

Fascicule n°67

Titre III

version commentée

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

Étanchéité des ouvrages souterrains

AVERTISSEMENT

Les documents d'information ont pour but de fournir une information sur une technique ou un problème nouveau ou insuffisamment traité par ailleurs. Le lecteur pourra y trouver des repères susceptibles de l'aider dans son activité. Le contenu et les éventuelles conclusions présentés ne doivent pas être considérés comme des recommandations du CETU. Bien que le maximum soit fait pour s'assurer de la fiabilité des sources utilisées, la responsabilité du CETU ou des auteurs du document ne saurait être engagée.

Fascicule n°67
Titre III
version commentée

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

Étanchéité des ouvrages souterrains

mars 2019

Centre d'Études des Tunnels

25, avenue François Mitterrand

Case n°1

69674 BRON - FRANCE

Tél. 33 (0)4 72 14 34 00

Fax. 33 (0)4 72 14 34 30

cetu@developpement-durable.gouv.fr

www.cetu.developpement-durable.gouv.fr

PRÉAMBULE (de la version commentée)

Le fascicule n°67 titre III du CCTG Travaux a été approuvé par un arrêté interministériel en date du 28 mai 2018 et publié au JORF du 14 juin 2018 (date d'entrée en vigueur).

Contrairement à la précédente version de ce fascicule, la nouvelle version n'intègre pas de commentaires. Le présent document d'information apporte donc un certain nombre de commentaires sur le contenu du fascicule, permettant de l'enrichir de l'expérience acquise dans le domaine de l'étanchement des milieux souterrains.

Il est diffusé par le Centre d'Études des Tunnels (CETU).

En complément de ce document, il est important de rappeler l'existence d'une reconnaissance des procédés d'étanchéité associés au fascicule 67 titre III : sur demande du fabricant/poseur et après avoir démontré que le procédé satisfaisait aux spécifications définies par un collège d'experts (la commission « avis techniques » CETU), cette reconnaissance se traduit par l'émission d'un avis technique CETU.

Cet avis technique reconnaît la qualité du procédé sur un domaine d'emploi précis. Il a une durée de validité de 5 ans. Il peut faire ensuite, toujours sur demande du fabricant/poseur, l'objet de renouvellements, sous réserve de vérifier le respect de spécifications actualisées.

Ce document reprend l'intégralité du fascicule 67 titre III sur les pages de droite.

Les commentaires figurent en page de gauche, au droit de l'article commenté.

Ce document a été rédigé par :

David CHAMOLEY, Gérard MAZZOLENI, Stéphane PETIT et Serge ZAPPELLI – Centre d'Études des tunnels (CETU) – MTES

Le CETU recevra avec intérêt les observations de chaque utilisateur de ce document.

PRÉAMBULE

Ce fascicule concerne l'exécution dans les tunnels et ouvrages souterrains des travaux neufs d'étanchement 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 géosynthétiques bentonitiques ;
Les feuilles bitumineuses en étanchéité d'extrados sur structures à remblayer, qui peuvent être utilisées seules ou avec une protection d'asphalte ;	Les géomembranes bitumineuses ;
Les Systèmes d'Étanchéité Liquide (SEL) mise en œuvre à l'extrados ;	L'asphalte coulé en extrados ;
Les enduits d'imperméabilisation adjuvantés mis en œuvre à l'intrados.	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 67 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

1 DISPOSITIONS GÉNÉRALES	11
1.1 DOMAINE D'APPLICATION	11
1.1.1 Nature des travaux	11
1.1.2 Ouvrages concernés	11
1.1.3 Nature des exigences	11
1.2 TERMINOLOGIE	11
1.2.1 Les définitions données ci-dessous concernent les termes utilisés dans le présent fascicule (7)	11
1.2.2 Terminologie relative au management de la qualité	17
1.2.3 Terminologie relative au respect de l'environnement	17
1.3 DISPOSITIONS RELATIVES AUX DOCUMENTS À FOURNIR PAR LE TITULAIRE	19
1.3.1 En période de préparation	19
1.3.2 En phase d'exécution	19
1.3.3 En phase de fin d'exécution des travaux	19
1.4 DISPOSITIONS RELATIVES AU MANAGEMENT DE LA QUALITÉ	21
1.4.1 En période de préparation	21
1.4.1.a La Note d'Organisation Générale (NOG) du PAQ	21
1.4.1.b Les procédures d'études et travaux	23
1.4.1.c Les cadres de documents de contrôle d'exécution	23
1.4.2 En phase d'exécution	23
1.4.3 En phase de fin d'exécution	25
1.5 DISPOSITIONS RELATIVES AU RESPECT DE L'ENVIRONNEMENT	25
1.5.1 En période de préparation	25
1.5.2 En phase d'exécution	27
1.5.3 En phase de fin d'exécution	27
1.6 AUTRES DOCUMENTS LIÉS À LA RÉALISATION DES TRAVAUX	29
1.6.1 Dispositions relatives au programme d'exécution	29
1.6.1.a Calendrier des études d'exécution	29
1.6.1.b Calendrier d'établissement des procédures d'exécution	29
1.6.1.c Calendrier prévisionnel des travaux	29
1.6.1.d Projet des installations de chantier (PIC)	29
1.6.1.e Projet des ouvrages provisoires	29
1.6.2 Dispositions relatives aux études d'exécution	29
2 SPÉCIFICATIONS DES PROCÉDÉS	31
2.1 PROPRIÉTÉS DES PROCÉDÉS D'ÉTANCHÉITÉ	31
2.2 CARACTÉRISTIQUES DES PROCÉDÉS	33
2.2.1 Procédés à base de géomembranes synthétiques	35
2.2.2 Procédés par feuilles d'étanchéité à base de bitumes polymères	35
2.2.2.a Procédés à base de feuilles préfabriquées monocouche (FPM)	35
Caractéristiques du procédé	35
2.2.2.b Feuilles avec protection par couche d'asphalte (FPA)	37
Caractéristiques du procédé	37

2.2.3 Procédés à base d'asphalte coulé	37
2.2.3.a Procédé bicouche 8+22	37
2.2.3.b Monocouche	37
2.2.4 Procédés à base de géomembranes bitumineuses	39
2.2.5 Les systèmes d'étanchéité liquide (SEL)	39
2.2.6 Les systèmes d'imperméabilisation liquide (SIL)	41
2.2.7 Les géosynthétiques bentonitiques	41
2.2.7.a Géosynthétiques bentonitiques sans géofilm	41
2.2.7.b Géosynthétiques bentonitiques avec un géofilm	43
2.2.8 Les enduits d'imperméabilisation adjuvés	43
2.2.9 Les enduits d'imperméabilisation par minéralisation	45
2.2.10 Les joints de voussoirs	45
2.2.10.a Joint compressible en élastomère	45
2.2.10.b Joint hydro-expansif	47
2.2.10.c Joint mixte	47

3 MODALITÉS D'EXÉCUTION DES TRAVAUX **49**

3.1 QUALITÉ DU SUPPORT PRÉALABLE À LA MISE EN ŒUVRE DU PROCÉDÉ D'ÉTANCHÉITÉ	49
3.1.1 Stipulation générale	49
3.1.2 Les différents types de support	49
3.1.3 Stipulations particulières aux supports en béton	49
3.1.3.a Surface en béton recevant un procédé indépendant du support	49
3.1.3.b Surface en béton recevant un procédé adhérent au support	51
3.1.3.c Voussoirs recevant des joints	51
3.1.4 Stipulations particulières aux supports en béton projeté	55
3.1.4.a Vérification de la géométrie générale des supports en béton projeté	55
3.1.4.b Vérification de la rugosité du béton projeté	55
3.1.5 Stipulations particulières aux surfaces de parois moulées	57
3.1.6 Stipulations particulières aux surfaces de soutènements métalliques	57
3.1.7 Stipulations particulières aux surfaces de soutènements divers	57
3.2 ÉPREUVES DE CONVENANCE	59
3.3 MISE EN ŒUVRE	59
3.3.1 Procédés à base de géomembranes synthétiques	59
3.3.1.a Fixation de la géomembrane (80)	59
3.3.1.b Soudure des lés	59
3.3.1.c Raccordement entre phases	59
3.3.1.d Compartimentage	59
3.3.1.e Dispositif de contrôle et d'injection du compartimentage	59
3.3.1.f Les protections	59
3.3.1.g Points singuliers	61
3.3.1.h Contrôles et essais	61
3.3.2 Procédés par feuilles d'étanchéité à base de bitumes polymères	61
3.3.2.a Procédés à base de feuilles préfabriquées monocouche	61
3.3.2.b Procédés à base de feuilles préfabriquées avec protection par couche d'asphalte	63

3.4 PROCÉDÉS À BASE D'ASPHALTE COULÉ	63
3.4.1 En radier	63
3.4.2 En dalle supérieure	63
3.4.3 Contrôles et essais sur chantier	63
3.5 PROCÉDÉS À BASE DE GÉOMEMBRANES BITUMINEUSES	65
3.5.1 Disposition Générale	65
3.5.2 Soudure des lés	65
3.5.3 Fixation mécanique en paroi verticale	65
3.5.4 Compartimentage	65
3.5.5 Dispositif de contrôle et d'injection du compartimentage	65
3.5.6 Les protections	65
3.5.7 Points singuliers	65
3.5.8 Contrôles et essais sur chantier	67
3.6 LES SYSTÈMES D'ÉTANCHÉITÉ LIQUIDE (SEL)	67
3.6.1 Réalisation des mélanges des constituants	67
3.6.2 Application (105)	67
3.6.3 Épaisseur du film	67
3.6.4 Bullage	69
3.6.5 Contrôles et essais	69
3.7 LES SYSTÈMES D'IMPERMÉABILISATION LIQUIDE (SIL)	69
3.7.1 Mise hors d'eau	69
3.7.2 Préparation du support	69
3.7.3 Réalisation des mélanges des constituants	69
3.7.4 Application	69
3.7.5 Épaisseur du film	69
3.7.6 Bullage	69
3.7.7 Contrôles et essais	69
3.8 LES GÉOSYNTHÉTIQUES BENTONITIQUES	71
3.8.1 Mise en œuvre sous radier	71
3.8.2 Mise en œuvre en vertical sur soutènement ou piédroit	71
3.8.3 Mise en œuvre sur dalle ou voûte	73
3.8.4 Livraison et contrôle	73
3.9 LES ENDUITS D'IMPERMÉABILISATION ADJUVANTÉS	75
3.9.1 Mise hors d'eau	75
3.9.2 Préparation de la surface	75
3.9.3 Mise en œuvre	75
3.9.4 Épaisseur	75
3.9.5 Contrôles	75
3.10 LES ENDUITS D'IMPERMÉABILISATION PAR MINÉRALISATION	77
3.10.1 Mise hors d'eau	77
3.10.2 Préparation de surface	77
3.10.3 Mise en œuvre	77
3.10.4 Épaisseur	77
3.10.5 Contrôles	77

3.11 LES JOINTS DE VOUSOIRS	77
3.11.1 Joints compressibles	77
3.11.1.a Stipulations générales	77
3.11.1.b Réception du joint	77
3.11.1.c Application de la colle et pose du joint	77
3.11.1.d Contrôles et essais	79
3.11.1.e Stockage et transport	79
3.11.1.f Pose des voussoirs	79
3.11.2 Joints hydro-expansifs	79
3.11.2.a Stipulations générales	79
3.11.2.b Réception du joint	79
3.11.2.c Application de la colle et pose du joint	79
3.11.2.d Contrôle et essais	79
3.11.2.e Stockage et transport	79
3.11.2.f Pose des voussoirs	79
3.11.3 Joints mixtes compressibles/hydro-expansifs	79
3.12 ANNEXE 1 – Liste des abréviations	81
ANNEXE 2 – Composition du groupe de travail	82

- 1 L'application à d'autres ouvrages (fondations et cuvelages de bâtiments) est partiellement possible dans la mesure où les techniques et matériaux utilisés sont effectivement les mêmes. Les D.T.U. existants traitent du problème d'étanchéité de ces autres ouvrages.
- 2 Les travaux de réparation d'étanchéité (essentiellement injection d'étanchéité) sont exclus du présent titre, sauf s'ils consistent en la mise en œuvre d'un système d'étanchéité généralisée et s'apparentent alors à des travaux neufs. Le traitement des arrivées d'eau, notamment, fait l'objet de la recommandation AFTES GT9R1F3 (« *Traitements d'arrêts d'eau dans les ouvrages souterrains* »).
- 3 Sont donc exclus les travaux d'étanchéité visant à empêcher les fuites de l'intérieur vers l'extérieur de l'ouvrage (ouvrages hydrauliques).
- 4 Dans certains cas, la barrière étanche constituée par le revêtement en béton, peut comporter, au niveau des discontinuités, des produits d'étanchéité.
- 5 Cela signifie que l'eau ne peut en aucun cas passer derrière l'étanchéité. Il y a lieu, ensuite d'éviter son cheminement vers les zones non traitées.
Les travaux d'étanchement peuvent également consister à mettre en œuvre une imperméabilisation ou une structure relativement étanche (c.f. article 2.1 du fascicule 67 titre III).
Sont exclus du présent fascicule les procédés drainants généralisés.
- 6 Le fascicule 74 relatif à la construction des réservoirs en béton traite de l'étanchéité de ce type d'ouvrage.

