



Recommandation

Etanchéités d'ouvrages souterrains (Normes SIA 197, 272)

Edition novembre 2011



Auteur : Walter Glocker, Renesco AG



Table des matières

0	Introduction	2
0.1	Situation des Normes SIA	2
0.2	But de la recommandation	2
0.3	Remarques	2
1	Concepts et systèmes d'étanchéité	3
1.1	Concept d'évacuation des eaux	4
1.1.1	Système en une couche avec couche de drainage	5
1.1.2	Système en une couche avec remplissage de gravier concassé	7
1.2	Concept de retenue des eaux	8
1.2.1	Système d'évacuation d'eaux de fuite	9
1.2.2	Système en deux couches sans contrôle par mise sous vide	10
1.2.3	Système en deux couches avec contrôle par mise sous vide	11
1.2.4	Système en une couche avec cloisonnement	13
2.	Support	14
3.	Lés d'étanchéité	15
4.	Couches de protection	15
5.	Remplissage de la partie supérieure de la voûte	15
6.	Raccords et exécution des joints	16
7.	Coûts des systèmes d'étanchéité	17



0 Introduction

0.1 Situation des Normes SIA

Les Normes SIA suivantes sont valables pour les travaux d'étanchéités d'ouvrages souterrains :

- SIA 197 Etude de projets de tunnels – bases générales
- SIA 198 Constructions souterraines – exécution
- SIA 270 Etanchéité et drainage – bases générales et délimitations
- SIA 272 Etanchéité et drainage d'ouvrages enterrés et souterrains

La Norme SIA 197 traite du concept d'évacuation des eaux de manière relativement détaillée. Par contre, en ce qui concerne le concept de retenue des eaux, seules des précautions sont prévues au sujet des travaux d'étanchéité complémentaires.

La Norme SIA 198, constructions travaux souterrains - exécution, fait référence dans l'article 2.7.2 à la Norme SIA 272 en ce qui concerne les exigences des matériaux et l'exécution des constructions.

La Norme SIA 272 est à utiliser de manière générale pour la mise en œuvre d'étanchéité et de drainage d'ouvrages enterrés et souterrains. Elle est élaborée selon les concepts et systèmes d'étanchéité, mais cependant pas selon les domaines d'utilisations respectifs. Aucun système d'étanchéité n'est décrit pour les ouvrages souterrains, seules quelques remarques y figurent. Cet état de fait ne facilite pas le travail de planification.

0.2 But de la recommandation

Cette recommandation est une aide de planification au sujet des systèmes d'étanchéité d'ouvrages souterrains. Elle est basée sur les Normes SIA 272 et 197. Elle contient des remarques pour l'étude du projet dans le but d'une planification correcte de l'étanchéité selon les connaissances actuelles de la technique et est une aide pour le choix approprié de systèmes d'étanchéité selon les exigences spécifiques de l'ouvrage.

0.3 Remarques

- La présente recommandation ne traite que d'étanchéités flexibles et uniquement sous l'action d'infiltrations d'eau du massif. Il n'est pas tenu compte des drainages.
- De manière générale, l'article 2.2 des exigences de la Norme SIA 272 doit être pris en considération. Le classement de l'étanchéité doit être établi selon l'utilisation d'après le tableau 2.
- Les exigences relatives à l'exécution ne font pas partie de cette recommandation.
- Les remarques relatives aux articles n°, sans l'indication de "Norme", se réfèrent à la Norme 272.
- Le support et les couches de protection ne sont pas traités dans le descriptif des détails de systèmes d'étanchéité.
- Les chiffres 2-6 sont à prendre en considération pour tous les systèmes.

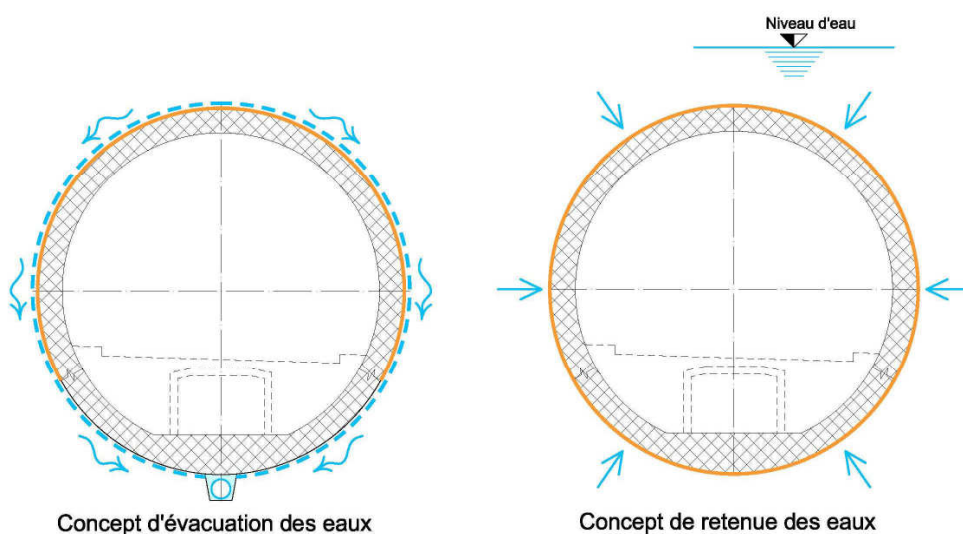


1 Concepts et systèmes d'étanchéité

Les Normes SIA 197 et 272 différencient les concepts d'étanchéité et les systèmes d'étanchéité. Les spécifications sont mentionnées dans l'article 1.2 de la Norme SIA 270 :

- Concept d'étanchéité : toutes les mesures prises, coordonnées entre elles, remplissant les fonctions d'étanchéité et de drainage
- Système d'étanchéité : ensemble des composantes, coordonnées entre elles, assurant la fonction d'étanchéité.

Les concepts d'étanchéité sont définis dans la Norme SIA 272, art. 2.3 et dans la Norme SIA 197, art. 8.6.3. Il faut tenir compte d'une différence fondamentale entre le concept d'évacuation des eaux (drainé) et le concept de retenue des eaux (avec pression d'eau).



Les conditions de la combinaison de ces concepts pour un ouvrage déterminé sont définies dans la Norme SIA 272, art. 2.3.4. Selon l'article 2.3.2 les éléments de drainage d'un concept d'évacuation des eaux doivent recouvrir l'ensemble de la section. Les concepts d'évacuation des eaux et de retenue ne peuvent donc pas être combinés sur la même section.

Le principe d'une "évacuation partielle" tel que décrit en complément dans la Norme SIA 197 n'est pas pris en compte. L'étanchéité partielle dans la massif selon l'article 8.6.3.7 de la Norme SIA 197 est une mesure complémentaire au concept d'évacuation des eaux afin d'obtenir une réduction de la quantité d'eau à évacuer lors de fortes venues d'eau.

