



Maitre d' ouvrage



A.M.O



Maitre d' oeuvre



## PROJET MIGA

### Laboratoire Souterrain à Bas Bruit

### GALERIE SOUTERRAINE

## DOSSIER DE CONSULTATION DES ENTREPRISES

### Cahier de Clauses Techniques Particulières (CCTP)

### Fascicule C : Travaux en souterrain

Joint au contrat

N° : .....

Du : .....

Versions du document :

1	20/10/2017	ATI	PNS	MFE	54	Version Initiale
0	18/09/2017	ATI	PNS	MFE	55	Version Initiale
Indice	Date	Etabli par	Vérifié par	Approuvé par	Nombre de pages	Observations
Z:\Projets\France\DD161100 Projet Miga\Secrétariat\Rapport\DCE\20171023_Rendu\1. CCTP\4. MIGA_DCE_CCTP Fascicule C - Travaux en souterrain - V1.docx						
Réf. projet :		Réf. document :				Date :
DD161100		DD161100 DCE				Octobre 2017

## SOMMAIRE

<b>1 DISPOSITIONS GENERALES</b>	<b>6</b>
<b>1.1 OBJET DU PRESENT FASCICULE</b>	<b>6</b>
<b>2 PROVENANCE ET QUALITE DES MATERIAUX</b>	<b>6</b>
<b>2.1 GENERALITES</b>	<b>6</b>
<b>2.2 SPECIFICATIONS CONCERNANT LES MATERIAUX</b>	<b>6</b>
2.2.1 Sables	6
2.2.2 Granulats pour béton	6
2.2.2.1 Spécifications générales	6
2.2.2.2 Spécifications particulières	6
2.2.2.3 Essais à la charge de l'entrepreneur	7
2.2.3 Ciments	7
2.2.3.1 Agrément des ciments	7
2.2.3.2 Livraison	8
2.2.3.3 Stockage des ciments	8
2.2.3.4 Contrôles	9
2.2.4 Additions normalisées	9
2.2.5 Eau de gachage	10
2.2.6 Adjuvants	10
2.2.7 Compatibilité des différents constituants	10
2.2.8 Acier pour armatures	10
2.2.8.1 Ronds lisses	10
2.2.8.2 Armatures à haute adhérence	10
2.2.8.3 Manchons de couplage	10
2.2.8.4 Treillis soudés	11
2.2.8.5 Fibres pour béton projeté et pour béton de radier	11
2.2.9 Acier pour cintres	11
2.2.9.1 Cintres métalliques	11
2.2.10 Boulons et clous d'ancrages des soutènements	11
2.2.10.1 Boulons mixtes à ancrage ponctuel et réparti	11
2.2.10.2 Boulons autoforeurs pour enfilages	12
2.2.10.3 Gainex de protection des armatures des clous, boulons et tirants	12
2.2.10.4 Plaques d'appui des boulons	12
2.2.11 Bétons, coulis et mortiers	12
2.2.11.1 Généralités	12
2.2.11.2 Tableau récapitulatif des classes d'exposition	12
2.2.11.3 Moyens de fabrication, transport et manutention des bétons	12
2.2.11.4 Béton ordinaire	13
2.2.11.5 Béton de propreté	13
2.2.11.6 Béton pour radier	13
2.2.11.7 Béton armé ou non armé	13
2.2.11.8 Béton projeté	13
2.2.11.9 Béton projeté fibré	13
2.2.11.10 Coulis	14
Coulis de scellement des boulons d'ancrage	14
Coulis de comblement des cavités	14
2.2.11.11 Mortiers	14
2.2.11.12 Produits de cure	14
2.2.11.13 Produit de décoffrage	15
<b>3 ETUDES – MODES D'EXECUTION</b>	<b>15</b>

<b>3.1 FACTEURS DECISIFS POUR LA CONCEPTION ET L'EXECUTION</b>	<b>15</b>
3.1.1 Facteurs liés au fonctionnement du LSBB	15
3.1.2 Facteurs environnementaux	15
<b>3.2 ETUDES, IMPLANTATIONS ET TOLERANCE</b>	<b>17</b>
3.2.1 Méthodes de modélisation	17
3.2.2 Hypothèses de calcul	17
3.2.2.1 Actions et sollicitations	17
3.2.3 Contenu des documents d'exécution	18
3.2.3.1 Notes de calcul	18
3.2.3.2 Plans d'exécution	18
3.2.3.3 Plans de tir	18
3.2.3.4 Creusement par moyens mécaniques	18
3.2.3.5 Rapport hebdomadaire (phase creusement)	19
3.2.3.6 Etudes particulières	19
3.2.4 Tolérances d'exécution	19
3.2.4.1 Tolérances sur la position des structures définitives	19
3.2.4.2 Tolérances sur la position des réseaux d'assainissement / VRD	19
<b>3.3 TRAVAUX EN SOUTERRAIN</b>	<b>19</b>
3.3.1 Règles générales	19
3.3.1.1 Lignes de référence	19
3.3.1.2 Hors profils	20
3.3.2 Travaux préparatoires au creusement	20
3.3.3 Attaque du creusement	20
3.3.4 Reconnaissances par sondages à l'avancement	21
3.3.5 Méthodologie d'excavation conventionnelle	21
3.3.5.1 Principe de creusement par méthode conventionnelle	21
3.3.5.2 Règles générales pour l'utilisation des explosifs	21
3.3.5.3 Règles relatives à l'utilisation du brise-roche	23
3.3.5.4 Phasage d'excavation des ouvrages souterrains	23
Particularité d'excavation de la Cavité C3	23
3.3.6 Exécution des déblais en présence des venues d'eau	24
3.3.6.1 Conception des dispositifs de drainage et de recueil	24
3.3.7 Méthodologie de marinage	24
3.3.8 Soutènements	24
3.3.8.1 Projet de soutènement	24
3.3.8.2 Dispositions générales	25
3.3.8.3 Définition des profils de soutènement	25
3.3.8.4 Adaptation des profils types de creusement - soutènement	28
Domaine de validité des profils types	28
3.3.8.5 Principe d'adaptation des profils types à l'avancement	29
3.3.8.6 Application des fourchettes d'adaptation des profils types	30
3.3.8.7 Boulons d'ancrage radial	30
3.3.8.8 Béton projeté	30
3.3.8.9 Cintres	31
3.3.8.10 Enfilages	32
3.3.8.11 Blindage	32
3.3.9 Travaux de préparation des fronts d'attaque	32
3.3.9.1 Prescriptions générales d'exécution	32
Démolition et confortement des ouvrages :	33
3.3.10 Ventilation de chantier	33

3.3.10.1	Généralités	33
3.3.10.2	Equipements de ventilation mis en œuvre	34
	Ventilateurs	34
	Gaines d'aspirations	34
	Dépoussiérage	35
3.3.11	Dispositions liées à l'environnement	35
3.3.11.1	Stratégie de gestion des déblais	35
3.3.11.2	Vibrations	35
3.3.11.3	Pollution des eaux	35
	Généralités	35
	Système de gestion des eaux pluviales	36
	Pollution chronique après traitement	36
	Mesures concernant la qualité des eaux en phase	36
<b>4</b>	<b>ORGANISATION &amp; PILOTAGE DU CREUSEMENT &amp; DU SOUTÈNEMENT</b>	<b>37</b>
<b>4.1</b>	<b>OBLIGATIONS DE MOYENS</b>	<b>37</b>
<b>4.2</b>	<b>CONDITIONS D'EXECUTION DES OUVRAGES</b>	<b>37</b>
<b>4.3</b>	<b>ORGANISATION DES CYCLES DE TRAVAIL</b>	<b>37</b>
<b>4.4</b>	<b>APPLICATION DES PROFILS TYPES</b>	<b>38</b>
<b>4.5</b>	<b>HYPOTHESES POUR LA CONDUITE DES TRAVAUX</b>	<b>38</b>
<b>4.6</b>	<b>PRESCRIPTIONS PARTICULIERES RELATIVES AUX DIFFERENTES PHASES DE CREUSEMENT – SOUTÈNEMENT</b>	<b>38</b>
4.6.1	Profil type n° 12	38
4.6.2	Profil type n° 3	38
4.6.3	Profil type n° 4	38
<b>5</b>	<b>IDENTIFICATION, TRAITEMENT ET REMPLISSAGE DE CAVITES</b>	<b>39</b>
<b>5.1</b>	<b>GENERALITES</b>	<b>39</b>
<b>5.2</b>	<b>PRESCRIPTIONS DE MISE EN ŒUVRE</b>	<b>39</b>
<b>5.3</b>	<b>DOCUMENT DE SUIVI</b>	<b>39</b>
<b>6</b>	<b>CONVENANCES, CONTROLES, AUSCULTATIONS, SONDAGES ET ESSAIS</b>	<b>40</b>
<b>6.1</b>	<b>CONTROLES</b>	<b>40</b>
6.1.1	Contrôles des matériaux et de la mise en œuvre	40
6.1.1.1	Plan d'organisation des contrôles (POC)	40
6.1.1.2	Fiches de contrôles	40
6.1.1.3	Epreuves et essais – Procès-verbaux	40
6.1.2	Document de procédure d'exécution	44
6.1.3	Contrôle de l'implantation des ouvrages, relevés de profil	44
6.1.3.1	Implantation des ouvrages	44
6.1.3.2	Relevés de profils en galerie	44
<b>6.2</b>	<b>AUSCULTATIONS, MESURES</b>	<b>45</b>
6.2.1	Objet des mesures de déplacements et de convergence	45
6.2.2	Modalités d'application des mesures optiques de déplacements et de convergences	45
6.2.3	Mesures optiques de déplacements et de convergences en souterrain	46
6.2.3.1	Objet des mesures	46
6.2.3.2	Mesures sur le soutènement	46
6.2.3.3	Mesures topographiques	46

---

6.2.3.4 Rapport des mesures de déplacement et de convergence	46
6.2.3.5 Résultats de l'ensemble des auscultations	47
6.2.3.6 Mesures liées à l'emploi d'explosifs	47
Contrôle des vibrations et limitation des tirs	47
Charges d'explosifs – limitation des tirs	49
Tirs d'essais	49
Fiche de tir	50
Résultats des mesures	50
6.2.3.7 Mesures de vibrations dans le cas d'emploi d'engins mécaniques puissantes	51
6.2.3.8 Mesures de suppressions aériennes	51
<b>6.3 SONDAGES, ESSAIS DE MECANIQUE DES ROCHES ET RELEVES</b>	<b>51</b>
6.3.1 Sondages de reconnaissance complémentaires	51
6.3.2 Essais de mécanique des roches	52
6.3.3 Sondages à l'avancement	52
6.3.3.1 Consistance des sondages	52
6.3.3.2 Prescriptions particulières pour la réalisation et l'exploitation des résultats	52
6.3.3.3 Document de procédure et de suivi d'exécution	53
6.3.4 Relevés géologiques, géotechniques et hydrogéologiques	53
6.3.5 Contrôles des venues d'eau	54

|

## 1 DISPOSITIONS GENERALES

---

### 1.1 OBJET DU PRESENT FASCICULE

Le présent fascicule C traite des travaux en souterrain du marché génie civil du projet MIGA qui vise à réaliser une plateforme expérimentale pour la mesure fine de très petites variations spatiales du champ de pesanteur local et à mieux comprendre les processus hydromécanique et géophysique dans ce type de système géologique.

## 2 PROVENANCE ET QUALITE DES MATERIAUX

---

### 2.1 GENERALITES

Les normes citées dans ce document sont les normes françaises. Cependant les normes européennes s'appliquent sous réserves qu'elles soient plus restrictives.

### 2.2 SPECIFICATIONS CONCERNANT LES MATERIAUX

#### 2.2.1 SABLES

Le sable est du silico-calcaire alluvionnaire.

L'entrepreneur propose à l'agrément du Maître d'œuvre un fuseau granulométrique pour chacun des sables qu'il envisage d'utiliser. Après agrément, ces fuseaux sont utilisés comme référence pour les contrôles des granulats correspondants. Ils doivent répondre aux spécifications particulières suivantes :

- L'équivalent de sable humide à vue est supérieur à 80 (NF EN 933-8)
- Modèle de finesse  $2.20 \leq MF \leq 2.80$
- Friabilité des sables  $\leq 40 \%$ .

Pour les sables constituant les bétons et bétons projetés, la proportion maximale d'éléments retenus sur le tamis de 5 mm doit être inférieure à 10 %. Pour les sables constituant les mortiers et injections, la proportion maximale d'éléments retenus sur le tamis de 2,5 mm doit être inférieure à 10 %.

#### 2.2.2 GRANULATS POUR BETON

##### 2.2.2.1 Spécifications générales

Les granulats répondront aux spécifications de l'article 8.1.2.2 du fascicule 65 du CCTG. Ils doivent provenir d'exploitations bénéficiant du droit d'usage de la marque NF ou seront soumis à la validation du MOE.

Les granulats pour béton armé seront de catégorie A au sens de l'article 10 de la norme NF P18-545. Ils devront provenir de roches identifiées comme étant insensibles aux milieux environnants et non nocifs vis à vis des autres éléments contenus dans les bétons. Ils devront provenir de roches stables, inaltérables à l'eau, à l'air et au gel. Les granulats devront être qualifiés de « non-réactifs » et classés en niveau de prévention C. Les critères de qualification vis-à-vis de l'alcali-réaction seront déterminés selon la norme FD P18-542, et les essais de réaction alcali-granulats seront réalisés conformément aux normes NF P18-584 et 18-585.

##### 2.2.2.2 Spécifications particulières

Les granulats moyens et gros pour bétons peuvent être des matériaux roulés, concassés ou semi concassés. Dans le cas de granulats concassés, la proportion entre la partie granulats roulés et la partie de granulats concassés doit être constante à 10 % près.

L'Entrepreneur peut demander en cours de travaux, à changer la proportion entre les granulats roulés et ceux concassés. Dans ce cas, de nouvelles épreuves d'étude et de convenance doivent être effectuées, à ses frais, et soumises à l'approbation du Maître d'œuvre.

Propreté Superficielle : La propreté superficielle définie comme le pourcentage pondéral de particules inférieures à 0,5 mm mélangées ou adhérentes à la surface des granulats supérieurs à 2 mm, mesurée conformément à la norme P18-591, ne doit pas être supérieure à 1 %.

Résistance mécanique : La valeur maximale du coefficient Los Angeles (L.A en %), mesuré suivant la norme P18-573, est égale à 30 (valeur prescrite dans l'annexe A à la norme P18-541).

Granularité des bétons : Les fuseaux granulométriques de tolérance des granulats sont ceux proposés par l'Entrepreneur après son étude granulométrique de composition des bétons et agréés par le Maître d'œuvre. La granularité des bétons, continue et régulièrement répartie, est constituée de 3 classes granulaires au minimum, distincte mais contiguës (au minimum une classe pour le sable et deux pour les gravillons et cailloux). La limite supérieure D de la classe des plus gros gravillons est égale à la valeur prescrite de D max, et la limite inférieure d de la classe des plus petits gravillons ne peut descendre au-dessous de 3 millimètres. La tolérance admise sur les limites hautes et basses de chaque classe granulaire est de 10 %.

Exigences particulières pour les environnements agressifs : Pour les environnements de classe E3, E4 et E5 définis dans la norme NF P18-305, la valeur spécifiée du coefficient d'absorption d'eau est fixée à 2,5 % soit  $Ab \times 2,5 \%$ .

Stockage des granulats : Conformément à la norme NF P18-305, les granulats sont stockés par nature et par classe granulaire dans des conditions excluant tous risques de mélanges et de souillures. L'entrepreneur ne peut utiliser que des granulats approvisionnés depuis au moins deux jours. En conséquence, la capacité de stockage des granulats doit correspondre au moins à la plus forte consommation prévue de 2 jours de bétonnage, dans les conditions définies à l'annexe B du fascicule 65 du CCTG. Compte tenu de la continuité des travaux en période hivernale, le stockage des granulats doit être assuré sous abri, et hors gel.

Fabrication de béton sur site : La fabrication de béton sur site n'est autorisée qu'avec des granulats ayant déjà fait l'objet d'un agrément. L'Entrepreneur devra présenter les résultats des essais conformes à la norme NF P18-541 ayant permis l'agrément. Les épreuves d'étude et de convenance des bétons sont définies au § Contrôle du présent CCTP.

### **2.2.2.3 Essais à la charge de l'entrepreneur**

Le plan d'assurance qualité (PAQ) établi par l'Entrepreneur précise les conditions d'exécution du contrôle de conformité de livraisons des granulats et des additions éventuelles qu'il exerce conformément à l'article 8.3 du fascicule 65 du CCTG et aux exigences du présent CCTP. Au minimum, l'Entrepreneur effectue, indépendamment du contrôle interne du producteur, les analyses des caractéristiques suivantes, pour chacun des bétons et pour chaque centrale (principale et secours), selon une fréquence qu'il définit dans son PAQ. De façon systématique, on effectue pour tous les bétons :

- Un équivalent de sable par semaine ;
- Une granulométrie par quinzaine pour chacun des gravillons ;
- Une mesure de propreté par semaine pour chacun des gravillons (sans préjudice d'un examen visuel quotidien de la propreté du stock) ;
- Une mesure du coefficient Los Angeles par mois pour chacun des gravillons, dans le cas où les caractéristiques des matériaux présenteraient un doute à un des contrôleurs interne, externe ou extérieur.

## **2.2.3 CEMENTS**

En ce qui concerne la fourniture et l'emploi du ciment, référence est faite au circulaire n° 78-150 du 27 novembre 1978 (environnement et cadre de vie) et aux normes NF EN 197-1 et NF EN 197-2 (février 2001).

### **2.2.3.1 Agrément des ciments**

Tous les ciments utilisés sur le chantier sont proposés à l'agrément du Maître d'œuvre au moment de l'étude de composition des bétons. Pour chacune des spécifications ci-dessus, l'agrément n'est accordé



qu'à un ciment, défini par son origine (usine productrice), sa dénomination, sa composition et ses caractéristiques.

A l'appui des propositions d'agrément, l'Entrepreneur doit fournir au Maître d'œuvre, en même temps que le dossier des études de composition des bétons, et pour toutes les catégories de ciment utilisées sur le chantier, les résultats statistiques mensuels et annuels, satisfaisants, des essais effectués dans le cadre de l'autocontrôle par la ou les sociétés « cimentières » retenues, et portant sur la période de 12 mois précédant la date de signature du marché.

Les ciments destinés aux bétons pour parements fins et ouvragés devront faire l'objet de la part du cimentier d'un engagement de constance de teinte à l'échelle de l'ouvrage et ces ciments devront provenir d'un même lot d'approvisionnement.

### **2.2.3.2 Livraison**

Les conditions de livraison et de stockage des ciments seront conformes à l'article 3 du fascicule 3 du CCTG. Les ciments doivent être livrés :

- soit directement par l'usine productrice ou un centre de distribution considéré par l'AFNOR comme terminal de l'usine ;
- soit par un centre de distribution admis à la marque NFVP, à l'exclusion de tout autre organisme de distribution.

L'Entrepreneur doit s'assurer que l'ensemble des opérations de transport et de stockage des ciments, depuis le lieu de distribution contrôlé par le service de vérification de la marque jusqu'à l'introduction dans le malaxeur à béton, soit conçu de manière à éviter tout risque d'atteinte à la qualité des liants notamment :

- le mélange entre ciments de nature, de classe ou de qualité différente ;
- la pollution du ciment, notamment lors de son transport ;
- une erreur d'identification du produit.

Les conclusions de ces vérifications sont présentées par écrit au Maître d'œuvre.

Les ciments doivent être livrés sur le chantier à une température inférieure à 70° C. Afin de réaliser les contrôles de la température, les silos sont équipés de thermomètres comme indiqué au paragraphe ci-après.

L'entrepreneur est tenu d'adresser au Maître d'œuvre sur sa demande, copie de ses lettres de commande de ciments au fur et à mesure qu'il les effectuera.

### **2.2.3.3 Stockage des ciments**

Les ciments seront stockés, soit en sacs dans un endroit couvert et clos, soit en silo étanches équipés de thermomètres. Les ciments devront être stockés à une température inférieure à 70°C. Le stockage directement sur les sols des sacs de ciments est interdit. Une durée de stockage trop prolongée peut entraîner une modification des caractéristiques des ciments et une chute importante des résistances.

La capacité des silos devra être suffisante pour éviter toute rupture de stock en cours de bétonnage. Il appartiendra à l'Entrepreneur de définir cette capacité compte tenu des cadences de bétonnage. Au minimum, les silos devront pouvoir contenir pour chaque qualité de ciment une quantité correspondant à deux fois le plus gros bétonnage. Chaque silo de chantier doit être équipé :

- D'une pancarte fixée à proximité de la manche verticale de remplissage indiquant clairement la nature et la classe du ciment contenu dans le silo ;
- D'un système de verrouillage de la manche verticale de remplissage du silo qui ne peut être libéré que par le conducteur de la centrale de fabrication du béton après présentation, par le transporteur, du bordereau de livraison du ciment approvisionné ;
- De deux thermomètres placés respectivement l'un à la base du cône de vidange pour permettre de mesurer la température du ciment à l'utilisation, l'autre sur la manche verticale de remplissage du silo pour permettre de mesurer la température lors de l'approvisionnement ;
- D'un dispositif de prélèvement fixé en dérivation sur la manche verticale de remplissage du silo et pouvant être actionné par simple manœuvre d'une vanne.