- 7 En complément, les normes EN ISO 10318 (« *Géosynthétiques – Partie 1 : Termes et définitions* ») et NF EN 13491 donnent des définitions applicables aux procédés d'étanchéité généralement mis en œuvre à l'extérieur des ouvrages. La norme NF P 11-221-1 (« *DTU 14.1 Travaux de bâtiment – Travaux de cuvelage Partie 1 : cahier des clauses techniques* ») donne des définitions pour les procédés plutôt mis en œuvre à l'intérieur des ouvrages.
- 8 En travaux neufs, l'étanchéité d'intrados est toujours adhérente au revêtement. Elle peut être recouverte d'un revêtement de finition.
- 9 En général en tunnel, une étanchéité d'extrados est à long terme indépendante du support et du revêtement. La liaison au support est provisoire.

DISPOSITIONS GÉNÉRALES

1.1 DOMAINE D'APPLICATION

1.1.1 Nature des travaux

Le titre III du fascicule 67 concerne l'exécution dans les tunnels et ouvrages souterrains (1) des travaux neufs d'étanchement (2) 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 (3).

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

Sont considérés comme travaux d'étanchement les travaux participant (4), par la mise en œuvre de procédés d'étanchéité, à la réalisation d'une barrière étanche, stable, continue et non contournable (5).

1.1.2 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 (6) ni les parties enterrées des bâtiments.

1.1.3 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.

1.2 TERMINOLOGIE

1.2.1 Les définitions données ci-dessous concernent les termes utilisés dans le présent fascicule (7)

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.

Intrados (8)

Surface intérieure du revêtement.

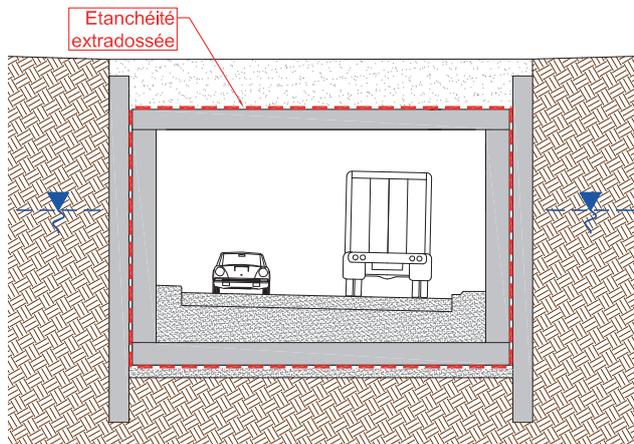
Extrados (9)

Surface extérieure du revêtement.

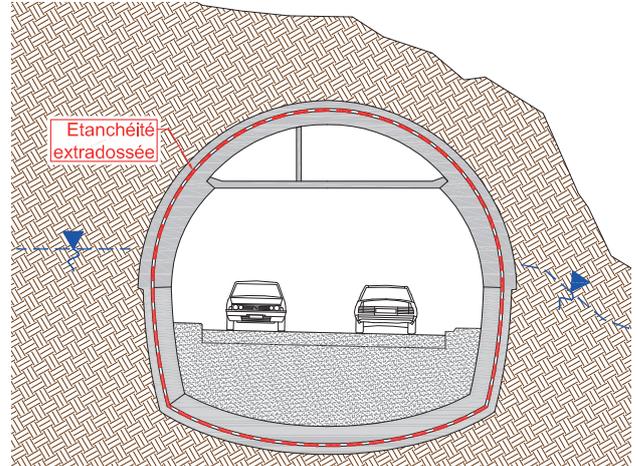
Support d'étanchéité

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.

- 10** Étanchéité complète (sur toute la surface de l'ouvrage) pour les ouvrages soumis à une pression hydrostatique de service, notamment. Dans ce cas la structure de l'ouvrage doit supporter la pression hydrostatique totale en plus de la pression des terres. L'attention du maître d'ouvrage est attirée sur la difficulté d'obtenir un ouvrage parfaitement étanche en présence d'une pression hydrostatique de service. Par conséquent il est recommandé de prévoir des dispositifs de récupération et d'évacuation d'éventuelles fuites ultérieures.

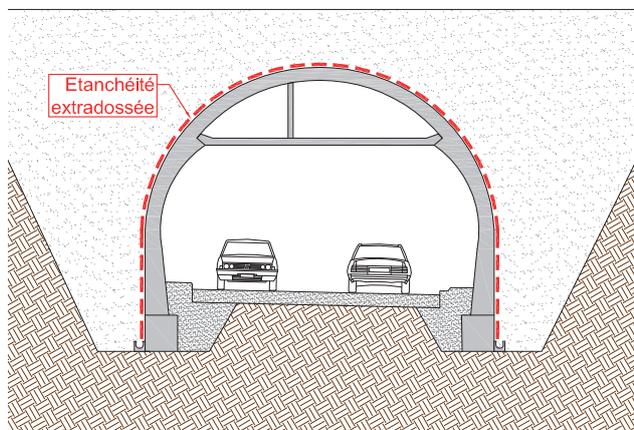


Tranchée couverte sous pression hydrostatique (étanchéité complète)

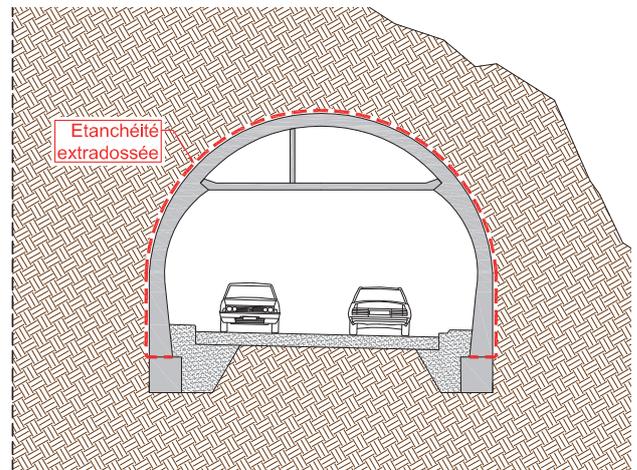


Tunnel creusé sous pression hydrostatique (étanchéité complète)

- 11** Étanchéité partielle pour les ouvrages non soumis à une pression hydrostatique de service. Elle est généralement mise en œuvre en piédroit et en voûte ou sur la dalle supérieure de l'ouvrage.



Tranchée couverte sans pression hydrostatique (étanchéité partielle)



Tunnel creusé sans pression hydrostatique (étanchéité partielle)

- 12** Une fissure est considérée comme « appréciable » à partir de 0,3 mm de largeur.
- 13** Norme NF EN 12970 (« *Asphalte coulé pour étanchéité – Définitions, spécifications et méthodes d'essais* »).
- 14** Norme NF P11-221-1 (« *DTU 14.1 Travaux de bâtiment – Travaux de cuvelage Partie 1 : Cahier des clauses techniques* ») – article 4.3.4.
- 15** Norme NF P11-221-1 (« *DTU 14.1 Travaux de bâtiment – Travaux de cuvelage Partie 1 : Cahier des clauses techniques* ») – article 4.3.5.
- 16** Norme NF P11-221-1 (« *DTU 14.1 Travaux de bâtiment – Travaux de cuvelage Partie 1 : Cahier des clauses techniques* ») – article 4.3.6.
- 17** Norme NF EN 14695 (« *Feuilles souples d'étanchéité – Feuilles bitumineuses armées pour l'étanchéité des ponts et autres surfaces circulables par les véhicules. Définitions et caractéristiques* »).

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 (10) ou partielle (11) ;
- **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 (12) ;
- **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.

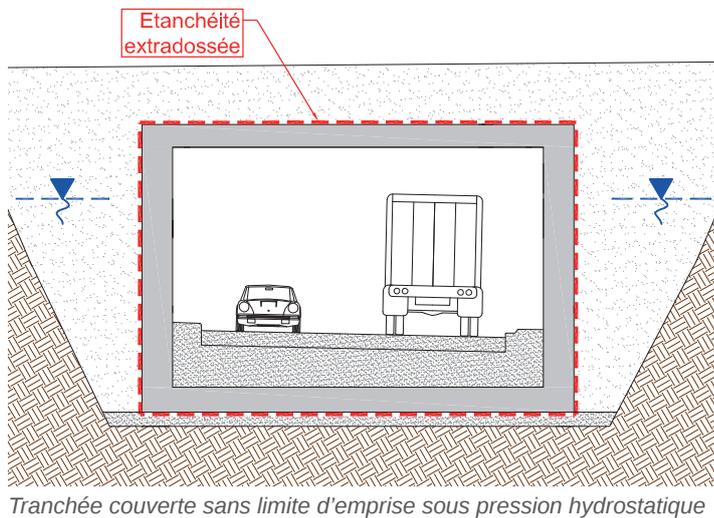
Produits

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.

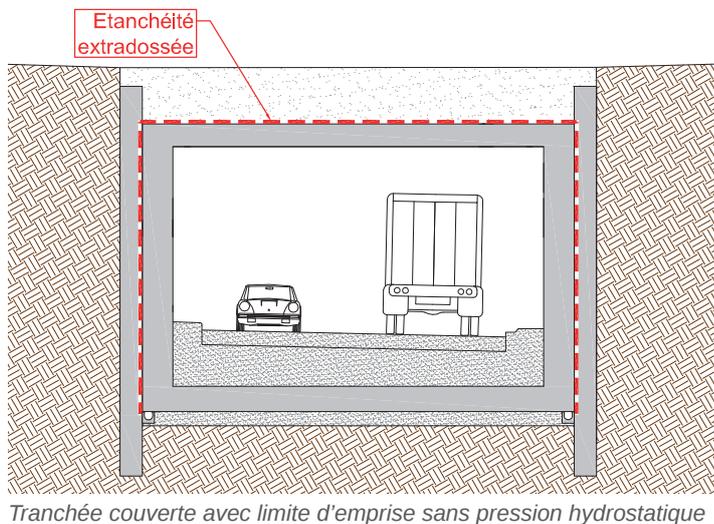
Les produits mis en œuvre pour assurer l'étanchéité des ouvrages souterrains sont les suivants :

- **asphalte coulé (13)** – 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 (14)** – 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 (15)** – 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 (16)** – 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 (17)** – 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 ;

- 18 Normes NF P 84-500 (« Géomembranes - Terminologie »). Une géomembrane a une épaisseur minimum de 1 mm.
- 19 Fascicule n°12 du Comité Français des Géosynthétiques et norme XP P 84-700 (« Géosynthétiques bentonitiques – Généralités - Définitions »).
- 20 EOTA – WG 01.07/01 – ETAG 033 « Kits d'étanchéité de tabliers de pont par application liquide ».
- 21 Norme NF EN 13491 (« Géomembranes, géosynthétiques bentonitiques – Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction des tunnels et ouvrages souterrains »).
- 22 Les caractéristiques de ces protections sont données dans les recommandations de l'AFTES relatives aux écrans de protection.
- 23 Norme NF EN 13256 (« Géotextiles et produits apparentés – Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction de tunnels et de structures souterraines »).
Pour les GM-P cette protection est surtout utilisée contre le poinçonnement statique. Pour les GM-B elle peut être utilisée pour résister à la fois aux poinçonnements dynamiques et statiques.
- 24 Tranchée sans limite d'emprise (T.S.L.E.) :



- 25 Tranchée avec limite d'emprise (T.A.L.E.) :



- 26 La réalisation du revêtement vient plaquer le procédé d'étanchéité contre le support. L'étanchement en TALE peut également être réalisé à l'intrados de l'ouvrage.

