplissage.**

#### **3.3.1. Rôle de l'Inspection générale des carrières**

Le rôle de l'Inspection générale des carrières est de s'assurer du respect de la mise en œuvre de la prescription en concordance avec la présente notice.

Des passages inopinés sur le chantier devront permettre d'effectuer ce contrôle sans pour autant que cette intervention ne puisse constituer une quelconque participation à un acte de maîtrise d'œuvre. L'exécution des travaux de remplissage ou des travaux liés à la reconnaissance de sol (préliminaire ou complémentaire) reste de la seule et entière responsabilité du maître d'œuvre ou du géotechnicien.

L'entreprise effectuant les sondages, pour le compte du Géotechnicien, devra laisser en permanence sur le chantier, à disposition du Contrôleur technique de l'Inspection générale des carrières, les enregistrements de paramètres de forage.

Il appartiendra au Géotechnicien de tenir informée systématiquement l'Inspection générale des carrières de la date prévisionnelle du début des travaux de sondage.

#### **3.3.2. Fiches d'essais**

Lorsque des forages consécutifs à la détection d'une anomalie auront été équipés pour la réalisation d'un essai de remplissage, les quantités réelles de mortier injecté ou absorbé jusqu'à résurgence éventuelle devront être consignées sur un tableau journalier.

Ce tableau devra être à la disposition des agents de l'IGC et comportera au minimum :

- La mesure du temps de remplissage.
- La mesure de cote d'altimétrie du mortier à 24 h..

### **3.4. Interprétation des résultats des essais de remplissage.**

#### **Liste des pièces justificatives à fournir à l'Inspection Générale des Carrières**

Pour permettre à l'Inspection générale des carrières d'analyser le résultat des essais de remplissage, les pièces justificatives suivantes devront lui être transmises :

- Rapport des reconnaissances de sol préalables.
- Implantation des forages
- Fiches d'essais
- Diagraphies des forages.
- Rapports de conclusion du Géotechnicien et du Maître d'œuvre précisant la nécessité ou pas d'une campagne de travaux.

## **4. Le traitement des anomalies détectées**

### **4.1. Critères d'appréciation de la nécessité de traiter les anomalies détectées**

En fonction de l'interprétation du résultat des essais de remplissage et de la reconnaissance initiale, le maître d'œuvre proposera un programme de travaux de traitement d'anomalies sur la base des résultats de la ou des reconnaissances du géotechnicien..



Il pourra être fait suivant le cas, soit du traitement par injection sous pression, soit du comblement des vides et clavage, soit les deux simultanément.

**En cas de découverte d'un fontis, il est obligatoire de faire, outre le comblement et le clavage, le traitement des terrains de recouvrement décomprimés situés au-dessus de ce fontis.**

## **4.2. Les travaux d'injection**

### **4.2.1. Paramètres de forage**

Les forages seront réalisés au moyen de foreuses travaillant de préférence en rotation simple à l'aide de boue bentonitique ou à l'eau claire ou par tout moyen permettant la tenue des parois du forage.

L'appareillage utilisé pour l'enregistrement en continu des paramètres de forages comprendra soit une sortie en données numériques, soit un enregistrement analogique permettant le suivi des caractéristiques du forage sur le chantier. Au moins quatre paramètres seront enregistrés : vitesse instantanée d'avancement de l'outil, pression d'appui exercée sur l'outil, pression d'injection du fluide de perforation, couple de rotation de l'outil.

La vitesse de pénétration devra être représentée sur une échelle correspondant à la vitesse de saturation constituant l'étalonnage de la vitesse d'avancement de la machine utilisée. Le cas échéant, elle devra également être représentée sur une deuxième échelle permettant une appréciation plus fine.

Des essais de chute d'étalonnage du matériel seront réalisés à différentes profondeurs

### **4.2.2. Maillage général minimum.**

Le maillage général minimum sur la parcelle, dans les zones où le nombre de forages de la campagne initiale n'a pas mis en évidence d'autres anomalies susceptibles d'exister néanmoins sur le terrain, sera :

- 7,00 m x 7,00 m pour les zones bâties et les abords (5 m) dans la limite de la parcelle.
- 10,00 m x 10,00 m pour les zones non bâties

Ce maillage devra cependant définir une implantation de forages coïncidant avec la ou les anomalies détectées.

### **4.2.3. Injection de comblement des vides et clavage**

Le comblement des vides francs et des zones décomprimées des couches profondes contenant ou ayant contenu du gypse antéludien est réalisé par injection gravitaire d'un mortier de ciment.

Celui-ci devra avoir une résistance minimale à la compression de 1,5 MPa à 28 jours.

Le ciment utilisé doit pouvoir résister à l'action chimique des eaux séléniteuses

Une fois que ce mortier a résurgé à la surface, les tubes seront soigneusement lavés. Puis une injection de clavage des anomalies sera réalisée, à l'obturateur simple placé en tête, sous une pression

minimale de 5 bars, avec un coulis de ciment. Celui-ci devra avoir une résistance à la compression de 3 MPa à 28 jours.

