

Remplace la partie technique de la Recommandation SIA 272, édition 1980

Abdichtungen und Entwässerungen von Bauten unter Terrain und im Untertagbau

Étanchéités et drainages d'ouvrages enterrés et souterrains

Merci de prendre connaissance du correctif dans l' annexe.

Éditeur
Société suisse des ingénieurs et des architectes
Case postale, CH-8027 Zurich

272

D'éventuelles corrections et d'éventuels commentaires relatifs à la présente publication se trouvent sous www.sia.ch/korrigenda.

La SIA décline toute responsabilité en cas de dommages qui pourraient survenir du fait de l'application de la présente publication.

2009-08 1^{re} édition

TABLE DES MATIÈRES

	Page		Page
Avant-propos	4	6 Isolations thermiques	61
0 Champ d'application	5	6.1 Généralités	61
0.1 Délimitation	5	6.2 Spécifications relatives aux matériaux	61
0.2 Groupes d'application	5	6.3 Spécifications relatives à la construction	62
0.3 Références normatives	9	6.4 Spécifications relatives à l'exécution ..	62
0.4 Dérogations	10	Annexe	
1 Terminologie	11	A Vue d'ensemble des systèmes d'étanchéité	63
2 Principes	13	B Support	64
2.1 Actions de l'eau	13	C Spécifications relatives aux matériaux et à l'exécution	66
2.2 Exigences	14	D Essais	90
2.3 Concepts d'étanchéité	16		
2.4 Vue d'ensemble des systèmes d'étanchéité	18		
3 Systèmes d'étanchéité	22		
3.1 Constructions en béton étanche (WDB)	22		
3.2 Mortiers étanches (WDM)	26		
3.3 Asphalte coulé (MA)	29		
3.4 Lés d'étanchéité à base de bitume polymère (PBD)	32		
3.5 Lés d'étanchéité en matière synthétique (KDB)	37		
3.6 Lés d'étanchéité à base d'argile (TDB)	42		
3.7 Étanchéité synthétique liquide (FLK) ..	45		
3.8 Étanchéités à base de polymère de bitume modifié, revêtements épais (KMB)	49		
4 Injections	52		
4.1 Généralités	52		
4.2 Spécifications relatives aux matériaux	52		
4.3 Spécifications relatives à l'exécution ..	53		
5 Drainages	54		
5.1 Généralités	54		
5.2 Spécifications relatives aux matériaux	54		
5.3 Spécifications relatives à la construction	55		
5.4 Concrétions dans les dispositifs de drainage	58		
5.5 Spécifications relatives à l'exécution ..	59		
5.6 Spécifications relatives à l'exploitation	60		

AVANT-PROPOS

L'ingénieur s'intéresse aux forces dans l'ouvrage jusqu'à leur transmission au terrain de fondation. Il s'intéresse de même à l'eau jusqu'au point où elle n'est plus en mesure de nuire.
Heinrich Figi, Coire

La présente norme SIA 272 est en relation avec la prénorme SIA 270, *Étanchéités et drainages*. Elle traite des principes régissant l'étude et l'exécution des mesures à prendre face à l'eau et à l'humidité. Étanchéité, drainage et isolation thermique constituent un ensemble fonctionnel, d'où leur regroupement dans la présente norme. Le chapitre des drainages, harmonisé avec la norme SIA 197, apporte des précisions supplémentaires. Les principes de dimensionnement d'ouvrages en béton étanche sont déduits de la norme SIA 262, *Construction en béton*. L'isolation thermique d'ouvrages enterrés et souterrains ne fait pas l'objet d'une norme de système.

La présente norme donne la description des actions de l'eau, des exigences de protection face à l'eau, des deux concepts de réalisation de cette protection (concept d'évacuation et concept de retenue des eaux) ainsi que des systèmes d'étanchéité aptes à retenir l'eau.

La norme décrit huit systèmes d'étanchéité en vue de l'application pratique, chaque système étant complet en lui-même. Elle donne en outre les règles élémentaires régissant les injections, les drainages et les isolations thermiques.

Deux points particuliers seront pris en considération. Il s'agit premièrement de la nécessité de constituer une surface d'étanchéité sans lacunes et, deuxièmement, de prendre conscience que les étanchéités, les drainages et les isolations thermiques d'ouvrages enterrés et souterrains ne sont plus accessibles après l'achèvement des travaux.

La convention d'utilisation et le concept d'étanchéité, de drainage et d'isolation thermique font partie du projet. Le concept sera entièrement représenté dans un plan.

Commission SIA 272

0 CHAMP D'APPLICATION

0.1 Délimitation

La présente norme traite de l'étude et de l'exécution des mesures de protection des ouvrages face à l'eau.

Ces mesures se rapportent

- aux eaux souterraines (sous pression hydrostatique ou non)
- aux eaux superficielles
- aux eaux d'exploitation.

ainsi qu'aux problèmes posés

- par la condensation
- par l'écoulement dans le terrain d'eaux issues des ouvrages et chargées de diverses substances
- par le transfert d'humidité dans le béton et la maçonnerie (humidité capillaire).

La norme n'est pas valable

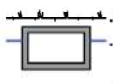



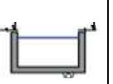
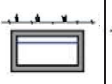
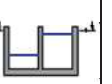
- pour l'évacuation et le traitement des eaux de chantier (norme SIA 431)
- pour l'évacuation des eaux de chaussées (norme SN 640 430)
- pour les étanchéités de décharges (norme SIA 203).

Voir à ce sujet les figures 1 à 3.

0.2 Groupes d'application

La norme SIA 270 attribue les étanchéités et leur groupe d'application aux normes SIA 271, 272, 273 et 274. La présente norme traite des groupes d'application suivants:

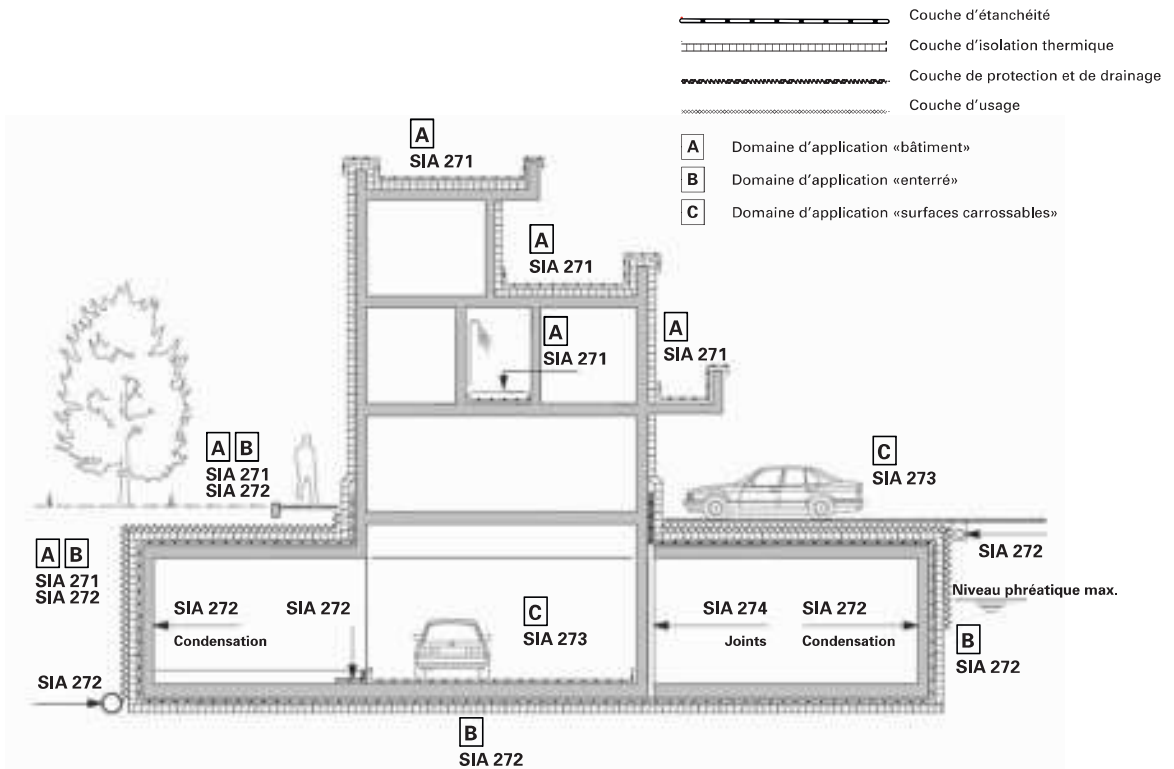
Tableau 1 Groupes d'application

Groupes d'application	Ouvrages enterrés, construits à ciel ouvert, galeries	Ouvrages construits en souterrain	Bassins creusés dans le terrain	Canaux	Piscines	Réservoirs	Bassins de décantation	Humidité capillaire ²
Désignation selon norme SIA 270, tableau 3	B1.1 B1.2	B2	B3	B4	B5	B6 ¹	B7	E
								

¹ à l'exclusion de réservoirs contenant des eaux chargées de substances polluantes

² cas particulier, pouvant se présenter dans tous les groupes d'application

Figure 1 Groupe d'application B1: Ouvrages enterrés, construits à ciel ouvert, galeries



PASSAGES INFÉRIEURS
TUNNELS À CIEL OUVERT (profil rectangulaire)

TUNNELS À CIEL OUVERT (profil en fer à cheval)

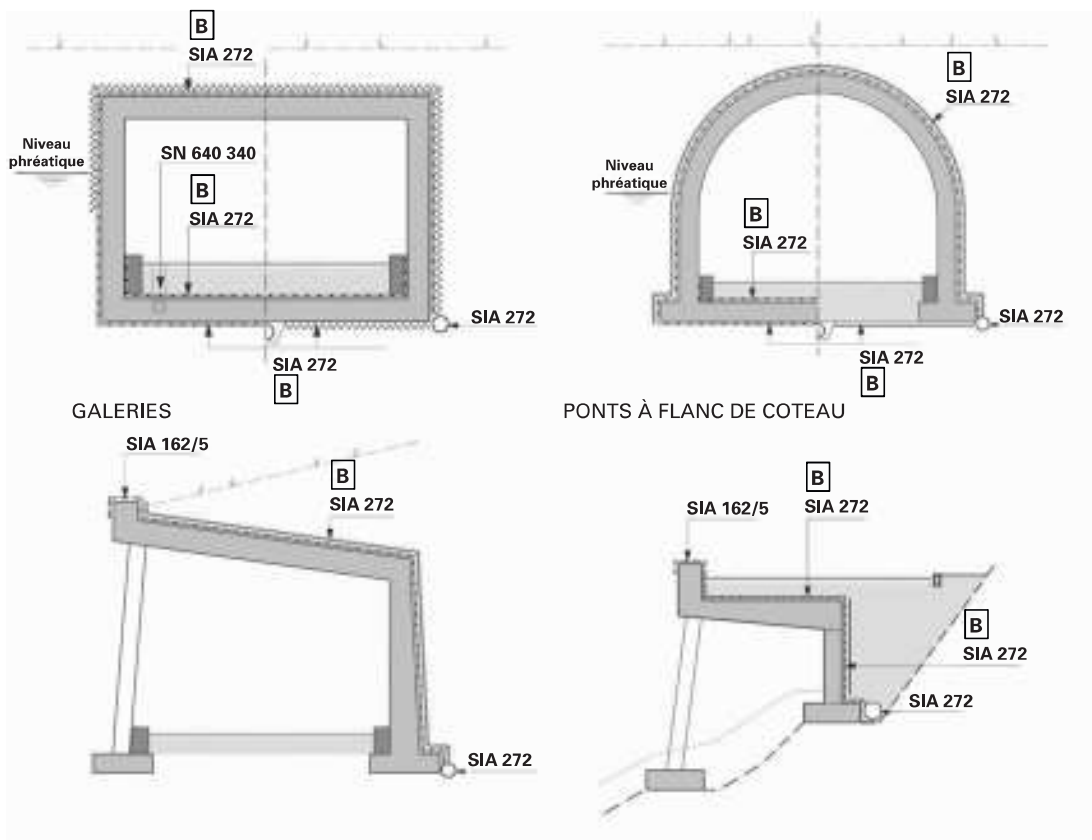


Figure 2 Groupe d'application B2: Ouvrages construits en souterrain

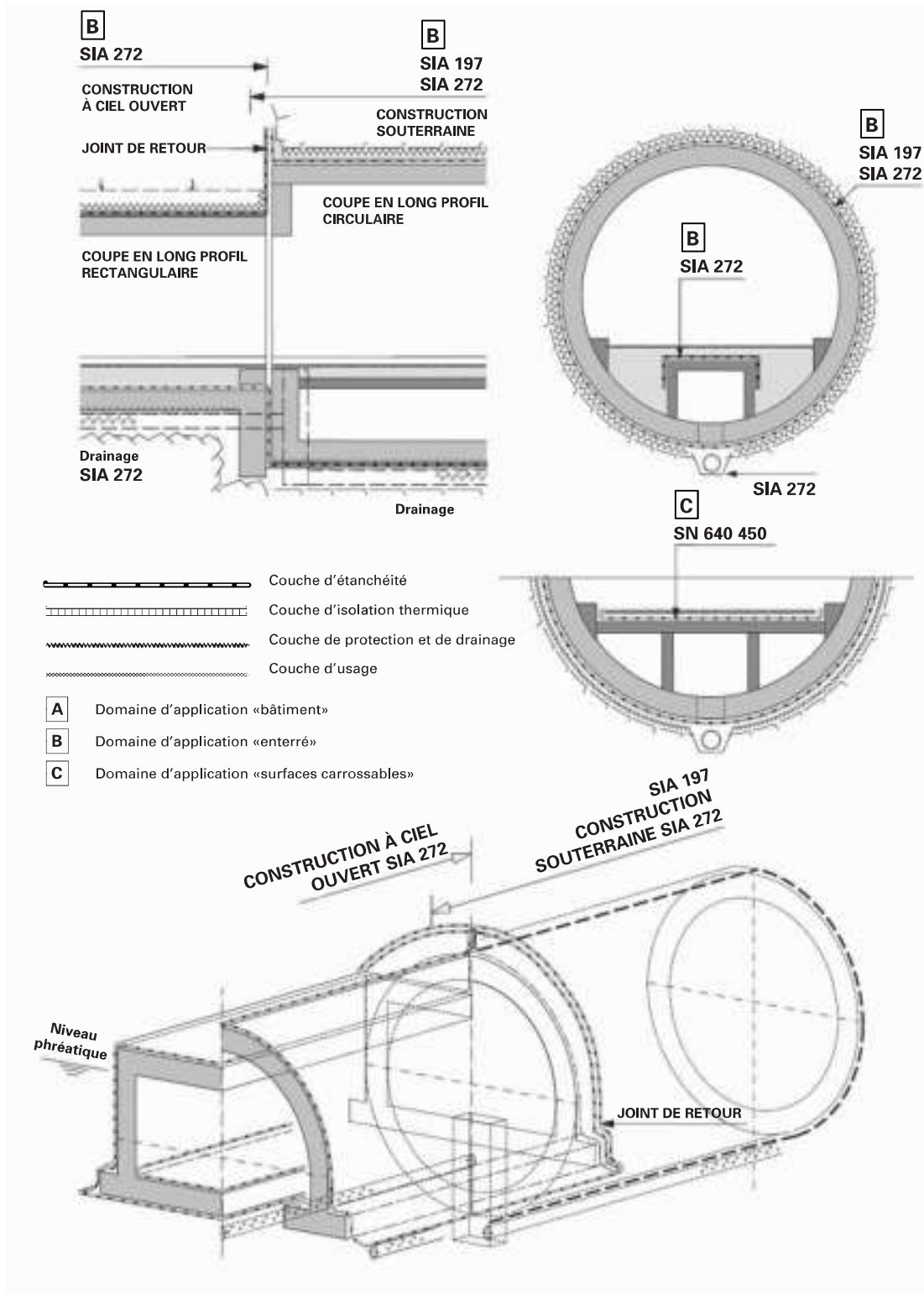
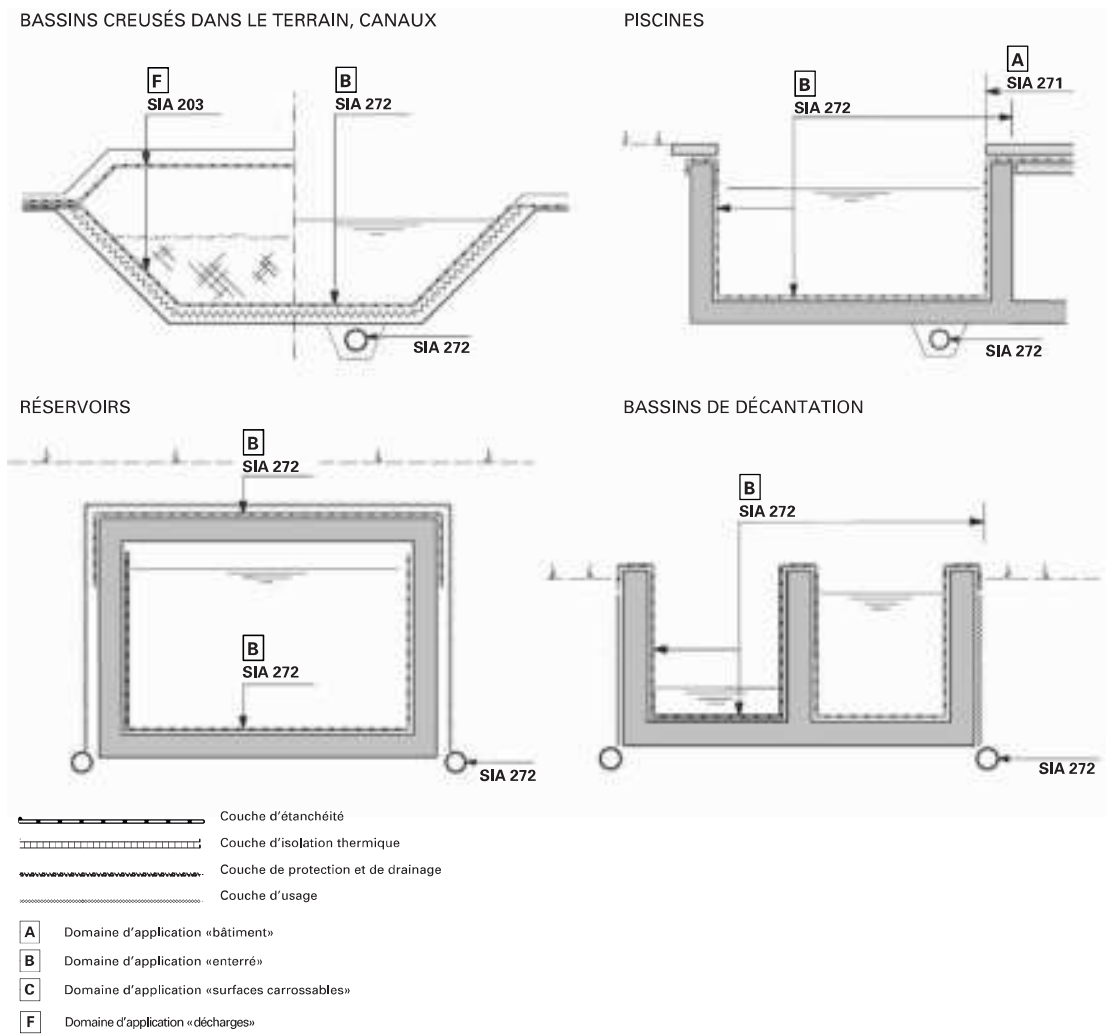


Figure 3 Groupes d'application B3 à B7: Bassins creusés dans le terrain, canaux, piscines, réservoirs, bassins de décantation



0.3 Références normatives

0.3.1 Le texte de la présente norme contient des renvois aux normes citées ci-dessous. Les dispositions de ces dernières s'appliquent en tout ou en partie selon l'énoncé du renvoi.

Les normes SIA concernées contiennent les références aux normes européennes.

Construction

Norme SIA 180	Isolation thermique et protection contre l'humidité dans les bâtiments
Norme SIA 190	Canalisations
Norme SIA 197	Projets de tunnels – Bases générales
Norme SIA 198	Travaux souterrains – Exécution
Norme SIA 203	Décharges contrôlées
Norme SIA 261	Actions sur les structures porteuses
Norme SIA 262	Construction en béton
Prénorme SIA 270	Étanchéités et drainages – Bases générales et délimitations
Norme SIA 271	L'étanchéité des bâtiments
Norme SIA 273	Étanchéité des surfaces carrossables des bâtiments
Norme SIA 274	Étanchéités des joints dans la construction
Norme SIA 380/1	L'énergie thermique dans le bâtiment
Norme SN EN 1295-1	Calcul de résistance mécanique de canalisations enterrées sous diverses conditions de charge – Partie 1: Prescriptions générales
Norme SN EN 12390-8	Essai pour béton durci – Partie 8: Profondeur de pénétration d'eau sous pression
Norme SN 640 312a	Les ébranlements
Norme SN 640 450	Systèmes d'étanchéité et couches bitumineuses sur ponts en béton

Matériaux

Norme SIA 262/1	Construction en béton – Spécifications complémentaires
Prénorme SIA 280	Lés d'étanchéité en matière synthétique
Prénorme SIA 282	Étanchéités appliquées sous forme liquide
Norme SN 640 430b	Enrobés bitumineux compactés
Norme SN 640 440b	Asphalte coulé routier
Norme SN 640 442-NA	Asphalte coulé pour étanchéité

0.3.2 Conditions contractuelles générales

Norme SIA 118/272	Conditions générales pour les étanchéités et les drainages d'ouvrages enterrés et souterrains
-------------------	---

0.3.3 Normes d'essais citées en annexe

Les normes d'essais, auxquelles il est fait référence à l'annexe C, ne sont pas énumérées ici.

0.3.4 **Autres renvois**

EAAW 83	Empfehlungen für die Ausführung von Asphaltbelägen im Wasserbau
SSIGE, directives W6	Société Suisse de l'Industrie du Gaz et des Eaux (SSIGE), Directives pour l'étude, la construction et l'exploitation de réservoirs d'eau
TP-BEL-B, Teil 3	Technische Prüfvorschriften für Baustoffe zur Herstellung von Brückenbelägen auf Beton mit Dichtungsschicht nach ZTV-BEL-B (1995) (Flüssigkunststoff)
VKR RL 02	Association Tubes et Raccords en matière plastique Application de tubes en matières plastiques – Conduites pression enterrées en polyéthylènes PE 80 et PE 100 – Guide et directives

0.4 **Dérogations**

Des dérogations à la présente norme sont admises si elles sont justifiées par la théorie ou par des essais ou si elles sont motivées par des développements récents et de nouvelles connaissances.

Ces dérogations doivent être clairement mentionnées et dûment justifiées dans les documents de construction.

1 TERMINOLOGIE

La liste ci-après donne la définition des notions utilisées uniquement dans la présente norme. Les notions utilisées dans l'ensemble des normes d'étanchéité (SIA 271, 272, 273 et 274) sont définies dans la norme SIA 270.

Bande d'étanchéité de bordure <i>Fugenband, aussen liegend</i>	Bande d'étanchéité mise en place de telle manière que sa face extérieure affleure à la face de l'élément de béton.
Bande d'étanchéité noyée <i>Fugenband, innen liegend</i>	Bande d'étanchéité entièrement noyée dans le béton.
Base du projet <i>Projektbasis</i>	Description de la manière de réaliser techniquement la convention d'utilisation en fonction des données spécifiques de l'ouvrage.
Cavité de drainage <i>Drainagehohlraum</i>	Espace disponible pour l'évacuation des eaux dans le cadre du drainage.
Cavité pour la concrétion <i>Sinterhohlraum</i>	Partie de la cavité de drainage permettant aux concrétions de se développer sans compromettre l'effet de drainage.
Compartment <i>Abschottsektor</i>	Partie d'un système d'étanchéité limité de toute part.
Concrétion <i>Sinter</i>	Précipitation calcaire solidifiée; terme utilisé pour désigner le phénomène ou son résultat.
Convention d'utilisation <i>Nutzungsvereinbarung</i>	Convention passée entre le maître de l'ouvrage et le directeur du projet, fixant entre autre le type d'utilisation, la durée d'utilisation, le niveau d'eau de projet, la classe d'étanchéité, les solutions de repli. Ce document sera remis à tous les intervenants aux travaux.
Eau d'exploitation <i>Betriebswasser</i>	Eau servant à l'exploitation de l'ouvrage ou provenant de cette exploitation.
Effet d'infiltration <i>Unterläufiger Effekt</i>	Infiltration d'eau du côté sec de l'étanchéité. Elle présuppose la présence d'une couche perméable (mortier de protection p.ex.) ou de cavités (p.ex. à la suite d'un collage défectueux).
Effet de contournement <i>Umläufiger Effekt</i>	Écoulement d'eau du côté sec de l'étanchéité à la suite – de venues d'eau souterraine, d'eau superficielle ou d'eau d'exploitation – de défauts de construction et d'exécution des joints de reprise et de dilatation, des cavités et des conduites adjacentes, ainsi que de fissurations – de défauts de la couche d'étanchéité elle-même.
Élément de compartimentation <i>Abschottelement</i>	Élément limitant un compartiment.
Élément de fissuration programmée <i>Sollrisselement</i>	Élément de construction produisant une fissuration à un endroit défini de la structure en béton.
Épaisseur minimale de la couche <i>Mindestschichtdicke</i>	Épaisseur minimale d'une couche, qui doit être respectée en tous points.

Espace annulaire entre excavation et voussoir <i>Tübbing-Ringspalt</i>	Espace entre l'extrados des voussoirs et la surface d'excavation.
Étanchement préalable <i>Vordichtung</i>	Mesure provisoire consistant à capter et à évacuer ou encore à retenir l'eau à la face du support, pour permettre une exécution sans défauts des travaux ultérieurs.
Joint d'étape <i>Etappenstoss</i>	Joint dû à l'interruption de la mise en place d'une couche.
Joint de retour <i>Rücklaufstoss</i>	Joint d'étape au droit d'un changement du plan de pose.
Joint plat <i>Flachstoss</i>	Joint d'étape dans le même plan.
Laitance de ciment <i>Zementschlämme</i>	Dépôt de ciment lâche recouvrant les faces horizontales ou inclinées de constructions en béton.
Mesure complémentaire <i>Zugehörige Massnahme</i>	Éléments de construction faisant partie des systèmes d'étanchéité et indispensables à leur fonctionnement. Ces éléments sont cités dans la description des systèmes et seront intégrés au projet.
Niveau d'eau de projet <i>Projektwasserstand</i>	Niveau d'eau déterminant pour le dimensionnement d'une étanchéité soumise à la pression hydrostatique.
Pellicule de ciment <i>Zementhaut</i>	Dépôt de ciment à très faible résistance sur les faces coffrées ou talochées de constructions en béton. Cette situation ne permet pas la mise en place d'une couche de matériau devant adhérer au support.
Solution de repli <i>Rückfallebene</i>	Ensemble des mesures définies dans le projet pour pailler à une défaillance du système d'étanchéité.
Sous-construction <i>Unterkonstruktion</i>	Élément de construction sur lequel un système d'étanchéité est mis en place; il peut s'agir de l'ouvrage à étancher lui-même ou d'une construction auxiliaire, une paroi de pieux par exemple.
Support <i>Untergrund</i>	Face supérieure de l'élément supportant l'étanchéité, y compris la zone proche de la surface de contact. Le support fait partie intégrante du système d'étanchéité.
Variation de largeur du joint <i>Fugenbreitenänderung</i>	Modification unique (statique) ou répétitive (dynamique) de la largeur du joint.
Variation de largeur de la fissure Δb_R <i>Rissbreitenänderung Δb_R</i>	Modification de la largeur de la fissure suite à des actions uniques (statiques) ou répétitives (dynamiques).

2 PRINCIPES

2.1 Actions de l'eau

L'eau est porteuse de matières, liquides ou non, susceptibles d'attaquer les matériaux de construction. On vérifiera que les matériaux prévus se prêtent à l'utilisation dans le système d'étanchéité et de drainage.

2.1.1 Eaux souterraines

Le principe suivant est à la base de toute étude de projet: l'eau est toujours présente dans le terrain.

2.1.1.1 Les conditions géologiques et hydrogéologiques ont une influence sur les variations du débit d'eau dans l'espace et dans le temps.

Les enceintes de fouilles, les ouvrages de stabilisation de talus, la pose de béton de radier directement sur le terrain, rocher p.ex., le colmatage de l'espace annulaire entre l'excavation et les voussoirs ainsi que des injections dans le terrain sont susceptibles de modifier le débit et la composition de l'eau et de favoriser ainsi la formation de concrétions. Cette influence sera prise en considération lors du choix des matériaux et d'une section d'évacuation.

2.1.1.2 Les conditions hydrologiques et la composition de l'eau dans le terrain feront l'objet de sondages. Elles seront décrites dans la base du projet et portées à la connaissance de tous les intervenants. Les prévisions concernant la situation après achèvement des travaux seront également contenues dans la base du projet.

L'absence de pression hydrostatique dans le terrain ne peut être admise que si un fonctionnement parfait et durable du drainage est garanti ou s'il est prouvé qu'une pression hydrostatique ne peut s'établir à aucun moment au droit de l'ouvrage. Voir chapitre 5, drainages.

La pression hydrostatique correspond au niveau de l'eau souterraine ou de l'eau de massif. Ce niveau est soumis à des variations dans le temps et dans l'espace, par exemple à la suite d'intenses précipitations. Il peut se situer plus haut qu'au voisinage immédiat de l'ouvrage, par exemple dans le cas d'ouvrages situés en pente ou dans celui de pression artésienne.

La pression hydrostatique est déterminée conformément à la norme SIA 261, chiffre 4.4.

2.1.2 Eaux superficielles et eaux d'exploitation

Le débit d'eau sera déterminé en fonction des conditions spécifiques de l'ouvrage. Les mesures nécessaires seront prises en vue d'éviter durablement des actions dommageables sur les ouvrages ou sur leurs éléments. Les données correspondantes seront contenues dans la convention d'utilisation.

Une mise en pression est également possible après remblayage d'une fouille excavée à sec et apparemment étanche.

Les mesures temporaires à prendre durant les travaux sont données au chiffre 2.2.8.

2.1.3 Eaux de condensation

Le risque de formation d'eau par condensation sera apprécié et mis en évidence en fonction des conditions spécifiques de l'ouvrage. Les mesures à prendre sont données au chiffre 2.2.

Par exemple, on s'intéressera au gel dû à la condensation dans la zone de portail d'ouvrages souterrains.