### 2.2.3.4 Contrôles

L'Entrepreneur doit effectuer selon les modalités prévues aux clauses 2.2 et 2.3 de la norme NF P15-300, des prélèvements conservatoires de ciment selon la norme NF EN 196-7 :

- de 25 kg pour chaque lot de ciment utilisé pour les épreuves d'études et de convenance des bétons, définies au fascicule 65 du CCTG ;
- de 5 kg pour les lots de ciment utilisés au cours du chantier. On entend par lot la quantité de produit faisant partie de la même unité de transport.

Ces prélèvements sont conservés sur le chantier par l'entrepreneur dans des récipients étanches et étiquetés à l'abri dans un local sec. Les silos à ciment et les unités de transport doivent être équipés de dispositifs de prélèvement.

Les essais effectués par l'entrepreneur sur les échantillons à analyser sont les suivants :

- identification rapide ;
- temps de prise ;
- essais mécaniques (flexion et compression) à 2 et 28 jours ;
- retrait ;
- chaleur d'hydratation ;
- détermination de la nature des constituants secondaires ;
- surface spécifique Blaine ;
- dosage du C3A sur le clinker.

En dehors des épreuves d'études et de convenance, l'ensemble de ces essais de contrôle est réalisé :

- lors de la réception de tout ciment nouveau ;
- sur tout prélèvement issu d'un lot ayant servi à la fabrication d'un béton présentant soit une chute de résistance mécanique, soit d'autres caractéristiques jugées anormales.

Dans tous les cas où un lot de ciment présenterait des caractéristiques ne satisfaisant pas aux exigences de la norme NF P15-301, le lot éventuel de remplacement, ainsi que les trois lots suivants, font l'objet des mêmes essais. En dehors de ces cas, la fréquence des essais de contrôle est définie par le tableau ci-après.

Essai	Fréquence
Identification	1 essai par prélèvement conservatoire
Temps de prise	1 essai pour 10 prélèvements conservatoires
Essais mécaniques à 28 jours	
Essais mécaniques à 2 jours	1 essai pour 20 prélèvements conservatoires
Retrait	
Chaleur d'hydratation	
Détermination de la nature des constituants secondaires	
Surface spécifique Blaine	
Dosage de C.3.A	

Si l'une des épreuves donne des résultats défavorables, le lot correspondant est rebuté. Dans le cas de la double contre-épreuve demandée par l'Entrepreneur, le lot correspondant est rebuté si le résultat de l'une des deux contre-épreuves est défavorable.

### 2.2.4 ADDITIONS NORMALISEES

Tout ajout dans les bétons nécessitera une nouvelle étude de béton et sera soumise à acceptation du Maître d'œuvre. Les additions admises en substitution partielle du ciment devront porter la norme NF Additions. Elles seront conformes aux normes citées à l'article 81.2.6 du fascicule 65 du CCTG.

Les additions normalisées sont :

- les laitiers vitrifiés moulus de haut-fourneau conformes à la norme NF P18-506
- les cendres volantes de houille conformes à la norme NF EN 450
- les additions calcaires conformes à la norme NF P18-508

- les fumées de silices conformes à la norme NF P18-502
- les fillers siliceux conformes à la norme NF P18-509.

### 2.2.5 EAU DE GACHAGE

L'eau de gâchage répondra aux prescriptions de l'article 8.1.2.3 du fascicule 65 du CCTG. La fourniture de l'eau de gâchage incombe à l'entrepreneur. L'eau de gâchage doit être une eau douce et conforme à la norme NF EN 1008.

### 2.2.6 ADJUVANTS

Les prescriptions relatives aux adjuvants sont conformes à la norme NF EN 934-2 et à l'article 8.1.2.4 du fascicule 65 du CCTG. L'emploi d'adjuvants pour la confection des bétons est soumis à l'agrément du Maître d'œuvre. L'adjonction de silicate dans les bétons projeté ou coulé en place est interdite.

### 2.2.7 COMPATIBILITE DES DIFFERENTS CONSTITUANTS

En ce qui concerne la compatibilité de l'adjuvant, l'entrepreneur tiendra compte des spécifications d'utilisations de ces produits indiquées par le fabricant et vérifiera par une étude particulière la compatibilité du ciment et des adjuvants utilisés. L'influence des adjuvants sur les caractéristiques mécaniques du béton devra être connue et acceptée par le Maître d'œuvre. Une étude préalable de cette influence devra être effectuée par l'Entrepreneur pour chaque cas particulier.

### 2.2.8 ACIER POUR ARMATURES

La fourniture des aciers pour armatures se fait conformément aux prescriptions de l'article 6 du fascicule 65 du CCTG. Les armatures en acier pour le béton armé doivent bénéficier du droit d'usage de la marque NF - AFCAB. Les armatures aciers utilisés pour le béton armé sont soudables. En revanche, le recours à des armatures relatives aux spécifications de la norme NF A 35-017 est interdit.

#### 2.2.8.1 Ronds lisses

Les armatures rondes et lisses doivent être conformes à la norme NF A35-015. Elles devront répondre aux exigences du fascicule 4 du CCTG. Si ces armatures sont exposées à un pliage suivi d'un dépliage, elles auront au plus un diamètre de 14 mm.

#### 2.2.8.2 Armatures à haute adhérence

Elles sont choisies parmi celles qui sont définies au titre I du fascicule 4 du CCTG, et qui font l'objet d'une fiche d'identification. Elles doivent être conformes aux spécifications de la norme NF A35-016. Elles sont de nuance B 500 B de catégorie 3 et aptes au soudage au sens de la norme NF A35-018.

Seuls les aciers à haute adhérence pourront être utilisés pour constituer des armatures coudées de diamètre supérieur ou égal à 16 mm.

#### 2.2.8.3 Manchons de couplage

Les manchons de couplage entre aciers HA seront constitués d'acier B 500 agréé B selon la norme NF A35-016 et munis de filetage conique de résistance supérieure à celle des barres raccordées. Les barres situées dans le béton coulé en 1ère phase seront filetées à leurs extrémités sans l'ajout d'un recouvrement d'acier spécifique.

Les manchons doivent présenter des caractéristiques mécaniques au moins équivalentes afin de garantir à l'ensemble du boulon ainsi constitué, les caractéristiques initiales demandées.

### 2.2.8.4 Treillis soudés

Le treillis soudé est en acier à haute adhérence et conforme aux spécifications des normes NF A35-016 et NF A35-019-2. Pour les treillis soudés noyés dans le béton projeté du soutènement, le cas échéant, l'entrepreneur choisira dans la gamme de produits standard ADETS ou similaires. Afin de faciliter l'accrochage du béton projeté en souterrain, les treillis soudés seront de type léger et auront une maille d'au moins 150 mm sur un des côtés. Ces armatures seront approvisionnées de préférence en panneaux standard. Conformément à l'article 6.2 du fascicule 65 du CCTG, l'approvisionnement en rouleau du treillis soudé sera subordonné à l'existence du chantier de redressement adéquat.

### 2.2.8.5 Fibres pour béton projeté et pour béton de radier

Les fibres préconisées pour être mises en œuvre dans le béton projeté sont des fibres synthétiques hautes performances (polypropylène ou équivalent), de longueur supérieure ou égale à 50 mm. Elles seront soumises à l'agrément du maître d'œuvre.

Elles seront conformes aux dispositions de la Norme NF EN 14889-2 et NF EN 206/CN.

La nature et le dosage des fibres synthétiques entrant dans la composition du béton projeté seront fixés lors des épreuves de convenance.

Pour le béton projeté utilisé en soutènement provisoire ou définitif, le dosage minimal sera de 5 kg/m<sup>3</sup>.

Pour le béton projeté utilisé en soutènement provisoire ou définitif, le dosage minimal sera de 7 kg/m<sup>3</sup>.

Le PAQ de l'Entrepreneur précisera :

- la nature et la provenance des fibres ;
- les conditions de réception et de stockage des fibres ;
- le mode d'introduction et le dosage des fibres dans le béton frais ;
- les conditions de fabrication de ce béton en fonction de la nature et du dosage des fibres (durée de malaxage) ;
- les références de ces fibres en travaux similaires.

## 2.2.9 ACIER POUR CINTRES

### 2.2.9.1 Cintres métalliques

Les cintres métalliques utilisés comme soutènement de tunnel devront présenter une inertie suffisante adaptée au gabarit de l'excavation et à la poussée exercée par ses parois. Ils seront de nuance S 355 minimum et conformes aux normes EURONORM 53-62 et NF EN 10034 (classée A45-211).

Les surfaces d'appuis des pieds de cintres sont constituées de plaques métalliques de nuance S355.

Les pièces d'assemblage et d'entretoisement sont réalisées à partir de produits répondant aux mêmes normes ou de pièces d'acier de nuance S355 JRC.

Les profilés métalliques employés pour réaliser les entretoises sont soumis à l'agrément du maître d'œuvre. Ils sont espacés au maximum de deux (2) mètres sur la développée du cintre. Les calages sont réalisés en métal (acier nuance S355 JRC).

La position des cintres doit être relevée avec précision par l'Entrepreneur et reportée sur le synoptique des soutènements prévu à l'article 7.4 du présent CCTP.

## 2.2.10 BOULONS ET CLOUS D'ANCRAGES DES SOUTÈNEMENTS

### 2.2.10.1 Boulons mixtes à ancrage ponctuel et réparti

Les boulons d'ancrage des différents profils de soutènements seront des boulons mixtes à ancrage ponctuel et réparti type CT-bolt ou équivalent ayant une limite élastique au moins égale à 230 kN. La gaine de ces ancrages sera scellée sur toute leur longueur au coulis de ciment.

Toute mention de boulon "type CT-bolt ou équivalent" fait référence au présent article.

### 2.2.10.2 Boulons autoforeurs pour enfilages

Les enfilages, le cas échéant, seront réalisés avec des boulons autoforeurs type R32-250 ou équivalents, scellés au coulis de ciment.

### 2.2.10.3 Gaines de protection des armatures des clous, boulons et tirants

Les gaines de protection des armatures des clous seront conformes à la norme NF EN 1537.

### 2.2.10.4 Plaques d'appui des boulons

Les plaques d'appui des boulons ont une dimension adaptée aux besoins et sont obligatoirement adaptées aux types de boulons à équiper. Elles sont réalisées en acier de qualité minimale S235 soudable conforme à la norme NF EN 10025-2.

## 2.2.11 BETONS, COULIS ET MORTIERS

### 2.2.11.1 Généralités

Les spécifications des divers matériaux entrant dans la composition du béton sont données dans les articles précédents. Les compositions des bétons, projetés ou coffrés, seront conformes à la norme NF EN 206-1.

Tous les bétons seront prévus pour pouvoir être mis en œuvre à la pompe à la demande du Maître d'œuvre dans le cas où la mise en place à la benne ne serait pas satisfaisante.

Exigence relative à l'alcali-réaction : le niveau de prévention vis à vis des risques liés à l'alcali-réaction correspond au niveau C selon les recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction de juin 1994 (LCPC-SETRA).

L'emploi d'adjuvants nécessite l'utilisation de doseur automatique sur l'installation de la fabrication des bétons. Tout dosage et introduction manuels des adjuvants sont interdits.

La recommandation 0022 du LCPC (Laboratoire Central des Ponts & Chaussées) de décembre 2003 définit les mesures à prendre pour assurer la durabilité des bétons soumis au gel.

Pour les ragréages éventuels, les produits seront proposés à l'agrément du Maître d'œuvre.

### 2.2.11.2 Tableau récapitulatif des classes d'exposition

Classes à retenir pour la composition du béton des parties d'ouvrages :

Ouvrage concerné	Type de béton	Classe de résistance minimale	Classe d'exposition minimale
Galeries MIGA, Cavités, Rameau de connexion, Sas d'entrée	Béton projeté	C30/37	XC4/XF1/XA1/
	Béton radier	C30/37	XC4/XF3/XA1/

Tous les bétons projetés comportent des fibres.

### 2.2.11.3 Moyens de fabrication, transport et manutention des bétons

Le matériel, les conditions de fabrication et le contrôle de la fabrication du béton sont soumis à l'acceptation de la maîtrise d'œuvre et doivent répondre aux spécifications de l'annexe B du fascicule 65 du CCTG. Le béton est fabriqué mécaniquement par mélange simultané de tous ses constituants. L'emploi de

bétonnière est interdit. Les doseurs volumétriques sont interdits pour les éléments solides et l'eau de gâchage. Ces installations devront être capables de répondre aux besoins immédiats du chantier, par tous temps, et rapidement pour répondre aux impératifs de bétonnage rapide (béton projeté, comblement de cavité).

La durée de malaxage sera définie lors des essais de convenance.

L'emploi d'une usine de fabrication de béton prêt à l'emploi (BPE) devra répondre aux normes en vigueur et possèdera le label NF. Elle devra avoir reçu l'agrément de la maîtrise d'œuvre sur les divers éléments constituant le béton et notamment sur les granulats. Dans tous les cas, les bétons livrés depuis une centrale de chantier ou les bétons BPE devront être conformes aux normes XP P 18-305 et NF EN 206-1.

Les prescriptions de l'article 8.3.1.3 du fascicule 65 du CCTG et les recommandations de la note d'information technique LCPC- SETRA de mai 1973 « utilisation des pompes pour le transport du béton » sont applicables.

#### **2.2.11.4 Béton ordinaire**

Le béton ordinaire est dosé à 250 kg minimum de ciment par m<sup>3</sup> de béton. Ce type de béton est utilisé pour le calage des regards et caniveaux préfabriqués, béton de blocage, béton d'enrobage.

#### **2.2.11.5 Béton de propreté**

Le béton de propreté est dosé à 150 kg minimum à haute teneur en laitier (CLK ou CHF) de ciment par m<sup>3</sup> de béton.

#### **2.2.11.6 Béton pour radier**

Le béton de radier sera un béton fibré, avec fibres non métalliques.

Le dosage en fibres sera tel que l'énergie nécessaire pour une déformation de 25 mm sur plaque âgée de 28 jours soit de 600 J en moyenne sans aucune valeur inférieure à 500 J. Cet essai a pour objet de définir le poids de fibres en place, dépendant des caractéristiques propres à chaque type de fibre.

En aucun cas le dosage résiduel en fibres du béton en place ne doit être inférieur à 7 kg par mètre cube de béton en place, pour le béton projeté.

#### **2.2.11.7 Béton armé ou non armé**

La composition des bétons coulés (dosages en ciment et additifs) doit s'inscrire dans les valeurs limites précisées dans la norme NF EN 206-1, en fonction de la classe d'exposition.

#### **2.2.11.8 Béton projeté**

Les bétons projetés (BP) seront conformes à la norme NF P95-102 et NF EN 206-1. Les recommandations AFTES relatives à la technologie et la mise en œuvre du béton projeté sont applicables. La résistance caractéristique à 28 jours demandée est de 30 MPa. Les procédures d'épreuve d'étude et de convenance sont celles définies au 6.1 du présent CCTP.

#### **2.2.11.9 Béton projeté fibré**

La teneur en fibres par m<sup>3</sup> de béton en place (voûte et piédroit) sera telle que l'énergie nécessaire pour une déformation de 25 mm sur plaque âgée de 28 jours soit de 600 J en moyenne sans aucune valeur inférieure à 500 J. Cet essai a pour objet de définir le poids de fibres en place, dépendant des caractéristiques propres à chaque type de fibre.

En aucun cas le dosage résiduel en fibres du béton en place ne doit être inférieur à 5 kg par mètre cube de béton en place, pour le béton projeté.

La projection de béton fibré ne pourra être faite que par un personnel ayant une formation particulière ou des références dans cette qualification préalablement acceptées par le maître d'œuvre.



### 2.2.11.10 Coulis

#### Coulis de scellement des boulons d'ancrage

L'Entrepreneur propose à l'accord du Maître d'œuvre la composition des coulis qu'il souhaite utiliser pour tous les clouages et ancrages. La composition des coulis devra être compatible à la fois avec la nature des terrains où s'effectueront les scellements et l'accès aux ancrages.

L'utilisation d'additifs plastifiants doit être soumise à l'approbation du Maître d'œuvre. Les adjuvants et additifs ne doivent contenir aucun élément agressif vis à vis des aciers et des ciments. Ils doivent être choisis d'après la liste établie par la Commission Permanente des Liants Hydrauliques et Adjuvants du Béton, du Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie.

Le ciment est du type CPA-CEM I PM ES avec une surface Blaine 4 000 cm<sup>2</sup>/g et devra répondre au double critère relatif à :

- l'agressivité du terrain vis à vis du ciment,
- l'agressivité du ciment vis à vis de l'armature.

Si le coulis est fabriqué sur place, il sera à base de ciment à haute résistance et à prise rapide.

La température de l'eau de gâchage sera supérieure à 10°C au moment de la préparation du coulis.

Le coulis de scellement est dosé dans un rapport pondéral C/E = 2 et devra atteindre des résistances en compression simple supérieures à :

- 8 MPa à 2 jours,
- 25 MPa à 7 jours
- 35 MPa à 28 jours.

Le coulis est préparé de telle sorte qu'il ne présente aucun grumeau, même de petite dimension. Les recommandations CLOUTERRE 91 et TA 95 sont applicables.

#### Coulis de comblement des cavités

On utilisera un coulis à base de ciment de type, bentonite et sable ou cendre volante ou filler calcaire.

Les caractéristiques moyennes à obtenir sont les suivantes :

- viscosité au cône Ø 8 mm = 12 à 20 s,
- décantation < 5 % à 3 heures,
- R<sub>c</sub> variable selon nature des charges et rapport C/E avec un minimum de 1,5 MPa à 28 jours.

Ces coulis accélérés devront faire l'objet d'une étude de laboratoire indiquant notamment la courbe d'accélération de rigidité.

### 2.2.11.11 Mortiers

Les mortiers devront répondre aux prescriptions des fascicules n° 63 et 64 du CCTG. Leur composition est soumise à l'acceptation de la maîtrise d'œuvre. Les mortiers spéciaux de calage et de scellement à base de résine ou de ciment à retrait compensé doivent être inscrits sur la liste des produits NF – « produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique ». L'entrepreneur pourra augmenter à sa convenance le dosage en ciment, s'il l'estime nécessaire, soit pour faciliter la mise en œuvre, soit pour s'assurer que le mortier une fois mis en place a les résistances minimales requises.

La résistance des mortiers sera au moins égale à la résistance de bétons environnants. Ces mortiers devront être parfaitement compacts et imperméables.

### 2.2.11.12 Produits de cure

Ce produit sera à base de résine synthétique et de solvants, il doit être agréé par le COPLA et il doit être conforme aux prescriptions de l'article 8.5 du fascicule 65 du CCTG.

### 2.2.11.13 Produit de décoffrage

Les produits de décoffrage, le cas échéant, devront être biodégradables à environ 85 % selon la norme OCDE 301C. Ces produits doivent être inertes vis-à-vis du ciment et ne provoquent ni attaque ni coloration du béton.

L'Entrepreneur soumettra à l'acceptation du Maître d'œuvre les caractéristiques des produits de décoffrage qu'il compte utiliser.

## 3 ETUDES – MODES D'EXECUTION

### 3.1 FACTEURS DECISIFS POUR LA CONCEPTION ET L'EXECUTION

#### 3.1.1 FACTEURS LIES AU FONCTIONNEMENT DU LSBB

Pendant la durée des travaux, le fonctionnement du laboratoire ne s'arrêtera pas. Le personnel du laboratoire sera en activité. Pour des raisons de sécurité et afin de diminuer le plus possible les nuisances du chantier, il est impératif de séparer les accès chantier des accès laboratoire. Les détails des installations permettant cette séparation sont décrits par ailleurs.

La fourniture et la pose de la menuiserie extérieure qui est à prévoir fait partie du Marché.

Les appareils du laboratoire seront mis en sécurité par le MOA pour ne pas être impactés par la vie du chantier.