Un délai minimal de 7 jours calendaires à partir de la fin du comblement d'une zone déterminée doit être respecté avant le clavage.

Les forages seront équipés, soit de tubes lisses, soit de tubes crépinés, selon la nature du terrain traversé. Le diamètre de ces tubes sera adapté à la nature du coulis à mettre en œuvre ainsi qu'aux volumes et débits correspondants : 60 mm de diamètre intérieur minimal pour les mortiers de comblement.

Le diamètre du forage sera adapté à l'équipement prévu. Il ne sera pas inférieur à 100 mm.

Dans le cas où l'on ne peut pas effectuer le comblement gravitaire en trou ouvert, la dimension des tubes crépinés doit être adaptée à la dimension des plus gros éléments du mortier.

Pour les mortiers à base de sable fin ou de cendres volantes, il sera nécessaire d'avoir au minimum 6 perforations d'un diamètre minimal de 15 mm disposées en quinconce par mètre linéaire de tube ou une superficie de perforation équivalente.

Dans le cas de comblement de vides superposés en utilisant un seul forage, il y aura lieu d'adopter des dispositions spéciales pour assurer la mise en œuvre du clavage dans chaque étage de vide.

#### 4.2.4. Injection de traitement.

Une description de la mise en œuvre des injections par traitement sera fournie. Elle comprendra au minimum :

- un plan d'implantation des forages d'injection.
- autour des anomalies détectées, les dimensions du maillage sous le bâtiment projeté et ses abords immédiats pourront être réduits à
  - 3,50 m x 3,50 m en fonction de l'analyse de l'ensemble des enregistrements des paramètres de forage déjà réalisés et de l'importance de ces anomalies ou des vides de dissolution détectés.
  - sur les zones aménagées en parking enterrés ou pour les immeubles comportant des parkings en sous sol, les dimensions du maillage ne doivent pas être supérieures à 5,00 m x 5,00 m.
  - pour les zones non bâties, le maillage sera de 7,00 x 7,00 m.

Chaque forage devra donner lieu à l'enregistrement des mêmes paramètres que pour les forages de reconnaissance, de manière à définir les quantités prévisionnelles à injecter et éventuellement les renforcements à apporter au schéma prévisionnel d'injection.

Le type d'équipement des forages d'injection sera adapté à la nature et aux caractéristiques mécaniques des terrains traversés.

En particulier, le traitement des terrains décomprimés, dont l'origine est liée à l'évolution des poches de dissolution, doit être effectué par l'intermédiaire de tubes à manchettes ; ces tubes doivent avoir un diamètre intérieur minimal de 42 mm. L'espace annulaire minimal pour le coulis de gaine sera de 20 mm.

### 4.3. Qualité des matériaux mis en œuvre

L'entrepreneur est tenu de pouvoir justifier à tout moment de la provenance des matériaux qu'il utilise. Les matériaux livrés seront accompagnés des lettres de voitures indiquant le lieu de provenance, le nom du fournisseur et les quantités approvisionnées.

Les ciments entrant dans le traitement des mélanges devront figurer sur la liste des produits admis à la marque NF «Liants hydrauliques » et être conformes à la norme NF P 15-301 de juin 1994 « Liants hydrauliques, ciments courants, composition, spécifications et critères de conformité » et à la norme XP P 15-319 de septembre 1995 « Liants hydrauliques – Ciments pour travaux en eau à haute teneur en sulfate ».

Généralement, le ciment à utiliser est du type CLK CEM III/C 32,5 PM-ES, avec une centrale de production agréée N F V.P..

La bentonite sodique ou activée sera compatible avec les qualités de ciment indiquées ci avant.

Le sable fin devra posséder un équivalent de sable supérieur à 20, un indice de plasticité inférieur à 8, avec une granulométrie de 0 à 2 mm maximum, et ne pas contenir plus de 0,4 % de matières organiques.

L'utilisation des coulis prêts à l'emploi, livrés sur site par camions toupies est possible sous réserve d'un engagement du fournisseur certifiant la qualité du produit mis en œuvre et l'absence de cendres volantes contenant des matières organiques, seules les cendres volantes des centrales thermiques au charbon étant acceptées.

Les cendres volantes proviendront exclusivement des centrales thermiques fonctionnant au charbon, et devront être normalisées ou conformes à la norme N F E N 450 d'Octobre 1995 « Cendres volantes pour béton – Définition, exigences et contrôle de qualité ».

Les cendres normalisées ne feront pas l'objet de contrôle.

Les cendres «conformes à la norme», feront préalablement l'objet d'une procédure de contrôle du Laboratoire d'Essais des Matériaux de la Ville de PARIS ou d'un laboratoire d'Essais agréé COFRAC.

**Les cendres d'incinération d'ordures ménagères sont formellement interdites.**

L'entrepreneur précisera la centrale d'origine de ses cendres et en donnera la composition moyenne. Il devra être en mesure d'assurer la traçabilité du transport des cendres depuis la centrale jusqu'au chantier, la maîtrise de la qualité des cendres étant de son entière responsabilité.

