



INSPECTION GÉNÉRALE DES CARRIÈRES

NOTICE TECHNIQUE

du 6 janvier 2003

**Injection gravitaire, clavage et traitement des fontis,
préalables à la mise en œuvre 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**

SOMMAIRE

SOMMAIRE.....	2
PREAMBULE	3
1. RECONNAISSANCE DE SOL PRÉALABLE.....	4
<i>1.1 GÉNÉRALITÉS</i>	<i>4</i>
<i>1.2 SONDAGES DESTRUCTIFS</i>	<i>4</i>
<i>1.3 SONDAGES PRESSIOMÉTRIQUES.....</i>	<i>4</i>
<i>1.4 NOMBRE DE FORAGES DE RECONNAISSANCE</i>	<i>5</i>
<i>1.4.1 Cas d'une carrière de limites connues sur la parcelle à consolider :</i>	<i>5</i>
<i>1.4.2 Cas d'une carrière de limites mal connues sur la parcelle à consolider :</i>	<i>5</i>
2 DÉFINITION DES TRAVAUX D'INJECTION GRAVITAIRE, CLAVAGE ET TRAITEMENT DES FONTIS.....	6
3. CONTRÔLES DES RÉSULTATS DES INJECTIONS GRAVITAIRES, DU CLAVAGE ET DU TRAITEMENT DES FONTIS.....	9
▪ <i>en cours d'exécution, par le maître d'œuvre :.....</i>	<i>9</i>
▪ <i>après exécution, par le bureau d'études de sol.....</i>	<i>9</i>
4. DISPOSITIONS SPÉCIFIQUES AUX PIEUX ET MICROPIEUX.....	11
<i>4.1. LES PIEUX</i>	<i>11</i>
<i>4.1.1. En zone de carrières à ciel ouvert</i>	<i>11</i>
<i>4.1.2. En zone de carrières souterraines.....</i>	<i>11</i>
<i>4.1.3. Carrières souterraines classées ou exigeant la conservation des vides.</i>	<i>11</i>
<i>4.2. LES MICROPIEUX</i>	<i>12</i>
5. DOCUMENTS À FOURNIR APRÈS LES TRAVAUX :	13

PREAMBULE

Sur le plan juridique, en application de l'**article 552 du Code Civil**, le propriétaire du sol est également propriétaire du sous sol. Il est donc **responsable** des dommages que celui ci peut causer. De ce fait, la charge financière des travaux de mise en sécurité de sa propriété lui incombe, même s'ils sont prescrits par l'Autorité administrative compétente dans la délivrance d'une autorisation administrative de construire.

Le présent texte n'engage en aucune manière la responsabilité du Maire et de son Conseil Technique sur la conception et le choix, ainsi que sur la mise en œuvre de la méthode d'exécution de la fondation profonde retenue par le Maître d'Oeuvre. Ceux ci devant respecter ,en tous points, les exigences du D.T.U. 13.2. « Fondations Profondes » et du C.C.T.G. fascicule 62.

Le maître d'ouvrage et son équipe de maîtrise d'œuvre gardent l'entièr responsabilité des travaux dont l'efficacité dépend de la façon dont ils sont réalisés, notamment pour ce qui concerne :

- les valeurs quantitatives arrêtées,
- le contrôle rigoureux, par un géotechnicien indépendant de l'entreprise, de la bonne exécution des travaux d'injection gravitaire – clavage et traitement des fontis et des résultats obtenus.

L'attention du maître d'ouvrage est également attirée sur le fait que les règles stipulées dans la présente notice constituent des règles minimales, et qu'il lui appartient de s'assurer que les mesures qu'il prendra, sont suffisantes eu égard aux caractéristiques du sous-sol, et du projet, ainsi que de l'hydrogéologie du secteur.

En particulier, dans le cas où les conditions d'exécution des pieux pourraient s'avérer irréalisables du fait des emprises ou de l'environnement immédiat (constructions existantes sur toute l'emprise de la parcelle interdisant la possibilité d'amener une machine à pieux), il appartiendra au Maître d' Ouvrage de proposer une solution technique alternative à l'agrément du Conseil Technique du Maire. Cette solution pourra concerner l'exécution de micropieux de type II, III ou IV. Dans ce cas, l' injection gravitaire-clavage et traitement des fontis préalables avant exécution des micropieux demeure aussi obligatoire et devra respecter en tous points les règles minimales de la présente notice. La mise en œuvre de micropieux de type I est strictement interdite car inadaptée en zone de carrières.