#### 3.1.2 FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX

Les principaux enjeux environnementaux mis en évidence dans le diagnostic environnement sont rappelés dans le tableau suivant :

Thèmes	Principales caractéristiques environnementales
Milieu physique	<u>Climatologie :</u> La zone d'étude est caractérisée par un climat méditerranéen (hivers doux, étés chauds, ensoleillement important et vents violents fréquents).
	<u>Topographie :</u> Le relief de la zone d'étude est particulièrement marqué dans la partie Nord au niveau des Monts de Vaucluse (altitudes allant de 450 à environ 1 000 m NGF au sein de la zone d'étude).
	<u>Géologie :</u> La zone d'étude abrite trois ensembles géologiques : les sables ocres, au Sud ; les colluvions et les dépôts fluviaux, au centre ; les calcaires, marnes et grès, au Nord.
	<u>Eaux superficielles :</u> La Dôa traverse horizontalement la partie Sud de la zone d'étude. La masse d'eau associée à ce cours d'eau présente un bon état chimique et un mauvais état écologique.
	<u>Eaux souterraines :</u> La zone d'étude abrite 3 masses d'eau souterraines (1 au Nord et 2 au Sud). Ces masses d'eau sont de bonne qualité. L'aquifère karstique (FRDG130), situé dans la partie Nord, présente une forte vulnérabilité vis-à-vis des pollutions de surface, mais également un intérêt écologique majeur.



Thèmes	Principales caractéristiques environnementales
	<p><u>Usages des eaux :</u> Alimentation en Eau Potable : au niveau de la Dôa, la zone d'étude intercepte le périmètre de protection éloignée du captage du puits des Jean-Jean, situé à Apt ; Pêche : la Dôa est classée en 2<sup>ème</sup> catégorie piscicole ; Assainissement : une station d'épuration, dont le rejet s'effectue dans la Dôa, est présente au sein de la zone d'étude.</p>
	<p><u>Documents de gestion et de planification de la ressource en eau :</u> La zone d'étude est située sur le territoire couvert par : le SDAGE Rhône-Méditerranée (2016-2021) ; le SAGE et le contrat de rivière du Calavon-Coulon.</p>
	<p><u>Risques naturels :</u> La zone d'étude est concernée par : le risque inondation (PPRI du Calavon-Coulon, prescrit depuis le 26 juillet 2002 et PAPI complet sur le bassin versant) ; le risque mouvements de terrain (retrait-gonflement et effondrement) ; le risque feux de forêt (aléa très fort dans la partie Nord, particulièrement boisée) ; le risque sismique (aléa modéré – zone de sismicité 3).</p>
Milieu naturel	<p><u>Inventaire bibliographique :</u> De nombreux milieux naturels sont recensés au sein de la zone d'étude : 1 site Natura 2000, 4 ZNIEFF, 1 PNR, 1 réserve de biosphère, 2 zones humides et 1 site classé, principalement associés aux zones boisées, situées dans la partie Nord de la zone d'étude ou aux massifs des ocre, situés dans la partie Sud.</p>
	<p><u>Pré-diagnostic écologique :</u> La visite de terrain réalisée par un écologue fin juillet 2016, a permis de mettre en évidence la présence de 3 habitats (pinède de pins d'Alep, forêts de chênes verts méso-méditerranéens et terrains en friche). Ces habitats ne présentent pas d'intérêt écologique particulier. Concernant la faune, hormis quelques insectes (essentiellement criquets, fourmis et guêpes), aucune espèce remarquable n'a pu être observée.</p>
Milieu humain	<p><u>Occupation des sols :</u> Un territoire rural caractéristique des communes du Parc Naturel Régional du Luberon : au droit de la zone du LSBB, les forêts et milieux semi-naturels occupent les versants escarpés et protégés de la commune. Le territoire agricole se développe sur les zones plus planes, au pied du village de Rustrel. Un réseau d'infrastructures routières est présent, appartenant au réseau départemental et permettant à Rustrel d'être raccordée à Apt et aux autres communes limitrophes.</p>
	<p><u>Documents d'urbanisme :</u> Existence d'un PLU sur les deux communes de la zone d'étude : présence d'espaces boisés classés au droit de la zone de projet ; obligation de respecter le règlement de la zone AU1f3i3 et les principes définis dans l'Orientation d'Aménagement et de Programmation (OAP) du PLU de Rustrel, pour tout projet d'aménagement envisagé au droit de l'entrée dans le LSBB.</p>
	<p><u>Activités et risques :</u> Activité locale tournée essentiellement vers l'agriculture, l'artisanat, le tourisme et le LSBB. Pas de présence d'installation classée ICPE (donc pas d'établissement SEVESO).</p>
Paysage et patrimoine	<p><u>Paysage :</u> La zone d'étude est concernée par : l'unité paysagère des Monts de Vaucluse, et plus précisément son massif boisé, qui caractérise la partie Nord ; l'unité paysagère des collines du Pays d'Apt et le paysage emblématique des ocre, au niveau du Colorado Provençal, pour la partie Sud.</p>

Thèmes	Principales caractéristiques environnementales
	<p><u>Patrimoine :</u> En ce qui concerne les monuments historiques, la zone d'étude abrite le « château de Rustrel » et intercepte les périmètres de protection de deux autres monuments historiques (« Chapelle Notre-Dame-des-Anges et ruines de son ermitage » et « Ancienne usine de fer »). La zone d'étude et plus précisément le massif des Ogres situé dans la partie Sud de celle-ci, fait l'objet d'une démarche d'Opération Grand Site, actuellement en cours de réalisation. D'après le Service Régionale de l'Archéologie, la zone d'étude compte 34 sites archéologiques recensés et présentent donc un potentiel archéologique conséquent.</p>

Les enjeux environnementaux présents au sein de la zone d'étude

En synthèse, les principaux enjeux environnementaux sont :

- la gestion des déblais,
- le respect des emprises du chantier pour éviter d'impacter les versants boisés du site qui sont classés en espaces boisés classés,
- le risque feu de forêt,
- l'aquifère karstique.

## 3.2 ETUDES, IMPLANTATIONS ET TOLERANCE

### 3.2.1 METHODES DE MODELISATION

Les méthodes de calcul utilisées seront conformes au contenu des recommandations AFTES en la matière.

Chaque profil de soutènement fera l'objet d'une justification par calcul.

Le comportement du massif étant essentiellement régi par sa structure, les calculs de stabilité de blocs seront privilégiés pour dimensionner le soutènement définitif des ouvrages.

D'autres méthodes de calcul pourront également être utilisées pour la justification d'éléments partiels de soutènement tels que : profilés de cintres (module, espacement, assemblage, appui), béton projeté, ancrages, etc.

Pour l'ouvrage particulier de la cavité C3, des modélisations qui prennent en compte le comportement tridimensionnel de l'interaction rocher/ouvrage doivent impérativement être menées.

### 3.2.2 HYPOTHESES DE CALCUL

#### 3.2.2.1 Actions et sollicitations

##### Actions permanentes :

Les actions permanentes à prendre en compte sont :

- poids propres, selon Eurocodes
- soutènements : calculés selon les paramètres repris dans le Mémoire de synthèse géologique, hydrogéologique et géotechnique;

##### Charges et Surcharges des matériels et équipements:

Les équipements scientifiques sont appuyés sur les radiers par l'intermédiaire de platines et de massifs.

- Le tube à vide est supporté par des pieds métalliques. Les pieds, espacés de 2,00 m transmettent chacun une charge d'appui ponctuel vertical de 5 kN sur le massif d'appui.
- La tour, située dans les Cavités C1, C3 et C5 transmet une charge de 60 kN sur le massif d'appui.
- Les tables optiques et les interféromètres, situés dans les Cavités C1, C3 et C5, transmettent leur masse (à confirmer) sur le massif d'appui.
- Le véhicule électrique ne circule que dans la bande réservée à cet effet. (masse à confirmer)
- La surcharge d'exploitation uniforme est de 5 kN / m2.

### **3.2.3 CONTENU DES DOCUMENTS D'EXECUTION**

#### **3.2.3.1 Notes de calcul**

Les notes de calcul doivent préciser les théories appliquées, les formules littérales utilisées, les hypothèses prises en compte et les résultats (déformations, déplacements, contraintes, efforts normaux, efforts tranchants, moments fléchissant) intermédiaires et finaux (voir également prescriptions écrites dans le Fascicule A du présent CCTP).

Les sources des théories, formules et hypothèses sont systématiquement citées.

#### **3.2.3.2 Plans d'exécution**

Les plans de génie civil doivent être complétés de tableaux récapitulatifs donnant les quantités correspondantes à rémunérer conformément aux règles énoncées dans le bordereau de prix. Les lignes de références définies aux observations générales du bordereau de prix génie civil doivent figurer sur les plans intéressés.

Les classes de béton et les références des demandes d'agrément des matériaux employés doivent figurer sur les plans d'exécution.

Les plans d'exécution comportent obligatoirement les coordonnées planimétriques et altimétriques, les cotes, les niveaux de terrassements.

En particulier pour les réseaux, les plans devront comporter les coordonnées x, y, z de tous les points caractéristiques (coudes, regards ou chambres, branchements,...).

La légende devra être harmonisée pour l'ensemble du projet (couleur et figuré des trames). Des nuances de gris seront privilégiées par rapport aux couleurs, ces dernières demeurant nécessaire pour les réseaux.

Les épaisseurs du soutènement sont indiquées sur les plans intéressés. Elles doivent intégrer les déformations des soutènements provisoires et les tolérances sur la position des équipements définitifs.

#### **3.2.3.3 Plans de tir**

Les plans de tirs et le programme de contrôle des vibrations dues aux tirs de mines ou à l'utilisation d'un brise-roche sont soumis au Maître d'œuvre pour information. Ils doivent indiquer notamment :

- la nature et les caractéristiques techniques des explosifs utilisés ;
- la nature du bourrage ;
- le maillage, le diamètre et la profondeur des trous d'abattage, l'implantation et l'espacement des trous ;
- de la dernière ligne du plan de tir tant en élévation qu'en radier ;
- la description du bouchon : nombre et diamètre des trous vides. Un détail côté du bouchon est donné ;
- la répartition des charges dans les trous et le diamètre des cartouches ;
- le mode d'amorçage (type de détonateur) ;
- le plan de chargement mentionnant les séquences d'amorçage, les charges instantanées et la charge totale.

#### **3.2.3.4 Creusement par moyens mécaniques**

L'entrepreneur doit justifier les moyens utilisés pour le creusement par des moyens mécaniques en indiquant :

- le type et la puissance du ou des matériels utilisés ;
- les cadences d'abattage retenues.

### 3.2.3.5 Rapport hebdomadaire (phase creusement)

En complément des rapports journaliers et mensuels définis au CCTP Fascicule A "Clauses communes", un rapport hebdomadaire présentera toutes les informations concernant les choix de creusement et de soutènement des travées en cours et à venir. Il comprendra :

- l'analyse des données recueillies lors de la semaine précédente :
  - o levés géologiques, qualité de découpage, relevés profilométriques
  - o résultats des auscultations des déformations et des mesures de vibrations
  - o observations en cours de travaux, adéquation soutènements / conditions géologiques, point quantitatif sur les déblais, soutènement, traitement des cavités, etc.
- les prévisions de travaux pour la semaine à venir :
  - o analyse du sondage à l'avancement pour la semaine à venir
  - o proposition de profils types pour la semaine à venir.

### 3.2.3.6 Etudes particulières

Les études d'exécution de l'entreprise devront intégrer un modèle graphique 3D des confortements des cavités.

## 3.2.4 TOLERANCES D'EXECUTION

### 3.2.4.1 Tolérances sur la position des structures définitives

La tolérance d'exécution des soutènements, est fixée dans le Fascicule A du CCTP.

Les tolérances d'exécution en tout point de la structure définitive est fixée comme suit :

- Planimétrie générale : + 2 cm, - 2 cm.
- Implantation des bossages et massifs : + 1 cm, - 1 cm.
- Nivellement altimétrique des bossages et massifs : + 5 mm, - 5 mm.
- Altimétrie du radier, en zone et hors zone de roulement du véhicule électrique : + 1 cm, - 1 cm.
- Planimétrie du radier, en zone et hors zone de roulement du véhicule électrique : flèche maximale de 5 mm à la règle de 2,00 m ; flèche maximale de 2 mm à la règle de 0,20 m.

Épaisseur : en toute zone, les parois et les structures telles que le radier ne peuvent admettre une réduction qui conduit à présenter une épaisseur inférieure à celle portée sur les plans visés par le Maître d'œuvre.

### 3.2.4.2 Tolérances sur la position des réseaux d'assainissement / VRD

Les tolérances de pose des collecteurs et regards dans le plan médian de la fouille de déblais en souterrain est de +/- 2 cm. Celles en planimétrie sont de +/- 1 cm.

## 3.3 TRAVAUX EN SOUTERRAIN

### 3.3.1 REGLES GENERALES

#### 3.3.1.1 Lignes de référence

Les lignes contractuelles de paiement et de réception de profil d'excavation, mentionnées au fascicule 69 du CCTG sont les suivantes :

- Ligne I d'intrados du revêtement => pas concernée par ce projet
- Ligne S d'intrados du soutènement à l'intérieur de laquelle ne doit se trouver aucune saillie du soutènement
- Ligne A qui définit le gabarit d'excavation à l'intérieur de laquelle ne doit se trouver aucune saillie du terrain au moment de la mise en place du soutènement.

Ces lignes sont des lignes physiques qui doivent être contrôlées par l'entreprise au titre de son contrôle intérieur et peuvent faire l'objet d'un contrôle extérieur. Le relevé de ces lignes sera effectué au profilomètre laser et reportée sur une fiche de suivi transmise au MOE.

### 3.3.1.2 Hors profils

L'origine et la nature dites "géologiques" des hors profils reconnues conjointement par l'entrepreneur et le MOE comme indépendantes de la méthode utilisée par l'entreprise, ne peuvent concerner que des hors profils provoqués par des conditions géologiques imprévisibles. Elles sont appréciées à partir des observations réalisées lors du déroctage des dernières volées qui ont précédé l'apparition des hors profils.

Les hors profils géologiques ne seront prises en compte dans la rémunération que s'ils ont fait l'objet d'un constat contradictoire entre l' MOE et l'Entreprise.

Les hors profils résultant d'une insuffisante adéquation de plan de tir ou du profil de soutènement aux conditions de terrain rencontrées ne peuvent être considérés comme des hors profils d'origine géologique. En particulier, les vides laissés par des éboulements survenus en arrière du front de taille par défaut de soutènement, ne peuvent être considérés comme des hors profils géologiques.

Les hors profils révélateurs de la nécessité d'une modification du plan de tir ou du profil de soutènement, consécutive à une évolution progressive des conditions de terrain, ne sont pas considérés comme d'origine géologique. Le surcoût éventuel qui en résulterait pour l'entreprise, est réputé intégré aux prix unitaires de déblais.

Si, après le résultat d'une volée présentant des hors profils importants, le plan de tir est reconduit sans modification, les hors profils de la volée suivante sont réputés dus à la "faute de l'entreprise".

Les limites des différentes formations géologiques et les profils de soutènement proposés constituent une prévision à valeur indicative. En conséquence, l'Entrepreneur est supposé avoir pris en compte dans ses coûts unitaires toutes les sujétions d'exécution liées à des modifications de la distribution des faciès géologiques et des profils de soutènement correspondant.

Afin de s'assurer de la maîtrise des hors profils et de la qualité du déroctage sur le pourtour de l'excavation, à chaque pas d'avancement, l'entrepreneur met en œuvre les techniques et méthodes nécessaires dont notamment :

- précision de l'implantation du plan de tir ;
- parallélisme et respect de la profondeur des trous de mines ;
- préfabrication des charges.

La longueur des volées peut être réduite et les plans de foration, de tir ou de chargement modifiés si des hors profils sont constatés.

### 3.3.2 TRAVAUX PREPARATOIRES AU CREUSEMENT

Préalablement au démarrage du creusement, les équipements suivants seront démontés :

- chemins de câbles, câbles et éclairage existant en tunnel;
- plots de jalonnement, lisses et poteaux associés;
- appareillage du laboratoire
- Etc.

### 3.3.3 ATTAQUE DU CREUSEMENT

Les travaux de creusement des galeries MIGA et des trois cavités C1, C3 et C5 s'effectueront entièrement à partir de la galerie existante C.

Ils nécessiteront, le décaissement de la chaussée de la galerie existante, ainsi que la suppression du collecteur existant et de renvois transversaux. L'entrepreneur devra proposer un concept provisoire de gestion des eaux.

Les travaux de creusement de la galerie de jonction avec la galerie anti-souffle s'effectueront à partir de la galerie MIGA. La pente quasi-nulle du creusement implique la présence d'un pompage permanent au front des eaux de chantier.

Les eaux récupérées en phase de chantier seront canalisées dans l'ouvrage en cours de creusement jusqu'aux stations de traitement des eaux.

### **3.3.4 RECONNAISSANCES PAR SONDAGES A L'AVANCEMENT**

Pour la réalisation de la deuxième branche du projet, à l'avancement, l'entreprise effectuera des reconnaissances en avant du front, par sondages destructifs horizontaux.

### **3.3.5 METHODOLOGIE D'EXCAVATION CONVENTIONNELLE**

#### **3.3.5.1 Principe de creusement par méthode conventionnelle**

L'excavation pourra être réalisée à l'aide d'explosifs, d'engins brise roche ou par fraisage à attaque ponctuelle dans les zones plus fragiles. Ces dispositions seront adaptées selon l'état de la fracturation.

Le terme « excavation » s'entend au sens large. Il comprend le terrassement des ouvrages et les opérations associées :

- reconnaissance à l'avancement.
- drainage, captage et évacuation des eaux.
- forage du plan de tir, minage.
- abattage, purge, marinage et stockage provisoire des déblais.
- évacuation et stockage définitif des déblais.

L'entreprise utilisera la ou les méthodologies d'excavation appropriées au contexte géologique et en fonction de son organisation retenue. L'entrepreneur soumettra à l'acceptation préalable du maître d'œuvre la méthode d'abattage d'exécution (moyens mécaniques ou explosifs) et le matériel qu'il envisage d'utiliser.

L'entrepreneur devra prévoir des moyens d'abattage adaptés aux terrains les plus durs, au matériau plus tendre et à la démolition d'éléments de soutènement provisoire (soutènement de front de taille, élargissement entre la section courante pour la réalisation des niches interféromètres, les cavités, etc.).

Les moyens d'abattage proposés par l'entrepreneur devront assurer un découpage de l'excavation selon un profil continu et soigné. Les sur-excavations, ou les reprises d'excavation réalisées pour garantir le gabarit sont à la charge de l'entreprise. Elles tiendront compte notamment de toutes déformations prévisibles attendues, (convergences, ...) définies au dossier géotechnique.

En cas d'excavation à l'explosif, cette méthode nécessite à chaque tir un contrôle géométrique du profil excavé, un suivi des vibrations, un suivi des nuisances aériennes pendant toute la durée de terrassement du chantier.

Les terrassements seront menés par passes de longueur limitée. Ces longueurs devront être adaptées à la tenue des terrains rencontrés et selon les valeurs mesurées dans le cadre du suivi des auscultations et des vibrations (nivellement, convergence, ...), sans toutefois dépasser les valeurs seuils maximales absolus. Selon les caractéristiques des matériaux traversés, les documents d'exécution (plan de tir) devront définir la distribution et la profondeur des trous de mine, la puissance des charges d'explosif et le fractionnement des temps de tir.

Les plans d'exécution devront mentionner la valeur du décousu (zone vierge de soutènement), adapté à la géologie du terrain rencontré, entre le front de taille et la mise en œuvre du soutènement définitif.

#### **3.3.5.2 Régles générales pour l'utilisation des explosifs**

L'entrepreneur, qui est soumis à la réglementation en vigueur, doit obtenir toutes les autorisations administratives nécessaires au minage conformément à la loi n°70-575 du 3 janvier 1970 qui fonde la réglementation nationale et régit les responsabilités relatives aux explosifs, à leur emploi et aux directives européennes. Notamment, l'entrepreneur doit prendre toutes les précautions nécessaires pour que l'emploi des explosifs ne présente aucun danger pour le personnel et pour les tiers, et ne cause aucun dommage aux ouvrages voisins ainsi qu'aux ouvrages faisant l'objet du marché.

L'étude des plans de tir, en particulier ce qui concerne schéma et microretards, est à mettre au point sur la base des effets sur les structures. Les tirs d'essais, les études et les contrôles de vibrations sont pris en charge par l'Entrepreneur et réalisés par un laboratoire agréé soumis à l'acceptation du maître d'œuvre.

**Qualification du personnel** : Les tirs, le maniement d'explosifs ou d'artifices de mise à feu seront confiés uniquement à des boute-feux titulaires du Certificat de « Préposé au Tir » (CPT) conformément à l'arrêté du

26 mai 1997 portant création du certificat de préposé au tir modifié par l'arrêté du 31 janvier 2000. Le CPT doit avoir les options complémentaires de travaux souterrains, de chargement en vrac et d'amorçage par dispositifs électroniques. Dans le cas de mise en œuvre de tirs à amorçage séquentiel, le préposé au tir devra apporter la preuve de sa qualification pour la mise en œuvre de tirs séquentiels.

Une photocopie des CPT sera remise au maître d'œuvre avant le démarrage des travaux.

**Spécifications techniques** : Avant la mise à feu de chaque tir, l'entrepreneur devra obligatoirement remplir la fiche de tir. Les fiches seront remises quotidiennement au maître d'œuvre. Les fiches de tir sont signées par le chef de chantier ou par le responsable du tir.

