



Cahier des clauses techniques générales applicables aux marchés publics de travaux de génie civil

Fascicule N°67 Titre III

Version 1.0 - Décembre 2017.

ÉTANCHÉITÉ DES OUVRAGES SOUTERRAINS

PREAMBULE

Ce fascicule concerne l'exécution dans les tunnels et ouvrages souterrains des travaux neufs d'étanchéement par la mise en œuvre de procédés d'étanchéité

La mise en révision de l'ancien fascicule a été décidée pour tenir compte :

- de l'adoption de normes européennes, reprises par la normalisation française,
- de l'évolution des procédés d'étanchéité et de leur technique de mise en œuvre,
- de l'apparition de nouveaux procédés d'étanchéité.

La mise à jour des spécifications des quatre familles déjà traitées dans le fascicule initial repose sur les retours d'expériences et la prise en compte des normes européennes (essentiellement des normes d'essais associées aux spécifications). L'introduction de six nouvelles familles de procédés a été l'occasion de préciser les spécifications essentielles de chaque technique avec les représentants de la profession.

Familles de procédés traitées dans le fascicule initial	Familles de procédés introduites dans la nouvelle version du fascicule
Les géomembranes synthétiques en étanchéité d'extrados (géomembranes manufacturées thermoplastiques et translucides PVC-P) ; Les feuilles bitumineuses en étanchéité d'extrados sur structures à remblayer, qui peuvent être utilisées seules ou avec une protection d'asphalte ; Les Systèmes d'Étanchéité Liquide (SEL) mise en œuvre à l'extrados ; Les enduits d'imperméabilisation adjuvantés mis en œuvre à l'intrados.	Les géosynthétiques bentonitiques ; Les géomembranes bitumineuses ; L'asphalte coulé en extrados ; Les joints de voussoirs pour les tunnels forés ; Les Systèmes d'Imperméabilisation Liquide (SIL) mise en œuvre à l'intrados ; Les enduits d'imperméabilisation par minéralisation.

Le nouveau fascicule traite ainsi des procédés les plus couramment utilisés en ouvrages souterrains. Au total dix familles de procédés sont présentées, sachant qu'un article du fascicule définit les modalités permettant à un entrepreneur de proposer un procédé innovant ne figurant pas dans cette liste. Par ailleurs, la préparation du support, sur lequel est appliqué le procédé d'étanchéité, manquait de précision et a donc été largement développée dans le nouveau fascicule

Le fascicule se limite aux spécifications essentielles propres à chaque technique, les spécifications de détail étant présentées dans un guide technique qui sera utilisé pour la rédaction des C.C.T.P. En outre, le Centre d'études des tunnels (CETU) a mis en place une procédure d'avis technique sur chaque procédé d'étanchéité proposé par un fabricant, avis qui viendra compléter progressivement ce guide technique.

Examen par le GEM-OTM et l'OEAP

Le projet de fascicule 25 a été examiné par le Groupe d'Étude des Marchés « Ouvrages Travaux et Maîtrise d'œuvre » (GEM-OTM) et par le conseil scientifique de l'Observatoire Économique de l'Achat Public (OEAP) lors de sa séance du 06/02/2014.

Table des matières

CHAPITRE I – DISPOSITION GENERALES	7
Article 1 - Domaine d'application.....	7
1.1 - Nature des travaux.....	7
1.2 - Ouvrages concernés.....	7
1.3 - Nature des exigences.....	7
Article 2 - Terminologie.....	7
2.1 - Les définitions données ci-dessous concernent les termes utilisés dans le présent fascicule.....	7
2.2 - Terminologie relative au management de la qualité.....	10
2.3 - Terminologie relative au respect de l'environnement.....	11
Article 3 - Dispositions relatives aux documents à fournir par le titulaire.....	11
3.1 - En période de préparation.....	11
3.2 - En phase d'exécution.....	12
3.3 - En phase de fin d'exécution des travaux.....	12
Article 4 - Dispositions relatives au management de la qualité.....	12
4.1 - En période de préparation.....	12
4.1.1 - La Note d'Organisation Générale (NOG) du PAQ.....	13
4.1.2 - Les procédures d'études et travaux.....	14
4.1.3 - Les cadres de documents de contrôle d'exécution.....	14
4.2 - En phase d'exécution.....	14
4.3 - En phase de fin d'exécution.....	16
Article 5 - Dispositions relatives au respect de l'environnement.....	16
5.1 - En période de préparation.....	16
5.2 - En phase d'exécution.....	17
5.3 - En phase de fin d'exécution.....	18
Article 6 - Autres documents liés à la réalisation des travaux.....	18
6.1 - Dispositions relatives au programme d'exécution.....	18
6.1.1 - Calendrier des études d'exécution.....	18
6.1.2 - Calendrier d'établissement des procédures d'exécution.....	18
6.1.3 - Calendrier prévisionnel des travaux.....	18
6.1.4 - Projet des installations de chantier (PIC).....	19
6.1.5 - Projet des ouvrages provisoires.....	19
6.2 - Dispositions relatives aux études d'exécution.....	19
CHAPITRE II – SPECIFICATIONS DES PROCEDES	21
Article 7 - Propriétés des procédés d'étanchéité.....	21
Article 8 - Caractéristiques des procédés.....	23
8.1 - Procédés à base de géomembranes synthétiques.....	23
8.2 - Procédés par feuilles d'étanchéité à base de bitumes polymères.....	24
8.2.1 - Procédés à base de feuilles préfabriquées monocouche (FPM).....	24
8.2.2 - Feuilles avec protection par couche d'asphalte (FPA).....	25
8.3 - Procédés à base d'asphalte coulé.....	26
8.3.1 - Procédé bicouche 8+22.....	26
8.3.2 - Monocouche.....	26
8.4 - Procédés à base de géomembranes bitumineuses.....	26
8.5 - Les systèmes d'étanchéité liquide (SEL).....	27
8.6 - Les systèmes d'imperméabilisation liquide (SIL).....	28
8.7 - Les géosynthétiques bentonitiques.....	29
8.7.1 - Géosynthétiques bentonitiques sans géofilm.....	29
8.7.2 - Géosynthétiques bentonitiques avec un géofilm.....	30
8.8 - Les enduits d'imperméabilisation adjuvés.....	31
8.9 - Les enduits d'imperméabilisation par minéralisation.....	32
8.10 - Les joints de voussoirs.....	33
8.10.1 - Joint compressible en élastomère.....	33
8.10.2 - joint hydro-expansif.....	34
8.10.3 - Joint mixte.....	34
CHAPITRE III – MODALITES D'EXECUTION DES TRAVAUX	36
Article 9 - Qualité du support préalable à la mise en œuvre du procédé d'étanchéité.....	36
9.1 - Stipulation générale.....	36
9.2 - Les différents types de support.....	36
9.3 - Stipulations particulières aux supports en béton.....	36
9.3.1 - Surface en béton recevant un procédé indépendant du support.....	36

9.3.2 - Surface en béton recevant un procédé adhérent au support	37
9.3.3 - Voussoirs recevant des joints.....	37
9.4 - <i>Stipulations particulières aux supports en béton projeté</i>	39
9.4.1 - Vérification de la géométrie générale des supports en béton projeté.....	39
9.4.2 - Vérification de la rugosité du béton projeté.....	40
9.5 - <i>Stipulations particulières aux surfaces de parois moulées</i>	41
9.6 - <i>Stipulations particulières aux surfaces de soutènements métalliques</i>	41
9.7 - <i>Stipulations particulières aux surfaces de soutènements divers</i>	42
Article 10 - Épreuves de convenance	42
Article 11 - Mise en œuvre.....	42
11.1 - <i>Procédés à base de géomembranes synthétiques</i>	42
11.1.1 - Fixation de la géomembrane.....	42
11.1.2 - Soudure des lés	42
11.1.3 - Raccordement entre phases.....	42
11.1.4 - Compartimentage.....	42
11.1.5 - Dispositif de contrôle et d'injection du compartimentage	43
11.1.6 - Les protections.....	43
11.1.7 - Points singuliers.....	43
11.1.8 - Contrôles et essais	43
11.2 - <i>Procédés par feuilles d'étanchéité à base de bitumes polymères</i>	44
11.2.1 - Procédés à base de feuilles préfabriquées monocouche.....	44
11.2.2 - Procédés à base de feuilles préfabriquées avec protection par couche d'asphalte	45
11.3 - <i>Procédés à base d'asphalte coulé</i>	45
11.3.1 - En radier	45
11.3.2 - En dalle supérieure	45
11.3.3 - Contrôles et essais sur chantier.....	45
11.4 - <i>Procédés à base de géomembranes bitumineuses</i>	46
11.4.1 - Disposition Générale	46
11.4.2 - Soudure des lés	46
11.4.3 - Fixation mécanique en paroi verticale	46
11.4.4 - Compartimentage.....	46
11.4.5 - Dispositif de contrôle et d'injection du compartimentage	46
11.4.6 - Les protections.....	47
11.4.7 - Points singulier	47
11.4.8 - Contrôles et essais sur chantier.....	47
11.5 - <i>Les systèmes d'étanchéité liquide (SEL)</i>	47
11.5.1 - Réalisation des mélanges des constituants.....	47
11.5.2 - Application	48
11.5.3 - Épaisseur du film	48
11.5.4 - Bullage.....	48
11.5.5 - Contrôles et essais	48
11.6 - <i>Les systèmes d'imperméabilisation liquide (SIL)</i>	49
11.6.1 - Mise hors d'eau	49
11.6.2 - Préparation du support.....	49
11.6.3 - Réalisation des mélanges des constituants.....	49
11.6.4 - Application	49
11.6.5 - Épaisseur du film	49
11.6.6 - Bullage.....	49
11.6.7 - Contrôles et essais	49
11.7 - <i>Les géosynthétiques bentonitiques</i>	49
11.7.1 - Mise en œuvre sous radier	49
11.7.2 - Mise en œuvre en vertical sur soutènement ou piédroit.....	50
11.7.3 - Mise en œuvre sur dalle ou voûte	51
11.7.4 - Livraison et contrôle	52
11.8 - <i>Les enduits d'imperméabilisation adjuvés</i>	52
11.8.1 - Mise hors d'eau	52
11.8.2 - Préparation de la surface.....	52
11.8.3 - Mise en œuvre	52
11.8.4 - Épaisseur.....	53
11.8.5 - Contrôles.....	53
11.9 - <i>Les enduits d'imperméabilisation par minéralisation</i>	53
11.9.1 - Mise hors d'eau	53
11.9.2 - Préparation de surface	53

11.9.3 - Mise en œuvre	53
11.9.4 - Épaisseur.....	54
11.9.5 - Contrôles.....	54
<i>11.10 - Les joints de voussoirs.....</i>	<i>54</i>
11.10.1 - Joints compressibles	54
11.10.2 - Joints hydro-expansifs	55
11.10.3 - Joints mixtes compressibles/hydro-expansifs	56
Annexe 1 – liste des abréviations	57
Annexe 2 – Composition du groupe de travail	58

CHAPITRE I – DISPOSITION GENERALES

Article 1 - DOMAINE D'APPLICATION

1.1 - Nature des travaux

Le titre III du fascicule 67 concerne l'exécution dans les tunnels et ouvrages souterrains des travaux neufs d'étanchement par la mise en œuvre de procédés d'étanchéité. Ces travaux ont pour but d'empêcher la pénétration de l'eau depuis le terrain vers l'intérieur de l'ouvrage souterrain.

L'étanchéité peut être apparente ou recouverte d'un revêtement ou remblai.

Sont considérés comme travaux d'étanchement les travaux participant, par la mise en œuvre de procédés d'étanchéité, à la réalisation d'une barrière étanche, stable, continue et non contournable.

1.2 - Ouvrages concernés

Le présent fascicule est applicable aux ouvrages suivants :

- tunnel creusé,
- tunnel foré,
- tranchée couverte,
- ouvrage d'art sous plate-forme routière, autoroutière et ferroviaire, avec étanchéité sous le remblai,
- parking souterrain, hors emprise bâtiments,
- cuvelage d'ouvrages de génie civil enterrés.

Il ne concerne ni les réservoirs en béton ni les parties enterrées des bâtiments.

1.3 - Nature des exigences

Le présent fascicule décrit les exigences de performances auxquelles les procédés d'étanchéité doivent satisfaire, sans indiquer de valeurs pour les performances minimales à atteindre.

Article 2 - TERMINOLOGIE

2.1 - Les définitions données ci-dessous concernent les termes utilisés dans le présent fascicule.

Revêtement

Structure résistante placée au contact soit du soutènement, soit du massif encaissant, assurant la stabilité définitive de l'ouvrage souterrain et sa finition. En tranchée couverte, cette structure est au contact soit d'un soutènement, soit d'un remblai.

Intradados

Surface intérieure du revêtement.

Extradados

Surface extérieure du revêtement.

Support d'étanchéité

Surface sur laquelle après traitement ou non, est appliqué le procédé d'étanchéité. Il peut être constitué, soit par le soutènement de l'excavation, soit par le béton du revêtement ou le béton de propreté en radier.

Étanchement

L'étanchement d'un ouvrage est l'action qui consiste, par l'emploi d'un procédé d'étanchéité, à empêcher l'eau de pénétrer dans l'ouvrage. Cet étanchement se décline selon les trois types de méthodes suivantes :

- **étanchement par écran d'étanchéité** – toute intrusion d'eau, à l'intérieur de l'ouvrage en service, est empêchée par un écran étanche posé en indépendance ou adhérent au support et généralement mis en œuvre à l'extrados. En fonction de la présence ou non d'une pression

hydrostatique, l'étanchéité peut être complète ou partielle.

- **étanchement par Imperméabilisation** – l'imperméabilisation d'un ouvrage est l'action qui consiste par l'emploi de substances hydrofuges, adhérentes au support, à rendre étanche l'intrados de l'ouvrage. Ces procédés ne résistent pas à une fissuration appréciable du support.
- **étanchement par structure relativement étanche** – lorsque les caractéristiques de la structure le permettent, notamment en matière d'imperméabilité, il est possible de faire jouer un rôle d'étanchement à cette structure. L'étanchement est complété par le traitement des joints entre éléments de structure (anneaux de béton coffré, voussoirs préfabriqués, etc..). Il est de ce fait admis un léger passage d'eau éventuellement récupérée, dont le débit de fuite doit être fixé au CCTP.

Le maître d'ouvrage définit en fonction de l'utilisation de l'ouvrage souterrain les zones recevant un écran d'étanchéité ou une imperméabilisation ou une structure relativement étanche.

Procédés

Un procédé d'étanchéité est un ensemble de travaux, définis par des méthodes et des produits déterminés dans leur nature, leur composition, leurs propriétés et le cas échéant leur forme et leurs dimensions, permettant de réaliser l'étanchement d'un ouvrage.

Produits

Des produits d'étanchéité sont des matériaux et composants susceptibles d'être incorporés dans les procédés d'étanchéité. La majeure partie des produits d'étanchéité sont définis par des normes, françaises ou européennes ; ces normes sont applicables selon les modalités fixées par le CCAG Travaux.

Les produits mis en œuvre pour assurer l'étanchéité des ouvrages souterrains sont les suivants :

- **asphalte coulé** - masse dense constituée de gravillons, et/ou de sable, et/ou de calcaire finement broyé, et/ou de fines et de bitume qui peut contenir des additifs. L'asphalte coulé est appliqué par épandage à l'état chaud ; sa coulabilité ne nécessite pas de compactage en place ;
- **enduit mince à base de mortier** – cet enduit est constitué par un mortier adjuvanté, conditionné en usine, dont les constituants le rendent apte à être appliqué en couches minces ;
- **enduit épais à base de mortier** - cet enduit est constitué par un mortier adjuvanté, conditionné en usine, dont les constituants le rendent apte à être appliqué en couches épaisses ;
- **enduit mince de minéralisation de surface** - cet enduit est constitué par une poudre prête à mouiller ou une pâte conditionnée en usine, composée de sels minéraux venant en addition à du ciment et à des matières inertes et mélangée à l'eau in situ en vue de son application immédiate en couches minces ;
- **feuille bitumineuse** - feuille souple de bitume fabriquée en usine, comportant à l'intérieur ou à l'extérieur une ou plusieurs armatures, livrée sous forme de rouleaux et prête à l'emploi ;
- **géomembrane** - produit manufacturé en forme de nappe, adapté au génie civil, mince, souple, continu, étanche au liquide même sous sollicitations en service ; elle peut être polymérique (GM-P) ou bitumineuse (GM-B) ;
- **géosynthétique bentonitique** - produit manufacturé en forme de nappe constitué d'un assemblage de matériaux comportant au moins de la bentonite, en poudre ou en granulés, assurant la fonction étanchéité, et de un ou plusieurs géosynthétiques ayant un rôle de support ou conteneur, utilisé dans le domaine de la géotechnique et du génie civil ;
- **résines polymérisables** à température ambiante pour Système d'Étanchéité Liquide (SEL) ou Système d'Imperméabilisation Liquide (SIL) – conditionnées en usine à plusieurs

composants avec ou sans solvant et mélangées in situ, en vue de leur application immédiate en couches minces ;

- **joints de voussoirs** mis en œuvre dans les tunnels forés, dont le revêtement est constitué de voussoirs préfabriqués en béton.

Suivant le type de procédé, la pose des produits d'étanchéité sera en indépendance, en semi-indépendance ou en adhérence totale avec le support :

- **mise en œuvre en indépendance** – lorsque l'écran d'étanchéité n'est pas collé ou soudé au support, le procédé est posé en indépendance ;
- **procédé adhérent** – lorsque le produit d'étanchéité est collé ou soudé au support sur toute sa surface, le procédé est adhérent ;
- **mise en œuvre en semi-indépendance** – lorsque le produit d'étanchéité est partiellement collé ou partiellement soudé au support, le procédé est posé en semi-indépendance.