Enfin, en cas de difficultés réellement identifiées et justifiées d'impossibilité de réaliser correctement les injections gravitaires-clavage préalables, une solution de fondations par pieux tubés et ferraillés sur toute hauteur, le tubage étant perdu jusqu'en pied de carrière, pourra éventuellement être soumise à l'approbation du Conseil Technique du Maire. Dans ce cas d'exception, un dossier technique comportant la justification au flambement des pieux ,la justification d'un travail exclusif en pointe, la prise en compte d'éventuels frottements négatifs, et la justification de prise en compte de la corrosion conformément aux dispositions du C.C.T.G., fascicule 62 titre V, préalablement accepté par un bureau de contrôle agréé, devra être transmis au Conseil Technique du Maire ,qui statuera sur l'opportunité d'accepter ou non, cette dérogation à la présente notice.

1. Reconnaissance de sol préalable

1.1 Généralités

Une reconnaissance de sol préalable, qui n'a pas pour objet le dimensionnement des ouvrages, (notamment des pieux) doit être réalisée pour préciser les limites de la carrière, ses caractéristiques, l'état de son remblaiement éventuel et l'état des terrains de recouvrement.

Cette reconnaissance de sol doit être effectuée par un géotechnicien indépendant de l'entreprise qui réalisera les injections et les pieux. Le géotechnicien est missionné essentiellement par le Maître d'Ouvrage.

Les sondages et essais devront être réalisés conformément aux normes en vigueur au jour de leur réalisation (NFP 94-500), en particulier les forages et les essais pressiométriques devront être réalisés conformément à la norme NFP 94.110.1, ainsi qu'au DTU en vigueur à ce jour ("Etude géotechnique et reconnaissance de sol" revue française de géotechnique n° 22 datée de février 1983).

Cette reconnaissance devra comprendre des forages destructifs enregistrés, des forages pressiométriques et devra être complétée par la visite de la carrière, si celle-ci est accessible.

Un dossier de synthèse sera remis au Conseil Technique du Maire à l'issue des travaux.

1.2 Sondages destructifs

Un minimum de trois paramètres de forage seront enregistrés :

1. vitesse de l'avancement de l'outil de forage
2. pression sur l'outil de forage
3. pression du fluide de refroidissement

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 foration, 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. Cette valeur doit être déterminée à partir de tests de chute libre de l'outil de forage effectués à différentes profondeurs et doit apparaître explicitement dans le dossier.

1.3 Sondages pressiométriques

Dans la mesure du possible, les forages pressiométriques devront être étalonnés à l'aide de forages destructifs réalisés à proximité immédiate. En outre, le géotechnicien utilisera un appareil d'enregistrement numérique des essais in situ.

Afin de connaître les caractéristiques géotechniques des terrains de recouvrement de la carrière avant injection gravitaire et clavage, des mesures pressiométriques doivent être exécutées sur

toute la hauteur du recouvrement, au minimum tous les deux mètres jusqu'à trois mètres au dessus du ciel de la carrière, puis tous les mètres jusqu'au pied de la carrière.

1.4 Nombre de forages de reconnaissance

Le nombre de forages à prévoir doit prendre en compte le maillage des forages indispensables à la mise en œuvre des injections gravitaires et du clavage sous la construction projetée et ses abords immédiats dans la limite de la propriété, et les caractéristiques particulières de la carrière (piliers tournés, galeries vides, fontis, carrefours de galeries, etc...).

Un tiers des sondages destructifs devront être associés à proximité immédiate (environ 1 mètre) à des sondages pressiométriques.

Par ailleurs, dans le cas où le géotechnicien ne peut conclure sur l'état exact de la carrière, il sera alors nécessaire de réaliser des forages carottés à partir de 1,00 m du ciel présumé de la carrière afin de bien préciser la stratigraphie du sous-sol ou l'état de la planche résiduelle.