2.1.4 Construction de réservoirs et de bassins, ainsi que de canaux et de conduites

2.1.4.1 Les débits d'eau seront déterminés en fonction des conditions spécifiques de l'ouvrage. Les mesures nécessaires seront prises en vue d'éviter durablement des actions dommageables sur les ouvrages ou sur leurs éléments. Les données correspondantes seront contenues dans la convention d'utilisation.

2.1.4.2 Le concept de retenue des eaux (chiffre 2.3.3) sera appliqué à la construction de réservoirs et de bassins. Le système d'étanchéité sera apte à résister à la pression hydrostatique.

On tiendra compte des actions en situation de remplissage et de vidange des réservoirs, bassins, canaux et conduites. En situation de vidange, c'est la pression hydrostatique régnant dans le terrain qui est déterminante.

Les mesures temporaires à prendre durant les travaux sont données au chiffre 2.2.8.

2.1.5 Humidité

2.1.5.1 Le débit d'eau est faible et peut apparaître sous forme de vapeur.

L'humidité apparaît à la face d'éléments d'ouvrage à la suite de montée capillaire, de diffusion à travers les matériaux et par convection, par exemple dans le cas d'une isolation thermique insuffisante ou défectueuse. La formation de moisissures est possible.

Une sollicitation due uniquement à l'humidité ne se présente que dans le cas où le terrain serait constitué jusqu'à une profondeur suffisante de matériel très perméable, par exemple du sable ou du gravier. En présence de terrain imperméable, on appliquera dans tous les cas le concept d'évacuation ou le concept de retenue des eaux selon chiffre 2.3.

Les mesures à prendre contre l'humidité seront planifiées conformément au chiffre 2.2.5.

2.1.5.2 On tiendra compte du transport d'éventuelles substances polluantes par diffusion à travers des éléments de construction équipés de systèmes d'étanchéité ouverts à la diffusion.

2.2 Exigences

2.2.1 L'eau et l'humidité sont susceptibles d'endommager les ouvrages. Les mesures d'étanchement à prendre pour protéger l'ouvrage et ses aménagements, ainsi que pour éviter toute perturbation de son utilisation, seront prévues dès le début des études. Dans ce cadre, les concepts et les systèmes d'étanchéité seront planifiés et réalisés en fonction des conditions spécifiques de l'ouvrage.

2.2.2 La convention d'utilisation définit les exigences relatives à l'étanchéité de l'ouvrage ou d'éléments de sa construction, en utilisant les classes d'étanchéité données au tableau 2. La durée d'utilisation de l'étanchéité sera également définie en fonction de celle de l'ouvrage ou de ses éléments.

Les classes d'étanchéité prévues seront données dans un plan faisant partie de la convention d'utilisation (voir un exemple sous www.sia.ch/korrigenda).

La convention d'utilisation doit être portée à la connaissance de tous les intervenants.

Tableau 2 Classes d'étanchéité. Voir à ce sujet des exemples sous www.sia.ch/korrigenda.

Classe d'étanchéité	Description
1	complètement sec Aucune tache d'humidité n'est tolérée à l'intrados de l'ouvrage.
2	de sec à légèrement humide Des taches d'humidité isolées sont tolérées, des égouttures à l'intrados de l'ouvrage ne le sont pas.
3	humide Des taches d'humidité localement limitées et des égouttures isolées à l'intrados de l'ouvrage sont tolérées.
4	humide à mouillé Des taches d'humidité et des égouttures sont tolérées.

Le risque de condensation doit être apprécié séparément.

2.2.3 L'apparition d'humidité due à la condensation fera l'objet d'une étude en fonction des conditions spécifiques de l'ouvrage et sera combattue si nécessaire.

- 2.2.4 L'apparition de gel et des poussées subséquentes seront évités, par exemple par la mise en place d'isolations thermiques.
- 2.2.5 Les mesures d'isolation thermique ou de protection contre l'humidité seront prises en appliquant de manière analogue les normes SIA 180 et SIA 380/1.
- Dans les locaux non occupés de manière permanente par des personnes, ni aménagés de manière sensible à l'humidité, comme une construction en contact avec le sol, la protection contre l'humidité pourra consister en une couche anticapillaire placée sous cette construction.
- Une couche étanche de lès à base de bitume polymère ou d'un matériau comparable placée sous le radier est susceptible de remplacer une étanchéité anticapillaire intérieure.
- 2.2.6 L'action thermique sur l'eau, sur l'air et sur la construction au cours des variations saisonnières et journalières fera l'objet d'une estimation et sera prise en considération dans les études. Cette action est susceptible d'avoir des conséquences importantes durant les phases de travaux et d'utilisation.
- 2.2.7 **Exigences relatives à la construction**
- 2.2.7.1 La sous-construction et la couche de protection seront conçues de manière à empêcher une déformation inadmissible des couches d'étanchéité. Cette condition pourra être remplie par un dimensionnement adéquat des éléments de construction, en particulier de l'armature, et par des couches de protection stables.
- 2.2.7.2 Dans le cas où une structure serait bétonnée après la mise en place d'une couche d'étanchéité, par exemple dans le cas d'un radier et dans celui d'éléments d'ouvrages enterrés ou souterrains coffrés unilatéralement, le coffrage sera entièrement rempli de béton, afin que la couche d'étanchéité s'applique contre la structure du côté du terrain. Les dispositions à prendre seront fixées dans le projet. La régulation des niveaux d'eau sera maintenue durant les travaux.
- 2.2.7.3 Si l'évacuation de l'eau a lieu de manière permanente par écoulement libre selon le concept d'évacuation du chiffre 2.3.2 et si le fonctionnement du système est garanti sur l'ensemble de la section déterminante de l'ouvrage, il est possible de négliger l'action d'une pression hydrostatique sur la structure ou sur le revêtement.
- Dans le cas de l'application du concept de retenue des eaux selon le chiffre 2.3.3, l'action de la pression hydrostatique sera prise en compte pour l'ensemble de la section de la structure ou du revêtement.
- L'action indirecte de l'eau dans un terrain gonflant sera prise en considération comme pression hydrostatique et comme pression de gonflement.
- 2.2.7.4 La protection contre l'humidité sera planifiée conjointement avec l'étude de l'ensemble des dispositions de protection et d'utilisation (isolation thermique, insonorisation, carrelages, revêtements de sol), y compris tous les détails de construction. La distinction sera faite entre les actions en phase de travaux et en phase d'utilisation.
- 2.2.7.5 Les ouvrages ou leurs éléments seront planifiés et exécutés avec un seul et même système d'étanchéité, sans transitions. Si des transitions sont tout de même nécessaires, elles seront planifiées assez tôt et entièrement réalisées durant les travaux. La compatibilité des matériaux utilisés entre eux sera vérifiée.
- Au passage d'éléments à ciel ouvert à des éléments souterrains, l'étanchéité sera remontée d'au moins 120 mm au-dessus du terrain. Si cela n'est pas possible, l'étanchéité sera posée à niveau avec la cote du terrain. Au droit de ces transitions, la pente des écoulements sera augmentée et les éléments de drainage seront dimensionnés largement. Voir la norme SIA 271, chiffres 2.6.1 et 5.2.
- 2.2.7.6 Le fonctionnement efficace d'un drainage de surface exige une pente d'au moins 1,5%. Il faut tenir compte de l'influence des tolérances de dimensions des éléments de drainage et des coudes. Les pentes plus petites seront traitées en appliquant de manière analogue la norme SIA 271, chiffres 5.1 et 5.2.
- 2.2.7.7 Des exigences spécifiques sont données au chapitre 3 pour les systèmes d'étanchéité et aux chapitres 4 à 6 pour les injections, les drainages et les isolations thermiques.

2.2.8 Dispositions temporaires durant les travaux

L'épuisement des eaux sera réalisé en fonction du système d'étanchéité et des exigences relatives au terrain ou à la sous-construction, de manière à éviter une remontée de l'eau souterraine ou l'accumulation d'eaux de surface au droit de l'ouvrage (position indicative du niveau d'eau: $\geq 0,5$ m en dessous du pied du radier).

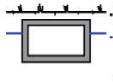



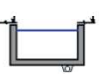
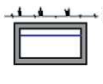
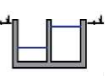
Les systèmes d'étanchéité de grande surface seront soustraits à la poussée d'Archimède, par exemple au moyen de drainages ou de manchons de décompression. Le dimensionnement des mesures à prendre dépend du type de terrain, de la construction de l'enceinte de fouilles et du système d'épuisement des eaux.

Un étanchement préalable peut se révéler nécessaire. Si les sections d'écoulement de l'étanchement préalable sont assez grandes et si les éléments de drainage sont susceptibles d'être nettoyés périodiquement, le système peut aussi fonctionner comme épuisement permanent.

2.2.9 Classes d'étanchéité applicables

Dans le cas d'ouvrages souterrains, les normes SIA 197/1 et SIA 197/2 sont également valables.

Tableau 3 Exemples d'application des classes d'étanchéité

Groupes d'application	Ouvrages enterrés, construits à ciel ouvert, galeries	Ouvrages construits en souterrain	Bassins creusés dans le terrain	Canaux	Piscines	Réservoirs	Bassins de décantation	Humidité capillaire
Désignation selon norme SIA 270, tableau 3	B1.1 B1.2	B2	B3	B4	B5	B6	B7	E
								
Classes d'étanchéité à fixer dans la convention d'utilisation	1 ou 2	1 ou 2	2 ou 3	2 ou 3	1 ou 2	2	2	1

2.3 Concepts d'étanchéité

2.3.1 Généralités

Le choix du concept d'étanchéité dépend de l'utilisation de l'ouvrage et de considérations hydrogéologiques, écologiques et climatiques. L'isolation thermique et la protection contre l'humidité seront traitées en appliquant de manière analogue la norme SIA 180.

Il y a lieu de faire la différence entre le concept d'évacuation des eaux et le concept de retenue des eaux.

2.3.2 Concept d'évacuation des eaux

Dans le concept d'évacuation, les eaux souterraines ou du massif, ainsi que les eaux de surface sont captées par drainage entre le terrain et l'ouvrage, puis conduites et évacuées au point le plus bas. Voir la figure 4.

Les éléments de drainage englobent l'ensemble de la section de l'ouvrage. Ils doivent présenter une section d'écoulement suffisante. Les éléments de drainage de grande surface doivent fonctionner sur l'ensemble de cette surface.

Les éléments de drainage et d'écoulement seront aptes à éviter une mise en pression. Un tel phénomène peut être causé par des concrétions, des dépôts solides, des ruptures du système, des déformations dues à des pressions extérieures ou à des sous-pressions intérieures (risque de voilement).

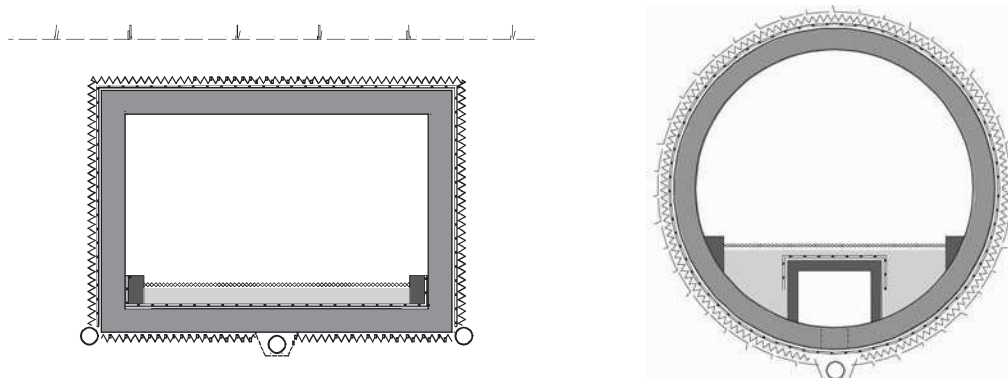
Les dispositions suivantes entrent en ligne de compte contre une mise en pression:

- vides supplémentaires pour l'écoulement de l'eau, par exemple des coffres de gravier filtrant
- mesures de construction et d'exploitation, contrôles périodiques et nettoyages
- concepts d'entretien, tant pour la phase des travaux que pour la phase d'utilisation.

Les éléments de drainage sont susceptibles de causer une migration involontaire de l'eau vers des zones sèches à l'origine, comme des terrains gonflants. Des dispositions seront prises pour éviter ce phénomène, par exemple des éléments de compartimentation, des drainages supplémentaires, des injections de contact entre le terrain et l'ouvrage.

Dans le cas du concept d'évacuation des eaux, les systèmes d'étanchéité (chapitre 3) seront conçus comme étanchéité ne devant pas tenir la pression. La description des éléments de drainage et d'évacuation des eaux est donnée au chapitre 5.

Figure 4 Exemples de concept d'évacuation des eaux



2.3.3 Concept de retenue des eaux

Dans le concept de retenue, les eaux souterraines ou du massif ne sont pas évacuées.

Le concept de retenue sera appliqué à l'ensemble de l'ouvrage.

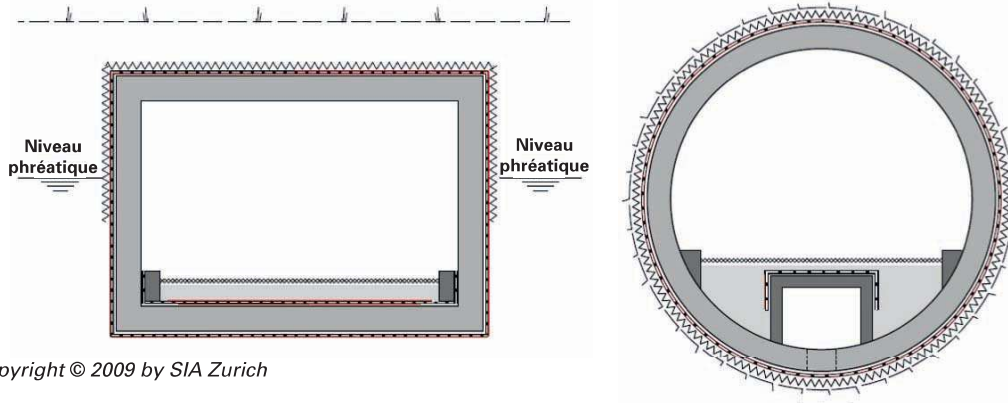
Les systèmes d'étanchéité contre de l'eau sous pression seront étendus à l'ensemble de la section de l'ouvrage ou de ses parties (étanchéité tenant la pression).

Les venues d'eau au droit de défauts de la couche d'étanchéité provoquent des effets de détournement. Elles conduisent à des mouillures étendues dans l'ouvrage ou dans ses parties, voir chapitre 1.

Le contrôle et l'entretien seront déjà pris en considération dans les études en fonction du système choisi.

Dans le cas du concept de retenue des eaux, les systèmes d'étanchéité (chapitre 3) seront conçus comme étanchéité devant tenir la pression, en l'absence d'éléments de drainage et d'évacuation des eaux.

Figure 5 Exemples de concept de retenue des eaux



2.3.4 **Combinaison des concepts d'évacuation et de retenue des eaux**

La combinaison des deux concepts sur un seul et même ouvrage ou partie d'ouvrage est possible. On prévoira lors des études les mesures aptes à garantir l'application du concept d'évacuation selon chiffre 2.3.2 ou du concept de retenue selon chiffre 2.3.3 dans le secteur correspondant et à exclure à long terme des effets négatifs sur l'ensemble de l'ouvrage ou sur une partie de celui-ci.

2.4 **Vue d'ensemble des systèmes d'étanchéité**

2.4.1 **Désignation des systèmes**

La désignation se rapporte au matériau de la couche d'étanchéité, voir chiffres 3.1 à 3.8.

Font partie des systèmes d'étanchéité rigides

- les constructions en béton étanche (WDB)
- les mortiers étanches (WDM)
- l'asphalte coulé (MA).

Font partie des systèmes d'étanchéité flexibles

- les lés d'étanchéité à base de bitume polymère (PBD)
- les lés d'étanchéité en matière synthétique (KDB)
- les lés d'étanchéité à base d'argile (TDB)
- les étanchéités synthétiques liquides (FLK)
- les étanchéités à base de polymère de bitume modifié, revêtements épais (KMB).

Les systèmes sont décrits en détail au chapitre 3 et présentés dans une vue d'ensemble à l'annexe A.

2.4.2 Le terrain, quel qu'il soit, sur lequel un système d'étanchéité est mis en place, fait partie intégrante du système.

2.4.3 **Risques inhérents au système**

Lors du choix du système, les risques feront l'objet d'une appréciation en fonction des conditions spécifiques de l'ouvrage.

L'appréciation des risques fera la distinction entre:

- les étanchéités inaccessibles après l'achèvement des travaux et donc pratiquement pas renouvelables, par exemple dans des constructions enterrées ou souterraines
- les étanchéités qui restent accessibles et sont donc renouvelables, par exemple dans le cas de bassins, de réservoirs, de canaux.

En outre, il y aura lieu d'envisager une solution de repli, de la planifier et de la prendre en considération dans le projet. Elle sera activée en cas de défaillance du système d'étanchéité. Entrent par exemple en ligne de compte: une évacuation des pertes d'eau, périodiquement contrôlée, et des injections.

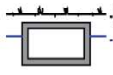



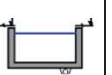
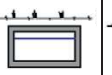
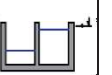
On peut citer les exemples de risques suivants:

- points de transition au changement de systèmes dans un seul et même ouvrage ou partie d'ouvrage
- matériaux inadéquats ou incompatibles entre eux
- modifications de joints et de leur largeur
- fissurations et modifications de largeur des fissures en phase de travaux et d'utilisation
- détérioration de la couche d'étanchéité à la pose ou lors du remblayage au droit de l'ouvrage
- valeurs insuffisantes de la résistance à la compression et aux efforts de glissement des couches d'étanchéité
- vides dans le béton, par exemple lors du bétonnage de la calotte dans les travaux souterrains
- contre-pression insuffisante lors d'injections de grande surface ou en présence de terrain gonflant
- concrétions dans les drainages
- intempéries durant la mise en place
- effet de contournement: voir chapitre 1
- effet d'infiltration: voir chapitre 1.

2.4.4 Choix du système

Le choix du système est dicté par la convention d'utilisation (chiffre 2.2.2), par la nature du sol (comportement à la déformation, conditions hydrogéologiques et géologiques), par le genre de matériau de remblayage, par les actions thermiques, par les substances, liquides ou non, contenues dans l'eau, par les conditions écologiques et par les facteurs spécifiques à l'ouvrage. Le tableau 4 donne des indications sur le choix du système d'étanchéité dans le cas des groupes d'application définis par la norme SIA 270.

Tableau 4 Indications sur le choix du système d'étanchéité

Groupes d'application	Ouvrages enterrés, construits à ciel ouvert, galeries	Ouvrages construits en souterrain	Bassins creusés dans le terrain	Canaux	Piscines	Réservoirs	Bassins de décan-tation	Humidité capillaire
Désignation selon norme SIA 270, tableau 3	B1.1 B1.2	B2	B3	B4	B5	B6	B7	E
								
rigide								
3.1 WDB	X	X		X	X	X	X	
3.2 WDM	X	X		X	X	X	X	
3.3 MA	X							X
flexible								
3.4 PBD	X	X ¹						X
3.5 KDB	X	X	X	X	X	X		X
3.6 TDB	X ¹		X					
3.7 FLK	X	X ¹		X	X	X	X	
3.8 KMB	X							

¹ ouvrages accessoires en souterrain, comme les canaux de conduites et de câbles

Dans le groupe d'application B4, l'asphalte coulé est aussi couramment utilisé. Les exigences relatives à ce systèmes sont données dans les standards d'application de l'asphalte en construction hydraulique (EAAW 83, DVWK 223/1992). Les applications du groupe B3 sont traitées par la norme SIA 203.

2.4.5 Exigences relatives aux systèmes et essais

La stabilité d'ensemble de l'ouvrage, de l'étanchéité et du remblayage ou du recouvrement fera l'objet d'une vérification dans le projet.

Les déformations dans le terrain et dans la sous-construction seront déterminées et prises en considération lors du choix et du dimensionnement du système d'étanchéité.

Les exigences relatives au système d'étanchéité, les essais sur les matériaux qui en découlent et les essais sur l'ouvrage lui-même seront définis dans le projet selon le tableau 5 et selon les annexes C.1 à C.8 et D.1 à D.6. Les résultats feront l'objet d'un rapport documenté.

Tableau 5 Essais et contrôles

Essais Systèmes	Matériaux lors de la mise en place	Matériaux après la mise en place	In-tempéries	Terrain	Épaisseur de la couche	Essai d'adhérence par traction	Essai de pelage	Soudures
3.1 WDB	X	X	X	X				
3.2 WDM	X	X	X	X	X	X		
3.3 MA	X	X	X	X	X			
3.4 PBD	X		X	X		X	X	
3.5 KDB	X		X	X		X ¹	X ¹	X
3.6 TDB	X		X	X				
3.7 FLK	X		X	X	X	X	X	
3.8 KMB	X		X	X	X			

¹ pour les lés d'étanchéité en matière synthétique avec adhérence

2.4.6 Joints

On fait la distinction entre joints de reprise et joints de dilatation.

Les mouvements auxquels il faut s'attendre seront déterminés dans le projet pour les deux types de joints.

Les joints de dilatation seront disposés de manière à ce que les mouvements puissent se produire sans entraves. Cette condition sera garantie durablement.

Les étanchéités de joints seront placées dans le plan de l'étanchéité de surface.

Les joints de la sous-construction et ceux de l'ouvrage seront disposés de manière à ce que les éléments puissent se déplacer horizontalement et verticalement sans effets de contrainte dans le plan de l'étanchéité.

Les étanchéités de joints seront disposées en dessus des joints de la sous-construction.

Les particularités des étanchéités de joints sont décrites sous les chiffres se rapportant aux différents systèmes.

Voir également la norme SIA 274 *Étanchéité des joints dans la construction*.

2.4.7 Largeur et modification de largeur des fissures

Il faut veiller à limiter les largeurs b_R des fissures dans la structure.

Les modifications de largeur des fissures sont dues généralement à des variations de la température et des charges, ainsi qu'à des déformations du terrain de fondation. Elles seront déterminées dans le projet.

La manière de limiter la largeur b_R des fissures et celle de sa variation Δb_R ainsi que les méthodes d'étanchement des fissures sont décrites sous les chiffres se rapportant aux différents systèmes.

2.4.8 Traversées

Les traversées situées à plus de 1 m en dessous du niveau d'eau de projet seront munies de brides de serrage. Au droit de traversées plus élevées, il est possible de raccorder l'étanchéité en la relevant en bordure. Cette règle n'est valable ni pour le béton étanche (chiffre 3.1) ni pour le mortier étanche (chiffre 3.2).

Les traversées doivent être raccordées à la couche d'étanchéité. Les dispositions à prendre sont décrites sous les chiffres se rapportant aux différents systèmes.

Les traversées seront étanches en elles-mêmes par soudage ou par collage.

Les traversées de câbles ou d'éléments similaires se feront dans des tubes équipés préalablement d'étanchéités intérieures.

Les éléments métalliques seront raccordés à l'armature de la sous-construction et à celle de la structure porteuse, de manière à éviter par exemple des dégâts dus à la foudre. La corrosion électrochimique sera évitée par des mesures appropriées, telles que la protection anodique ou la séparation galvanique.

3 SYSTÈMES D'ÉTANCHÉITÉ

3.1 Constructions en béton étanche (WDB)

3.1.1 Description du système

Le système d'étanchéité comprend une construction en béton étanche et les éléments complémentaires décrits ci-après, tels que l'étanchement de joints et de traversées, des injections dans les fissures, des joints de reprise et des éléments de fissuration programmée.

Le système peut être appliqué en présence d'eau sous pression ou non, horizontalement, verticalement ou en surplomb.

L'obtention de la classe d'étanchéité attendue d'un ouvrage en béton est conditionnée par l'application correcte de la physique des constructions et par la planification des mesures garantissant un volume capillaire réduit, une faible diffusion de vapeur, une fine répartition des petites fissures et un bétonnage approprié.

3.1.2 Spécifications relatives aux matériaux

3.1.2.1 Les constructions en béton étanche peuvent être réalisées en utilisant aussi bien du béton selon les propriétés que du béton selon la composition.

Dans le cas de béton selon les propriétés, il est indiqué de choisir une faible résistance à la compression et une résistance élevée à la pénétration de l'eau, par exemple la classe d'exposition XC2 selon la norme SIA 262, mais avec une profondeur de pénétration $e_w \leq 50$ mm selon la norme SN EN 12 390-8.

Dans le cas de béton selon la composition, les valeurs suivantes seront prises en considération à titre indicatif: $E/C \leq 0,55$, avec adjonction éventuelle d'un fluidifiant, dosage en ciment correspondant à la granulométrie des agrégats (courbe de tamisage) ≥ 280 kg/m³, complété par des fines minérales, préférence donnée aux ciments à chaleur de prise aussi faible que possible.

Si le béton est exposé aux chlorures, au gel et aux sels de déverglaçage, on choisira la classe d'exposition selon la norme SIA 262 ou procédera à une adaptation de la composition du béton.

3.1.2.2 Les calculs de physique des constructions seront basés sur un passage d'eau de quelques g/m² × h. La traversée d'eau due à la diffusion diminue avec l'âge du béton et atteint env. 10 g/m² × h. Voir la norme SIA 262/1, tableau 6, et les valeurs k selon Darcy valable pour le béton.

3.1.2.3 Les exigences valables pour d'autres matériaux sont données à l'annexe C.1.

3.1.3 Spécifications relatives à la construction

3.1.3.1 Une couche de propreté continue, p.ex. du béton maigre, sera prévue sous le radier.

Les spécifications de type oV (sans adhérence) données à l'annexe B.1 sont applicables aux constructions en béton étanche.

Dans le cas de l'étanchement de joints, de traversées et de dispositifs comparables, les spécifications de type oV (sans adhérence) ou de type mV (avec adhérence) selon l'annexe B.1 sont applicables en fonction du type de construction.

Le traitement préalable dépend des exigences relatives au support, voir annexe B.

Dans le cas où les exigences relatives à la rugosité ou à la planéité ne seraient pas remplies, des couches d'égalisation seront prévues, voir annexe C.10.

3.1.3.2 Une couche de séparation sera prévue si une liaison entre les ouvrages et le support sont susceptibles d'avoir un effet préjudiciable sur les déformations dues au retrait et à des entraves. Les radiers et les éléments coffrés unilatéralement seront spécialement pris en considération.

Les effets dus à des entraves peuvent être réduits par le choix de systèmes statiques simples et par des joints.

Une couche de séparation sur l'isolation thermique sera prévue dans tous les cas sous le radier.

3.1.3.3 La dimension d'un élément de construction doit rester aussi constant que possible et être d'au moins 250 mm.

Une attention particulière sera portée aux décrochements et aux approfondissements susceptibles d'empêcher le retrait dans le sens horizontal et vertical et d'être à l'origine de fissures. Les dispositions usuelles consistent à prévoir une armature adéquate (evtl. précontrainte) ou à choisir un système statique simple et à prévoir des joints.

La surface horizontale d'étapes de bétonnage sans joints ne dépassera pas 600 m² et sera aussi quadratique que possible. Des rapports largeur/longueur de plus de 1:3 seront évités. Les étapes de bétonnage seront définies dans le projet.

Les canalisations et autres conduites seront placées à l'extérieur de l'ouvrage. Si cela n'est pas possible, le recouvrement de béton sera d'au moins 250 mm, la section de béton ne sera pas réduite de plus de 25% et cette réduction sera prise en considération dans la disposition des armatures. Des faisceaux de tubes, c'est-à-dire la mise en place parallèle de plusieurs tubes, horizontalement ou verticalement, doivent être évités.

L'efficacité de l'évacuation superficielle des eaux exige une pente d'au moins 1,5%. Il sera tenu compte des tolérances d'exécution et des déformations.

3.1.3.4 La fissuration d'ouvrages en béton est inévitable. Elle est due au retrait et au fluage du béton, aux effets d'entraves, aux actions thermiques et statiques, aux déformations du terrain de fondation, à l'usure, aux actions d'ordre chimique (p.ex. les chlorures), aux réactions alcali-agrégat, à des actions d'ordre biologique. Ces actions peuvent être temporaires ou permanentes.

Les fissures sont susceptibles d'être le siège de circulations d'eau à partir d'une largeur de 0,1 mm. Les mesures à prendre pour limiter la fissuration au moyen d'armatures (teneur et disposition) ou au moyen d'éléments de fissuration programmée seront définies dans le projet. Les fissures apparaissant malgré tout seront étanchées par des bandes collées ou au moyen d'injections de résine synthétique.

Les variations de largeur des fissures sont dues aux actions citées. Elles se manifestent de manière répétitive sous forme statique ou dynamique. Elles seront déterminées dans le projet. Le choix des matériaux d'étanchement adéquats (produits d'injection, bandes collées) dépend des variations de largeur présumées.

La formation de fissures sera réduite au minimum en appliquant la recommandation suivante pour la section d'armature:

$$A_{s \min} = \frac{f_{ctd} * Act}{\sigma_{adm}}$$

Pour la classe d'étanchéité 1: $\sigma_{adm} = 360 \sqrt{\frac{10}{\varnothing}} \text{ N/mm}^2$

Pour la classe d'étanchéité 2: $\sigma_{adm} = 435 \sqrt{\frac{10}{\varnothing}} \text{ N/mm}^2$

Pour la classe d'étanchéité 3: $\sigma_{adm} = 500 \sqrt{\frac{10}{\varnothing}} \text{ N/mm}^2$

\varnothing = diamètre de barre choisi en mm

À partir d'une épaisseur d'élément d'environ h = 0,80 m, l'épaisseur active h' de l'élément de construction peut être tirée du tableau suivant.

Tableau 6 Épaisseur active d'élément de construction en m pour une sollicitation à la traction

Épaisseur effective	h	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	≥ 1,60
Épaisseur active	h'	0,80	0,87	0,94	1,00	1,04	1,08	1,12	1,16	1,20

Au-delà de 1,60 m, l'épaisseur active conserve la valeur de 1,20 m, il est admis que la zone active de la section est au maximum de 0,60 m.

Les valeurs de limitation des contraintes obtenues par ces formules sont situées entre les valeurs des courbes B et C de la figure 31 de la norme SIA 262.

Les espacements d'armatures ne doivent pas dépasser 150 mm pour les classes d'étanchéité 1 à 3. Le chiffre 5.2.3 de la norme SIA 262 relatif aux espacements minimaux sera pris en considération.