- **géomembrane (18 et 21)** – 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 (19 et 21)** – 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 (20)** 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.
- **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.

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 (22) :

- **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 ;

Géotextile (23)

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 (24) 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 (25) 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 (26).

27 Le contrôle intérieur doit prévoir des dispositions pratiques pour permettre les interventions du contrôle extérieur. Toutes les zones contrôlées sont repérées lors du contrôle intérieur et consignées dans les documents de suivi du chantier.

1.2.2 Terminologie relative au management de la qualité

Contrôle intérieur (27)

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.

1.2.3 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.

- 28** Concernant les documents à fournir, se référer également au « *Guide d'harmonisation des clauses techniques contractuelles relatives aux documents, concernant le management de la qualité et le respect de l'environnement, à fournir par le titulaire d'un marché de travaux* » version 1.1 de juillet 2014 et disponible sur le site internet du ministère de l'économie, Direction des Affaires Juridiques.
- 29** Si, comme indiqué à l'article 7, le CCTP fait référence au guide pour l'instruction des demandes d'avis technique CETU, et que le procédé fait l'objet d'un avis technique en cours de validité, le maître d'œuvre pourra utilement exploiter les informations figurant dans ce document
Avant le démarrage des travaux d'étanchéité, le maître d'œuvre a recours à des épreuves de convenance. Un chantier d'essais est réalisé dans les conditions réelles du chantier, avec le procédé, les matériels et le personnel prévus par l'entreprise. Le chantier d'essais consiste généralement en la réalisation des travaux d'étanchéité dans les premiers mètres à réaliser. Au vu des résultats d'essais de convenance, le maître d'œuvre autorise ou non le démarrage du chantier d'étanchéité.
- 30** Le titulaire fournit également la preuve de la certification ASQUAL (spécifique aux ouvrages souterrains) des soudeurs intervenant sur le chantier (pour les procédés d'étanchéité par géomembrane).
- 31** Une attention particulière doit être portée, aux points singuliers des différents procédés d'étanchéité mis en œuvre sur le chantier : point double ou triple, raccordement entre radier et piédroits, traversées, jonctions entre procédés, etc.
- 32** Pour la constitution du DOE, le titulaire doit remettre au maître d'ouvrage un dossier de récolement, selon les prescriptions définies au marché.
Outre les documents visés au CCAG-Travaux, le titulaire doit fournir les documents suivants :
- un plan de synthèse faisant apparaître le procédé d'étanchéité mis en œuvre, le compartimentage et les dispositifs de réparation ultérieure ;
 - des plans de détails des adaptations et des traitements des non-conformités réalisées, des traitements des arrivées d'eau et des points singuliers ;
 - les fiches produits utilisés ;
 - les fiches d'essais et les résultats associés.

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. (28)

1.3.1 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 (29) ;
- 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.
- (30).

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.

1.3.2 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) (31) ;
- 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.

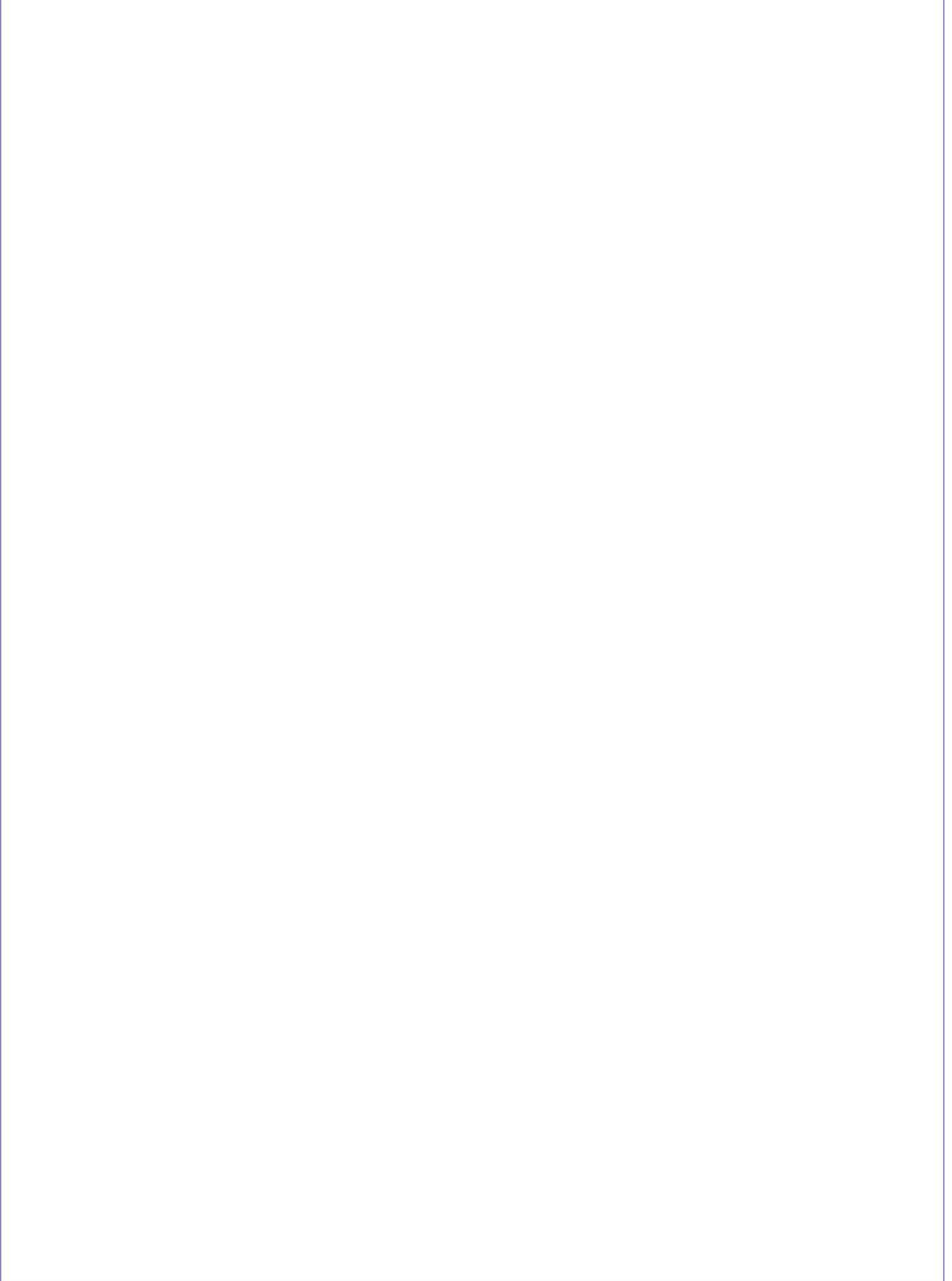
Ces documents sont soumis au visa du maître d'œuvre pendant le déroulement des travaux (ou avant chaque phase de travaux concernée).

1.3.3 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) (32) :

- 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.



1.4.1 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 co-traitants 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.

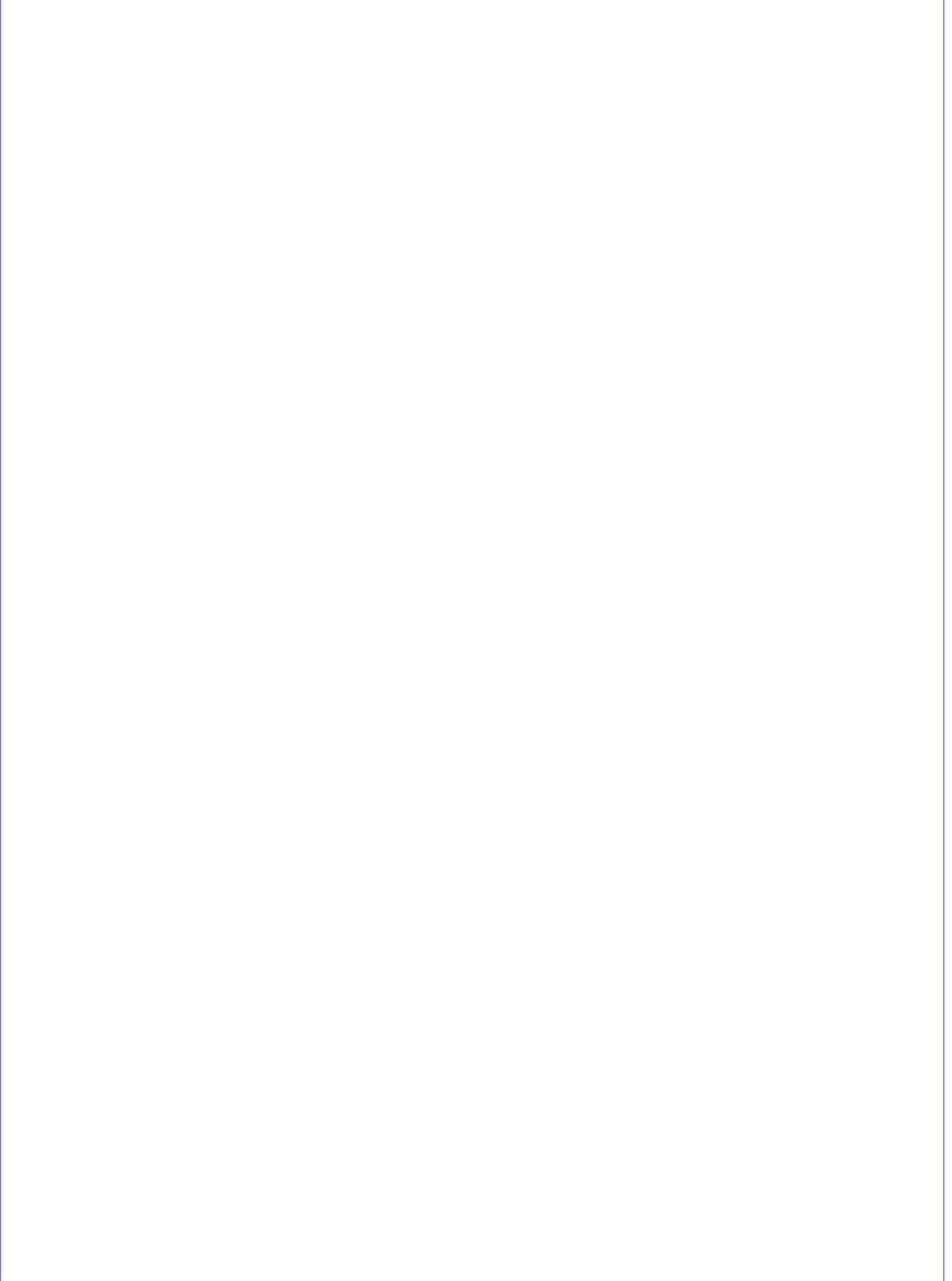
1.4.1.a La Note d'Organisation Générale (NOG) du PAQ

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,
 - es 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.



1.4.1.b 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.

1.4.1.c 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.

1.4.2 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.