1.4.1 Cas d'une carrière de limites connues sur la parcelle à consolider :

Le nombre de forages à prévoir doit prendre en compte le maillage des forages indispensables à la mise en œuvre des injections gravitaires-clavage sous la construction projetée et ses abords immédiats et les caractéristiques particulières de la carrière (piliers tournés, galeries vides, fontis, carrefours de galeries, anciens puits de service, remblais de carrière, etc...).

En règle générale, on entend par abord immédiat du projet, une zone périphérique au projet d'une largeur minimale de 5,00 m, intégrant le maillage requis en fonction de la hauteur de recouvrement, et susceptible d'être adopté en fonction des spécificités du projet.

En tout état de cause, le nombre de forages nécessaire à la reconnaissance préliminaire de sol est au minimum de 1 pour 200 m² sous le bâtiment et ses annexes ainsi que leurs abords immédiats, sans que ce nombre puisse être inférieur à 2.

Ce nombre doit être augmenté en fonction de la complexité géométrique de la carrière, dans les zones de fontis et lorsque l'épaisseur de la planche résiduelle sous le dernier sous-sol est inférieure à 10 m.

Ce nombre correspond à l'exigence minimale pour les constructions individuelles.

Il devra être porté à 3 pour les autres constructions.

1.4.2 Cas d'une carrière de limites mal connues sur la parcelle à consolider :

Le nombre de forages doit être augmenté dans les zones d'incertitude aux fins de préciser ses limites.

L'ensemble des résultats de la reconnaissance de sol doit être présenté dans un rapport, rédigé par un géotechnicien ou un bureau d'étude de sol possédant la qualification OPQIBI ou équivalent, comportant les emplacements (sur un plan de masse sur lequel figurent les constructions projetées), les coupes géologiques et les diagrphies des sondages réalisés ainsi qu'une **conclusion explicite, absolue**, ne laissant subsister aucun doute ou aucune interrogation, et résumant les caractéristiques géologiques et géotechniques du terrain dont la connaissance exhaustive est indispensable à la mise en œuvre des fondations profondes...

2 Définition des travaux d'injection gravitaire, clavage et traitement des fontis

Un dossier technique descriptif de la mise en œuvre des pieux et injections de remplissage gravitaire et clavage indiquant les modalités de réalisation, comblement gravitaire, clavage du ciel de la carrière, ainsi que de traitement des fontis éventuels, sera par ailleurs fourni par le Maître d'ouvrage au Conseil Technique du Maire. Pour le suivi réglementaire exercé par le Conseil Technique du Maire, il comportera obligatoirement un planning prévisionnel d'exécution à lui remettre avant le démarrage des travaux.

Ce dossier devra être établi par un bureau d'études, ou un bureau d'études d'entreprise.

Elle comprendra au minimum :

- **Pour les zones bâties :**

Un plan d'implantation des forages d'injection et des barrages en limite de propriété. A l'intérieur du périmètre de confinement des injections, les dimensions du maillage sous le bâtiment projeté et ses abords immédiats dans la limite de la propriété (5 mètres minimum) ne doivent pas être supérieures, tant pour les forages de comblement gravitaire que pour les forages de clavage, à 5,00 m x 5,00 m. L'implantation des forages doit tenir compte des caractéristiques particulières de la carrière (piliers tournés, fontis, ciels tombés, points hauts, etc...).

- **Pour les zones non bâties** de la parcelle, l'injection de remplissage gravitaire sera réalisée selon un maillage minimum de 7,00 m x 7,00 m.

En cas de découverte d'une galerie vide transitant sous la parcelle voisine, celle ci devra faire l'objet d'un barrage en limite de propriété.

Les barrages d'injection gravitaire-clavage en limite de propriété, fermés totalement, pourront être réalisés avec un dispositif adapté, notamment :

- à l'aide de coulis silicatés (de soude),
- de bétons maigres secs (pour limiter l'étalement, granularité 0/ 20 et dosage de 150 kg/m³ de ciment CLK / CEM M/ C 32,5) injectés par l'intermédiaire de forages de gros diamètres (150 mm minimum),et complétés par des injection de mortier colmatant les vides en tête des cônes, au niveau du ciel de carrière, à l'inter maille des forages,
- de murs maçonnés en moellons calcaires de récupération ou en parpaings de CLK – CEM M/ C 32,5
- ou par tout autre système assurant un barrage efficace à la fois en phase travaux et en phase définitive.