Des prélèvements et des essais de contrôle de la qualité des coulis seront réalisés en cours de chantier. Ils pourront être demandés par L'inspection générale des carrières.

Tous matériaux employés autres que ceux décrits ci dessus, en particulier les coulis prêts à l'emploi livrés sur site, devront être fournis par des Centrales de fabrication agréées par le Laboratoire d'Essai des Matériaux de la Ville de Paris ou tout autre laboratoire d'essais accrédité par le Comité Français d'Accréditation - COFRAC - 37 Rue de Lyon- 75012 PARIS.

Ces matériaux ou produits prêts à l'emploi devront faire l'objet d'un agrément spécifique auprès du Laboratoire d'Essai des Matériaux de la Ville de Paris, (ou d'un autre laboratoire agréé COFRAC), du Maître d'œuvre et du Bureau de Contrôle technique avant de pouvoir être mis en œuvre.

#### 4.4. Sondages de contrôle

Les sondages destructifs de contrôle devront permettre de valider les travaux réalisés.

Ces contrôles, sont réalisés sous l'égide de la Maîtrise d' Œuvre et du Bureau de Contrôle technique éventuellement. Ils sont réalisés par le géotechnicien missionné, pour cette opération spécifique, essentiellement par le Maître d'Ouvrage mais pas par l'entreprise, qui ne saurait être juge et partie des travaux qu'elle effectue.

Ils sont conduits sous la pleine et entière responsabilité de ces acteurs à la construction en cours d'exécution et après exécution des travaux.

Il est très fortement recommandé qu'ils soient réalisés ou conduits par le géotechnicien ayant réalisé la reconnaissance initiale.

Le matériel utilisé devra être de performance équivalente à celui employé lors de la Reconnaissance initiale.

En outre, un sondage pressiométrique sera effectué au droit de chaque fontis détecté et traité.

Ces sondages devront permettre de s'assurer du bon niveau de consolidation des terrains traités.

Ils devront être réalisés 28 jours après la fin des travaux d'injection.

Le nombre de forages de contrôle devra être au minimum de 1 pour 10 forages d'injection initialement prévus. Ce nombre sera augmenté au droit des anomalies détectées et traitées. Le nombre minimum sera de 3. Dans le cas particulier des pavillons, ce nombre pourra être inférieur.

Un minimum de quatre paramètres de forage seront enregistrés :

- 1) vitesse d'avancement de l'outil de forage
- 2) pression sur l'outil de forage
- 3) pression d'injection du fluide de refroidissement
- 4) couple de rotation ou autre.

Pour une meilleure interprétation des enregistrements, il est nécessaire de régler la pression sur l'outil à une valeur constante et suffisamment élevée, pour pouvoir déceler les vides de faible importance.

Il est aussi recommandé de réaliser les forages en rotation simple.

Une description sommaire du matériel utilisé doit être fournie (type de foreuse, outil de perforation, système de foration, diamètre de l'outil foreur,...)

La valeur de la vitesse , à partir de laquelle un vide franc est décelé, doit être précisée en fonction du matériel de forage utilisé. Cette valeur doit être déterminée et étalonnée à partir d'essais de chute libre de l'outil de forage effectués à différentes profondeurs.

En cas de résultat non concluant des sondages de contrôle, il sera nécessaire de reprendre les travaux d'injection.

Dès les résultats connus, le Maître d'Ouvrage transmettra à l'Inspection générale des carrières le rapport des sondages de contrôle.

## **5. Mission du Bureau de Contrôle Technique.**

La mission du Bureau de Contrôle Technique devra permettre d'assurer le Maître d'Ouvrage de la bonne qualité des travaux et du respect des principes édictés dans la présente notice qui définit les règles de l'art minimales garantissant la mise en sécurité définitive de la parcelle.

Son intervention devra donc débiter dès l'élaboration du projet.

Le choix des fondations de la construction devra rester de l'initiative du géotechnicien et du Maître d'Œuvre en fonction de la nature, de l'importance et de la profondeur des anomalies détectées. (fondations profondes ou fondations superficielles, après injection de comblement des vides et clavage, traitement systématique des fontis détectés et traitement éventuel des terrains de recouvrement si leurs caractéristiques géotechniques l'imposent.)

Le Bureau de Contrôle Technique devra aussi émettre un avis sur le dossier de récolement avant leur transmission à l'Inspection générale des carrières, qui délivrera alors au Maître d'Ouvrage un récépissé de dépôt de plans en vue de l'obtention de la conformité du Permis de Construire..

## **6. Documents à fournir à l'Inspection générale des carrières par le Maître d'Ouvrage**

- Dossier de récolement des travaux d'injection visés par le maître d'œuvre et le bureau de contrôle technique
- Le plan de tir des forages
- Les tableaux récapitulatifs d'injection , forage par forage.
- Les diagraphies
- Le rapport des sondages initiaux.
- Le rapport des sondages de contrôle
- Le dossier de récolement des essais contrôle qualité du chantier, définis dans la présente notice.
- Certificat de l'origine des cendres, notamment en cas d'utilisation de coulis prêt à l'emploi.