Le domaine d'utilisation d'ouvrages souterrains comporte la désignation B2 selon le tableau 1. En tant que système d'étanchéité flexible, seul les lés d'étanchéité en matière synthétique sont pris en considération selon l'article 2.4.4 tableau 4. Le système est détaillé dans l'article 3.5. Seules des étanchéités de type sans adhérence au support peuvent être utilisées dans les ouvrages souterrains.

Les risques inhérents aux systèmes selon l'article 2.4.3 sont à prendre en considération lors du choix du système d'étanchéité.



1.1 Concept d'évacuation des eaux

En référence au concept d'évacuation des eaux, l'eau du massif accumulée entre le support et l'étanchéité est conduite sans pression vers le tuyau de drainage et dirigée hors du tunnel. Le concept d'évacuation des eaux est le plus utilisé dans la construction des tunnels en Suisse. Si la fonction de drainage est assurée, l'ouvrage sera étanche en permanence. Ce concept fut déjà mis en œuvre au 19^{ème} siècle, principalement pour les tunnels ferroviaires. Le remblayage du profil supérieur à l'aide de matériaux d'excavation est garant d'un espace important de drainage creux qui permet l'écoulement de l'eau du massif durant des décennies.

Domaine d'utilisation

Le concept d'évacuation des eaux doit être utilisé si un drainage de l'eau du massif est possible du point de vue géologique et pour des raisons de droit d'eau ou nécessaire pour des raisons économiques (épaisseur du revêtement).

Détail de construction

Le détail de construction du concept d'évacuation des eaux comprend :

1. Couche de drainage, également couche de protection et d'égalisation
2. Lé d'étanchéité monocouche de matière synthétique.

Exigences des couches de drainage

Les exigences des couches de drainage sont définies dans la Norme SIA 272, annexe C.11.1, tableau 34. (Attention ! erreur dans la 1^{ère} édition 2009-08, tenir compte des valeurs sous groupe B3). La valeur de capacité d'écoulement prescrite est de $m^2/s \geq 10^{-4}$ pour une pression de 200 kN/m² et un gradient de $i = 1.0$.

Les points suivants doivent en outre être pris en considération :

1. Les pressions en présence sur la couche de drainage peuvent être $> 200 \text{ kN/m}^2$.
L'efficacité du drainage doit également être garantie lors de pressions élevées du massif.
2. Art. 3.5.3.12 : des mesures contre l'effet de concrétion doivent être prises lors de couches de mortier appliquées sur la partie humide de la couche d'étanchéité (béton projeté).
3. Art. 5.4.3.1 : dispositions à prendre pour garantir la fonction avec un dimensionnement approprié du drainage et de la cavité de concrétion.

La capacité d'évacuation des couches de drainage doit si nécessaire être adaptée. La capacité d'évacuation doit être à son maximum à l'endroit où les venues d'eau attendues sont importantes (domaines des butées / radiers). Des mesures supplémentaires d'évacuation sont à prendre localement dans les zones à hautes venues d'eau.

Les mesures à prendre relatives au drainage, dans la généralité, sont :

1. Garantie de fonctionnement d'utilisation pendant toute la durée de vie de l'ouvrage
2. Evaluation du potentiel de concrétion et prise de mesures correspondantes (voir art. 5.4)
3. Etablissement d'un concept d'entretien lors de la phase de projet.

Epaisseur du lé d'étanchéité

Selon l'article 3.5.3.2, l'exigence concernant l'épaisseur du lé d'étanchéité est de $\geq 2 \text{ mm}$.



1.1.1 Système en une couche avec couche de drainage

Norme SIA 272, art. 2.3.2, Norme SIA 197, art. 8.6.3.5

Domaine d'utilisation

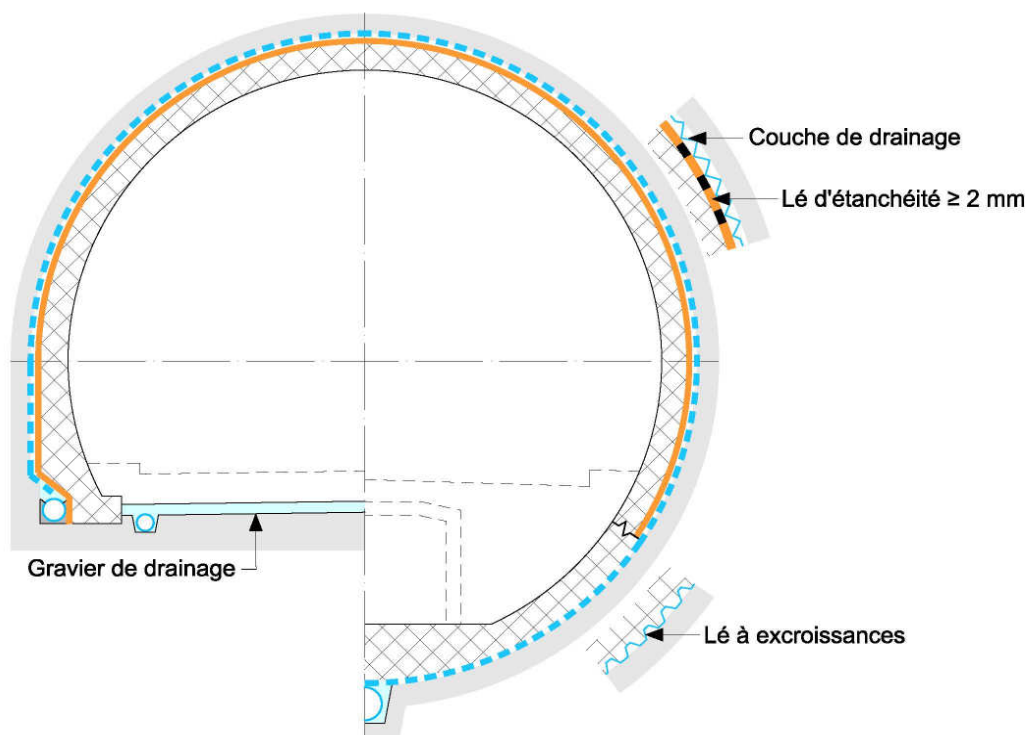
Le chiffre 1.1 est applicable. Le système en une couche avec couche de drainage peut être utilisé pour tous les profils, méthodes d'avancement et de soutènement.

Détail de construction

Le détail du système en une couche avec couche de drainage comprend :

1. Couche de drainage, également couche de protection et d'égalisation
2. Lé d'étanchéité synthétique, épaisseur ≥ 2 mm

Ce détail de construction est valable pour un soutènement avec du béton projeté.