Précaution : il conviendra d'attendre 24 h minimum, avant d'entreprendre le comblement de la carrière, afin d'obtenir la résistance suffisante des barrages.

Au droit de l'implantation des pieux concernant les zones bâties situées en limite de parcelle, l'espacement des forages ne devra pas être supérieur à 2,50 m, sauf si la parcelle voisine a déjà été traitée par injection.

La ligne de forages resserrée à 2,50 m sera placée à 1,25 m maximum de la limite de la parcelle

Chaque forage d'injection gravitaire-clavage donnera lieu aux mêmes enregistrements que pour les forages de reconnaissance (voir supra), sans qu'il soit nécessaire de recourir à un enregistrement numérique, de manière à définir les quantités prévisionnelles à injecter et éventuellement les renfortements à apporter au schéma prévisionnel d'injection gravitaire-clavage.

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

Les tubes pour comblement gravitaire-clavage seront arrêtés 1,00 m au dessus du ciel de la carrière pour injecter à trou ouvert, ou équipés de gueules de brochet tous les 50 cm sur la hauteur de la galerie.

Les forages à réaliser pour le traitement d'un fontis seront obligatoirement complémentaires à ceux du remblaiement gravitaire avant pieux (correspondant au maillage de base de 5,00 m x 5,00 m)

Le maillage de base de 5,00 m x 5,00 m ,sera alors obligatoirement resserré dans la zone du fontis répertorié et ne pourra être inférieur à 3,50 m x 3,50 m, en tenant compte de la nécessaire montée en pression pour le traitement du fontis. Chaque fontis comportera 2 forages minimum et il appartiendra au géotechnicien de définir le nombre de forages en fonction de l'importance du fontis.

Il est rappelé que le repérage des fontis s'effectue aussi bien lors de la reconnaissance de sols préliminaire que lors de la phase chantier. En cas de découverte d'un fontis sur chantier dont le traitement n'avait pas été programmé dans le planning initial remis au Conseil Technique, l'entreprise devra obligatoirement recaler un nouveau planning intégrant la tâche complémentaire induite et le transmettre au conseil technique du Maire.

Le traitement des terrains de recouvrement décomprimés (traitement des fontis) doit être obligatoirement effectué par l'intermédiaire de tubes à manchettes. Ces tubes doivent avoir un diamètre intérieur minimal à 32 mm. Les tubes pour comblement gravitaire auront un diamètre intérieur minimal de 60 mm.

Dans le cas de comblement gravitaire-clavage de vides superposés, il sera nécessaire de réaliser un forage calibré pour autoriser le passage du nombre de tubes requis pour le traitement des deux étages existants ; il y aura lieu d'adopter des dispositions spéciales pour assurer la mise en œuvre du clavage dans chaque étage de vide (un tube par niveau d'exploitation).

Un équipement mixte tube à manchettes – tube crépiné sera toléré sous réserve de diamètres identiques (pour le traitement des fontis)

Une attention toute particulière sera apportée au lavage des tubes après le comblement gravitaire. Ce lavage étant indispensable pour éviter tout colmatage des tubes avant le clavage.

Toutes les dispositions devront être prises pour éviter la dispersion du mortier ou du coulis hors de la zone à traiter et en particulier, sa pénétration dans les galeries de visite et autres ouvrages souterrains à conserver.

Avant la réalisation des travaux d'injection un constat de l'état de ces ouvrages situés à proximité sera établi contradictoirement avec le Conseil Technique du Maire.

Cette omission justifiera l'arrêt du chantier.

Le dossier technique descriptif comportera la composition des différents mortiers et coulis, sachant que cette composition doit permettre d'obtenir les valeurs minimales suivantes, mesurées sur éprouvettes normalisées :

- mortier de remplissage = résistance à la compression de **1,5 MPa à 28 jours.**
- coulis de clavage = résistance à la compression de **3 MPa à 28 jours.**
- coulis de traitement =résistance à la compression de **3 MPa à 28 jours.**

Les cendres volantes éventuellement utilisées doivent provenir de centrales thermiques au charbon, **les cendres d'incinéation d'ordures ménagères sont formellement interdites.**

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 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.

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 le Conseil Technique du Maire.

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

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

Les travaux devront être réalisés par une entreprise d'injection possédant la qualification O.P.Q.C.B. (ou équivalent).