Suivant le type de procédé, les produits d'étanchéité nécessitent une ou plusieurs protections choisies selon la nature du support, la nature des travaux succédant à la pose de l'étanchéité et en fonction de l'environnement prévisible (végétalisation du remblai de recouvrement, exposition aux ultraviolets, ...). En respectant la chronologie de mise en œuvre, on distingue les trois types de protections suivantes :

- **protection inférieure** – cette protection est un géotextile mis en œuvre in situ sur le support avant d'être recouvert par une géomembrane. Il assure la résistance au poinçonnement dynamique et statique de la géomembrane notamment durant la phase de bétonnage ou de remblaiement ;
- **protection supérieure** – cette protection est mise en œuvre in situ sur le produit d'étanchéité. Elle protège l'écran d'étanchéité contre les agressions dues à la mise en œuvre des armatures, des masques d'about, des remblais ou autres éléments.
- **protection complémentaire** – cette protection est mise en œuvre in situ et recouvre le procédé d'étanchéité d'extrados ; elle n'est pas prise en compte dans la classification du procédé d'étanchéité vis-à-vis de la résistance au poinçonnement dynamique, elle protège le procédé lorsque les travaux succédant à la pose de l'étanchéité présentent des risques particuliers ; dans le cas d'un ouvrage à faible profondeur, avec des travaux prévisibles en surface cette protection peut comporter un système avertisseur.

Géotextile

Matière textile plane, perméable et à base de fibres polymériques aiguilletées, conditionnées en usine et mise en œuvre en protection mécanique inférieure et supérieure.

Compartimentage

Division de l'écran d'étanchéité d'extrados non adhérent en surfaces élémentaires à l'intérieur de chacune desquelles toute venue d'eau reste cantonnée.

Tranchée sans limite d'emprise (TSLE)

Une tranchée sans limite d'emprise est réalisée en fouille ouverte, sans soutènement adjacent. L'ouverture de la fouille permet de construire les voiles verticaux au-dessus du niveau des terrassements. Dans ce cas, le procédé d'étanchéité est placé à l'extrados du revêtement, c'est-à-dire sur la face extérieure des voiles verticaux et de la dalle supérieure. La tranchée ainsi réalisée est ensuite remblayée et devient un ouvrage souterrain.

Tranchée avec limite d'emprise (TALE)

Une tranchée avec limite d'emprise est réalisée en fouille dont les parois latérales sont verticales, avec soutènements adjacents. La largeur de la fouille correspond généralement au minimum nécessaire pour obtenir la largeur utile de l'ouvrage après réalisation du soutènement et du revêtement. Le procédé d'étanchéité est appliqué sur les parois du soutènement pour ensuite être plaqué à l'extrados du revêtement.

2.2 - Terminologie relative au management de la qualité

Contrôle intérieur

Les opérations de contrôle intérieur peuvent prendre l'une ou l'autre, ou les deux modalités suivantes, selon le contexte de l'opération :

- contrôle Interne (modalité de contrôle intérieur) – ensemble des opérations de surveillance, de vérification et d'essais exercés sous l'autorité du (ou des) responsable (s) de la fabrication ou de l'exécution, dans les conditions définies par le Plan Qualité ;
- contrôle externe (modalité de contrôle intérieur) – ensemble des opérations de surveillance, de vérification et d'essais exercées sous l'autorité ou à la demande d'un responsable indépendant de la chaîne de production ou du chantier d'exécution, mandaté par le titulaire.

Contrôle extérieur

Ensemble des opérations de surveillance, de vérification et d'essais, que le maître d'œuvre exécute ou fait exécuter par un organisme indépendant du titulaire, pour le compte du maître d'ouvrage.

Fiche de contrôle

Document de suivi d'exécution qui constitue la trace de la réalité des contrôles effectués.

Fiche de non-conformité

Document de suivi d'exécution qui enregistre une non-conformité, ses causes, son traitement et les actions correctives ou corrections nécessaires.

Plan de contrôle global

Document établi par le maître d'œuvre et validé par le maître d'ouvrage, organisant pour l'opération, la coordination et la complémentarité des opérations de contrôle intérieur des différents intervenants et de contrôle extérieur.

Plan Qualité (sigle PQ ou PAQ pour Plan d'Assurance Qualité)

Document établi par le titulaire en phase de préparation, spécifiant l'organisation, les procédures d'exécution et de contrôle, et les ressources associées, qu'il s'engage à mettre en œuvre pour l'obtention de la qualité requise.

Point critique

Étape faisant l'objet d'une information préalable du maître d'œuvre, pour qu'il puisse, s'il le juge utile, y assister et en vérifier les conditions d'exécution.

Point d'arrêt

Étape au-delà de laquelle une activité ne peut se poursuivre sans un accord formel du maître d'œuvre, formalisé par un document d'enregistrement.

Schéma Directeur de la Qualité (SDQ)

Document qui, pour une opération donnée et s'il y a lieu, présente l'organisation d'ensemble pour la qualité de réalisation du ou des ouvrages et la gestion des interfaces, et assure la cohérence et la complémentarité des plans qualité de tous les intervenants.

Schéma Organisationnel du Plan Qualité (SOPAQ)

Document fourni par une entreprise au sein de son offre en phase de consultation, énonçant les principales dispositions d'organisation et de contrôles qu'elle s'engage, si son offre est retenue, à mettre en œuvre et à développer dans son Plan Qualité.

2.3 - Terminologie relative au respect de l'environnement

Notice de respect de l'environnement

Document, établi par le maître d'ouvrage, contenant :

- une synthèse des contraintes environnementales, et les sites où ces mesures doivent s'appliquer ;
- la nature des démarches administratives devant être assurées par le Maître d'Ouvrage, le

Maître d'œuvre ou le titulaire du marché ;

- les exigences en matière de management et de suivi de l'environnement.

Schéma d'Organisation du Plan de Respect de l'Environnement (SOPRE)

Document, établi à partir des exigences spécifiées par le maître d'ouvrage, par le soumissionnaire lors de son offre, décrivant, en fonction des caractéristiques de terrain et de l'environnement local, les dispositions d'organisation et de contrôle qu'il propose pour répondre aux prescriptions environnementales fixées par le maître d'ouvrage.

Plan de Respect de l'Environnement (PRE)

Document établi par le titulaire en période de préparation du chantier, et devant être visé et suivi par le maître d'œuvre, énonçant les moyens et procédures mis en œuvre par le titulaire pour respecter les prescriptions environnementales fixées par le maître d'ouvrage et réaliser ses engagements en matière de performance environnementale.

Schéma d'Organisation de la Gestion des Déchets (SOGED)

Document établi par le titulaire en période de préparation du chantier et devant être visé et suivi par le maître d'œuvre, énonçant les moyens et procédures mis en œuvre par le titulaire en matière de suivi, de gestion, de valorisation et d'élimination des déchets.

Article 3 - DISPOSITIONS RELATIVES AUX DOCUMENTS A FOURNIR PAR LE TITULAIRE

Les documents portent un titre et un numéro d'ordre, incluant un indice de révision. Ils sont datés et signés par le titulaire. Toute modification en cours de projet est consignée sur ces documents, repérée, datée et signée.

3.1 - En période de préparation

Sauf dispositions contraires ou complémentaires mentionnées au sein du marché, le titulaire fournit au maître d'œuvre, en phase de préparation, les informations suivantes :

- le procédé d'étanchéité (nature, provenance, références) proposé, en vue de son acceptation par le maître d'œuvre après vérification de la conformité à l'ensemble des spécifications fixées par le CCTP ;
- le Plan Qualité (PAQ), qui précise et complète les dispositions générales prévues au Schéma d'Organisation du Plan Qualité (SOPAQ), ou autre document rendu contractuel, qui en tient lieu ;
- les propositions pour les origines et natures des matériaux extérieurs au chantier ;
- le Programme d'exécution ;
- le Plan de Respect de l'Environnement (PRE), qui précise et complète les dispositions générales prévues au Schéma d'Organisation du Plan de Respect de l'Environnement (SOPRE), ou autre document rendu contractuel qui en tient lieu ;
- s'il est requis, le Plan Particulier de Sécurité et de Protection de la Santé des travailleurs (PPSPS), ou le PPSPS simplifié (pour les opérations comportant des risques particuliers) ;
- les procédures d'études ;
- les études d'exécution et les procédures de travaux (au minimum celles relatives aux travaux devant démarrer dès la fin de la période de préparation) ;
- les documents requis par la réglementation pour les travaux à proximité d'ouvrages souterrains ou aériens ou subaquatiques de transport ou de distribution.

Si le marché le prévoit, et dans les limites autorisées par la réglementation, ces informations peuvent être synthétisées par le titulaire au sein d'une ou plusieurs notes répondant aux exigences spécifiées par le maître d'ouvrage. En accord avec le maître d'œuvre, le titulaire peut proposer un document unique traitant des trois volets (Qualité, Sécurité, Environnement).

Lors de cette période de préparation, le titulaire et le maître d'œuvre s'accordent sur les modalités

de gestion (classement, codification, stockage, modification, diffusion) de l'ensemble des documents à produire par le titulaire, et à échanger avec les autres intervenants dans le cadre du marché.

3.2 - En phase d'exécution

Le titulaire fournit au maître d'œuvre les informations suivantes pendant le déroulement des travaux :

- les études d'exécution et les procédures de travaux, par partie d'ouvrage ou par nature de travaux, selon la liste et la planification de production et d'obtention de visa, prévues au Plan Qualité (ou autre document en tenant lieu) ;
- les mises à jour du programme d'exécution (dont celles du calendrier d'exécution) ;
- en tant que de besoin, la ou les mises à jour (compléments, révisions),
 - du Plan Qualité (PAQ), ou autre document en tenant lieu ;
 - du Plan de Respect de l'Environnement (PRE), ou autre document en tenant lieu.

Ces documents sont soumis au visa du maître d'œuvre pendant le déroulement des travaux (ou avant chaque phase de travaux concernée).

3.3 - En phase de fin d'exécution des travaux

En fin d'exécution, le titulaire fournit au maître d'œuvre les documents suivants en vue de l'établissement du dossier des ouvrages exécutés (DOE) :

- un ou plusieurs documents, relatifs au management de la qualité pour les travaux sous sa responsabilité, hormis pour les éléments déjà transmis au cours de l'exécution des travaux ;
- un ou plusieurs documents, relatifs au respect de l'environnement, hormis pour les éléments déjà transmis au cours de l'exécution des travaux.

Si le marché le prévoit, et dans les limites autorisées par la réglementation, ces informations peuvent être synthétisées par le titulaire au sein d'une ou plusieurs notes répondant aux exigences spécifiées par le maître d'ouvrage

Article 4 - DISPOSITIONS RELATIVES AU MANAGEMENT DE LA QUALITE

4.1 - En période de préparation

Le Plan Qualité (PAQ) présente, de manière détaillée, les dispositions de moyens et d'organisation prévues par le titulaire, et qu'il s'engage de mettre en œuvre, pour garantir l'obtention des exigences spécifiées pour les travaux lui incombant.

Le PAQ est établi spécifiquement pour l'opération objet du marché. Il peut intégrer des dispositions préexistantes dans le système de management de la qualité du titulaire, tout en leur apportant les modifications et compléments nécessaires pour répondre aux spécificités de l'opération.

Il comprend :

- une note d'organisation générale (NOG) qui définit,
 - les éléments d'organisation concourant à l'obtention de la qualité,
 - s'il y a lieu, les Plans Qualité des cotraitants et sous-traitants, avec mention des articulations entre ces plans et avec le PAQ du titulaire,
- les procédures d'exécution comprenant,
 - les procédures d'études,
 - les procédures de travaux, par partie d'ouvrage ou nature de travaux,
- les cadres de documents de suivi d'exécution.

Si le marché le prévoit, notamment en regard de la complexité des travaux et des contraintes extérieures, ces informations peuvent être synthétisées par le titulaire au sein d'une ou plusieurs

notes répondant aux exigences spécifiées par le maître d'ouvrage. Les procédures qualité relatives à l'exécution et aux contrôles liés aux points d'arrêt et points critiques, ainsi qu'à la gestion des documents d'exécution, sont documentées.

4.1.1 - La Note d'Organisation Générale (NOG) du PAQ

La Note d'Organisation Générale (NOG) du PAQ du titulaire fournit les informations suivantes :

- l'engagement du titulaire sur la mise en œuvre des dispositions définies au sein du PAQ ;
- la présentation des intervenants : titulaire, sous-traitants, fournisseurs principaux, et les prestataires en charge des opérations de contrôle intérieur s'il y a lieu, ainsi que les modalités de gestion de leurs interfaces ;
- la présentation de l'organisation des responsabilités et moyens, dont,
 - l'organigramme et l'encadrement responsable des travaux objet du marché avec identification des responsabilités,
 - l'organisation et l'affectation des principales tâches,
 - les principaux moyens, matériels et approvisionnements ;
- les modalités d'organisation du contrôle intérieur, avec,
 - le cadre d'organisation du contrôle intérieur,
 - le plan de contrôle intérieur établi par le titulaire, qui définit les différents contrôles et, pour chacun :
 - les exigences,
 - les références aux spécifications d'exécution,
 - la méthode de contrôle, de suivi ou d'essai,
 - la définition de la zone de contrôle,
 - la fréquence du contrôle, du suivi ou des essais,
 - les critères d'acceptation,
 - la documentation associée,
 - les responsables du contrôle et des suites à donner à ce contrôle,
 - l'implication, s'il y a lieu, de tierces parties dans le contrôle ;
 - la liste des points d'arrêt et points critiques, avec,
 - mention des délais et des documents de contrôle associés,
 - les modalités de levée des points d'arrêts ;
 - l'organisation pour la maîtrise (détection et traitement) des non-conformités, et le suivi des actions curatives et correctives, selon le niveau de gravité de l'écart constaté ;
- la liste des études et procédures d'exécution, nécessaires à la réalisation des ouvrages provisoires et définitifs, et leur calendrier prévisionnel de production (échancier d'envoi et dates prévisionnelles pour l'obtention du visa du maître d'œuvre.

Si le marché le prévoit, notamment en regard de la complexité des travaux et des contraintes extérieures, ces informations peuvent être synthétisées par le titulaire au sein d'une ou plusieurs notes explicitant les dispositions d'organisation prévues en réponse aux exigences spécifiées par le maître d'ouvrage.

4.1.2 - Les procédures d'études et travaux

Relativement aux ouvrages provisoires et définitifs, et conformément à la liste des procédures d'exécution définie au sein de la note d'organisation générale, le titulaire fournit :

- les procédures d'études décrivant, pour chacune,
 - la partie des travaux, objet de la procédure,
 - les modalités de validation des études,

- les modalités de maîtrise des modifications des études ;
- les procédures de travaux, par partie d'ouvrage ou par nature de travaux, décrivant, pour chaque procédure,
 - la partie des travaux, objet de la procédure,
 - les documents de référence,
 - la liste des ressources utilisées (personnels, matériels, produits),
 - les méthodes, modalités, modes opératoires de mise en œuvre des travaux pour assurer le respect final des exigences,
 - les modalités de contrôle intérieur associées à la procédure avec,
 - les intervenants,
 - les épreuves à réaliser, la nature et la fréquence des contrôles, les moyens à mettre en œuvre,
 - les critères d'acceptation ;
- s'il y a lieu, les interactions avec d'autres procédures et les conditions préalables requises pour l'exécution de certaines tâches.

Si le marché le prévoit, notamment en regard de la complexité des travaux et des contraintes extérieures, ces informations peuvent être synthétisées par le titulaire au sein d'une ou plusieurs notes explicitant les dispositions prévues en réponse aux exigences spécifiées par le maître d'ouvrage.

4.1.3 - Les cadres de documents de contrôle d'exécution

Le titulaire fournit dans son PAQ les modèles de documents suivants :

- documents de contrôle intérieur,
- fiches de non-conformité.

Il précise également les conditions et délais dans lesquels ces documents sont renseignés (identifiés, enregistrés), validés, exploités, puis archivés.

4.2 - En phase d'exécution

Les mises à jour du Plan Qualité du titulaire au cours des travaux sont soumises à visa du maître d'œuvre. Elles portent notamment sur :

- les procédures d'exécution non encore fournies lors de la phase de préparation,
- les adaptations des éléments du PAQ requises par les évolutions du chantier.

Résultats du contrôle intérieur

Les résultats des opérations de contrôle intérieur effectuées sous la responsabilité du titulaire sont reportés sur les documents de contrôle. Selon les dispositions prévues au sein des pièces particulières du marché, ils sont (hormis ceux concernant les contrôles liés aux points d'arrêt et à la gestion de non-conformités) :

- soit tenus à la disposition du maître d'œuvre sur le chantier jusqu'à la fin des travaux,
- soit adressés au maître d'œuvre, au fur et à mesure de leur obtention.

Ces documents ne sont pas soumis au visa du maître d'œuvre ; seuls leurs cadres, définis au sein du PAQ du titulaire et ceux de ses sous-traitants éventuels en phase de préparation, y sont soumis.

Détection et traitement des non-conformités

La démarche de traitement des non-conformités s'articule autour des étapes suivantes :

- le constat, qui comprend les actions immédiates, l'enregistrement, ainsi que l'information des acteurs concernés ;
- l'évaluation, qui consiste à identifier les causes de la non-conformité, en évaluer les effets et proposer des actions curatives (pour y remédier) et correctives (pour éviter qu'elle ne se

reproduise) ;

- l'action, qui comprend la décision d'actions, l'exécution et le contrôle des actions décidées ;
- la clôture et l'archivage des données et résultats.

Toute non-conformité, détectée par les opérations de contrôle intérieur ou de contrôle extérieur, est enregistrée ; elle fait l'objet de l'ouverture, par le titulaire, d'une « fiche de non-conformité ».

Les modalités de traitement de la non-conformité sont soumises au visa du maître d'œuvre.

Si le traitement d'une non-conformité donne lieu à une modification d'un document d'exécution, le nouveau document d'exécution est soumis au visa du maître d'œuvre.

Sur la base des résultats du contrôle, et du visa du maître d'œuvre sur son traitement technique, il peut être procédé à la levée de la non-conformité.

Points critiques

Pour les points critiques, le titulaire informe le maître d'œuvre, avec un délai de préavis suffisant, de la date de réalisation des tâches concernées, afin de lui permettre d'être présent, s'il le souhaite.

En outre, il tient à disposition, sur les lieux du chantier, les documents de contrôle d'exécution relatifs aux tâches concernées.