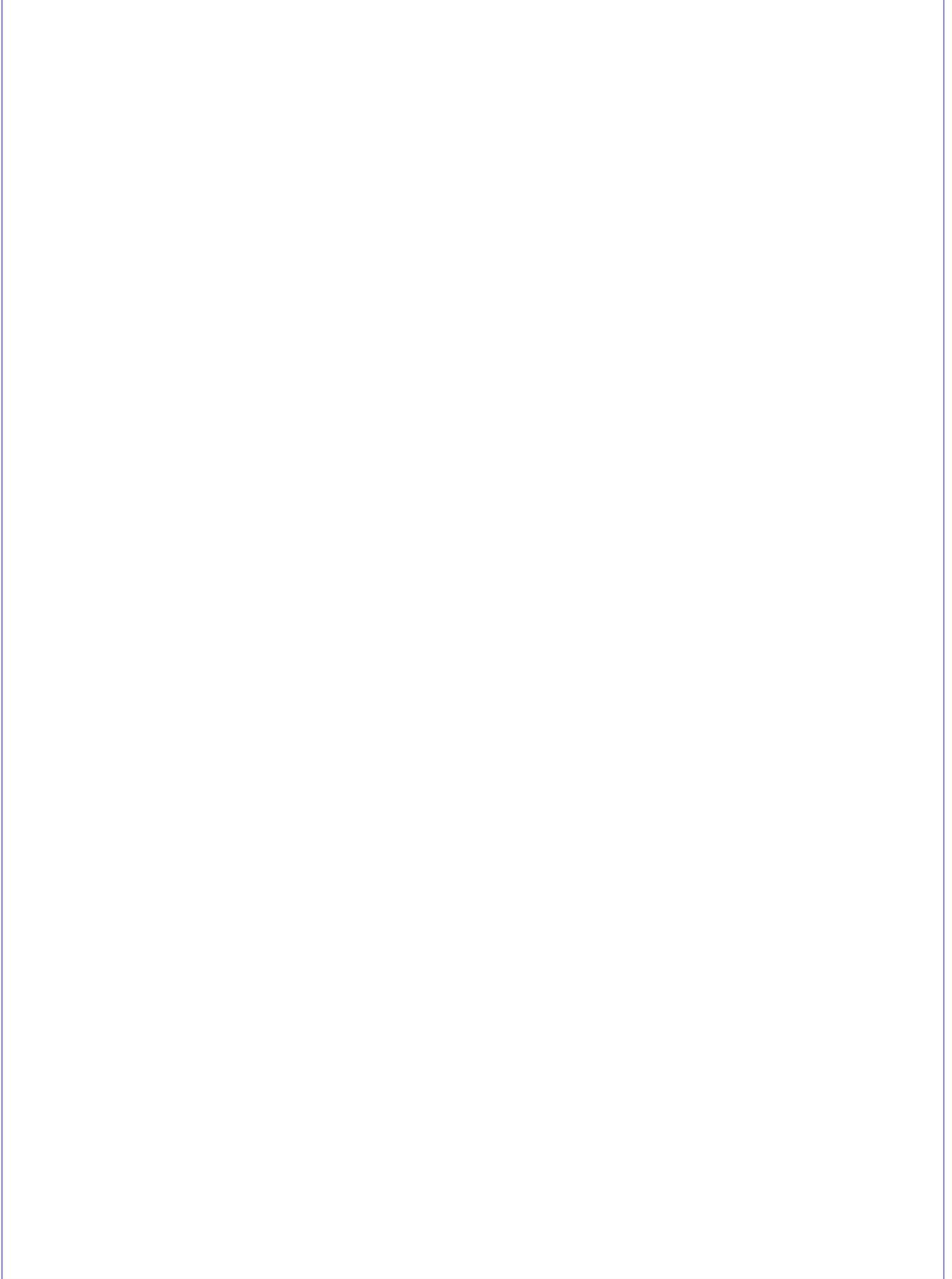
Si le traitement d'une non-conformité donne lieu à une modification d'un document d'exécution, le nouveau document d'exécution est soumis au visa du maître d'œuvre.

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.

1.4.3 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.

1.5 DISPOSITIONS RELATIVES AU RESPECT DE L'ENVIRONNEMENT

1.5.1 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.

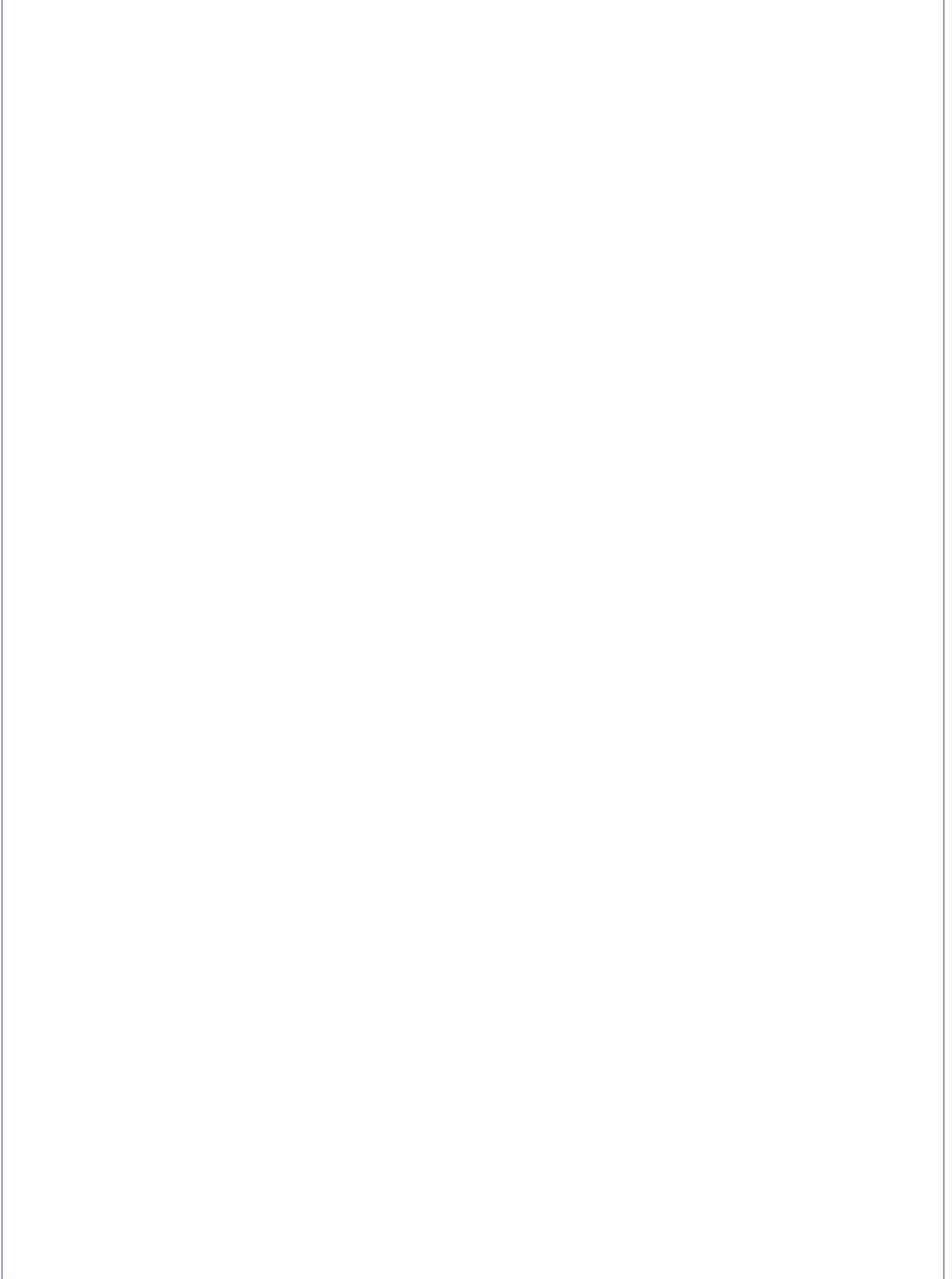
Le PRE est établi par le titulaire spécifiquement pour l'opération. Il peut intégrer des dispositions préexistantes dans le système de management environnemental du titulaire, tout en assurant leur adaptation au contexte de l'opération.

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.

1.5.2 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.

1.5.3 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.

- 33** Une attention particulière doit être portée sur le délai nécessaire pour la reprise des documents d'exécution suite aux observations du maître d'œuvre.
- 34** Les points critiques et les points d'arrêts doivent figurer dans ce calendrier.
- 35** Une attention particulière doit être apportée à l'aménagement des sites de stockage des procédés d'étanchéité afin de ne pas détériorer les caractéristiques intrinsèques des produits (se référer aux fiches de sécurité) et de ne pas porter atteinte à l'environnement.
- 36** Cette note doit être fournie dans les pièces de consultation du marché de travaux.
- 37** La nature (agressivité, caractère incrustant...) et le débit des eaux d'infiltration sont également des données d'entrée importantes.

1.6.1 Dispositions relatives au programme d'exécution

1.6.1.a 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. (33)

1.6.1.b 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.

1.6.1.c 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 (34), 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.

1.6.1.d 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 (35), 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.

1.6.1.e 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.

1.6.2 Dispositions relatives aux études d'exécution

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

- une note d'hypothèses générales (36) définissant les données d'entrée des études d'exécution fournies par le maître d'ouvrage (étude de sols (37)...) 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.

- 38** Le problème de fissuration ne se pose que pour les complexes d'étanchéité adhérents au support et non armés. Cette propriété définit la différence entre une étanchéité et une imperméabilisation.
- 39** Le CCTP fixe les conditions d'environnement physico-chimiques auxquelles sera soumis le procédé d'étanchéité ; il est donc nécessaire de mesurer ces conditions au cours des études préalables aux travaux.
- 40** La mise en œuvre du procédé d'étanchement doit par ailleurs se faire dans la plage de température de pose fixée par le fabricant. L'entrepreneur peut être amené à prendre des dispositions particulières pour respecter ces conditions de mise en œuvre.

SPÉCIFICATIONS DES PROCÉDÉS

2.1 PROPRIÉTÉS DES PROCÉDÉS D'ÉTANCHÉITÉ

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 (38)

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 (39)

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 extrados 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 (40). 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 extrados mis en œuvre en indépendance ou en semi-indépendance, le procédé doit comporter un compartimentage et permettre l'injection de ces compartiments ;
- procédé extrados 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.

41 Dans tous les cas, il est nécessaire de bien respecter les dispositions liées à l'hygiène et la protection de la santé et de l'environnement mentionnées dans les Fiches de Données Sécurité (FDS) qui accompagne le produit d'étanchéité.

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 (41).

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.

2.2 CARACTÉRISTIQUES DES PROCÉDÉS

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).

- 42 Dans le cas d'une application à l'extrados d'un revêtement de tunnel, la protection supérieure est mise en œuvre au droit des masques de coffrage et au niveau des zones de pose d'armatures notamment lorsqu'une partie de la voûte est en béton armé. Dans le cas d'une tranchée couverte ou d'une voûte à l'air libre, si l'étanchéité est recouverte par un remblai il convient éventuellement de renforcer la protection supérieure et d'ajouter une protection complémentaire. En fonction de la nature, de l'agressivité et de la hauteur du matériau de remblaiement, la classe minimale de résistance au poinçonnement dynamique du DEG (Dispositif d'étanchéité par Géomembrane) et la nature de la protection complémentaire sont indiquées dans les recommandations AFTES relatives aux écrans de protection.
- 43 La totalité des propriétés, ainsi que les spécifications associées, figurent dans le référentiel du guide d'instruction des demandes d'avis technique CETU, disponible auprès du CETU.

2.2.1 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 (42) 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 (43) 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.

2.2.2 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 ».

2.2.2.a 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.

44 Le terme primaire est pris au sens de la norme NF EN 14695 (« Feuilles souples d'étanchéité – Feuilles bitumineuses armées pour l'étanchéité des ponts et autres surfaces circulables par les véhicules. Définitions et caractéristiques »).

Performances à atteindre

Le CCTP fixe les performances (43) 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.

2.2.2.b 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 (43) 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.

2.2.3 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.

2.2.3.a 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 (43) à atteindre par le procédé pour chacune des propriétés suivantes (cf. Article 7) :

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

2.2.3.b Monocouche

Caractéristiques du procédé

Le procédé d'étanchéité monocouche comprend :

- un primaire d'accrochage (44) 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 (43) 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.