Remarque :Toutes les dispositions doivent être prises pour éviter tout désordre et incident aux ouvrages riverains du chantier au cours de la mise en œuvre des injections gravitaires et du clavage.

Ces mesures sont de la responsabilité du maître d'ouvrage.

3. Contrôles des résultats des injections gravitaires, du clavage et du traitement des fontis

L'efficacité des travaux de comblement gravitaire - clavage et traitement de fontis doit être vérifiée par des opérations de contrôle rigoureuses.

Ces contrôles, en cours d'exécution et après exécution des travaux, sont destinés à permettre au constructeur de vérifier :

- **en cours d'exécution, par le maître d'œuvre :**

- les quantités et poids des matériaux approvisionnés.
- la qualité des ciments et des granulats.
- la conformité des dosages.

La résistance sur une série de trois éprouvettes par type de coulis ou de mortiers écrasées à 28 jours. Ces prélèvements seront faits tous les 1000 m³ avec un minimum de 3.

Par ailleurs, des tableaux récapitulant les forages et les quantités mises en œuvre en gravitaire, traitement et clavage devront être laissés à disposition sur le chantier.

- **après exécution, par le bureau d'études de sol.**

Cette phase doit permettre de vérifier si le traitement des différents niveaux de la carrière, et des fontis éventuels a été convenablement réalisé. Cette vérification s'effectue en particulier à l'aide de :

- Forages destructifs enregistrés :

Il est fortement recommandé que ces forages de contrôle soient réalisés par le géotechnicien ayant réalisé la reconnaissance préliminaire pour qu'ils soient effectués avec le même matériel que celui utilisé lors de la reconnaissance préliminaire de sol. En tout état de cause, le géotechnicien chargé des contrôles devra être indépendant de l'entreprise et missionné essentiellement par le Maître d'Ouvrage mais pas par l'entreprise, qui ne saurait être juge et partie des travaux qu'elle effectue.

Leur nombre doit être au minimum de 1 pour 10 forages d'injection gravitaire-clavage (arrondi à l'unité supérieure), sauf cas particuliers rencontrés, tels que fontis, ciels tombés, quantités d'injection importantes prises sur un forage, etc... où leur nombre doit être augmenté pour tenir compte de ces facteurs (le nombre de 1 pour 10 sera calculé à partir du maillage de base 5,00 m x 5,00 m ou 7,00 m x 7,00 m).

En tout état de cause, le nombre des forages de contrôle ne peut être inférieur à 2 pour les constructions individuelles et 3 pour les autres.

- essais pressiométriques dans le cas d'un traitement de fontis :

Ils sont destinés à apprécier l'amélioration des caractéristiques géotechniques des terrains injectés de coulis sous pression au moyen de tubes à manchettes, et sont à exécuter en nombre au moins égal à ceux réalisés lors de la reconnaissance préliminaire de sol, à proximité immédiate de ces derniers et comportent des mesures pressiométriques aux mêmes niveaux.

Les forages de contrôle doivent être réalisés au minimum **28 jours** après la fin des injections (comblement gravitaire, clavage, traitement) pour une zone considérée.

L'exécution des pieux ne pourra intervenir qu'après attestation du géotechnicien du résultat positif des forages de contrôle.

Cette attestation devra être transmise par le géotechnicien simultanément au Maître d'Ouvrage, au Maître d'œuvre, à l'entreprise et au Bureau de Contrôle Technique dans un délai qui pourrait éventuellement être inférieur à 28 jours après la fin constatée des opérations du traitement du fontis pour permettre un démarrage anticipé de l'exécution des pieux, sous réserve d'un visa favorable du Bureau de Contrôle Technique.

- dispositions générales relatives à la procédure de contrôle

L'ensemble des contrôles s'effectue sous la responsabilité du maître d'ouvrage ou de son représentant et du géotechnicien qu'il a missionné.

Au vu du rapport géotechnique final des contrôles, le géotechnicien doit :

- fournir le descriptif dans le dossier technique dont il est fait état au chapitre 2
- déterminer les travaux supplémentaires à réaliser dans le mesure où les contrôles auraient montré un comblement gravitaire - clavage insuffisant de la carrière.
- fournir les nouvelles caractéristiques géotechniques après traitement des fontis.