Points d'arrêt

Pour les points d'arrêt, le titulaire informe le maître d'œuvre de la date de réalisation des contrôles correspondants, avec un délai de préavis suffisant, afin de lui permettre d'être présent, s'il le souhaite.

Les contrôles liés aux points d'arrêt font l'objet de procédures spécifiques : demande de levée du point d'arrêt, compte-rendu de contrôles, accord explicite du maître d'œuvre.

Le titulaire adresse au maître d'œuvre sa demande de levée de point d'arrêt, accompagnée des documents attestant des contrôles effectués lors des tâches correspondantes.

Les visas matérialisant la constatation, par les différents intervenants concernés, des informations produites et mentionnant les suites à donner sont reportés sur les documents de levée de points d'arrêt.

4.3 - En phase de fin d'exécution

En fin d'exécution, le titulaire fournit un ou plusieurs documents relatifs au management de la qualité (hormis pour les éléments déjà transmis au cours de l'exécution des travaux) incluant :

- le plan de contrôle intérieur réalisé,
- les procédures d'exécution à jour, avec synthèse des modifications apportées au cours du chantier,
- l'origine des matériaux et équipements, les rapports d'essai des matériaux et équipements,
- les fiches de contrôle et levée des points d'arrêt,
- les fiches de non-conformité.

Ces éléments ne sont pas soumis au visa du maître d'œuvre, sauf stipulation contraire au sein des pièces particulières du marché.

Article 5 - DISPOSITIONS RELATIVES AU RESPECT DE L'ENVIRONNEMENT

5.1 - En période de préparation

Le Plan de Respect de l'Environnement (PRE) énonce, de manière concrète, les moyens et procédures que le titulaire s'engage à mettre en œuvre pour respecter les prescriptions environnementales fixées par le maître d'ouvrage dans la Notice de Respect de l'Environnement (NRE) ou autre document en tenant lieu, et pour prévenir et/ou réduire les impacts sur l'environnement et intervenir en cas d'anomalies, voire d'accidents.

Le PRE est établi par le titulaire spécifiquement pour l'opération. Il peut intégrer des dispositions préexistantes dans le système de management environnemental du titulaire, tout en assurant leur

adaptation au contexte de l'opération.

Le PRE du titulaire comprend :

- une note d'organisation générale environnement avec,
 - une analyse préalable du contexte environnemental et des contraintes à prendre en compte, en conformité avec les exigences définies par le maître d'Ouvrage dans la notice NRE (ou autre document en tenant lieu) ;
 - l'organisation mise en place, avec mention des missions et responsabilités des personnels en charge de l'application du PRE ;
 - les dispositifs prévus pour maîtriser ou réduire les impacts environnementaux ;
 - les éventuelles propositions pour le réemploi de matériaux extérieurs au chantier ;
 - la nature et la situation des travaux et/ou des tâches d'exécution concernés par des dispositions spécifiques relatives à l'environnement, avec mention des nuisances et risques potentiels au regard de l'environnement en lien avec ces tâches ;
 - les modalités de surveillance et contrôle de ces travaux et/ou tâches, dont,
 - la liste des éventuels points d'arrêt et points critiques en matière environnementale, et les modalités associées,
 - le programme de contrôle environnemental ;
- la liste des procédures environnementales pour assurer la conformité de l'exécution des ouvrages à la législation, à la réglementation et aux exigences spécifiées par le maître d'ouvrage,
 - procédures d'exécution liées à la prise en compte des exigences environnementales,
 - procédures relatives au traitement des non-conformités en matière environnementale, susceptibles de se produire lors de l'exécution des travaux,
 - procédures de traitement de pollution accidentelle, et procédures en cas d'interventions extérieures et en cas d'urgence ;
- l'articulation entre les dispositions du PRE (incluant la gestion des déchets), le projet des installations de chantier, et la Procédure d'urgence et de capacité à réagir ;
- la description des moyens d'information à l'attention du personnel du titulaire, des sous-traitants et fournisseurs, sur les dispositions prévues au PRE ;
- les cadres de documents de surveillance et contrôles en matière environnementale.

En outre, le PRE du titulaire comprend les modalités de respect des exigences environnementales (dont déchets) par ses sous-traitants et fournisseurs, et leur engagement vis-à-vis des dispositions prévues.

Composante « gestion des déchets » du PRE (ou SOGED)

Le PRE traite des dispositions relatives à la gestion des déchets, que le titulaire s'engage à mettre en œuvre, dont le suivi et la traçabilité de l'élimination des déchets du chantier, en conformité avec les dispositions du Code de l'Environnement (obligation de prévention, de réduction et de valorisation des déchets de chantier issus des Travaux Publics).

Dans le cas où les éléments requis au marché ne concernent que la gestion des déchets, le PRE devient un **Schéma d'Organisation de Gestion des Déchets (SOGED)**.

Pour cette composante déchets, le titulaire décrit :

- la liste, structurée par classe, et la quantification des déchets à gérer, par type de travaux,
- l'organisation mise en place – organigramme, missions et responsabilités des personnels devant assurer l'application de la procédure environnementale de gestion des déchets ;
- les méthodes et moyens utilisés pour trier les différents déchets à gérer et assurer leur non-mélange,
- la localisation, la description des dépôts, centres de stockage et/ou centres de regroupement

- et/ou unités de recyclages vers lesquels seront acheminés les différents déchets à gérer,
- les modalités d'information du maître d'œuvre, lors de l'exécution des travaux, relativement à la nature des déchets, aux quantités et aux dates et lieux d'évacuation,
 - les modalités et moyens de contrôle, de suivi et de traçabilité de gestion des déchets,
 - les cadres des documents de suivi et traçabilité des déchets (dont bordereaux de suivi et registres),
 - les moyens matériels et humains qui seront mis en œuvre pour cette gestion.

Le Plan de Respect de l'Environnement (ou le SOGED si seule la composante déchets est requise), établi par le titulaire en phase de préparation, est soumis au visa du maître d'œuvre.

Si le marché le prévoit, et dans les limites autorisées par la réglementation, le titulaire pourra synthétiser les informations requises pour le PRE au sein d'une ou plusieurs notes explicitant les dispositions prévues en réponse aux exigences spécifiées par le maître d'ouvrage en matière environnementale, dont le suivi et la traçabilité de l'élimination des déchets.

5.2 - En phase d'exécution

Le titulaire doit s'assurer de la traçabilité des déchets et matériaux issus du chantier et de la bonne application des dispositions prévues pour la gestion des déchets. Il fournit au maître d'ouvrage, avec copie au maître d'œuvre, les bordereaux de suivi des déchets de chantier et les tableaux de suivi des déchets pour lesquels le maître d'ouvrage est producteur.

En cas de découverte, en phase d'exécution, de déchets non répertoriés par le maître d'ouvrage (sols pollués par exemple), le titulaire en informe le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre en vue de définir, conjointement, les modalités de gestion de ces déchets.

Les mises à jour du Plan de Respect de l'Environnement du titulaire au cours de l'exécution des travaux sont soumises à visa du maître d'œuvre.

Ces mises à jour peuvent notamment porter sur :

- les procédures d'exécution, non encore définies lors de la phase de préparation, pour les tâches ayant des impacts environnementaux potentiels,
- les procédures complémentaires pour la gestion des déchets rencontrés lors de l'exécution et non prévus en phase de préparation,
- les autres adaptations des éléments du PRE requises par les évolutions du chantier.

Détection et traitement des non-conformités

Les dispositions définies en management de la qualité et concernant la détection et le traitement des non-conformités s'appliquent pour les non-conformités en matière environnementale.

Points critiques et points d'arrêt en matière environnementale

Les dispositions définies en management de la qualité et concernant les points critiques et points d'arrêt s'appliquent pour ceux relatifs au respect de l'environnement.

5.3 - En phase de fin d'exécution

En fin d'exécution, le titulaire fournit un Dossier relatif au respect de l'environnement (hormis pour les éléments déjà transmis au cours de l'exécution des travaux) incluant :

- le programme de contrôle réalisé en matière environnementale,
- les procédures environnementales à jour, avec synthèse des modifications apportées au cours du chantier,
- les comptes rendus des contrôles et levée des points d'arrêt environnementaux,
- les fiches de non conformités en matière environnementale,
- les bordereaux de suivi des déchets justifiant de la destination des déchets conformément aux dispositions du PRE, et les tableaux de suivi des déchets pour lesquels le maître d'ouvrage est producteur.

Si le marché le prévoit, et dans les limites autorisées par la réglementation, ces informations peuvent être synthétisées par le titulaire au sein d'une ou plusieurs notes en réponse aux exigences spécifiées par le maître d'ouvrage.

Article 6 - AUTRES DOCUMENTS LIES A LA REALISATION DES TRAVAUX

6.1 - Dispositions relatives au programme d'exécution

6.1.1 - Calendrier des études d'exécution

Le titulaire fournit au sein du programme d'exécution, le calendrier des études d'exécution, s'il y a lieu et si ce document n'est pas déjà intégré au sein de son Plan Qualité.

La production des documents d'études d'exécution tient compte des délais de transmission, d'analyse et d'acceptation par la maîtrise d'œuvre, avant démarrage des tâches d'exécution correspondantes.

6.1.2 - Calendrier d'établissement des procédures d'exécution

Le titulaire fournit, au sein du programme d'exécution, s'il y a lieu le calendrier d'établissement des procédures d'exécution nécessaires pour chaque phase de travaux, en cohérence avec la liste des procédures d'exécution définie au sein de son Plan Qualité.

6.1.3 - Calendrier prévisionnel des travaux

Le calendrier prévisionnel des travaux est présenté, de manière graphique, en intégrant les contraintes environnementales éventuelles, de telle sorte qu'apparaissent :

- l'enchaînement des phases d'exécution, leur durée et, s'il y a lieu, les délais à respecter entre celles-ci ;
- les délais de fourniture et d'acceptation par le Maître d'œuvre des matériaux, des études de formulation et des épreuves de convenance ;
- s'il y a lieu, les contraintes liées à la présence de réseaux connus à déplacer ou en place ;
- en cas de réalisation d'ouvrages provisoires, le calendrier de réalisation correspondant ;
- les tâches et événements critiques, et leur enchaînement.

Ce calendrier est mis à jour périodiquement en phase d'exécution, en tant que de besoin.

Sa version finale constitue le calendrier d'exécution réalisé ; il est intégré aux éléments du dossier des ouvrages exécutés (DOE) à fournir par le titulaire après réception.

6.1.4 - Projet des installations de chantier (PIC)

Le projet des installations de chantier comporte la description, avec leurs caractéristiques et leurs phasages, des moyens et matériels principaux nécessaires à la bonne exécution des travaux, qu'ils soient positionnés à l'extérieur ou à l'intérieur de l'ouvrage à réaliser.

Il précise, en tant que de besoin :

- les dispositions envisagées pour l'implantation, l'édification et l'aménagement des ateliers, bureaux, locaux de sécurité et d'hygiène, magasins et aires de stockage des matériels et matériaux, laboratoires s'il y a lieu, et leurs raccordements aux différents réseaux ;
- les chemins de service, voies d'accès et aires de circulation de toute nature à l'intérieur du chantier, ainsi que les aires d'évolution des engins de manutention ;
- les parcs de stationnement des véhicules et des livraisons ;
- les installations particulières (montage ou fabrication d'éléments, gestion des déchets, etc..) ;
- les conditions d'accès au chantier, de stockage et de manutention des matériaux, composants, et autres produits ;
- les dispositions concernant la clôture, l'éclairage des installations ainsi que la signalisation du chantier.

Il prend en compte les exigences en matière de respect de l'environnement, et ainsi que celles en

matière d'hygiène et sécurité.

6.1.5 - *Projet des ouvrages provisoires*

En l'absence d'une répartition figurant au sein des pièces du marché, la liste répartissant les ouvrages provisoires par catégories (selon le risque associé vis-à-vis de la sécurité au travail, des tiers ou de l'ouvrage définitif) est fournie et justifiée par le titulaire en même temps que le programme d'exécution.

Cette liste est soumise au visa du maître d'œuvre.

Le projet des ouvrages provisoires comprend tous les documents nécessaires à leur définition, sous forme de dessins d'exécution, notices et consignes assortis de justifications correspondantes.

6.2 - Dispositions relatives aux études d'exécution

Les documents relatifs aux études d'exécution comprennent au minimum :

- une note d'hypothèses générales définissant les données d'entrée des études d'exécution fournies par le maître d'ouvrage (étude de sols,...) ou proposées par le titulaire ;
- des notes techniques justifiant le dimensionnement des ouvrages, ou parties d'ouvrages, tel que repris dans les plans d'exécution ;
- des plans d'exécution d'ensemble et de détails, définissant de manière précise et complète, les formes et la constitution des ouvrages à réaliser, de leurs composantes et de leurs assemblages.

Les études d'exécution sont soumises à visa du maître d'œuvre, selon l'échéancier fourni au sein du Plan Qualité.

Si le marché prévoit, notamment en regard de la complexité des travaux et des contraintes extérieures, le titulaire pourra synthétiser, au sein d'une ou plusieurs notes, les dispositions d'exécution prévues en réponse aux exigences spécifiées.

CHAPITRE II – SPECIFICATIONS DES PROCÉDES

Article 7 - PROPRIÉTÉS DES PROCÉDES D'ÉTANCHEITÉ

Le CCTP fixe les propriétés que les procédés d'étanchéité doivent posséder selon leur position dans l'ouvrage, leurs conditions de mise en œuvre, leur environnement prévisible à court et long terme et leur usage une fois mis en œuvre. Les définitions des principales propriétés exigées sont présentées ci-après.

Le CCTP précisera en outre, pour chaque propriété exigée, les performances minimales à atteindre par les procédés d'étanchéité, ainsi que les modes opératoires d'essais et les conditions de mesure de ces performances, si possible en référence aux normes homologuées. Il peut également faire référence à des procédures d'agrément formalisées (ex : avis technique du CETU).

Étanchéité

Le procédé doit être étanche dans les conditions d'emploi qui sont celles de l'ouvrage auquel il est destiné. Ainsi le procédé doit permettre d'obtenir un écran d'étanchéité, une imperméabilisation ou une structure relativement étanche. Le CCTP fixe les débits de fuite acceptables sur l'ouvrage ou chaque partie d'ouvrage.

Résistance à la fissuration

Un écran d'étanchéité du type adhérent au support doit conserver sa fonction d'étanchéité lors de l'apparition d'une fissure dans les conditions normalement prévisibles sur le support considéré. La valeur de l'ouverture maximale tolérée d'une fissure est une caractéristique du support fixée au CCTP. Le procédé d'étanchéité utilisé devra permettre de conserver les performances en termes d'étanchéité en cas d'apparition d'une fissure d'ouverture maximale.

Résistance aux agents agressifs

Les produits et tous les constituants du procédé d'étanchéité doivent assurer leurs fonctions malgré le vieillissement et l'action des agents minéraux, biologiques et chimiques dans les conditions normales de service.

Il s'agit :

- des caractéristiques physico-chimiques des eaux et des gaz au contact de l'étanchéité ;
- de l'alcalinité des bétons du support et du revêtement ;
- des végétations diverses, si les conditions d'emploi nécessitent d'apprécier ce risque ;
- des agents biologiques (micro-organismes etc.) ;
- des rayonnements comme les rayons UV, (si les conditions d'emploi conduisent à une exposition à ces rayonnements).

Résistance de la liaison avec le support

Les procédés d'étanchéité adhérents au support, doivent selon les conditions de service spécifiées au CCTP :

- résister à la pression ou contre-pression hydrostatique ;
- supporter sans dommage les efforts du terrain encaissant ;
- résister à la pression de gaz (dégazage du support sous sollicitations thermiques), dans le cas de procédés extradados non protégés ;
- éviter le cheminement de l'eau entre le procédé et le béton du support.

Tenue à la température

Le procédé d'étanchéité doit conserver ses caractéristiques fonctionnelles dans les conditions de cycles thermiques, de température comprise entre 5 °C et 25 °C, usuellement rencontrées dans les ouvrages souterrains, tant pendant le chantier que pendant la vie ultérieure de l'ouvrage. Dans le cas où les conditions de cycles thermiques attendues dépasseraient les limites ci-dessus, le CCTP fixe les limites à prendre en compte.

Aptitude à la réparation

L'aptitude à la réparation d'un procédé d'étanchéité est prise en compte différemment dans le cas de :

- procédé extradados mis en œuvre en indépendance ou en semi-indépendance, le procédé doit comporter un compartimentage et permettre l'injection de ces compartiments ;
- procédé extradados adhérent au support, l'eau ne peut pas circuler entre le support et l'étanchéité ; le défaut extérieur apparaît donc au niveau du défaut d'étanchéité et peut donc être traité par injection ;
- procédé intrados, le procédé d'étanchéité doit être réparable ; il doit présenter après réparation les mêmes caractéristiques que le système initial.

Adaptabilité au support et aux conditions de mise en œuvre

Le procédé d'étanchéité doit pouvoir être mis en œuvre, sans que ses qualités en soient altérées, sur le support tel qu'il est défini par le CCTP. Ce support est défini au CCTP par sa texture superficielle, sa géométrie, son degré d'humidité (sec, humide, ruisselant), etc... L'adaptabilité du procédé d'étanchéité est appréciée à partir des caractéristiques physico-mécaniques des produits le constituant.

Adaptabilité aux conditions d'hygiène et de sécurité pour la mise en œuvre

Les produits utilisés pour l'étanchement des ouvrages souterrains doivent pouvoir être mis en œuvre en milieu confiné en respectant les règles de sécurité adaptées à la nature des produits (ventilation, équipements de protection individuelle...)

La protection contre l'incendie repose à la fois sur des spécifications adaptées à la réaction au feu des procédés d'étanchéité, sur des dispositions de mise en œuvre visant à limiter l'étendue d'un éventuel incendie, et sur la mise à disposition de moyens d'intervention rapide.

Adaptabilité aux conditions d'hygiène, de santé et d'environnement

Les constituants ne doivent pas porter préjudice à l'hygiène, la santé et l'environnement.