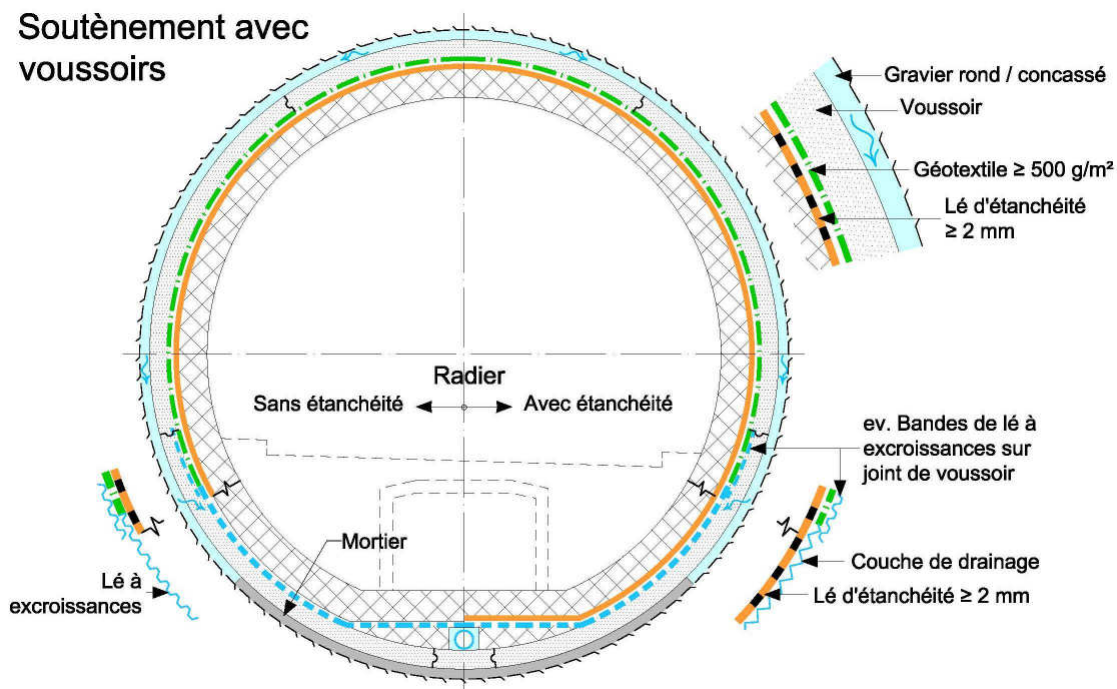


La fonction de drainage de la couche d'égalisation est en règle générale supprimée dans la zone de la voûte lors d'un soutènement avec des voussoirs. Celle-ci est assurée selon le procédé de construction du voussoir par le remblayage du vide annulaire avec du gravier concassé ou du gravier rond et par les joints ouverts du voussoir. Le vide annulaire de la zone du radier contre voûté est en règle générale rempli avec du mortier et la fonction de drainage doit être assurée par une couche de drainage.

Des bandes de lé à excroissances sont à poser sur les joints du voussoir dans la zone de transition, afin d'améliorer le comportement d'évacuation.



Soutènement avec voussoirs



Mesures constructives à prendre

Le captage des eaux est à placer au point le plus bas (art. 8.6.3.4, Norme SIA 197 et art. 2.3.2, Norme SIA 272)

Des mesures supplémentaires lors du concept d'évacuation des eaux d'ouvrages souterrains, tel que cloisonnements, ne sont pas nécessaires (art. 6.6.6.1, Norme SIA 197 et art. 3.5.3.4, Norme SIA 272) et également pas à conseiller. Des cloisonnements avec bandes de compartimentage nécessitent des injections complémentaires. Le matériau d'injection peut pénétrer dans le système de drainage et en diminuer la fonction.

Des cavités de concrétion de la plus grosse dimension possible, avec gravier de drainage, sont à concevoir sur les tuyaux de drainage.

Des couche supplémentaires de drainage ou des bandes de lé à excroissances peuvent être prévues localement afin d'augmenter la capacité d'évacuation.

Des éléments de drainage peuvent être posés, également par bandes, lors de fortes pressions de charges du massif. La capacité de drainage des ces éléments doit être augmentée selon la réduction de la surface. Une couche d'égalisation et de protection doit être posée entre les éléments de drainage.

L'évacuation des eaux dans la zone du radier peut également s'effectuer par des lés à excroissances ou couches de gravier, sans lé d'étanchéité, dans le tuyau de drainage. Lors de l'utilisation des lés à excroissances, le support doit être conçu selon les exigences en matière d'étanchéité (voir chiffre 2). Afin que les lés à excroissances ne subissent pas de blessures lors de la mise en place du béton et des armatures, leur masse surfacique doit correspondre à cette utilisation. Les raccords des lés à excroissances sont à concevoir de manière étanche, afin qu'aucun lait de ciment puisse y pénétrer. La transition entre le lé d'étanchéité et le lé à excroissances est à exécuter de telle manière afin que le débit d'eau soit garanti et qu'aucun lait de ciment ne puisse pénétrer dans la couche de drainage.



1.1.2 Système en une couche avec remplissage de gravier concassé

Norme SIA 272, art. 2.3.2 et Norme SIA 197, art. 8.6.3.5

Dans le cas d'un système en une couche avec remplissage de gravier concassé, l'étanchéité est posée sur le profil théorique extérieur à l'aide de cintres réticulés avec treillis d'armature et le vide hors profil de l'excavation est rempli avec du gravier concassé. L'on obtient de la sorte une très grande cavité de drainage et de concrétion. Les frais d'entretiens seront de ce fait fortement réduits. Quant au système combiné, le remplissage de gravier concassé se limite aux parois latérales et le sommet de la calotte est pourvu d'une étanchéité conventionnelle.

Le système est patenté. Les conditions d'exécution par des tiers sont à convenir avec la Société Valplast SA.

Domaine d'utilisation

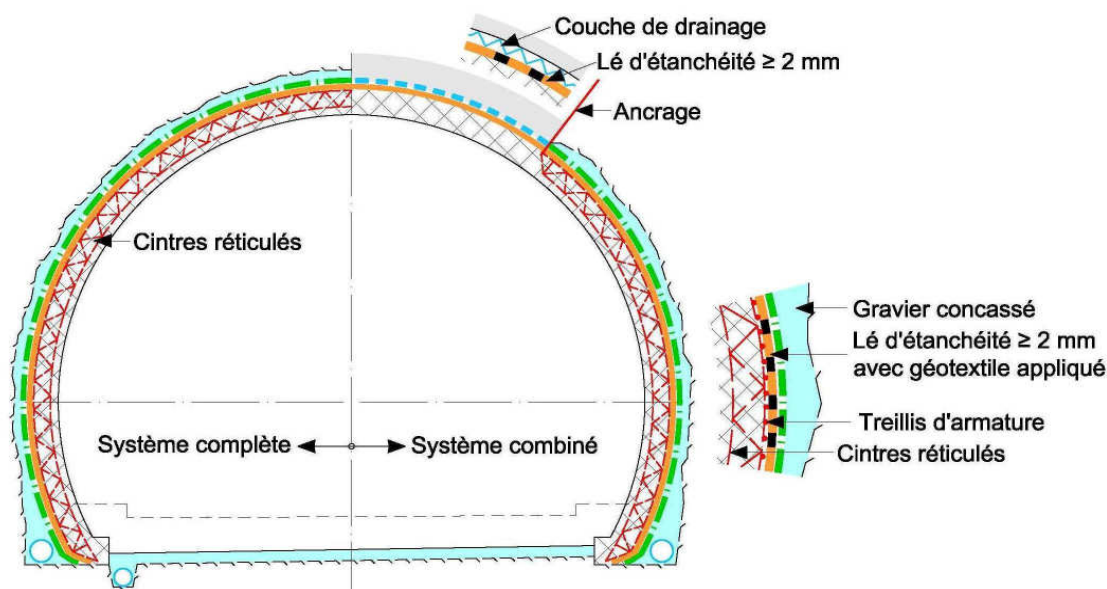
Le chiffre 1.1 est applicable. Le système en une couche avec remplissage de gravier concassé est mis en œuvre spécialement dans les tunnels avec un danger important de concrétion lors d'un avancement à l'explosif. Il peut être utilisé en combinaison avec un revêtement en béton projeté pour des ouvrages spéciaux, telles que cavernes ou élargissements.