45 Pour les zones d'application exposées aux UV.

2.2.4 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 (43) 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.

2.2.5 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 (43) 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 (45).

- 46** La fonction étanchéité n'est acquise qu'après saturation de la bentonite sous contrainte de confinement. La présente définition est extraite de la norme XP P84-700 (« *Géosynthétiques bentonitiques – Généralités - Définitions* »).
- 47** Norme NF G00-001 de septembre 1985 (« *Textiles - Dictionnaire des termes normalisés* »).
- 48** La nature de la protection de mise hors d'eau avant confinement du GSB par le radier devra être précisée dans la composition du procédé.
- 49** Cette mise hors d'eau permet de garantir la fonction étanchéité du géosynthétique bentonitique avant son confinement par le béton du radier. Les deux fonctions mise hors d'eau et protection mécanique sont indispensables.
- 50** Généralement l'enveloppe géotextile adhère au béton coulé et empêche ainsi l'eau de circuler librement entre le GSB et le béton. Le maître d'œuvre peut demander à l'entrepreneur la réalisation d'essais de laboratoire confirmant le non cheminement de l'eau entre le GSB et le béton coulé dans le cas d'ouvrages avec limites d'emprise.
- 51** En fonction du dossier technique du procédé une couche de bentonite en vrac peut éventuellement être mise en œuvre directement sur la dalle supérieure avant le GSB.
- 52** Les caractéristiques physico-mécaniques du géotextile de protection font partie des spécifications du procédé.

2.2.6 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 (43) 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 (45).

2.2.7 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 granulés, assurant la fonction étanchéité (46) 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 (46). 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 (47) 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.

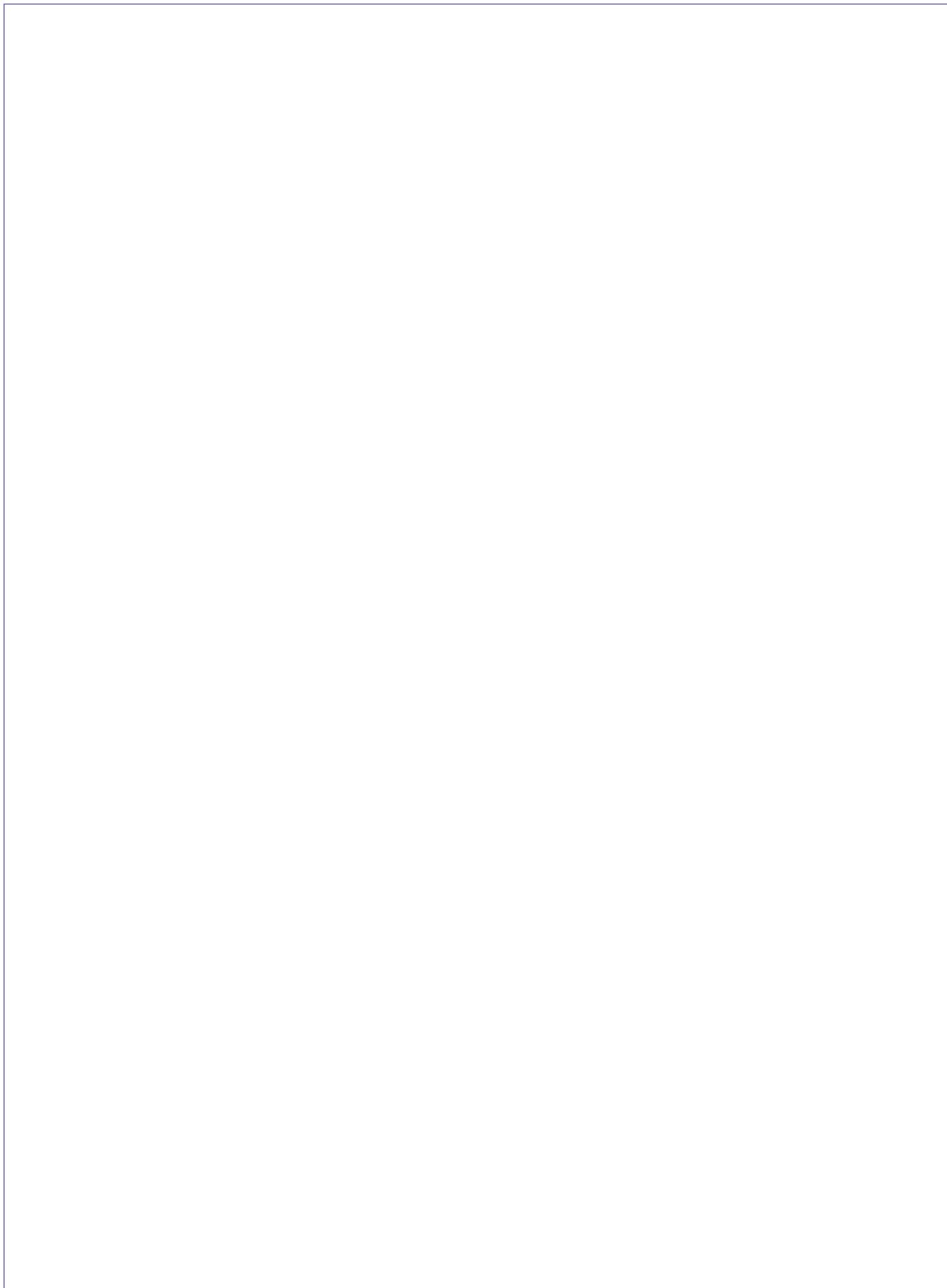
La mise en œuvre des géosynthétiques bentonitiques peut être envisagée pour l'étanchéité des tunnels forés soumis ou non à une pression hydrostatique sous réserve que les caractéristiques géométriques du support soient compatibles. Le domaine d'application est limité aux ouvrages soumis à une pression 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.

2.2.7.a 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 (48) qui, par rapport au géosynthétique bentonitique, aura une fonction de mise hors d'eau (49) et, ou de protection mécanique avant ferrailage ;
- en piédroits,
 - un géosynthétique bentonitique mis en œuvre en indépendance (50) directement sur le béton du piédroit ou en fond de coffrage pour les ouvrages réalisés sans limite d'emprise (24) ou sur le soutènement pour les ouvrages réalisés avec limite d'emprise (25) ;
 - une protection supérieure éventuelle qui par rapport au géosynthétique bentonitique, aura une fonction de mise hors d'eau (49) et, ou de protection mécanique vis-à-vis du remblaiement ;
- en dalle supérieure ou en voûte,
 - un géosynthétique bentonitique (51) ;
 - 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 (52) éventuellement recouverte d'une couche de béton projeté armé d'un treillis soudé.



Performances à atteindre

Le CCTP fixe les performances à atteindre (53) 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.

2.2.7.b 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 (48) qui par rapport au géosynthétique bentonitique, aura une fonction de mise hors d'eau (49) 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 (50).

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 (43) 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.

2.2.8 Les enduits d'imperméabilisation adjuvantés

Caractéristiques du procédé

On distingue deux types d'enduits.

- enduit mince
Ce type d'enduit d'imperméabilisation est constitué par un mortier hydraulique adjuvanté, 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 adjuvanté, 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.

- 54 Le débit de fuite maximal admis pour un tunnel foré à base de voussoirs en béton est, pour la structure résistante dans son ensemble, de 0,5 l/(m².jour) en moyenne annuelle, et, pour toute portion de structure résistante de 10 m² constituant un rectangle dont le rapport des côtés est compris entre 0,4 et 2,5, de 20l/jour (cf DTU 14.1).
- 55 Étanchéité obtenue par mise en compression des joints en élastomère lors de la mise en œuvre des voussoirs. Sauf contraintes d'exposition chimique liée au projet, les joints élastomères sont généralement à base d'E.P.D.M. (Éthylène Propylène Diène Monomère).
- 56 Étanchéité obtenue par expansion du joint au contact de l'eau du terrain.
- 57 Le matériau hydro-expansif est rapporté dans une réservation ou coextrudé avec le joint compressible.
- 58 Le joint hydro-expansif peut n'être mis en place que sur un des deux voussoirs venant en appui, avec un contact joint contre béton. Dans ce cas, il est appelé « simple joint hydro-expansif ». Il peut être mis en place, et c'est le plus courant, sur les deux voussoirs, avec un contact joint contre joint. Dans ce cas il est appelé « double joint hydro-expansif ».
- 59 D'autres procédés de fixation du joint au voussoir peuvent être envisagés (dispositif d'ancrage incorporé au joint, etc.).
- 60 Ces contraintes concernent la pression hydrostatique de service, l'ouverture maximale et le désaffleurement maximum autorisé du joint. Elles sont à fournir à l'Entrepreneur par le maître d'œuvre.

Performances à atteindre

Le CCTP fixe les performances (43) 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.

2.2.9 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.

2.2.10 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 (54).

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

- joint compressible en élastomère (55) ;
- joint hydro-expansif (56) ;
- joint mixte associant à un joint compressible, un matériau hydro-expansif (57).

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 (58),
 - 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.

2.2.10.a Joint compressible en élastomère

Caractéristiques du procédé

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 (59) ;
- un joint manufacturé à base d'élastomère dont la géométrie est définie par les contraintes du projet (60). Le joint est livré sous forme de cadre préfabriqué ou bracelet et posé sur le voussoir en usine de préfabrication.

- 61** Pour ce type de structure relativement étanche, le débit de fuite admissible maximum devra être indiqué au marché et respecter les valeurs indiquées au commentaire (54).
- 62** Ces contraintes concernent la pression hydrostatique de service, l'ouverture maximale et le désaffleurement maximum autorisé du joint. Elles sont à fournir à l'Entrepreneur par le maître d'œuvre.

Performances à atteindre

Le CCTP fixe les performances (43 et 61) 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.

2.2.10.b Joint hydro-expansif

Caractéristiques du procédé

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 (43 et 61) 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.

2.2.10.c Joint mixte

Caractéristiques du procédé

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 (59) ;
- un joint manufacturé à base d'élastomère (E.P.D.M) dont la géométrie est définie par les contraintes du projet (62). 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 (43 et 61) 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.

- 63** Une visite contradictoire est effectuée en présence du maître d'œuvre, de l'entreprise en charge du génie civil et de l'entreprise en charge de l'étanchéité. A l'issue de cette visite, un Procès Verbal indiquant l'état du support, par rapport aux prescriptions du marché, et les mesures correctives nécessaires pour le rendre conforme, est rédigé. La réception du support est prononcée lorsque l'ensemble des mesures correctives a été mis en œuvre.
- 64** Dans le cas d'ouvrages neufs, le titulaire est l'entreprise en charge du gros œuvre qui assure la qualité du support.
- 65** En référence au fascicule 65 (version 1.0 de décembre 2017), les surfaces de béton sont classées en trois catégories :
- les surfaces coffrées de béton qui sont laissées brutes de décoffrage ou destinées à ne recevoir qu'une lasure transparente et qui sont soumises à des exigences portant sur l'aspect. Ces surfaces sont dénommées parements ;
 - les autres surfaces coffrées, qui ne sont soumises qu'à des exigences de texture et de précision dimensionnelle. Ces surfaces sont appelées parois ;
 - les surfaces non coffrées qui peuvent être soumises ou non à des exigences particulières.
- 66** Complément au texte : le terrain naturel ne peut en aucun cas constituer un support pour un procédé d'étanchéité.
- 67** Complément au texte : pour les dispositifs de compartimentage adhérents, les stipulations du support à prendre en compte sont celles des procédés adhérents au support.

MODALITÉS D'EXÉCUTION DES TRAVAUX

3.1

QUALITÉ DU SUPPORT PRÉALABLE À LA MISE EN ŒUVRE DU PROCÉDÉ D'ÉTANCHÉITÉ

3.1.1 Stipulation générale

La réception du support recevant l'étanchéité constitue un point d'arrêt au sens de l'assurance qualité (63). 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 (64) est tenu de procéder aux rectifications et améliorations du support avant tout démarrage des travaux d'étanchéité.