L'entreprise prend toutes les précautions nécessaires pour éviter les risques d'endommagement des éléments de soutènements notamment le béton projeté au jeune âge.

En cas de mise en œuvre d'un dispositif d'amorçage séquentiel, l'entrepreneur devra présenter au maître d'œuvre :

- un plan de raccordement des détonateurs aux différentes lignes de l'exploseur séquentiel,
- un plan avec la date de détonation au niveau de chaque détonateur.

Ces plans devront obligatoirement être disponibles sur le chantier avant le chargement de chaque volée. Ces plans de foration et d'amorçage seront présentés sur un plan côté de la section excavée, en complément de la fiche de tir.

**Explosifs type « encartouché »** : Les explosifs de type « encartouché » pourront être utilisés. Les déblais seront impérativement triés pour en extraire les éventuels résidus d'explosifs.

**Explosifs de type « pompable »** : Les explosifs de type « pompable » pourront être utilisés.

**Méthodologie d'utilisation** : L'entrepreneur proposera au maître d'œuvre des dispositifs et des séquences d'amorçage soigneusement optimisées pour obtenir un bon rendement des tirs, avec en particulier :

- une bonne fragmentation des matériaux avec  $D < 400$  mm.
- une réduction des vibrations dans l'environnement.
- une limitation des nuisances aériennes.

L'amorçage pourra être du type :

- électrique traditionnel (une ligne) avec une série complète de micro retards n° zéro à vingt.
- électrique séquentiel.
- non électrique.
- électronique.

L'amorçage sera obligatoirement réalisé en fond de trou. Le cordeau détonant entre les trous de forages est formellement interdit.

L'entrepreneur soumettra ses plans de tir au maître d'œuvre pour information.

**Adaptations des plans de tir** : Pour chaque plan de tir, la fourchette normale de réalisation du profil correspond à :

- la longueur de volée du plan de tir type visé plus ou moins la fourchette définie à l'article 3.3.8.4 du présent CCTP ;
- la quantité d'explosif globale du plan de tir type visé plus ou moins 30 % ;
- la quantité d'explosif par trou du plan de tir type visé plus ou moins 20 % ;
- le maillage (surface délimitée par 4 trous) du plan de tir type visé plus ou moins 20 %.

Au-delà de ces fourchettes, la modification du plan de tir est traitée comme une modification du plan de tir type initial.

La longueur des volées peut être réduite et les plans de foration, de tir ou de chargement modifiés si des hors profils sont constatés, ou en cas de dépassement des seuils vibratoires fixés au marché ou confirmés lors des tirs expérimentaux.

Afin de garantir la qualité du découpage de la périphérie de l'excavation, les volées sont limitées à une longueur maximale par ouvrage et par profil type telle que définie à l'article 3.3.8.4.



L'entrepreneur tient à jour un dossier de fiches de tirs où figurent tous les renseignements descriptifs du plan de tir réellement exécuté : longueur de volée, surface d'excavation, nombre et répartition des trous de mines, charge par trou, séquence d'amorçage, ainsi que la géologie sommairement relevée sur le front à abattre et l'aspect visuel du contour obtenu après le tir. Ce relevé visuel ne remplace pas le relevé profilométrique ni le relevé géologique de front prévu à l'article 6.3.4 du présent CCTP au titre du contrôle du profil excavé.

### **3.3.5.3 Règles relatives à l'utilisation du brise-roche**

Les prescriptions données au 0 s'applique également dans le cas d'utilisation d'une brise-roche.

- si la puissance du brise - roche est inférieure ou égale à 1000 joules, son utilisation ne comporte aucune autre contrainte ;
- au-delà de cette puissance, l'entrepreneur utilise un brise roche à énergie variable ;
- l'utilisation de brise roche dont la puissance est supérieure à 2500 joules est interdite.

### **3.3.5.4 Phasage d'excavation des ouvrages souterrains**

L'excavation des galeries MIGA, des niches interféromètres et des cavités est prévue a priori, en pleine section, à l'explosif dans les matériaux durs et au brise roche ou par fraisage à attaque ponctuelle dans les zones plus sensibles. Ces dispositions seront adaptées à l'état de la fracturation.

Les 10 derniers mètres au niveau de la jonction entre le deuxième front d'attaque et la cavité C5 seront creusés en méthode mécanisée à la fraise ponctuelle ou au BRH. Le creusement en méthode mécanisée est à prévoir également pour la réalisation des finitions des ouvrages volumiques tels que les cavités C1, C3, C5 et Niches Interféromètre.

Les terrassements seront menés par volées de longueur limitée. Ces longueurs devront être réduites si la tenue des terrains n'est pas celle attendue ou si les valeurs mesurées dans le cadre de l'auscultation (nivellement, convergence, mesures des déformations, etc.) dépassent les valeurs seuils notamment à proximité des ouvrages existants.

Après chaque tir à l'explosif, une purge soignée des parements excavés sera réalisée à la fraise ou au BRH, afin d'obtenir une découpe soignée des ouvrages. L'attention de l'entrepreneur est attirée sur le fait que les purges seront réalisées au fur et à mesure de l'exécution, et que le maître d'œuvre se réserve le droit de demander si nécessaire des purges complémentaires, aux frais de l'entrepreneur (px : pour purger des blocs instables non boulonnables). Les opérations de purges ne doivent pas conduire à créer des surexcavations. En tout état de cause, les auscultations au front et les contrôles de section sont réalisés dès que la sécurité est assurée.

L'excavation des ouvrages sera réalisée travée par travée avec mise en œuvre immédiate du profil de soutènement prévu avant l'excavation. Notamment, une couche de béton projeté de confinement avec une épaisseur au moins égale à 3 cm devra être mise en place en protection du décousu immédiatement après la purge suite aux recommandations du chargé de soutènement. La travée n+1 ne pourra être terrassée qu'après réalisation du soutènement complet de la travée n.

Dès la fin d'excavation d'une travée et avant la mise en œuvre du soutènement, l'entrepreneur effectuera un relevé géologique des parements terrassés et du front de taille.

Les outils pour la foration des trous de mine et pour le boulonnage, seront adaptables en fonction du matériau perforé.

Le marouflage des déblais s'effectuera après ventilation de la zone de travail.

### **Particularité d'excavation de la Cavité C3**

La Cavité C3 sera creusé par élargissement de la première branche du projet MIGA.

Les prescriptions décrites au paragraphe précédent concernant le phasage d'excavation et les précautions nécessaires lors du creusement sont également à respecter.



### **3.3.6 EXECUTION DES DEBLAIS EN PRESENCE DES VENUES D'EAU**

Pendant l'excavation, des forages destructifs drainants de décompression sont réalisés à la traversée des zones aquifères. Des dispositions similaires sont à réaliser pour éviter la mise en charge des soutènements, notamment du béton projeté.

Les mesures prises pour le drainage des parements ainsi que celles que l'entrepreneur s'engage à prendre en cas d'irruption brutale d'eau à l'intérieur de l'ouvrage sont précisées dans la procédure d'exécution relative au creusement - soutènement ; elles sont soumises au coordonnateur SPS.

#### **3.3.6.1 Conception des dispositifs de drainage et de recueil**

Les dispositions suivantes peuvent être retenues :

- drains auréolaires classiques en cas de venues d'eau modérées,
- drains périphériques obliques en « parapluie » permettant d'anticiper le drainage en cas d'arrivées d'eau abondantes.

Les sondages de reconnaissance réalisés à l'avancement permettent de juger de l'opportunité du drainage et du type de disposition à retenir.

Dans le cas de drains périphériques, les forages sont exécutés suffisamment à l'avance, latéralement au front de taille (à partir de la paroi de la dernière travée) avec un léger angle d'ouverture par rapport à l'axe de l'ouvrage, afin de permettre la collecte des eaux en arrière de la zone en cours d'excavation.

Les dispositifs d'évacuation des eaux disposés en parois en vue de leur acheminement vers les canalisations d'exhaure ne doivent pas diminuer l'épaisseur nominale du béton de revêtement. Éventuellement, ils sont disposés dans des saignées.

L'espacement, le nombre, le diamètre, l'orientation et la position des forages drainants sont soumis au visa du MOE de même que les dispositifs de captage depuis le sortie du captage jusqu'aux points de collecte. Le dimensionnement des dispositifs de captage est adapté au débit à évacuer. Au minimum, ils ont un diamètre de 50 mm.

Toutes les venues d'eaux recueillies à leur source au plus proche de l'avancement du front sont évacuées soit gravitairement soit par pompage, jusqu'au dispositif de traitement des rejets des eaux installées au front d'attaque.

Les forages sont équipés de barbacanes et d'un système de rejet permettant la canalisation des eaux jusqu'au pied de la paroi. Le diamètre des tuyaux de collecte doit être dimensionné par rapport aux débits constatés.

Pour l'exécution des déblais, et conformément au fascicule 69 article IV.4.1, les hypothèses suivantes sont à retenir :

- 0 à 5 l/s : débit normal (les sujétions d'exécution sont incluses dans le prix de déblais),
- 10 l/s : débit maximal avec les sujétions précédentes n'étant pas capable de couvrir la gestion de ces venues d'eau.

### **3.3.7 METHODOLOGIE DE MARINAGE**

L'Entrepreneur définira sa ou ses méthodologies de marinage des déblais d'excavation en fonction de ses moyens, du nombre d'attaque de creusement, des distances à parcourir, etc. Les adaptations du projet demandées par l'entrepreneur pour faciliter le marinage sont à la charge de l'entreprise.

### **3.3.8 SOUTENEMENTS**

#### **3.3.8.1 Projet de soutènement**

Pour chaque phase de creusement et chaque type de soutènement, l'Entrepreneur soumettra au visa du Maître d'œuvre un projet de soutènement qui aura recueilli l'accord préalable du Chargé des Soutènements.

| Il comportera les pièces suivantes :

- les notes de calculs justificatives du soutènement, fondées sur les données du mémoire de synthèse géologique, géotechnique et hydrogéologique.
- une note technique donnant les caractéristiques des éléments et matériaux constituant le soutènement et décrivant les critères d'application de ce type de soutènement, les conditions de sa mise en œuvre, notamment la succession des phases de sa mise en place et les délais entre phases.
- les plans d'exécution détaillés (plans de phasage, traitement, soutènement, auscultation, etc.).
- une note décrivant les dispositions prévues par l'Entrepreneur en cas d'arrêt prolongé (week-end, jours fériés, etc.) et définissant les procédures particulières à appliquer en cas de dépassement des valeurs seuils mesurées dans le cadre de suivi de l'auscultation des ouvrages.

### **3.3.8.2 Dispositions générales**

Il est prévu de ne pas mettre en œuvre de revêtement dans les ouvrages du projet MIGA. Dans cet esprit, le soutènement est conçu pour être définitif et permanent. Les caractéristiques du soutènement seront justifiées par le calcul, conformément aux dispositions du paragraphe ci-avant.

La mise en œuvre du béton projeté s'effectuera conformément aux recommandations AFTES de 1994 relatives à la technologie et la mise en œuvre des bétons projeté fibrés et aux recommandations prescrites au fascicule « mise en œuvre des bétons projetés » établi par ASQUAPRO (Association pour la qualité de la projection des mortiers et bétons). Le personnel affecté à cette tâche de projection devra être en possession d'un certificat de bonne aptitude à la projection de qualité du béton délivré par la commission technique d'ASQUAPRO.

Pendant toute la durée des travaux, le soutènement sera soumis à une surveillance continue, conformément aux prescriptions du Chapitre « Contrôles et auscultations » du présent CCTP, et pourra, selon l'évolution constatée de son comportement, être l'objet d'une adaptation (renforcement du soutènement déjà mis en place, modification de celui restant à poser, etc.). L'Entrepreneur devra donc définir les valeurs seuils qui entraîneront, en cas de dépassement, l'application des procédures particulières de renforcement, qu'elles soient à action immédiate ou à action différée.

L'entrepreneur devra maintenir sur le chantier, en permanence et prêt à servir, les matériaux nécessaires à l'application de ces procédures. Il devra approvisionner dès le début des travaux de terrassement, un nombre suffisant de cintres et de boulons d'ancrages, de façon à pouvoir parer sans retard à toute éventualité d'adaptation à la nature du terrain. Il devra également disposer des moyens lui permettant d'effectuer rapidement des remplissages en béton coulé et en béton projeté.

Un lavage des parois est obligatoire avant application d'une deuxième couche de béton projeté. La deuxième couche de béton projeté devra recouvrir les têtes de boulons avec une épaisseur minimale de 5 cm.

Les terrains de fondation des soutènements sera soigneusement nettoyé avant application du béton projeté (pas de coque de béton projeté ou de cintre reposant sur du marin). Le rocher sera obligatoirement nettoyé à l'air comprimé avant l'application du soutènement. En cas de défaut de fondation, le MOE pourra exiger une reprise du soutènement sans que l'entreprise ne puisse réclamer un dédommagement.

Les fronts seront confinés sur une demi-section par une couche de béton projeté suivant les préconisations du chargé de soutènement.

Dans le cas d'un arrêt prolongé de l'avancement, le front de taille pourra être renforcé par un boulonnage. Avant un arrêt de chantier, programmé ou inopiné (fin de journée, fin de semaine, veille de fête, grève, ...), tous les parements d'excavation sont obligatoirement soutenus. Dans le cas d'un arrêt d'une durée supérieure à deux jours pour les profils P4 ou à une semaine pour les profils P12 et P3, les fronts de taille doivent être confinés par du béton projeté dont l'épaisseur sera définie par le chargé du soutènement.

### **3.3.8.3 Définition des profils de soutènement**

Il appartient à l'entreprise d'établir les documents d'exécution détaillés des différents profils de soutènement qui seront mis en œuvre. Ces documents sont soumis au visa de la maîtrise d'œuvre. Il

appartient également au Chargé de soutènement de préciser le profil type de soutènement qu'il envisage de mettre en œuvre pour la travée à excaver.

Les profils de soutènements retenus concernent graduellement des terrains de qualité géotechnique différente, de bonne à médiocre. Ces profils de soutènement sont mis en œuvre sur proposition du chargé de soutènement, et consignés sur la fiche de levé de front.

Les profils de soutènements à appliquer pour les différentes parties d'ouvrage sont décrits ci-dessous:

### **Section courante projet MIGA**

#### **Profil type P12**

Le profil P12 s'utilise pour des roches de bonne qualité

La mise en œuvre se décompose comme suit :

- béton projeté fibré, de 3 cm d'épaisseur minimum, à mettre en place immédiatement après l'avancement si nécessaire, suite aux préconisations du chargé de soutènement.
- boulons en voûte type CT-bolt ou équivalent scellés au coulis de ciment de longueur  $\leq 4$  m, 3 pièces tous les 1,5 m de tunnel. Ces boulons seront positionnés après observation de la fracturation du décousu et du front.

Le creusement se fait par passes de longueur maximale de 3 m.

La couche de béton projeté et les boulons sont mis en œuvre à l'avancement, dans le cycle.

#### **Profil type P3**

Le profil P3 s'utilise pour des roches de qualité moyenne.

La mise en œuvre se décompose comme suit :

- béton projeté fibré de confinement, de 3 cm d'épaisseur minimum, à mettre en place immédiatement après l'avancement.
- boulons en voûte type CT-bolt ou équivalent scellés au coulis de ciment de longueur  $\leq 4$  m, 3 pièces tous les 1 m de tunnel.
- couche de béton projeté fibré de soutènement, épaisseur minimum 6 cm.

La première couche de béton projeté et les boulons sont mis en œuvre à l'avancement, dans le cycle, mais la deuxième couche de béton projeté peut être réalisée en temps masqué, sachant que la totalité du soutènement est réalisée à une distance maximale de deux travées du front.

Le creusement se fait par passes de longueur maximale de 3 m.

#### **Profil type P4**

Le profil P4 s'utilise pour des roches de qualité médiocre.

La mise en œuvre se décompose comme suit :

- béton projeté fibré de confinement, de 3 cm d'épaisseur minimum, à mettre en place immédiatement après l'avancement.
- cintres métalliques HEB140, espacement maximum 1,00 m.
- couche de béton projeté entre les cintres, épaisseur 12 cm.

Le creusement se fait par passes de longueur maximale de 1,5 m.

Le soutènement est mis en œuvre à l'avancement, dans le cycle.

### **Niches interféromètres projet MIGA**

#### **Profil type P12**

Le profil P12 s'utilise pour des roches de bonne qualité

La mise en œuvre se décompose comme suit :

- béton projeté fibré, de 3 cm d'épaisseur minimum, à mettre en place immédiatement après l'avancement si nécessaire, suite aux préconisations du chargé de soutènement.
- boulons en voûte type CT-bolt ou équivalent scellés au coulis de ciment de longueur  $\leq 5$ m, 4 pièces tous les 1,5 m de tunnel. Ces boulons seront positionnés après observation de la fracturation du décousu et du front.

Le creusement se fait par passes de longueur maximale de 3 m.

La couche de béton projeté et les boulons sont mis en œuvre à l'avancement, dans le cycle.

#### Profil type P3

Le profil P3 s'utilise pour des roches de qualité moyenne.

La mise en œuvre se décompose comme suit :

- béton projeté fibré de confinement, de 5 cm d'épaisseur minimum, à mettre en place immédiatement après l'avancement.
- boulons en voûte type CT-bolt ou équivalent scellés au coulis de ciment de longueur  $\leq 5$ m, 4 pièces tous les 1 m de tunnel.
- couche de béton projeté fibré de soutènement, épaisseur minimum 6 cm.

La première couche de béton projeté et les boulons sont mis en œuvre à l'avancement, dans le cycle, mais la deuxième couche de béton projeté peut être réalisée en temps masqué, sachant que la totalité du soutènement est réalisée à une distance maximale de deux travées du front.

Le creusement se fait par passes de longueur maximale de 3 m.

#### Profil type P4

Le profil P4 s'utilise pour des roches de qualité médiocre.

La mise en œuvre se décompose comme suit :

- béton projeté fibré de confinement, de 3 cm d'épaisseur minimum, à mettre en place immédiatement après l'avancement.
- cintres métalliques HEB140, espacement maximum 1,00 m.
- couche de béton projeté entre les cintres, épaisseur 14 cm.

Le creusement se fait par passes de longueur maximale de 1,5 m.

Le soutènement est mis en œuvre à l'avancement, dans le cycle.

### **Cavités C1-C5 projet MIGA**

#### Profil type P12

Le profil P12 s'utilise pour des roches de bonne qualité.

La mise en œuvre se décompose comme suit :

- béton projeté fibré, de 5 cm d'épaisseur minimum, à mettre en place immédiatement après l'avancement si nécessaire, suite aux préconisations du chargé de soutènement.
- boulons en voûte type CT-bolt ou équivalent scellés au coulis de ciment de longueur  $\leq 5$ m, 6 pièces tous les 1,5 m de tunnel. Ces boulons seront positionnés après observation de la fracturation du décousu et du front.

Le creusement se fait par passes de longueur maximale de 3 m.

La couche de béton projeté et les boulons sont mis en œuvre à l'avancement, dans le cycle.

#### Profil type P3

Le profil P3 s'utilise pour des roches de qualité moyenne.

La mise en œuvre se décompose comme suit :

- béton projeté fibré de confinement, de 5 cm d'épaisseur minimum, à mettre en place immédiatement après l'avancement.
- boulons en voûte type CT-bolt ou équivalent scellés au coulis de ciment de longueur  $\leq 5$ m, 6 pièces tous les 1 m de tunnel.
- couche de béton projeté fibré de soutènement, épaisseur minimum 7 cm.
- 

La première couche de béton projeté et les boulons sont mis en œuvre à l'avancement, dans le cycle, mais la deuxième couche de béton projeté peut être réalisée en temps masqué, sachant que la totalité du soutènement est réalisée à une distance maximale de deux travées du front.

Le creusement se fait par passes de longueur maximale de 3 m.

#### Profil type P4

Le profil P4 s'utilise pour des roches de qualité médiocre

La mise en œuvre se décompose comme suit :

- béton projeté fibré de confinement, de 5 cm d'épaisseur minimum, à mettre en place immédiatement après l'avancement.
- cintres métalliques HEB180, espacement maximum 1,00 m.
- couche de béton projeté entre les cintres, épaisseur 18 cm.

Le creusement se fait par passes de longueur maximale de 1,5 m.

Le soutènement est mis en œuvre à l'avancement, dans le cycle.

#### Cavités C3 projet MIGA

Il est à noter que du fait qu'il s'agit d'un ouvrage volumique à « géométrie variable » suivant l'avancement, le recours à de profils cintrés de soutènement ne peut pas être préconisé (profils de cintres variables). Pour cet ouvrage particulier, sa réalisation hors zones faillées ou broyées est imposée, permettant d'utiliser pour sa stabilité à long terme uniquement du boulonnage ponctuel ou systématique.