Détail de construction

Le détail de construction du système en une couche avec remplissage de concassé comprend :

1. Couche de drainage avec remplissage du gravier concassé au niveau du vide hors profil supérieur
2. Couche de protection : géotextile appliqué sur lé d'étanchéité
3. Lé d'étanchéité synthétique : épaisseur ≥ 2 mm
4. Construction porteuse : cintres réticulés avec treilles d'armature

Lors d'un système combiné, ce détail de construction n'entre en ligne de compte que pour les zones latérales, alors que le sommet de la calotte est conçu selon le chiffre 1.1.1.



Mesures constructives à prendre

Il n'est pas nécessaire de préparer le support. Le béton projeté n'est utilisé que pour stabiliser la roche et la couche d'égalisation est supprimée. L'épaisseur de la couche de béton de revêtement doit correspondre aux dimensions théoriques du projet. Le support avec cintres réticulés et treillis d'armature est à mettre en œuvre de manière à ce qu'il soit autoporteur et confère une légère armature au revêtement. Lors de profils spéciaux, traversées et systèmes



combinés, des ancrages supplémentaires sont installés dans la roche afin d'assurer une transmission des forces. Le remplissage de gravier concassé est à compacter à l'aide de vibreurs.

1.2 Concept de retenue des eaux

Norme SIA 272, art. 2.3.3, Norme SIA 197, art. 8.6.3.5

L'eau du massif n'est pas évacuée lors de l'utilisation du concept de retenue des eaux. De ce fait, l'ouvrage est exposé à la pression de l'eau. Le revêtement est à dimensionner en regard à la pression hydrostatique en présence. Voir également à ce sujet la Norme SIA 261, art. 4.4. Le concept de retenue des eaux a été mis en œuvre dans environ 10 % des ouvrages lors de constructions de tunnels en Suisse durant les 40 dernières années. L'étanchéité n'a pu être réalisée dans la plupart des cas qu'avec des injections supplémentaires coûteuses.

Les raisons ont été principalement à cause de :

- Remplissage insuffisant dans la partie supérieure de la voûte
- Effet de barrière insuffisant des cloisonnements

Domaine d'utilisation

Si un écoulement du massif n'entre pas en ligne de compte pour des raisons géologiques ou de droits d'eau, une étanchéité complète contre la pression d'eau est nécessaire (concept de retenue des eaux). En règle générale, le radier de ces tunnels est en forme de voûte.

L'étanchéité est effectuée en deux étapes, à savoir du radier et de la voûte.

Détail de construction

Détail de construction valable pour tous les systèmes selon le concept de retenue des eaux :

1. Couche d'égalisation et de protection
2. Lé d'étanchéité monocouche ou bicouche
3. Mesures complémentaires*

* Au sujet du concept de retenue des eaux, il est fait mention dans la Norme SIA 197 de mesures de précautions relatives à l'étanchéité complémentaire, sans toutefois les spécifier. La Norme SIA 272, art. 3.5.3.4, prescrit dans ce cas la mise en œuvre de secteurs de cloisonnement et fait mention de l'exécution de zones délimitées en double couche. L'article 3.5.3.14 fait part, sous solution de repli l'évacuation des eaux de fuite et des travaux d'injections dans les secteurs de cloisonnement.

Exigences des couches d'égalisation et de protection

Les exigences des couches d'égalisation et de protection sont définies, selon la rugosité, dans la Norme SIA 272, annexe C.10.4, tableau 33.

Selon la pratique, les valeurs suivantes sont à prendre en considération :

- Support en béton projeté : géotextile $\geq 1'000 \text{ g/m}^2$
- Support en voussoir : géotextile $\geq 500 \text{ g/m}^2$

Épaisseur du lé d'étanchéité

L'article 3.5.3.2 définit l'épaisseur minimale du lé d'étanchéité :

- Etanchéités monocouches : $\geq 3 \text{ mm}$
- Etanchéités bicouches contrôlables sous vide : à déterminer selon l'objet spécifique*

- * Recommandation : 1^{ère} couche, épaisseur $\geq 3 \text{ mm}$
- 2^{ème} couche, épaisseur $\geq 2 \text{ mm}$

Systèmes d'étanchéité et pression hydrostatique

Les systèmes d'étanchéité usuels sont décrits ci-après, ainsi que les recommandations relatives à leur aptitude envers les pressions d'eau attendues. Les pressions d'eau sont définies comme suit :

- basses pression hydrostatique jusqu'à 10 m
- moyennes pression hydrostatique jusqu'à 30 m
- élevées pression hydrostatique de plus de 30 m



1.2.1 Système d'évacuation d'eaux de fuite

La Norme SIA 272, art. 2.4.3 et 3.5.3.14 mentionne l'évacuation d'eau de fuite en tant que solution de repli.

Toute eau de fuite est recueillie entre deux couches et conduite dans une couche d'évacuation, puis évacuée sans pression par un conduit jusqu'au portique.