Sans autres dispositions et en fonction de l'armature, on peut s'attendre, sur la base de calculs, aux largeurs de fissures approximatives suivantes:

- classe d'étanchéité 1 0,1 à 0,2 mm
- classe d'étanchéité 2 0,2 à 0,4 mm
- classe d'étanchéité 3 0,4 à 0,7 mm.

Une réduction de ces largeurs est possible si le retrait et le glissement du radier sur le support ne sont pas entravés (pas de forces de frottement), et si des éléments de fissuration programmée et des modèles statiques simples comprenant des joints étanchés de manière adéquate sont prévus.

Les ouvrages de classe d'étanchéité 4 ne sont pas soumis à des recommandations particulières.

3.1.3.5 En cas de circulation d'eau dans les fissures, l'apparition de concrétions ne doit pas être prise en considération pour la vérification de la classe d'étanchéité et de l'aptitude au service.

3.1.3.6 L'étanchement de fissures a lieu au moyen de bandes d'étanchéité ou d'injections, voir aussi le chiffre 2.4.6. Le choix de matériaux adéquats dépend des déplacements présumés. Les dispositions constructives, comme une structure de soutènement face à la pression hydrostatique, seront prises en fonction des actions.

Les bandes d'étanchéité adhésives seront normalement collées sur la face exposée à la pression hydrostatique. Si cette face n'est pas accessible, la pose aura lieu de l'autre côté.

Dans le cas de joints de dilatation présentant la combinaison d'une bande collée avec une bande d'étanchéité de bordure, la bande de bordure devra être prolongée de manière à dépasser le niveau d'eau de projet.

3.1.3.7 Les raccordements au droit de traversées doivent être étanchés, voir également le chiffre 2.4.8. Le raccordement à l'ouvrage en béton a lieu par exemple au moyen de manchettes d'étanchéité, de bandes collées ou de produits synthétiques liquides.

Les traversées seront placées perpendiculairement à l'ouvrage en béton. L'espacement séparant une traversée de joint des traversées voisines sera d'au moins 250 mm.

3.1.3.8 Transitions, voir le chiffre 2.2.7.5.

3.1.3.9 Injections, voir le chapitre 4.

3.1.3.10 Les constructions en béton étanche ne nécessitent pas de couches de protection sur toute la surface.

Les étanchéités de joints et de traversées seront suffisamment protégées, par exemple au moyen de lés ou de tapis de protection (voir annexe C.10) ou au moyen de tôles. Les couches de protection seront fixées.

3.1.3.11 Le recouvrement et le remblayage latéral de l'ouvrage se feront par couches successives au moyen de matériaux et d'engins adéquats, de manière à éviter tout dommage aux étanchéités de joints, aux couches de protection et de drainage et aux isolations thermiques durant la mise en place et l'utilisation ultérieure.

3.1.3.12 Des conduites d'évacuation d'eaux de fuite seront prévues comme solution de repli. Leur entretien peut être facilité par un nombre suffisant de bouches, de regards et de dispositifs similaires en vue de leur nettoyage.

3.1.3.13 Des essais seront prévus selon le chiffre 2.4.5 et selon l'annexe C.1.

3.1.4 **Spécifications relatives à l'exécution**

- 3.1.4.1 La mise en place du béton n'aura pas lieu lors de précipitations et de températures inférieures à -5°C . La cure du béton est décrite au tableau 7.
- La pose d'éléments complémentaires, comme celle de bandes d'étanchéité en matière synthétique, est régie par les données du chiffre 3.5. L'exécution d'injections est traitée au chapitre 4.
- 3.1.4.2 Les exigences relatives au support seront données dans le projet. Voir annexe B.
- Le support, les armatures et les coffrages seront libres d'eau, de neige et de glace.
- La couche de béton maigre sera talochée soigneusement.
- Les joints de reprise seront nettoyés au jet d'eau à basse pression.
- 3.1.4.3 Les raccords de couches de séparation flexibles présenteront un recouvrement d'environ 300 mm.
- Les couches de séparation verticales seront posées de manière à ne pas être abîmées par la mise en place du béton.
- 3.1.4.4 Les ébranlements pendant la prise du béton, produits par exemple par le retrait de palplanches, constituent un risque. Les conditions suivantes seront respectées:
- le béton sera âgé d'environ 7 jours et la résistance à la compression atteindra au moins les 50% de la valeur caractéristique de la résistance à 28 jours.
 - la vitesse de retrait sera choisie en fonction de la fréquence. Voir la norme SN 640 312.
- 3.1.4.5 Le coffrage d'ouvrages en béton étanche sera franc de fuites de lait de ciment. Les raccords radier-paroi et paroi-plafond, ainsi que les transitions d'une paroi à une autre feront l'objet d'une attention particulière. Les zones de contact seront étanchées.
- 3.1.4.6 L'évolution de la résistance du béton est décrite dans la norme SN EN 206-1. Une évolution lente favorise la qualité.
- Le grain maximal d'un béton de doublage, par exemple pour un raccord radier-paroi, sera au plus de deux paliers inférieur à celui du béton de construction, mais en aucun cas inférieur à 8 mm.
- Des mortiers de doublage ne sont pas admis.
- 3.1.4.7 Concernant le maintien en position des nappes d'armature et des incorporés, les exigences suivantes sont valables pour les classes d'étanchéité 1 et 2:
- la nappe d'armature côté amont sera maintenue en position par des taquets qui s'intègrent au béton, tels que des petits blocs en béton.
 - les étriers seront posés sur la nappe d'armature opposée.
 - les incorporés, tels que des traversées, seront fixés à l'armature.

3.1.4.8 Le traitement du béton est décrit dans la norme SIA 262, chiffre 6.4.

La cure du béton sera exécutée selon les critères du tableau 7:

Tableau 7 Cure du béton

Mesures à prendre	Températures de l'air en °C			
	inf. à -3°	-3° à +5°	+5° à +25°	sup. à +25°
Recouvrir et tenir humide par arrosage permanent; mouiller les coffrages en bois; protéger du soleil les coffrages en acier			X	X
Recouvrir			X	
Recouvrir et isoler thermiquement, utilisation de coffrage isolant		X		
Recouvrir et isoler thermiquement, maintenir la température du béton à +10 °C pendant au moins 3 jours (emballer l'élément de construction et chauffer). Ces mesures sont aussi nécessaires en cas de pose d'une isolation thermique sous le radier.	X			

3.1.4.9 Les étanchéités de joints seront disposées de manière à ce que leurs mouvements ne soient pas entravés. Elles seront protégées contre les détériorations, les déplacements et les souillures.

3.1.4.10 Les cheminements capillaires seront évités au droit de raccords au pourtour, de raccords initiaux ou finaux et de raccords aux traversées.

3.1.4.11 Transitions, voir chiffre 2.2.7.5.

3.1.4.12 À proximité de transitions et de raccords de bord, on examinera dans quelle mesure les joints et les fissures existantes pourraient conduire à des effets de contournement dans le système d'étanchéité. Il sera tenu compte de chaque cas particulier. Les effets de contournement seront combattus par des synthétiques liquides, des bandes collées ou des colmatages de fissures. Les risques sont décrits sous chiffre 2.4.3.

3.1.4.13 L'ouvrage sera remblayé latéralement ou recouvert par couches successives au moyen de matériaux et d'engins adéquats. Voir chiffre 3.1.3.11.

3.1.4.14 Les mesures prises comme solution de repli, telles que le captage de fuites, feront l'objet d'une vérification lors de la réception de l'ouvrage.

3.1.4.15 Les contrôles seront exécutés selon le chiffre 2.4.5 et tiendront compte de l'annexe C.1.2.

3.2 Mortiers étanches (WDM)

3.2.1 Description du système

Le système d'étanchéité est constitué d'une couche de mortier étanche et des éléments complémentaires décrits ci-après, tels que l'étanchement de joints, les raccords aux traversées et des injections.

Le système est utilisé avec adhérence au support (mV).

Le système peut être appliqué en présence d'eau sous pression ou non, horizontalement, verticalement ou en surplomb. On tiendra compte du concept de physique de la construction en projet.

3.2.2 **Spécifications relatives aux matériaux**

Les spécifications relatives aux matériaux sont décrites à l'annexe C2.

3.2.3 **Spécifications relatives à la construction**

3.2.3.1 Le support doit être préparé. Les mesures à prendre seront planifiées au stade du projet. Les spécifications de l'annexe B relatives au type mV sont applicables sans restriction à la couche d'étanchéité WDM et à l'étanchement de joints et de raccordements aux traversées, ainsi qu'à d'autres éléments similaires.

Les exigences relatives à la résistance à l'adhérence par traction, à la rugosité, à la planéité et à l'inclinaison seront prises en considération lors de l'exécution de la sous-construction. Les spécifications correspondantes seront données dans le projet.

Dans le cas où la sous-construction serait déjà définie ou existante, par exemple lors de travaux de remise en état et de travaux similaires, les exigences relatives au support seront remplies par des mesures particulières: élimination des souillures, mise en place de couches d'égalisation et d'inclinaison, arrondissement des moulures et des arêtes de manière à éviter des cheminements capillaires. Les matériaux utilisés seront de nature à éviter des infiltrations.

Le support doit être propre, libre de laitance (granulats visibles). Les cavités et les pores seront élargis.

En complément, les mesures suivantes peuvent être prises: étanchement préalable et drainage des venues d'eau, pose de manchons de décompression des eaux souterraines, toiture de protection.

3.2.3.2 L'épaisseur de la couche d'étanchéité sera d'au moins 3 mm.

L'épaisseur de la couche dépend du procédé appliqué.

- application à l'air comprimé, procédé à sec ou humide. L'épaisseur minimale sera définie en fonction du procédé
- application manuelle sur une surface plane: première couche au moyen d'une truelle dentée, hauteur des dents 3 mm; deuxième couche au moyen d'une truelle à bord rectiligne.

3.2.3.3 Les raccordements de bord et similaires seront exécutés au moyen de mortier étanche. Le chiffre 2.2.7.5, alinéa 2, sera appliqué.

3.2.3.4 Une valeur d'orientation de $\leq 5,0 \text{ N/mm}^2$ sera respectée pour la compression maximale de la couche d'étanchéité.

La couche d'étanchéité est susceptible de reprendre et de transmettre des efforts de glissement. Ces derniers seront limités de manière à éviter un endommagement de la couche.

3.2.3.5 Joints, voir également le chiffre 2.4.6.

Dans le cas de mouvements de plus de 0,1 mm, le joint sera étanché au moyen de bandes d'étanchéité dans le plan de l'étanchéité. Le choix des matériaux adéquats dépend de l'importance des mouvements présumés. Les dispositions constructives tiendront compte des actions qui s'exercent sur l'étanchéité, comme une construction d'appui face à la pression hydrostatique.

Les bandes d'étanchéité collées seront appliquées sur la face exposée à la pression hydrostatique. Si cette face n'est pas accessible, la pose pourra avoir lieu de l'autre côté, la pression hydrostatique devant être reprise par une construction d'appui.

Dans le cas de joints de dilatation présentant la combinaison d'une bande collée avec une bande d'étanchéité de bordure, la bande de bordure devra être prolongée de manière à dépasser le niveau d'eau de projet.

3.2.3.6 Au moment de l'application, la largeur des fissures de la structure en béton ne dépassera pas 0,2 mm. Les variations de largeur des fissures sont dues aux actions, telles que les charges utiles, les effets thermiques, les déformations du terrain de fondation, etc. Ces variations seront déterminées dans le projet.

Dans le cas de variations de largeur de fissures dépassant 0,05 mm, les fissures seront étanchées. Le choix de matériaux d'étanchement adéquats (bandes collées, produits d'injection) dépend des variations de largeur présumées.

Les fissures et les variations de leur largeur au droit des raccords radier–paroi et paroi–plafond, ainsi que les transitions d’une paroi à une autre feront l’objet d’une attention particulière.

La limitation des largeurs de fissures est traitée au chiffre 3.1.3.4.

3.2.3.7 Traversées, voir également le chiffre 2.4.8.

Les traversées seront étanchées, par exemple par raccordement au plan de l’étanchéité au moyen de manchettes d’étanchéité, de bandes collées ou de produits synthétiques liquides.

Les traversées seront placées perpendiculairement au plan de l’étanchéité. L’espacement séparant une traversée de joint des traversées voisines sera d’au moins 250 mm.

3.2.3.8 Transitions, voir le chiffre 2.2.7.5.

3.2.3.9 Injections, voir le chapitre 4.

3.2.3.10 Les couches de protection seront définies selon les données spécifiques de l’ouvrage. Elles sont constituées par exemple de mortier d’une épaisseur minimale de 10 mm, de plaques drainantes, de plaques d’isolation thermique.

Les étanchéités de joints et de traversées seront suffisamment protégées, par exemple au moyen de lés ou de tapis de protection (voir annexe C.10) ou au moyen de tôles. Les couches de protection seront fixées.

3.2.3.11 Le recouvrement et le remblayage latéral de l’ouvrage se feront par couches successives au moyen de matériaux et d’engins adéquats, de manière à éviter tout dommage aux étanchéités de joints, aux couches de protection et de drainage et aux isolations thermiques durant la mise en place et l’utilisation ultérieure.

3.2.3.12 Des conduites d’évacuation d’eaux de fuite seront prévues comme solution de repli. Leur entretien peut être facilité par un nombre suffisant de bouches, de regards et de dispositifs similaires en vue de leur nettoyage.

3.2.3.13 Des essais seront prévus selon le chiffre 2.4.5 et selon l’annexe C.2.

3.2.4 Exigences relatives à l’exécution

3.2.4.1 La mise en place de la couche d’étanchéité n’aura pas lieu lors de précipitations. La température de l’air et du support sera située entre +5 °C et +30 °C. Ces conditions doivent régner durant tout le temps de pose et de prise.

La mise en œuvre d’éléments complémentaires, comme celle de bandes d’étanchéité collées et d’injections, est traitée au chiffre 3.5 et au chapitre 4.

3.2.4.2 Les exigences relatives au support seront données dans le projet. Voir annexe B.

Les moulures et les arêtes seront arrondies ou cassées, les balèvres repiquées. Les décrochements seront égalisés. Les nids de gravier seront reprofilés. Les matériaux utilisés seront conformes aux spécifications relatives aux couches d’égalesation données à l’annexe C.2.

Le support fera l’objet d’un contrôle et d’une réception avant la mise en œuvre de la couche d’étanchéité.

3.2.4.3 Les pores capillaires du support seront saturés par un mouillage préalable, afin d’éviter une absorption de l’eau de prise du mortier mis en place. Les flaques susceptibles d’élever le rapport E/C seront éliminées. Voir le chiffre 3.2.4.10.

La couche d’étanchéité sera mise en œuvre à la machine ou manuellement. L’épaisseur de la couche sera contrôlée régulièrement au cours de la pose. Si l’épaisseur minimale n’est pas atteinte, une couche supplémentaire de mortier sera nécessaire. Le traitement préalable du support sera répété.

Les interruptions de travail seront programmées selon les indications du fournisseur des matériaux, sinon un recouvrement d’au moins 100 mm sera prévu. Les joints de reprise seront rectilignes. La couche d’étanchéité sera protégée temporairement dans la zone de recouvrement.

La cure du mortier sera exécutée en appliquant de manière analogue le chiffre 3.1.4.8.

La mise en œuvre de la couche d'étanchéité et celle de la couche de protection constituent un tout fonctionnel. Ces opérations ne doivent pas être séparées l'une de l'autre, tant sur le plan technique que sur celui du programme. D'autres travaux ne seront pas tolérés parallèlement. Voir le chiffre 3.2.4.10.

- 3.2.4.4 À proximité de transitions et de raccordements de bord, on examinera dans quelle mesure les joints et les fissures existantes pourraient conduire à des effets de contournement dans le système d'étanchéité. Il sera tenu compte de chaque cas particulier. Les effets de contournement seront combattus par des synthétiques liquides, des bandes collées ou des colmatages de fissures. Les risques sont décrits sous chiffre 2.4.3.
- 3.2.4.5 Les exigences relatives aux effets de compression et de glissement selon le chiffre 3.2.3.4 sont également valables en phase d'exécution.
- 3.2.4.6 Les étanchéités de joints seront posées de manière à ce que leurs mouvements ne soient pas entravés. Elles seront protégées de manière à éviter tout endommagement, déplacement ou souillure.
- Les bandes d'étanchéité collées posées sur des parapets, des têtes de consoles et autres seront prolongées jusqu'à la face inférieure de la dalle ou de la console.
- 3.2.4.7 Les cheminements capillaires seront évités au droit de raccordements de bord, de raccordements initiaux ou finaux et de raccordements aux traversées.
- 3.2.4.8 Transitions, voir le chiffre 2.2.7.5.
- 3.2.4.9 Injections, voir le chapitre 4.
- 3.2.4.10 La couche d'étanchéité sera contrôlée avant la mise en œuvre de la couche de protection (voir l'annexe D.6.5).
- La mise en œuvre des couches de protection suivra immédiatement celle de la couche d'étanchéité.
- Les couches de protection constituées de mortier de ciment seront mises en œuvre après le raidissement de la couche d'étanchéité (procédé «humide sur humide»). Les treillis d'armatures seront placés dans le plan médian de la couche de protection.
- Les lés ou tapis de protection doivent être en contact sur toute la surface avec la couche d'étanchéité. Les raccords seront collés ou soudés. Ils seront soustraits par fixation aux déplacements et aux effets des courants d'air.
- 3.2.4.11 Le recouvrement et le remblayage latéral de l'ouvrage se feront par couches successives au moyen de matériaux et d'engins adéquats. Voir le chiffre 3.2.3.11.
- 3.2.4.12 Les dispositions prises comme solution de repli, telles que des conduites d'évacuation d'eaux de fuite, seront contrôlées lors de la réception de l'ouvrage.
- 3.2.4.13 Des essais seront prévus selon le chiffre 2.4.5 et selon l'annexe C.2.2.

3.3 Asphalte coulé (MA)

3.3.1 Description du système

Le système d'étanchéité est constitué d'une couche d'asphalte coulé et des éléments complémentaires décrits ci-après, tels que des raccordements de bord, l'étanchement de joints, des raccordements aux traversées.

Le système est utilisé superficiellement sans adhérence au support (mV).

Le système peut être utilisé

- en présence d'eaux de surface, d'eaux d'exploitation et de remontées capillaires
- sur des surfaces horizontales ou inclinées jusqu'à 8%.

On tiendra compte du concept de physique de la construction en projet.

3.3.2 **Spécifications relatives aux matériaux**

Ces spécifications sont données à l'annexe C.3.

3.3.3 **Spécifications relatives à la construction**

3.3.3.1 Le support doit être préparé. Les mesures à prendre seront planifiées au stade du projet. Voir l'annexe B.

On distinguera entre

- une pose avec adhérence au support (étanchéités de joints, éléments de compartimentation, raccordements de bord, terminaisons, raccordements aux traversées)
- la pose d'une couche d'étanchéité sans adhérence au support, grâce à la mise en place préalable d'une couche de séparation entre le support et l'asphalte coulé, par exemple du papier gras.

Les exigences relatives à la résistance à l'adhérence par traction, à la rugosité, à la planéité et à l'inclinaison seront prises en considération lors de l'exécution de la sous-construction. Les bases nécessaires seront données dans le projet.

Dans le cas où la sous-construction serait déjà définie ou existante, par exemple lors de travaux de remise en état et de travaux similaires, les exigences relatives au support seront remplies par des mesures particulières: élimination des souillures, colmatage des cavités et des pores, mise en place de couches d'égalisation et d'inclinaison, arrondissement des moulures et des arêtes de manière à éviter des cheminements capillaires. Les matériaux utilisés seront de nature à éviter des infiltrations.

Le support doit être propre. Voir annexe B.2.

Le support doit être sec. Voir annexe B.2.

Les arêtes seront biseautées en triangle 25/25 mm.

Les moulures seront arrondies, p.ex. par remplissage au moyen de bitume polymère.

La pose d'isolations thermiques est décrite au chapitre 6.

3.3.3.2 L'épaisseur de la couche d'étanchéité sera d'au moins 25 mm.

Les couches d'étanchéité contre les remontées capillaires seront posées à l'intrados de la construction en béton.

3.3.3.3 La pose aura lieu par compartiments d'une surface de 100 à 200 m².

Les compartiments seront limités sur une largeur d'au moins 300 mm par des bandes de lés d'étanchéité en bitume polymère ou par une étanchéité synthétique liquide.

La compartimentation n'est pas nécessaire pour des couches d'étanchéité contre les remontées capillaires.

3.3.3.4 Aux raccordements de bord et aux terminaisons, il faut prévoir une couche d'étanchéité avec adhérence au support (p.ex. des bandes collées ou une étanchéité synthétique liquide).

La liaison avec l'asphalte coulé aura une largeur d'au moins 200 mm.

La couche d'étanchéité avec adhérence au support sera remontée d'au moins 120 mm au-dessus du terrain. Le chiffre 2.2.7.5, alinéa 2, est applicable.

3.3.3.5 Une valeur d'orientation de $\leq 2,0$ N/m à 20 °C sera respectée pour la compression maximale de la couche d'étanchéité. En cas d'effets thermiques plus élevés, cette valeur sera réduite en fonction des propriétés du matériau.

Les couches d'asphalte coulé ne peuvent reprendre et transmettre que de faibles efforts de glissement. Les mesures nécessaires seront prises pour éviter un écrasement de la couche d'étanchéité. La résistance au glissement dépend des actions thermiques et des charges, ainsi que des propriétés du matériau. Les vérifications de stabilité correspondantes seront faites dans le cadre du projet, tant pour les actions de courte durée que pour celles se produisant à long terme.

3.3.3.6 Joints du support, voir également le chiffre 2.4.6.

Dans le cas de largeur de joints supérieure à 0,5 mm et de mouvements dépassant 0,2 mm, les joints seront étanchés au moyen de bandes d'étanchéité. Le choix des matériaux adéquats dépend de l'importance des mouvements présumés.

3.3.3.7 La largeur des fissures dans la construction en béton ne doit pas dépasser 0,5 mm. Les variations de largeur sont dues aux actions, telles que les charges utiles, les effets thermiques, les déformations du terrain de fondation, etc. Ces variations seront déterminées dans le projet.

Dans le cas de variations de largeur de fissures dépassant 0,2 mm, les fissures seront étanchées. Le choix des matériaux adéquats dépend des variations de largeur présumées.

La limitation des largeurs de fissures est traitée au chiffre 3.1.3.4.

3.3.3.8 Traversées, voir également le chiffre 2.4.8.

Les raccordements aux traversées seront étanchés. Le raccordement au plan de l'étanchéité a lieu au moyen de manchettes d'étanchéité, de bandes collées ou de produits synthétiques liquides.

Les traversées seront placées perpendiculairement au plan de l'étanchéité. L'espacement séparant une traversée de joint des traversées voisines et d'éléments de construction émergents sera d'au moins 250 mm. La liaison de l'étanchement des traversées avec la couche d'étanchéité aura une largeur d'au moins 200 mm.

3.3.3.9 Transitions, voir le chiffre 2.2.7.5.

3.3.3.10 L'asphalte coulé n'exige pas de couches de protection.

La norme SIA 273 est applicable aux surfaces carrossables dans le bâtiment.

Les raccordements de bord, les étanchéités de joints et de traversées exigent des mesures de protection, telles que des lés, des tapis de protection (voir annexe C.10) ou des tôles.

3.3.3.11 Le recouvrement et le remblayage latéral de l'ouvrage se feront par couches successives au moyen de matériaux et d'engins adéquats, de manière à éviter tout dommage aux étanchéités de joints, aux couches de protection et de drainage et aux isolations thermiques durant la mise en place et l'utilisation ultérieure.

3.3.3.12 Des conduites d'évacuation d'eaux de fuite et de décharge, telles qu'elles sont utilisées dans la construction de ponts, seront prévues comme solution de repli. Leur entretien peut être facilité par un nombre suffisant de bouches, de regards et de dispositifs similaires en vue de leur nettoyage.

3.3.3.13 Des essais seront prévus selon le chiffre 2.4.5 et selon l'annexe C.3.

3.3.4 Exigences relatives à l'exécution

3.3.4.1 La mise en place de la couche d'étanchéité n'aura pas lieu lors de précipitations. La température de l'air et du support sera d'au moins +5 °C.

La mise en œuvre d'éléments complémentaires, comme celle de bandes d'étanchéité collées et d'injections, est traitée au chiffre 3.5 et au chapitre 4.

3.3.4.2 Les exigences relatives au support seront données dans le projet. Voir annexe B.

Les parties rugueuses et inégales seront aplanies.

Les moulures et les arêtes seront arrondies ou cassées, les balèvres repiquées. Les décrochements seront égalisés. Les nids de gravier seront reprofilés. Les matériaux utilisés seront conformes aux spécifications relatives aux couches d'égalisation données à l'annexe C.3.

Le support fera l'objet d'un contrôle et d'une réception avant la mise en œuvre de la couche d'étanchéité.

3.3.4.3 La couche d'étanchéité sera mise en œuvre à la machine ou manuellement selon les normes SN 640 440b et SN 640 442NA.

Les compartiments seront limités sur une largeur d'au moins 300 mm par des bandes de lés d'étanchéité en bitume polymère d'une épaisseur de 5 mm. Il est également possible de prévoir des compartiments selon le chiffre 3.3.3.3.

- 3.3.4.4 La compartimentation sera réalisée au moyen de bandes collées ou d'une étanchéité synthétique liquide. L'adhérence au support doit être garantie (méthode de vérification de l'adhérence: mesure de résistance à l'adhérence par traction et de résistance au pelage). Les fissures et joints traversant les limites de compartiment seront localement colmatés.

Les bandes de compartimentation seront étroitement collées ou soudées à la couche d'étanchéité. Les raccordements seront soudés de manière à éviter des cheminements capillaires.

- 3.3.4.5 À proximité de transitions et de raccordements de bord, on examinera dans quelle mesure les joints et les fissures existantes pourraient conduire à des effets de contournement dans le système d'étanchéité. Il sera tenu compte de chaque cas particulier. Les effets de contournement seront combattus par des synthétiques liquides, des bandes collées ou des colmatages de fissures. Les risques sont décrits sous chiffre 2.4.3.

- 3.3.4.6 Le chiffre 3.3.3.5 est également valable durant les travaux pour les effets de compression et de glissement.

- 3.3.4.7 Joints, voir également le chiffre 2.4.6.

Les étanchéités de joints seront posées de manière à ce que leurs mouvements ne soient pas entravés. Elles seront protégées de manière à éviter tout endommagement, déplacement ou souillure.

Les bandes d'étanchéité collées posées sur des parapets, des têtes de consoles et autres seront prolongées jusqu'à la face inférieure de la dalle ou de la console.

- 3.3.4.8 Les cheminements capillaires seront évités au droit de raccordements de bord, de raccordements initiaux ou finaux et de raccordements aux traversées.

- 3.3.4.9 Transitions, voir le chiffre 2.2.7.5.

- 3.3.4.10 Couches de protection, voir le chiffre 3.3.3.10.

- 3.3.4.11 Le recouvrement et le remblayage latéral de l'ouvrage se feront par couches successives au moyen de matériaux et d'engins adéquats.

- 3.3.4.12 Les dispositions prises comme solution de repli, telles que des conduites d'évacuation d'eaux de fuite, seront contrôlées lors de la réception de l'ouvrage.

- 3.3.4.13 Des essais seront prévus selon le chiffre 2.4.5 et selon l'annexe C.3.2.

3.4 Lés d'étanchéité à base de bitume polymère (PBD)

3.4.1 Description du système

Le système d'étanchéité est constitué d'une ou de plusieurs couches de lé d'étanchéité à base de bitume polymère et des éléments complémentaires décrits ci-après, tels que des raccordements de bord, l'étanchement de joints, des raccordements aux traversées.

Le système est utilisé avec adhérence au support (mV).

Exception la plus importante: la couche d'étanchéité est mise en œuvre avant l'exécution de la structure en béton (dalle de fondation, éléments coffrés unilatéralement en sous-sol et dans les constructions souterraines). Dans ce cas, il n'y a pas de liaison avec le support.

Le système peut être appliqué en présence d'eau sous pression ou non, horizontalement ou verticalement. Il trouve également une application horizontale ou verticale face à des eaux superficielles, des eaux d'exploitation et des remontées capillaires.

On tiendra compte du concept de physique de la construction en projet.

3.4.2 **Spécifications relatives aux matériaux**

Les spécifications relatives aux matériaux sont décrites à l'annexe C4.

3.4.3 **Spécifications relatives à la construction**

3.4.3.1 Le support doit être préparé. Les mesures à prendre seront planifiées au stade du projet (voir l'annexe B).

On distinguera entre

- une pose avec adhérence au support (étanchéités de joints, éléments de compartimentation, raccordements de bord, terminaisons, raccordements aux traversées)
- la pose d'une couche d'étanchéité sans adhérence au support, voir chiffre 3.4.1, alinéa 3.

Les exigences relatives à la résistance à l'adhérence par traction, à la rugosité, à la planéité et à l'inclinaison seront prises en considération lors de l'exécution de la sous-construction. Les bases nécessaires seront données dans le projet.

Dans le cas où la sous-construction serait déjà définie ou existante (par exemple lors de travaux de remise en état, de la pose sur des parois moulées, de la pose sur la face de tunnels à ciel ouvert et de travaux similaires), les exigences relatives au support seront remplies par des mesures particulières: élimination des souillures, colmatage des cavités et des pores, mise en place de couches d'égalisation et d'inclinaison. Les matériaux utilisés seront de nature à éviter des infiltrations.

Le support doit être propre. Voir annexe B.1.

Le support doit être sec. Voir annexe B.1.

Les arêtes seront biseautées en triangle 25/25 mm.

Les moulures seront arrondies, p.ex. par remplissage au moyen de bitume polymère. Les matériaux utilisés seront de nature à éviter des infiltrations.

La pose d'isolations thermiques est décrite au chapitre 6.

3.4.3.2 Dans le cas de pose avec adhérence au support, on utilisera un produit d'accrochage. Un renoncement à cette mesure doit être justifié.

3.4.3.3 Les épaisseurs minimales de la couche d'étanchéité seront déterminées selon le tableau suivant.

Tableau 8 Épaisseur et nombre de couches de lés d'étanchéité à base de bitume polymère

Sans pression hydrostatique		Avec pression hydrostatique		Remontée capillaire	
mV	oV	mV	oV	mV	oV
≥ 5 mm en 1 couche	≥ 8 mm en 2 couches	≥ 10 mm en 2 couches		≥ 3,5 mm en 1 couche	

Les feuilles d'aluminium insérées dans les couches d'étanchéité seront protégées par une couche continue de bitume d'une épaisseur d'au moins 2 mm sur le support cimenté.