Résistance aux chocs, à la déchirure et au poinçonnement

L'intégrité et la continuité de l'étanchéité ne doivent pas être altérées lors de l'exécution des autres parties de l'ouvrage notamment par :

- l'activité du chantier ;
- la pose des armatures et du coffrage de revêtement ;
- les efforts ou contraintes ayant pour origine les irrégularités ou la présence de fibres dans le béton du support lors de la mise en œuvre du béton de revêtement ;
- le recouvrement du procédé d'étanchéité avec du remblai.

Adaptabilité aux conditions d'exploitation de l'ouvrage en service

Le procédé d'étanchéité doit supporter les contraintes liées aux conditions d'exploitation de l'ouvrage prescrites au CCTP.

Pour les ouvrages routiers relevant du décret n° 2005-701 du 24 juin 2005, la réaction au feu des produits utilisés dans les procédés d'étanchéité mis en œuvre à l'intrados, doivent être classés A1 ou A2/s1/d0 (classifications correspondant à M0). Des produits classés A2/s1/d1, A2/s1 ou s3/d0 ou d1, B/s1 ou s2 ou s3/d0 ou d1 (classifications correspondant à M1) sont admis en revêtement latéral sous réserve de justifications particulières concernant l'absence de risque de propagation du feu dans les conditions d'utilisation en tunnels routiers.

Article 8 - CARACTERISTIQUES DES PROCEDES

Le CCTP fixe le ou les procédés issus de la liste ci-après qui sont admis pour l'étanchéité de l'ouvrage. Sauf stipulation contraire du C.C.T.P., l'entrepreneur soumet à l'acceptation du maître d'œuvre les caractéristiques et la provenance des procédés qu'il compte mettre en œuvre.

Dix familles de procédés sont principalement utilisées pour l'étanchement des ouvrages souterrains.

Ce sont :

- les géomembranes synthétiques en étanchéité d'extrados (géomembranes manufacturées thermoplastiques et translucides PVC-P) ;
- les feuilles bitumineuses en étanchéité d'extrados sur structures à remblayer, qui peuvent être utilisées seules ou avec une protection d'asphalte ;
- l'asphalte coulé en extrados ;
- les géomembranes bitumineuses ;
- les Systèmes d'Étanchéité Liquide (SEL) mise en œuvre à l'extrados ;
- les Systèmes d'Imperméabilisation Liquide (SIL) mise en œuvre à l'intrados ;
- les géosynthétiques bentonitiques ;
- les enduits d'imperméabilisation adjuvantés mis en œuvre à l'intrados ;
- les enduits d'imperméabilisation par minéralisation ;
- les joints de voussoirs pour les tunnels forés.

Si l'entreprise propose un procédé qui ne rentre pas dans l'une des dix familles désignées ci-après, elle fournira au maître d'œuvre des références, les caractéristiques du procédé permettant de vérifier que ce dernier présente les propriétés requises (cf. Article 7).

8.1 - Procédés à base de géomembranes synthétiques

L'étanchéité est assurée par une géomembrane synthétique (PVC) manufacturée puis assemblée sur chantier.

Les procédés à base de géomembranes synthétiques peuvent être utilisés pour l'étanchéité d'extrados, en voûtes ou dalles supérieures, en radiers et en piédroits des tunnels et tranchées couvertes. Ces géomembranes sont indépendantes du support et lorsqu'un liaisonnement est mis en œuvre, ce dernier est provisoire. Les géomembranes synthétiques sont toujours revêtues par un ouvrage en béton (voûte, dalle ou piédroit) ou un remblai.

Caractéristiques du procédé

Un procédé d'étanchéité à base de géomembranes synthétiques doit comprendre :

- un géotextile de protection inférieure ;
- une géomembrane d'étanchéité en PVC d'épaisseur supérieure ou égale à deux millimètres (2 mm) ;
- une protection supérieure constituée par une membrane synthétique ;
- des rondelles de fixation et/ou des tôles colaminées compatibles avec la géomembrane ;
- des profilés de compartimentage compatibles avec la géomembrane et des dispositifs d'injection.

Le procédé est éventuellement recouvert d'une protection complémentaire selon les prescriptions du CCTP.

Performances à atteindre

Le CCTP fixe les performances à atteindre par le procédé pour chacune des propriétés suivantes (cf. Article 7) :

- propriétés générales,
 - étanchéité,
 - caractéristiques en traction (allongement et contrainte à la rupture),
 - résistance au poinçonnement,
 - retrait libre ;
- propriétés relatives à la mise en œuvre,
 - planéité,

- translucidité,
- aspect,
- largeur,
- rectitude,
- soudabilité,
- souplesse ;
- comportement au feu ;
- Propriétés liées à la durabilité,
 - résistance aux micro-organismes,
 - comportement au contact de l'eau.

8.2 - Procédés par feuilles d'étanchéité à base de bitumes polymères

Les procédés par feuilles d'étanchéité à base de bitumes polymères peuvent être utilisés pour l'étanchéité d'extrados des dalles supérieures ou voûtes et des piédroits des tranchées couvertes et ouvrages de tête des tunnels. Ces feuilles sont adhésives en plein au support béton.

Elles se présentent sous différentes formes :

- feuilles Préfabriquées Monocouche adhésives à chaud (FPM) ;
- feuilles avec Protection par couche d'Asphalte (FPA) adhésives à chaud, en surface horizontale uniquement.

Elles nécessitent l'application d'une couche d'accrochage au béton qui est constituée :

- soit par un enduit d'imprégnation à froid (EIF) ;
- soit par un enduit bouche pore.

Ces enduits sont appliqués selon les préconisations des fabricants.

Elles nécessitent une protection mécanique supérieure avant remblai constituée par un géotextile ou une couche d'asphalte gravillonné et éventuellement une protection complémentaire telle que définie dans l'article 2 « Terminologie ».

8.2.1 - Procédés à base de feuilles préfabriquées monocouche (FPM)

Caractéristiques du procédé

Le procédé d'étanchéité FPM comprend :

- une couche d'accrochage au béton de ciment constituée d'un enduit d'imprégnation à froid ou d'un bouche-pore ;
- une feuille d'étanchéité en bitume polymère armé anti-racine d'épaisseur supérieure ou égale à quatre millimètres (4 mm) ;
- une protection supérieure constituée par un géotextile synthétique.

Le procédé est éventuellement recouvert d'une protection complémentaire selon les prescriptions du CCTP.

Performances à atteindre

Le CCTP fixe les performances à atteindre par le procédé pour chacune des propriétés suivantes (cf. Article 7) :

- propriétés générales,
 - étanchéité à l'eau,
 - caractéristiques en traction (allongement et contrainte à la rupture),
 - absorption d'eau,
 - résistance à la perforation,
 - résistance à la fissuration ;

- propriétés relatives à la mise en œuvre,
 - adhérence au support ;
- propriétés liées à la durabilité,
 - résistance à la pénétration aux racines.

8.2.2 - Feuilles avec protection par couche d'asphalte (FPA)

Caractéristiques du procédé

Le procédé d'étanchéité FPA comprend :

- une couche d'accrochage au béton de ciment constituée d'un enduit d'imprégnation à froid ou d'un bouche-pore ;
- une feuille d'étanchéité en bitume polymère armé, d'épaisseur supérieure ou égale à trois millimètres (3 mm) ;
- une protection supérieure en asphalte gravillonnée de vingt-cinq millimètres (25 mm) d'épaisseur.

Le procédé est éventuellement recouvert d'une protection complémentaire selon les prescriptions du CCTP.

Performances à atteindre

Le CCTP fixe les performances à atteindre par le procédé pour chacune des propriétés suivantes (cf. Article 7).

a) Feuille bitumineuse :

- propriétés générales,
 - étanchéité à l'eau,
 - caractéristiques en traction (allongement et contrainte à la rupture),
 - absorption d'eau,
 - résistance à la perforation,
 - résistance à la fissuration ;
- propriétés relatives à la mise en œuvre,
 - adhérence au support ;
- propriétés liées à la durabilité,
 - résistance aux racines.

b) Asphalte :

- propriétés générales,
 - étanchéité à l'eau,
 - résistance à l'indentation.

8.3 - Procédés à base d'asphalte coulé

Les procédés à base d'asphalte coulé peuvent être utilisés pour l'étanchéité d'extrados des dalles supérieures et des radiers. L'asphalte est appliqué en semi-indépendance pour les procédés bicouches et en adhérence totale au support pour les procédés monocouches.

Ils se présentent sous différentes formes :

- bicouche 8+22,
- monocouche.

8.3.1 - Procédé bicouche 8+22

Caractéristiques du procédé

Le procédé d'étanchéité bicouche 8+22 comprend :

- une couche d'accrochage au béton de ciment constituée d'un enduit d'imprégnation à froid ;
- un écran de semi-indépendance constitué d'un papier perforé ou d'une grille de verre ;
- une couche d'asphalte pur de huit millimètres (8 mm) d'épaisseur ;
- une couche d'asphalte gravillonné de vingt-deux millimètres (22 mm) d'épaisseur.

Le procédé est éventuellement recouvert d'une protection complémentaire selon les prescriptions du CCTP.

Performances à atteindre

Le CCTP fixe les performances à atteindre par le procédé pour chacune des propriétés suivantes (cf. Article 7) :

- propriétés générales,
 - étanchéité à l'eau,
 - résistance à l'indentation.

8.3.2 - Monocouche

Caractéristiques du procédé

Le procédé d'étanchéité monocouche comprend :

- un primaire d'accrochage au béton de ciment constitué d'un bouche-pore,
- une couche d'asphalte modifié d'épaisseur supérieure ou égale à vingt millimètres (20 mm),
- une protection complémentaire éventuelle.

Performances à atteindre

Le CCTP fixe les performances à atteindre par le procédé pour chacune des propriétés suivantes (cf. Article 7) :

- propriétés générales,
 - étanchéité à l'eau,
 - résistance à l'indentation,
 - poinçonnement dynamique,
 - comportement aux basses températures,
 - adhérence au support.

8.4 - Procédés à base de géomembranes bitumineuses

L'étanchéité est assurée par une géomembrane en bitume polymère armée, manufacturée puis assemblée sur chantier. L'utilisation de géomembranes à base de bitume oxydé est proscrite.

Les procédés à base de géomembranes bitumineuses peuvent être utilisés en tranchée couverte sans limite d'emprise pour l'étanchéité d'extrados des dalles ou voûtes supérieures, des piédroits ou voile verticaux et des radiers, ainsi que pour l'étanchéité des ouvrages de tête des tunnels.

L'étanchéité assurée par ces géomembranes est compartimentée et est mise en œuvre en indépendance.

Les géomembranes bitumineuses reçoivent une protection supérieure en géotextile, avec éventuellement une protection complémentaire, et sont ensuite recouvertes par un remblai en voûte, dalle et piédroit.

Caractéristiques du procédé

Un procédé d'étanchéité à base de géomembranes bitumineuses comprend :

- un géotextile de protection inférieure,
- une géomembrane d'étanchéité en bitume polymère armée anti-racine d'épaisseur supérieure ou égale à quatre millimètres (4 mm),

- un géotextile de protection supérieure,
- des bandes de compartimentage en bitume polymère armées soudées en plein après mise en œuvre d'un enduit d'imprégnation à froid,
- des profilés, compatibles avec la géomembrane, destinés au compartimentage du radier,
- des bandes de pontage des joints de géomembrane en bitume polymère armées, pour les parties situées sous radier,
- un système de traitement des joints actifs et de fractionnement.

Le procédé est éventuellement recouvert d'une protection complémentaire selon les prescriptions du CCTP.

Performances à atteindre

Le CCTP fixe les performances à atteindre par le procédé pour chacune des propriétés suivantes (cf Article 7) :

- propriétés générales,
 - étanchéité,
 - résistance à la traction (allongement et contrainte à la rupture),
 - résistance au poinçonnement ;
- propriétés relatives à la mise en œuvre,
 - aspect,
 - largeur,
 - résistance au cisaillement des joints,
 - souplesse à basse température ;
- propriétés liées à la durabilité,
 - résistance à l'oxydation,
 - résistance aux micro-organismes,
 - résistance à la pénétration des racines.

8.5 - Les systèmes d'étanchéité liquide (SEL)

Les systèmes d'étanchéité liquide sont utilisés pour l'étanchéité d'extrados des dalles supérieures ou voûtes et des piédroits des tranchées couvertes et ouvrages de tête des tunnels.

Les systèmes d'étanchéité liquide renforcés d'une armature sont utilisés pour l'étanchéité d'intrados des tunnels et tranchées couvertes courts, d'une longueur inférieure à trois cents mètres (300 m). Ils peuvent être utilisés pour l'étanchéité d'intrados des dalles supérieures ou voûtes et des piédroits.

L'étanchéité est assurée par un film mince, à base de résine synthétique, appliqué en place et adhérent au support béton.

Caractéristiques du procédé

Un SEL est un procédé constitué :

- d'une couche primaire d'accrochage,
- d'une ou plusieurs couches de résines synthétiques,
- d'une armature en cas d'utilisation intrados.

Le procédé est éventuellement recouvert d'une protection complémentaire selon les prescriptions du CCTP.

Performances à atteindre

Le CCTP fixe les performances à atteindre par le procédé pour chacune des propriétés suivantes (cf. Article 7) :

- propriétés générales,

- étanchéité à l'eau,
- résistance à la traction,
- résistance à la fissuration,
- adhérence au support ;
- propriétés relatives à la mise en œuvre,
 - dureté,
 - résistance au poinçonnement ;
- propriétés liées à la durabilité,
 - résistance au rayonnement ultraviolet.

8.6 - Les systèmes d'imperméabilisation liquide (SIL)

Les systèmes d'imperméabilisation liquide peuvent être utilisés pour l'imperméabilisation d'intrados des tunnels et tranchées couvertes courts, d'une longueur inférieure à trois cents mètres (300 m). Ils peuvent être appliqués à l'intrados des dalles supérieures ou voûtes et des piédroits.

L'étanchéité est assurée par un film mince, à base de résine synthétique, appliqué en place et adhérent au support béton.

Caractéristiques du procédé

Un SIL est un procédé constitué :

- d'une couche primaire d'accrochage,
- d'une ou plusieurs couches de résines synthétiques.

Performances à atteindre

Le CCTP fixe les performances à atteindre par le procédé pour chacune des propriétés suivantes (cf. Article 7) :

- propriétés générales,
 - étanchéité à l'eau,
 - résistance à la traction,
 - résistance à la fissuration,
 - adhérence au support,
 - résistance à la contre-pression ;
- propriétés relatives à la mise en œuvre,
 - dureté,
 - résistance au poinçonnement ;
- propriétés liées à la durabilité,
 - résistance au rayonnement ultraviolet.

8.7 - Les géosynthétiques bentonitiques

Les géosynthétiques bentonitiques (G.S.B) se présentent sous forme de produit manufacturé en forme de nappe constitué d'un assemblage de matériaux comportant au moins de la bentonite, en poudre ou granulé, assurant la fonction étanchéité et de un ou plusieurs géosynthétiques utilisés comme support ou conteneur.

Pour les ouvrages souterrains, la bentonite utilisée est généralement du type sodique, dont le minéral constitutif principal est une smectite de sodium.

Une structure de confinement (remblai, revêtement, radier, dalle,..) a pour fonction d'apporter une contrainte minimale uniformément répartie afin de limiter le gonflement de la bentonite et ainsi obtenir le niveau d'étanchéité requis. La pression de confinement sera supérieure à dix kilopascals (10 kPa).

Les géosynthétiques bentonitiques peuvent être utilisés pour l'étanchéité d'extrados des tranchées couvertes soumis ou non à une pression hydrostatique. Le domaine d'application est limité aux ouvrages soumis à une pression hydrostatique inférieure ou égale à deux dixièmes de mégapascal (0,2 MPa). Les géosynthétiques bentonitiques admis pour cette utilisation sont ceux ayant deux géotextiles aiguilletés ou cousus assurant la fonction de conteneur de la bentonite.

Ces géosynthétiques bentonitiques peuvent comporter sur l'une des faces un géofilm synthétique à base de polymère. Son épaisseur fonctionnelle est strictement inférieure à un millimètre (1 mm). Ce géofilm participe à la protection du géosynthétique bentonitique contre la préhydratation accidentelle qui serait provoquée par la circulation d'eau au niveau du support.

La mise en œuvre des géosynthétiques bentonitiques peut être envisagée pour l'étanchéité des tunnels forés soumis ou non à une pression hydrostatique sous réserve que les caractéristiques géométriques du support soient compatibles. Le domaine d'application est limité aux ouvrages soumis à une pression hydrostatique inférieure ou égale à deux dixièmes de mégapascal (0,2 MPa). Les géosynthétiques bentonitiques admis pour cette utilisation, doivent comporter sur une face un géofilm à base de polymère.

8.7.1 - Géosynthétiques bentonitiques sans géofilm

Caractéristiques du procédé

Pour les tranchées couvertes le procédé d'étanchéité à base de géosynthétique bentonitique seulement associé à des géotextiles comprend :

- en radier,
 - un géosynthétique bentonitique mis en œuvre directement sur le béton de propreté,
 - une protection supérieure qui par rapport au géosynthétique bentonitique, aura une fonction de mise hors d'eau et, ou de protection mécanique avant ferrailage ;
- en piédroits,
 - un géosynthétique bentonitique mis en œuvre en indépendance directement sur le béton du piédroit ou en fond de coffrage pour les ouvrages réalisés sans limite d'emprise ou sur le soutènement pour les ouvrages réalisés avec limite d'emprise ;
 - une protection supérieure éventuelle qui par rapport au géosynthétique bentonitique, aura une fonction de mise hors d'eau et, ou de protection mécanique vis-à-vis du remblaiement ;
- en dalle supérieure ou en voûte,
 - un géosynthétique bentonitique ;
 - une protection supérieure qui, par rapport au géosynthétique bentonitique, aura une fonction de mise hors d'eau et, ou une fonction de protection mécanique vis-à-vis du remblaiement,
 - en dalle supérieure, une protection supérieure par chape de béton grillagée de cinq centimètres (5 cm) d'épaisseur minimale ;
 - en voûte, une protection supérieure en géotextile éventuellement recouverte d'une couche de béton projeté armé d'un treillis soudé.