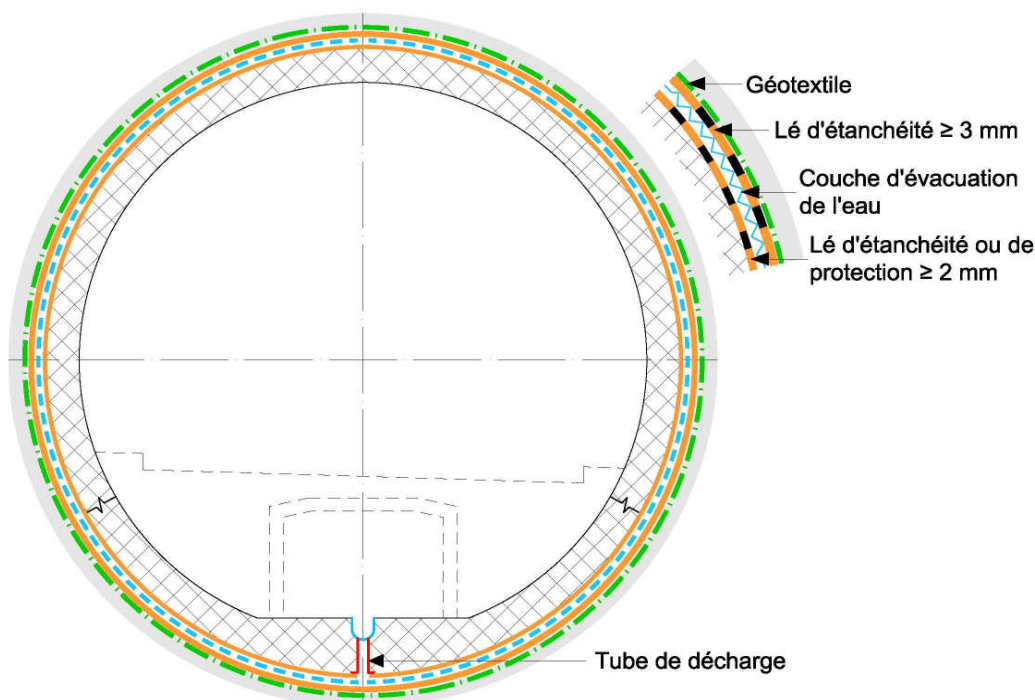
Domaine d'utilisation

Le système d'évacuation d'eaux de fuite ne doit être utilisé uniquement par basses pressions d'eau. Il est particulièrement recommandé lorsqu'une pression d'eau ne survient que sporadiquement et qu'une fuite dans l'étanchéité ne puisse être localisée à temps.

Détail de construction

Le détail de construction du système d'évacuation d'eau de fuite comprend :

1. Couche d'égalisation et de protection
2. Lé d'étanchéité synthétique extérieur, épaisseur ≥ 3 mm
3. Couche d'évacuation de l'eau de fuite
4. Lé d'étanchéité ou couche de protection intérieure, épaisseur ≥ 2 mm
5. Tubes de décharge pour eaux de fuite
6. Tuyau d'eaux de fuite ou caniveaux



Exigences de la couche d'évacuation

La couche d'évacuation sur la partie sèche doit garantir un écoulement de l'eau de fuite sans constitution de pression vers le collecteur de décharge. La capacité d'évacuation doit correspondre aux exigences de la capacité de drainage du concept d'évacuation des eaux.

Mesures constructives à prendre

Le tuyau d'évacuation d'eaux de fuite, respectivement le caniveau est à placer au point le plus bas possible. Un accès pour contrôles et nettoyages du collecteur de décharge et conduit doit être prévu. Les couches d'évacuation dans la zone du collecteur sont à renforcer localement, afin que l'évacuation de l'eau sans pression soit garantie, de la surface jusque dans le collecteur. Il est recommandé de procéder à un cloisonnement radial de secteur en soudant les deux lés.



1.2.2 Système en deux couches sans contrôle par mise sous vide

Norme SIA 197, art. 8.6.4.1, la Norme SIA 272 mentionne uniquement le système avec contrôle sous vide.

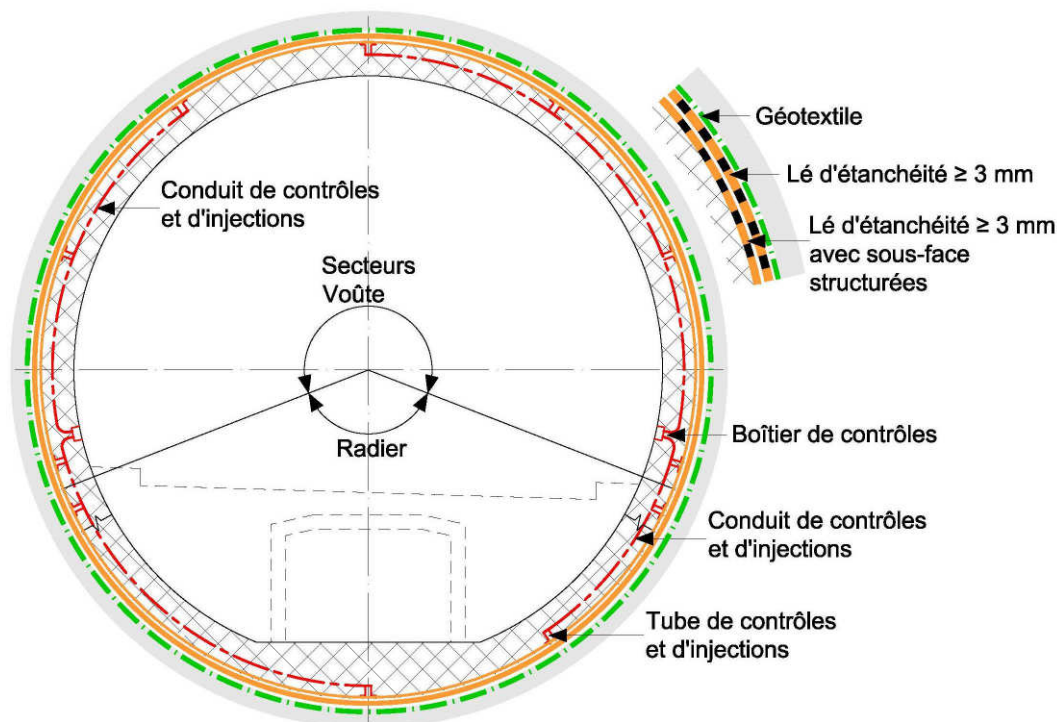
Domaine d'utilisation

Utilisation par basse pression d'eau ou par mesure complémentaire en vue d'augmenter la sécurité lors d'étanchéités d'après le concept d'évacuation des eaux pour des zones particulièrement sollicitées, par exemple des niches. La couche de drainage ne doit pas comporter d'interruptions lors de la prise de ces mesures complémentaires dans le cadre du concept d'évacuation des eaux, afin que cela ne provoque pas de changement de système.

Détail de construction

Le détail de construction du système en deux couches sans contrôle sous vide comprend :

1. Couche d'égalisation et de protection (couche de drainage lors de mesures complémentaires).
2. Lé d'étanchéité synthétique extérieur, épaisseur ≥ 3 mm, voir chiffre 1.2
3. Lé d'étanchéité synthétique intérieur, épaisseur ≥ 2 mm avec sous-face structurées
4. Tubes de contrôles et d'injections
5. Conduits d'injections de la zone du radier aux boîtiers de contrôles



Mesures constructives à prendre

Des cloisonnements en soudant les deux lés d'étanchéité, de même que des tubes de contrôles et d'injection sont à mettre en place lors de l'utilisation du système en deux couches sans contrôles sous vide. Des conduits d'injections sont à placer depuis les tubes de contrôles et d'injections de la zone du radier jusqu'aux boîtiers de contrôles au niveau de la chaussée. Des cloisonnements entre le radier et la partie voûtée ne sont pas obligatoires. Des cloisonnements longitudinaux dans le radier et la partie voûtée dans l'axe du tunnel peuvent être mis en œuvre en soudant les lés d'étanchéité, afin d'obtenir une coupure de la section. La grandeur du secteur ne doit pas excéder 200 m².