#### Profil type P3

Le profil P3 s'utilise pour des roches de qualité moyenne.

La mise en œuvre se décompose comme suit :

- béton projeté fibré de confinement, de 5 cm d'épaisseur minimum, à mettre en place immédiatement après l'avancement.
- boulons en voûte type CT-bolt ou équivalent scellés au coulis de ciment de longueur  $\leq 6.5$ m, maillage 1,5 x 1,0m en quinconce.
- couche de béton projeté fibré de soutènement, épaisseur minimum 15 cm.

La première couche de béton projeté et les boulons sont mis en œuvre à l'avancement, dans le cycle, mais la deuxième couche de béton projeté peut être réalisée en temps masqué, sachant que la totalité du soutènement est réalisée à une distance maximale de deux travées du front.

Le creusement se fait par passes de longueur maximale de 2 m.

### **3.3.8.4 Adaptation des profils types de creusement - soutènement**

#### **Domaine de validité des profils types**

Pour ne pas multiplier le nombre de profils types, ceux définis dans le présent marché sont valables à l'intérieur des fourchettes de quantités fixées par le marché. L'objectif est de pouvoir adapter, sans discontinuité importante dans un contexte géologique homogène, la longueur creusée en fonction du comportement du terrain sans que la nature du profil type ne change.

Ces adaptations concernent la longueur du pas, les quantités d'explosifs utilisées et les éléments de soutènements tels que le nombre de boulons d'ancrage, l'espacement des cintres. Les détails des

fourchettes définies pour les quantités d'explosifs sont donnés au paragraphe « Adaptations des plans de tir du présent CCTP ».

Les fourchettes suivantes s'appliquent :

Profils type		Fourchette de longueur du pas	Fourchettes de quantité de boulons / m de profil type	Fourchette d'espacement des cintres
12	Section courante / Sas	2 à 3m	1 à 3 u	-
	Niche interféromètre	2 à 3m	1 à 4 u	-
	Cavité C1-C5	2 à 3m	1 à 5 u	-
3	Section courante / Sas	1 à 3m	2 à 4	-
	Niche interféromètre	1 à 3m	3 à 5 u	-
	Cavité C1-C5	1 à 3m	4 à 6 u	-
	Cavité C3	1 à 3m	5 à 10 u	-
4	Section courante / Sas	0.70 à 1.50m	-	0.70 à 1.50m, mini 1/pas
	Niche interféromètre	0.70 à 1.50m	-	0.70 à 1.50m, mini 1/pas
	Cavité C1-C5	0.70 à 1.50m	-	0.70 à 1.50m, mini 1/pas

Au-delà des fourchettes définies pour le creusement et les soutènements, toute proposition de l'entreprise est traitée comme une modification du profil type qui doit être soumise au visa du MOE.

### 3.3.8.5 Principe d'adaptation des profils types à l'avancement

Conformément aux prescriptions du fascicule 69 du CCTG, à partir des observations faites par le chargé de soutènement, l'entrepreneur soumet au visa du MOE, à chaque changement de profil type, le profil type qu'il propose d'exécuter.

Les propositions de l'entreprise font l'objet d'un rapport hebdomadaire présenté au MOE.

L'adaptation des méthodes de creusement et des soutènements est faite à partir des données de terrain recueillies par l'entreprise au fur et à mesure de l'avancement du chantier. Pour permettre la meilleure adaptation possible du profil type en accord avec la maîtrise d'œuvre, l'entreprise accompagne sa proposition de profil type d'une note justificative en rapport avec :

- l'exploitation des forages de reconnaissance hebdomadaires ;
- l'exploitation des paramètres de foration du plan de tir précédent ;
- la géologie constatée ;
- les résultats des mesures de vibrations ;
- la qualité du profil découpé ;
- les résultats des auscultations en voûte et au front.

La transmission des résultats bruts, leur interprétation et les analyses effectuées se font sous format papier et informatique.

S'il apparaît nécessaire de mettre en œuvre un profil type différent de ceux prévus au marché, l'entrepreneur le soumet à l'approbation du Maître d'œuvre.



### 3.3.8.6 Application des fourchettes d'adaptation des profils types

Conformément à l'article 3.3.8.4 du présent CCTP, les adaptations de chaque profil type sont valables à l'intérieur des fourchettes de quantités. Elles concernent les longueurs des pas d'avancement et certains composants des plans de soutènement.

Pour chacun de ces pas d'avancement minimum et maximum, il est proposé un plan de tir de principe qui permet de couvrir l'intervalle les séparant. Au-delà de ces fourchettes, la modification du plan de tir est traitée comme une modification du profil type initial.

Pour chaque plan de soutènement, la fourchette normale de réalisation du profil correspond :

- au nombre de boulons par mètre de voûte et piédroits indiqué au profil type figurant dans le marché ;
- à l'épaisseur de béton projeté en voûte et piédroits indiquée au profil type figurant dans le marché ;
- à l'espacement entre cintres indiqué au profil type figurant dans le marché.

Au-delà des limites d'adaptations définies par les fourchettes (valeurs minimale et maximale) de quantités, toute proposition de l'entreprise est traitée comme une modification du profil type.

### 3.3.8.7 Boulons d'ancrage radial

Le boulonnage radial est conçu pour confiner le terrain encaissant au-delà de l'auréole créée par le boulonnage, et bloquer les dièdres instables.

Pour les profils types n°12, le boulonnage intervient après la purge et le marinage ; il est réalisé après observation de l'organisation de la fracturation et ne constitue donc pas un soutènement à caractère systématique. Les quantités mentionnées à l'article 3.3.8.6 n'ont qu'un caractère indicatif.

Pour les profils types n°3, il est réalisé sur la 1<sup>ère</sup> couche de béton projeté. Préalablement à la mise en place des boulons, l'entrepreneur effectue un repérage des zones à boulonner.

Le projet de soutènement devra préciser :

- la nature, le type, la longueur et le diamètre des boulons ;
- le maillage du boulonnage ;
- la distance maximale de mise en place des boulons par rapport au front ;
- le diamètre et le mode de foration des trous ;
- la nature et le mode d'exécution du scellement ;
- la dimension des plaques de répartition ;
- la charge de service des boulons ;
- les modalités des essais de convenance et de contrôle en conformité avec les dispositions de l'article 6.2 du présent CCTP.

L'Entrepreneur procédera aux essais de convenance avant le démarrage du chantier.

Les boulons d'ancrages seront de type CT-bolt ou équivalent scellés au coulis de ciment.

Les têtes d'ancrage excédentaires après mise en place seront recépées afin de limiter l'excroissance. Elles seront recouvertes d'une couche mince de béton projeté. Le diamètre de foration et la longueur de forage ont des dimensions adaptées au type de boulon à poser. Le scellement se fait sur toute la longueur des boulons. Les boulons sont solidarisés aux plaques des boulons.

### 3.3.8.8 Béton projeté

Le béton projeté fibré est employé pour l'ensemble des profils de soutènement. Avant mise en œuvre du béton projeté, la paroi est purgée mécaniquement. La coque en béton projeté ne devra présenter aucune discontinuité.

En souterrain dans les terrains fracturés mais résistants, le béton projeté assure la mise en sécurité de l'excavation en évitant la décompression mécanique, l'ouverture des fissures et les mouvements des blocs désolidarisés. Cette phase intervient après le boulonnage de sécurité.

Le béton projeté est appliqué de façon systématique en voûte et piédroits pour tous les profils types. Dans les profils types n° 4, associé aux cintres de soutènement, il constitue des voûtelettes résistantes et assure le remplissage entre les cintres.

L'Entrepreneur devra notamment :

- contrôler les épaisseurs des différentes couches mises en œuvre par mise en place de chevilles repères fixées au parement à raison de 1 tous les 2 m<sup>2</sup> ;
- respecter un enrobage des aciers incorporés au béton projeté d'une épaisseur minimale de 5 cm ;
- mettre en place de bandes drainantes et forages de décharge en cas de venues d'eau ;
- s'affranchir des risques de pression d'eau à l'arrière des parements en mettant en place des barbacanes dans l'épaisseur de la coque en béton projeté.

L'Entrepreneur indiquera dans le projet de soutènement :

- les caractéristiques du béton projeté (composition, résistances et modules à 8h, 24h, 7 jours et 28 jours) ;
- les distances maximales de mise en place des différentes couches de BP par rapport au front. Le délai séparant le début de l'excavation de la mise en œuvre du soutènement de confinement et la mise en œuvre du soutènement complet de la travée considérée ;
- les références professionnelles du personnel chargé de la mise en œuvre du béton projeté.

Les recommandations de l'AFTES (TOS n° 126 nov. 1994) relatives à la mise œuvre du béton projeté sont applicables.

En cas de réalisation en plusieurs couches de l'épaisseur requise sur les parois de la voûte et des piédroits, le temps séparant leur mise en œuvre doit rester conforme aux délais prescrits pour la mise en œuvre de la totalité du soutènement. Ces délais sont rappelés par l'entreprise pour chaque profil type dans sa procédure d'exécution.

L'entrepreneur doit s'assurer l'avis de l'OPPBTP et appliquer les consignes de sécurité du PPSPS.

Le béton projeté est appliqué sur un terrain purgé et une surface préparée, éventuellement soufflé pour éliminer toutes les particules non adhérentes et humidifiés.

La préparation de surface consiste à dépoussiérer et humidifier les surfaces juste avant la projection par soufflage d'air avec ajout d'eau à la lance. Sur terrain humide ou soumis à des venues d'eau diffuses ou ponctuelles, l'Entrepreneur doit prévoir des systèmes de captage ou de canalisation de l'eau pour faciliter la projection du béton conformément aux stipulations des articles **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** du présent CCTP.

Les épaisseurs minimales à mettre en place pour chaque profil type de soutènement sont définies par les valeurs minimales des fourchettes définies à l'article 3.3.8.3 du CCTP.

### 3.3.8.9 Cintres

Les cintres utilisés seront de type HEB. En section courante, les cintres constituent l'élément de base du soutènement des terrains de classe 4, caractéristiques des zones tectonisées ou faillées.

Un cintre est composé d'éléments de voûte cintrés, d'éléments rectilignes verticaux pour les piédroits. Les pieds de cintres reposent sur le terrain au niveau définitif de la fondation par l'intermédiaire d'une platine boulonnée.

Les éléments de cintre sont assemblés à l'aide de plaques spéciales boulonnées et/ou soudées. Chaque élément constituant le piédroit est équipé de pièces d'appui.

L'entretoisement des cintres lourds est réalisé par des profilés fixés par boulonnage ou soudés sur les cintres. Les pièces d'entretoisement ne doivent pas dépasser l'aile intrados des profilés de cintre. Il en est de même pour tout autre élément métallique rapporté sur les cintres.

Les cintres seront mis en place au moyen d'un érecteur de cintre. Les mises en œuvre à l'aide de sangle seront proscrites.



Le cintre est mis en place à chaque pas d'avancement. Il est calé en périphérie sur la 1ère couche de béton projeté. Le calage au terrain doit être réalisé de manière à répartir les efforts symétriquement avec un espacement d'environ 50 centimètres. Le remplissage du cintre par du béton projeté est réalisé dans le cycle avant la reprise de l'avancement.

Le projet de soutènement devra préciser :

- les types de cintre utilisés, (nomenclature, caractéristique géométrie, nuance d'acier, limite élastique, etc.) ;
- l'espacement entre cintres ;
- les dispositifs d'appui de pied, d'entretoisement et de blocage des cintres
- les dispositifs d'attente pour assurer la continuité des différentes phases ;
- les conditions d'assemblage d'éléments entre eux ;
- le mode et le phasage de mise en œuvre (cintre, béton projeté,...).

L'Entrepreneur procède avant le démarrage du chantier, au titre du contrôle interne à des essais de convenance qui ont pour but de vérifier la géométrie d'un cintre complet.

### **3.3.8.10 Enfilages**

Le projet de soutènement devra préciser :

- la nature, le type, la longueur et le diamètre des boulons
- l'espacement des boulons
- le diamètre et le mode de foration
- la nature du scellement

L'Entrepreneur procédera aux essais de convenance avant le démarrage du chantier.

Les enfilages seront constitués de boulons autoforeurs scellés au coulis de ciment.

### **3.3.8.11 Blindage**

Ce type de soutènement ne constitue pas un soutènement systématique. Il peut être utilisé localement pour limiter le remplissage de cavités naturelles ou de hors profils.

L'Entrepreneur doit préciser :

- la nature du profil blindé ;
- la nuance de l'acier ;
- le mode d'assemblage et la mise en place des éléments prévus pour le blindage.

## **3.3.9 TRAVAUX DE PREPARATION DES FRONTS D'ATTAQUE**

Les travaux réalisés depuis le tunnel concernent :

- le découpage soigné du revêtement de la galerie existante C ;
- la démolition du revêtement du tunnel ;
- la démolition des éléments de soutènements y compris le découpage des éléments métalliques ;

### **3.3.9.1 Prescriptions générales d'exécution**

Les travaux réalisés depuis le tunnel nécessitent des travaux préparatoires qui consistent à :

- démonter et déplacer les équipements d'exploitation du tunnel existant, le cas échéant ;
- réaliser un état détaillé des lieux avec relevé de fissures présentes dans le revêtement du tunnel au niveau des futurs fronts d'attaque ;
- mettre en place des protections sur la chaussée et les équipements du tunnel. La protection de la chaussée est dimensionnée pour que les opérations de découpage du béton, l'enlèvement des blocs de béton et leur minage éventuel au ciment expansif n'endommagent pas les structures du tunnel et pour éviter la dégradation du revêtement de chaussée, du trottoir y compris ouvrage d'assainissement intégré ; elle couvre toute la zone intéressée par les travaux, déplacements d'engins compris ;
- mettre en place un système de recueil des eaux de chantier permettant d'évacuer les liquides vers le réseau d'assainissement du tunnel. Ces rejets sont réalisés en respectant les consignes

données au Fascicule A du CCTP. Les collecteurs et les regards d'assainissement du tunnel sont régulièrement nettoyés pendant ces phases de travaux pour éviter leur engorgement.

Le sciage du revêtement est précédé d'une reconnaissance de l'épaisseur du revêtement et des soutènements en place. Cette reconnaissance consiste à réaliser plusieurs carottages.

### Démolition et confortement des ouvrages :

- le renforcement préalable au droit de la future ouverture ;
- le découpage soigné du revêtement ;
- la démolition du revêtement du tunnel ;
- la démolition des éléments de soutènements y compris le découpage des éléments métalliques ;
- toute opération de mise en sécurité, de soutènement, de stabilisation du front ;

## 3.3.10 VENTILATION DE CHANTIER

### 3.3.10.1 Généralités

L'aérage est destiné à maintenir une composition et une qualité de l'atmosphère compatible avec la sécurité, la santé et l'activité du personnel. Pour cela il faut :

- Renouveler l'oxygène de l'air,
- Diluer les produits dangereux, nocifs ou explosifs,
- Evacuer les calories pour obtenir une température acceptable.

Il est donc prévu de mettre en place un système de ventilation aspirante au niveau du front de tir.

Le conduit de ventilation extrait l'air pollué à proximité du front, l'air neuf arrivant depuis l'extérieur par la galerie jusqu'au front.

Cette solution est retenue pour le projet parce qu'elle :

- Permet l'aspiration des polluants à la source, notamment des poussières et des gaz dégagés au marouflage,
- Permet une évacuation rapide du bouchon de tir, sans qu'il pollue le tunnel en arrière du front,
- Permet de traiter le rejet d'air pollué à la sortie de la galerie,
- Apporte un balayage d'air neuf de l'extérieur vers le front,
- Peut extraire les fumées d'un incendie.

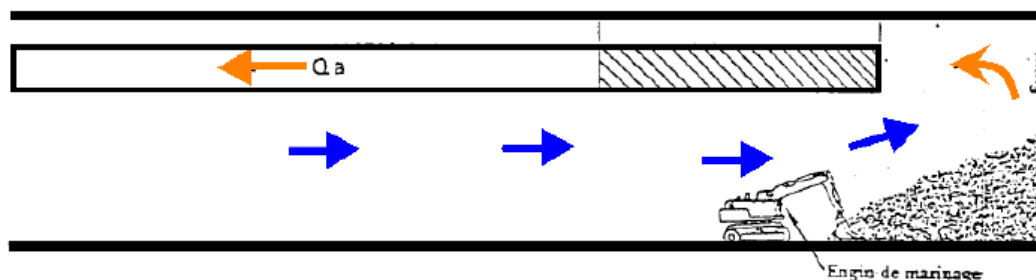


Figure 1 : Schéma de ventilation chantier

D'après le Code du Travail, dans les locaux à pollution spécifique, les concentrations moyennes en poussières totales et alvéolaires de l'atmosphère inhalée par un travailleur, évaluées sur une période de huit heures, ne doivent pas dépasser respectivement 10 et 5 mg/m<sup>3</sup> d'air.

Afin d'évacuer les poussières, la recommandation R352 de la CNAM (Caisse Nationale d'Assurance Maladie) exige d'installer une canalisation d'aspiration assurant un débit d'air effectif d'au moins 300 l/s par m<sup>2</sup> de section d'ouvrage ce qui correspond à une vitesse minimale de l'air égale à 0.3 m/s.

### 3.3.10.2 Equipements de ventilation mis en œuvre

#### Ventilateurs

La détermination des besoins en air neuf dépend des polluants à traiter.

Les valeurs de base recommandées pour le dimensionnement du circuit de ventilation sont les suivantes :

- Pour la dilution des gaz émis par les moteurs thermiques : 50 l/s par cheval vapeur effectivement émis,
- Pour l'évacuation et le captage des poussières, des gaz de tir : 300 l/s par m<sup>2</sup> de section d'ouvrage au minimum.

Les deux débits ne sont pas cumulatifs. C'est le débit le plus important qui est retenu.

En tenant compte de la section de la future galerie creusée (10 m<sup>2</sup> environ), on peut considérer nécessaire la mise en œuvre d'un débit d'extraction de 10 800 m<sup>3</sup>/h soit 3 m<sup>3</sup>/s.

#### Gaines d'aspirations

Compte tenu des contraintes de vitesse d'air en gaine il est prévu de limiter la vitesse et ainsi réduire les nuisances sonores et la dépression. La vitesse d'air dans la gaine sera limitée à 15 m/s.

Sur la base de ce paramètre, la section utile de la gaine pour faire passer un débit de 3 m<sup>3</sup>/s sera de 0,2 m<sup>2</sup>. En section circulaire, cela correspond à une gaine d'un diamètre 0,51 m.

La figure ci-dessous présente l'encombrement de la gaine d'aspiration dans la galerie MIGA pour deux positions possibles :

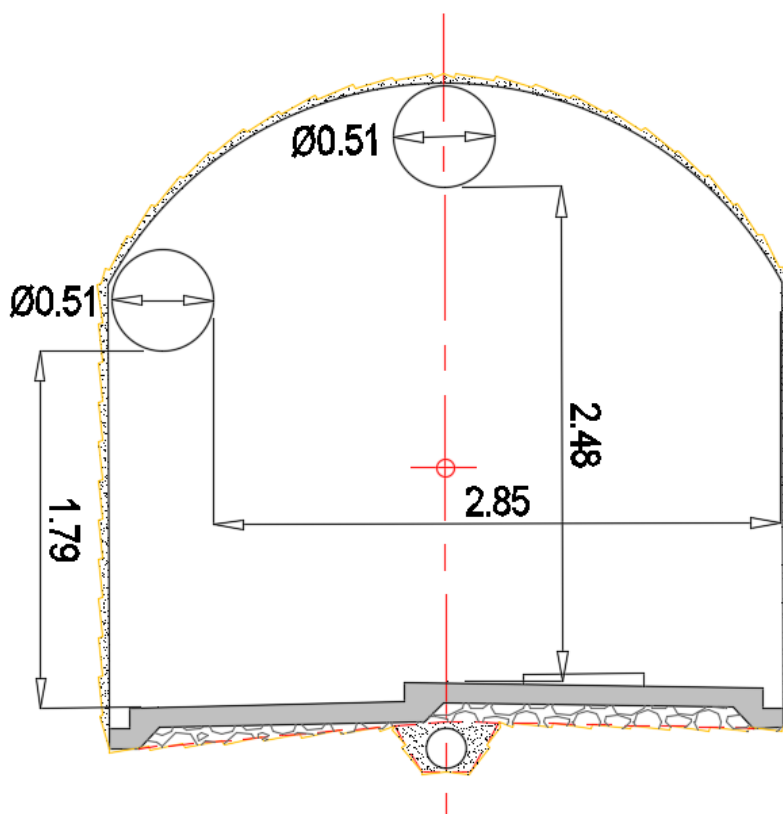


Figure 2 : Positions possibles de la gaine d'extraction en phase travaux

Pour l'évacuation des polluants et des poussières, deux solutions sont possibles :

- Solution 1 : Cheminement de la gaine jusqu'à l'entrée du LSBB. La longueur estimée de gaine est de 890 m depuis le début de MIGA.