3.4.3.4 Les joints de reprise seront exécutés soit comme joint plat, soit comme joint de retour. La combinaison des deux types de joint dans la même section n'est pas admise.

3.4.3.5 Dans le cas de pose sans adhérence au support et en présence d'eau sous pression, il faut prévoir des compartiments, dont la surface ne dépassera pas 200 m².

Les éléments de compartimentation seront constitués de bandes à nervures collées sur le lé d'étanchéité. Les dimensions de ces bandes dépendent de l'endroit de leur utilisation, du recouvrement des armatures et de la composition du béton. Il y a avantage à placer les bandes de compartimentation au droit des joints de reprise de l'ouvrage en béton.

3.4.3.6 Aux raccordements de bord, il sera prévu une couche d'étanchéité avec adhérence au support (par exemple des bandes collées compatibles avec le bitume ou une étanchéité synthétique liquide). La liaison avec la couche d'étanchéité à base de bitume polymère aura une largeur d'au moins 100 mm.

La couche d'étanchéité avec adhérence au support sera remontée d'au moins 120 mm au-dessus du terrain. Le chiffre 2.2.7.5, alinéa 2, est applicable.

- 3.4.3.7 Une valeur d'orientation de $\leq 1,0 \text{ N/mm}^2$ à 20 °C sera respectée pour la compression maximale de la couche d'étanchéité. En cas d'effets thermiques plus élevés, cette valeur sera réduite en fonction des propriétés du matériau. Si les mesures nécessaires sont prises pour éviter un écrasement de la couche d'étanchéité, cette valeur d'orientation peut être augmentée.

Les couches d'étanchéité sont en mesure de reprendre et de transmettre de faibles efforts de glissement. La résistance au glissement dépend des actions thermiques et des charges, ainsi que des propriétés du matériau. Les vérifications de stabilité correspondantes seront faites dans le cadre du projet, tant pour les actions de courte durée que pour celles se produisant à long terme.

Si les effets de compression et de glissement ont des valeurs dépassant les limites décrites, des dispositions spéciales seront prises, telles que des butées, des seuils, des tirants à plaque. Les constructions à doubles brides, comprenant une bride fixe et une bride mobile, seront mises en œuvre dans la couche d'étanchéité comme pour les bouches de décompression des eaux souterraines.

Le passage d'une construction métallique au plan de la couche d'étanchéité doit être assuré durablement. Il sera tenu compte des déformations et des tassements différentiels des éléments de l'ouvrage.

- 3.4.3.8 Joints, voir également le chiffre 2.4.6.

En cas de mouvements dépassant les valeurs de variation de largeur admissible des fissures données au tableau 9, les joints seront étanchés. Le choix des matériaux adéquats (bandes collées, étanchéité synthétique liquide) dépend de l'importance des mouvements présumés. Les dispositions pratiques, telles qu'une construction d'appui face à la pression hydrostatique, tiendront compte des actions en présence.

- 3.4.3.9 La largeur des fissures et leurs variations dans l'ouvrage et dans la sous-construction ne doivent pas dépasser, dans le plan de l'étanchéité et perpendiculairement à ce dernier, les valeurs données au tableau 9.

Les variations de largeur sont dues aux actions, telles que les charges utiles, les effets thermiques, les déformations du terrain de fondation, etc. Ces variations seront déterminées dans le projet.

Tableau 9 Valeurs d'orientation pour les largeurs de fissures et leurs variations

	Sans pression hydrostatique	Avec pression hydrostatique
Largeurs des fissures	$b_R \leq 0,3 S$	$b_R \leq 0,2 S$
Variations de largeur des fissures	$\Delta b_R \leq 0,2 S$	$\Delta b_R \leq 0,1 S$

S = épaisseur de la couche d'étanchéité selon le tableau 8

- 3.4.3.10 Traversées, voir également le chiffre 2.4.8.

Les traversées seront étanchées, par exemple par raccordement au plan de l'étanchéité au moyen de manchettes d'étanchéité, de bandes collées ou de produits synthétiques liquides.

Les traversées seront placées perpendiculairement au plan de l'étanchéité. L'espacement séparant une traversée de joint des traversées voisines et d'éléments de construction émergents sera d'au moins 250 mm.

- 3.4.3.11 Transitions, voir le chiffre 2.2.7.5.

- 3.4.3.12 Les lés d'étanchéité en matière synthétique seront protégés par des couches de protection. La qualité de ces dernières dépend des actions et de l'utilisation ultérieure. Elle sera définie dans le projet. Elles seront constituées par exemple de béton, de mortier, d'asphalte coulé, d'enrobé bitumineux compacté, d'asphalte drainant, de lés et de tapis de protection, de non-tissés, de plaques drainantes, de plaques d'isolation thermique, de tôles.

Des couches de protection à base de ciment sont proscrites du côté humide de l'étanchéité si les dispositifs drainants voisins présentent un potentiel de concrétions.

Si de telles couches de protection à base de ciment ne peuvent pas être évitées, des mesures seront prises contre les concrétions, voir chapitre 5.

Les spécifications relatives aux matériaux constituant les couches de protection sont données à l'annexe C.10.

Les couches de protection en asphalte coulé auront une épaisseur d'au moins 25 mm.

Les couches de protection constituées d'enrobé bitumineux compacté et d'asphalte drainant auront une épaisseur d'au moins 30 mm et un grain maximal de Ø 8 mm. Les épaisseurs et les types de revêtement seront choisis de manière à assurer la stabilité du système et à éviter tout dommage aux couches d'étanchéité, aussi bien lors de la mise en œuvre que durant l'utilisation ultérieure.

La norme SIA 273 est applicable aux surfaces carrossables dans le bâtiment.

- 3.4.3.13 Le recouvrement et le remblayage latéral de l'ouvrage se feront par couches successives au moyen de matériaux et d'engins adéquats, de manière à éviter tout dommage aux étanchéités de joints, aux couches de protection et de drainage et aux isolations thermiques durant la mise en place et l'utilisation ultérieure.
- 3.4.3.14 Des conduites d'évacuation d'eaux de fuite seront prévues comme solution de repli. Leur entretien peut être facilité par un nombre suffisant de bouches, de regards et de dispositifs similaires en vue de leur nettoyage.
- 3.4.3.15 Des essais seront prévus selon le chiffre 2.4.5 et selon l'annexe C.4.

3.4.4 Exigences relatives à l'exécution

- 3.4.4.1 La mise en place de la couche d'étanchéité avec adhérence au support n'aura pas lieu lors de précipitations. La température de l'air, des matériaux et du support sera d'au moins +3 °C et d'au moins 3 °C supérieure à la température du point de rosée.

La mise en place de la couche d'étanchéité sans adhérence au support n'aura pas lieu lors de précipitations. La température de l'air, des matériaux et du support sera supérieure à 0 °C.

- 3.4.4.2 Les exigences relatives au support seront données dans le projet. Voir annexe B.

Les parties rugueuses et inégales seront aplanies.

Les moulures et les arêtes seront arrondies ou cassées, les balèvres repiquées. Les décrochements seront égalisés. Les nids de gravier seront reprofilés. Les matériaux utilisés seront conformes aux spécifications relatives aux couches d'égalisation données à l'annexe C.10.

Le support fera l'objet d'un contrôle et d'une réception avant la mise en œuvre de la couche d'étanchéité.

- 3.4.4.3 Le produit d'accrochage doit avoir séché avant la pose de la couche d'étanchéité.

Le temps d'attente entre la pose du produit d'accrochage et celle de la couche d'étanchéité dépend du temps de séchage du produit d'accrochage, des risques de pollution et des conditions météorologiques.

- 3.4.4.4 Les lés d'étanchéité avec adhérence au support seront mis en place par soudage en ne laissant aucun vide. La qualité de l'adhérence au support sera vérifiée par des mesures de résistance à l'adhérence par traction et de résistance au pelage.

Les lés d'étanchéité seront exceptionnellement posés sans adhérence au support, voir chiffre 3.4.1, alinéa 3.

Les lés d'étanchéité seront posés avec un chevauchement d'au moins 200 mm. Les joints en croix ne sont pas admis. La largeur des recouvrements sera de 100 mm, localement d'au moins 75 mm. Les recouvrements ne sont pas admis dans les brides de raccordement.

Les raccordements de lés d'étanchéité doivent être soudés.

Dans les étanchéités multicouches, les lés d'étanchéité seront soudés entre eux sans laisser de vide.

La mise en œuvre de la couche d'étanchéité et celle de la couche de protection constituent un tout fonctionnel. Ces opérations ne doivent pas être séparées l'une de l'autre, tant sur le plan technique que sur celui du programme. D'autres travaux ne seront pas tolérés parallèlement. Voir le chiffre 3.4.4.12.

3.4.4.5 Les joints de reprise dans les lés d'étanchéité seront temporairement protégés et assurés, de manière à éviter des infiltrations d'eau. Dans les étanchéités multicouches, la pose des différents niveaux aura lieu de façon décalée et avec un recouvrement d'au moins 100 mm. On évitera des angles et des cheminements capillaires, de nature à produire des contournements ou des infiltrations sous-jacentes.

3.4.4.6 Les éléments de compartimentation seront étroitement collés ou soudés à la couche d'étanchéité. Les raccords de bandes de compartimentation seront soudés de manière à éviter des contournements capillaires des éléments de compartimentation.

Les nervures de bandes seront entièrement enrobées de béton. Dans ce but, les bandes seront nettoyées, la composition et le procédé de mise en place du béton seront choisis de manière adéquate et des dispositifs de purge seront prévus.

Des gabarits seront utilisés pour le soudage des raccords de bandes à nervures.

3.4.4.7 À proximité de transitions et de raccordements de bord, on examinera dans quelle mesure les joints et les fissures existantes pourraient conduire à des effets de contournement dans le système d'étanchéité. Il sera tenu compte de chaque cas particulier. Les effets de contournement seront combattus par des synthétiques liquides, des bandes collées ou des colmatages de fissures. Les risques sont décrits sous chiffre 2.4.3.

3.4.4.8 Le chiffre 3.4.3.7 est également valable durant les travaux pour les effets de compression et de glissement.

3.4.4.9 Les étanchéités de joints seront posées de manière à ce que leurs mouvements ne soient pas entravés. Elles seront protégées de manière à éviter tout endommagement, déplacement ou souillure.

Les bandes d'étanchéité collées sur des parapets, des têtes de consoles et autres seront prolongées jusqu'à la face inférieure de la dalle ou de la console.

3.4.4.10 Les cheminements capillaires seront évités au droit de raccordements de bord et de raccordements aux traversées.

Les recouvrements ne sont pas admis dans les brides de raccordement.

3.4.4.11 Transitions, voir le chiffre 2.2.7.5.

3.4.4.12 La couche d'étanchéité sera contrôlée avant la mise en œuvre de la couche de protection (voir l'annexe D.6.5).

La mise en œuvre des couches de protection suivra immédiatement celle de la couche d'étanchéité.

La surface de la couche d'étanchéité sera propre et ne présentera pas de flaques d'eau.

Les couches de protection seront soigneusement posées, de manière à éviter tout endommagement de la couche d'étanchéité. Elles seront partout en contact étroit avec la couche d'étanchéité, sans vide intermédiaire.

Couches de protection en asphalte coulé, en enrobé bitumineux compacté et en asphalte drainant:

- la couche de protection sera mise en œuvre à la machine ou manuellement selon la norme SN 640 430 pour l'enrobé et l'asphalte drainant, et selon la norme SN 640 440b pour l'asphalte coulé.
- au raccordement à des éléments émergents, un joint continu d'une largeur d'au moins 20 mm sera constitué, dans lequel une masse plastique déformable sera coulée.

Lés ou tapis de protection:

- les raccords seront collés ou soudés.
- ils seront soustraits par fixation aux déplacements et aux effets des courants d'air.

- 3.4.4.13 Le recouvrement et le remblayage latéral de l'ouvrage se feront par couches successives au moyen de matériaux et d'engins adéquats, voir le chiffre 3.4.3.13.
- 3.4.4.14 Les dispositions prises comme solution de repli, telles que des conduites d'évacuation d'eaux de fuite, seront contrôlées lors de la réception de l'ouvrage.
- 3.4.4.15 Des essais seront prévus selon le chiffre 2.4.5 et selon l'annexe C.4.3.

3.5 Lés d'étanchéité en matière synthétique (KDB)

3.5.1 Description du système

Le système d'étanchéité est constitué d'une couche de lé d'étanchéité en matière synthétique et des éléments complémentaires décrits ci-après, tels que des raccordements de bord, l'étanchement de joints, des raccordements aux traversées.

Le système est utilisé avec ou sans adhérence au support.

Dans le cas de l'application avec adhérence, le lé d'étanchéité est collé entièrement et sans vide intermédiaire sur l'ouvrage en béton. Des collages de montage ne sont pas considérés comme étanchéité avec adhérence.

Dans le cas de l'application sans adhérence, la couche d'étanchéité est mise en œuvre avant l'exécution de la structure en béton (dalle de fondation, éléments coffrés unilatéralement en sous-sol et dans les constructions souterraines). Dans ce cas, il n'y a pas de liaison avec le support. Suivant les données spécifiques de l'ouvrage, des couches d'égalisation ou de drainage sont posées dans l'espace entre la couche d'étanchéité et le support.

Le système peut être appliqué en présence d'eaux superficielles ou d'eaux d'exploitation sans pression, ou face à des eaux sous pression hydrostatique, horizontalement, verticalement ou en surplomb. Il trouve également une application horizontale ou verticale face à des remontées capillaires.

On tiendra compte du concept de physique de la construction en projet.

La couche d'étanchéité peut aussi être constituée de deux lés d'étanchéité solidarités (soudés) par zones. Ces zones, dites coussins, sont contrôlables par mise sous vide. Les dimensions des coussins seront fixées en fonction des données spécifiques de l'ouvrage. Il est nécessaire d'obtenir un vide vérifiable sur l'ensemble du coussin. Le processus de vide sera maintenu et protocolé jusqu'au moment où l'étanchéité n'est plus menacée.

3.5.2 Spécifications relatives aux matériaux

Les spécifications relatives aux matériaux sont décrites à l'annexe C5.

3.5.3 Spécifications relatives à la construction

- 3.5.3.1 Le support doit être préparé. Les mesures à prendre seront planifiées au stade du projet (voir l'annexe B).

On distinguera entre (voir chiffre 3.5.4.3):

- la pose avec adhérence au support (lés d'étanchéité, joints, raccordements de bord, éléments de compartimentation, raccordements aux traversées)
- la pose d'une couche d'étanchéité sans adhérence au support.

Pour les champs d'application B2 à B7, les exigences de qualité du support seront fixées en fonction des données spécifiques de l'ouvrage.

Les exigences relatives à la résistance à l'adhérence par traction, à la rugosité, à la planéité et à l'inclinaison seront prises en considération lors de l'exécution de la sous-construction. Les bases nécessaires seront données dans le projet.

Dans le cas où la sous-construction serait déjà définie ou existante (par exemple lors de travaux de remise en état, de la pose sur des parois moulées, de la pose sur la face de tunnels à ciel ouvert et de travaux similaires), les exigences relatives au support seront remplies par des mesures particu-

lières: élimination des souillures, colmatage des cavités et des pores. Les couches d'égalisation et d'inclinaison seront imperméables, de manière à éviter des infiltrations. Les arêtes seront biseautées en triangle 25/25 mm, les moulures seront arrondies au moyen d'un mortier d'égalisation. Les matériaux utilisés seront de nature à éviter des infiltrations.

Le support doit être propre. Les pores seront élargis. Voir l'annexe B.

Le support doit être sec. Voir l'annexe B.

La pose d'isolations thermiques est décrite au chapitre 6.

3.5.3.2 Les épaisseurs de couches de lés d'étanchéité en matière synthétique seront les suivantes:

- sans pression hydrostatique ≥ 2 mm
- avec pression hydrostatique ≥ 3 mm
- remontée capillaire $\geq 1,2$ mm

Pour les champs d'application B3 à B7, les épaisseurs minimales des couches seront fixées en fonction des données spécifiques de l'ouvrage.

Pour les systèmes contrôlables de grande surface (couches doubles contrôlables par le vide), l'épaisseur minimale de couche sera fixée en fonction des données spécifiques de l'ouvrage.

3.5.3.3 Les joints de reprise seront exécutés soit comme joints plats, soit comme joints de retour. La combinaison des deux types de joint dans la même section n'est pas admise.

3.5.3.4 Des compartiments seront prévus dans les couches étanchéité sans adhérence au support. Leur surface, qui ne dépassera pas 200 m², sera fixée en fonction des données spécifiques de l'ouvrage (géométrie, déroulement des travaux, traversées, utilisation ultérieure, inclinaison).

Dans le champ d'application B2 (travaux souterrains), une compartimentation n'est pas nécessaire dans les étanchéités face à de l'eau sans pression hydrostatique.

Dans les champs d'application B3 à B7, des compartimentations peuvent être prévues en fonction des données spécifiques de l'ouvrage.

Les éléments de compartimentation seront constitués de bandes à nervures collées sur le lé d'étanchéité ou de bandes de lé d'étanchéité posées avec adhérence à la structure en béton. Les dimensions de ces bandes dépendent de l'endroit de leur utilisation, du recouvrement des armatures et de la composition du béton. Il y a avantage à placer les bandes de compartimentation au droit des joints de reprise de l'ouvrage en béton.

Les nervures de bandes seront entièrement enrobées de béton. Dans ce but, il est nécessaire de prévoir des bandes injectables, des conduites de purge et des injections. Après le durcissement du béton, les vides qui n'ont pas pu être évités seront remplis d'une émulsion de ciment.

Plusieurs coussins à doubles strates (contrôlables par le vide) seront regroupés dans un compartiment allant jusqu'à 500 m².

3.5.3.5 Les raccordements de bord, les relevés et les retombées seront exécutés avec adhérence au support (par exemple des bandes collées), afin d'éviter des contournements. Ces bandes seront soudées à la couche d'étanchéité.

La couche d'étanchéité sera remontée d'au moins 120 mm au-dessus du terrain. Le chiffre 2.2.7.5, alinéa 2, est applicable.

Dans les champs d'application B3 à B7, les raccordements de bord, les relevés et les retombées seront prévus en fonction des données spécifiques de l'ouvrage.

3.5.3.6 Une valeur d'orientation de $\leq 2,0$ N/mm² sera respectée pour la compression maximale. Sur la base de la vérification de l'aptitude au service à long terme, cette valeur peut être augmentée en fonction de la profondeur de rugosité.

Les couches d'étanchéité sans adhérence au support ne transmettent que de faibles efforts de glissement. Les vérifications de stabilité correspondantes seront faites dans le cadre du projet, tant pour les actions de courte durée que pour celles se produisant à long terme.

Les couches d'étanchéité avec adhérence au support sont en mesure de transmettre des efforts de glissement. Il faut tenir compte des propriétés de l'agent adhésif. La transmission des efforts de glissement fera l'objet d'une vérification.

Si les effets de compression et de glissement ont des valeurs dépassant les limites décrites, des dispositions spéciales seront prises, telles qu'une sous-construction et des couches de protection stables, des butées ou des seuils intégrés dans l'ouvrage en béton, une couche d'étanchéité intégrée.

Il sera tenu compte des déformations et des tassements différentiels des éléments de l'ouvrage.

3.5.3.7 Joints, voir également le chiffre 2.4.6.

En cas de mouvements dépassant les valeurs de variation de largeur admissible des fissures données au tableau 10, les joints seront étanchés. Le choix des matériaux adéquats (bandes collées, étanchéité synthétique liquide) dépend de l'importance des mouvements présumés. Les dispositions pratiques, telles qu'une construction d'appui face à la pression hydrostatique, tiendront compte des actions en présence.

3.5.3.8 La largeur des fissures et leurs variations dans l'ouvrage et dans la sous-construction ne doivent pas dépasser, dans le plan de l'étanchéité et perpendiculairement à ce dernier, les valeurs données au tableau 10.

Les variations de largeur sont dues aux actions, telles que les charges utiles, les effets thermiques, les déformations du terrain de fondation, etc. Ces variations seront déterminées dans le projet.

Tableau 10 Valeurs d'orientation pour les largeurs de fissures et leurs variations

	Sans pression hydrostatique		Avec pression hydrostatique	
	mV	oV	mV	oV
Largeurs des fissures	$b_R \leq 0,8 S$	$b_R \leq 1,5 S$	$b_R \leq 0,5 S$	$b_R \leq 1,0 S$
Variations de largeur des fissures	$\Delta b_R \leq 0,4 S$	$\Delta b_R \leq 0,8 S$	$\Delta b_R \leq 0,2 S$	$\Delta b_R \leq 0,4 S$

S = épaisseur de la couche d'étanchéité selon le chiffre 3.5.3.2

3.5.3.9 Traversées, voir également le chiffre 2.4.8.

Les traversées seront étanchées, par exemple par raccordement au plan de l'étanchéité au moyen de manchettes d'étanchéité, de bandes collées ou de produits synthétiques liquides.

Les traversées seront placées perpendiculairement au plan de l'étanchéité. L'espacement séparant une traversée de joint des traversées voisines et d'éléments de construction émergents sera d'au moins 250 mm.

3.5.3.10 Transitions, voir le chiffre 2.2.7.5.

3.5.3.11 Injections, voir le chapitre 4.

3.5.3.12 Les lés d'étanchéité en matière synthétique seront protégés par des couches de protection. La qualité de ces dernières dépend des actions et de l'utilisation ultérieure. Elle sera définie dans le projet. Elles seront constituées par exemple de béton, de mortier, d'asphalte coulé, d'enrobé bitumineux compacté, d'asphalte drainant, de lés et de tapis de protection, de non-tissés, de plaques drainantes, de plaques d'isolation thermique, de tôles.

Dans le champ d'application B2 (travaux souterrains) et dans le cas d'une voûte intérieure non armée, une couche de protection n'est nécessaire que dans les parties coffrées.

Dans les cas où des effets mécaniques peuvent être exclus, des couches de protection ne sont pas nécessaires.

Dans le cadre du concept de captage et d'évacuation des eaux, les couches de protection à base de ciment sont proscrites du côté humide de l'étanchéité (risque de concrétions dans les conduites drainantes). Si de telles couches de protection à base de ciment ne peuvent pas être évitées, par exemple en présence de béton projeté dans la construction de tunnels, des mesures seront prises contre les effets des concrétions, par exemple un dimensionnement suffisant de la section des drains, une stabilisation de la dureté de l'eau, un entretien périodique. Voir chapitre 5.

Les spécifications relatives aux matériaux constituant les couches de protection sont données à l'annexe C.10.

Les exigences relatives aux effets de glissement données au chiffre 3.5.3.6 seront prises en considération.

La norme SIA 273 est applicable aux surfaces carrossables.

3.5.3.13 Le recouvrement et le remblayage latéral de l'ouvrage se feront par couches successives au moyen de matériaux et d'engins adéquats, de manière à éviter tout dommage aux étanchéités de joints, aux couches de protection et de drainage et aux isolations thermiques durant la mise en place et l'utilisation ultérieure.

3.5.3.14 Des conduites d'évacuation d'eaux de fuite seront prévues comme solution de repli. Leur entretien peut être facilité par un nombre suffisant de bouches, de regards et de dispositifs similaires en vue de leur nettoyage.

Dans le cas d'injections dans des secteurs compartimentés (voir le chiffre 4.3.4), on s'assurera de la présence d'une contre-pression suffisante, sur la base de laquelle les quantités et les pressions d'injection pourront être limitées.

3.5.3.15 Des essais seront prévus selon le chiffre 2.4.5 et selon l'annexe C.5.

3.5.4 Exigences relatives à l'exécution

3.5.4.1 La mise en place de la couche d'étanchéité avec adhérence au support n'aura pas lieu lors de précipitations. La température de l'air, des matériaux et du support sera située entre 3 °C et 30 °C et sera d'au moins 3 °C supérieure à la température du point de rosée. Ces conditions doivent régner durant tout le temps de mise en œuvre.

La mise en place de la couche d'étanchéité sans adhérence au support n'aura pas lieu lors de précipitations. La température de l'air, des matériaux et du support sera supérieure à 0 °C.

3.5.4.2 Les exigences relatives au support seront données dans le projet. Voir annexe B.

Les parties rugueuses et inégales seront aplanies selon les données du projet.

Les moulures et les arêtes seront arrondies ou cassées, les balèvres repiquées. Les décrochements seront égalisés. Les nids de gravier seront reprofilés. Les matériaux utilisés seront conformes aux spécifications relatives aux couches d'égalisation données à l'annexe C.5.

Pour les champs d'application B3 à B7, les exigences relatives aux moulures et arêtes seront définies selon les données spécifiques de l'ouvrage.

Le support fera l'objet d'un contrôle et d'une réception avant la mise en œuvre de la couche d'étanchéité.

3.5.4.3 Les lés d'étanchéité seront posés avec ou sans adhérence au support.

Dans le cas de pose avec adhérence au support, les lés d'étanchéité seront enroulés dans une masse adhésive en ne laissant aucun vide. La masse adhésive sera appliquée séparément à l'avance ou parallèlement aux opérations de pose. L'adhérence au support sera vérifiée par des mesures de résistance à l'adhérence par traction et de résistance au pelage, voir annexe C.5.

Dans le cas de pose sans adhérence au support, les lés d'étanchéité seront fixés en ligne ou ponctuellement aux supports verticaux et en surplomb. Ils ne présenteront pas de plis et seront proches du support. Le nombre des éléments de fixation dépendra des particularités de l'ouvrage, en particulier de la nature et de la géométrie du support. Il sera plus élevé à proximité de changements de section, de niches, d'approfondissements et de situations similaires.

Les raccordements de lés d'étanchéité doivent être soudés, en évitant des raccordements croisés. Les exigences relatives aux soudures seront définies selon l'annexe C.5.

La mise en œuvre de la couche d'étanchéité et celle de la couche de protection constituent un tout fonctionnel. Ces opérations ne doivent pas être séparées l'une de l'autre, tant sur le plan technique que sur celui du programme. D'autres travaux ne seront pas tolérés parallèlement. Voir le chiffre 3.5.4.12.

- 3.5.4.4 Les joints de reprise dans les lés d'étanchéité seront temporairement protégés.
- 3.5.4.5 Les éléments de compartimentation seront soudés à la couche d'étanchéité. Les raccords de bandes de compartimentation seront soudés de manière à éviter des cheminements capillaires entre compartiments.
- Des gabarits seront utilisés pour le soudage des raccords de bandes à nervures.
- Les nervures de bandes seront entièrement enrobées de béton. Dans ce but, on utilisera des bandes injectables, la composition et le procédé de mise en place du béton seront choisis de manière adéquate et des dispositifs de purge seront prévus. Dans les travaux souterrains, les points en calotte de revêtements intérieurs en béton et les niches constituent des endroits critiques. Les vides inévitables seront remplis par une émulsion de ciment après la prise du béton. Voir le chiffre 2.2.7.2.
- Les bandes collées servant à la compartimentation seront posées avec adhérence au support (mesures de résistance à l'adhérence par traction et de résistance au pelage). Les fissures et joints traversant les éléments de compartimentation seront localement colmatés.
- 3.5.4.6 À proximité de transitions et de raccordements de bord, on examinera dans quelle mesure les joints et les fissures existantes pourraient conduire à des effets de contournement dans le système d'étanchéité. Il sera tenu compte de chaque cas particulier. Les effets de contournement seront combattus par des synthétiques liquides, des bandes collées ou des colmatages de fissures.
- 3.5.4.7 Le chiffre 3.5.3.6 est également valable durant les travaux pour les effets de compression et de glissement.
- 3.5.4.8 Injections, voir le chapitre 4.
- 3.5.4.9 Transitions, voir le chiffre 2.2.7.5.
- 3.5.4.10 Les étanchéités de joints seront posées de manière à ce que leurs mouvements ne soient pas entravés. Elles seront protégées de manière à éviter tout endommagement, déplacement ou souillure.
- Les bandes d'étanchéité collées posées sur des parapets, des têtes de consoles et autres seront prolongées jusqu'à la face inférieure de la dalle ou de la console.
- 3.5.4.11 Les cheminements capillaires seront évités au droit de raccordements de bord, de relevés ou de retombées et de raccordements aux traversées. Les recouvrements de lés d'étanchéité ne sont pas admis dans les brides de raccordement et dans les traversées.
- 3.5.4.12 La couche d'étanchéité sera contrôlée avant la mise en œuvre de la couche de protection (voir l'annexe D.6.5).
- La mise en œuvre des couches de protection suivra immédiatement celle de la couche d'étanchéité.
- La surface de la couche d'étanchéité sera propre et ne présentera pas de flaques d'eau.
- Les couches de protection seront soigneusement posées, de manière à éviter tout endommagement de la couche d'étanchéité. Elles seront partout en contact étroit avec la couche d'étanchéité, sans vide intermédiaire.
- Dans le cas de couches de protection en mortier de ciment, la couche de protection sera séparée de la couche d'étanchéité par une couche de glissement, sauf en construction souterraine. Les treillis d'armature seront posés dans le plan médian de la couche de protection. Au raccordement à des éléments émergents, un joint continu d'une largeur d'au moins 20 mm sera constitué, dans lequel une masse plastique déformable sera coulée.
- Les raccords des lés ou tapis de protection seront collés ou soudés. Ils seront soustraits par fixation aux déplacements et aux effets des courants d'air.
- 3.5.4.13 Le recouvrement et le remblayage latéral de l'ouvrage se feront par couches successives au moyen de matériaux et d'engins adéquats, voir le chiffre 3.5.3.13.
- 3.5.4.14 Les dispositions prises comme solution de repli, telles que des conduites d'évacuation d'eaux de fuite, seront contrôlées lors de la réception de l'ouvrage.
- Le bon fonctionnement des conduites d'évacuation de fuites sera garanti.

Dans le cadre des mesures prises pour des injections, des raccords pour des injections ultérieures seront placés dans l'ouvrage en nombre suffisant et de manière à rester accessibles en tout temps. Ils seront de nature à permettre des injections répétées au moyen de coulis différents.

3.5.4.15 Des essais seront exécutés selon le chiffre 2.4.5 et selon la norme SN EN 1548.

3.6 Lés d'étanchéité à base d'argile (TDB)

3.6.1 Description du système

Le système d'étanchéité est constitué d'une couche de lé d'étanchéité à base d'argile et des éléments complémentaires décrits ci-après, tels que des raccordements de bord, l'étanchement de joints, des raccordements aux traversées. La couche d'étanchéité en argile est constituée d'un granulat ou d'une pâte de bentonite sodique.

Pour les applications B1.1 et B1.2 selon le chiffre 0.2, tableau 1, on utilise exclusivement des lés d'étanchéité sous forme de feuilles PE de 0,5 mm au minimum (ou similaires).