3.1.2 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 (65) ;
- 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 ;
- (66).

3.1.3 Stipulations particulières aux supports en béton

3.1.3.a 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 ;
- (67).

- 68** Ces critères permettent de respecter, dans les conditions normales d'application, les épaisseurs requises. Il faut dans chaque cas définir les consommations par des essais de convenance sur une surface représentative de l'état du support.
- 69** Spécifications des parements simples issues du fascicule 65, version 1.0 de décembre 2017 (§ 62.1.2).
- 70** Par la méthode volumétrique : mesure de la Profondeur Moyenne de Texture (PMT) selon la norme NF EN 13036-1 (« *Caractéristiques de surface des routes et aérodromes - Méthodes d'essai - Partie 1 : mesurage de la profondeur de macrotecture de la surface d'un revêtement à l'aide d'une technique volumétrique à la tâche* », ex Hauteur au Sable Vraie).
 $PMT = HSv * 1.08$
- 71** Si l'épaisseur du ragréage est supérieure à 10 mm il convient d'utiliser un mortier à retrait compensé ou une résine. Pour une meilleure adhérence avec des produits adhérents ultérieurs, il est recommandé de sabler la résine de ragréage.
- 72** L'agrément du fournisseur des joints d'étanchéité sur les dimensions et positions des gorges est conseillé.

3.1.3.b 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 (68) :

- planéité – niveau P(2) en référence au fascicule de documentation FD P18-503 (69) ; 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 (69) ; 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 (70) 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 (71)) 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.

3.1.3.c 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 (72).

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.

73 En référence à la notice détaillée P 18 503 (« *Surfaces et parements de béton - Éléments d'identification* »), les tolérances de forme correspondant au niveau P(n) sont fixées par rapport à un gabarit de 0,20 m et un gabarit de 2,00 m. La différence entre les écarts minimal et maximal par rapport au gabarit ne doit pas excéder les valeurs indiquées. Par exemple avec une planéité P(1) ces écarts ne doivent pas dépasser 15 mm avec un gabarit de 2,00 m et 6 mm avec un gabarit de 0,20 m.

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 (73)	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	≤ 6 mm ≤ 15 mm P(1)	Sans objet	Sans objet
Géosynthétique bentonitique	2 jours	Sans objet	Sans objet	≤ 6 mm ≤ 15 mm P(1)	Sans objet	Sans objet
Géomembrane bitumineuse	2 jours	Sans objet	Sans objet	≤ 6 mm ≤ 15 mm P(1)	Sans objet	Sans objet
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 ≤ 1,5mm
Système d'imperméabilisation liquide	21 jours	< 4,50%	> 1,5 MPa	≤ 3 mm ≤ 8 mm P(2)	E(3-3-3)	PMT ≤ 1,0mm
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 ≤ 1,0mm
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

- 74 Les fibres peuvent également être en matière synthétique, n'induisant dans ce cas pas de renforcement de la protection inférieure.
- 75 Voir les recommandations AFTES relatives aux écrans de protection.
- 76 Ces recommandations ont été révisées (cf TES 257 – GT9R1F3, « *Traitements d'arrêts d'eau dans les ouvrages souterrains* »).
- 77 Les mesures correctives pour mettre en conformité le support sont réalisées par l'entreprise en charge du gros œuvre (cf §9.1). Celle-ci doit donc conserver sur site tous les moyens (techniques, matériels) nécessaires pour cette mise en conformité, jusqu'à la réception complète du support.

3.1.4 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 (74) souples peuvent être incorporées au béton projeté; dans ce cas la protection inférieure du procédé sera renforcée (75) ;
- 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) (76).

3.1.4.a 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.

3.1.4.b 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) (77).

78 Les autres procédés (GMB, asphalte, FPM, FPA, SEL) ne sont pas admis sur support en béton projeté.

79 Voir la recommandation AFTES GT9R1F3 (« *Traitements d'arrêts d'eau dans les ouvrages souterrains* »).

Tableau n°2 : Exigences relatives au support béton projeté

Procédés d'étanchéité (78)	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)

3.1.5 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).

3.1.6 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 (79).

3.1.7 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.

- 80** Le chantier d'essais consiste généralement en la réalisation des travaux d'étanchéité dans les premiers mètres à réaliser. Au vu des résultats des essais de convenance, le maître d'œuvre autorise le démarrage du chantier, qui devra alors se dérouler avec le même procédé, le même personnel et les mêmes matériels.
- 81** Voir la recommandation AFTES GT9R7F1 (« *L'emploi de rondelles PVC pour la fixation des membranes d'étanchéité* »).
- 82** Fixation généralement réalisée sur des tôles colaminées compatibles avec la géomembrane. La mise en œuvre d'une bande compressible sous la tôle colaminée, permettant de reprendre les petites irrégularités du support, est recommandée.
- 83** Les pontages sont limités à trois épaisseurs de recouvrement maximum.
- 84** La valeur à retenir est 0,3 MPa (= 3 bar) au lieu des 3 MPa indiqués.
- 85** Complément au texte : pour les tunnels creusés de faible section, les surfaces de compartimentage doivent être réduites à 100m² maximum. Les intersections entre les compartimentages sont traitées par des pièces fabriquées en usine (té ou croix).
- 86** Si la pastille de la pipette d'injection n'est pas fabriquée en usine, la pièce de géomembrane faisant office de pastille doit être soudée partiellement afin de permettre le passage du produit d'injection.
La pipette d'injection a un diamètre permettant l'introduction de la canule d'injection (20 mm au minimum).
Au minimum, on pose une pipette en voûte et deux pipettes sur chaque piédroit.
Les pipettes d'injection sont regroupées dans une boîte de réservation conçue à cet effet, dotée d'un couvercle amovible. Ces boîtes sont implantées sur le piédroit au milieu du revêtement.
Dans chaque boîte, les pipettes présentent une longueur disponible (en attente) de 10 cm minimum, permettant l'introduction de la canule d'injection.

3.2 ÉPREUVES DE CONVENANCE

Sauf disposition particulière prévue au CCTP, avant le démarrage des travaux d'étanchéité une zone d'essais **(80)** 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.

3.3 MISE EN ŒUVRE

3.3.1 Procédés à base de géomembranes synthétiques

3.3.1.a Fixation de la géomembrane (81)

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 **(82)**.

3.3.1.b 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 **(83)**.

3.3.1.c 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.

3.3.1.d 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) **(84)** ;
- deux cents mètres carrés (200 m²) si la pression hydrostatique dépasse trois mégapascals (3 MPa) **(84)** ;
- **(85)**.

3.3.1.e 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 **(86)**.

3.3.1.f 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.

- 87 Le séchage doit être naturel ; dans le cas d'un séchage artificiel la méthode sera soumise à l'avis du maître d'œuvre.
- 88 L'application de la couche d'accrochage (primaire) est réalisée au rouleau ou par pulvérisation. L'usage de la raclette en caoutchouc est interdit.
- 89 Le marouflage ne doit pas avoir lieu trop tôt (les instruments collent à la feuille) ni trop tard (plus utile si le refroidissement est total).
- 90 Ces dispositions peuvent consister en une couche de grave (ou tout-venant de 10 cm d'épaisseur) sur un géotextile non tissé.
- 91 Les résultats du contrôle d'identification seront comparés aux caractéristiques fournies au maître d'œuvre lors de la demande d'acceptation du procédé. Ces caractéristiques figurent généralement dans des documents d'agrément tels que les avis techniques ou documents équivalents.
- 92 Le liant est récupéré par grattage à chaud de la feuille.
- 93 Il est recommandé de mesurer la pénétrabilité à l'aiguille selon la norme NF EN 1426 (« *Bitumes et liants bitumineux - Détermination de la pénétrabilité à l'aiguille* »), à une température de 25 °C.
- 94 Il est recommandé de mesurer ces propriétés selon la norme NF EN 12311-1 (« *Feuilles souples d'étanchéité - Partie 1 : feuilles d'étanchéité de toiture bitumineuses - Détermination des propriétés en traction* »), à une température de 23 °C.

3.3.1.g 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.

3.3.1.h 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.

3.3.2 Procédés par feuilles d'étanchéité à base de bitumes polymères

3.3.2.a Procédés à base de feuilles préfabriquées monocouche

a) Couche d'accrochage

Elle est appliquée sur un support propre et sec (87), 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 (88), 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 (89) 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 (90) sera mise en œuvre.

d) Contrôles et essais sur chantier

1. Contrôle d'identification (91)

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) (92) ;
- la pénétrabilité à l'aiguille à 50 °C (93) ;
- l'épaisseur,
- la résistance à la traction et déformation à la force maximum à 20 °C (94).

- 95 Pour vérifier la qualité du soudage de la feuille sur le support, un contrôle par thermographie infrarouge peut être mis en œuvre dans le cadre du contrôle extérieur.
- 96 Selon les conditions du chantier (notamment en cas d'ensoleillement), il pourra être réalisé un contrôle d'homogénéité de mise en œuvre à l'aide d'une caméra thermique.
- 97 Il est recommandé de réaliser deux essais pour chaque cuve d'asphalte utilisée (un en fin de premier tiers et un autre en fin de deuxième tiers d'utilisation).
- 98 Le procédé asphalte monocouche ne doit pas être posé en indépendance.
- 99 L'entrepreneur (dans le cadre du contrôle intérieur) et le maître d'œuvre (dans le cadre du contrôle extérieur) récupéreront les bons de fabrication mentionnant le type d'asphalte livré ainsi que le tonnage et les résultats des essais d'indentation au départ en usine. Ils procéderont à des contrôles de la température des matériaux à l'arrivée des camions (température de consigne et température mesurée) et à la mise en œuvre.

2. Contrôle de la mise en œuvre (95)

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. (96). 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).

3.3.2.b 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 (c.f. 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 (97) sera réalisé suivant la norme NF EN 12697-21 au titre du contrôle extérieur.

3.4 PROCÉDÉS À BASE D'ASPHALTE COULÉ

3.4.1 En radier

Les complexes 8+22 et monocouche (98) 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.

3.4.2 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 coulé 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.

3.4.3 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 (99).

- 100** Le marouflage ne doit pas avoir lieu trop tôt (les instruments collent à la membrane) ni trop tard (plus utile si le refroidissement est total).
- 101** La valeur à retenir est 0,3 MPa (= 3 bar) au lieu des 3 MPa indiqués.
- 102** Pour les spécifications, on pourra se reporter au référentiel en vigueur du guide d'instruction des demandes d'avis technique CETU et aux recommandations AFTES.

3.5.1 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.

3.5.2 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 (100) derrière la soudure, tant que le bitume est encore chaud.

3.5.3 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.

3.5.4 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) (101) et de deux cents mètres carrés (200 m²) si la pression hydrostatique dépasse trois mégapascals (3 MPa) (101). 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.

3.5.5 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.

3.5.6 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 (102).

3.5.7 Points singuliers

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.

- 103** Il est recommandé de mesurer ces propriétés selon la norme NF EN 12311-1 (« Feuilles souples d'étanchéité - Partie 1 : feuilles d'étanchéité de toiture bitumineuses - Détermination des propriétés en traction »), à une température de 23 °C.
- 104** Selon les conditions du chantier (notamment en cas d'ensoleillement), il pourra être réalisé un contrôle d'homogénéité de mise en œuvre à l'aide d'une caméra thermique.
- 105** En cas d'utilisation d'agitateur à hélice ou similaire, le diamètre de l'hélice doit être supérieur au 1/3 du diamètre du fût servant au mélange. Une méthode de contrôle devra être proposée pour s'assurer que le mélange est correct.
- 106** L'application peut être réalisée manuellement (au rouleau), mécaniquement (pistolet), ou par robot de projection pour les grandes surfaces.
- 107** Erreur de rédaction. Il faut lire : « Les produits sont appliqués à un degré hygrométrique ambiant inférieur ou égal à la valeur spécifiée dans le cahier des charges du procédé ».
- 108** L'épaisseur minimale doit être contrôlée par des mesures locales d'épaisseur à l'occasion des essais d'adhérence.
- 109** L'épaisseur moyenne doit être contrôlée en mesurant le volume de produit appliqué sur chaque surface élémentaire. Avant le démarrage des travaux, la surface à traiter est divisée en surfaces élémentaires correspondant à des phases de travaux ou à la géométrie de l'ouvrage.
- 110** En complément au texte ; un écart réaliste (au vu des techniques employées et des qualités de support demandées) devra être respecté entre l'épaisseur minimale de pose et l'épaisseur moyenne affichée par le fabricant.