Performances à atteindre

Le CCTP fixe les performances à atteindre par le procédé pour chacune des propriétés suivantes (cf. Article 7) :

- propriétés générales,
 - masse surfacique,
 - masse de bentonite par unité de surface,
 - capacité d'auto-cicatrisation,
 - perméabilité à l'eau en surface courante et au recouvrement,

- indice de gonflement libre de la bentonite,
- résistance à la traction (allongement et contrainte à la rupture),
- résistance au poinçonnement statique,
- résistance à la déchirure ;
- propriétés liées à la durabilité,
 - résistance aux micro-organismes,
 - résistance chimique,
 - hydratation / dessiccation,
 - gonflement, flux et perméabilité ;
- propriétés liées à la sécurité,
 - comportement au feu.

8.7.2 - Géosynthétiques bentonitiques avec un géofilm

Caractéristiques du procédé

Pour les tranchées couvertes la composition du procédé d'étanchéité est identique à celle décrite au paragraphe 8.7.1 avec un géosynthétique bentonitique comportant sur une face un géofilm.

Pour les tunnels forés le procédé d'étanchéité à base de géosynthétique bentonitique associé à un géofilm comprend :

- en radier,
- un géosynthétique bentonitique mis en œuvre directement sur le béton de propreté ;
 - Une protection supérieure qui par rapport au géosynthétique bentonitique, aura une fonction de mise hors d'eau et, ou de protection mécanique avant ferrailage ;
- en voûte et piédroits,
 - un géosynthétique bentonitique mis en œuvre directement sur le soutènement de la voûte et des piédroits (béton projeté, voussoirs en béton, etc.) ;
 - aucune protection supérieure n'est à mettre en œuvre.

À la mise en œuvre, la face géofilm est toujours placée du côté du terrain naturel, côté par lequel l'eau atteint le géosynthétique bentonitique.

Performances à atteindre

Le CCTP fixe les performances à atteindre par le procédé pour chacune des propriétés suivantes (cf. Article 7) :

- propriétés générales,
 - masse surfacique,
 - masse de bentonite par unité de surface,
 - capacité d'auto-cicatrisation,
 - perméabilité à l'eau en surface courante et au recouvrement,
 - indice de gonflement libre de la bentonite,
 - résistance à la traction (allongement et contrainte à la rupture),
 - résistance au poinçonnement statique,
 - résistance à la déchirure ;
- propriétés liées à la durabilité,
 - résistance aux micro-organismes,
 - résistance chimique,
 - hydratation / Dessiccation,
 - gonflement, flux et perméabilité ;
- propriétés liées à la sécurité,
 - comportement au feu.

8.8 - Les enduits d'imperméabilisation adjuvés

Caractéristiques du procédé

On distingue deux types d'enduits.

- enduit mince

Ce type d'enduit d'imperméabilisation est constitué par un mortier hydraulique adjuvé, conditionné en usine, dont les constituants le rendent apte à être appliqué en couches minces.

- enduit épais

Ce type d'enduit d'imperméabilisation est constitué par un mortier hydraulique adjuvé, conditionné en usine, dont les constituants le rendent apte à être appliqué en couches épaisses.

L'application de l'un de ces enduits sur une surface béton constitue un enduit d'imperméabilisation caractérisé par :

- une perte de charge donnée pour une conductivité hydraulique faible. Le support béton reprend la pression hydrostatique et assure une première perte de charge ;
- une forte adhérence de l'enduit au support béton.

Ces enduits d'imperméabilisation peuvent être utilisés pour étancher l'intrados des tunnels et des tranchées couvertes. Ils s'appliquent sur des supports béton présentant une bonne compacité dans la masse. Ils sont adhérents au support et ne résistent pas à la fissuration de ce dernier. Ils sont donc complétés par des traitements de reprise de bétonnage et joints inertes, par des systèmes de pontage des joints actifs et par des injections des fissures pour constituer un procédé d'imperméabilisation.

Performances à atteindre

Le CCTP fixe les performances à atteindre par le procédé pour chacune des propriétés suivantes (cf. Article 7) :

- propriétés générales,
 - adhérence au support,
 - résistance à la contre-pression,

- résistance à la compression,
- module d'élasticité ;
- propriétés relatives à la mise en œuvre,
 - application en sous-face,
 - réparabilité ;
- propriétés liées à la durabilité,
 - résistance à l'immersion,
 - résistance au gel / dégel ;
- propriétés liées à la sécurité,
 - comportement au feu.

8.9 - Les enduits d'imperméabilisation par minéralisation

Caractéristiques du procédé

L'étanchéité des bétons à l'aide d'enduits d'imperméabilisation par minéralisation de surface est assurée par :

- une pénétration d'éléments actifs dans les capillaires du béton pour y former, par réaction chimique avec la chaux libre du béton, des cristaux insolubles,
- une réduction de la conductivité hydraulique de l'intrados du béton minéralisé sur quelques millimètres.

Les enduits peuvent être utilisés pour étancher l'intrados des tunnels et tranchées couvertes quelle que soit leur longueur. Ces enduits ont besoin d'un support béton présentant une bonne compacité dans la masse. Ils sont mis en œuvre en adhérence sur le support en béton dont les capillaires ont été préalablement ouverts par une préparation de support. Les produits actifs pénètrent dans le béton, réagissant avec la chaux libre pour former des cristaux insolubles.

Un autre type d'enduit d'imperméabilisation par minéralisation de surface est fréquemment utilisé en radier ; il s'agit d'un enduit mis en œuvre par saupoudrage sur le béton frais.

Ces enduits ne résistent pas à la fissuration du support et sont donc complétés par des traitements de reprise de bétonnage et joints inertes, par des systèmes de pontage des joints actifs et par des injections des fissures pour constituer un procédé d'imperméabilisation mince.

Performances à atteindre

Le CCTP fixe les performances à atteindre par le procédé pour chacune des propriétés suivantes (cf. article 7) :

- propriétés générales,
 - résistance à la contre-pression,
 - propriétés relatives à la mise en œuvre,
 - application en sous-face ;
- propriétés liées à la durabilité,
 - résistance à la carbonatation,
 - résistance au gel / dégel ;
- propriétés liées à la sécurité,
 - comportement au feu.

8.10 - Les joints de voussoirs

Ces joints sont mis en œuvre dans les tunnels forés, dont le revêtement est constitué de voussoirs préfabriqués en béton.

Lorsque les caractéristiques des voussoirs le permettent, des joints sont placés entre les voussoirs et

l'ensemble forme une structure relativement étanche, au sens de l'article 2 du présent fascicule.

Trois types de joint peuvent être utilisés pour obtenir une structure relativement étanche :

- joint compressible en élastomère,
- joint hydro-expansif,
- joint mixte associant à un joint compressible, un matériau hydro-expansif.

Les possibilités de mise en œuvre de ces joints sont définies ci-après :

- simple barrière d'étanchéité avec un des trois joints précités ;
- double barrière d'étanchéité en associant deux joints,
- joint compressible associé à un joint hydro-expansif,
- joint compressible associé à un autre joint compressible.

Dans tous les cas, les joints sont disposés sur les quatre faces du pourtour de chaque voussoir.

8.10.1 - Joint compressible en élastomère

Caractéristiques du joint

Ce procédé de joint d'étanchéité comprend :

- une colle de maintien mise en œuvre au pinceau ou au pistolet (extrusion ou projection) dans l'engravure du voussoir ;
- un joint manufacturé à base d'élastomère dont la géométrie est définie par les contraintes du projet. Le joint est livré sous forme de cadre préfabriqué ou bracelet et posé sur le voussoir en usine de préfabrication.

Performances à atteindre

Le CCTP fixe les performances à atteindre par le procédé pour chacune des propriétés suivantes (cf. Article 7) :

- propriétés générales,
 - dureté,
 - résistance à la traction (allongement et contrainte à la rupture),
 - déformation rémanente après compression,
 - résistance à l'ozone ;
- propriétés relatives à la mise en œuvre,
 - adhérence au support pendant la mise en œuvre des voussoirs,
 - étanchéité sous contraintes ;
- propriétés liées à la durabilité,
 - altération après vieillissement dans l'air,
 - relaxation.

8.10.2 - joint hydro-expansif

Caractéristiques du joint

Ce procédé de joint d'étanchéité comprend :

- une colle de maintien mise en œuvre au pinceau ou au pistolet (extrusion ou projection) dans l'engravure du voussoir ;
- un joint manufacturé multi-matériaux (hydro-expansif/hydro-expansif ou hydro-expansif/élastomère classique) dont la géométrie est définie par les contraintes du projet. Le joint est livré sous forme de rouleau, de cadre ou de bracelet. Il est collé sur chantier et raboté si celui-ci est livré en rouleau. En cas de stockage en plein air il doit être protégé de la pluie avant mise en œuvre dans le tunnel.

Performances à atteindre

Le CCTP fixe les performances à atteindre par le procédé pour chacune des propriétés suivantes (cf. Article 7) :

- propriétés générales,
 - densité,
 - dureté,
 - résistance à la traction (allongement et contrainte à la rupture),
 - résistance à l'ozone ;
- propriétés relatives à la mise en œuvre,
 - adhérence au support pendant la mise en œuvre des voussoirs,
 - étanchéité sous contraintes ;
- propriétés liées à la durabilité,
 - altération après vieillissement dans l'air,
 - force de réaction après vieillissement,
 - pression de fuite après vieillissement.

8.10.3 - Joint mixte

Caractéristiques du joint

Ce procédé de joint d'étanchéité comprend :

- une colle de maintien mise en œuvre au pinceau ou au pistolet (extrusion ou projection) dans l'engravure du voussoir ;
- un joint manufacturé à base d'élastomère (E.P.D.M) dont la géométrie est définie par les contraintes du projet. En partie supérieure ce joint reçoit un matériau hydro-expansif. Le joint est livré sous forme de cadre préfabriqué et assemblé en usine.

Le profilé compressible représente le composant de base et le profilé hydro-expansif est généralement emboîté dans la gorge ménagée ou coextrudée dans le premier profilé. Pour les spécifications, ce type de joint est traité comme un joint compressible, car la partie hydro-expansive est seulement complémentaire.

Performances à atteindre

Le CCTP fixe les performances à atteindre par le procédé pour chacune des propriétés suivantes (cf. Article 7) :

- propriétés générales,
 - dureté,
 - résistance à la traction (allongement et contrainte à la rupture),
 - déformation rémanente après compression,
 - résistance à l'ozone ;
- propriétés relatives à la mise en œuvre,
 - adhérence au support pendant la mise en œuvre des voussoirs,
 - étanchéité sous contraintes ;
- propriétés liées à la durabilité,
 - altération après vieillissement dans l'air,
 - relaxation.

CHAPITRE III – MODALITES D’EXECUTION DES TRAVAUX

Article 9 - QUALITE DU SUPPORT PREALABLE A LA MISE EN ŒUVRE DU PROCEDE D’ETANCHEITE

9.1 - Stipulation générale

La réception du support recevant l’étanchéité constitue un point d’arrêt au sens de l’assurance qualité. Si l’état du support n’offre pas les conditions minimales de mise en œuvre spécifiées dans les tableaux N°1 et 2 et les paragraphes ci-après, le titulaire est tenu de procéder aux rectifications et améliorations du support avant tout démarrage des travaux d’étanchéité.

9.2 - Les différents types de support

Les différents types de supports rencontrés en ouvrages souterrains sont :

- surface de béton coffré,
- surface de béton non coffré comme la face supérieure d'une dalle ou d'un radier,
- surface de béton projeté,
- surface de parois moulées,
- surface de soutènements métalliques (cintres, profilés métalliques et tôles),
- surface de soutènements divers (cintres et voûtelettes en béton projeté, berlinoises, parisiennes, etc..).

Les conditions minimales de mise en œuvre d'un procédé d'étanchéité sur un support en béton portent sur :

- l'état de surface caractérisé par sa planéité et sa rugosité,
- les caractéristiques du béton telles que la cohésion superficielle, l'adhérence des ragréages, la teneur en eau et l'âge du béton, pour les procédés adhérents au support.

Les conditions minimales de mises en œuvre d'un procédé d'étanchéité posé en indépendance sur un support constitué d'éléments métalliques ou de divers matériaux de soutènement portent sur :

- l'état de surface caractérisé par sa planéité, sa rugosité et d'éventuels désaffleurements,
- les points singuliers. tels que les arêtes vives, les dispositifs d'accrochage provisoires, etc...

9.3 - Stipulations particulières aux supports en béton

9.3.1 - Surface en béton recevant un procédé indépendant du support

Pour l'application de procédés mis en œuvre en indépendance tels que les procédés à base de géomembrane synthétique, de géomembrane bitumineuse ou de géosynthétique bentonitique, la surface du support doit avoir un aspect régulier et présenter les caractéristiques suivantes :

- planéité – niveau P(1) en référence au fascicule de documentation FD P18-503 ; les tolérances de forme correspondant au niveau P(1) sont fixées par rapport à un gabarit de deux mètres (2,00 m) et un gabarit de vingt centimètres (20 cm) ; la différence entre les écarts minimal et maximal par rapport au gabarit ne doit pas excéder les valeurs suivantes, quinze millimètres (15 mm) avec un gabarit de deux mètres (2,00 m) et six millimètres (6 mm) avec un gabarit de vingt centimètres(20 cm) ;
- délai de séchage minimal du béton supérieur à deux jours.

9.3.2 - Surface en béton recevant un procédé adhérent au support

Un support béton recevant un procédé adhérent doit présenter des caractéristiques de surface indiquées dans le tableau 1 ci-après.

Pour l'application des procédés adhérents tels que les enduits d'imperméabilisation et les procédés à base de bitumes polymères ou de résines polymérisable, la surface du support doit avoir un aspect fin et régulier et présenter les caractéristiques suivantes :

- planéité – niveau P(2) en référence au fascicule de documentation FD P18-503 ; les tolérances de forme correspondant au niveau P(2) sont fixées par rapport à un gabarit de deux mètres (2,00 m) et un gabarit de vingt centimètres (20 cm) ; la différence entre les écarts minimal et maximal par rapport au gabarit ne doit pas excéder les valeurs suivantes, huit millimètres (8 mm) avec un gabarit de deux mètres (2,00 m) et trois millimètres (3 mm) avec un gabarit de vingt centimètres (20 cm) ; ce critère ne s'applique pas aux enduits épais d'imperméabilisation ;
- texture – niveau E(2-2-3) en référence au fascicule de documentation FD P18-503 ; les tolérances de texture correspondant au niveau E(2-2-3) portent sur le bullage moyen réparti sur l'ensemble de la surface considérée (niveau E2), sur les zones de bullage concentré

(niveau E2), et sur la surface maximale d'un défaut localisé, mesurée en centimètres carrés et égale au produit du coefficient E(3) par une distance d'observation de deux mètres (2 m) ; pour les systèmes d'imperméabilisation liquide on retiendra un niveau E(3-3-3), pour les enduits minces un niveau E(2-2-0) et pour les enduits épais un niveau (1-1-0) ;

- profondeur moyenne de texture supérieure à un millimètre et demi ou un millimètre – $PMT \leq 1,5 \text{ mm}$ ou $1,0 \text{ mm}$ (cf. tableau 1) pour les supports horizontaux suivant la norme NF EN 13036-1 ;
- cohésion superficielle du support (y compris ragréage éventuel) supérieure à un mégapascal et demi (1,5 MPa) ;
- teneur en eau maximale inférieure à quatre pour cent et demi (4,5 %) ;
- délai de séchage minimal du béton (cf. tableau 1) ;
- absence en surface de laitance, de produits de cure, de coulis durci, de terre, argile, graisse, poussière ou autres souillures de chantier.

En relevé, le bouchage des bulles et petits trous du béton s'avère nécessaire.

9.3.3 - Voussoirs recevant des joints

Les joints d'étanchéité compressibles doivent être installés dans des gorges, dont les dimensions et positions doivent être en conformité avec les spécifications du fournisseur de joint.

Les joints d'étanchéité hydro-expansifs doivent être installés dans un volume libre, dont les dimensions doivent être en conformité avec les spécifications du fournisseur de joint. Les dispositions adoptées doivent permettre de respecter le bon fonctionnement des joints hydro-expansifs. Pour éviter tous risques d'éclatement de l'extrados des voussoirs, la distance minimale du joint hydro-expansif par rapport à la face extrados des voussoirs est égale à l'épaisseur de l'enrobage plus deux centimètres et ne doit pas être inférieure à trois centimètres, sauf dispositions contraires justifiées par des calculs ou par des essais.

Dans le cas de deux gorges proches, la distance minimale entre celles-ci devra être dimensionnée pour éviter tout risque d'épaufrure.

Les tolérances dimensionnelles du support doivent être spécifiées et prises en compte dans la plage de fonctionnement du joint.