- Solution 2 : Cheminement et raccordement au carneau de ventilation de la galerie B1. Ce carneau est un ancien carneau d'évacuation des gaz brûlés toujours opérationnel qui est relié à une cheminée donnant sur l'extérieur. Ce carneau est accessible depuis les locaux servitudes générales. La longueur de gaine nécessaire pour rejoindre ce carneau depuis le début de MIGA est de 665 M.

Cette deuxième solution permet de réduire le linéaire de gaine travaux à installer et d'éviter l'encombrement de la galerie A par la gaine d'extraction provisoire.

Des fuites ont cependant été repérées auditivement dans la galerie B1 au niveau des parois (aspérités) et du carneau de ventilation existant. En cas d'utilisation de ce carneau pour l'évacuation de l'air vicié du chantier, une campagne de repérage et traitement des fuites doit préalablement être réalisée par l'entreprise de travaux :

- La campagne de détection de fuite sera réalisée par essai avec fumigène dans le carneau pour qualifier le problème.
- En fonction des fuites détectées, l'entreprise prévoira à sa charge le colmatage des parties du carneau concernées ou scellement provisoire des tampons.

### **Dépoussiérage**

Pour favoriser le captage des poussières, un dépoussiéreur sera installé sur le réseau d'aspiration. Ce système permettra d'éviter que les fumées ne se propagent à l'extérieur.

## **3.3.11 DISPOSITIONS LIEES A L'ENVIRONNEMENT**

### **3.3.11.1 Stratégie de gestion des déblais**

La stratégie matériaux tient compte des enjeux environnementaux. Ainsi, les matériaux extraits du creusement de la galerie seront stockés provisoirement sur la plateforme imperméabilisée située au droit du site.

Le lieu de stockage définitif des déblais rocheux sera laissé au soin de l'entreprise réalisant les travaux mais ce devenir sera encadré par le marché qui spécifiera qu'aucune décharge sauvage ou comblement de vallon sec ne sera permis.

L'entrepreneur devra respecter une procédure de suivi des déchets du chantier. En ce sens, les déblais extraits (6000 m<sup>3</sup> environ) seront entreposés par phase de travaux en respectant un volume maximum à déplacer pour rester en deçà du seuil de procédure ICPE (2516 et 2517 – Station de transis de produits minéraux sur une surface de moins de 5 000 m<sup>2</sup>). Aucune action (tri, criblage, nettoyage, etc.) ne sera autorisée sur le site.

### **3.3.11.2 Vibrations**

En accord avec le programme fonctionnel initial, la méthode d'excavation retenue devrait respecter la sensibilité des appareillages en place aussi du point de vue des vibrations solidiennes (10mm/s à 10m) que des suppressions aériennes.

Compte tenu de l'isolement du site, il n'y a pas d'autres contraintes à prendre en compte vis-à-vis de vibrations pour la phase chantier.

### **3.3.11.3 Pollution des eaux**

#### **Généralités**

Le projet est concerné par les prescriptions générales de la MISE du Vaucluse: « Procédure de déclaration » restreint au registre de l'hydrogéologie.

## Système de gestion des eaux pluviales

Il n'est pas prévu la réalisation d'un réseau de gestion des eaux pluviales extérieures puisqu'aucun aménagement n'y est prévu.

Les nouvelles galeries disposeront par contre d'un système d'assainissement pour collecter les eaux de ruissellement sur les parois. Ce réseau n'est pas dimensionné de façon classique puisque les données d'entrées (débits ruisselés) sont mal connues.

Par analogie et suivant le retour d'expérience du CNRS, gestionnaire de la structure enterrée, il est prévu :

- La collecte des venues d'eaux en voûte ou en piédroits via des drains associés à un béton projeté fibré, ramenés à la base des piédroits dans la cunette,
- Une cunette 10x10 en bordure de piédroits, (subhorizontale car les deux nouvelles galeries seront horizontales),
- Le raccordement des cunettes par antennes espacées de 10 m environ vers un collecteur central,
- Un collecteur central DN200 subhorizontal,
- Le rejet de ce collecteur central dans les zones fracturées du rocher, tel que rencontré au creusement,

Selon les conditions de fracturation, l'efficacité du rejet vers le massif pourra être améliorée par des bassins de surface 2m<sup>2</sup> (2m x 1m) obtenu par surcreusement ou par forages dans la roche sans que cette disposition ne puisse apparaître comme une mesure compensatoire (non dimensionnée).

## Pollution chronique après traitement

Le projet ne générant aucun impact sur les eaux de ruissellement en phase d'exploitation, il n'est pas prévu de mesure compensatoire.

Le projet en l'état, permet de respecter les objectifs qualitatifs du SDAGE.

## Mesures concernant la qualité des eaux en phase

Les mesures préventives ou correctrices à mettre en place sont essentiellement liées à la préservation de la qualité du milieu aquatique, aux usages ou à la mise en place du chantier lui-même. Ces mesures sont les suivantes :

Il sera prévu des emplacements de stockage de matériaux sur les zones les moins vulnérables au ruissellement.

Les éventuelles aires de stockage de produits polluants seront étanches.

Pour réduire les risques de pollution accidentelle, inhérent à tous travaux lourds, l'entrepreneur titulaire de Marché devra le strict respect des règles courantes de chantier, et notamment :

- interdiction de tout entretien ou réparation mécanique sur l'aire du chantier,
- maintien en parfait état des engins intervenant sur le chantier,
- remplissage des réservoirs des engins de chantier avec des pompes à arrêt automatique,
- récupération des huiles usées de vidange et les liquides hydrauliques et évacuation au fur et à mesure dans des réservoirs étanches, conformément à la législation en vigueur,
- interdiction de stocker sur le site des hydrocarbures ou des produits polluants susceptibles de contaminer la nappe souterraine et les eaux superficielles,
- interdiction de laisser tout produit, toxique ou polluant sur site en dehors des heures de travaux, évitant ainsi tout risque de dispersion nocturne, qu'elle soit d'origine criminelle (vandalisme) ou accidentelle (perturbation climatique, renversement),
- mise en œuvre des ouvrages de génie civil avec précaution et limiter au strict nécessaire suivant les demandes du maître d'ouvrage. Dans tous les cas, la conduite normale du chantier et le respect des règles de l'art sont de nature à éviter tout déversement susceptible de polluer le sous-sol et les eaux superficielles.

Le site sera remis en état en fin de chantier afin d'évacuer les matériaux et déchets de toutes sortes (dans un lieu approprié conforme à la réglementation en vigueur), dont ceux susceptibles de nuire à la qualité paysagère du site ou de créer ultérieurement une pollution physique ou chimique du milieu naturel.

Les itinéraires des engins de chantier seront organisés de façon à limiter les risques d'accident en zone sensible.

En cas de pollution accidentelle, les modalités de récupération et d'évacuation des substances polluantes seront adaptées en fonction de l'incident rencontré.

## **4 ORGANISATION & PILOTAGE DU CREUSEMENT & DU SOUTÈNEMENT**

### **4.1 OBLIGATIONS DE MOYENS**

Les moyens en matériels et les méthodes d'exécution mis en œuvre sont à justifier par l'entreprise. Ils doivent être définis en tenant compte des données géologiques du MSG et des incertitudes sur les données géologiques mentionnées dans le mémoire de conception.

Ils doivent être suffisants pour respecter les délais et les contraintes de chantier. Faute de respect des délais partiels et totaux, les pénalités indiquées au CCAP sont applicables.

Les moyens, matériels et humains, et les matériaux nécessaires à l'adaptation des soutènements doivent être maintenus sur le chantier en permanence.

En particulier, le géologue du chantier, et le chargé de soutènement, sont en permanence sur le chantier pendant toute la phase de creusement - soutènement.

La mission du chargé de soutènement est définie au Fascicule 69 du CCTG - Article III.2.2.

Le géologue du chantier a en charge le suivi géologique du creusement dont le levé des fronts de chaque partie d'ouvrage souterrain dans les conditions de l'article 6.3.4 du présent CCTP.

Le maintien sur le chantier du matériel et du personnel nécessaire à l'exécution des travaux n'ouvre pas droit à rémunération particulière.

### **4.2 CONDITIONS D'EXECUTION DES OUVRAGES**

L'ensemble des travaux de galeries est réalisé essentiellement à partir de la galerie existante C.

Les travaux de la galerie de jonction sont réalisés principalement depuis la galerie MIGA en respectant les dispositions particulières.

Compte tenu que la pente des galeries MIGA est nulle, l'attention de l'entrepreneur est attirée sur les points suivants :

- l'entrepreneur doit disposer en permanence sur le chantier des moyens pour évacuer les eaux conformément aux spécifications de l'article 3.3.6.1 du CCTP ;

### **4.3 ORGANISATION DES CYCLES DE TRAVAIL**

Conformément aux spécifications des références notées en supra, le chargé des soutènements, en concertation avec le géologue propose pour chaque pas d'avancement le profil type à exécuter. Les adaptations des profils types sont faites dans les conditions de l'article 3.3.8.5 du présent CCTP.

Les différentes tâches d'exécution sont exécutées cycliquement dans l'ordre chronologique suivant :

- traçage éventuel et foration du plan de tir ;
- chargement de la volée, tir et aérage ;
- marinage ;
- purge ;
- relevé géologique ;
- relevé du profil excavé ;
- purge complémentaire éventuelle ;
- selon le profil type, 1ère couche de béton projeté au front, le cas échéant et en parements ;
- boulonnage ou pose de cintres selon le type de profil ;
- béton projeté (couches complémentaires)
- autres auscultations (selon plan prévu au marché).

Lorsque les travaux ne sont pas réalisés à l'explosif, le cycle s'organise suivant la même chronologie ; seules les tâches « traçage, foration, chargement de la volée et tir-aérage » sont supprimées et remplacées par l'abattage mécanique.

#### 4.4 APPLICATION DES PROFILS TYPES

Les profils types à appliquer en fonction des classes de terrain sont donnés dans le tableau ci-dessous. Les classes de terrain sont décrites dans le MSG.

Classe de terrain	Profil type n°
Z1-Z2	P12
Z3	P3
Z4	P4

Le profil P4 peut être renforcé localement par des enfilages.

#### 4.5 HYPOTHESES POUR LA CONDUITE DES TRAVAUX

Pour la conduite des travaux, le MOA a retenu les dispositions suivantes :

- le front d'attaque sud est considéré comme principal ;
- les travaux sont organisés en trois postes de travail moyennant le respect des contraintes horaires énoncés dans le présent CCTP ;
- les circulations de chantier sont effectuées moyennant le respect des contraintes de site et de circulations mentionnées au marché.
- 

#### 4.6 PRESCRIPTIONS PARTICULIERES RELATIVES AUX DIFFERENTES PHASES DE CREUSEMENT – SOUTÈNEMENT

Pour tous les profils types, le relevé géologique de front et le contrôle profilométrique de section sont réalisés avant la pose des soutènements.

##### 4.6.1 PROFIL TYPE N° 12

Le boulonnage éventuel du pas « n » est réalisé avant reprise de l'excavation du pas « n+1 ». Le béton projeté est mis en œuvre à l'avancement dans son intégralité.

##### 4.6.2 PROFIL TYPE N° 3

Le béton projeté fibré de front ainsi que la 1ère couche sur les parements, le boulonnage et la 2ème couche de béton projeté sont réalisés avant reprise de l'excavation du pas « n+1 ».

Les éventuelles couches complémentaires de béton projeté fibré permettant la réalisation de la totalité du soutènement sont réalisées avant l'excavation de la travée « n+2 ».

##### 4.6.3 PROFIL TYPE N° 4

Le béton projeté fibré de front ainsi que la 1ère couche sur les parements, la pose du cintre et la réalisation partielle des voûtelettes en béton projeté fibré sont réalisés avant reprise de l'excavation du pas « n+1 ».

La totalité du béton projeté fibré est mise en œuvre avant l'excavation de la travée « n+2 ».

Si un renforcement en calotte est nécessaire, il est réalisé avant l'excavation du pas « n ».



## **5 IDENTIFICATION, TRAITEMENT ET REMPLISSAGE DE CAVITES**

---

### **5.1 GENERALITES**

Suivant le Fascicule 69, article III.5.4, lors de la découverte de cavités, le géologue doit définir le type de cavité et son étendue au moyen d'observations visuelles en premier lieu ou de reconnaissances adaptées par la suite. Dans le cas des cavités d'origine karstique, un examen et une reconnaissance spécifique doivent être menés afin de déterminer les caractéristiques hydrogéologiques dans le but de traiter cette cavité en assurant la continuité hydraulique si besoin (inspection par caméra). Dans le cas de cavités visitables, cette reconnaissance est menée en collaboration avec des spéléologues confirmés.

Ces études sont complétées par une proposition de traitement des karts qui garantit la continuité hydraulique. Elle est soumise au visa du MOE.

### **5.2 PRESCRIPTIONS DE MISE EN ŒUVRE**

Lorsque des vides affectent la voûte, le profil type de soutènement n°4 est mis en œuvre. Les cintres sont blindés au droit des vides. L'espace à l'extrados du blindage est rempli conformément aux stipulations de l'article 3.3.8.9 du présent CCTP.

Dans le cas de cavité peu importante, la voûte et les piédroits sont remplis de béton projeté non fibré.

Lorsque le titulaire a recours à du blindage, les dispositions de l'article 3.3.8.11 du présent CCTP sont applicables.

### **5.3 DOCUMENT DE SUIVI**

Toutes les informations concernant les cavités reconnues font l'objet d'une fiche d'identification spécifique pour chaque cavité (localisation en X, Y, Z, type, étendue, dimensions, caractéristiques hydrogéologiques, investigations menées, traitement de la continuité hydraulique, remplissage réalisé). Ces fiches de suivi des karsts sont jointes au dossier de récolement de l'ouvrage.



## **6 CONVENANCES, CONTROLES, AUSCULTATIONS, SONDAGES ET ESSAIS**

---

### **6.1 CONTROLES**

#### **6.1.1 CONTROLES DES MATERIAUX ET DE LA MISE EN OEUVRE**

##### **6.1.1.1 Plan d'organisation des contrôles (POC)**

Les matériaux doivent répondre aux stipulations exposées au chapitre 2 du présent CCTP et aux normes homologuées. Le plan d'organisation des contrôles doit porter sur :

- la réception des matériaux provenant de l'extérieur ;
- le contrôle des matériaux fabriqués sur le chantier.

##### **6.1.1.2 Fiches de contrôles**

La liste ci-après présente de manière non exhaustive les points de contrôle interne et qui doivent faire l'objet de fiches de suivi.

##### **MATERIEL DE SECOURS**

- pompe d'exhaure, machine à projeter le béton, appareils de ventilation et d'éclairage, etc.

##### **RECONNAISSANCES, ESSAIS ET AUSCULTATIONS**

- opération de reconnaissance : forage à l'avancement avec enregistrement des paramètres de foration, levés géologiques, sondages carottés, etc.

##### **EXCAVATION OUVRAGE SOUTERRAINS**

- implantation du contour d'excavation (section courante, niches interféromètres, cavités, sas d'entrée) ;
- tir d'essai à l'explosif ;
- mise en œuvre des plans de tir et vérification des seuils de vibration et surpressions aériennes
- levé géologique des fronts ;
- vérification de la géométrie d'excavation ;
- pompage, canalisation des eaux.

##### **SOUTÈNEMENT**

- béton projeté: convenance / livraison / résistance à la compression / poinçonnement des plaques / contrôle d'épaisseur / poids de fibre ;
- boulons d'ancrages: convenance / essai de traction / coulis de scellement / implantation ;
- cintres: qualité, géométrie, position à la pose, entretoisement, calage, mesure de convergence ;
- drains: nature, qualité, mise en place ;
- implantation du soutènement.

##### **RESERVATION ET EQUIPEMENTS DIVERS**

- réservation : implantation et géométrie ;
- fourreau : nature, qualité, nombre, implantation, enrobage ;
- chambre de tirage nature, qualité, nombre, implantation, tenue au feu ;
- regards : nature, qualité, nombre, implantation, enrobage ;
- canalisations / caniveaux: nature, qualité, nombre, implantation, pente, enrobage.

##### **6.1.1.3 Epreuves et essais – Procès-verbaux**

Les procès-verbaux d'essais, d'études et de contrôle à la charge de l'Entrepreneur, porteront notamment sur les matériaux suivants.

##### **BETONS COULIS ET MORTIERS**

Les études et contrôles des bétons et l'interprétation des résultats seront conduits conformément au chapitre 8 du fascicule 65 du CCTG. L'entrepreneur assure la confection des éprouvettes, leur marquage, leur conservation puis leur écrasement.

Épreuves d'études : L'étude de béton est effectuée dans un laboratoire proposé par l'entrepreneur et soumis à l'agrément de la maîtrise d'œuvre. Le programme d'études est conforme aux prescriptions du fascicule 65 du CCTG. L'entrepreneur pourra s'affranchir des épreuves d'études de béton s'il envisage d'utiliser pour ce chantier un béton disposant de références probantes.

Épreuves de convenance : Tous les bétons y compris ceux assujettis aux épreuves d'études seront soumis aux épreuves de convenance. L'épreuve de convenance s'effectuera sur le chantier avant démarrage des travaux.

Le nombre d'éprouvettes sera égal à celui nécessaire aux bétons d'études et en nombre suffisant pour obtenir les caractéristiques mécaniques à 7 jours et à 28 jours. Pour maintenir les éprouvettes à 20°C jusqu'à leur écrasement, l'entrepreneur approvisionnera les caisses calorifugées en nombre suffisant.

À défaut de résultat satisfaisant de cette épreuve, la maîtrise d'œuvre ne pourra autoriser le bétonnage et il appartient à l'entrepreneur de réétudier un nouveau béton.

Épreuves de contrôle : Les épreuves de contrôle seront effectuées par un laboratoire mandaté par l'entrepreneur et soumis à l'agrément de la maîtrise d'œuvre. Les essais de contrôle porteront essentiellement sur la résistance à la compression, la teneur en air occlus, la résistance au gel + dégel en l'absence de sels, la résistance au gel + dégel en présence de sels, et sur la consistance des bétons frais.

Des prélèvements de béton frais seront exécutés sur le chantier, immédiatement avant la mise en place du béton, à la sortie des malaxeurs ou des engins de transports. Chaque prélèvement sera issu d'une seule et même gâchée choisie au hasard par le responsable du contrôle interne ou le MOE.

Un prélèvement sera constitué de :

- 3 éprouvettes pour la résistance à la compression à 28 jours ;
- 3 éprouvettes pour la résistance à la compression à 7 jours ;
- 1 mesure de consistance au cône d'Abrams. ;
- 1 mesure de la teneur en air occlus ;
- 3 éprouvettes pour la résistance au gel + dégel en l'absence de sels ;
- 3 éprouvettes pour la résistance au gel + dégel en présence de sels.

Les prélèvements seront réalisés au nombre de :

- 1 par branche ;
- 1 par cavité ;
- 3 pour un lot de béton de volume inférieur à 100 m<sup>3</sup> ;
- 3 par 100 m<sup>3</sup> supplémentaires ou fraction de 100 m<sup>3</sup> restante.

| L'interprétation des résultats sera faite conformément à l'article 8.3.2 du fascicule 65 du CCTG.

### **BETONS PROJETE et BETONS DE RADIER**

Les épreuves d'étude, de convenance et les essais de contrôle seront réalisés conformément aux recommandations AFTES relatives à la technologie et à la mise en œuvre du béton projeté (TOS supplément au n°117 mai-juin 1993 et TOS n° 126 de nov./déc. 1994).

L'Entrepreneur assure la confection des caisses, leur marquage, leur conservation, le transport jusqu'au laboratoire puis l'écrasement des carottes.

**Essai de résistance à la compression** : Il sera réalisé une série de 5 résistances à la compression pour chaque fraction de 50 m<sup>3</sup>. Dans le cas où les résistances mesurées ne confirmeraient pas les prévisions attendues, la maîtrise d'œuvre pourra demander la destruction du béton défectueux.

**Essai poinçonnement-flexion** : Pour les bétons projetés fibrés, la teneur en fibres est déterminée par réalisation d'essai poinçonnement-flexion.

L'énergie nécessaire pour une déformation de 25 mm sur plaque âgée de 28 jours doit être de 600 Joule en moyenne sans aucune valeur inférieure à 500 Joule.

La détermination de l'énergie absorbée s'effectue par un essai sur plaque normalisée selon la règle UNI 10834 pour déterminer la classe de résistance et d'énergie de déformation, la classe minimale étant la classe C. L'essai de flexion sera réalisé selon la norme P18-409.

Cet essai a pour objet de valider le poids minimal de fibres à mettre en place dans le béton. Il sera effectué un essai pour agrément. Dans le cas où l'essai ne serait pas concluant, l'entreprise aurait à sa charge les essais supplémentaires pour agrément.