3.5.8 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 (103) ;
- 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)) (104).

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.

3.6 LES SYSTÈMES D'ÉTANCHÉITÉ LIQUIDE (SEL)

3.6.1 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 (105). 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.

3.6.2 Application (106)

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 (107).

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.

3.6.3 Épaisseur du film

Sur les surfaces horizontales, l'épaisseur minimale (108) sera de un millimètre et demi (1,5 mm) et l'épaisseur moyenne (109) de 2 millimètres (2 mm) au moins.

Sur les surfaces verticales, l'épaisseur minimale (108) sera de un millimètre (1 mm) et l'épaisseur moyenne (109) de un millimètre et demi (1,5 mm) au moins. (110)

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.

- 111** Les résultats du contrôle d'identification seront comparés aux caractéristiques fournies au maître d'œuvre lors de la demande d'acceptation du procédé. Ces caractéristiques figurent généralement dans des documents d'agrément tels que les avis techniques ou documents équivalents.
- 112** Les techniques de traitement des venues d'eau à travers un support béton sont décrites dans les recommandations AFTES, GT9R1F3 (« *Traitements d'arrêts d'eau dans les ouvrages souterrains* »).

3.6.4 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.

3.6.5 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 (111)

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.

3.7 LES SYSTÈMES D'IMPERMÉABILISATION LIQUIDE (SIL)

3.7.1 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 (112).

3.7.2 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.

3.7.3 Réalisation des mélanges des constituants

Cf paragraphe 11.5.1.

3.7.4 Application

Cf paragraphe 11.5.2.

3.7.5 Épaisseur du film

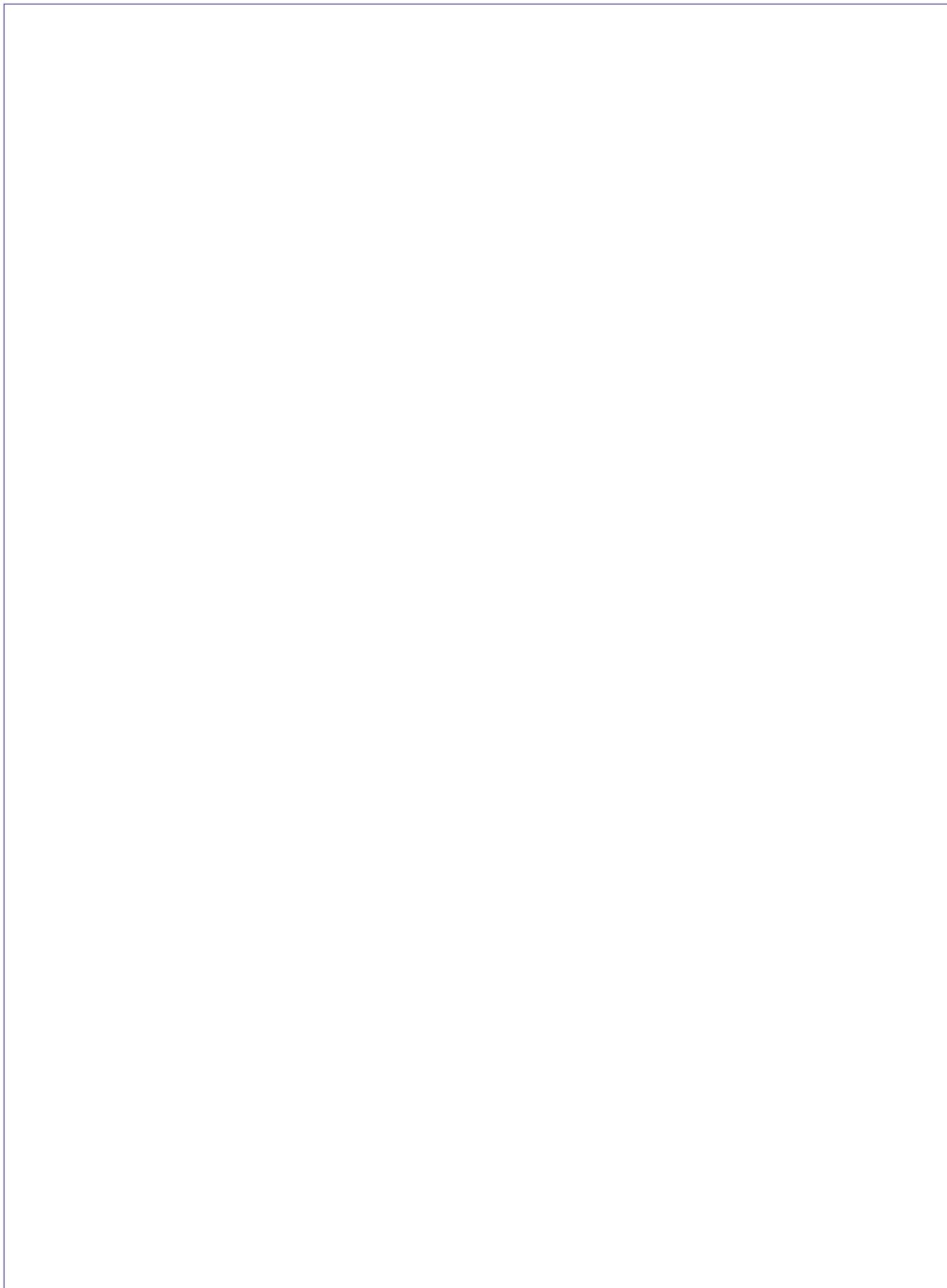
Cf paragraphe 11.5.3.

3.7.6 Bullage

Cf paragraphe 11.5.4.

3.7.7 Contrôles et essais

Cf paragraphe 11.5.5.



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.

3.8.1 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.

3.8.2 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.

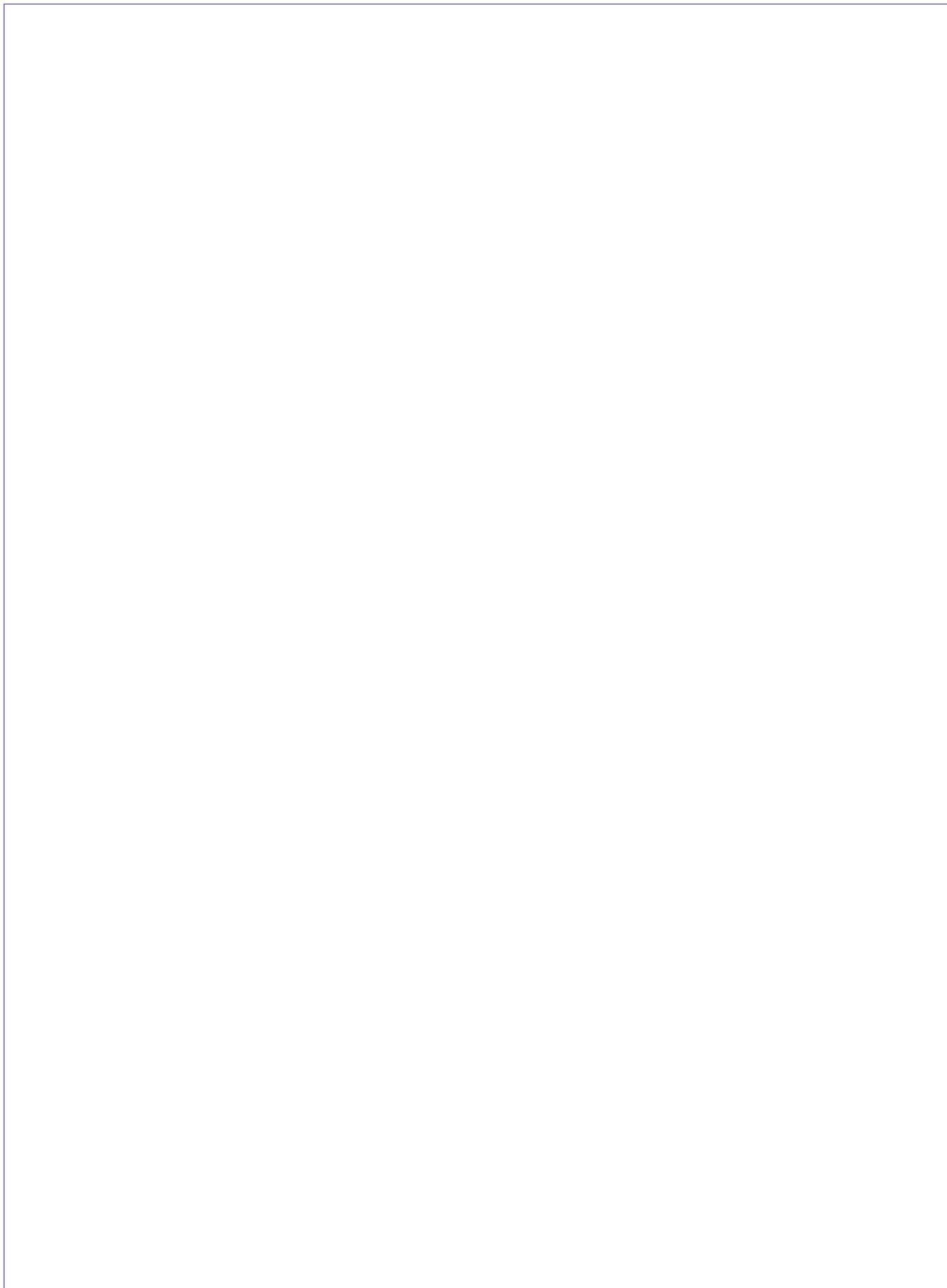
Pour des hauteurs supérieures à trois mètres cinquante (3,50 m), des fixations intermédiaires seront mises en œuvre.

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 raccordements 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.

3.8.3 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 raccordements 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.

3.8.4 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.

113 Les épaisseurs en horizontal sont définies par la méthode de mise en œuvre (enduits autolissants).

3.9.1 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 (112).

3.9.2 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.

3.9.3 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.