Tableau n°1 : Exigences relatives au support béton

Procédés d'étanchéité	Délai de séchage minimal du béton	Teneur en eau maximale	Cohésion superficielle	Planéité P(n) selon FD P18-503	Texture E(n,m,p) selon FD P18-503	Profondeur Moyenne de Texture (PMT) selon NF EN 13036-1
Procédés mis en œuvre en indépendance						
Géomembrane synthétique	2 jours	Sans objet	Sans objet	$\leq 6 \text{ mm}$ $\leq 15 \text{ mm}$ P(1)	Sans objet	Sans objet
Géosynthétique bentonitique	2 jours	Sans objet	Sans objet	$\leq 6 \text{ mm}$ $\leq 15 \text{ mm}$ P(1)	Sans objet	Sans objet
Géomembrane bitumineuse	2 jours	Sans objet	Sans objet	$\leq 6 \text{ mm}$ $\leq 15 \text{ mm}$ P(1)	Sans objet	Sans objet

Procédés d'étanchéité	Délai de séchage minimal du béton	Teneur en eau maximale	Cohésion superficielle	Planéité P(n) selon FD P18-503	Texture E(n,m,p) selon FD P18-503	Profondeur Moyenne de Texture (PMT) selon NF EN 13036-1
Procédés mis en œuvre en semi-indépendance						
Asphalte bicouche	15 jours	<4,50%	> 1,5 MPa	≤ 3 mm ≤ 8 mm P(2)	E(2-2-3)	PMT ≤ 1,5 mm
Procédés adhérents						
Asphalte monocouche	15 jours	<4,50%	> 1,5 MPa	≤ 3 mm ≤ 8 mm P(2)	E(2-2-3)	PMT ≤ 1,5 mm
Feuille préfabriquée monocouche	15 jours	<4,50%	> 1,5 MPa	≤ 3 mm ≤ 8 mm P(2)	E(2-2-3)	PMT ≤ 1,5 mm
Feuille avec protection d'asphalte	15 jours	<4,50%	> 1,5 MPa	≤ 3 mm ≤ 8 mm P(2)	E(2-2-3)	PMT ≤ 1,5 mm
Système d'étanchéité liquide	21 jours voir ETAG 033	<4,50%	> 1,5 MPa	≤ 3 mm ≤ 8 mm P(2)	E(2-2-3)	PMT ≤ 1,5 mm
Système d'imperméabilisation liquide	21 jours	<4,50%	> 1,5 MPa	≤ 3 mm ≤ 8 mm P(2)	E(3-3-3)	PMT ≤ 1,0 mm
Enduit mince d'imperméabilisation adjuvanté	21 jours	Non ruisselant	> 1,5 MPa	≤ 3 mm ≤ 8 mm P(2)	E(2-2-0)	Sans objet
Enduit épais d'imperméabilisation adjuvanté	21 jours	Non ruisselant	> 1,5 MPa	≤ 3 mm ≤ 8 mm P(2)	E(1-1-0)	Sans objet
Enduit d'imperméabilisation par minéralisation	21 jours	Non ruisselant	> 1,5 MPa	≤ 3 mm ≤ 8 mm P(2)	E(2-2-3)	PMT ≤ 1,0 mm
Joint de voussoir compressible	Sans objet	Sans objet	>1,5 MPa	≤ 2 mm ≤ 5 mm P(3)	E(3-3-3)	Sans objet
Joint de voussoir hydro-expansif	Sans objet	Sans objet	>1,5 MPa	≤ 2 mm ≤ 5 mm P(3)	E(3-3-3)	Sans objet

9.4 - Stipulations particulières aux supports en béton projeté

L'épaisseur minimum du béton projeté est fixée à cinq centimètres (5 cm) en tous points, y compris

sur les zones de sous profils reprises par fraisage ou déroctage.

L'état de surface du béton projeté doit respecter les règles de rugosité définies ci-après:

- les agrégats utilisés doivent avoir un diamètre maximum de douze millimètres (12 mm) pour les matériaux roulés et dix millimètres (10 mm) pour les matériaux concassés ;
- des fibres métalliques souples peuvent être incorporées au béton projeté; dans ce cas la protection inférieure du procédé sera renforcée ;
- les têtes de boulons devront être enrobées de béton projeté ou de mortier de façon à respecter ces mêmes règles ;
- tous les dispositifs d'accrochage provisoire devront être coupés à ras du béton ;
- les venues d'eau devront être captées ou drainées suivant les recommandations A.F.T.E.S concernant le drainage (N° GT9R10F1 – TOS n°159 – 2000).

9.4.1 - Vérification de la géométrie générale des supports en béton projeté

Dans le cas de la mise en œuvre d'un procédé à base de géomembrane synthétique :

- le rayon minimum des bosses ou des creux devra être supérieur à vingt centimètres (20 cm) (avec deux centimètres de tolérance) mesuré suivant la procédure décrite dans l'annexe n°1 de la recommandation AFTES (N° GT9R8F1 – TOS n°150 – 1998) ;
- dans le cas de rayon inférieur constaté, la zone non conforme devra être reprise par mortier ou béton projeté pour les trous, et par fraisage ou déroctage pour les bosses avec ensuite un enduit au mortier ;
- pour les trous importants (hors profils...), la profondeur maximum ne devra pas dépasser trente-cinq centimètres (35 cm), avec une tolérance de cinq centimètres (5 cm), en appliquant au support une règle rigide de soixante-dix centimètres (70 cm) suivant la procédure décrite dans l'annexe n°1 de la recommandation AFTES (N° GT9R8F1 – TOS n°150 – 1998) ; dans le cas de profondeur supérieure, un remplissage avec du béton projeté devra être effectué.

Dans le cas de la mise en œuvre d'un procédé adhérent ou d'un géosynthétique bentonitique :

- pour appliquer un procédé adhérent ou un géosynthétique bentonitique sur un support en béton projeté la surface doit être dressée à la règle afin d'obtenir la planéité indiquée dans le tableau n°2 ci-après.

9.4.2 - Vérification de la rugosité du béton projeté

Dans le cas de la mise en œuvre d'un procédé à base de géomembrane synthétique :

- la rugosité du béton projeté devra faire l'objet d'un essai de convenance en début de chantier suivant la procédure décrite dans l'annexe n°2 de la recommandation AFTES (N° GT9RF8F1 – TOS n°150 – 1998) ;
- la réception du support consistera à contrôler cette rugosité par échantillonnage suivant cette même procédure ;
- dans le cas de profondeur maximum moyenne comprise entre dix-huit et vingt-cinq millimètres (18 et 25 mm) en piédroit (Pmp) et comprise entre vingt-cinq et trente millimètres (25 et 30 mm) en voûte (Pmv), on devra, sauf remise en conformité du support, renforcer la protection inférieure (cf. tableau n°1 de la recommandation AFTES – TOS n°150 – 1998) ;
- dans le cas où cette profondeur maximum moyenne dépasse vingt-cinq millimètres (25 mm) en piédroit, et trente millimètres (30 mm) en voûte, une nouvelle couche de béton projeté ou de mortier taloché manuellement devra être faite sur toute la surface de la zone considérée non conforme ; une nouvelle opération de réception du support devra alors être refaite sur la (les) zone(s) reprise(s).

Dans le cas de la mise en œuvre d'un procédé adhérent ou d'un géosynthétique bentonitique :

- après avoir dressé la surface du béton projeté à la règle une couche de fermeture sera

projetée pour obtenir la finition souhaitée (cf. Tableau n°2).

Tableau n°2 : Exigences relatives au support béton projeté

Procédés d'étanchéité	Délai de séchage minimal du béton	Teneur en eau maximale	Cohésion superficielle	Profondeur inférieure à (selon procédure TOS 150)	Texture (selon procédure TOS 150)	Planéité P(n) selon FD P 18-503
Procédés mis en œuvre en indépendance						
Géomembrane synthétique	2 jours	Sans objet	Sans objet	35 cm	Pmp ≤ 15 mm Pmv ≤ 20 mm	Sans objet
Géosynthétique bentonitique	2 jours	Sans objet	Sans objet	1 cm	Sans objet	≤ 6 mm ≤ 15 mm P(1)
Procédés adhérents						
Enduit épais d'imperméabilisation adjuvanté	21 jours	Non ruisselant	> 1,5 MPa	Sans objet	Sans objet	≤ 3 mm ≤ 8 mm P(2)
Enduit d'imperméabilisation par minéralisation	21 jours	Non ruisselant	> 1,5 MPa	Sans objet	Sans objet	≤ 3 mm ≤ 8 mm P(2)
Système d'imperméabilisation liquide	21 jours	<4,50%	> 1,5 MPa	Sans objet	Sans objet	≤ 3 mm ≤ 8 mm P(2)

9.5 - Stipulations particulières aux surfaces de parois moulées

Pour les surfaces de parois moulées, les stipulations relatives à la géométrie générale et à la rugosité des surfaces de béton projeté sont applicables.

Dans le cas de la mise en œuvre d'un procédé adhérent, un surfacage de la paroi moulée permettra d'obtenir la finition souhaitée (cf. Tableau n°2).

9.6 - Stipulations particulières aux surfaces de soutènements métalliques

Les désaffleurements entre cintres ou profilés métalliques et tôles ne devront pas excéder cinq centimètres (5 cm). Dans le cas de hauteur supérieure, ils devront être chanfreinés à 45° avec du mortier ou autres matériaux de type polystyrène ou similaire peu compressible eu égard aux pressions exercées à la mise en œuvre. Le matériau doit épouser parfaitement la surface du support et présenter une résistance minimale à la compression de quatre-vingt-dix kilopascals (90 kPa). Pour un remplissage en polystyrène, ce dernier sera de classe EM selon la norme NFT 56 201.

Les tôles entre cintres ou profilés devront être continues, en cas d'absences ponctuelles, un remplissage en béton sera effectué.

Toutes les arêtes vives (platines par exemple) devront être enrobées de mortier ou de béton projeté.

Tous les crochets, barres ou dispositifs divers d'accrochage provisoire devront être coupés au ras des cintres ou profilés.

Les venues d'eau devront être captées ou drainées suivant les recommandations A.F.T.E.S.

9.7 - Stipulations particulières aux surfaces de soutènements divers

Pour les soutènements composés d'un assemblage d'éléments métalliques et/ou d'éléments en béton, les stipulations des paragraphes ci-dessus sont applicables.

Les désaffleurements entre éléments préfabriqués (voussoirs ou dalles béton) ne devront pas excéder cinq centimètres (5 cm) et être chanfreinés au-delà.

Les trous de réservation dans les éléments préfabriqués (voussoirs ou dalles béton) devront être comblés au mortier.

Les entretoises devront être coupées à ras du support. Tous les dispositifs d'accrochage provisoire devront être supprimés.

Article 10 - ÉPREUVES DE CONVENANCE

Sauf disposition particulière prévue au CCTP, avant le démarrage des travaux d'étanchéité une zone d'essais est réalisée dans les conditions réelles du chantier, avec le procédé, les matériels et le personnel prévus par l'entreprise dans son plan d'assurance qualité.

Au vu du résultat, le maître d'œuvre autorise le démarrage des travaux d'étanchéité.

Article 11 - MISE EN ŒUVRE

11.1 - Procédés à base de géomembranes synthétiques

11.1.1 - Fixation de la géomembrane

La fixation localisée du complexe d'étanchéité sur le support se fera sans perforation de la géomembrane synthétique. Les fixations seront conçues et leur nombre sera déterminé d'une part pour tenir le complexe d'étanchéité jusqu'à la mise en œuvre de la structure intérieure et d'autre part pour se rompre en cas de mise en charge totale afin de désolidariser la géomembrane du support. Dans le cas d'une mise en charge excessive de la géomembrane, la déchirure doit avoir lieu dans la rondelle au niveau du clou de fixation, sans altération de la géomembrane.

En tranchée couverte la fixation du complexe doit être continue.

11.1.2 - Soudure des lés

Dans les zones des soudures, les géomembranes d'étanchéité seront nettoyées à la brosse à poils durs, et, si nécessaire, à l'eau savonneuse suivie d'un rinçage et d'un séchage efficaces.

Dans le cas des géomembranes en attente une réception après nettoyage sera faite par le maître d'œuvre.

Les géomembranes seront disposées avec un recouvrement au moins égal à dix centimètres. Les soudures des différentes géomembranes entre elles ne doivent présenter aucun défaut et s'étendre sur au moins deux fois un virgule cinq ($2 \times 1,5$) centimètre pour les doubles soudures automatiques et sur au moins trois centimètres (3 cm) pour les simples soudures manuelles. Les soudures au solvant sont exclues.

Les zones de « pontage » doivent être chanfreinées pour supprimer les surépaisseurs.

11.1.3 - Raccordement entre phases

Lorsque l'étanchéité est mise en place en plusieurs phases, la géomembrane d'étanchéité doit dépasser au minimum de quarante centimètres (40 cm) les arrêts de bétonnage ou de ferrailage.

L'entrepreneur doit soumettre au visa du maître d'œuvre les moyens de protection de la géomembrane en attente. Cette protection doit être renouvelée autant de fois que nécessaire, en cas de détérioration.

11.1.4 - Compartimentage

Le compartimentage sera réalisé avec des profilés préfabriqués et/ou des tôles colaminées, fixés au revêtement et sur lesquels la géomembrane est soudée. La surface maximale de compartimentage ne dépassera pas :

- trois cent cinquante mètres carrés (350 m²) si l'ouvrage est hors pression hydrostatique,
- deux cent cinquante mètres carrés (250 m²) lorsque l'ouvrage est soumis à une pression hydrostatique comprise entre zéro et trois mégapascals (0 et 3Mpa),
- deux cents mètres carrés (200 m²) si la pression hydrostatique dépasse trois mégapascals (3 MPa).

11.1.5 - Dispositif de contrôle et d'injection du compartimentage

Ce dispositif assure deux fonctions :

- contrôler l'efficacité du DEG,
- faciliter les réparations par injection d'un coulis chimique.

Des pipettes d'injection seront installées dans chaque compartiment. Le nombre de pipettes par compartiment doit être supérieur ou égal à cinq.

11.1.6 - Les protections

Les géomembranes synthétiques sont mises en œuvre en indépendance entre un support recouvert d'une protection inférieure et une protection supérieure ou un béton de revêtement. Le CCTP fixe

les caractéristiques des protections et les performances à atteindre par le procédé.

11.1.7 - Points singuliers

On appliquera les dispositions prévues par les fiches techniques du Plan d'Assurance Qualité pour le mode d'application de l'étanchéité au niveau des relevés, retombées, raccords et traversées d'étanchéité.

11.1.8 - Contrôles et essais

Les géomembranes étant translucides, une vérification visuelle des soudures sera effectuée conjointement par l'entrepreneur et le maître d'œuvre. La soudure doit être continue (pas de bulles ou canaux contenant de l'air) et sans résidus calcinés.

Au titre du contrôle intérieur, l'entrepreneur procédera au contrôle systématique de toutes les doubles soudures automatiques par gonflage à deux dixièmes de mégapascal (0,2 MPa) maintenu pendant quatre-vingt-dix secondes (90 s) et de toutes les simples soudures manuelles à la pointe sèche.

Au titre du contrôle extérieur, le maître d'œuvre procédera également à :

- des contrôles d'identification (un contrôle tous les quinze mille mètres carrés (15 000 m²) environ avec un minimum d'un contrôle par chantier) portant sur :
 - l'épaisseur,
 - la masse surfacique et volumique,
 - la dureté Shore A,
 - le plastifiant (nature et pourcentage),
 - la résistance à la rupture en traction,
- des contrôles de résistance au poinçonnement dynamique,
- des contrôles de soudure par gonflage,
- des contrôles destructifs des soudures à raison de un essai par cinq cents mètres carrés (500 m²) en moyenne. Pour chaque essai on prélèvera un échantillon de trente centimètres (30 cm) de soudure sur vingt centimètres (20 cm) de large, sur lequel seront effectués des essais de pelage ; la résistance obtenue devra être supérieure aux spécifications fixées par le CCTP.

11.2 - Procédés par feuilles d'étanchéité à base de bitumes polymères

11.2.1 - Procédés à base de feuilles préfabriquées monocouche

a) Couche d'accrochage

Elle est appliquée sur un support propre et sec, exempt de toutes matières sans cohésion (terre, argile, poussière, laitance, produit de cure, hydrocarbure..). L'application sur une surface humide ou sous la pluie est prohibée. Le produit doit recouvrir uniformément toute la surface du support béton, selon le dosage préconisé par le fabricant ; les manques sont repris et les accumulations sont éliminées.

b) Mise en œuvre de la feuille d'étanchéité

L'application sous la pluie ou sur un support humide est prohibée. La mise en œuvre en dessous de la température indiquée par le fabricant dans le cahier des charges du procédé est interdite. Le travail ne doit pas être entrepris avant que le support soit sec et les solvants de la couche d'accrochage évaporés, selon les préconisations de la fiche technique.

La mise en œuvre se fait par soudage en plein au support, par fusion superficielle de la sous-face de la feuille, suivi immédiatement d'un marouflage. Le soudage peut être réalisé manuellement ou avec des moyens mécanisés. Lorsque la mise en œuvre est manuelle, les joints seront repris à la spatule et au chalumeau afin de leur donner un profil biais au droit du recouvrement, de façon à parfaire leur soudure. Les lés seront placés avec un recouvrement longitudinal et transversal de soixante-dix millimètres (70 mm) minimum. Les joints transversaux seront décalés.

La pose des lés en partie courante s'effectue à partir des points bas (transversal et longitudinal) de l'ouvrage.

Le talon des relevés pourra être soudé sous ou sur la feuille.

Sur paroi verticale, les feuilles seront soudées dans le sens vertical et seront fixées mécaniquement en tête et tous les trois mètres de hauteur, à raison de quatre fixations au mètre linéaire.

c) Couche de protection

Le géotextile de protection sera lesté ou collé par point avec un produit agréé par le fabricant et compatible avec la feuille. Le remblaiement ou la protection complémentaire devra être réalisé dans un délai maximum de huit jours. Si ce délai ne peut être respecté en période ensoleillée, une protection thermique sera mise en œuvre.

d) Contrôles et essais sur chantier

1) Contrôle d'identification

La feuille fera l'objet d'une réception par le maître d'œuvre sur des échantillons prélevés dans l'approvisionnement du chantier. Au titre du contrôle extérieur, la feuille fera l'objet d'un contrôle d'identification (un contrôle tous les quinze mille mètres carrés (15 000 m²) environ avec un minimum d'un contrôle par chantier) portant sur :

- la Température Bille Anneau (TBA) du liant (semi-produit),
- la pénétrabilité à l'aiguille à 50 °C,
- l'épaisseur,
- la résistance à la traction et déformation à la force maximum à 20 °C.

2) Contrôle de la mise en œuvre

La mise en œuvre fera l'objet d'une réception par le maître d'œuvre avant l'application de la protection. La feuille ne doit présenter aucun pli, lésion, cloque, gonfle, etc. Toutes les zones mauvaises seront reprises. Il ne sera pas toléré de reprise par chauffage superficiel sans ouverture complète du défaut (soulèvement jusqu'à la zone d'adhérence).

Des essais d'adhérence seront exécutés selon la norme NF P98-282 ou la norme NF EN 13596, à la cadence moyenne d'un tous les deux cents mètres carrés (200 m²) avec un minimum de six essais par ouvrage. Les valeurs individuelles d'adhérence obtenues sur le chantier devront correspondre à une valeur supérieure à 4 dixièmes de mégapascal (0,4 MPa) à 20 °C. L'interprétation des résultats sera établie sur la base de la courbe de valeurs (contrainte de traction en fonction de la température de la feuille).