Réparations

Les parties non étanches de l'ouvrage seront réparées dans les secteurs en question par injections complémentaires entre les deux couches. La mise en œuvre de ces réparations doit être convenue entre tous les intervenants.

1.2.3 Système en deux couches avec contrôle par mise sous vide

Norme SIA 272, art. 3.5.1

Domaine d'utilisation

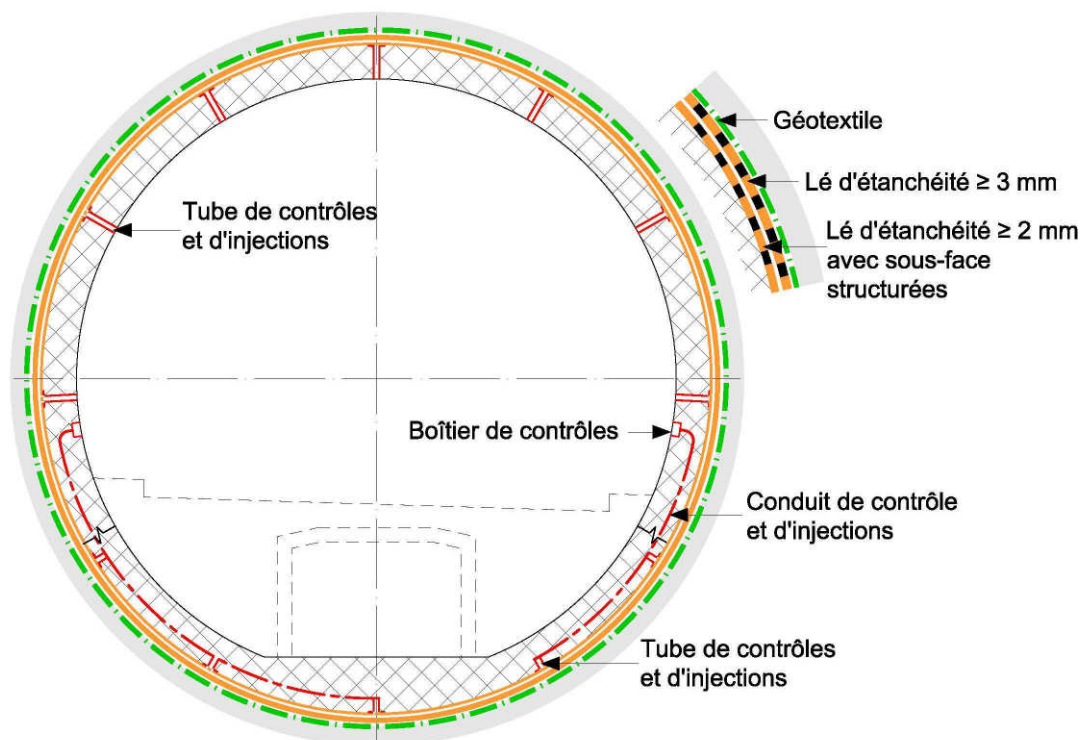
Utilisation lors de pressions d'eau moyennes et élevées, particulièrement pour ouvrage de classe d'étanchéité 1.

Détail de construction

Le détail de construction du système en deux couches avec contrôle par mise sous vide comprend :

1. Couche d'égalisation et de protection
2. Lé d'étanchéité synthétique extérieur, épaisseur ≥ 3 mm, voir chiffre 1.2
3. Lé d'étanchéité synthétique intérieur, épaisseur ≥ 2 mm, avec sous - face structurées*
4. Tubes de contrôles et d'injections
5. Conduits de contrôles et d'injections aux boîtiers de contrôles
6. Eventuellement dispositif pour contrôles permanents du vide avec alarme

*Pour les exigences de la sous - face structurées, voir point 3 lés d'étanchéité





Mesures constructives à prendre

Afin que chaque secteur puisse être contrôlé lors de l'avancement des travaux, des secteurs séparés doivent être mis en place pour les zones du radier et des parties voûtées. Tous les recouvrements soudés doivent être conçus de façon à ce qu'ils puissent être contrôlés lors du test sous vide. La grandeur des secteurs ne doit pas excéder 100 m².

Les tubes de contrôles et d'injections sont à placer de telle sorte que l'injection et le désaéragage des secteurs soit garanti. Il faut mettre en place au moins trois tubes par secteur. Les conduits de contrôles et d'injections doivent être mis en place dans les boîtiers de contrôle groupés dans la zone de la chaussée afin que les contrôles des secteurs et des injections complémentaires soient garantis en tout temps.

Contrôles et surveillance

Les contrôles sous vide suivants doivent être au minimum effectués et documentés :

1. Avant la remise à l'entreprise-pilote
2. Après la mise en place de l'armature
3. Avant la montée de la nappe phréatique, respectivement l'eau du massif.

La surveillance automatique sous vide permet d'effectuer des contrôles continus de chaque secteur au-delà de la période de construction. Un tel système est très coûteux. Il permet de déterminer la cause d'une fuite, mais ne contribue pas à augmenter la qualité de l'ouvrage.

Réparations

Les secteurs présentant des défauts pendant la mise en œuvre sont à réparer ou à changer. Lors de la remise de l'ouvrage à l'entreprise-pilote, l'étanchéité doit être étanche au vide. En cas de parties non étanches au sein de l'ouvrage, les secteurs en question doivent être réparés par injections entre les deux lés d'étanchéité. La mise en œuvre de ces réparations doit être convenue entre tous les intervenants.