Remarque : les sondages de contrôle devant être exécutés par un géotechnicien indépendant de l'entreprise qui a réalisé les injections gravitaires - clavage et les traitements de fontis dans l'opération, il est très fortement recommandé qu'ils soient effectués par le géotechnicien qui a réalisé la reconnaissance de sol préalable, ceci dans un souci d'homogénéité de l'interprétation des diagraphies et afin de ne pas diluer les responsabilités.

En cas d'anomalie constatée lors du coulage d'un pieu, deux forages de contrôle complémentaires, un de part et d'autre de l'anomalie constatée au droit du pieu ou à proximité immédiate, seront effectués systématiquement. L'un des deux forages sera équipé d'une sonde pressiométrique pour vérifier, in fine, la qualité du traitement effectué dans cette zone anomale.

Il appartiendra au Bureau de Contrôle Technique d'émettre un avis sur les surconsommations de béton constatée lors de l'exécution des pieux.

4. Dispositions spécifiques aux pieux et micropieux

L'exécution des pieux et micropieux est régie par les dispositions du D.T.U. 13.2.« Fondations Profondes » et du C.C.T.G. fascicule 62.

Cependant, en l'absence de précisions particulières pour l'exécution des pieux et micropieux en zone de carrières dans le D.T.U.13.2 et le C.C.T.G. fascicule 62, la présente notice définit les règles de l'art minimales de bonne exécution qui constituent le référentiel commun de prise en compte des incidences de la présence d'une carrière souterraine pour la mise en œuvre de fondations profondes.

4.1. Les pieux

4.1.1. En zone de carrières à ciel ouvert

Les pieux doivent traverser totalement les remblais de ciel ouvert et être ancrés au pied de la carrière avec une longueur d'ancrage minimale dans le sol de la carrière fixée par le géotechnicien.

Le tubage des pieux pourra s'avérer indispensable dans les zones fortement décomprimées conformément au D.T.U.13.2.

L'injection gravitaire préalable avant pieu n'est pas nécessaire aussi bien en limite qu'en zone courante de ciel ouvert, sauf dans les zones de fontis détectées correspondant à une limite d'entrée en cavage d'exploitation souterraine ou un éboulement de front de taille, où un traitement préalable par injection sous pression sera nécessairement mis en œuvre de telle façon que les pressions limites atteintes soient supérieures ou égales à 0,6 Mpa.

4.1.2. En zone de carrières souterraines

L'injection gravitaire avec clavage est dans tous les cas strictement obligatoire avant exécution des pieux, conformément aux dispositions de la présente notice, sauf pour les carrières souterraines pour lesquelles la conservation des vides est exigée.

Les pieux doivent obligatoirement traverser la carrière souterraine préalablement injectée gravitairement et clavée et être ancrés en pied de carrière avec une longueur d'ancrage suffisante conformément au D.T.U.13.2 et fixée par le géotechnicien.

4.1.3. Carrières souterraines classées ou exigeant la conservation des vides.

Pour les carrières souterraines classées ou pour celles dont les vides doivent être conservés, il pourra être envisagé ,soit des puits de béton fondés en pied de la carrière conformément au D.T.U.13.2.,soit des pieux chemisés sous réserve de la production préalable d'une note de calcul de dimensionnement des pieux chemisés avec une justification au flambement, au cisaillement, à la corrosion et éventuellement au frottement négatif susceptible d'être généré par une remontée de fontis. Cette note de calcul sera obligatoirement visée par un bureau de contrôle technique agréé.

Dans le cas de carrières souterraines de calcaire grossier, les puits de béton (de ciment C E M III C- P M E S) ou les pieux chemisés seront obligatoirement ceinturés par une maçonnerie de calcaire d'épaisseur du tiers de la hauteur de la carrière avec une épaisseur minimale de 0,50 m et un matage soigné en ciel de carrière.

La méthodologie d'exécution des pieux devra prendre en compte la conservation du banc de ciel et utiliser si nécessaire le carottage du ciel plutôt que la tarière (l'utilisation du trépan étant strictement interdite).

4.2. Les micropieux

L'utilisation de micropieux de type I est strictement interdite.

L'utilisation de micropieux de type supérieur ou égal à II comme fondation profonde en zone sous minée par d'anciennes carrières est très délicate.