3.9.4 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) (113).

b) Enduit épais

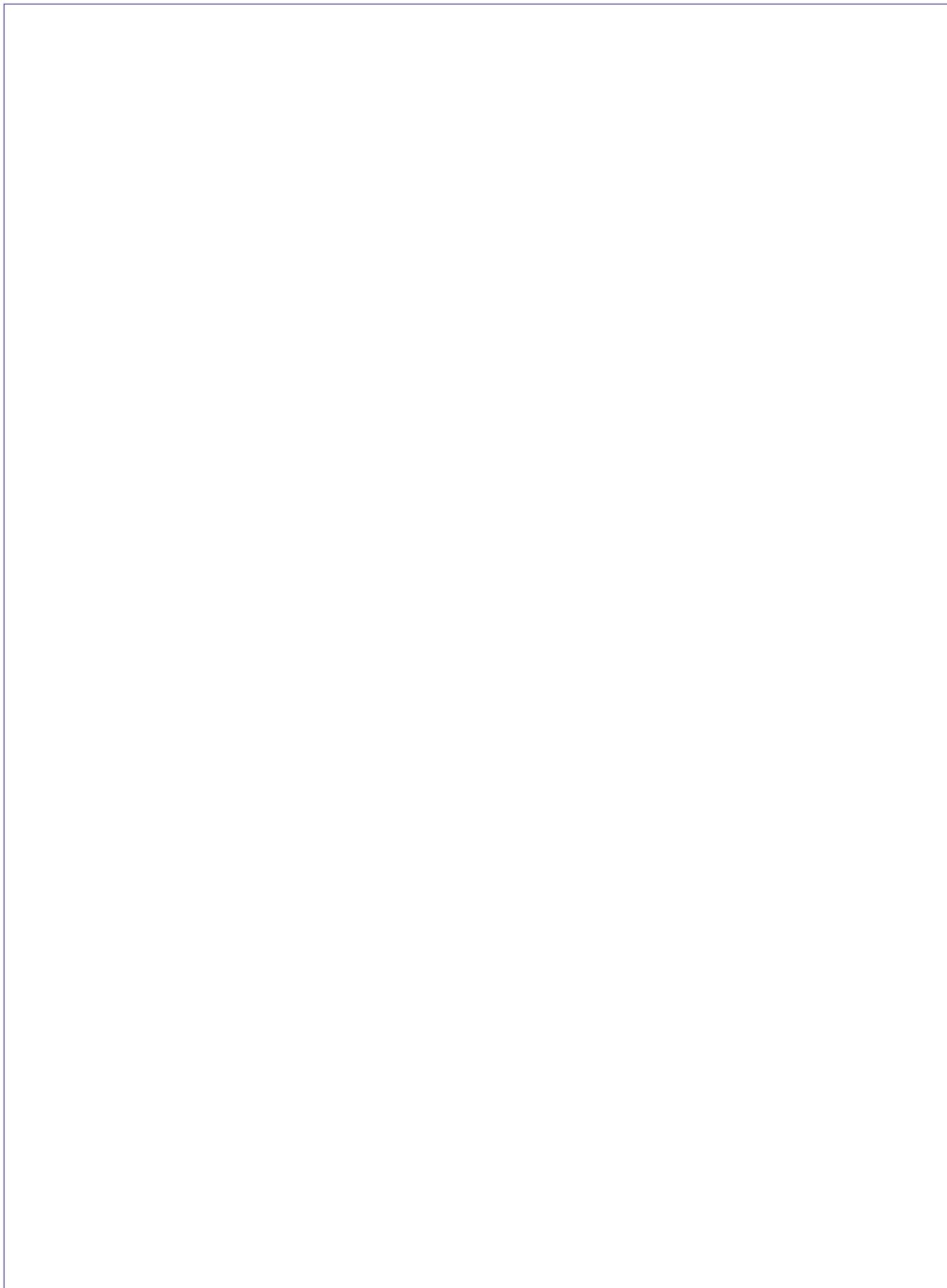
Sur les surfaces verticales et en voûte, l'épaisseur moyenne est de dix millimètres (10 mm) avec un minimum local de neuf millimètres et demi (9,5 mm).

En horizontal, l'épaisseur moyenne est de huit millimètres (8 mm) avec un minimum local de sept millimètres et demi (7,5 mm) (113).

3.9.5 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.



3.10.1 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.

3.10.2 Préparation de la 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.

3.10.3 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.

3.10.4 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.

3.10.5 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.

3.11.1 Joints compressibles

3.11.1.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.

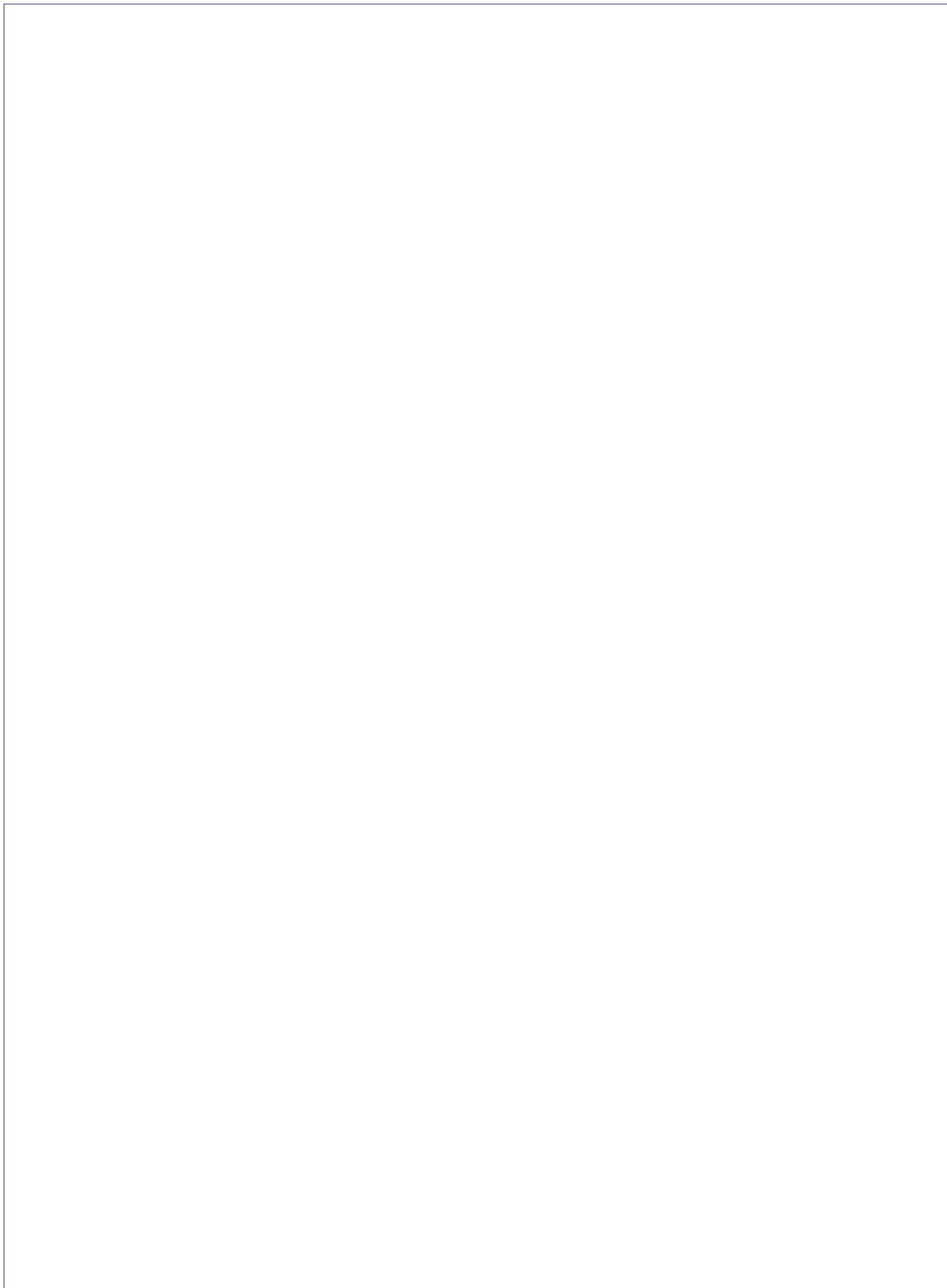
3.11.1.b Réception du joint

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.

3.11.1.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.



3.11.1.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 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.

3.11.1.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.

3.11.1.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.

3.11.2 Joints hydro-expansifs

3.11.2.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.

3.11.2.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.

3.11.2.c Application de la colle et pose du joint

Les joints d'étanchéité 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.

3.11.2.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 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.

3.11.2.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

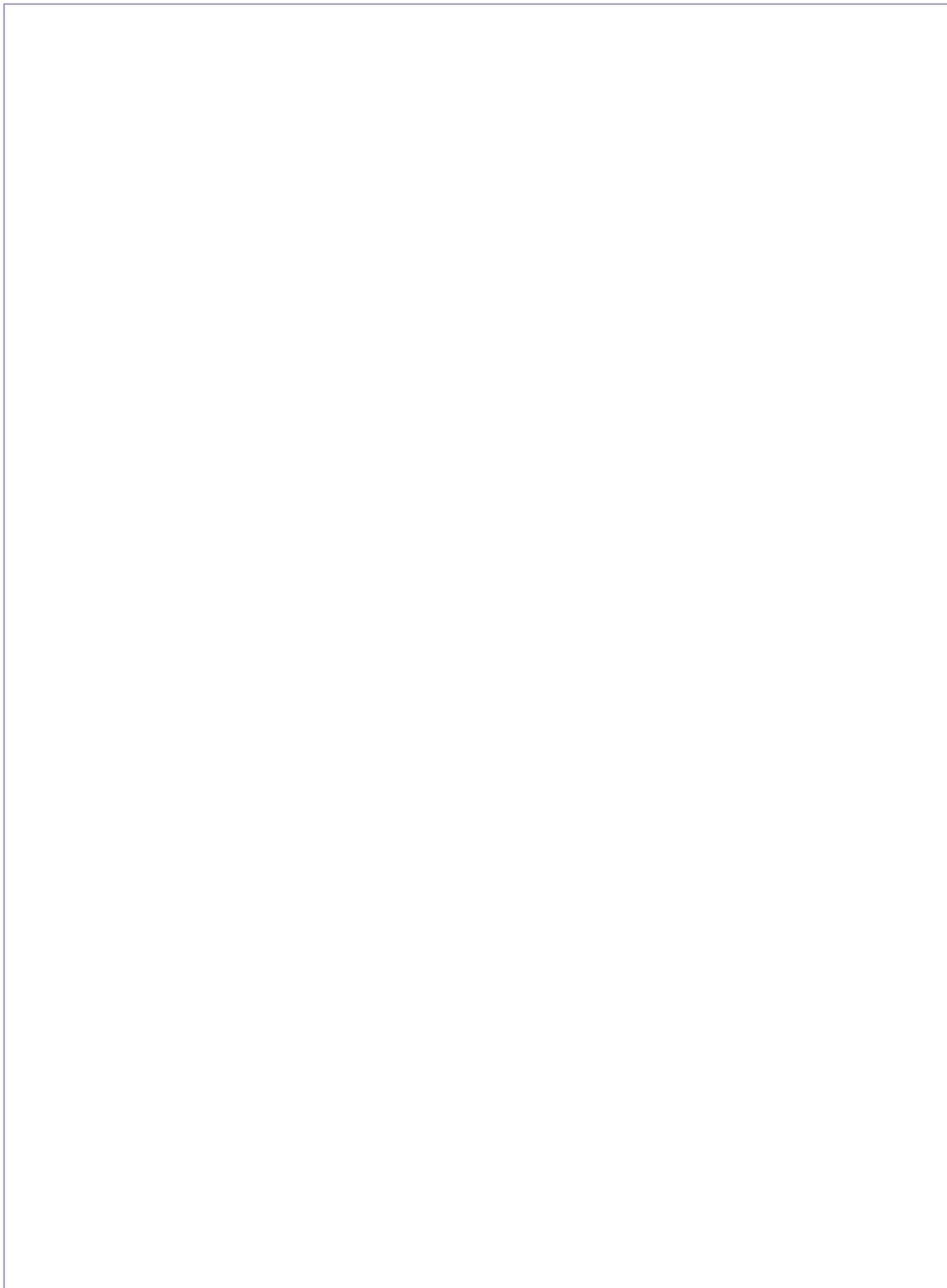
3.11.2.f Pose des voussoirs

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, 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.

3.11.3 Joints mixtes compressibles / hydro-expansifs

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



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 (Président)	Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable (CGEDD)
Gérard MAZZOLENI (rapporteur)	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-Noel LOUCHART	Association Professionnelle des Systèmes d'Étanchéité Liquide (APSEL)
Lionel MACCOR	Association Française des Applicateurs de Géomembranes (AFAG)
Jean-Louis MAHUET	Association Française des Tunnels et de l'Espace Souterrain (AFTES)
Denis MELI	Association Française des Applicateurs 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 Applicateurs 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

Contributeurs :

Ont participé à la rédaction du présent document :

David CHAMOLEY, CETU

Stéphane PETIT, CETU

Gérard MAZZOLENI, CETU

Serge ZAPPELLI, CETU

Sont remerciés pour leur relecture :

Gilles HAMAIDE, CETU

Florent ROBERT, CETU

Odile VANNIERE, CETU

Centre d'Études des Tunnels

25 avenue François Mitterrand
69674 BRON - FRANCE
Tél. +33 (0)4 72 14 34 00
Fax. +33 (0)4 72 14 34 30
cetu@developpement-durable.gouv.fr