1.2.4 Système en une couche avec cloisonnement

Norme SIA 272, art. 2.2.7.2, 3.5.3.4 et 3.5.4.5

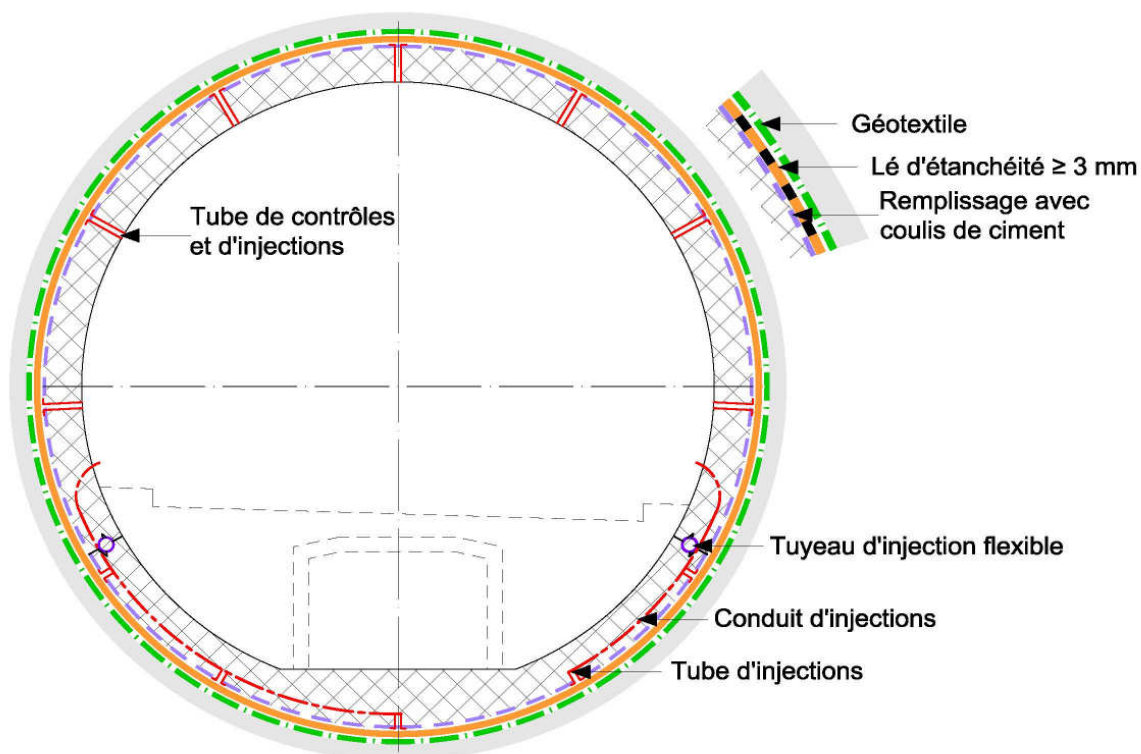
Domaine d'utilisation

- Utilisation pour des pressions d'eau moyennes à élevées

Détail de construction

Le détail de construction du système en une couche avec cloisonnement comprend :

1. Couche d'égalisation et de protection
2. Lé d'étanchéité synthétique, épaisseur ≥ 3 mm
3. Bandes de cloisonnement avec équipement pour injections supplémentaires
4. Tubes pour désaéragé et injections
5. Conduits d'injections aux tubes dans la zone du radier
6. Remplissage du vide entre l'étanchéité et le revêtement intérieur



Mesures constructives à prendre

Les bandes de cloisonnement sont à placer sur le pourtour radial sur les joints de l'étape. Elles doivent être pourvues de conduits d'injections et au sommet de tubes de désaéragé. Un tuyau d'injections flexible est à poser dans la partie horizontale de l'étape de bétonnage entre le radier et la partie voûtée.

Des tubes d'injections et de désaéragé doivent être placés dans le revêtement intérieur. Dans la zone voûtée, ces tubes sont placés au travers du coffrage du revêtement. Des conduits d'injections sont installés dans le radier jusqu' au niveau de la chaussée, afin que des injections et des contrôles puissent y être effectués.



Injections et remplissage (Hinterlegung)

Les bandes de cloisonnement des joints de secteurs et les tuyaux d'injections flexibles dans les joints horizontaux reçoivent systématiquement une injection de coulis de ciment. Ceci permet un remplissage ultérieur contrôlé des cavités (par secteur). Le remplissage du vide entre le revêtement et l'étanchéité dans la partie supérieure de la voûte s'effectue en même temps que le remplissage systématique des cavités sur l'ensemble de la section avec du coulis de ciment. Ces injections et remplissages sont à effectuer avant la montée de la nappe phréatique. Ils font partie intégrante du système d'étanchéité.

Lors de ce remplissage en pleine surface, une plus-value de consommation de coulis de ciment est à calculer, comparé à la consommation standard de 5 lt/m² selon la Norme SIA 118/272. Cette plus-value de consommation se réfère à l'article 2.2 de cette Norme et est à rémunérer en tant que condition constructive de conception.

2 Support

Norme SIA 272, art. 3.5.3.1

Le support fait partie du système d'étanchéité (art. 2.4.2). Ce support doit être préparé avant la pose de l'étanchéité, selon les conditions requises. Les préparations du support font partie du projet (art. 3.5.3.1).

Les conditions suivantes, pour un support sur béton projeté, sont stipulées dans l'annexe B.1, tableau 16 :

- pas d'eau courante ou stagnante
- pas de fibres métalliques en surface
- rayon minimum 0.2 m
- rapport entre l'espacement des bosses et leur profondeur $\geq 10 : 1$
- épaisseur de la couche de béton projeté ≥ 50 mm

Les supports possibles mentionnés sont par ailleurs :

- des éléments de voussoir

Le décalage du voussoir et la profondeur de rugosité autorisés sont définis dans l'annexe C.10.4 en regard à la masse surfacique de la couche d'égalisation en géotextile. La profondeur maximale autorisée de la rugosité du béton projeté comporte 8 mm. Aucune mesure n'est nécessaire pour des éléments de voussoir dont le décalage et la largeur de joint est ≤ 15 mm. Des joints ayant un décalage et une largeur supérieurs doivent être au préalable égalisés au mortier de manière cunéiforme.

Des exigences supplémentaires quant à la qualité du support sont à fixer selon les spécificités du projet. Lors d'étanchéités en présence de pressions d'eau élevées, les exigences relatives à la planéité du support en regard au rapport entre l'espacement des bosses et leur profondeur doit être augmenté à raison de $\geq 20 : 1$. Afin d'obtenir une surface plane dans la zone des bandes de cloisonnement, une couche d'égalisation au mortier doit être appliquée.



3 Lés d'étanchéité

Exigences selon Norme SIA 272, art. 3.5.3.2 et annexe C.5

Les deux groupes de produits suivants sont disponibles sur le marché :

- PVC-P, chlorure de polyvinyle contenant des plastifiants
- FPO, TPO, polyoléfine thermoplastique, souple

PVC-P est plus souple et se laisse plus facilement souder et apporte de ce fait une meilleure sécurité lors de la mise en œuvre.

FPO et TPO sont uniquement à utiliser en présence d'influences chimiques spéciales de l'eau du massif, respectivement de la nappe phréatique.

Lors de l'utilisation de lés d'étanchéités avec sous - face structurées pour système en deux couches avec contrôle par mise sous vide, la preuve doit être fournie que le vide, en présence des pressions attendues, puisse être contrôlé de manière permanente.

4 Couches de protection

Exigences selon Norme SIA 272, annexe C.10.3, tableau 32

Selon le domaine d'utilisation B2, il est mentionné dans la Norme SIA 272, art. 3.5.3.12 qu'une couche de protection est seulement nécessaire dans la zone de coffrage frontal en présence de revêtements non armés.

La Norme SIA 197, art. 8.6.6.3, prescrit que des mesures de protection supplémentaires sont nécessaires lors de sollicitations mécaniques de l'étanchéité. Cela concerne spécialement :

- zones de trafic (radier)
- parties de construction armées
- zones de coffrage frontal

Les raccords d'étapes exposés (par ex. les radiers avant la pose de l'étanchéité de l'étape suivante) sont à protéger de salissures et d'endommagements jusqu'à l'exécution de la fin des travaux.