**Mesure de poids de fibres en place :** La mesure de teneur en fibres dans le béton projeté pourra être également vérifiée par pesage des fibres résiduelles récupérées après lavage sur un volume de béton frais. Pour ce faire, l'entreprise s'équipera du matériel nécessaire à la réalisation des mesures du poids de fibres en place. L'entreprise aura en charge la réalisation de ces mesures en présence de la maîtrise d'œuvre. Il sera réalisé une mesure de poids de fibres pour chaque fraction de 50 m<sup>3</sup>.

Lors des essais de convenance :

- les essais nécessaires au contrôle du respect des spécifications sont également réalisés, la mesure de la résistance à la compression au jeune âge suivant l'essai B de la norme NF EN 14488-2 (arrachement d'un clou enfoncé par percussion) et la mesure de résistance à la compression à 7 jours sur carottes prélevées dans des caisses selon la norme NF EN 12504-1. Ces mesures servent de référence pour les contrôles ultérieurs. Si les mesures à 2 jours sont insuffisantes mais très dispersées de part et d'autre de la cible, on procède à des essais à 7 jours ; si les mesures nouvellement obtenues sont insuffisantes et assez homogènes, des mesures rectificatives sont immédiatement mises en œuvre. Si les mesures à 2 jours sont suffisantes, les caisses de contrôle réalisées dans la zone d'essais sont conservées jusqu'à 28 jours mais les mesures de résistance en compression ne sont pas obligatoires. Dans le 1er cas, les résultats à 7 jours sont utilisés pour décider de la mise en œuvre des mesures rectificatives ;
- les laboratoires travaillant pour l'entreprise et pour le contrôle extérieur du maître d'ouvrage font les mêmes essais en parallèle de façon à vérifier la cohérence de leurs résultats.

## **BOULONS D'ANCRAGE**

Les études et contrôles des ancrages et l'interprétation des résultats seront conduits conformément aux recommandations « Clouterre » et au TA 95. De même, le déroulement des essais préalables de convenances, de contrôles sur les boulons et l'interprétation des résultats s'effectuent selon les principes énoncés dans les recommandations « Clouterre ». Le mode opératoire à retenir est l'essai de traction à déplacement contrôlé.

Tous les essais préalables, de convenances et de contrôles effectués sur les ancrages sont réputés inclus dans les prix d'ancrages. Les essais préalables ou épreuves de convenance et les essais de contrôle sont réalisés selon les prescriptions suivantes.

### **Essais préalables ou de convenance**

Ces essais sont destructifs (jusqu'à la rupture afin de déterminer les capacités de l'ancrage).

Ils sont effectués sur le premier soutènement. Ils consistent à éprouver la qualité du frottement sol-inclusion ou l'adéquation de la méthode de scellement par l'application de tractions statiques en tête du boulon jusqu'à atteindre la rupture par défaut d'adhérence, après avoir choisi une section de boulon suffisante pour éviter une cassure prématurée.

Les essais seront réalisés dans chaque nature de terrain et pour chaque type de boulon, le nombre minimal par type d'essais est de cinq.

Tous les faits observés sont à noter en mettant l'accent sur les difficultés rencontrées et les cadences relevées pour chaque opération élémentaire de mise en œuvre des boulons.

Les forages pour chaque boulon d'essai sont suffisamment espacés les uns des autres de manière à ne pas interférer entre eux. L'usage d'une chaise d'appui est obligatoire afin de ne pas appuyer le vérin à proximité de la barre d'armature.

L'entrepreneur soumet à la maîtrise d'œuvre une note technique détaillée proposant les types d'ancrage, les matériels et les modes opératoires envisagés (foration, mode de fixation, produits de scellement, longueur des boulons, longueur de fixation, mode de contrôle de la résistance des boulons).

### **Essais de contrôle**

L'essai de contrôle est effectué sur un boulon situé au centre de la maille pour une tension maximale égale à 1,2 fois la charge de service. Dans le cas où le boulon s'arracherait avant d'obtenir une tension de 70% de la charge de service, l'essai serait refusé. L'entrepreneur exécute une dizaine d'essais complémentaires à ses frais. Si dans la série d'essais complémentaires, un boulon ne respecte pas les conditions demandées, le boulonnage serait arrêté et une épreuve de convenance serait réétudiée à la charge de l'entrepreneur.

La fréquence des essais de contrôle sera de 2 % dans le cas où la nature du terrain ne change pas, et au moins 1 essai à chaque changement de nature de terrain.

### **COULIS DE SCellement**

Pour tout type d'injection, il sera procédé aux essais suivants.

#### **Essais de convenance**

Ces essais se rapportent au coulis fabriqué sur le chantier avec le matériel prévu pour les travaux. Ils seront effectués au minimum 7 jours calendaires avant la date prévue du commencement de la mise en œuvre du coulis concerné. Chaque essai devra comporter 3 mesures et faire l'objet d'une fiche de convenance sur laquelle seront mentionnées toutes les caractéristiques du coulis ou du mortier testé.

#### **Essais de contrôle**

Les essais de contrôle devront comporter les opérations suivantes :

- au moins une fois par poste de travail :
  - une mesure de viscosité (au cône de 4,6 pour les coulis, de 8 pour les mortiers)
  - une mesure de densité des coulis (balance Baroïd)
  - une mesure de la décantation des coulis de ciment à 3 heures avec des éprouvettes de 1 litre, de 64 mm de diamètre.
- au moins une fois par semaine :
  - une mesure du temps de prise, conformément à la norme NF P15 431, et/ou mesure de début de prise (Vanetest)
  - une mesure de résistance au filtre-presse Baroïd
  - une mesure de résistance mécanique par écrasement sur cubes ou cylindres.

Ils feront l'objet de tableaux de résultats, signés par l'Entrepreneur et remis à la maîtrise d'œuvre chaque semaine. Ces tableaux récapitulent les résultats de la semaine précédente.

À chaque mesure, la température ambiante ainsi que la température du coulis seront notées.

Le chantier d'injection ne pourra pas démarrer tant que les essais de convenance n'auront pas donné satisfaction.

Si les résultats de ces essais ne sont pas conformes à ceux obtenus lors de la fabrication des coulis de convenance, l'Entrepreneur devra prendre toutes les dispositions nécessaires pour atteindre ces résultats.

### **CINTRES**

Elle consiste, pour chaque géométrie de profil type à base de cintre, à réaliser un montage à blanc d'un cintre complet et d'en vérifier les caractéristiques géométriques. Cette partie de l'épreuve se fait avant la pose du premier cintre ; elle est réalisée sur une aire plane à proximité des installations de chantier.

Dans un deuxième temps, à l'occasion de la pose du premier cintre, la deuxième partie de l'épreuve de convenance consiste à mettre en place le cintre complet avec le matériel et le personnel du chantier réellement affectés à cette tâche.

L'ensemble de cette épreuve est réalisé en présence du MOE.

### 6.1.2 DOCUMENT DE PROCEDURE D'EXECUTION

Sur la base des stipulations de l'article 2.3. "Procédures d'exécution" du Fascicule A du présent CCTP, le document de procédure précise, en se référant aux prescriptions ci-avant, par profil type et pour chaque étape de réalisation et chaque élément de soutènement y compris les soutènements du front ou en avant de celui-ci (enfilages) le cas échéant :

- les modalités d'exécution des essais de tir ;
- les moyens et méthodes mis en œuvre pour limiter les hors profils ;
- les plans de tirs types en fonction des longueurs des volées et des volumes à dérocter ;
- les dispositions prises pour les purges de sécurité ;
- les dispositions prises pour le marinage de chaque attaque ;
- les dispositions prévues pour le creusement en présence des venues d'eau ;
- les dispositions pour la vérification du profil obtenu avant et après soutènement ;
- les dispositions pour le contrôle des vitesses vibratoires et des surpressions aériennes ;
- les dispositions prises pour le contrôle d'implantation ;
- les dispositions prises pour la mise en œuvre des soutènements y compris pour le contrôle du support vis à vis des conditions de mise en place de l'étanchéité ;
- les dispositions prises pour le remplissage de cavités en voûte et radier, le cas échéant ;
- les événements considérés comme des anomalies et nécessitant une information du MOE et une action corrective ;
- les dispositions prises pour l'adaptation du profil type aux conditions géologiques rencontrées.  
Pour le premier profil-type et pour chaque changement de profil type, et notamment :
  - o l'exploitation des auscultations, levés géologiques et sondages à l'avancement ;
  - o la limitation des hors profils ;
  - o les mesures de vibrations.

### 6.1.3 CONTROLE DE L'IMPLANTATION DES OUVRAGES, RELEVES DE PROFIL

#### 6.1.3.1 Implantation des ouvrages

Le POC intégrera également :

#### CONTROLE DE L'IMPLANTATION GENERALE DES OUVRAGES

- contrôle des réseaux ;
- contrôle des bornes rattachées au système de référence ;
- contrôle des repères implantés, tant à l'extérieur qu'en souterrain.

#### CONTROLE DE L'AXE DES OUVRAGES

- pilotage des ouvrages ;
- respect des tolérances.

#### CONTROLE DU POSITIONNEMENT DES OUVRAGES GENIE CIVIL

- respect des tolérances ;
- en parement du soutènement, par relevés automatiques de profils, à chaque travée.

#### 6.1.3.2 Relevés de profils en galerie

Les levés de profils automatiques sont réalisés par l'entrepreneur à l'aide d'un appareil à réflexion d'ondes et enregistrement des paramètres de mesures. L'entrepreneur dispose sur le chantier d'un profilomètre et du matériel informatique d'exploitation. Les levés sont réalisés à l'avancement.

Le dépouillement des enregistrements automatiques permettront d'obtenir le tracé de la ligne du profil excavé soutenu avec superposition des lignes contractuelles (I, S, A).

L'entrepreneur définit les procédures de contrôle du profil, à partir des levés réalisés au profilomètre, avec le souci de garantir un découpage régulier des parois tout en réalisant les levés des hors-profils.

Le maître d'œuvre peut assister d'une façon contradictoire aux levés réalisés par l'entrepreneur. Il peut également déléguer son contrôle extérieur pour vérification des coordonnées de l'appareil.

## 6.2 AUSCULTATIONS, MESURES

Les auscultations ont pour objet :

- de s'assurer la stabilité de l'ouvrage à court terme en contrôlant l'instauration d'un nouvel équilibre suite aux opérations d'excavation – soutènement ;
- de détecter un comportement anormal nécessitant un renforcement du soutènement ;
- de garantir la pérennité de l'ouvrage à long terme après vérification de la stabilité des déformations du massif.

### 6.2.1 OBJET DES MESURES DE DEPLACEMENTS ET DE CONVERGENCE

Elles permettent le contrôle du comportement du terrain et des ouvrages pendant toute la durée du chantier et pendant l'exploitation. Les résultats de l'auscultation sont donc exploités en temps réel.

L'objectif des mesures est :

- en premier lieu de vérifier le dimensionnement du soutènement en s'assurant que la déformation radiale se produisant à la périphérie de l'excavation reste dans la limite admissible ;
- en second lieu de déterminer l'importance d'un éventuel comportement différé du massif encaissant.

Les mesures suivantes seront effectuées :

- Mesures optiques de déplacement et de convergence en souterrain;

La mise en place des équipements et la réalisation des mesures doivent être exécutées par un personnel spécialisé.

### 6.2.2 MODALITES D'APPLICATION DES MESURES OPTIQUES DE DEPLACEMENTS ET DE CONVERGENCES

La fréquence des mesures et relevés est donnée à titre indicatif. La maîtrise d'œuvre se réserve la possibilité de moduler ces fréquences et la position des sections de mesure en fonction des conditions réelles de chantier.

Les mesures de déplacement et de convergence font préalablement l'objet d'une note technique et d'un plan d'exécution. La note technique doit préciser :

- la méthode et le mode opératoire ;
- la fréquence des mesures et le calendrier de déclenchement de ces mesures, en fonction de l'avancement des travaux ;
- les matériels utilisés ;
- les caractéristiques métrologiques et les modalités de pose de chaque type d'équipements ;
- les méthodes d'analyse des résultats de mesure ;
- les valeurs seuils ;
- les procédures à appliquer selon les résultats obtenus et notamment en cas de dépassement des valeurs seuils (adaptation du phasage, du soutènement, de l'auscultation, ...) et, en cas d'anomalie, les remèdes à apporter.

Le plan doit fournir :

- l'implantation des profils de mesures ;
- la position des points de mesure sur les profils en planimétrie et en nivellement.

Les mesures de convergence devront être entièrement réalisées à partir de visées optiques sur prismes optiques (indistinctement nommés "cibles" dans le présent document).

La position des plots devra être adaptée à la visée optique. La saisie des informations sera manuelle. La précision des mesures devra être de +/- 1 mm.

La fréquence des mesures sera adaptée à l'évolution des mouvements (amplitude et vitesse).

Des plaques d'identification des profils seront fournies et posées par l'entrepreneur.

Toutes les sections de mesure seront reprises par l'exploitant pour les mesures pendant l'exploitation de l'ouvrage. Les prismes dont donc laissés en place.



## **6.2.3 MESURES OPTIQUES DE DEPLACEMENTS ET DE CONVERGENCES EN SOUTERRAIN**

### **6.2.3.1 Objet des mesures**

L'auscultation consistera à effectuer les mesures suivantes:

- Galeries MIGA (y compris niches et cavités) :
  - Mesures de convergence optiques sur les soutènements pendant les travaux ;
- Tunnel existant :
  - Mesures de convergence du tunnel existant pendant le creusement des galeries MIGA.

### **6.2.3.2 Mesures sur le soutènement**

Les profils de mesure sont aux nombres de :

- 1 tous les 75 m en zone courante
- 1 profil / cavité
- 2 profils dans le tunnel existant à proximité immédiate des futurs fronts d'attaque

Ces distances pourront être allongées ou réduites en fonction des conditions géologiques réelles rencontrées.

#### **Définition d'un profil de mesures**

Un profil de mesures est constitué de :

- 5 points (1 point en clé de voûte, 2 en rein et 2 en piédroit) pour la section courante et les cavités.

Les repères seront mis en place à une distance réduite du front immédiatement après la pose du soutènement. Ces repères seront protégés par des capots métalliques résistants aux projections.

Le contrôle des déformations concerne les zones considérées comme sensibles telles que les zones de faille autrement dit les zones correspondant majoritairement à l'application du profil type P4.

Les profils de mesure sont implantés sur le premier mètre puis tous les 10,00 m jusqu'à l'amélioration du terrain. Si le contrôle des déformations concerne une zone d'application de profil type P4, le profil de mesure est placé sur le premier cintre puis tous les 10,00 m jusqu'au changement de profil type de soutènement.

#### **Fréquence de mesure**

Les mesures seront réalisées selon les périodicités suivantes :

- 1 mesure initiale effectuée immédiatement après la pose de repères et avant l'excavation de la travée suivante. Cette mesure sera doublée
- 1 mesure quotidienne tant que le front est situé à moins de 3 diamètres du profil de mesure
- 1 mesure mensuelle jusqu'à la réception de l'ouvrage.

Si les déformations mesurées des soutènements sont supérieures aux prévisions et seuils d'alerte fixés, la fréquence des mesures sera adaptée à l'évolution des mouvements (amplitude et vitesse).

### **6.2.3.3 Mesures topographiques**

### **6.2.3.4 Rapport des mesures de déplacement et de convergence**

Pour chaque profil, un rapport individuel sera systématiquement fourni au MOE. Celui-ci contiendra a minima :

- les résultats sous forme de tableaux : date, météo, température, coordonnées absolues mesurées, variation x, y, z, xy et xyz des coordonnées absolues, longueur des cordes et variation des longueurs de corde ;



- les résultats sous forme de graphique : date, météo, température, variation x, y, z, xy et xyz des coordonnées absolues, variation des longueurs de corde,
- la représentation "physique" de l'évolution de la déformation de chaque profil sur des coupes, sur la base des résultats précités. Cette représentation doit intégrer la déformation absolue.

La forme du premier rapport sera soumise au visa du MOE.

#### **6.2.3.5 Résultats de l'ensemble des auscultations**

Les résultats des différentes auscultations seront fournis au fur à mesure de l'avancement du chantier, sous la forme:

- d'un tableau édité informatiquement et disponible sous 3 heures après saisie des mesures. Celui-ci devra être transmis au plus tard le lendemain au chargé des soutènements ou immédiatement en cas d'anomalie, ainsi qu'à la maîtrise d'œuvre sur sa demande. Le dépassement des valeurs seuils devra être automatiquement signalé dans le tableau par un logo.
- d'une note de synthèse remise à chaque réunion mensuelle, qui sera constituée :
  - d'un tableau récapitulatif des mesures avec indication des seuils à respecter.
  - en cas d'anomalie ou pour toute variation importante, de courbes donnant l'évolution de la mesure en fonction du temps, et précisant la position de chaque phase de travaux.
  - des commentaires fournissant l'interprétation combinée de toutes les mesures, quel qu'en soit le type et précisant leur degré de stabilisation.
- d'un mémoire de synthèse remis en fin de chantier, qui regroupera l'ensemble des résultats de mesure qui :
  - comportera des renseignements sur les temps et les degrés de stabilisation des mesures, avec une approche sommaire sur le degré de sollicitation des structures de soutènement définitif
  - fournira les courbes types d'évolution comparées aux valeurs seuils retenues
  - précisera les difficultés rencontrées pour effectuer les mesures.

Pour information, la note de synthèse sera accompagnée des supports informatiques contenant les fichiers de mesure. Ces fichiers de mesures seront configurés pour une lecture immédiate par le logiciel Excel sur PC. Chaque fichier devra comporter les informations suivantes :

- date de la mesure ;
- nombre de jours depuis la première mesure ;
- position du front au moment de la mesure ;
- valeurs mesurées, valeurs seuils ;
- position de chaque phase de travaux par rapport au profil de mesure ;
- l'histogramme des travaux (date d'excavation, arrêts, traitements, pose des soutènements, bétonnage, etc.) ;
- en commentaire : description des événements extérieurs susceptibles d'agir sur la valeur mesurée (injections, projection de béton, modification des conditions d'appui, incidents divers, etc.).

#### **6.2.3.6 Mesures liées à l'emploi d'explosifs**

##### **Contrôle des vibrations et limitation des tirs**

Pour la mise en place du dispositif de contrôles des vibrations, l'entrepreneur fera appel à un laboratoire spécialisé (études vibratoires, conseil en minage) soumis à l'agrément préalable de la maîtrise d'œuvre.

Ce laboratoire spécialisé sera chargé des essais et des contrôles de vibrations, de la vérification des plans de tirs et protections contre les projections et chutes de matériaux à soumettre au visa de la maîtrise d'œuvre, de la fixation des seuils de vibration et autres précautions à prendre concernant les tiers et les riverains.

La méthodologie et les équipements de mesure de vibrations seront mis en œuvre conformément aux recommandations de l'AFTES (GT3) et aux normes en vigueur.

Tous les tirs seront enregistrés (vitesse et fréquence) et les résultats transmis à la maîtrise d'œuvre.

Un relevé des mesures de vibrations sera réalisé après chaque tir.

Les contrôles de vibration seront réalisés conformément aux prescriptions ci-après.

## ➤ INSTALLATION DU DISPOSITIF DE CONTROLE DES VIBRATIONS - ENTRETIEN

L'entrepreneur prendra en charge, et à ses frais, les dispositions nécessaires pour la mise en place et le bon fonctionnement des installations de contrôle des vibrations et pour l'entretien du matériel pendant la durée du chantier. La chaîne d'acquisition sera validée et contrôlée périodiquement par le laboratoire. L'ensemble du dispositif devra assurer un contrôle régulier des vibrations en surface, dans les ouvrages souterrains en construction et existants à proximité. L'entrepreneur disposera d'un nombre suffisant de capteurs et effectuera leurs déplacements nécessaires suivant l'évolution des chantiers individuels. L'appareillage de contrôle sera assuré par l'installation de plusieurs géophones tri-directionnels placés suivant le plan de tir validé et selon une procédure détaillée (implantation des points de mesure).

Les propositions de l'entreprise relatives à la mise en place de l'ensemble du dispositif de mesures seront soumises à la maîtrise d'œuvre après validation du laboratoire spécialisé, avant l'exécution des premiers tirs. Ces propositions devront prévoir les moyens nécessaires pour un fonctionnement permanent de l'installation, à savoir :

- scellement des capteurs : moyens d'accès et éventuellement de fixation et protection ;
- passage des câbles jusqu'à la valise d'enregistrement ;
- un emplacement présentant des conditions de sécurité suffisantes pour la mise en service permanente de la valise d'enregistrement ;
- alimentation électrique avec prise de terre soit 220 Volt secteur EDF 10 ampères, soit 12 Volt continu avec 1 batterie de capacité 120 Ah en cas d'alimentation du chantier sur un groupe électrogène, soit 12 Volt continu avec de 2 batteries de capacité 200 Ah en cas d'absence de toute alimentation 220 Volt ;
- température ambiante dans le local/emplacement, comprise entre 15° et 35° ;
- serrure de sécurité du local et/ou valise d'enregistrement avec une clé remise au représentant du maître d'œuvre sur le chantier et une clé remise au maître d'ouvrage.