Pour les applications B3 selon le chiffre 0.2, tableau 1, on utilise des lés d'étanchéité sous forme de feuilles ou des lés géosynthétiques.

L'application des lés d'étanchéité se fait sans adhérence au support. Une surcharge d'au moins 200 kg/m² est nécessaire.

Le système peut être appliqué en présence d'eau sous pression ou non, horizontalement ou verticalement.

Le succès de ce système d'étanchéité dépend largement des conditions de mise en œuvre.

On veillera à éviter tout contact de la couche d'étanchéité en argile avec de l'eau avant et pendant la mise en place (risque de gonflement prématuré) jusqu'à la pose de la couche de protection et de la surcharge minimale. On évitera de même tout contact avec des boues de ciment.

On tiendra compte du concept de physique de la construction en projet.

3.6.2 Spécifications relatives aux matériaux

Les spécifications relatives aux matériaux sont décrites à l'annexe C.6.

3.6.3 Spécifications relatives à la construction

3.6.3.1 Le support doit être préparé. Les mesures à prendre seront planifiées au stade du projet (voir l'annexe B).

On distinguera entre

- une pose avec adhérence au support (étanchéités de joints, éléments de compartimentation, raccordements de bord, terminaisons, raccordements aux traversées)
- la pose d'une couche d'étanchéité sans adhérence au support.

Les exigences relatives à la résistance à l'adhérence par traction, à la rugosité, à la planéité et à l'inclinaison seront prises en considération lors de l'exécution de la sous-construction. Les bases nécessaires seront données dans le projet.

Dans le cas où la sous-construction serait déjà définie ou existante (par exemple lors de travaux de remise en état, de la pose sur des parois moulées, de la pose sur la face de tunnels à ciel ouvert et de travaux similaires), les exigences relatives au support seront remplies par des mesures particulières: élimination des souillures, colmatage des cavités et des pores, mise en place de couches d'égalisation et d'inclinaison.

Le support doit être propre et sec. Voir annexe B.

Les arêtes seront biseautées en triangle 25/25 mm.

Les moulures seront arrondies. Les matériaux utilisés seront de nature à éviter des infiltrations.

3.6.3.2 Le poids à sec de lés d'étanchéité à base d'argile sera d'au moins $4,0 \text{ kg/m}^2$, qu'il s'agisse d'une application avec ou sans pression d'eau, de granulat ou de pâte de bentonite sodique.

L'épaisseur minimale des feuilles supportant une pâte bentonitique sera d'au moins 0,5 mm.

3.6.3.3 Les joints de reprise seront exécutés comme joint plat.

3.6.3.4 Les raccordements de bord, les relevés et les retombées seront exécutés de manière à éviter des contournements. On prévoira par exemple des profils à pince, des bandes collées ou une étanchéité synthétique liquide.

Du fait de la surcharge nécessaire, la couche d'étanchéité sera poussée au plus jusqu'à 0,3 m sous la surface du terrain. La couche d'étanchéité sera remontée d'au moins 120 mm au-dessus du terrain au moyen de bandes collées ou d'une étanchéité synthétique liquide. Le lé d'étanchéité à base d'argile sera fixé mécaniquement au raccordement de bord. La hauteur de 120 mm au-dessus du terrain est aussi valable pour les relevés. Si cette mesure ne peut pas être réalisée, on se référera au chiffre 2.2.7.5, alinéa 2.

3.6.3.5 Une valeur d'orientation de $\leq 1,0 \text{ N/mm}^2$ sera respectée pour la compression maximale.

Les couches d'étanchéité ne sont pas aptes à transmettre des efforts de glissement.

Si les effets de compression dépassent les étroites limites décrites, on utilisera une construction métallique posée dans la couche d'étanchéité, de manière analogue aux bouches de décompression des eaux souterraines.

Le passage de la construction métallique à la couche d'étanchéité doit être assuré de manière permanente. Il sera tenu compte des déformations et des tassements différentiels des éléments de l'ouvrage.

3.6.3.6 Joints, voir également le chiffre 2.4.6.

En cas de mouvements dépassant les valeurs de variation de largeur admissible des fissures données au tableau 11, les joints seront étanchés. Le choix des matériaux adéquats (bandes collées, étanchéité synthétique liquide) dépend de l'importance des mouvements présumés. Les dispositions pratiques tiendront compte des actions en présence.

3.6.3.7 La largeur des fissures dans la construction en béton ne doivent pas dépasser 0,2 mm au moment de la pose de la couche d'étanchéité. Les variations de largeur subséquentes sont dues aux actions, telles que les charges utiles, les effets thermiques, les déformations du terrain de fondation, etc. Ces variations seront déterminées dans le projet.

Tableau 11 Valeurs d'orientation pour les largeurs de fissures et leurs variations

	Sans pression hydrostatique	Avec pression hydrostatique
Largeurs des fissures	$b_R \leq 1,0 \text{ mm}$	$b_R \leq 0,5 \text{ mm}$
Variations de largeur des fissures	$\Delta b_R \leq 0,4 \text{ mm}$	$\Delta b_R \leq 0,2 \text{ mm}$

3.6.3.8 Traversées, voir également le chiffre 2.4.8.

Les traversées seront étanchées au moyen de l'un des deux procédés suivants:

- traversées avec tubes à brides dans le plan de l'étanchéité
- traversées sans tubes à brides. Elles seront raccordées à l'ouvrage en béton au moyen de manchettes d'étanchéité, de bandes collées ou de produits synthétiques liquides, sur lesquels les lés seront fixés mécaniquement.

Les traversées seront placées perpendiculairement au plan de l'étanchéité.

L'espacement séparant une traversée de joint des traversées voisines et d'éléments de construction émergents sera d'au moins 250 mm.

3.6.3.9 Transitions, voir le chiffre 2.2.7.5.

3.6.3.10 Les lés d'étanchéité à base d'argile exigent une surcharge d'au moins 200 kg/m^2 .

- 3.6.3.11 Les feuilles d'étanchéité à base d'argile seront protégées par des couches de protection intercalées entre la surcharge et l'étanchéité. La qualité de ces couches de protection dépend des actions et de l'utilisation ultérieure. Elle sera définie dans le projet. Elles seront constituées par exemple de béton, de mortier, de lés et de tapis de protection, de non-tissés, de plaques d'isolation thermique.
- Des couches de protection à base de ciment sont proscrites du côté humide de l'étanchéité si les dispositifs drainants voisins présentent un potentiel de concrétions. Les conduites de drainage sont particulièrement exposées.
- Les spécifications relatives aux matériaux constituant les couches de protection sont données à l'annexe C.10.
- La norme SIA 273 est applicable aux surfaces carrossables.
- Dans le cas d'effets de glissement, les exigences du chiffre 3.6.3.5 seront prises en considération.
- 3.6.3.12 Le recouvrement et le remblayage latéral de l'ouvrage se feront par couches successives au moyen de matériaux et d'engins adéquats, de manière à éviter tout dommage aux étanchéités de joints, aux couches de protection et de drainage et aux isolations thermiques durant la mise en place et l'utilisation ultérieure.
- 3.6.3.13 Des conduites d'évacuation d'eaux de fuite seront prévues comme solution de repli. Leur entretien peut être facilité par un nombre suffisant de bouches, de regards et de dispositifs similaires en vue de leur nettoyage.
- 3.6.3.14 Des essais seront prévus selon le chiffre 2.4.5 et selon l'annexe C.6.

3.6.4 Exigences relatives à l'exécution

- 3.6.4.1 La mise en place de couches d'étanchéité sans adhérence au support n'aura pas lieu lors de précipitations. La température de l'air, des matériaux et du support sera d'au moins $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- La pose de raccordements de bord avec adhérence au support est régie par le chiffre 3.1 (bandes collées) ou par le chiffre 3.7 (étanchéité synthétique liquide).
- 3.6.4.2 Les exigences relatives au support seront données dans le projet. Voir annexe B.
- Les moulures et les arêtes seront arrondies ou cassées, les balèvres repiquées. Les décrochements seront égalisés. Les nids de gravier seront reprofilés. Les matériaux utilisés seront conformes aux spécifications relatives aux couches d'égalisation données à l'annexe C.10.
- Pour les champs d'application B3, les exigences relatives aux moulures et arêtes seront définies selon les données spécifiques de l'ouvrage.
- Le support fera l'objet d'un contrôle et d'une réception avant la mise en œuvre de la couche d'étanchéité.
- 3.6.4.3 Les lés d'étanchéité à base d'argile seront posés sans adhérence au support. Ils ne présenteront ni vides ni plis et seront en contact étroit avec le support.
- Les raccordements des lés d'étanchéité présenteront un recouvrement d'au moins 100 mm et seront collés pour éviter un gonflement prématuré de la couche d'argile.
- La mise en œuvre de la couche d'étanchéité et celle de la couche de protection constituent un tout fonctionnel. Ces opérations ne doivent pas être séparées l'une de l'autre, tant sur le plan technique que sur celui du programme. D'autres travaux ne seront pas tolérés parallèlement. Voir le chiffre 3.6.4.10.
- 3.6.4.4 Les joints de reprise seront protégés mécaniquement et disposés de manière à empêcher les infiltrations d'eau. On évitera les angles et les capillaires ouverts.
- 3.6.4.5 À proximité de transitions et de raccordements de bord, on examinera dans quelle mesure les joints et les fissures existantes pourraient conduire à des effets de contournement dans le système d'étanchéité. Il sera tenu compte de chaque cas particulier. Les effets de contournement seront combattus par des étanchéités synthétiques liquides, des bandes collées ou des colmatages de fissures. Les risques sont décrits au chiffre 2.4.3.

- 3.6.4.6 Le chiffre 3.6.3.5 est également valable durant les travaux pour les effets de compression et de glissement.
- 3.6.4.7 Transitions, voir le chiffre 2.2.7.5.
- 3.6.4.8 Les étanchéités de joints seront posées de manière à ce que leurs mouvements ne soient pas entravés. Elles seront protégées de manière à éviter tout endommagement, déplacement ou souillure. Les bandes d'étanchéité collées posées sur des parapets, des têtes de consoles et autres seront prolongées jusqu'à la face inférieure de la dalle ou de la console.
- 3.6.4.9 Les cheminements capillaires seront évités au droit de raccordements de bord et de raccordements aux traversées.
- 3.6.4.10 La couche d'étanchéité sera contrôlée avant la mise en œuvre de la couche de protection (voir l'annexe D.6.5).
La pose des couches de protection suivra sans interruption ou au moins le même jour celle de la couche d'étanchéité.
La surface de la couche d'étanchéité sera propre et ne présentera pas de flaques d'eau.
Les couches de protection seront soigneusement posées, de manière à éviter tout endommagement de la couche d'étanchéité. Elles seront partout en contact étroit avec la couche d'étanchéité, sans vide intermédiaire.
Dans le cas de couches de protection en mortier de ciment, la couche de protection sera séparée de la couche d'étanchéité par une couche de glissement. Les treillis d'armature seront posés dans le plan médian de la couche de protection. Au raccordement à des éléments émergents, un joint continu d'une largeur d'au moins 20 mm sera constitué, dans lequel une masse plastique déformable sera coulée.
Les raccords des lés ou tapis de protection seront collés ou soudés. Ils seront soustraits par fixation aux déplacements et aux effets des courants d'air.
- 3.6.4.11 Sur des surfaces horizontales, la surcharge sera mise en place assez tôt, de manière à éviter la stagnation d'eau sur le lé d'étanchéité (venues d'eau, précipitations).
Sur des surfaces verticales et inclinées, la surcharge sera mise en place assez tôt, de manière à éviter la stagnation ou l'écoulement d'eau à proximité du lé d'étanchéité (eaux de fouilles).
- 3.6.4.12 Le recouvrement et le remblayage latéral de l'ouvrage se feront par couches successives au moyen de matériaux et d'engins adéquats, voir le chiffre 3.6.3.11.
- 3.6.4.13 Les dispositions prises comme solution de repli, telles que des conduites d'évacuation d'eaux de fuite, seront contrôlées lors de la réception de l'ouvrage.
- 3.6.4.14 Des essais seront exécutés selon le chiffre 2.4.5 et selon l'annexe C.6.2.

3.7 **Étanchéité synthétique liquide (FLK) (matériaux synthétiques mis en place sous forme liquide)**

3.7.1 **Description du système**

Le système d'étanchéité est constitué d'une couche d'étanchéité synthétique mise en place sous forme liquide et des éléments complémentaires décrits ci-après, tels que des raccordements de bord, l'étanchement de joints, des raccordements aux traversées.

Le système est appliqué avec adhérence au support.

Le système peut être appliqué en présence d'eau sous pression ou non, horizontalement, verticalement et en surplomb. Il trouve également une application horizontale ou verticale face à des eaux superficielles, des eaux d'exploitation et des remontées capillaires.

On tiendra compte du concept de physique de la construction en projet.

3.7.2 **Spécifications relatives aux matériaux**

Les spécifications relatives aux matériaux sont décrites à l'annexe C.7.

3.7.3 **Spécifications relatives à la construction**

3.7.3.1 Le support doit être préparé. Les mesures à prendre seront planifiées au stade du projet (voir l'annexe B).

Les exigences relatives à la résistance à l'adhérence par traction, à la rugosité, à la planéité et à l'inclinaison seront prises en considération lors de l'exécution de la sous-construction. Les bases nécessaires seront données dans le projet.

Dans le cas où la sous-construction serait déjà définie ou existante, par exemple lors de travaux de remise en état, de tunnels à ciel ouvert et de travaux similaires, les exigences relatives au support seront remplies par des mesures particulières: élimination des souillures, colmatage des cavités et des pores, mise en place de couches d'égalisation et d'inclinaison. Les matériaux utilisés seront de nature à éviter des infiltrations.

Le support doit être propre. Voir annexe B.1.

Le support doit être sec. Voir annexe B.1.

Les arêtes seront biseautées en triangle 25/25 mm.

Les moulures seront arrondies au moyen de matériaux qui excluent les infiltrations d'eau.

La pose d'isolations thermiques est décrite au chapitre 6.

3.7.3.2 L'utilisation d'un produit d'accrochage est nécessaire.

3.7.3.3 Les épaisseurs de couches d'étanchéité synthétiques mises en place sous forme liquide seront les suivantes:

- sans pression hydrostatique ≥ 2 mm
- avec pression hydrostatique ≥ 3 mm.

3.7.3.4 Les joints de reprise seront exécutés soit comme joints plats, soit comme joints de retour. La combinaison des deux types de joint dans la même section n'est pas admise.

3.7.3.5 Les raccordements de bord seront constitués d'une étanchéité synthétique liquide ou de bandes collées. La couche d'étanchéité sera remontée d'au moins 120 mm au-dessus du terrain. Le chiffre 2.2.7.5, alinéa 2, est applicable.

3.7.3.6 Une valeur d'orientation de $\leq 2,0$ N/mm² sera respectée pour la compression maximale.

En fonction des propriétés des matériaux, les couches d'étanchéité sont en mesure de reprendre et de transmettre des efforts de glissement. Les vérifications nécessaires seront faites dans le projet.

Les efforts de glissement provoquent des déformations dans le plan de l'étanchéité. On prendra les mesures aptes à éviter des dommages à la couche d'étanchéité.

3.7.3.7 Joints, voir également le chiffre 2.4.6.

En cas de mouvements dépassant les valeurs de variation de largeur admissible des fissures données au tableau 12, les joints seront étanchés. Le choix des matériaux adéquats, par exemple des bandes collées, dépend de l'importance des mouvements présumés. Les dispositions pratiques, telles qu'une construction d'appui face à la pression hydrostatique, tiendront compte des actions en présence.

3.7.3.8 La largeur des fissures et leurs variations dans l'ouvrage et dans la sous-construction ne doivent pas dépasser, dans le plan de l'étanchéité, les valeurs données au tableau 12.

Les variations de largeur sont dues aux actions, telles que les charges utiles, les effets thermiques, les déformations du terrain de fondation, etc. Ces variations seront déterminées dans le projet.

Tableau 12 Valeurs d'orientation pour les largeurs de fissures et leurs variations

	Sans pression hydrostatique	Avec pression hydrostatique
Largeurs des fissures	$b_R \leq 0,3 S$	$b_R \leq 0,2 S$
Variations de largeur des fissures	$\Delta b_R \leq 0,2 S$	$\Delta b_R \leq 0,1 S$

S = épaisseur de la couche d'étanchéité selon le chiffre 3.7.3.3

3.7.3.9 Traversées, voir également le chiffre 2.4.8.

Les traversées seront étanchées au moyen de produits synthétiques liquides.

Les traversées seront placées perpendiculairement au plan de l'étanchéité. L'espacement séparant une traversée de joint des traversées voisines et d'éléments de construction émergents sera d'au moins 250 mm.

3.7.3.10 Transitions, voir le chiffre 2.2.7.5.

3.7.3.11 Les couches d'étanchéité à base de produits synthétiques liquides seront protégées par des couches de protection. La qualité de ces dernières dépend des actions et de l'utilisation ultérieure. Elles seront constituées par exemple de béton, de mortier, de lés et de tapis de protection, de non-tissés, de plaques drainantes, de plaques d'isolation thermique.

Les couches de protection à base de ciment sont proscrites du côté humide de l'étanchéité si un potentiel de concrétions existe aux environs de l'ouvrage (les conduites drainantes). Si de telles couches de protection à base de ciment ne peuvent pas être évitées, comme du fait de l'application de béton projeté dans la construction de tunnels, des mesures seront prises contre les effets des concrétions, par exemple un dimensionnement suffisant de la section des drains, une stabilisation de la dureté de l'eau, un entretien périodique. Voir chapitre 5.

Les spécifications relatives aux matériaux constituant les couches de protection sont données à l'annexe C.10.

Les exigences relatives aux effets de glissement données au chiffre 3.7.3.6 seront prises en considération.

La norme SIA 273 est applicable aux surfaces carrossables.

Les couches de protection en asphalte coulé auront une épaisseur d'au moins 30 mm.

Les couches de protection constituées d'enrobé bitumineux compacté et d'asphalte drainant auront une épaisseur d'au moins 40 mm et un grain maximal de Ø 11 mm. Les épaisseurs et les types de revêtement seront choisis de manière à assurer la stabilité du système et à éviter tout dommage aux couches d'étanchéité, aussi bien lors de la mise en œuvre que durant l'utilisation ultérieure.

3.7.3.12 Le recouvrement et le remblayage latéral de l'ouvrage se feront par couches successives au moyen de matériaux et d'engins adéquats, de manière à éviter tout dommage aux étanchéités de joints, aux couches de protection et de drainage et aux isolations thermiques durant la mise en place et l'utilisation ultérieure.

3.7.3.13 Des conduites d'évacuation d'eaux de fuite seront prévues comme solution de repli. Leur entretien peut être facilité par un nombre suffisant de bouches, de regards et de dispositifs similaires en vue de leur nettoyage.

3.7.3.14 Des essais seront prévus selon le chiffre 2.4.5 et selon l'annexe C.7.

3.7.4 **Exigences relatives à l'exécution**

3.7.4.1 La mise en place de la couche d'étanchéité n'aura pas lieu lors de précipitations. La température de l'air, des matériaux et du support sera d'au moins 8 °C et d'au moins 3 °C supérieure à la température du point de rosée. Ces conditions doivent régner durant tout le temps de mise en œuvre.

Dans le cas de chutes de température, la mise en place se fera obligatoirement à la main.

- 3.7.4.2 Les exigences relatives au support seront données dans le projet. Voir annexe B.
Les moulures et les arêtes seront arrondies ou cassées, les balèvres repiquées. Les décrochements seront égalisés. Les nids de gravier seront reprofilés. Les matériaux utilisés seront conformes aux spécifications relatives aux couches d'égalisation données à l'annexe C.10.
- 3.7.4.3 Le produit d'accrochage fera l'objet, avant la mise en œuvre de la couche d'étanchéité, d'un contrôle et d'une réception relatifs à l'absence de pores et à l'adhérence au support.
- 3.7.4.4 La couche d'étanchéité sera posée manuellement à la spatule ou machinalement par projection. L'épaisseur de la couche sera contrôlée régulièrement au cours de la pose. Si l'épaisseur minimale selon les valeurs données au chiffre 3.7.3.3 n'est pas atteinte, une couche supplémentaire sera nécessaire. Le traitement préalable du support sera répété.
La mise en œuvre de la couche d'étanchéité et celle de la couche de protection constituent un tout fonctionnel. Ces opérations ne doivent pas être séparées l'une de l'autre, tant sur le plan technique que sur celui du programme. D'autres travaux ne seront pas tolérés parallèlement. Voir le chiffre 3.7.4.11.
- 3.7.4.5 Si la poursuite des travaux après une interruption ne peut pas avoir lieu dans les délais définis par le fabricant du produit, un joint de reprise est nécessaire. Un recouvrement d'au moins 100 mm sera prévu. Dans le cas d'étanchéités multicouches, cette largeur de recouvrement sera valable pour chaque couche. Les joints de reprise seront rectilignes. La couche d'étanchéité sera protégée temporairement dans la zone de recouvrement.
- 3.7.4.6 À proximité de transitions et de raccordements de bord, on examinera dans quelle mesure les joints et les fissures existantes pourraient conduire à des effets de contournement dans le système d'étanchéité. Il sera tenu compte de chaque cas particulier. Les effets de contournement seront combattus par des synthétiques liquides, des bandes collées ou des colmatages de fissures. Les risques sont décrits sous chiffre 2.4.3.
- 3.7.4.7 Les exigences relatives aux effets de compression et de glissement selon le chiffre 3.7.3.6 sont également valables en phase d'exécution.
- 3.7.4.8 Joints, voir également le chiffre 2.4.6.
Les étanchéités de joints seront posées de manière à ce que leurs mouvements ne soient pas entravés. Elles seront protégées de manière à éviter tout endommagement, déplacement ou souillure.
Les bandes d'étanchéité collées posées sur des parapets, des têtes de consoles et autres seront prolongées jusqu'à la face inférieure de la dalle ou de la console.
- 3.7.4.9 Les cheminements capillaires seront évités au droit de raccordements de bord et de raccordements aux traversées.
- 3.7.4.10 Traversées, voir le chiffre 2.2.7.5.
- 3.7.4.11 La couche d'étanchéité sera contrôlée avant la mise en œuvre de la couche de protection (voir l'annexe D.6.5).
La mise en œuvre des couches de protection suivra immédiatement celle de la couche d'étanchéité.
La surface de la couche d'étanchéité sera propre et ne présentera pas de flaques d'eau.
Les couches de protection seront soigneusement posées, de manière à éviter tout endommagement de la couche d'étanchéité. Elles seront partout en contact étroit avec la couche d'étanchéité, sans vide intermédiaire.
Couches de protection en asphalte coulé, en enrobé bitumineux compacté et en asphalte drainant:
– la couche de protection sera mise en œuvre à la machine ou manuellement selon la norme SN 640 430 pour l'enrobé et l'asphalte drainant, et selon la norme SN 640 440b pour l'asphalte coulé.
– au raccordement à des éléments émergents, un joint continu d'une largeur d'au moins 20 mm sera constitué, dans lequel une masse plastique déformable sera coulée.

Lés ou tapis de protection:

- les raccords seront collés ou soudés.
- ils seront soustraits par fixation aux déplacements ou aux effets des courants d'air.

- 3.7.4.12 Le recouvrement et le remblayage latéral de l'ouvrage se feront par couches successives au moyen de matériaux et d'engins adéquats, voir le chiffre 3.7.3.12.
- 3.7.4.13 Les dispositions prises comme solution de repli, telles que des conduites d'évacuation d'eaux de fuite, seront contrôlées lors de la réception de l'ouvrage.
- 3.7.4.14 Des essais seront prévus selon le chiffre 2.4.5 et selon l'annexe C.7.3.

3.8 Étanchéités à base de polymère de bitume modifié, revêtements épais (KMB)

3.8.1 Description du système

Le système d'étanchéité est constitué de la couche de bitume polymère et des éléments complémentaires décrits ci-après, tels que des raccordements de bord, l'étanchement de joints, des raccordements aux traversées.

Le système est utilisé avec adhérence au support.

Le système peut être appliqué face à des venues d'eau sans pression issues du sol et face à des eaux superficielles et des eaux d'exploitation.

On tiendra compte du concept de physique de la construction en projet.

3.8.2 Spécifications relatives aux matériaux

Les spécifications relatives aux matériaux sont décrites à l'annexe C.8.

3.8.3 Spécifications relatives à la construction

- 3.8.3.1 Le support doit être préparé. Les mesures à prendre seront planifiées au stade du projet (voir l'annexe B).

Les exigences relatives à la résistance à l'adhérence superficielle par traction, à la rugosité, à la planéité et à l'inclinaison seront prises en considération lors de l'exécution de la sous-construction. Les bases nécessaires seront données dans le projet.

Dans le cas où la sous-construction serait déjà définie ou existante, par exemple lors de travaux de remise en état et de travaux similaires, les exigences relatives au support seront remplies par des mesures particulières: élimination des souillures, colmatage des cavités et des pores, mise en place de couches d'égalisation et d'inclinaison.

Le support doit être propre et sec. Voir annexe B.

Les arêtes seront biseautées en triangle 25/25 mm.

Les moulures seront arrondies au moyen de matériaux qui excluent les infiltrations d'eau.

La pose d'isolations thermiques est décrite au chapitre 6.

- 3.8.3.2 L'utilisation d'un produit d'accrochage n'est pas nécessaire.

- 3.8.3.3 L'épaisseur des couches d'étanchéité sera d'au moins 3 mm à l'état sec.

- 3.8.3.4 Les raccordements de bord seront constitués de bandes collées.

La couche d'étanchéité sera remontée d'au moins 120 mm au-dessus du terrain. Cette hauteur est aussi valable pour des relevés de l'étanchéité. Si cette condition ne peut pas être respectée, les eaux seront évacuées, par exemple grâce à une pente plus forte, à des rigoles de drainage, à des coffres de gravier filtrant. Voir la norme SIA 271, chiffre 2.6.1 et chiffre 5.2.

3.8.3.5 Une valeur d'orientation de $\leq 0,05 \text{ N/mm}^2$ est valable pour la compression maximale. La couche d'étanchéité ne présente pas de résistance au glissement.

3.8.3.6 Joints, voir également le chiffre 2.4.6.

En cas de mouvements dépassant les valeurs de variation de largeur admissible des fissures données au chiffre 3.8.3.7, les joints seront étanchés. Le choix des matériaux adéquats, par exemple des bandes collées, des produits synthétiques liquides, dépend de l'importance des mouvements présumés. Les dispositions pratiques, telles qu'une construction d'appui face à la pression hydrostatique, tiendront compte des actions en présence.

3.8.3.7 La largeur des fissures et leurs variations dans l'ouvrage et dans la sous-construction ne doivent pas dépasser, dans le plan de l'étanchéité et perpendiculairement à ce dernier, les valeurs données ci-après.

Les variations de largeur présumées sont dues aux actions, telles que les charges utiles et les effets thermiques. Ces variations seront déterminées dans le projet.

Valeurs d'orientation pour les largeurs de fissures et leurs variations, sans pression hydrostatique:

Largeurs des fissures $b_R \leq 0,6 \text{ mm}$

Variations de largeur des fissures $\Delta b_R \leq 0,3 \text{ mm}$

3.8.3.8 Traversées, voir également le chiffre 2.4.8.

Les traversées seront étanchées au moyen de produits synthétiques liquides ou de bandes collées.

Les traversées seront placées perpendiculairement au plan de l'étanchéité. L'espacement séparant une traversée de joint des traversées voisines et d'éléments de construction émergents sera d'au moins 250 mm.

3.8.3.9 Transitions, voir le chiffre 2.2.7.5.

3.8.3.10 Les couches d'étanchéité constituées d'une masse de bitume polymère seront protégées par des couches de protection. La qualité de ces dernières dépend des actions et de l'utilisation ultérieure. Elles seront constituées par exemple de plaques drainantes ou de plaques d'isolation thermique.

Dans le cadre du concept de captage et d'évacuation des eaux, les couches de protection à base de ciment sont proscrites du côté humide de l'étanchéité (risque de concrétions dans les conduites drainantes).

Les spécifications relatives aux matériaux constituant les couches de protection sont données à l'annexe C.10.

3.8.3.11 Le recouvrement et le remblayage latéral de l'ouvrage se feront par couches successives au moyen de matériaux et d'engins adéquats, de manière à éviter tout dommage aux étanchéités de joints, aux couches de protection et de drainage et aux isolations thermiques durant la mise en place et l'utilisation ultérieure.

3.8.3.12 Des essais seront prévus selon le chiffre 2.4.5 et selon l'annexe C.8.

3.8.4 Exigences relatives à l'exécution

3.8.4.1 La mise en place de la couche d'étanchéité n'aura pas lieu lors de précipitations. La température de l'air, des matériaux et du support sera d'au moins 5 °C et d'au moins 3 °C supérieure à la température du point de rosée. Ces conditions doivent régner durant tout le temps de mise en œuvre.

3.8.4.2 Les exigences relatives au support seront données dans le projet. Voir annexe B.

Les moulures et les arêtes seront arrondies ou cassées, les balèvres repiquées. Les décrochements seront égalisés. Les nids de gravier seront reprofilés. Les matériaux utilisés seront conformes aux spécifications relatives aux couches d'égalisation données à l'annexe C.10.