En règle générale, les couches de protection sont à réaliser avec des lés de protection en matériaux recyclés de même base que le lé d'étanchéité et avec les épaisseurs suivantes :

- voûte ≥ 2 mm
- zone de radier ≥ 3 mm

Lors de fortes sollicitations, par ex. pour des secteurs parcourus par des véhicules dans la zone du radier, un béton de protection armé est nécessaire. Des nattes de granulats recyclés sont inappropriées.

5 Remplissage de la partie supérieure de la voûte et injections

Norme SIA 272, art. 2.2.7.2, art. 4 et annexe C9, Norme SIA 197, art. 8.6.6.2

Une distinction est à faire entre le remplissage de la partie supérieure de la voûte (art. 2.2.7.2) et les injections dans les secteurs à cloisonnement (art. 4). Des injections directement dans les fissures et joints de travail de la construction en béton ne sont présentement pas traitées.

Remplissage de la partie supérieure de la voûte

En règle générale, l'étanchéité est recouverte d'un revêtement bétonné. Selon l'art. 2.2.7.2, la partie de coffrage de la construction doit être remplie complètement de béton. L'expérience a démontré qu'en ouvrage souterrain, même lors d'un bétonnage soigneusement effectué sur l'ensemble de la section, des tassements ou autres cavités peuvent se produire. Le danger est grand, spécialement lors du concept de retenue des eaux et dans les secteurs armés que l'étanchéité puisse subir des dommages à la suite d'un remplissage incomplet. C'est la raison pour laquelle, un remplissage de la partie supérieure de la voûte est nécessaire pour tous les



systèmes. Il fait partie intégrante du projet. Le mode de décompte est fixé dans la Norme SIA 118/272, art. 2.1 et 2.2.

Le remplissage du vide entre le revêtement et l'étanchéité de la partie supérieure de la voûte ne fait pas partie en règle générale du système d'étanchéité. Les tubes d'injections et les conduits d'injections sont cependant mis en place avec l'étanchéité. L'étanchéité dépend directement de la qualité de ces mesures. Les mesures suivantes sont à prévoir :

- tubes d'injections et de désaéragage ou tuyaux d'injections flexibles dans la faîte
- compression des joints de construction afin d'éviter un écoulement du matériau d'injections et afin que la pression peut être contenue (par ex. profils de bourrage dans les joints, bandes épaisses de géotextile sur les joints de construction, radial sur étanchéité).
- remplissage systématique des cavités avec du coulis de ciment
- remplissage préalable au mortier d'importantes cavités en calotte.

Injections dans les secteurs avec cloisonnements

Ces injections sont effectuées, selon l'art. 4.1.3, pour :

- des réparations de l'étanchéité de secteurs non étanches
- des remplissages de bandes de cloisonnements

Les secteurs non étanches, réalisés en systèmes en deux couches, sont à compléter par des injections en pleine surface avec des matériaux synthétiques souples. Dans le cas de systèmes en une couche avec cloisonnements, un complément d'étanchéité peut être effectué avec un coulis de ciment. La répartition des coûts doit être déterminée selon accord contractuel. En règle générale, les causes de dommages peuvent être détectées lors du système en deux couches avec contrôle sous vide.

Les injections pour compléter les bandes de cloisonnements et les tuyaux d'injections flexibles sont réalisées avec un coulis de ciment ou des matériaux synthétiques souples. Elles font partie intégrante du système d'étanchéité.

6 Raccords et exécution des joints

Il est stipulé dans la Norme SIA 272, art. 3.5.3.5, que les raccords, les relevés et retombées sont à effectuer de manière composite (par ex. bandes collées). Ces bandes collées sont à utiliser en ouvrages souterrains, par ex. pour des raccords à des regards de contrôle ou d'évacuation.

Afin d'obtenir un raccord étanche sur le support (par ex. transition entre le concept d'évacuation des eaux / retenue des eaux), des encollages sur une large surface sont nécessaires, de même que des injections de zones entre l'étanchéité et le support.

Les raccords aux tuyaux de drainage sont à concevoir avec des rails de fixation latéraux sur le béton, afin d'empêcher la pénétration de lait de ciment. Lors de l'utilisation de pièces d'angles spéciales de drainage, l'étanchéité est soudée sur ces dernières.

Les joints de dilatations du support sont traités dans la Norme SIA 272, art. 3.5.3.8. Les joints du support en ouvrages souterrains se rencontrent seulement lors de la transition avec l'ouvrage à ciel ouvert. Ces parties de transition sont à exécuter avec des joints de retour. La position 371 du CAN 271/F08 ne doit en règle générale pas être utilisée.

Il en est de même pour le CAN 271/F08, la position 365, raccords aux lés d'étanchéités de bitume polymère et étanchéités liquides, qui n'entre pas en ligne de compte. Les systèmes avec lés d'étanchéités de bitume polymère et étanchéités liquides ne sont prévus uniquement que pour des ouvrages secondaires, selon l'art. 2.4.4. Ces raccords ne se rencontrent qu'aux transitions avec l'ouvrage à ciel ouvert. Ils devraient être décrits dans le CAN 271, position 372 ou dans le CAN 172, ouvrages à ciel ouvert.



7 Coûts des systèmes d'étanchéité

La part estimée des systèmes d'étanchéité envers les coûts du gros œuvre d'un tunnel est indiquée dans la rubrique des coûts. Ces valeurs sont relatives, vu que les coûts du gros œuvre dépendent fortement de la géologie et de la méthode de l'excavation. Des coûts supplémentaires pour le drainage doivent être pris en compte lors du concept d'évacuation des eaux. Les moins-values pour le support et l'économie de béton sont pris en compte lors du système en une couche avec remplissage de gravier concassé.

Chiffre	Système d'étanchéité	Pression d'eau	Support	Spécialités	Coûts
1.1	Concept d'évacuation des eaux				
1.1.1	Système en une couche avec couche de drainage	aucune	Béton projeté / voussoir		3.5 %
1.1.2	Système en une couche avec remplissage de gravier concassé	aucune	Roche sans égalisation	Avancement à l'explosif, ouvrages spéciaux	6.0 %
1.2	Concept de retenue des eaux				
1.2.1	Système d'évacuation des d'eaux de fuite	basse	Béton projeté / voussoir	Pression d'eau sporadique	7.5 %
1.2.2	Système en deux couches sans contrôle par mis sous vide	basse	Béton projeté / voussoir	Egalement pour niches, etc.	8.0 %
1.2.3	Système en deux couches avec contrôle par mis sous vide	moyenne à élevée	Béton projeté / voussoir		10.0 %
1.2.4	Système en une couche avec cloisonnement	moyenne à élevée	Béton projeté / voussoir		7.5 %



Notices

A series of horizontal dotted lines for writing notices, spanning the width of the page.



Membres du VAT