Il sera prévu à minima :

- trois capteurs au niveau de la galerie existante et à proximité des futurs fronts d'attaque.

## ➤ REMISE EN ETAT DES INSTALLATIONS DE SURVEILLANCE

Dans tous les cas de détériorations accidentelles, que les causes soient intérieures ou extérieures au chantier, la remise en état des installations de surveillance sera exécutée par l'entrepreneur, et à ses frais.

Parmi les causes de détériorations, on notera en particulier :

- un défaut d'alimentation électrique en cas d'alimentation indépendante du réseau ;
- une température excessive du local qui renferme la valise de saisie ;
- la foudre, les inondations ;
- le travail des engins de chantier ;
- les actes de malveillance.

### • REPERAGE EN COORDONNEES LOCALES X, Y, Z

Le repérage en coordonnées locales X, Y, Z de tous les capteurs mis en place pendant les travaux, sera réalisé par le géomètre de l'entreprise dans les 2 jours qui suivront l'installation.

### • TIR DE MINE

Aucun tir de mine ne pourra être mis à feu sans que l'entrepreneur se soit assuré du bon fonctionnement du dispositif de contrôle des vibrations. En cas de défaillance constatée du dispositif de contrôle il ne sera procédé à la mise à feu du tir qu'après l'accord du maître d'œuvre, la fiche de tir lui ayant été remise au préalable.

## ➤ SIMULTANEITE DES TIRS

L'amorçage de plusieurs tirs simultanés sur des sites proches est interdit. Ceci afin d'éviter toute superposition des ébranlements.

### ➤ VISITES PERIODIQUES

Des visites périodiques, par le contrôle extérieur du maître d'œuvre permettront :

- de vérifier le bon fonctionnement de l'installation de surveillance ;
- de prendre connaissance des fiches de tir que l'entrepreneur tiendra à sa disposition sur le chantier ;
- de contrôler les opérations de chargement des volées et de vérifier la conformité avec la fiche de tir correspondante.

En cas de discordance injustifiée entre les descriptifs mentionnés sur les fiches de tirs et les chargements de tirs réellement effectués, le maître d'œuvre pourra arrêter provisoirement les opérations de minage et retirer l'agrément d'un éventuel sous-traitant.

### ➤ CRITERES DE CONTROLE DES VIBRATIONS

Les vibrations seront contrôlées par la mesure des niveaux zéro-crête de la vitesse de vibration, sur un certain spectre de fréquences. Le niveau de vibration à ne pas dépasser est défini à partir de 2 seuils :

- un seuil maximal conseillé, qui pourra être pris en compte pour définir les charges instantanées maximales des plans de tirs ; de légers dépassements ne pourront être tolérés que s'ils sont exceptionnels (moins de 3 tirs sur 10) ;
- un seuil maximal absolu, qui en cas de dépassement, entraînera un arrêt du minage, en attendant la mise au point de nouveaux plans de tirs.

Le spectre de fréquence des contrôles de vibrations seront définis par :

- le type de capteur : géophones (capteur de vitesse) tri-directionnel ;
- la bande passante du dispositif de contrôle du niveau zéro-crête.

La bande passante sera définie :

- vers les basses fréquences, par la fréquence propre des géophones (1 Hz - 2 Hz ou 4,5 Hz) ;
- vers les hautes fréquences, par un filtre passe-bas du 1er ordre (6dB/octave), dans le cas de géophones.

La fréquence de coupure du filtre sera normalisée pour une atténuation de 3 dB du signal (70%) de l'amplitude à la fréquence de coupure).

### ➤ MESURES EN CAS DE DEPASSEMENT DES SEUILS

En cas de dépassement de seuil, le contrôle mis en place devra permettre de récupérer le signal brut pour un traitement spécifique par le laboratoire. Les dépassements de seuils pourront entraîner l'arrêt des travaux. Dans ce cas, la reprise des tirs ne sera autorisée qu'après concertation entre le maître d'œuvre, l'entreprise et le laboratoire. En matière de procédure de suivi des vibrations, deux cas doivent être envisagés :

- en cas de dépassement du seuil maxi conseillé ou seuil de vigilance, la personne chargée des mesures et auscultations analyse les raisons du dépassement et renforce le suivi. Lorsque le seuil de vigilance a été dépassé deux fois consécutives, le plan de tir doit être modifié afin de revenir sous le seuil toléré : réduction de la longueur de volée, diminution de la charge unitaire, meilleur échelonnement des départs, modification du bouchon....
- en cas de dépassement du seuil maxi absolu ou seuil d'alerte, la personne chargée des mesures et auscultations arrête le chantier, organise une réunion avec les acteurs concernés et doit ouvrir une fiche de non-conformité. Le plan de tir doit être modifié.

## **Charges d'explosifs – limitation des tirs**

Il n'existe pas de charges instantanées contractuelles. Celles-ci seront estimées au cours des tirs d'essais. La charge instantanée constitue cependant un des paramètres essentiels du plan de tir pour le respect des seuils de vibrations.

## **Tirs d'essais**

Les premiers tirs seront réduits afin d'obtenir :

- un découpage soigné du parement selon la ligne définie ;
- une blocométrie convenable pour le minage et sa mise en dépôt ;

- un niveau d'ébranlement réduit ;
- la préservation des structures existantes à proximité.

Ces tirs s'effectueront en présence du responsable du laboratoire spécialisé et agréé par la maîtrise d'œuvre. Les tirs d'essais feront l'objet d'enregistrements complets définis au paragraphe 4.02.8.5 - ci-après.

L'analyse des résultats devra permettre de vérifier les nuisances vibratoires et sonores amissibles pendant les tirs et de fixer les fréquences de coupures sur les enregistreurs. Ce rapport définira les seuils à ne pas dépasser. Au vu des résultats et de l'analyse établie par le laboratoire spécialisé, le maître d'œuvre pourra accepter ou refuser la méthode du tir d'essai. Dans le cas de tir d'essais non concluant, la maîtrise d'œuvre demandera la modification et la réalisation de tirs d'essais complémentaires afin de répondre aux spécifications du marché.

En cours de travaux et à tout moment, le maître d'œuvre pourra demander à l'entrepreneur de nouvelles propositions de méthodes de tirs si les résultats obtenus ne répondent plus aux prescriptions imposées.

### Fiche de tir

Avant la mise à feu de chaque tir, l'entrepreneur remplira la fiche de tir sur laquelle seront portées les informations suivantes.

#### AVANT LE TIR

- le numéro ou la référence du plan de tir mis en œuvre ;
- la localisation du tir dans l'ouvrage excavé concerné ;
- les charges unitaires par trou ;
- le type et nombre de détonateur ;
- les séquences de retard ;
- les difficultés rencontrées lors de la foration des trous de mines ;
- les écarts éventuels de foration.

#### APRES LE TIR

- les vitesses maximales enregistrées sur les différents capteurs ;
- les valeurs de seuils à respecter ;
- les positions des capteurs ;
- l'état du front dégagé ;
- le niveau de blocométrie requis ;
- les observations suite à l'inspection des structures avoisinantes (petit tunnel du Chambon, ancien tunnel...).

### Résultats des mesures

PHASE 1 : Tirs d'essais. Ces mesures font l'objet d'un rapport d'analyse, comprenant :

- les signaux bruts enregistrés
- les spectres en fréquence correspondants
- le tableau reprenant les vitesses maximales enregistrées et les plages de fréquences caractéristiques (largeur du spectre à 25 et 50% de l'amplitude maximale)
- les lois de propagation conséquentes
- les seuils à respecter en surface, dans les ouvrages souterrains, sur les ouvrages ou bâtiments existants à proximité
- les charges unitaires instantanées maximales déduites
- les points de mesure pour les contrôles ultérieurs.

PHASE 2 : Premier tir de production courante ou tir particulier. Ces mesures font l'objet d'un rapport d'analyse comprenant :

- les signaux bruts enregistrés
- les spectres en fréquences correspondants
- le tableau reprenant les vitesses maximales enregistrées et les plages de fréquences caractéristiques
- le plan de tir correspondant
- la position des capteurs
- la comparaison à la loi déduite de la phase 1 ou d'une précédente phase 2

- la conclusion sur les éventuelles adaptations du plan de tir et du système de mesure.

PHASE 3 : Suivi des vibrations des différents tirs. Les résultats seront fournis en fonction de l'avancement des travaux, sous la forme de :

- la fiche de tir éditée et disponible immédiatement après le tir et dans tous les cas avant le tir suivant ;
- la fiche de tir est transmise au chargé de soutènement, au plus tard le lendemain ou immédiatement en cas d'anomalie, et à la maîtrise d'œuvre sur sa demande ;
- une note de synthèse remise à chaque réunion mensuelle, constituée d'un tableau récapitulatif des mesures, de commentaires fournissant l'interprétation combinée des mesures, du plan de tir et de la géologie rencontrée ;
- un mémoire de synthèse remis en fin de chantier. Ce mémoire regroupera l'ensemble des résultats de mesure. Les difficultés rencontrées pour effectuer ces mesures de vibrations et pour l'adaptation et la mise en œuvre des plans de tir seront précisées.

### **6.2.3.7 Mesures de vibrations dans le cas d'emploi d'engins mécaniques puissantes**

En ce qui concerne les engins mécaniques d'énergie de frappe supérieure à 1800 Joule par coup (type brise-roche, BRH ou BRV) ou les compacteurs, ils doivent faire l'objet de mesures de vibration et d'un suivi régulier durant leurs périodes d'utilisation.

La caractérisation de l'effet de site est importante (nature du substratum, présence de discontinuités, banc rocheux guide d'onde, etc.).

L'enregistrement des vibrations doit se faire en continu sous forme numérique en fonction du temps et doit permettre de confronter ces mesures aux seuils de vibrations admissibles, en terme de vitesse particulaire et de définir les distances critiques d'évolution des engins vibrants ou d'en limiter leur puissance.

### **6.2.3.8 Mesures de suppressions aériennes**

Le décret n°2006-892 du 19 juillet 2006 régit l'exposition des travailleurs au bruit et précise que des dispositions de prévention sont à prendre à partir d'une exposition quotidienne au bruit de 80dBA ; de plus, le décret fixe :

- une valeur limite d'exposition quotidienne au bruit  $L_{ex}/8h = 87dBA$ , moyenne pondérée dans les temps des niveaux d'exposition au bruit pour une journée de travail de 8 heures
- une valeur limite de pression acoustique de crête  $L_{pc} = 140dBC$ , valeur maximale de pression acoustique instantanée (mesurée avec la pondération fréquentielle C).

Le matériel de chantier (compresseurs, marteaux perforateurs...) doit être insonorisé et respecter le seuil de 75dBA fixé par la réglementation. Pour les riverains, il est nécessaire d'établir un point Zéro concernant le bruit ambiant et de réaliser régulièrement des mesures de bruits lors des phases sensibles de terrassement (proche de riverains).

La circulaire n°96-52 du 2 juillet 1996, d'application de l'arrêté de 22 septembre 1994 relatif aux exploitations de carrières et installations de premier traitement des matériaux de carrières, précise qu'en l'état actuel des connaissances, il apparaît que le niveau de pression acoustique de crête peut être limité à 125dBL (décibel linéaire). Compte tenu de la spécificité des tirs en souterrain, qui se traduit par une propagation de la surpression dans un espace linéaire confiné (effet canon), selon une direction privilégiée avec une très faible atténuation, le phénomène sera contrôlé en disposant des capteurs complémentaires aux mesures de vibrations solidiennes. A priori, pour limiter la gêne due au tir de mines, il paraît raisonnable d'envisager une limite pour la pression acoustique de crête en considérant les seuils suivants :

- un seuil maximal conseillé :  $P \leq 125dBL$
- un seuil maximal absolu :  $P \leq 140dBL$ .

## **6.3 SONDAGES, ESSAIS DE MECANIQUE DES ROCHES ET RELEVÉS**

### **6.3.1 SONDAGES DE RECONNAISSANCE COMPLEMENTAIRES**

En dehors des sondages destructifs systématiques à l'avancement du creusement de la deuxième branche du projet et de la cavité C5, des sondages de reconnaissance complémentaires (carotté ou destructif) pourront être réalisés afin de lever des incertitudes subsistant à l'issue du PRO ou apparaissant lors des

travaux. Les sondages feront l'objet d'une coupe lithologique détaillée réalisée par le géologue de l'entreprise. Les carottes et autres échantillons sont conservés jusqu'à la fin des travaux dans des caisses fermées et dans un lieu désigné par le MOA.

Les sondages sont décidés par le MOE.

### **6.3.2 ESSAIS DE MECANIQUE DES ROCHES**

À des fins d'essais de mécanique des roches, des prélèvements seront effectués parmi les carottes extraites des sondages ou sur des échantillons issus du creusement.

En particulier, les essais suivants seront réalisés :

- Essais de compression simple, avec 1 cycle de déchargement + rechargement dans la phase élastique et mesure des modules de 1<sup>er</sup> chargement, de déchargement et de rechargement ;
- Essais de résistance à la traction directe ;
- Essais de résistance à la traction de type brésilien.

Les essais seront effectués selon diverses orientations de la schistosité afin d'évaluer le comportement du massif dans lequel est creusé le tunnel.

### **6.3.3 SONDAGES A L'AVANCEMENT**

#### **6.3.3.1 Consistance des sondages**

Pour la deuxième branche de l'ouvrage, à l'avancement, l'entreprise effectuera des reconnaissances en avant du front. Ces sondages seront destructifs avec enregistrement des paramètres et généralement horizontaux, d'un diamètre supérieur ou égal à 85 mm. Ils seront généralement réalisés au centre de la section à excaver. Un chevauchement de deux sondages successifs d'au moins 5 m doit être prévu. Ces reconnaissances ont pour objet de :

- anticiper une éventuelle anomalie;
- anticiper les soutènements à mettre en œuvre;
- identifier ou préciser la position et la géométrie des zones singulières (faille par exemple);
- identifier ou préciser les zones de venues d'eaux et des karsts ;
- fournir les renseignements les plus complets possibles sur le massif encaissant, les difficultés rencontrées, les changements d'aspect, de consistance et de nature ;
- apprécier la nature et la qualité des terrains rencontrés, à détecter les discontinuités.

Sur la base du sondage d'avancement, l'entrepreneur précisera les éventuels compléments de reconnaissance qu'il juge utile. Ceux-ci devront répondre aux points précisés ci avant et être argumentés.

#### **6.3.3.2 Prescriptions particulières pour la réalisation et l'exploitation des résultats**

Le matériel utilisé sera adapté à la traversée de terrains de toute nature et devra permettre l'enregistrement numérique et analogique des paramètres de foration sur toute la longueur des forages. Le débit de l'eau ressortant du forage et la température de l'eau seront surveillés de manière à détecter une éventuelle venue d'eau ou au contraire une zone de perte d'eau de forage. Une fiche de relevé géologique, hydrogéologique et géotechnique sera fournie pour chaque sondage.

Les enregistrements de paramètres comprennent :

- le poids sur l'outil (poussée sur l'outil) ;
- le couple de rotation ;
- la vitesse de rotation (pour les forages en rotation) ;
- la vitesse instantanée d'avancement ;
- la percussion réfléchie (surtout utile dans les forages où il y a percussion en tête et en rotary) ;
- la pression d'injection de fluide ;
- les débits de fluide entrant et sortant.

L'entrepreneur prendra toutes les dispositions nécessaires afin de limiter les déviations de forage. Le suivi du forage est effectué par le géologue en collaboration étroite avec le sondeur. Les résultats sont



communiqués au MOE dans les 24 heures et au plus tard avant la reprise de l'avancement. L'interprétation est conduite par comparaison avec le cahier B.

Si un matériel non spécifique est utilisé, il doit permettre d'obtenir une qualité des reconnaissances strictement identique à celle obtenue à l'aide d'une foreuse spécifique.

Le matériel et sa procédure d'utilisation sont soumis préalablement à l'agrément du MOE.

L'Entrepreneur doit intégrer cette phase de travaux dans son planning global de l'opération.

### **6.3.3.3 Document de procédure et de suivi d'exécution**

La procédure d'exécution relative aux reconnaissances à l'avancement fait apparaître les méthodes et les moyens, matériels et personnels, mis en œuvre pour réaliser ces sondages en galerie et notamment :

- le type de matériel pour réaliser les sondages ;
- le mode de foration retenu (fonction notamment de la nature géologique de la formation) ;
- la méthode et le matériel d'enregistrement des paramètres de forage ;
- l'exploitation des enregistrements ;
- le modèle des fiches de levé.

L'entreprise tient à jour le rapport suivi des sondages indiquant sous forme de tableau l'enregistrement de tous les paramètres de foration, les prévisions sur le type de terrain à venir et le type de soutènement à mettre en œuvre et sous forme de dessin les données d'implantation, l'inclinaison et la longueur du forage et la représentation graphique des mesures effectuées.

### **6.3.4 RELEVES GEOLOGIQUES, GEOTECHNIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES**

Au fur et à mesure de l'avancement des travaux, le géologue de l'entreprise établira, travée par travée, un levé complet et détaillé des terrains observés au front, en voûte, en parement et en radier. Les fiches de relevé géologiques sont mises au net au fur et à mesure de l'avancement. Elles indiqueront les informations suivantes :

- la date, le point métrique (PM) de la travée considérée, le n° du levé géologique ;
- la phase de chantier en cours ;
- le type d'excavation (explosif, attaque ponctuelle) ;
- la description géologique avec la limite des couches observées, accompagnées des constatations pouvant être faites sur l'état des parements (sec, humide, dureté, etc.) ;
- la description structurale ;
- l'estimation des paramètres géomécaniques ;
- les anomalies de toute nature qui peuvent être observées (fracturation, cavités, etc.) ;
- la qualité des traitements éventuels effectués ;
- les venues d'eaux (localisation, importance) ;
- l'évolution du terrain durant les premières heures ayant suivi l'excavation (humidification, altération, gonflement, etc.) ;
- les incidents survenus (chutes de matériaux) avec indication de leur importance ;
- le soutènement prévu pour la travée considérée ;
- les cycles et avancements effectués dans la zone relevée (profil type, longueur du pas) ;
- des photographies couleur de format 13 x 18, à raison d'au moins 3 photos par travée avec un nuancier de couleur (nuancier géologique !), le repérage des faces et travées concernées.

Ces levés de front sont utilisés pour établir un rapport synthétique de la géologie de l'ensemble des ouvrages souterrains creusés dans le cadre du présent marché. Ce rapport final comportera une note globale d'analyse de la géologie et de l'hydrogéologie rencontrées ainsi que des profils en long géologiques de chacun des ouvrages souterrains (tunnel, niches, issue de secours, entonnement).

L'ensemble des données de chaque fiche est transmis sous 24 heures à la maîtrise d'œuvre en version numérique et papier. Pour le niveau de précision des levés, l'Entrepreneur peut se référer à l'annexe 1 de la recommandation du GT24R1F1 de l'AFTES.



Ces levés sont effectués dès que la zone du front est totalement accessible. Le relevé s'effectue sur un terrain mis en sécurité c'est à dire purgé, nettoyé et éventuellement boulonné. Les moyens mis en œuvre pour le nettoyage sont adaptés à la nature des terrains rencontrés.

La zone de travail est éclairée par 2 spots (d'une puissance unitaire minimale de 500 W) placés de part et d'autre du front.

Les moyens matériels d'accès en tout point de la section mis en place par l'Entrepreneur respectent les conditions de sécurité du PPSPS.

Les éléments quantifiables doivent être évalués à partir de dispositifs de mesures adéquats (par exemple : mesure de débit d'exhaure ou de résistance).

### **6.3.5 CONTROLES DES VENUES D'EAU**

Le débit des eaux d'exhaure sera mesuré tous les jours en début de poste et durant toute la durée du chantier. Les mesures seront présentées sous formes de courbes établies en fonction du temps et de l'avancement des travaux.

Les débits sont mesurés sur une zone jusqu'à 20 mètres en arrière du front de taille. Les venues d'eaux localisées sont prises en compte dans le comptage à l'intérieur de cette zone. Par contre, aucune venue d'eau ponctuelle ou diffuse apparaissant en dehors de cette zone n'entre en compte dans le calcul du débit. La température et la conductivité de l'eau seront relevées dans le temps.

Le débit réel à prendre en compte est obtenu à partir de la quantité d'eau recueillie dans un bassin construit par l'entrepreneur, pendant une période d'une durée minimale de 15 minutes de laquelle est défalqué le débit amené d'eaux du chantier : forage, marinage, lavage et autres ateliers utilisant de l'eau. Ces quantités sont mesurées à partir d'un compteur placé sur la conduite d'amenée d'eau.

L'entrepreneur devra soumettre à la maîtrise d'œuvre les dispositifs qu'il compte mettre en œuvre pour réaliser les mesures de débits.