11.2.2 - Procédés à base de feuilles préfabriquées avec protection par couche d'asphalte

a) Couche d'accrochage (cf. paragraphe 11.2.1)

b) Mise en œuvre de la feuille d'étanchéité (cf. paragraphe 11.2.1)

La mise en œuvre se fait par soudage en plein au support, par fusion superficielle de la sous-face de

la feuille, suivi immédiatement d'un marouflage. Une pose en semi-indépendance peut être obtenue par transmission de chaleur lors du coulage de l'asphalte.

c) Mise en œuvre de la couche d'asphalte

Une couche d'asphalte gravillonné de vingt-cinq millimètres (25 mm) d'épaisseur est ensuite coulée sur la feuille bitumineuse.

d) Contrôles et essais sur chantier

La feuille fera l'objet de contrôles d'identification et de mise en œuvre comme indiqué au paragraphe 11.2.1.

Pour caractériser l'asphalte gravillonné, un essai d'indentation sera réalisé suivant la norme NF EN 12697-21 au titre du contrôle extérieur.

11.3 - Procédés à base d'asphalte coulé

11.3.1 - En radier

Les complexes 8+22 et monocouche sont posés en indépendance sur papier kraft non perforé ou sur un non tissé synthétique.

Les parties verticales formant les relevés et réalisés en feuilles bitumineuses sont adhérentes au support.

11.3.2 - En dalle supérieure

Pour un complexe bicouche en asphalte 8+22, un enduit d'imprégnation à froid bitumineux est appliqué sur le support, puis un papier perforé ou une grille de verre est déroulé sur celui-ci.

De l'asphalte pur est coulée sur l'écran de semi-indépendance, puis de l'asphalte gravillonné est mis en œuvre sur l'asphalte pur, avec décalage des joints de coulées de dix centimètres (10 cm) minimum.

Pour un complexe monocouche, un bouche pore est appliqué sur le support, puis une couche d'asphalte est mise en œuvre en adhérence.

Les parties verticales formant relevés ou retombées et réalisées en feuilles bitumineuses sont adhérentes au support.

11.3.3 - Contrôles et essais sur chantier

a) Contrôle d'identification

Pour caractériser l'asphalte gravillonné un essai d'indentation sera réalisé suivant la norme NF EN 12697-21 au titre du contrôle extérieur.

b) Contrôle de la mise en œuvre

L'entrepreneur et le maître d'œuvre procéderont à des contrôles de la température des matériaux à la mise en œuvre.

11.4 - Procédés à base de géomembranes bitumineuses

11.4.1 - Disposition Générale

La géomembrane sera mise en œuvre conformément aux prescriptions définies dans le cahier des charges du procédé.

La géomembrane est posée en indépendance en partie courante et les lés sont soudés entre eux à la flamme. Elle peut être soudée en pied d'ouvrage ou raccordée à l'étanchéité du radier.

La pose est réalisée à partir du sommet de la voûte ou dans le cas d'ouvrages cadres à partir de la partie horizontale haute. Les lés de géomembranes seront mis en œuvre transversalement à l'axe de l'ouvrage.

11.4.2 - Soudure des lés

Les joints longitudinaux auront un recouvrement de vingt centimètres (20 cm) de large au minimum. Les soudures en about de lés seront réalisées sur une largeur de vingt centimètres (20 cm) minimum.

Dans le cas particulier des sous-faces des radiers, les joints de géomembrane devront être pontés via une bande de membrane en bitume polymère armée de vingt centimètres (20 cm) de large minimum.

Après déroulement et positionnement des lés, la soudure sera réalisée en soulevant le lé supérieur et en chauffant ensemble les deux lés avant marouflage. Le marouflage sera exécuté, immédiatement derrière la soudure, tant que le bitume est encore chaud.

11.4.3 - Fixation mécanique en paroi verticale

En paroi verticale, tous les trois mètres (3 m) de hauteur, la géomembrane bitumineuse sera fixée mécaniquement dans le sens horizontal à raison de quatre fixations au mètre linéaire. Ces fixations sont recouvertes par une bande de membrane bitumineuse de vingt centimètres (20 cm) de large soudée en plein sur la géomembrane.

Cette disposition ne s'applique pas dans le cas des ouvrages voûtes permettant une pose symétrique des lés, de part et d'autre de l'axe de la voûte.

11.4.4 - Compartimentage

En couverture et voiles verticaux, la surface maximale de compartimentage ne dépassera pas la valeur de trois cent cinquante mètres carrés (350 m²) si l'ouvrage est hors pression hydrostatique, de deux cent cinquante mètres carrés (250 m²) lorsque l'ouvrage est soumis à une pression hydrostatique comprise entre zéro et trois mégapascals (0 et 3 MPa) et de deux cents mètres carrés (200 m²) si la pression hydrostatique dépasse trois mégapascals (3 MPa). Le compartimentage est réalisé avec les bandes de membranes bitumineuses soudées en plein sur le support béton après mise en œuvre de l'enduit d'imprégnation à froid. La géomembrane bitumineuse est ensuite directement soudée sur les bandes de compartimentage.

Sous radier, la surface maximale de compartimentage ne dépassera pas la valeur de deux cent cinquante mètres carrés (250 m²). Le compartimentage est réalisé avec des profilés directement soudés sur la géomembrane.

11.4.5 - Dispositif de contrôle et d'injection du compartimentage

Ce dispositif assure deux fonctions :

- contrôler l'efficacité du DEG,
- faciliter les réparations par injection d'un coulis chimique.

Des pipettes d'injection seront installées dans chaque compartiment. Le nombre de pipettes par compartiment horizontal doit être supérieur ou égal à cinq.

11.4.6 - Les protections

Les géomembranes en bitume polymère sont mises en œuvre en indépendance entre un support recouvert d'une protection inférieure et une protection supérieure. Le CCTP fixe les caractéristiques des protections et les performances à atteindre par le procédé.

11.4.7 - Points singulier

On appliquera les dispositions prévues par le cahier des charges du procédé pour le mode d'application de l'étanchéité au niveau des relevés, retombées, raccords, et traitement des joints.

11.4.8 - Contrôles et essais sur chantier

a) Contrôle d'identification

La géomembrane bitumineuse fera l'objet d'une réception par le maître d'œuvre sur des échantillons prélevés dans l'approvisionnement du chantier. Au titre du contrôle extérieur, la feuille fera l'objet d'un contrôle d'identification (un contrôle tous les quinze mille mètres carrés (15 000 m²) environ avec un minimum d'un contrôle par chantier) portant sur :

- la Température Bille Anneau (TBA) du liant (semi-produit),
- la pénétrabilité à l'aiguille à 50 °C,
- la résistance à la traction et déformation à la force maximum à 20 °C,
- l'épaisseur.

b) Contrôle de la mise en œuvre

Le contrôle des soudures, effectué par l'entrepreneur et vérifié par le maître d'œuvre, sera particulièrement soigné. Il conviendra de veiller à ce que toute la surface du joint soit bien soudée.

- Contrôle non destructif

L'entrepreneur et le maître d'œuvre procéderont à des contrôles non destructifs du type contrôle à la pointe ou à la lance à air (air sous pression cinq cents kilopascals (500 kPa)).

- Contrôle destructif

Le maître d'œuvre procédera également à des contrôles destructifs des soudures à raison d'un essai par quatre cents mètres carrés (400 m²) en moyenne. Pour chaque essai on prélèvera un échantillon de quarante centimètres (40 cm) de soudure sur trente centimètres (30 cm) de large sur lequel seront effectués des essais de traction par cisaillement. La résistance obtenue devra être supérieure aux spécifications fixées par le CCTP.

11.5 - Les systèmes d'étanchéité liquide (SEL)

11.5.1 - Réalisation des mélanges des constituants

Si l'entrepreneur ne dispose pas de matériel de dosage parfaitement fiable, il sera utilisé des kits prédosés. Le mélange des composants doit être homogénéisé. L'agitation doit être assurée mécaniquement pendant le temps indiqué dans le cahier des charges du procédé.

Le préchauffage des produits à l'intérieur de récipients sur la flamme directe d'un feu est interdit. Il est possible de réchauffer les produits dans des conteneurs munis de résistance chauffante, ou de ceintures, plaques, couvertures électriques chauffantes, pour obtenir la température définie dans le cahier des charges du procédé. Les températures doivent être régulées pour ne pas surchauffer les résines.

11.5.2 - Application

Dans le cas d'utilisation de pistolet doseur mélangeur, les premières émissions du produit sont faites obligatoirement sur une zone en dehors de la surface à traiter ou dans un récipient. La machine de projection doit être équipée d'un système de contrôle du mélange des composants (contrôle de la différence de pression entre les composants...).

L'application sur un support mouillé est interdite. Les produits ne sont pas appliqués à un degré hygrométrique ambiant inférieur ou égal à la valeur spécifiée dans le cahier des charges du procédé.

La mise en œuvre en dessous de la température basse et au-dessus de la température haute indiquée dans le cahier des charges du procédé est interdite.

Les temps d'attente entre couches successives indiqués dans le cahier des charges du procédé seront scrupuleusement respectés.

11.5.3 - Épaisseur du film

Sur les surfaces horizontales, l'épaisseur minimale sera de un millimètre et demi (1,5 mm) et l'épaisseur moyenne de 2 millimètres (2 mm) au moins.

Sur les surfaces verticales, l'épaisseur minimale sera de un millimètre (1 mm) et l'épaisseur moyenne de un millimètre et demi (1,5 mm) au moins.

La mise en œuvre fera l'objet d'un suivi des consommations des produits appliqués sur des surfaces élémentaires, permettant de contrôler l'épaisseur moyenne.

Les temps d'attente entre couches successives indiqués dans le cahier des charges du procédé seront scrupuleusement respectés.

11.5.4 - Bullage

La surface visible du film ne doit présenter ni bulles ni trous d'épingle. Dans le cas contraire ils devront être bouchés. Le cahier des charges indiquera les produits de bouchage compatibles.

11.5.5 - Contrôles et essais

Les essais réalisés en cours de chantiers sont choisis parmi les essais d'agrément. Leur fréquence est indiquée au CCTP.

a) Contrôle d'identification

Les produits feront l'objet d'une réception par le maître d'œuvre sur des échantillons prélevés dans l'approvisionnement du chantier. Au titre du contrôle extérieur, les produits feront l'objet d'un contrôle d'identification (un contrôle tous les quinze mille mètres carrés (15 000 m² environ, avec un minimum d'un contrôle par chantier) portant sur :

- la masse volumique, l'extrait sec, la teneur en cendres et la viscosité,
- la nature des composants (par spectre infrarouge),
- la dureté Shore A à deux jours et sept jours (à 20 °C),
- la résistance à la traction et la déformation à la force maximum à 23 °C.

b) Contrôle de la mise en œuvre

La mise en œuvre fera l'objet d'une réception par le maître d'œuvre avant l'application d'une éventuelle protection. Tous les défauts d'application tels que bullage ou épaisseur insuffisante du film seront repris.

Des contrôles d'ambiance, température et hygrométrie, seront effectués quotidiennement (matin et soir) et à chaque changement de conditions météorologiques.

Des mesures de dureté Shore seront effectuées quotidiennement.

Des essais d'adhérence et des contrôles d'épaisseur seront exécutés à la cadence moyenne d'un tous les deux cents mètres carrés (200 m²) avec un minimum de six essais par ouvrage. Les valeurs individuelles d'adhérence obtenues sur le chantier devront atteindre un mégapascal et demi (1,5 MPa) selon la norme NF EN 13578.

Les défauts de continuité seront repérés au balai diélectrique.

11.6 - Les systèmes d'imperméabilisation liquide (SIL)

11.6.1 - Mise hors d'eau

La surface du béton peut-être saturée en eau mais non ruisselante le support doit avoir un aspect mat.

Pour cela le support est mis hors d'eau en rabattant la nappe phréatique et si nécessaire par pose de drains de décharge ou par injection ou pour les petits suintements, par blocage aux accélérateurs de prise.

11.6.2 - Préparation du support

Le support est préparé par tous procédés mécaniques (haute pression, rabotage, hydrosablage, grenailage...) de manière à obtenir un support rugueux.

Les reprises de bétonnage et fissures du béton sont traitées par calfeutrement, pontage ou injection.

Des congés sont réalisés dans tous les angles rentrants.

11.6.3 - Réalisation des mélanges des constituants

Cf paragraphe 11.5.1

11.6.4 - Application

Cf paragraphe 11.5.2

11.6.5 - Épaisseur du film

Cf paragraphe 11.5.3

11.6.6 - Bullage

Cf paragraphe 11.5.4

11.6.7 - Contrôles et essais

Cf paragraphe 11.5.5

11.7 - Les géosynthétiques bentonitiques

Dans le cas de la mise en œuvre d'un GSB avec géofilm, la face géofilm doit être placée du côté du terrain naturel, côté par lequel l'eau atteint le GSB.

11.7.1 - Mise en œuvre sous radier

Dans tous les cas, un béton de propreté sera mis en œuvre et devra être soigneusement dressé à la règle.

Les défauts de planéité et de rugosité de surface, conformément au tableau de l'article 9.3 du présent document, devront être supprimés. Les angles vifs devront être chanfreinés.

Les lés de GSB pourront être appliqués sous toutes températures, sur support sec ou humide. Néanmoins, il faut s'assurer de l'absence d'eau stagnante en surface.

La mise en œuvre est interdite en cas de pluie.

Dans le cas de la mise en œuvre d'un GSB avec géofilm, la face géofilm devra être mise en œuvre côté béton de propreté.

Le raccordement entre lés de GSB avec géofilm se fera par recouvrement, conformément au Cahier des Charges du procédé. À titre indicatif un recouvrement minimal de vingt centimètres (20 cm) devra être spécifié pour un ouvrage sans pression hydrostatique ou avec une pression hydrostatique inférieure à un dixième de mégapascal (0,1 MPa) et devra être de trente centimètres (30 cm) pour une pression hydrostatique comprise entre un et deux dixièmes de mégapascal (0,1 et 0,2 MPa).

Le calepinage de pose des lés devra prévoir le décalage des raccordements afin d'éviter les points quadruples (superposition de quatre lés).

Le bétonnage du radier devra toujours être réalisé dans le sens des recouvrements des rouleaux de GSB.

La mise hors d'eau et la protection mécanique du GSB devront être effectuées à l'avancement, et réalisées par la mise en œuvre d'une chape de béton de cinq centimètres (5 cm) d'épaisseur minimum. De manière à faciliter le compartimentage du GSB, une réservation pourra être réalisée au niveau de cette protection conformément au cahier des charges du procédé.

Dans le cas particulier d'une structure intégrée, avec le radier liaisonné mécaniquement au soutènement, le traitement de la jonction radier soutènement devra faire l'objet d'une étude particulière.

11.7.2 - Mise en œuvre en vertical sur soutènement ou piédroit

a) Chantiers avec limite d'emprise

Le support devra être conforme à l'article 9 du présent document.

Les lés de GSB seront fixés mécaniquement sur le soutènement conformément au cahier des charges du procédé.

Les lés de GSB devront être tenus en tête par une fixation mécanique continue.

Le raccordement entre lés de GSB sera réalisé par recouvrement, conformément au cahier des charges du procédé. À titre indicatif, la largeur minimale du recouvrement ne devra pas être inférieure à vingt centimètres (20 cm) selon la hauteur d'eau.

Les raccordements verticaux et horizontaux seront fixés mécaniquement, à raison de quatre fixations au mètre linéaire.

Le bétonnage devra toujours être réalisé dans le sens des recouvrements des lés.

b) Chantiers sans limite d'emprise

- **Pose sur piédroits ou voiles coulés**

Le support devra être conforme à l'article 9.3 du présent document.

Les trous de banches, préalablement obturés par le gros œuvre, et les reprises de bétonnage seront traitées conformément au cahier des charges du procédé.

Les lés de GSB devront être tenus en tête par une fixation mécanique continue. La hauteur ne devra pas dépasser trois mètres cinquante (3,50 m), sauf dispositions particulières prévues par le cahier des charges du procédé.

Pour des hauteurs supérieures à trois mètres cinquante (3,50 m), des fixations intermédiaires seront mises en œuvre.

Le raccordement entre lés de GSB sera réalisé par recouvrement, conformément au Cahier des Charges du procédé sur une largeur fonction de la hauteur d'eau.

Les raccords verticaux et horizontaux sont fixés mécaniquement à raison de quatre fixations au mètre linéaire.

Une protection mécanique du type géotextile, sera mise en œuvre, conformément au cahier des charges du procédé.

Le remblaiement sur le GSB sera réalisé conformément aux préconisations du cahier des charges du procédé, relatives à la nature du matériau de remblaiement et sa mise en œuvre.

- **Pose sur coffrage**

Les lés sont posés sur l'intérieur de la banche extérieure du voile.

Les lés de GSB devront être tenus en tête de coffrage et selon les dispositions du cahier des charges du procédé

Le raccordement entre lés de GSB sera réalisé par recouvrement, conformément au cahier des charges du procédé. À titre indicatif la largeur minimale du recouvrement ne devra pas être inférieure à vingt centimètres (20 cm).

Le bétonnage devra toujours être réalisé dans le sens des recouvrements des lés.

11.7.3 - Mise en œuvre sur dalle ou voûte

Le support devra être conforme à l'article 9.3 du présent document.

En fonction du procédé et avant la mise en œuvre du GSB, de la bentonite granulaire peut être répartie uniformément sur la dalle à raison de cinq cents grammes par mètre carré (0,5 kg/m²). Cette disposition n'est pas nécessaire dans le cas d'ouvrages voûtés, du fait de leur géométrie.

Le raccordement entre lés de GSB sera réalisé par recouvrement, conformément au cahier des charges du procédé. À titre indicatif la largeur minimale du recouvrement ne devra pas être inférieure à vingt centimètres (20 cm).

Les raccords des abouts de lés de GSB devront être décalés de trente centimètres (30 cm) minimum.