- 3.8.4.3 La couche d'étanchéité sera posée manuellement à la spatule ou machinalement par projection. L'épaisseur de la couche sera contrôlée régulièrement au cours de la pose. Si l'épaisseur minimale selon les valeurs données au chiffre 3.8.3.3 n'est pas atteinte, une couche supplémentaire de bitume polymère sera nécessaire.
- Les interruptions de travail seront traitées selon les directives du fabricant des produits.
- La mise en œuvre de la couche d'étanchéité et celle de la couche de protection constituent un tout fonctionnel. Ces opérations ne doivent pas être séparées l'une de l'autre, tant sur le plan technique que sur celui du programme. D'autres travaux ne seront pas tolérés parallèlement.
- 3.8.4.4 À proximité de transitions et de raccordements de bord, on examinera dans quelle mesure les joints et les fissures existantes pourraient conduire à des effets de contournement dans le système d'étanchéité. Il sera tenu compte de chaque cas particulier. Les effets de contournement seront combattus par des étanchéités synthétiques liquides, des bandes collées ou des colmatages de fissures. Les risques sont décrits au chiffre 2.4.3.
- 3.8.4.5 Les exigences selon chiffre 3.8.3.5 sont également valables pour les étapes intermédiaires de construction.
- 3.8.4.6 Joints, voir également le chiffre 2.4.6.
- Les étanchéités de joints seront posées de manière à ce que leurs mouvements ne soient pas entravés. Elles seront protégées de manière à éviter tout endommagement, déplacement ou souillure.
- Les bandes d'étanchéité collées posées sur des parapets, des têtes de consoles et autres seront prolongées jusqu'à la face inférieure de la dalle ou de la console.
- 3.8.4.7 Les cheminements capillaires seront évités au droit de raccordements de bord et de raccordements aux traversées.
- 3.8.4.8 Transitions, voir le chiffre 2.2.7.5.
- 3.8.4.9 La couche d'étanchéité sera contrôlée avant la mise en œuvre de la couche de protection (voir l'annexe D.6.5).
- Les couches de protection ne seront posées qu'après un séchage suffisant de la couche d'étanchéité.
- La surface de la couche d'étanchéité sera propre et ne présentera pas de flaques d'eau.
- Les couches de protection seront soigneusement posées, de manière à éviter tout endommagement de la couche d'étanchéité. Elles seront partout en contact étroit avec la couche d'étanchéité, sans vide intermédiaire.
- Les plaques drainantes et les plaques d'isolation thermique seront en contact étroit avec la couche d'étanchéité.
- 3.8.4.10 Le recouvrement et le remblayage latéral de l'ouvrage se feront par couches successives au moyen de matériaux et d'engins adéquats, voir le chiffre 3.8.3.11.
- 3.8.4.11 Des essais seront exécutés selon le chiffre 2.4.5 et selon l'annexe C.8.2.

4 INJECTIONS

4.1 Généralités

- 4.1.1 Ce chapitre traite des injections d'étanchement destinées à prévenir et à supprimer les venues d'eau et les fuites d'eau dans les ouvrages.
- 4.1.2 Ne sont pas traités: les injections de consolidation de fissures et de vides au moyen de coulis aptes à transmettre des efforts, les injections d'armatures de précontrainte, la consolidation du terrain de fondation et le colmatage de vides dans la maçonnerie.
- 4.1.3 Les injections d'étanchement trouvent leur application dans les cas suivants:
- injections dans les fissures, les joints de reprise, les traversées et les cavités d'ouvrages en béton
 - injections dans les flexibles ou les canaux posés dans les joints de reprise et les joints de fissuration programmée d'ouvrages en béton
 - injections dans les compartiments et dans les bandes de compartimentation d'un système d'étanchéité utilisant des lés en matière synthétique. Il peut s'agir de vides entre le support et l'étanchéité sans liaison avec ce dernier ou de canaux faisant partie intégrante des bandes de compartimentation
 - injections à l'extérieur de l'ouvrage, telles qu'un voile d'injection ou des gélifications
 - injections de l'espace annulaire derrière les voussoirs de revêtements simple coque.

La planification et l'exécution d'injections doivent avoir lieu systématiquement.

4.2 Spécifications relatives aux matériaux

4.2.1 Une description des produits d'injection est donnée à l'annexe C.9.

4.2.2 Les matériaux suivants entrent dans leur composition:

Produit rigide: pâte de ciment (Zementleim ZL), suspension de ciment (Zementsuspension ZS), mousse de polyuréthane (Polyurethan-Schaum PUR-S). ZL est caractérisé par la finesse de mouture, ZS par la valeur D-95 et PUR-S par la résistance à la déformation.

Produit flexible: résine au polyuréthane (Polyurethanharz PUR), résines epoxy flexibilisées (flexibilisierte Epoxidharze EP-P), acrylates (Acrylate AY). Ces matériaux trouvent leur emploi dans les joints de reprise et les fissures à largeur peu variable, voir le tableau 13 qui suit.

Tableau 13 Vue d'ensemble des produits d'injection et de leur domaine d'application

		Applications selon le chiffre 4.1.3				
		Fissures, joints de reprise et cavités	Tubes et canaux d'injection	compartiments, bandes de compartimentation	Terrain	Espace annulaire des voussoirs
Produits rigides	ZL, ZS	X ^{1,2}	X ^{1,2}	X ^{1,2}	X	X
	PUR-S	X ²			X ²	
Produits flexibles	PUR	X ³	X ³		X	X
	EP-P	X ³				
	AY	X ³	X ³	X	X	X

¹ pour le colmatage de cavités dans les constructions en béton

² pour l'étanchement préalable dans les constructions en béton

³ valeur d'orientation pour les variations maximales de la largeur des fissures: Δb_R : 15% de la largeur de la fissure

Le choix des matériaux se fera en tenant compte des effets réciproques entre produits d'injection et construction, par exemple le risque de concrétions et de dépôts calcaires dans les drainages en cas d'emploi de produits à base de ciment.

Dans le cas d'injections à base d'acrylates, on vérifiera que le produit n'agit pas de manière corrosive sur les armatures en acier.

4.3 Spécifications relatives à l'exécution

4.3.1 Méthode d'injection

La méthode d'injection dépend du type de construction, de son utilisation et du produit d'injection. L'ouvrage et ses éléments ne seront pas endommagés. Ils ne présenteront ni écaillages superficiels, ni dégâts aux couches et aux conduites de drainage, etc.

Dans le cas du colmatage de cavités, des événements seront prévus pour permettre à l'air de s'échapper entièrement. Les événements servent simultanément de contrôle de bonne exécution.

Les points d'injection, l'évolution des pressions et des volumes d'injection feront l'objet d'un contrôle et de l'établissement de rapports en fonction des conditions spécifiques de l'ouvrage.

4.3.2 Injections dans les fissures et les joints de reprise d'ouvrages en béton

L'injection a lieu au moyen d'un obturateur placé dans un forage ou appliqué superficiellement par adhésion. La pression doit être contrôlée.

Le produit d'injection choisi et les conditions locales impliquent éventuellement l'exécution de travaux préliminaires, par exemple un étanchement préalable, un drainage, des confinements, des assèchements.

4.3.3 Injections dans les joints de reprise et les joints de fissuration programmée

Injections dans les joints de reprise et les joints de fissuration programmée d'ouvrages en béton, équipés préalablement de dispositifs d'injection planifiés.

L'injection a lieu directement par les dispositifs prévus. La pression doit être contrôlée.

Les dispositifs d'injection, les produits d'injection et le déroulement des injections seront choisis et ordonnés de manière à ce que tous les joints puissent être colmatés systématiquement.

Le produit d'injection choisi et les conditions locales impliquent éventuellement l'exécution de travaux préliminaires, par exemple un étanchement préalable, un drainage, des confinements, des assèchements.

4.3.4 Injections dans les compartiments et dans les bandes de compartimentation correspondantes

L'injection des compartiments et des bandes de compartimentation a lieu par les tubes et les raccords mis en place préalablement.

Les tubes et les raccords d'injection ainsi que les produits d'injection seront choisis et ordonnés de manière à ce que tous les compartiments puissent être colmatés systématiquement.

Le produit d'injection choisi et les conditions locales impliquent éventuellement l'exécution de travaux préliminaires, par exemple un étanchement préalable, un drainage, des confinements, des assèchements.

4.3.5 Injections à l'extérieur de l'ouvrage

Les injections dans le terrain ont lieu par des forages traversant l'ouvrage et disposés selon un plan bien défini (voile d'injection, gélification).

4.3.6 Injections de l'espace annulaire derrière les voussoirs

Les dispositions de la norme SIA 198 sont applicables.

5 DRAINAGES

5.1 Généralités

5.1.1 Dispositif de drainage d'un ouvrage

Les installations de drainage d'un ouvrage se composent des éléments nécessaires au captage et à l'évacuation

- des eaux souterraines
- des eaux superficielles
- des eaux et autres fluides d'exploitation.

5.1.2 Eaux souterraines et superficielles

5.1.2.1 Les drainages font partie du concept d'évacuation des eaux (voir le chiffre 2.3.2). Les exigences relatives aux éléments de construction, aux détails d'exécution et aux contraintes d'utilisation, telles que les méthodes et les cadences de nettoyage, les difficultés d'entretien, l'élimination de concrétions, seront coordonnées entre elles de manière à assurer un fonctionnement durable des drainages.

5.1.2.2 Des indications au sujet des quantités d'eau et de l'eau comme porteuse de matières, liquides ou non, susceptibles d'attaquer les matériaux de construction, sont données au chiffre 2.1. Les effets de mesures auxiliaires, telles que des injections, seront pris en considération en tenant compte des conditions particulières de l'ouvrage.

5.1.3 Eaux et autres fluides d'exploitation

Les normes ci-après sont applicables aux eaux d'exploitation, telles que des eaux polluées, des eaux d'extinction d'incendie, de l'eau introduite par des véhicules. L'évacuation des eaux des biens-fonds est traitée par la norme SN 592 000, l'évacuation des eaux de chaussées par la norme SN 640 340 et les canalisations par la norme SIA 190.

5.1.4 Une installation de drainage peut comprendre les éléments suivants:

- drainages de surface appliqués sur des parois, des voûtes, sous des semelles et des fondations
- drainages ponctuels pour le captage et l'évacuation de venues d'eau
- coffres de gravier filtrant
- tuyauteries, caniveaux ouverts et fermés
- regards de contrôle et de nettoyage, raccords de purge.

5.2 Spécifications relatives aux matériaux

5.2.1 Les spécifications relatives aux matériaux sont données à l'annexe C.11 pour les éléments de construction cités au chiffre 5.1.4.

5.2.2 Les matériaux utilisés pour le système de drainage et pour le système d'évacuation seront mutuellement compatibles. On évitera tout endommagement des couches d'étanchéité à la suite de compression exercée par des éléments de drainage, tels que des membranes alvéolées, des coffres et des couches de gravier filtrant. On veillera de même à éviter les dégâts dus au fait que des éléments de construction et des matériaux sont incompatibles entre eux.

5.2.3 Les exigences à respecter lors de la mise en œuvre et durant la période d'utilisation sont de diverses natures. On tiendra compte de la combinaison d'actions au moment de la mise en œuvre, par exemple pression du béton frais, chaleur d'hydratation, puis durant la période d'utilisation, par exemple poussée des terres, poussée du massif, poussée de gonflement, poussée hydrostatique.

- 5.2.4 La résistance au fluage d'éléments en matière synthétique diminue sous l'effet des charges permanentes et des actions thermiques. Dans les travaux souterrains, on utilisera des tuyaux à parois pleines (pas de tuyaux composites), aptes à satisfaire aux exigences élevées du nettoyage, et pour tenir compte du fait qu'ils ne peuvent pas être remplacés durant l'exploitation.
- 5.2.5 Le tableau qui suit énumère les matériaux couramment utilisés pour les différents éléments du dispositif de drainage.

Tableau 14 Matériaux couramment utilisés pour les éléments de drainage

Matériau Élément de drainage	Matières synthétiques ¹				Acier	Béton	Béton poly- mère	Grès	Gra- vier, ébou- lis ²
	PVC	PE	PP	GUP ⁸					
Drainage de surface		X ⁷	X ⁷			X ³			X
Drainage ponctuel ⁴	X	X	X			X			
Coffre drainant									X
Tuyaux, caniveaux ⁵	X	X	X	X ⁶	X	X	X	X	
Regards		X			X	X	X		

¹ énumération incomplète

² faible teneur en calcaire, liant en résine synthétique au lieu de ciment

³ briques filtrantes par exemple

⁴ caniveaux, grilles, bandes de drainage, membranes alvéolées

⁵ par exemple: conduites de drainage, conduites et caniveaux d'évacuation

⁶ dans le cas de tuyaux en GUP, on veillera à ce qu'il n'y ait aucun contact entre des eaux de massif alcalines et les fibres de verre. Cela est également valable pour la tranche de coupe de raccords et pour les ouvertures d'entrée. Les exigences de stabilité de longue durée seront fixées selon les particularités de l'ouvrage, aussi bien pour les tuyaux que pour les composantes fibres de verre et liant.

⁷ membranes alvéolées, canevas

⁸ GUP = résines polyester non saturées, armées de fibres de verre

5.2.6 **Éléments de drainage à base de ciment**

On évitera les couches de drainage et les coffres de drainage à base de ciment, qui favorise les concrétions.

5.3 **Spécifications relatives à la construction**

5.3.1 **Généralités**

5.3.1.1 Les éléments du système de drainage seront aptes à résister aux actions et faciles à entretenir. Le système et les sections de drainage seront définis et dimensionnés dans le projet. La norme SN EN 1295-1 et la directive VKR RL 03 seront appliquées par analogie. Les actions et leurs combinaisons sont décrites dans les chiffres suivants. Les conduites seront dimensionnées aussi bien dans le plan perpendiculaire à l'axe que dans le plan longitudinal.

5.3.1.2 Les valeurs des facteurs de sécurité relatifs aux éléments du système de drainage et au calcul statique des conduites seront définies en tenant compte des combinaisons possibles.

Dans le cas de conduites et d'éléments de drainage en matière synthétique, le facteur de sécurité (résistance aux actions de courte et de longue durée) sera admis égal ou supérieur à 2.0 (voir annexe C.11).

5.3.2 **Captage de l'eau**

5.3.2.1 L'eau sera captée par des drainages de surface, des drainages ponctuels, des coffres de gravier.

5.3.2.2 Le vide d'entrée du drainage, constitué de bandes ou de tapis drainants, d'éboulis drainant, de coffres de gravier, de plaques drainantes, de captages isolés, doit être en mesure de capter de façon permanente les eaux du terrain et de les évacuer sans mise en pression. Le dimensionnement tiendra compte

- des actions du terrain (déformations) et des actions de l'ouvrage (surcharge, effets thermiques)
- des actions de l'eau, par exemple la quantité d'eau, le genre et la teneur des matières contenues dans l'eau
- des actions apparaissant pendant les travaux, par exemple le remblayage, l'envasement
- des actions apparaissant en exploitation, par exemple la chaleur, le gel, les concrétions.

5.3.2.3 Les éléments de drainage et leurs détails d'exécution, tels que les épaisseurs de couche et le diamètre des drains, seront prévus de manière à résister aux actions présumées et à fonctionner durablement. On tiendra compte des points suivants:

- pour l'introduction directe des eaux souterraines ou des eaux de massif dans le drainage, on prévoira des vides de contact entre le terrain et les éléments de drainage, par exemple des entailles, des forages, des zones libres de béton projeté dans les soutènements d'excavations et de fouilles, des captages isolés.
- les éléments de drainage de parois, de voûtes, de semelles et de fondations sont inaccessibles après l'achèvement des travaux et ne peuvent pas être nettoyés. Leur dimensionnement aura lieu en conséquence.
- les actions du terrain et les effets des travaux, tels que des déformations du terrain de fondation, des concrétions, des envasements, des saletés peuvent provoquer une réduction de la surface d'admission et de la section d'écoulement, pouvant aller jusqu'à rendre le drainage inopérant.
- on prendra durant les travaux des mesures de protection, comme de recouvrir temporairement certaines zones et d'en isoler le pour tour.

5.3.2.4 Les caractéristiques des éléments de drainage et des conduites drainantes seront coordonnées entre elles. Seront pris en considération:

- le rapport entre la section d'écoulement des éléments de drainage et celle des orifices d'entrée
- le rapport entre la granulométrie de la couche de drainage et les dimensions des orifices d'entrée (largeur de fentes, diamètre de trous).

5.3.2.5 Une mise en charge locale derrière des enceintes de fouilles peut être combattue par des forages, des saignées ou autres espaces de drainage (décompression temporaire). En cas de décompression permanente, on veillera à ce que les dispositifs choisis puissent être entretenus, donc rester accessibles au nettoyage, ou l'on prévoira une cavité de drainage de dimensions suffisantes (voir chiffre 5.3.2.3).

5.3.3 **Évacuation de l'eau**

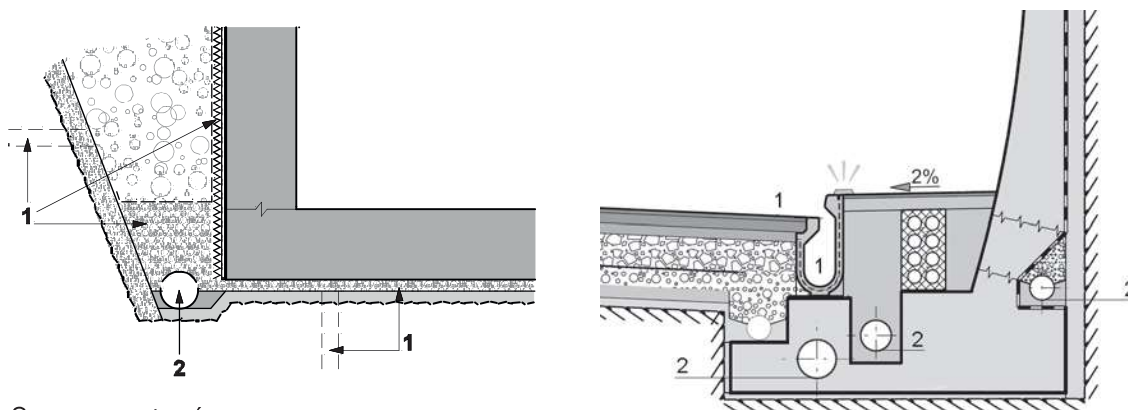
5.3.3.1 L'eau sera évacuée par des conduites, des caniveaux ouverts ou fermés.

5.3.3.2 Les éléments de construction et leurs détails d'exécution, tels que diamètres, épaisseurs de parois et sections d'entrée des conduites, seront prévus de manière à ce que le système de drainage fonctionne durablement dans les conditions définies par les actions présumées. On tiendra compte des points suivants:

- évacuation des quantités d'eau présumées sans mise en charge
- actions de l'eau et des matières qu'elle contient, par exemple action thermique, gel, vieillissement des éléments de construction, cas particulier: voilement de tubes
- actions du terrain, par exemple pression de gonflement, surcharge
- actions de charges dues au trafic, par exemple trafic de chantier, trafic d'exploitation
- actions accompagnant la mise en œuvre, par exemple pression du béton frais, chaleur d'hydratation, compactage du terrain
- les raccords de tubes ne présenteront ni renflements, ni entailles, ni décalages
- actions accompagnant les travaux de nettoyage, par exemple appareil et pression de purge
- actions dues à des sinistres, incendie par exemple.

- 5.3.3.3 Le système de drainage sera planifié et exécuté de manière à ce qu'il puisse être entretenu et qu'il fonctionne sur toute la durée d'utilisation. On tiendra compte des points suivants:
- les conduites et les caniveaux seront munis de regards et d'ouvertures de contrôle de dimensions suffisantes (voir le chiffre 5.3.3.4). Ils seront placés aux changements de direction, aux embranchements, aux ruptures de pente et aux passages d'une section d'écoulement à une autre. Les intervalles séparant les regards et les ouvertures seront fixés selon les particularités de l'ouvrage, mais ne dépasseront pas 80 m.
 - la pente des conduites et des caniveaux sera d'au moins 0,5%. Les écarts tolérables, par exemple à la suite de tassements et de soulèvements, seront déterminés dans le projet.
 - toutes les parties du dispositif doivent pouvoir être contrôlées.
 - les travaux d'entretien et de remise en état seront possibles à peu de frais et sans contraintes notables pour l'exploitation.
 - les éléments exposés à l'usure (par exemple les couvercles, les clapets, les siphons) pourront être remplacés sans intervention sur la construction.
- 5.3.3.4 Le système de drainage permettra le recours à des moyens de nettoyage mécaniques tels que des appareils de purge. On tiendra compte des points suivants:
- les regards de contrôle et de nettoyage auront un diamètre minimal de 600 mm et, s'ils sont plus profonds que 2,0 m, un diamètre minimal de 800 mm.
 - les conduites de drainage et d'évacuation auront un diamètre minimal de 200 mm.
 - l'intrados des conduites sera lisse.
 - le tracé des conduites sera rectiligne.
- 5.3.3.5 Les entrées de conduites de drainage et de caniveaux ouverts sont susceptibles de se boucher par concrétion, par envasement, par encrassement. Ces effets feront l'objet d'une appréciation dans le projet. La section d'entrée sera d'au moins 150 cm² par mètre linéaire de conduite de drainage, la largeur des fentes sera d'au moins 8 mm, le diamètre des trous d'au moins 16 mm.
- 5.3.3.6 Les entrées de conduites de drainage ne seront pas recouvertes d'éléments susceptibles de réduire la perméabilité et de favoriser la formation de bouchons ou de concrétions.
- 5.3.3.7 Un non-tissé de drainage sera prévu entre le coffre de gravier drainant et les matériaux de remblayage, conformément aux spécifications de l'annexe C.11.

Figure 6 Exemples de dispositifs de drainage



Ouvrages enterrés

Légende 1 Zone de captage de l'eau
 2 Zone d'évacuation de l'eau

- 5.3.3.8 Des mesures de protection adéquates seront prises si des gaz dangereux sont susceptibles de pénétrer dans le dispositif de drainage.

5.3.4 Introduction de l'eau dans les collecteurs et l'exutoire

La décision sur la nécessité ou la manière d'introduire l'eau dans des collecteurs et dans un exutoire sera prise de cas en cas (dispositifs complémentaires).

5.4 Concrétions dans les dispositifs de drainage

5.4.1 Effets des concrétions

Des dépôts solides (concrétions) entravent le fonctionnement du dispositif de drainage. Il s'ensuit une mise en charge de l'eau autour de l'ouvrage et l'apparition de venues d'eau à l'intérieur de l'ouvrage. Il est aussi possible qu'une poussée d'Archimède s'établisse, avec des conséquences imprévisibles: dommages à l'ouvrage et coûteux travaux de remise en état.

5.4.2 Origine des concrétions

5.4.2.1 Les conditions de formation de concrétions (dépôts solides) sont remplies

- si le genre et la quantité de substances, liquides ou non, présentes dans l'eau sont favorables aux concrétions
- si des variations de pression, de chaleur, de pH et de teneur en acide carbonique des eaux souterraines ou de massif ont lieu avant ou lors de l'entrée dans le dispositif de drainage
- si les eaux souterraines ou de massif subissent des modifications au contact avec des parties de l'ouvrage, comme une enceinte de fouilles, des injections, des liants hydrauliques.

5.4.2.2 L'équilibre acide carbonique–chaux des eaux souterraines et de massif est susceptible de se modifier durant l'écoulement vers l'ouvrage (travaux souterrains) ou lors de l'entrée dans le dispositif de drainage. L'acide carbonique dissous dans l'eau est susceptible de précipiter au contact de l'air (équibrage de pression du CO₂), permettant la formation de concrétions et de dépôts solides.

5.4.2.3 Le potentiel de concrétions peut être quantifié – par secteur de construction – en partant de la quantité d'eau, des substances liquides ou non qu'elle contient et de sa température. Au contact avec des éléments de construction, la teneur des substances contenues dans l'eau peut se modifier. Les résultats de cette appréciation constituent l'une des bases du dimensionnement du dispositif de drainage et des espaces à réserver au drainage et aux concrétions.

Les concrétions occasionnent un surplus de nettoyage et d'entretien et sont susceptibles d'entraîner ainsi une plus grande usure du dispositif de drainage.

5.4.3 Moyens de limiter et d'empêcher les concrétions

5.4.3.1 Une limitation de l'effet des concrétions et le bon fonctionnement du dispositif de drainage peuvent être obtenus en donnant des dimensions suffisantes aux espaces réservés au drainage et aux concrétions dans les drainages de surface, dans les drainages ponctuels et dans les coffres de gravier.

5.4.3.2 En mettant l'eau en charge dans les conduites de manière adéquate (siphons), il est possible de couper l'afflux d'air extérieur et de réduire la vitesse d'écoulement dans la conduite. La hauteur de mise en charge souhaitable est de $\geq 0,3$ m en dessus du point haut de la conduite. L'eau accumulée exerce une pression hydrostatique sur les éléments de construction voisins et le contact avec des éléments à base de ciment est susceptible de favoriser la formation de concrétions. L'installation de siphons ne se justifie que jusqu'à une pression hydrostatique de 0,3 MPa.

5.4.3.3 L'adjonction d'un stabilisateur de la dureté de l'eau influence le phénomène de cristallisation de la chaux lors de la précipitation. Une grande partie des cristaux de chaux en formation restent en suspension et sont évacués avec l'eau.

5.4.3.4 En présence de faibles débits d'eau combinés avec un potentiel élevé de concrétions, les conduites de drainage et d'évacuation seront purgées périodiquement ou en permanence avec un apport d'eau extérieur. Cet apport sera prévu dans le cadre du système de recyclage décrit au chiffre 5.4.3.6.

5.4.3.5 Les écoulements turbulents seront évités dans le système d'évacuation. Les conduites de drainage et les regards de contrôle seront disposés de manière à permettre, suivant les cas, de laisser les eaux souterraines ou de massif s'écouler de regard en regard ou d'être dérivées vers la conduite d'évacuation.

- 5.4.3.6 Un système de recyclage exige l'emploi de stabilisateurs de la dureté de l'eau. Une partie de l'eau préalablement conditionnée est prélevée dans le système d'évacuation et réintroduite dans le système de drainage (coffre de gravier). Elle est ajoutée en doses périodiques aux eaux souterraines et de massif, qui sont ainsi conditionnées dès leur entrée dans le drainage.

La mise en place d'un système de recyclage est dépendant des débits d'eau et du potentiel de concrétions. Il sera défini dans le projet.

Si le risque de concrétions est déjà connu au stade du projet ou au début des travaux, il est possible de poser la conduite de recyclage dans le coffre de gravier, mais en tous cas indépendamment de la conduite de drainage.

Le nombre et les dimensions des sorties de la conduite de recyclage dépendent de la longueur de la conduite et de la capacité de la pompe. Dans le cas d'emploi d'un système de recyclage, les conduites de dérivation de l'eau de drainage vers les conduites d'évacuation devront pouvoir être fermées ou seront munies d'un déversoir.

Dès l'apparition de concrétions, le système de recyclage, équipé d'une pompe à commande automatique, pourra être mis en service.

5.5 Spécifications relatives à l'exécution

5.5.1 Généralités

En phase d'exécution, les débits d'eau effectifs en provenance du terrain seront mesurés dans les conduites déjà posées et feront l'objet de protocoles. Il en sera de même pour les substances, liquides ou non, présentes dans l'eau. Les données du projet seront comparées aux conditions réelles et adaptées en conséquence. Les corrections seront protocolées.

5.5.2 Couches de drainage

En phase d'exécution, les couches de drainage et les entrées des conduites de drainage seront protégées efficacement contre les encrassements.

5.5.3 Conduites de drainage et d'évacuation

- 5.5.3.1 Les normes SN EN 1295-1 et SIA 190 ainsi que la directive VKR RL 03 sont applicables par analogie à la pose des conduites.

- 5.5.3.2 Le décalage toléré aux raccords de tubes ne dépassera pas 1% du diamètre nominal, voir le chiffre 5.3.3.4.

- 5.5.3.3 Durant le transport, le stockage et la pose des tubes, on évitera qu'ils subissent des déformations permanentes, des coups et des entailles. Les effets de la poussée du béton frais, de contraintes d'appui et de la chaleur d'hydratation du béton seront pris en considération lors du choix des tubes et lors de leur pose. Ces effets feront l'objet d'un contrôle.

5.5.4 Contrôles et nettoyage durant les travaux

L'intérieur des conduites de drainage et d'évacuation sera contrôlé périodiquement, principalement avant et après un remblayage et, dans le cas des travaux souterrains, avant et après l'exécution de la voûte.

Les conduites et les regards du système de drainage seront nettoyés régulièrement durant les travaux jusqu'à la réception de l'ouvrage. Les concrétions dans les conduites seront éliminées régulièrement, déjà en phase de construction de l'ouvrage, ou évitées par application de mesures adéquates selon le chiffre 5.4.

5.6 Spécifications relatives à l'exploitation

- 5.6.1 L'aptitude au service du système de drainage sera contrôlée en cours d'exploitation. La fréquence des nettoyages sera adaptée aux conditions rencontrées.
- 5.6.2 Les risques de concrétions seront appréciés et combattus selon le chiffre 5.4.
- 5.6.3 Il est souhaitable, dans le but d'assurer un bon fonctionnement du système de recyclage, de faire circuler l'eau à travers plusieurs regards, voir le chiffre 5.4.3.5.

6 ISOLATIONS THERMIQUES

6.1 Généralités

- 6.1.1 Ce chapitre traite des isolations thermiques destinées à la protection contre la chaleur et l'humidité due à la condensation, ainsi que contre la formation et la poussée de glace dans les ouvrages enterrés et souterrains.
- 6.1.2 Les concepts de physique de la construction relatifs à la protection contre la chaleur et l'humidité seront établis en appliquant par analogie la norme SIA 180. Ceci est également valable pour le dimensionnement.
- 6.1.3 Les isolations thermiques, les étanchements et les drainages constituent un tout fonctionnel et seront planifiés jusque dans les détails et mis en œuvre comme un système global. Il sera tenu compte des actions en phase de construction et en phase d'utilisation.

6.2 Spécifications relatives aux matériaux

- 6.2.1 Les spécifications relatives aux matériaux d'isolation thermique sont données par la norme SIA 271.
- 6.2.2 Les caractéristiques de l'isolation thermique correspondront aux conditions de mise en œuvre et d'utilisation, par exemple en ce qui concerne la conductibilité thermique, l'absorption d'eau, les charges permanentes, les cycles gel/dégel, les actions chimiques et biologiques, le choc thermique dû à la mise en œuvre d'asphalte coulé et de lés d'étanchéité à base de bitume polymère. Les couches d'isolation thermique ne doivent pas transmettre de substances nocives aux eaux environnantes.
- 6.2.3 Les isolations thermiques exposées à une pression hydrostatique seront protégées contre une absorption d'eau inadmissible par des mesures adéquates, par exemple par un enduit, par une couche d'arrêt, par collage.
- 6.2.4 Pour le cas d'application extérieure en milieu humide en dehors de l'étanchéité, le tableau 15 donne des indications au sujet des groupes de matériaux usuels. Les valeurs admissibles pour les poussées permanentes et pour l'absorption d'eau dans des conditions hydrostatiques sont données dans la norme SIA 271, chiffre 3.4.

Pour les applications intérieures, le choix des matériaux sera conditionné par des spécifications supplémentaires relatives à la physique et à la construction de l'ouvrage.