L'exécution des micropieux ne pourra débuter qu'après réalisation des contrôles effectués 28 jours après les injections gravitaires – clavage avant micropieux, conformément aux dispositions du chapitre III-B-b afin de confirmer le blocage total du terrain. Le traitement des remblais de carrière n'étant pas systématiquement exigé dans ce cas.

Toute dérogation au respect strict du délai de 28 jours ne pourrait être acceptée qu'après accord écrit du bureau de contrôle technique dûment transmis au Conseil Technique du Maire, qui en prendra alors acte dans le dossier de récolelement.

La production **préalable à toute exécution d'une note de calcul de dimensionnement**, obligatoirement établie sur la base d'un rapport de reconnaissance de sols réalisé par un géotechnicien, et conforme à la normalisation en vigueur, comportant une justification au flambement ,à la corrosion et au cisaillement si nécessaire, est **obligatoire**.

Cette note de calcul doit être visée par un bureau de contrôle technique agréé par le Ministère.

En zone de carrière et en aggravation des dispositions du D.T.U. 13.2 et du C.C.T.G. fascicule 62, il est recommandé de ne pas prendre en compte le terme de pointe, et de ne faire intervenir que le terme de frottement latéral des différentes couches de terrains dans le calcul de la force portante à partir du pied de carrière.

Dans tous les cas, l'injection gravitaire-clavage préalable et le traitement des fontis de la carrière est obligatoire pour assurer le blocage du terrain.

Dans tous les cas, une justification au flambement devra obligatoirement être effectuée (Méthode de MANDEL, par exemple avec une charge critique de calcul affectée d'un coefficient 3) en considérant le frottement latéral dans les terrains de recouvrement totalement nul.

L'utilisation de micropieux dans les terrains argileux fluants (glaises vertes en particulier) est dangereuse. Une justification complémentaire au cisaillement et au raccourcissement élastique du micropieu est à produire dans tous les cas.

L'utilisation de micropieux de type III et IV en zone de carrières est techniquement possible mais demeure encore plus délicate dans sa mise en œuvre.

Elle devra respecter strictement les dispositions du D.T.U. 13.2 et du C.C.T.G. fascicule 62.

Comme pour les micropieux de type II ,l'exécution des micropieux de type III et IV ne pourra débuter qu'après réalisation des contrôles effectués 28 jours après les injections gravitaires – clavage, conformément aux dispositions du chapitre III-B-b afin de confirmer le blocage total du terrain. Le traitement des remblais de carrière n'étant pas systématiquement exigé dans ce cas.

5. Documents à fournir après les travaux :

En fin de travaux, il sera remis au Conseil Technique du Maire par le maître d'ouvrage, en un exemplaire, les documents suivants :

1. Le dossier technique descriptif visé au chapitre II.

2. Le rapport de la campagne de sondages de contrôle établie à l'issue des travaux d'injection gravitaire-clavage, et de traitement éventuel de fontis Ce document devra être transmis au Conseil Technique du Maire, **dans un délai maximum de deux semaines (14 jours)** après achèvement in situ.

3. Un plan masse à l'échelle du 1/50, 1/100 ou 1/200, selon l'importance du terrain, comportant outre, la figuration des galeries de carrière et l'implantation des constructions à réaliser, l'implantation des forages d'injection gravitaire-clavage et de traitement éventuel de fontis.

Le cas échéant, ce plan comportera également l'indication des puits de service et des barrages réalisés en limite de propriété.

Les profondeurs, et les quantités d'injection gravitaire et de clavage, devront être également indiquées.

Le plan de récolelement d'implantation des pieux ou des micropieux de type supérieur ou égal à II.

Dans le cas de micropieux de type supérieur ou égal à II, la note de calcul justificative à la résistance aux états limites ,au flambement et à la corrosion, contrôlée par un organisme agréé (Bureau de Contrôle Technique).

Ces documents seront datés, certifiés conformes par l'entrepreneur, approuvés par le maître d'œuvre, et par le contrôleur technique agréé ou certifiés conformes par tous les intervenants de l'opération en cas d'absence de l'un des acteurs à la construction précités.

Ils devront être transmis par le Maître d'Ouvrage au Conseil Technique du Maire dans un délai maximum d'un mois après l'achèvement des travaux d'injection gravitaire-clavage et de contrôle pour dépôt contre récépissé.