Pour les dalles, une protection mécanique du type chape béton grillagé, d'une épaisseur minimale de cinq centimètres (5 cm), devra être mise en œuvre dans les plus brefs délais. Pour les ouvrages voûtés, cette protection mécanique pourra être un géotextile non tissé, dont la masse surfacique et les caractéristiques physico-mécaniques devront être conformes au Cahier des Charges du procédé.

- **Protection mécanique**

La contrainte minimale apportée par les matériaux de confinement (remblai ou béton) est supérieure à dix kilopascals (10 kPa). L'épaisseur de remblai sur la dalle ne doit pas être inférieure à cinquante centimètres (50 cm) en climat de plaine et à quatre-vingts centimètres (80 cm) en climat de montagne.

Dans le cas où l'épaisseur du remblai est inférieure à deux mètres, les végétaux « hautes tiges » doivent être situés à au moins deux mètres de la périphérie de la dalle de couverture. Les végétaux indiqués en Annexe B de la NF P84-204-1-1 en date du 2004-11-01 (DTU 43.1) sont interdits.

Les protections sont indispensables dans les cas où les matériaux de remblais comportent des éléments d'une granulométrie supérieure à quarante millimètres (40 mm). Leur dimensionnement sera déterminé après identification de la granulométrie du remblai (voir chapitre remblai).

La mise en œuvre d'une dalle de béton de cinq centimètres (5 cm) d'épaisseur est obligatoire si la hauteur du remblai est inférieure à un mètre. La pose d'un grillage avertisseur de couleur doit être réalisée, quelle que soit la hauteur du remblai.

Sous voirie lourde, la mise en œuvre d'une dalle béton armé de dix centimètres (10 cm), est obligatoire si la hauteur du remblai est égale ou inférieure à cinquante centimètres (50 cm).

- **Remblai**

La réception de l'étanchéité avant remblai est obligatoire. Les remblais doivent être mis en place à l'avancement.

Les matériaux de remblaiement doivent être conformes aux recommandations du fascicule 12 du CFG. Le matériau ne doit pas présenter de granulats susceptibles de poinçonner le géosynthétique bentonitique :

- dimension des plus gros éléments quarante millimètres (40 mm),
- coefficient d'uniformité du matériau supérieur à dix.

La dérogation à ces recommandations doit faire l'objet d'une étude particulière, validée par une planche d'essai.

Le remblai est mis en œuvre par couches successives de trente centimètres (30 cm) d'épaisseur environ. Le compactage doit être à la densité minimum de 95 % du Proctor normal. Un soin particulier doit être apporté afin d'éviter toute dégradation du GSB. **Important** : Les remblais doivent être exécutés en respectant la pose en tuile du GSB.

11.7.4 - Livraison et contrôle

a) Livraison

Les lés de GSB peuvent être stockés à l'extérieur, non déballés, sur une surface hors d'eau, sans accidents et sur une hauteur maximum de cinq rangées pour éviter la déformation des rouleaux.

b) Les contrôles d'identification

Les géosynthétiques bentonitiques font l'objet d'une réception par le maître d'œuvre sur des échantillons prélevés lors de l'approvisionnement du chantier. Les contrôles portent notamment sur :

- la gestion de la qualité dans l'usine de fabrication,
- le conditionnement dont l'étiquetage,
- la nature du produit,
- l'indice de gonflement libre de la bentonite,
- la masse surfacique ou volumique, épaisseur nominale, densité, aspects,
- la masse de bentonite par unité de surface,
- les caractéristiques mécaniques,
- la mesure du gonflement avec l'eau du site, et la mesure de la perméabilité correspondante.

c) Les contrôles de mise en œuvre

Les contrôles des raccordements et du calepinage, effectués par l'entrepreneur et vérifiés par le maître d'œuvre, seront particulièrement soignés.

11.8 - Les enduits d'imperméabilisation adjuvés

11.8.1 - Mise hors d'eau

La surface du support en béton peut-être saturée en eau mais non ruisselante et doit avoir un aspect mat.

Pour cela le support est mis hors d'eau en rabattant la nappe phréatique et si nécessaire par pose de drains de décharge ou par injection ou pour les petits suintements par blocage aux accélérateurs de prise.

11.8.2 - Préparation de la surface

Le support est préparé par tous procédés mécaniques (haute pression, rabotage, hydrosablage, grenailage...) de manière à obtenir un support rugueux.

Les reprises de bétonnage et fissures du béton sont traitées par calfeutrement, pontage ou injection.

Des congés sont réalisés dans tous les angles rentrants.

11.8.3 - Mise en œuvre

Le support est humidifié et reçoit éventuellement une couche d'accrochage.

La préparation du mortier consiste à ajouter de l'eau ou un latex à une poudre sable et ciment prête à l'emploi, puis à gâcher l'ensemble jusqu'à l'obtention d'un mortier.

Le mortier est appliqué sur le support soit à l'aide d'une lisseuse ou à la brosse ou par projection.

L'enduit est appliqué habituellement en deux couches en piédroit et en voûte, et une couche en radier.

La mise en œuvre doit être réalisée sur un support non condensant.

Dans le cas de murs en retours délimitant des garages, niches ou autres locaux techniques, l'enduit sera retourné de part et d'autre sur au moins un mètre.

11.8.4 - Épaisseur

a) Enduit mince

Sur les surfaces verticales et en voûte, l'épaisseur moyenne est de trois millimètres (3 mm) avec un minimum local de deux millimètres et demi (2,5 mm).

En horizontal, l'épaisseur moyenne est de quatre millimètres (4 mm) avec un minimum local de trois millimètres et demi (3,5 mm).

b) Enduit épais

Sur les surfaces verticales et en voûte, l'épaisseur moyenne est de dix millimètres (10 mm) avec un minimum local de neuf millimètres et demi (9,5 mm).

En horizontal, l'épaisseur moyenne est de huit millimètres (8 mm) avec un minimum local de sept millimètres et demi (7,5 mm).

11.8.5 - Contrôles

Les contrôles porteront notamment sur les points suivants :

- l'adhérence est contrôlée par un essai de traction directe sur une pastille collée en surface ;
- la présence d'un congé dans tous les angles ;
- le traitement des retours techniques ;
- l'absence d'arrivée d'eau sachant que localement la présence de traces d'humidité sans écoulement est admise.

11.9 - Les enduits d'imperméabilisation par minéralisation

11.9.1 - Mise hors d'eau

La surface du support en béton peut-être saturée en eau mais non ruisselante et doit avoir un aspect mat.

Pour cela le support est mis hors d'eau en rabattant la nappe phréatique et si nécessaire par pose de drains de décharge ou par injection ou, pour les petits suintements, par blocage aux accélérateurs de prise.

11.9.2 - Préparation de surface

Le support est préparé par nettoyage de la surface à haute pression (supérieure à quatre cents bars) de manière à la débarrasser de la pellicule de laitance et d'ouvrir les capillaires.

Les reprises de bétonnage et fissures sont traitées par ouverture puis calfeutrement, par pontage ou

injection.

Des congés sont réalisés dans tous les angles rentrant.

11.9.3 - Mise en œuvre

Le support est humidifié. Une barbotine est préparée en mélangeant la poudre à l'eau à l'aide d'un agitateur mécanique de manière à obtenir un coulis épais. Celui-ci est appliqué à la brosse ou par projection sur toute la surface.

Dans le cas de murs en retours délimitant des garages, niches ou autres locaux techniques, l'enduit sera retourné de part et d'autre sur au moins un mètre.

11.9.4 - Épaisseur

En surface horizontale, la consommation moyenne est de un kilogramme par mètre carré (1 kg/m²) avec un minimum local de neuf cents grammes par mètre carré (900 g/m²). En surface verticale, la moyenne est de un kilogramme et demi par mètre carré (1,5 kg/m²) avec un minimum local de un kilogramme trois cents par mètre carré (1,3 kg/m²) l'application est réalisée en deux couches.

11.9.5 - Contrôles

Les contrôles sont visuels et comportent la vérification :

- du traitement des reprises de coulage et fissures,
- de la présence d'un congé dans tous les angles,
- du traitement des retours techniques,
- de la présence d'une couche sur cent pour cent (100 %) de la surface, de l'absence d'ornières,
- de l'absence d'arrivée d'eau, sachant que localement la présence de traces d'humidité sans écoulement est admise.

11.10 - Les joints de voussoirs

11.10.1 - Joints compressibles

a) Stipulations générales

Les joints d'étanchéité compressibles sont généralement mis en œuvre juste avant le stockage des voussoirs en extérieur. Les voussoirs avec leur joint d'étanchéité sont ultérieurement transportés jusqu'au chantier pour être posés par le tunnelier. Dans tous les cas le joint d'étanchéité doit être collé sur le voussoir avant d'être installé définitivement dans le tunnel.

b) Réception du joint

Les joints d'étanchéité compressibles sont généralement mis en œuvre sous forme de cadre avec des angles vulcanisés. Chaque cadre doit être adapté à la géométrie de chaque type de voussoir.

c) Application de la colle et pose du joint

Les joints d'étanchéités compressibles sont fixés sur les voussoirs par collage, afin de les maintenir en place pendant la pose de ces derniers. La colle n'a qu'une fonction provisoire et n'est pas nécessaire à la fonction d'étanchéité du joint.

Les mises en œuvre de la colle et du joint doivent respecter scrupuleusement les conditions définies par le Fournisseur du joint. et de la colle, parmi lesquelles, les plages de température et d'hygrométrie ambiantes admissibles lors de l'application de la colle.

d) Contrôles et essais

1) Contrôle d'identification

Le joint fera l'objet d'une réception par le maître d'œuvre sur des échantillons prélevés dans l'approvisionnement du chantier. Au titre du contrôle extérieur, le joint fera l'objet d'un contrôle d'identification (un contrôle tous les quinze mille mètres linéaires (15 000 ml environ avec un minimum d'un contrôle par chantier) portant sur :

- la géométrie,
- la dureté nominale – DIDC,
- la résistance à la traction et la déformation à la force maximum,
- l'altération après vieillissement dans l'air.

2) Contrôle de la mise en œuvre

La mise en œuvre fera l'objet de contrôles par le maître d'œuvre avant la pose des voussoirs. Notamment la continuité du collage en partie courante et dans les angles des voussoirs devra être vérifiés.

Des tests d'adhérence seront exécutés à la cadence moyenne d'un tous les cent cinquante mètres linéaires (150 ml) environ. Le joint ne doit pas s'arracher à la main.

e) Stockage et transport

Les conditions de stockage, manutention et transport des voussoirs ne doivent pas solliciter mécaniquement ces joints et doivent être conformes aux prescriptions du fabricant.

f) Pose des voussoirs

Suivant la géométrie des voussoirs et principalement du voussoir de clef, les efforts de friction des joints l'un contre l'autre lors de la pose des voussoirs peuvent être importants. Dans ce cas, des dispositions particulières peuvent être adoptées pour réduire ces efforts.

11.10.2 - Joints hydro-expansifs

a) Stipulations générales

Les joints d'étanchéité hydro-expansif sont généralement mis en œuvre sur le chantier. En cas de stockage ou de transport à l'extérieur les voussoirs doivent être équipés d'une protection, contre les intempéries.

b) Réception du joint

Les joints d'étanchéité hydro-expansif nécessitent un raccordement selon les recommandations du fabricant. En cas de livraison du joint en cadre ou bracelet, celui-ci doit être adapté à la géométrie.

c) Application de la colle et pose du joint

Les joints d'étanchéités hydro-expansif sont fixés sur les voussoirs par collage, afin de les maintenir en place pendant la pose de ces derniers. La colle n'a qu'une fonction provisoire et n'est pas nécessaire à la fonction d'étanchéité du joint.

Les mises en œuvre de la colle et du joint doivent respecter scrupuleusement les conditions définies par le fournisseur du joint et de la colle, parmi lesquelles les plages de température et d'hygrométrie ambiantes admissibles lors de l'application de la colle.

d) Contrôle et essais

- 1) Contrôle d'identification

Le joint fera l'objet d'une réception par le maître d'œuvre sur des échantillons prélevés dans l'approvisionnement du chantier. Au titre du contrôle extérieur, le joint fera l'objet d'un contrôle d'identification (un contrôle tous les quinze mille mètres linéaires (15 000 ml environ avec un minimum d'un contrôle par chantier) portant sur :

- la géométrie,
- la dureté nominale Shore A,
- la résistance à la traction et la déformation à la force maximum,
- la courbe de gonflement au volume en expansion libre avec l'eau du site.

- 2) Contrôle de la mise en œuvre

La mise en œuvre fera l'objet de contrôles par le maître d'œuvre avant la pose des voussoirs ;

notamment la continuité du collage en partie courante et dans les angles des voussoirs devra être vérifiée.

Des tests d'adhérence seront exécutés à la cadence moyenne d'un tous les cent cinquante mètres linéaires (150 ml) environ ; le joint ne doit pas s'arracher à la main.

e) Stockage et transport

Les conditions de stockage, manutention et transport des voussoirs ne doivent pas solliciter mécaniquement les joints, et elles doivent être conformes aux spécifications du fabricant.

Le joint doit être protégé des intempéries

f) Pose des voussoirs

Suivant la géométrie des voussoirs et principalement du voussoir de clef, les efforts de friction des joints l'un contre l'autre lors de la pose des voussoirs peuvent être important, et dans ce cas des dispositions particulières peuvent être adoptées pour réduire ces efforts.

En cas d'une période d'interruption de pose des anneaux de voussoir supérieur à vingt-quatre heures, le joint hydro-expansif situé en radier au contact de l'eau doit être protégé par un retardateur, ou autre dispositif proposé par l'entreprise.

11.10.3 - Joints mixtes compressibles/hydro-expansifs

La mise en œuvre des joints mixtes est identique à celle des joints hydro-expansifs décrite au paragraphe précédent.

Annexe 1 – liste des abréviations

CCAG	Cahier des Clauses Administratives Générales
CCTG	Cahier des Clauses Techniques Générales
CCTP	Cahier des Clauses Techniques Particulières
DEG	Dispositif d'étanchéité par Géomembrane
DOE	Dossier des Ouvrages Exécutés
DTU	Document Technique Unifié
GM-B	Géomembrane Bitumineuse
GM-P	Géomembrane Polymérique
GSB	Géosynthétique bentonitique
NOG	Note d'Organisation Générale
NRE	Notice de Respect de l'Environnement
PAQ	Plan Qualité, ou Plan d'Assurance Qualité
PIC	Projet des Installations de Chantier
PPSPS	Plan particulier de Sécurité et Protection de la Santé des travailleurs
PRE	Plan de Respect de l'Environnement
SDQ	Schéma Directeur de la Qualité
SOGED	Schéma d'Organisation de Gestion des Déchets
SOPAQ	Schéma d'Organisation du Plan Qualité
SOPRE	Schéma d'Organisation du Plan de Respect de l'Environnement
TSLE	Tranchée sans limite d'emprise
TALE	Tranchée avec limite d'emprise

Annexe 2 – Composition du groupe de travail

Pierre GARNIER (<i>Président</i>)	Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable (CGEDD)
Gérard MAZZOLENI (<i>rapporteur</i>)	Centre d'Études des Tunnels (CETU) – MEDDE
Fabien AYRINHAC	EDF
Richard BARCIET	SNCF
Renaud BENCHET	Association des Nappes à Excroissances pour Parois Enterrées (ANEPE)
Jean-Paul BENNETON	Réseau des Laboratoires des Ponts et Chaussées
Christian BINET	Groupe d'Étude des Marchés (GEM)
Stéphane BLOND	Syndicat professionnel des entrepreneurs de travaux souterrains de France
François CAQUEL	Comité Français des Géosynthétiques (CFG)
Philippe CASSAGNES	Syndicat Français des Enducteurs Calandriers (SFEC)
Jean-Pierre DEAN	Chambre Syndicale Française de l'Étanchéité (CSFE)
Gérard DIDIER	Institut National des Sciences Appliquées de Lyon (INSA de Lyon)
Pascal DUBOIS	Conseil Général des Ponts et Chaussées (CGPC)
Patrick FAUVET	Syndicat Interdépartemental de l'assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP)
Paul GUINARD	Association Française des Producteurs de Géomembranes (APRODEG)
Gabriel GURATTI	Syndicat National des Formulateurs de Résines Synthétiques (SNFORES)
Hervé HARRANG	Chambre Syndicale Française de l'Étanchéité (CSFE)
Marc JERRAM	SNCF
Jean-Louis JUGE	Syndicat National des Formulateurs de Résines Synthétiques (SNFORES)
Aurélié LEBREDONCHEL	SNCF
Thierry LEQUEUX	RATP
Jean-Noël LOUCHART	Association Professionnelle des Systèmes d'Étanchéité Liquide (APSEL)
Lionel MACCOR	Association Française des Appicateurs de Géomembranes (AFAG)
Jean-Louis MAHUET	Association Française des Tunnels et de l'Espace Souterrain (AFTES)
Denis MELI	Association Française des Appicateurs de Géomembranes (AFAG)
Jean-Pascal MERMET	Association Française des Producteurs de Géotextiles et produits Apparentés (AFPGA)
Jean MOREAU DE SAINT MARTIN	Groupe Permanent d'Études des marchés (GPEM)
Pierre PANNETIER	Office des Asphaltes
Pierre PEYRAC	Direction Régionale de l'Équipement d'Île-de-France
Ludovic PICARD	Direction Régionale de l'Équipement d'Île-de-France
Gaetan POTIE	Syndicat Français des Enducteurs Calandriers (SFEC)
Françoise PRESIER	Chambre Syndicale Française de l'Étanchéité (CSFE)
Jean-Luc REITH	Centre d'Études des Tunnels (CETU) – MEDDE
Jean-Claude SERRANT	Association Française des Appicateurs de Géomembranes (AFAG)
Jean SOUSA	Syndicat des sociétés d'études techniques, d'ingénierie (SYNTEC – ingénierie)
Jean VERNET	Syndicat Interdépartemental de l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP)
Serge ZAPPELLI	Centre d'Études des Tunnels (CETU) – MEDDE

Participation à la relecture

Michel DEFFAYET	Centre d'Études des Tunnels (CETU) – MEDDE
Gilles HAMAIDE	Centre d'Études des Tunnels (CETU) – MEDDE
Jean LEVEQUE	Groupe d'Étude des Marchés (GEM) CGEDD – MEDDE