Tableau 15 Groupes de matériaux usuels pour application extérieure

Groupes de matériaux ²	Sans pression hydrostatique			Avec pression hydrostatique ¹		
	EPS-H	XPS	CG	EPS-H	XPS	CG
Plafonds	X	X	X		X	X
Parois	X	X	X		X	X
Sols		X	X		X	X

¹ hauteur piézométrique maximale admissible: pour XPS 3,5 m, pour CG 12 m, ou selon les données du fabricant

² énumération incomplète

Abréviations:

EPS-H = polystyrol expansé, hydrophobe

XPS = polystyrol extrudé

CG = verre cellulaire

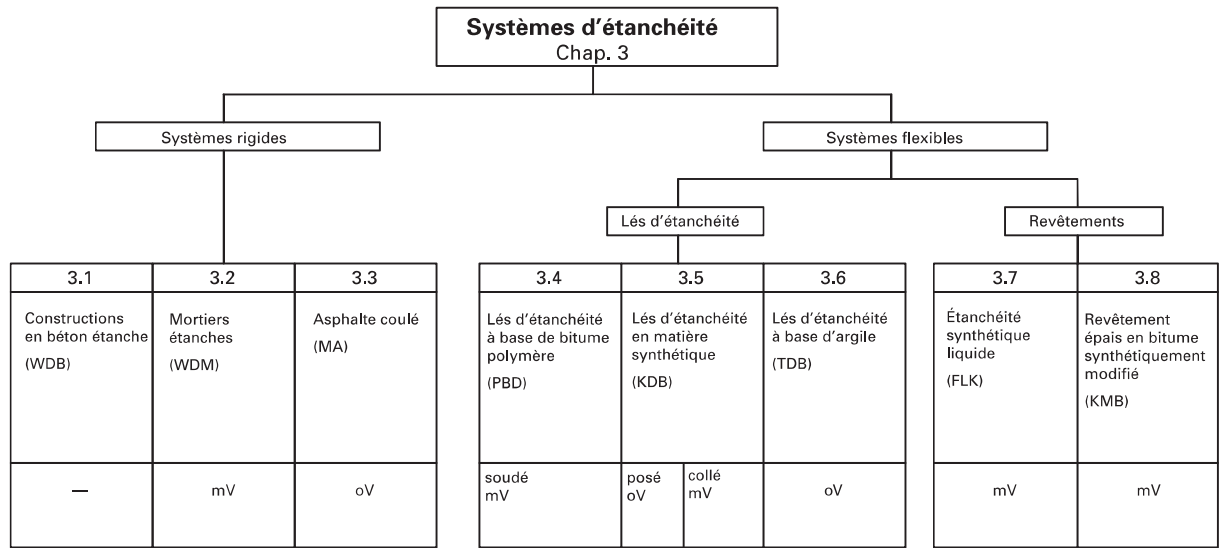
6.3 Spécifications relatives à la construction

- 6.3.1 L'isolation thermique est appliquée à l'extérieur de l'ouvrage en milieu humide en dehors de l'étanchéité. Si cela n'est pas possible pour des raisons de construction ou en fonction de critères physiques, l'isolation thermique peut être apportée à l'intérieur de l'ouvrage.
- 6.3.2 Les ponts thermiques seront évités.
- 6.3.3 L'isolation thermique adhèrera sans vides intermédiaires à la couche en contact avec le côté chaud. Des dispositions spéciales seront éventuellement prises, par exemple une masse collante étanche.
- 6.3.4 L'écart pour la planéité du support ne dépassera pas 10 mm sous la latte de 2 m. La profondeur de rugosité ne dépassera pas 2,0 mm.
Les défauts de planéité et de rugosité seront éliminés par des couches d'égalisation. Les matériaux utilisés seront de nature à éviter des infiltrations.
- 6.3.5 Les isolations thermiques n'entraveront pas les mouvements au droit des joints de la couche sous-jacente. On prévoira des garnitures adéquates (voir également le chiffre 2.4.6).
- 6.3.6 Les traversées sont susceptibles de constituer des ponts thermiques. On en tiendra compte dans le concept de protection contre la chaleur et l'humidité: les tubes seront munis de gaines isolantes.
- 6.3.7 L'isolation thermique sera protégée des dommages mécaniques, par exemple au moyen de non-tissé filtrant, de bandes alvéolées, de tapis de drainage, de plaques filtrantes.

6.4 Spécifications relatives à l'exécution

- 6.4.1 La mise en place de l'isolation thermique n'aura pas lieu lors de précipitations. La température de l'air et du support sera d'au moins 5 °C.
- 6.4.2 Les spécifications de la norme SIA 271 seront appliquées par analogie.
- 6.4.3 Le support est une composante du système. Il doit être conforme aux données du projet.
Les balèbres seront repiquées. Les décrochements seront égalisés.
- 6.4.4 L'isolation thermique sera posée sans laisser de vides.
Les plaques d'isolation thermique seront accolées sans joint ouvert. On utilisera aussi des plaques à emboîtement collées dans les zones avec pression hydrostatique. Il n'y aura aucun décalage entre les plaques.
La pose des plaques se fera de manière décalée sans joints en croix.
Une fois posées, les plaques d'isolation ne doivent pas changer de position (elles seront par exemple fixées contre la poussée d'Archimède).
Les isolations thermiques seront stockées à l'abri des intempéries et seront sèches au moment de la pose.
- 6.4.5 Les raccords de couches de protection présenteront un recouvrement d'au moins 100 mm et seront assurés au moyen de bandes adhésives ou de soudures.

ANNEXE A (informative)
VUE D'ENSEMBLE DES SYSTÈMES D'ÉTANCHÉITÉ



ANNEXE B SUPPORT

B.1 Spécifications relatives au support (normatives)

Tableau 16 Spécifications relatives au support

Caractéristique	Type oV (sans adhérence au sup.)	Type mV (avec adhérence au sup.)
État de la surface	pas de dépôts en vrac pas de laitance de ciment	enlèvement du lait de ciment résistance à l'adhérence par traction $\leq 1,5 \text{ N/mm}^2$ ¹
Rugosité (non valable pour le béton projeté)	profondeur de rugosité ^{2, 4, 5} $\leq 3 \text{ mm}$	profondeur de rugosité ^{2, 5} entre 0,5 et 1,2 mm élargissement des pores ³ colmatage des fissures si $b_R \geq 0,1 \text{ mm}$
Planéité (non valable pour le béton projeté)	$\leq 30 \text{ mm}$ ⁵ sous la latte de 2 m	$\leq 10 \text{ mm}$ ⁵ sous la latte de 2 m
Propreté	ni poussière, ni sable, ni laitance de ciment	ni poussière, ni sable, ni laitance de ciment, ni rouille, ni particules en vrac, ni résidus de décapage enlèvement de toutes les saletés (huile, graisse, restes de peinture, produits de cure et autres), voir annexe B.2
Humidité	pas d'eau courante ou stagnante ⁶	sec ⁶ , humidité résiduelle dans le matériel du support $\leq 4\%$ de la masse ⁷ coefficient d'absorption d'eau de couches d'égalisation au ciment selon SN EN 1062-3: $W \leq 0,1 \text{ kg/m}^2\sqrt{h}$
Arêtes et moulures	La couche d'étanchéité doit être appliquée au support sans vides intermédiaires. Liste triangulaire 25 × 25 mm ou arrondissement. Absence de nids de gravier et de trous dans le béton d'éléments coffrés unilatéralement.	La couche d'étanchéité doit adhérer étroitement aux arêtes et aux moulures. Absence de contournements et de cheminements capillaires. Liste triangulaire 25 × 25 mm ou arrondissement. Escamotage éventuel des arêtes et moulures dans le support, par exemple dans le cas d'escaliers.
Balèvres Nids de gravier (Défauts exceptionnels du support)	Repiquage, égalisation éventuelle Repiquage de la surface, mortier d'égalisation taloché	Repiquage, égalisation éventuelle Repiquage et colmatage du nid de gravier au moyen d'un matériau de même genre (agrégats, etc.), support saturé d'eau pour éviter une absorption de l'eau de prise

¹ vérification selon SN EN 1542

² vérification selon SN EN 1766: 2000, chiffre 7.2

³ SN EN 1766, enlèvement de la laitance de ciment dans le cas de WDM et de FLK

⁴ la profondeur de rugosité peut être plus élevée si des géotextiles sont utilisés, voir annexe C.10.3

⁵ dans le cas des systèmes d'étanchéité 3.4 à 3.8 appliqués sur du béton projeté: pas de fibres métalliques en surface, rayon minimal 0,2 m, rapport entre l'espacement des bosses et leur profondeur $\geq 10:1$; en épaisseur de la couche de béton projeté $\geq 50 \text{ mm}$, éléments de voussoirs: données relatives au décalage selon C.10.4

⁶ évacuation de l'eau, séchage (temps suffisant), barrages temporaires contre l'humidité, bouches de décompression de l'eau souterraine, toitures de protection

⁷ dans le cas de couches d'étanchéité à base de ciment et de revêtements en bitume synthétiquement modifié à base d'émulsions, l'humidité du support sera suffisante pour éviter une absorption de l'eau de prise du mortier ou du béton projeté plus pour le système 3.5

B.2 Vue d'ensemble des procédés de décapage

Tableau 17 Procédés de décapage pour la préparation du support

Procédé	Moyen utilisé	Effet	Remarque	Nettoyage
Sablage sec à l'air	Sable sec	Abrasion, élimination des enduits et de la pellicule de ciment	Ouverture de pores et de cavités Formation de poussière	Air comprimé
Sablage humide à l'air comprimé	Mélange sable-eau	Abrasion, élimination des enduits et de la pellicule de ciment	Ouverture de pores et de cavités Pas de formation de poussière	Eau sous pression
Sablage par vaporisation	Sable humide dans un jet d'eau vaporisée	Abrasion, élimination des enduits et de la pellicule de ciment	Ouverture de pores et de cavités Fixation de la poussière	Eau sous pression Nettoyage difficile
Sablage sous vide	Sable sec	Abrasion, élimination des enduits et de la pellicule de ciment	Ouverture de pores et de cavités Pas de formation de poussière Utilisation locale uniquement	Air comprimé
Projection d'eau sous haute pression par un gicleur rotatif	Eau	Pression ~ 500 bar, élimination de la pellicule de ciment, de couches de peinture et d'enduits peu adhérents	Ouverture de pores et de cavités Pas de formation de poussière	Lavage final
Projection de billes d'acier	Billes d'acier	Abrasion, élimination des enduits et de la pellicule de ciment, mise à nu des agrégats	Ouverture de cavités, pas de formation de poussière, utilisable uniquement sur des surfaces sèches, risque d'endommagement de la surface du béton	Air comprimé ou eau sous pression
Projection d'eau à basse pression	Eau	Pression ~ 80 bar, n'élimine que la poussière et la saleté en vrac	Bon effet de nettoyage	Air comprimé
Ponçage	–	Élimination de la pellicule de ciment	Vérification de la résistance à l'adhérence par traction	Air comprimé ou eau sous pression

ANNEXE C (normative)

SPÉCIFICATIONS RELATIVES AUX MATÉRIAUX ET À L'EXÉCUTION

c.1 Constructions en béton étanche

C.1.1 Matériaux

C.1.1.1 Les spécifications relatives au béton sont données au chiffre 3.1.2.

Des valeurs supplémentaires seront données suivant le groupe d'application et en fonction des conditions spécifiques de l'ouvrage, par exemple des spécifications relatives à la durabilité chimique ou biologique.

Dans le cas du groupe d'application B6, les directives W6 de la SSIGE pour le projet, l'exécution et l'exploitation de réservoirs d'eau seront appliquées en complément.

C.1.1.2 Les matériaux utilisés pour des détails de construction, tels que des joints et des traversées, sont soumis aux spécifications suivantes:

- bandes d'étanchéité en matière synthétique collées ou posées selon l'annexe C.5 appliquée par analogie
- étanchéités synthétiques liquides selon l'annexe C.7 appliquée par analogie.

Les spécifications relatives aux tôles et aux bandes d'étanchéité soumises à des déformations seront définies en fonction des conditions particulières de l'ouvrage.

C.1.1.3 Les spécifications relatives aux injections sont données au chapitre 4 et à l'annexe C.9.

C.1.1.4 Les spécifications relatives aux couches de protection sont données à l'annexe C.10.

C.1.2 Exécution

C.1.2.1 Les normes SIA 262, SIA 262/1 et SN EN 206-1 sont applicables.

C.1.2.2 Dans le cas de bandes collées, la résistance à l'adhérence par traction de la colle au support et à la bande sera d'au moins 1,5 N/mm².

c.2 Mortiers étanches

C.2.1 Matériaux

C.2.1.1 Les valeurs données au tableau 18 pour les mortiers sont déterminantes dans tous les groupes d'application selon chiffre 2.4.4.

Des valeurs supplémentaires seront données suivant le groupe d'application et en fonction des conditions spécifiques de l'ouvrage, par exemple des spécifications relatives à la durabilité chimique ou biologique.

Dans le cas du groupe d'application B6, les directives W6 de la SSIGE pour le projet, l'exécution et l'exploitation de réservoirs d'eau seront appliquées en complément.

Tableau 18 Mortier étanche (valeurs d'orientation)

N°	Caractéristique	Essai selon	Dimension	Exigence	Remarque
1	Coefficient d'absorption d'eau	SN-EN 1062-3	kg/m ² √h	≤ 0,1	Valeur minimale
2	Perméabilité	Selon Darcy	m/s	≤ 10 ⁻¹¹	Jusqu'à une hauteur hydrostatique de 20 m
3	Module E		N/mm ²	20 000 à 30 000	

Ces valeurs peuvent être utilisées pour des calculs de physique de la construction, comme l'estimation de la filtration d'eau à travers un mortier non fissuré. Dans le cas d'eaux minéralisées, comme des eaux contenant des chlorites ou des sulfates, les valeurs obtenues sont susceptibles d'être nettement plus élevées. Il sera tenu compte de ce fait dans l'estimation de la filtration d'eau.

Les spécifications relatives aux mortiers devant présenter des caractéristiques de flexibilité seront définies en fonction des conditions particulières de l'ouvrage.

C.2.1.2 Les matériaux utilisés pour des détails de construction, tels que des joints et des traversées, sont soumis aux spécifications suivantes:

- bandes d'étanchéité en matière synthétique collées ou posées selon l'annexe C.5 appliquée par analogie
- étanchéités synthétiques liquides selon l'annexe C.7 appliquée par analogie.

C.2.1.3 Les spécifications relatives aux injections sont données au chapitre 4 et à l'annexe C.9.

C.2.1.4 Les spécifications relatives aux couches de protection sont données à l'annexe C.10.

C.2.2 Exécution

C.2.2.1 Spécifications relatives à la mise en œuvre

Tableau 19 Mortiers étanches sur un support en béton

N°	Caractéristique	Essai selon	Dimension	Exigence	Remarque
1	Résistance à l'adhérence par traction	SN EN 1542	N/mm ²	vm ≥ 1,5 vi ≥ 1,0	Valeur moyenne et valeur isolée par série d'essais
2	Épaisseur de couche	Annexe D	mm	Épaisseur minimale selon chiffre 3.2.3.2	
3	Adhérence sur toute la surface	Contrôle acoustique	–	Pas de vides	Essai au marteau
4	Mise en œuvre	Contrôle visuel	–	Pas de dommages, pas de fissures	

C.2.2.2 Dans le cas de bandes collées, la résistance à l'adhérence par traction de la colle au support et à la bande sera d'au moins 1,5 N/mm².

c.3 Asphalte coulé

C.3.1 Matériaux

C.3.1.1 La norme SN 640 442-NA, tableaux 1 à 5, est applicable à l'asphalte coulé.

Dans le cas des groupes d'application B1 et B7, on fixera un MA8/PmB/L/Cat. IV avec une profondeur de pénétration ≤ 3 mm.

Dans le cas du groupe d'application E, les exigences seront fixées en fonction des conditions spécifiques de l'ouvrage.

C.3.1.2 Les couches d'égalisation seront telles qu'elles ne compromettent ni le fonctionnement de la couche d'étanchéité ni la stabilité générale. Dans le cas de couches d'étanchéité à base de ciment, les spécifications du tableau 30 de l'annexe C.10.1 sont applicables.

C.3.1.3 Les matériaux utilisés pour des détails de construction, tels que des raccords de bord, des compartimentations, des joints et des traversées, sont soumis aux spécifications suivantes:

- lés d'étanchéité à base de bitume polymère pour compartimentations selon l'annexe C.4 appliquée par analogie
- bandes d'étanchéité en matière synthétique collées ou posées selon l'annexe C.5 appliquée par analogie
- étanchéités synthétiques liquides selon l'annexe C.7 appliquée par analogie.

C.3.1.4 Les spécifications relatives aux couches de protection sont données à l'annexe C.10.

C.3.2 Exécution

C.3.2.1 Les spécifications relatives à la mise en œuvre sont données par la norme SN 640 450.

C.3.2.2 Dans le cas de bandes collées, la résistance à l'adhérence par traction de la colle au support et à la bande sera d'au moins $1,5 \text{ N/mm}^2$.

c.4 Lés d'étanchéité à base de bitume polymère

C.4.1 Matériaux

C.4.1.1 Les caractéristiques des lés d'étanchéité à base de bitume polymère seront fixées dans le projet en fonction des groupes d'application selon le tableau 1.

Le groupe d'application B1 est subdivisé en un groupe B1.1 «Étanchéité contre l'humidité du sol et les venues d'eau» et un groupe B1.2 «Tunnels à ciel ouvert et ouvrages enterrés».

Tableau 20 Lés d'étanchéité à base de bitume polymère

N°	Groupe			Caractéristique	Essai selon	Dimension	Exigence	Re- marque
	B1.1	B1.2	E					
Caractéristiques selon les normes de produits SN EN (voir norme SIA 270, tableau 3): – Groupe B1.1 selon SN EN 13969 – Groupe B1.2 selon SN EN 13491 – Groupe E selon SN EN 14967								
1	x	x	x	Épaisseur	SN EN 1849-1	mm	K	1
2	x	x	x	Masse surfacique	SN EN 1849-1	kg/m ²	K	
3		x		Perméabilité	SN EN 14150	m ³ /m ² × d	≤ 1 × 10 ⁻⁵	
4.1	x			Étanchéité à l'eau	SN EN 1928, procédure B	kPa	étanche p. type A ≥ 2 type T ≥ 60	2
4.2			x		EN 1928, procédure A ou B		étanche pour ≥ 2	
5.1	x	x		Comportement traction-allongement: force de traction maximale	SN EN 12311-1	N/50 mm	≥ 500	
5.2			x				≥ 400	
6.1	x	x		Comportement traction-allongement: force de traction maximale	SN EN 12311-1	%	≥ 3	
6.2			x				≥ 2	
7	x	x	x	Comportement à basse température/comportement au pliage à froid	SN EN 1109	°C	≤ -10	
8	x			Résistance au poinçonnement statique	SN EN 12730, support rigide	kg	≥ 15	
9		x		Résistance au poinçonnement statique	SN EN ISO 12236	kN	K	
10	x		x	Résistance au choc	SN EN 12691, procédure A (support rigide)	mm	≥ 500	
11	x		x	Perméabilité à la vapeur	SN EN 1931, procédure A	s _d [m]	K	
12	x	x	x	Comportement au feu	AEAI	Indice	K	
Autres caractéristiques (à fixer en fonction des conditions spécifiques de l'ouvrage)								
13.1	x			Durabilité de l'étanchéité exposée au vieillissement artificiel	SN EN 1296/ SN EN 1928, procédure B	kPa	étanche p. type A ≥ 2 type T ≥ 60	2
13.2			x				étanche pour ≥ 2	
14		x		Résistance aux intempéries, résistance résiduelle, allongement résiduel	SN EN 12224	%	≥ 75	3, 4
15		x		Résistance à l'oxydation, résistance résiduelle, allongement résiduel	DIN EN 13491, annexe C	%	≥ 75	4

Tableau 20 Lés d'étanchéité à base de bitume polymère (suite)

N°	Groupe			Caractéristique	Essai selon	Dimension	Exigence	Re- marque
	B1.1	B1.2	U					
16		x		Résistance microbio- logique résistance ré- siduelle, allongement résiduel	SN EN 12225	%	≥ 75	4
17.1	x			Durabilité de l'étanchéité à l'eau face aux effets de produits chimiques	SN EN1847/ SN EN 1928, procédure B	kPa	étanche p. Type A ≥ 2 Type T ≥ 60	2, 4, 5
17.2			x				étanche pour ≥ 2	
17.3		x		Résistance chimique, résistance résiduelle, allongement résiduel	SN EN 14414	%	≥ 75	4, 5
18.1	x			Résistance à la péné- tration de racines	SN EN 13948		Résultat: «résistant aux racines»	
18.2		x		Résistance à la péné- tration de racines	DIN CEN/TS 14416		Aucun signe visible de pénétration	
19	x	x		Comportement de lés d'étanchéité au bitume lors de l'application de l'asphalte coulé	SN EN 14693		Exigences SN 640 450 satisfaites	6
20	x	x		Résistance au com- pactage de la couche de protection en béton asphaltique	SN EN 14692, procédure 2		Résultat «résistant»	7

K = Indice (Kennwert). Cette valeur correspondra à la valeur limite ou à la valeur nominale du fabricant.

¹ Les spécifications relatives à l'épaisseur sont données au chiffre 3.4.3.3.

² Type A: Lé à base de bitume avec barrière contre l'humidité (sans pression hydrostatique)
Type T: Lé à base de bitume avec barrière contre l'eau souterraine (avec pression hydrostatique)

³ seulement nécessaire si le matériau est exposé longtemps (1 ... 4 mois) à l'air libre avant d'être recouvert

⁴ valeur résiduelle de la résistance à la traction et de l'allongement après essai. Les lés d'étanchéité à base de bitume polymère sont généralement résistants à la décomposition initiée par des agents microbiologiques et chimiques.

⁵ Des indications relatives à la résistance chimique des bitumes sont données dans les normes SN EN 13969 et SN EN 14967, annexe A.

⁶ dans le cas d'utilisation de couches de protection en asphalte coulé

⁷ dans le cas d'utilisation de couches de protection en enrobé compacté

Note: La commission de norme SIA 281 publie régulièrement une liste des lés d'étanchéité en bitume polymère qui satisfont aux spécifications du tableau 20. La liste actuelle peut être trouvée sur la homepage.

- C.4.1.2 La norme SN 640 450, tableaux 15, 16 et 17, donne les spécifications valables pour les produits d'accrochage.
- C.4.1.3 Les couches d'égalisation seront telles qu'elles ne compromettent ni le fonctionnement de la couche d'étanchéité ni la stabilité générale. Dans les étanchéités avec adhérence, un passage d'eau dans la couche d'égalisation n'est pas admissible (coefficient d'absorption d'eau selon SN EN 1062-3 $\leq 0,1 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$). Les spécifications relatives au support selon annexe B.1 sont également valables pour les couches d'égalisation.
- C.4.1.4 Les matériaux utilisés pour des détails de construction, tels que des raccords de bord, des compartimentations, des joints et des traversées, sont soumis aux spécifications suivantes:
- bandes d'étanchéité et de compartimentation en matière synthétique collées ou posées selon l'annexe C.5 appliquée par analogie
 - étanchéités synthétiques liquides selon l'annexe C.7 appliquée par analogie.
- C.4.1.5 Les spécifications relatives aux injections sont données au chapitre 4 et à l'annexe C.9.
- C.4.1.6 Les spécifications relatives aux couches de protection sont données à l'annexe C.10.

C.4.2 **Compatibilité des matériaux**

- C.4.2.1 Compatibilité entre l'asphalte coulé et les lés d'étanchéité à base de bitume polymère selon la norme SN 640 450, tableau 19.
- Compatibilité entre le béton asphaltique et les lés d'étanchéité à base de bitume polymère selon la norme SN 640 450, tableau 20.

C.4.3 **Exécution**

- C.4.3.1 Spécifications relatives à la mise en œuvre

Tableau 21 Lés d'étanchéité à base de bitume polymère sur un support en béton

N°	Caractéristique	Essai selon	Dimension	Exigence	Remarque
1	Résistance à l'adhérence par traction	SIA 281/3	N/mm ²	$\geq 0,76$ à 5 °C ¹ $\geq 0,26$ à 30 °C ¹	Interpoler linéairement entre les températures
2	Résistance au pelage essai mécanique ²	SIA 281/2	N/mm	$\geq 3,1$ à 5 °C ^{1,4} $\geq 0,5$ à 30 °C ^{1,4}	Interpoler linéairement entre les températures
3	Résistance au pelage essai manuel ³	SIA 281/2	–	Degré 3 ou 4 ⁴	
4	Adhérence sur toute la surface	Contrôle acoustique	–	Pas de vides $\geq 100 \text{ cm}^2$	Essai au marteau ou au râteau à feuilles
5	Mise en œuvre	Contrôle acoustique	–	Pas de dommages	

¹ température du support

² adapté aux surfaces horizontales et inclinées jusqu'à 15%

³ adapté aux surfaces horizontales, inclinées et verticales

⁴ Les exigences sont considérées comme satisfaites si les ruptures ont lieu pour plus de 90% à l'intérieur du lé.

- C.4.3.2 Dans le cas de bandes collées, la résistance à l'adhérence par traction de la colle au support et à la bande sera d'au moins 1,5 N/mm².

C.5 Lés d'étanchéité en matière synthétique

C.5.1 Matériaux

C.5.1.1 Les caractéristiques des lés d'étanchéité en matière synthétique seront fixées dans le projet en fonction des groupes d'application selon le tableau 1.

Le groupe d'application B1 est subdivisé en un groupe B1.1 «Étanchéité contre l'humidité du sol et les venues d'eau» et un groupe B1.2 «Tunnels à ciel ouvert et ouvrages enterrés».

Dans le cas du groupe d'application B6, les directives W6 de la SSIGE pour le projet, l'exécution et l'exploitation de réservoirs d'eau seront appliquées en complément.

Tableau 22 Lés d'étanchéité en matière synthétique

N°								Caractéristique	Essai selon	Dimen- sion	Exigence	Re- marque
	E	B1.1	B1.2, B2	B3	B4	B5	B6					
Caractéristiques selon les normes de produits SN EN (voir norme SIA 270, tableau 3): Groupes d'application selon la norme SIA 270: B1.1 selon SN EN 13967 B1.2 et B2 selon DIN EN 13491 B3, B5 et B6 selon DIN EN 13361 B4 selon SN EN 13362 E selon DIN EN 14909												
1	x	x	x	x	x	x	x	Épaisseur	SN EN 1849-2	mm	K	1
2	x	x	x	x	x	x	x	Masse surfacique	SN EN 1849-2	kg/m ²	K	1
3			x	x	x	x	x	Perméabilité	SN EN 14150	m ³ /m ² d	≤ 1 × 10 ⁻⁵	
4.1			x	x	x	x	x	Résistance à la traction	SN EN ISO 527-1/3, essai type 5, 100 mm/min	N/mm ²	K	1
4.2	x	x							SN EN 12311-2	N/mm ²	K	1
5.1			x	x	x	x	x	Allongement	SN EN ISO 527-1/3, essai type 5, 100 mm/min	%	≥ 200	2
5.2	x	x							SN EN 12311-2	%	≥ 200	2
6			x	x	x	x	x	Résistance au poinçonnement statique	SN EN ISO 12236	kN	≥ 1,2 et ≥ 2,5	3
7	x	x						Résistance au choc	SN EN 12691 support rigide	mm	E ≥ 400 B1.1 ≥ 700 ⁴ ou ≥ 1250 ⁴	4
8	x	x						Résistance au poinçonnement statique	SN EN 12730	kg	≥ 20	

Tableau 22 Lés d'étanchéité en matière synthétique (suite)

N°								Caractéristique	Essai selon	Dimen- sion	Exigence	Re- marque
	E	B 1.1	B1.2, B2	B3	B4	B5	B6					
9	x	x						Durabilité de l'étanchéité exposée au vieillissement artificiel	SN EN 1296 et SN EN 1928	2 kPa 60 kPa	étanche	
10			x	x	x	x	x	Allongement thermique	ASTM D 696-91	mm/m °C	K	5
11			x	x	x	x	x	Durabilité de l'étanchéité exposée au vieillissement artificiel	SN EN 14575	%	≥ 75	6
12			x	x	x	x	x	Résistance à la rupture sous tension	ASTM D 5397-99	h	≥ 200	7
13.1	x	x						Comportement au feu	AEAI SN EN ISO 11925-2	Indice AEA classe europ.	4.1 ou plus classe F	
13.2			x								4.2 ou plus classe E	8
14.1	x							Étanchéité à l'eau	SN EN 1928, procédure A	24h/ 2 kPa	étanche	
14.2		x							SN EN 1928, procédure B	24h/ 60 kPa	étanche	
Autres caractéristiques (à fixer en fonction des conditions spécifiques de l'ouvrage)												
15	x	x	x	x	x	x	x	Module E ₁₋₂	SN EN ISO 527	N/mm ²	≤ 80 ≤ 20	9
16		x						Compatibilité avec les bitumes	SN EN 1548 et SN EN 1928	2 kPa 60 kPa	satisfait	10
17	x	x						Résistance au cisaillement des joints	SN EN 12317-2	N/ 50 mm	K	
18			x	x	x	x	x	Résistance au déchirement	DIN ISO 34-1, méthode B, procédure A, 50 mm/min	N/mm	K	
19	x	x						Résistance à la déchirure (au clou)	SN EN 12310-1	N	K	
20	x	x	x	x	x	x	x	Comportement à basse température	SN EN 495-5	°C	≤ -20	

Tableau 22 Lés d'étanchéité en matière synthétique (suite)

N°	E	B1.1	B1.2, B2	B3	B4	B5	B6	Caractéristique	Essai selon	Dimension	Exigence	Re- marque
21		x	x	x	x	x	x	Résistance aux intempéries	SN EN 1297		Degrés 0, 1 ou 2	11
22			x	x	x	x	x	Résistance micro-biologique résistance résiduelle, allongement résiduel	SN EN 12225	%	≥ 75	6
23			x					Résistance chimique, résistance résiduelle, allongement résiduel	SN EN 14414	%	≥ 75	6
24				x	x	x	x	Résistance à la lixiviation, résistance résiduelle, allongement résiduel	EN 14415	%	≥ 75	6
25	x	x						Résistance aux alcalis résistance résiduelle, allongement résiduel	DIN EN 14909 ou SN EN 13967 annexe C, SN EN 12311-2	%	≥ 50	6 24 semaines 90° C
26		x	x	x	x	x	x	Résistance à la pénétration de racines	DIN CEN/TS 14416		Aucun signe visible de pénétration	
27	x	x						Perméabilité à la vapeur	SN EN 1931, procédure B		K	
28			x	x	x			Résistance à l'éclatement	DIN EN 14151 (en projet)	%	≥ 50	
29			x	x	x	x	x	Résistance au choc	SN EN 12691, procédure A (support rigide)	mm	B3–B6 ≥ 400 B1.2, B2 ≥ 700 ⁴ ou ≥ 1250 ⁴	4

K = Indice (Kennwert). L'indice doit être déterminé par le fabricant. Les spécifications relatives à l'épaisseur sont données au chiffre 3.5.3.2. La masse surfacique dépend de l'épaisseur. La valeur de la résistance à la traction sert de référence pour les adaptations pour les essais N^{os} 13, 24, 25, 26 et 27.

¹ Valeur moyenne tirée d'essais isolés selon norme d'essai.

² ≥ 10 pour les lés armés

³ La valeur inférieure est valable dans le cas d'applications en l'absence de pression hydrostatique et dans celui d'étanchéités visibles, la valeur supérieure en présence d'eau sous pression.

⁴ La valeur inférieure est valable dans le cas d'applications en l'absence de pression hydrostatique, la valeur supérieure en présence d'eau sous pression.

- ⁵ En cas d'écarts importants par rapport à la valeur $\alpha = 1 \times 10^{-5}$ et d'une exécution lors de grosses variations de température, des mesures particulières seront prises pour éviter des ondulations et des plis.
- ⁶ Valeur résiduelle de la résistance à la traction et de l'allongement après essai.
- ⁷ Uniquement pour les lés d'étanchéité à base de polyoléfine.
- ⁸ n'est valable que pour le groupe d'application B2 travaux souterrains
- ⁹ La valeur supérieure est valable pour la polyoléfine souple, la valeur inférieure pour tous les autres types de matière synthétique.
- ¹⁰ Uniquement s'il y a contact entre les lés en matière synthétique et le bitume.
- ¹¹ Pas nécessaire pour les applications pour lesquelles les lés ne sont pas exposés aux intempéries. Dans le cas contraire, une durée d'essai de 5000 h est à prévoir.

- C.5.1.2 Les spécifications relatives aux produits d'accrochage pour la mise en œuvre avec adhésion, pour des compartimentations, des raccordements de bord et des traversées seront définies en fonction des conditions particulières de l'ouvrage.
- C.5.1.3 Les couches d'égalisation seront telles qu'elles ne compromettent ni le fonctionnement de la couche d'étanchéité ni la stabilité générale. Dans les étanchéités avec adhérence, un passage d'eau dans la couche d'égalisation n'est pas admissible (coefficient d'absorption d'eau selon SN EN 1062-3 $\leq 0,1 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$). Les spécifications relatives au support selon annexe B.1 sont également valables pour les couches d'égalisation.
- C.5.1.4 Les matériaux utilisés pour des détails de construction, tels que des raccordements de bord, des compartimentations, des joints et des traversées, sont soumis aux spécifications suivantes:
- bandes d'étanchéité et de compartimentation en matière synthétique collées ou posées selon l'annexe C.5.1 et C.5.3 appliquées par analogie
 - étanchéités synthétiques liquides selon l'annexe C.7.1 et C.7.3 appliquées par analogie.
- C.5.1.5 Les spécifications relatives aux injections sont données au chapitre 4 et à l'annexe C.9.
- C.5.1.6 Les spécifications relatives aux couches de protection sont données à l'annexe C.10.

C.5.2 **Compatibilité des matériaux**

La compatibilité entre les lés d'étanchéité en matière synthétique et le bitume est traitée par la norme SN EN 1548.

C.5.3 Exécution

C.5.3.1 Spécifications relatives à la mise en œuvre

Tableau 23 Lés d'étanchéité en matière synthétique

N°	Caractéristique	Essai selon	Dimension	Exigence	Remarque
1	Résistance à l'adhérence par traction ¹	SIA 281/3	N/mm ²	≥ 1,5 à 5 °C ² ≥ 0,9 à 30 °C ²	Interpoler linéairement entre les températures
2	Résistance à l'adhérence par traction ¹ essai mécanique	Annexe D	N/mm	≥ 1,5 à 5 °C ² ≥ 0,8 à 30 °C ²	Interpoler linéairement entre les températures
3	Résistance à l'adhérence par traction ¹ essai manuel	Annexe D	–	Degré 3 ou 4	
4	Adhérence sur toute la surface ¹	Contrôle acoustique	–	Pas de vides	Essai au marteau ou au râteau à feuilles
5	Soudures Soudure à recouvrement avec canal de contrôle Soudure à recouvrement sans canal de contrôle	DVS 2225, partie 2 Paragraphe 4.5.2 (essai à l'air comprimé) Paragraphe 4.4 (essai de pelage) Paragraphe 4.2 (examen visuel à l'aiguille) Paragraphe 4.5.3 (essai au vide)	–	Pression d'essai 2 bar chute de pression ≤ 10% en 10 min Résistance au pelage ≥ 60% de la traction comparable à 100% d'allongement Ni irrégularités ni défauts Pas de cloques	Essai à l'air comprimé ou liquide coloré
6	Mise en œuvre	Contrôle visuel	–	Pas de dommages	

¹ uniquement pour les lés d'étanchéité en matière synthétique collés sur toute la surface

² températures du support

C.5.3.2 Dans le cas de bandes collées, la résistance à l'adhérence par traction de la colle au support et à la bande sera d'au moins 1,5 N/mm².

C.6 Lés d'étanchéité à base d'argile

C.6.1 Matériaux

C.6.1.1 Les caractéristiques des lés d'étanchéité à base d'argile seront fixées dans le projet en fonction des groupes d'application selon le tableau 1.

Tableau 24 Lés d'étanchéité à base d'argile

N°	Groupe			Caractéristique	Essai selon	Dimension	Exigence	Re- marque
	B1.1	B1.2	B3					
Caractéristiques selon les normes de produits SN EN (voir norme SIA 270, tableau 3): – Groupe B1.2 selon DIN EN 134 – Groupe B3 selon DIN EN 13361								
1	x	x	x	Épaisseur de la feuille	SN EN 1849-2	mm	K	1
2			x	Épaisseur	SN EN ISO 9863-1	mm	K	2
3.1	x	x	x	Masse surfacique du lé d'étanchéité	SN EN 14196	g/m ²	≥ valeur nominale –10%	2, 3
3.2	x	x	x	Masse surfacique de la bentonite sodique (sèche)	SN EN 14196	g/m ²	≥ 4000	7
4	x	x	x	Perméabilité	ASTM D 5887	m ³ /m ² s	≤ 10 ⁻⁷	2, 3
5	x	x	x	Gonflement	ASTM D5890	ml	K	2, 3
6	x	x	x	Résistance à la traction	SN EN ISO 10319	kN/m	K	2, 3
7	x	x	x	Résistance au poinçonnement statique	SN EN ISO 12236	kN	K	2, 3
8	x	x	x	Allongement thermique	ASTM D 696	%	K	1
9	x	x	x	Résistance biologique	SN EN 12225	%	≤ 25%	2, 3
10	x	x	x	Résistance à la rupture sous tension	ASTM D 5397	h	K	1
Autres caractéristiques (à fixer en fonction des conditions spécifiques de l'ouvrage)								
1	x	x	x	Résistance à la pénétration de racines	DIN CEN/TS 14416	–	résistant aux racines	2, 3
2	x	x	x	Résistance chimique	SN EN 14414	%	≤ 25	2, 3
1	x	x	x	Teneur en soude de la bentonite	EN TC 189 WI 87	% en masse	≥ 95	2, 3

K = Indice (Kennwert). Cette valeur correspondra à la valeur limite ou à la valeur nominale du fabricant.

¹ pour les lés d'étanchéité sous forme de feuilles. Les spécifications relatives à l'épaisseur de la feuille sont données au chiffre 3.6.3.

² pour les lés d'étanchéité géosynthétiques

³ pour les lés d'étanchéité sous forme de feuilles

C.6.1.2 Les couches d'égalisation seront telles qu'elles ne compromettent ni le fonctionnement de la couche d'étanchéité ni la stabilité générale. Dans les étanchéités avec adhérence, un passage d'eau dans la couche d'égalisation n'est pas admissible (coefficient d'absorption d'eau selon SN EN 1062-3 $\leq 0,1 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$). Les spécifications relatives au support selon annexe B.1 sont également valables pour les couches d'égalisation.

C.6.1.3 Les matériaux utilisés pour des détails de construction, tels que des raccords de bord, des joints et des traversées, sont soumis aux spécifications suivantes:

- bandes d'étanchéité et de compartimentation en matière synthétique collées ou posées selon l'annexe C.5 appliquée par analogie
- étanchéités synthétiques liquides selon l'annexe C.7 appliquée par analogie.

C.6.1.4 Les spécifications relatives aux injections sont données au chapitre 4 et à l'annexe C.9.

C.6.1.5 Les spécifications relatives aux couches de protection sont données à l'annexe C.10.

C.6.2 Exécution

C.6.2.1 Spécifications relatives à la mise en œuvre

Tableau 25 Lés d'étanchéité à base d'argile

N°	Caractéristique	Essai selon	Dimension	Exigence	Remarques
1	Raccords de lés en général	–	–	Pas d'ouvertures, pas de gonflement prématuré de la couche d'étanchéité à l'argile	
2	Épaisseur de couche	–	mm	Épaisseur minimale selon chiffre 3.6.3.2	
3	Mise en œuvre	Contrôle visuel	–	Pas de dommages	

C.6.2.2 Dans le cas de bandes collées, la résistance à l'adhérence par traction de la colle au support et à la bande sera d'au moins 1,5 N/mm².

c.7 Étanchéité synthétique liquide

C.7.1 Matériaux

C.7.1.1 Les caractéristiques des étanchéités synthétiques liquides seront fixées dans le projet en fonction des groupes d'application selon le tableau 1.

Dans le cas du groupe d'application B6, les directives W6 de la SSIGE pour le projet, l'exécution et l'exploitation de réservoirs d'eau seront appliquées en complément.

Tableau 26 Étanchéité synthétique liquide

N°	B1.1	B1.2	B4	B5	B6	B7	Caractéristique	Essai selon	Dimension	Exigence	Re-marque
Caractéristiques générales											
1	x	x	x	x	x	x	Épaisseur	ISO 2808	mm	K	1
2	x	x	x	x	x	x	Étanchéité à l'eau	SIA 282, annexe A	kPa	étanche	
3	x	x	x	x	x	x	Tension de rupture	SN EN ISO 527-2/1B/10	N/mm ²	K	1 à 23 °C
4	x	x	x	x	x	x	Allongement à la rupture	SN EN ISO 527-2/1B/10	%	≥ 200	1
5.1	x	x			x		Résistance à la fissuration	SN EN 1062-7, A3	-	réussi	à -10 °C
5.2			x	x		x					à -20 °C
6			x	x		x	Résistance aux intempéries, résistance résiduelle	SIA 282, annexe B	%	≥ 75	
7	x	x					Résistance micro-biologique, résistance résiduelle	SIA 282, annexe J	%	≥ 75	2
8	x	x	x	x	x	x	Résistance à l'oxydation, résistance résiduelle	SIA 282, annexe K	%	≥ 75	2
9	x	x					Résistance à la pénétration de racines	SIA 282, annexe L		Pas de pénétration	
10	x	x	x	x	x	x	Dureté Shore A	SN EN ISO 868		K	
11	x	x	x	x	x	x	Résistance aux alcalis	SIA 282, annexe D	-	Modifications: - de la masse ≤ 0,5% - de la dimension ≤ 1% - de la micro-dureté ≤ 7	
12	x	x	x	x	x	x	Absorption d'eau	SIA 282, annexe E	-	Modification de la masse ≤ 5%	

Tableau 26 Étanchéité synthétique liquide (suite)

N°								Caractéristique	Essai selon	Dimen- sion	Exigence	Re- marque
	B1.1	B1.2	B4	B5	B6	B7						
13	x	x	x	x	x	x		Teneur en vides (% en volume)	TP-BEL-B3	% en volume	≤ 20	
14	x	x	x	x	x	x		Résistance à l'ad- hérence au sup- port par traction	SIA 282, annexe F	N/mm ²	MW ≥ 1,5 EW ≥ 1,0	
15	x	x	x	x	x	x		Résistance à l'ad- hérence au support par traction après des cycles de gel/ dégel	SIA 282, annexes F et 7	N/mm ²	MW ≥ 1,5 EW ≥ 1,0	
16	x	x	x	x	x	x		Résistance à l'ad- hérence par traction dans les recouvre- ments	SIA 282, annexes F et H	N/mm ²	MW ≥ 1,5 EW ≥ 1,0	
Caractéristiques spécifiques à l'ouvrage												
17						x		Résistance chimique	SIA 282, annexe C	%	≥ 75	²

K = Indice (Kennwert). L'indice doit être déterminé. Les spécifications relatives à l'épaisseur sont données au chiffre 3.7.3.3. La masse surfacique dépend de l'épaisseur. La valeur de la tension de rupture sert de référence pour les adaptations pour les essais N°s 6, 7, 8 et 17.

¹ valeur moyenne des essais selon norme d'essai

² valeur résiduelle de la résistance à la traction et de l'allongement après essai

MW: valeur moyenne d'une série de 3 essais

EW: valeur isolée d'une série de 3 essais

C.7.1.2 La norme SN 640 450, tableau 17, donne les spécifications valables pour les produits d'accrochage.

C.7.1.3 Les couches d'égalisation seront telles qu'elles ne compromettent ni le fonctionnement de la couche d'étanchéité ni la stabilité générale. Dans les étanchéités avec adhérence un passage d'eau dans la couche d'égalisation n'est pas admissible (coefficient d'absorption d'eau selon SN EN 1062-3 $\leq 0,1 \text{ kg/m}^2\sqrt{h}$). Les spécifications relatives au support selon annexe B sont également valables pour les couches d'égalisation.

C.7.1.4 Les matériaux utilisés pour des détails de construction, tels que des joints et des bandes d'étanchéité en matière synthétique collées ou posées, sont soumis aux spécifications de l'annexe C.5 appliquée par analogie.

C.7.1.5 Les spécifications relatives aux couches de protection sont données à l'annexe C.10.

C.7.2 Compatibilité des matériaux

Compatibilité entre l'asphalte coulé et les étanchéités synthétiques liquides selon la norme SN 640 450, tableau 17.

C.7.3 Exécution

Spécifications relatives à la mise en œuvre

Tableau 27 Étanchéité synthétique liquide

N°	Caractéristique	Essai selon	Dimension	Exigence	Remarque
1	Résistance à l'adhérence par traction	SIA 282, annexe F	N/mm ²	MW ≥ 1,5 EW ≥ 1,0	¹
2	Résistance au pelage par traction	Annexe D	N/mm	MW ≥ 7,0 EW ≥ 5,0	
3	Épaisseur de couche	Annexe D	mm	Épaisseur minimale selon chiffre 3.7.3.3	
4	Adhérence sur toute la surface	Contrôle acoustique	–	Pas de vides	Essai au marteau ou au râteau à feuilles
5	Porosité	Annexe D	–	Pas de pores	Appareil de mesure des pores

c.8 Revêtements épais en bitume synthétiquement modifié

C.8.1 Matériaux

C.8.1.1 Les caractéristiques des revêtements épais en bitume synthétiquement modifié seront fixées dans le projet en fonction des groupes d'application selon le tableau 1.

Tableau 28 Revêtement épais en bitume synthétiquement modifié

N°	B1	Caractéristique	Essai selon	Dimension	Exigence	Remarque
1	x	Teneur en matière solide	SN EN ISO 3251	% en masse	K	
2	x	Teneur en cendres	SN EN 12697-1, annexe C	% en masse	K	
3	x	Teneur en liant	Différence entre 1 et 2	% en masse	K	
4	x	Épaisseur de la couche sèche	SN EN 1849-1	mm	K	
5	x	Masse surfacique	SN EN 1849-1	kg/m ²	K	
6	x	Étanchéité à l'eau	SN EN 1928 – B	–	étanche	¹
7	x	Comportement à basse température/comportement au pliage à froid	SN EN 1109	°C	Pas de fissures à ≤ 0 °C	²

K = Indice (Kennwert). L'indice doit être déterminé.

¹ essai dans une fente de largeur 1 mm, pression hydrostatique 0,075 N/mm² (7,5 bar, 750 kPa), 24 h épaisseur de la couche sèche: min. 4 mm, l'échantillon sera séché avant l'essai pendant 28 d à 20 °C/65% d'humidité relative.

² épaisseur de la couche sèche: min. 3 mm, l'échantillon sera séché avant l'essai pendant 28 d à 20 °C/65% d'humidité relative.

- C.8.1.2 Les caractéristiques des produits d'accrochage satisferont aux performances fixées par le fabricant.
- C.8.1.3 Les couches d'égalisation seront telles qu'elles ne compromettent ni le fonctionnement de la couche d'étanchéité ni la stabilité générale. Dans les étanchéités avec adhérence, un passage d'eau dans la couche d'égalisation n'est pas admissible (coefficient d'absorption d'eau selon SN EN 1062-3 $\leq 0,1 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$). Les spécifications relatives au support selon annexe B sont également valables pour les couches d'égalisation.
- C.8.1.4 Les matériaux utilisés pour des détails de construction, tels que des joints, sont soumis aux spécifications de l'annexe C.5 appliquée par analogie.
- C.8.1.5 Les spécifications relatives aux couches de protection sont données à l'annexe C.10.

C.8.2 Exécution

C.8.2.1 Spécifications relatives à la mise en œuvre

Tableau 29 Revêtement épais en bitume synthétiquement modifié

N°	Caractéristique	Essai selon	Dimension	Exigence	Remarque
1	Épaisseur de couche	Annexe D	mm	Épaisseur minimale selon chiffre 3.8.3.3	
2	Adhérence sur toute la surface	Contrôle acoustique	–	Pas de vides	
3	Mise en œuvre	Contrôle visuel	–	Pas de dommages	

- C.8.2.2 Dans le cas de bandes collées, la résistance à l'adhérence par traction de la colle au support et à la bande sera d'au moins 1,5 N/mm².

c.9 Injections

- C.9.1 Les spécifications relatives aux matériaux utilisés pour l'injection de fissures, de joints de reprise et de cavités dans des constructions en béton sont données par la norme SN EN 1504-5.

Les spécifications seront fixées en fonction des conditions particulières de l'ouvrage, en tenant compte des critères suivants:

- étanchéité en fonction du temps
- valeur et pression du gonflement de matériaux susceptibles de gonfler
- viscosité
- masse volumique
- comportement au contact de l'eau
- valeur pH
- corrosion de l'acier et du béton
- variations admissibles de largeur des fissures
- adhérence au support
- exigences relatives à l'environnement, comme l'absence de solvants organiques, d'acrylamides, d'acrylamides méthyliques
- compatibilité avec les eaux souterraines et les eaux potables.

- C.9.2 L'injection de compartiments limités par des lés d'étanchéité en matière synthétique tiendra compte de la norme SN EN 1504-5 appliquée par analogie.

Les spécifications seront fixées en fonction des conditions particulières de l'ouvrage. Les critères valables sont identiques à ceux de l'injection de fissures, de joints de reprise et de cavités.

C.9.3 Les injections dans le sol à l'extérieur de l'ouvrage sont régies par la norme SN EN 12715.
Les spécifications seront fixées en fonction des conditions particulières de l'ouvrage. Les critères valables sont identiques à ceux de l'injection de fissures, de joints de reprise et de cavités.

C.9.4 Injection de l'espace annulaire entre l'excavation et les voussoirs.
Les spécifications seront fixées en fonction des conditions particulières de l'ouvrage. Les critères valables sont identiques à ceux de l'injection de fissures, de joints de reprise et de cavités.

c.10 Couches d'égalisation, d'inclinaison et de protection

C.10.1 Tableau 30 Couches d'égalisation et d'inclinaison à base de ciment

N°	Caractéristique	Essai selon	Dimension	Exigence	Remarque
1	Épaisseur		mm	≥ 4	fixé en fonction de l'ouvrage
2	Résistance à la compression	SIA 262/1	N/mm ²	≥ 20	
3	Coefficient d'absorption d'eau	SN EN 1062-3	kg/m ² √h	≤ 0,1	

C.10.2 Tableau 31 Mortier de protection

N°	Caractéristique	Essai selon	Dimension	Exigence	Remarque
1	Épaisseur		mm	≥ 50/30	horizontal/ vertical
2	Résistance à la compression	SIA 262/1	N/mm ²	≥ 20	
3	Armature				1
4	Coefficient d'absorption d'eau	SN-EN 1062-3	kg/m ² √h	≤ 0,1	2

¹ treillis ou fibres, à fixer en fonction des conditions spécifiques de l'ouvrage

² dans le cas de la pose sur la face sèche de la couche d'étanchéité

Les spécifications relatives à la résistance à la pénétration des racines sont identiques à celles concernant la couche d'étanchéité.

C.10.3 Tableau 32 Lés et plaques de protection sans fonction drainante

N°	Groupe				Caractéristique	Essai selon	Unité	Exigence	Re- marque
	B1.1	B1.2	B3	B4					
1	x	x	x	x	Masse volumique	SN EN 1849-2	kg/m ³	K	
2	x	x	x	x	Épaisseur	SN EN 1849-2	mm	≥ 2	
3	x		x	x	Résistance à la traction	SN EN ISO 527-3 type 5 100 mm/min	N/mm ²	K	
4	x		x	x	Allongement à la traction maximale	SN EN ISO 527-3 type 5 100 mm/min	%	K	
5	x		x	x	Force de poinçonnement statique (essai CBR)	SN EN ISO 12236	kN	≥ 2,5	
6.1	x		x	x	Résistance au choc	Annexe D.3.1	mm	≥ 1000	
6.2		x						≥ 1200	
7		x			Résistance chimique	SN EN 14030	%	K	¹
8	x	x	x	x	Résistance microbiologique	SN EN 12225	%	K	¹
9	x	x	x	x	Résistance aux intempéries	SN EN 12224	%	K	¹

K = Indice (Kennwert). Cette valeur correspondra à la valeur limite ou à la valeur nominale du fabricant.

¹ résistance résiduelle à la traction

C.10.4 Tableau 33 Géotextiles sans fonction drainante

N°	Groupe					Caractéristique	Essai selon	Unité	Exigence	Re- marque
	B1.1	B1.2	B2	B3	B4					
Caractéristiques générales										
1.1	x			x	x	Masse surfacique	SN EN ISO 9864	g/m ²	K	
1.2			x						≥ 500	1, 5
1.3			x						≥ 1000	2, 6
1.4		x							≥ 1500	
2	x	x	x	x	x	Épaisseur	SN EN ISO 9863-1	mm	K	
3.1	x			x	x	Résistance à la traction	SN EN ISO 10319	kN/m	≥ 15	3
3.2		x	x						K	3
4.1	x			x	x	Allongement à la traction maximale	SN EN ISO 10319	%	≥ 20	3
4.2		x	x						K	
5.1	x			x	x	Force de poinçonnement statique (essai CBR)	SN EN ISO 12236	N	≥ 2500	3
5.2		x	x						K	
6.1	x				x	Résistance à la perforation (essai par chute d'un cône)	SN EN ISO 13433	mm	≤ 10	4
6.2		x	x						K	
7.1	x			x	x	Résistance au choc	Annexe D.3.1	mm	≥ 1000	
7.2		x							≥ 1200	
8		x	x			Résistance chimique	SN EN 14030	%	K	4
9	x	x		x	x	Résistance microbiologique	SN EN 12225	%	K	4
10	x	x		x	x	Résistance aux intempéries	SN EN 12224	%	K	4
11			x			Comportement au feu	Directive AEAI	Indice	4.2 ou davantage	

Tableau 33 Géotextiles sans fonction drainante (suite)

N°	Groupe					Caractéristique	Essai selon	Unité	Exigence	Re- marque
	B1.1	B1.2	B2	B3	B4					
Autres caractéristiques (à fixer en fonction des conditions spécifiques de l'ouvrage)										
12	x	x		x	x	Efficacité de protection contre l'effet d'un impact	SN EN ISO 13428	%		
13	x	x		x	x	Efficacité de protection à long terme des géotextiles en contact avec des lés d'étanchéité géosynthétiques	DIN EN 13719	kN/m ²		
14				x	x	Comportement au cisaillement	SN EN ISO 12957-1 et SN EN ISO 12957-2			
15	x			x	x	Endommagement à la mise en œuvre	DIN EN ISO 10722			
16						Fluage sous compression	SN EN 1897			
17	x			x	x	Résistance au poinçonnement pyramidal	SN EN 14574	N		

K = Indice (Kennwert). Cette valeur correspondra à la valeur limite ou à la valeur nominale du fabricant.

¹ décalage de voussoir ≤ 15 mm

² décalage de voussoir ≥ 15 mm: égalisation au mortier nécessaire

³ autres spécifications selon la norme SN 670 243 «Géosynthétiques – Exigences à la fonction de protection»

⁴ résistance résiduelle à la traction

⁵ béton projeté, profondeur de rugosité 1–4 mm

⁶ béton projeté, profondeur de rugosité 4–8 mm

c.11 Drainage et évacuation des eaux

C.11.1 Géotextiles et membranes alvéolées en matière synthétique comme couche de drainage

Tableau 34 Lés de protection avec des fonctions protectrices et drainantes

N°	Groupe				Caractéristique	Essai selon	Unité	Exigence	Re- marque
	B1.1	B1.2	B3	B4					
Caractéristiques générales									
1.1	x	x		x	Masse surfacique	SN EN ISO 9864	g/m ²	K	
1.2			x					≥ 500	1, 7
1.3			x					≥ 1000	2, 8
2.1	x	x	x	x	Épaisseur	SN EN ISO 9863-1	mm	K	
3.2	x			x	Résistance à la traction	SN EN ISO 10319		≥ 15	3
3.3		x	x					K	3
4.1	x			x	Allongement à la traction maximale	SN EN ISO 10319	%	≥ 20	3
4.2		x	x					K	
5.1	x			x	Force de poinçonnement statique (essai CBR)	SN EN ISO 12236	N	≥ 2500	3
5.2		x	x					K	
6.1	x			x	Résistance à la perforation (essai par chute d'un cône)	SN EN ISO 13433	mm	≤ 10	4
6.2		x	x					K	
7		x			Résistance au choc	Annexe D.3.1	mm	≥ 1200	
8			x		Résistance chimique	SN EN 14030	%	K	4
9	x	x		x	Résistance microbiologique	SN EN 12225	%	K	4
10	x	x		x	Résistance aux intempéries	SN EN 12224	%	K	4
11			x		Comportement au feu	Directive AEA1 indice	Indice	4.2 ou 5.1	
12.1	x			x	Capacité de débit dans le plan pour une pression de 20 kN/m ² i = 1,0 (transmissivité)	SN EN ISO 12958	m ² /s	≥ 10 ⁻⁵	5
12.2	x			x	Pression de 20 kN/m ² i = 0,1		m ² /s	K	5
13.3		x	x		Pression de 200 kN/m ² i = 1,0 (transmissivité)		m ² /s	≥ 10 ⁻⁴	5, 6
13.4		x	x		Pression de 200 kN/m ² i = 0,1		m ² /s	K	5, 6

Tableau 34 Lés de protection avec des fonctions protectrices et drainantes (suite)

N°	Groupe				Caractéristique	Essai selon	Unité	Exigence	Re- marque
	B1.1	B1.2	B3	B4					
Autres caractéristiques (à fixer en fonction des conditions spécifiques de l'ouvrage)									
14	x	x	x	x	Efficacité de protection contre l'effet d'un impact	SN EN ISO 13428	%		
15	x	x	x	x	Efficacité de protection à long terme des géo-textiles en contact avec des lés d'étanchéité géosynthétiques	DIN EN 13719	kN/m ²		
16			x	x	Comportement au cisaillement	SN EN ISO 12957-1 et SN EN ISO 12957-2	°		
17	x		x	x	Endommagement à la mise en œuvre	DIN EN ISO 10722	%		
18					Fluage sous compression	SN EN 1897	%		
19	x		x	x	Résistance au poinçonnement pyramidal	SN EN 14574	N		

K = Indice (Kennwert). Cette valeur correspondra à la valeur limite ou à la valeur nominale du fabricant.

¹ décalage de voussoir ≤ 15 mm

² décalage de voussoir ≥ 15 mm: égalisation au mortier nécessaire

³ autres spécifications selon la norme SN 670 243 «Géosynthétiques – Exigences pour la fonction de protection»

⁴ résistance résiduelle à la traction

⁵ autres spécifications selon la norme SN 670 241 «Géosynthétiques – Exigences pour les fonctions de séparation, de filtration et de drainage»

⁶ valeur minimale, à augmenter en cas de potentiel plus élevé de concrétion

⁷ béton projeté, profondeur de rugosité 1–4 mm

⁸ béton projeté, profondeur de rugosité 4–8 mm

C.11.2 Géosynthétiques comme couche filtrante

Tableau 35

N°	Groupe				Caractéristique	Essai selon	Unité	Exigence	Re- marque
	B1.1	B1.2	B3	B4					
1	x	x	x	x	Épaisseur	SN EN ISO 9863-1	mm	K	
2	x	x	x	x	Masse surfacique	SN EN ISO 9864	g/m ²	K	
3	x	x	x	x	Résistance à la traction	SN EN ISO 10319	kN/m	≥ 6	¹
4	x	x	x	x	Allongement à la traction maximale	SN EN ISO 10319	%	≥ 30	¹
5	x	x	x		Force de poinçonnement statique (essai CBR)	SN EN ISO 12236	N	K	
6	x	x	x		Résistance à la perforation (essai par chute d'un cône)	SN EN ISO 13433	mm	≤ 40	¹
7			x		Résistance chimique	SN EN 14030	%	≤ 5	
8	x	x		x	Résistance microbiologique	SN EN 12225	%	≤ 5	
9	x	x		x	Résistance aux intempéries	SN EN 12224	%	≤ 5	
10	x	x	x	x	Ouverture de filtration caractéristique	SN EN ISO 12956	mm	≥ 0,05 ≤ 0,20	¹
11	x			x	Perméabilité perpendiculaire au plan pour une pression de 20 kN/m ²	SN 670 240	m/s	≥ 10 ⁻⁴	¹

D'autres spécifications seront fixées en fonction des conditions spécifiques de l'ouvrage.

K = Indice (Kennwert). Cette valeur correspondra à la valeur limite ou à la valeur nominale du fabricant.

¹ autres spécifications selon la norme SN 670 241 «Géosynthétiques – Exigences pour les fonctions de séparation, de filtration et de drainage»

ANNEXE D (normative)

ESSAIS

Cette annexe décrit des procédures d'essais ne faisant pas l'objet de normes et donne des compléments aux procédures normées.

D.1 Programme de contrôle

Le programme de contrôle précise le genre et l'étendue des essais relatifs aux matériaux, aux systèmes et à l'ouvrage.

D.2 Documents

Les résultats d'essais feront l'objet de rapports écrits.

D.3 Essais relatifs aux matériaux

Les essais seront conduits conformément aux normes citées à l'annexe C.

Des essais ne sont pas nécessaires pour les matériaux faisant l'objet d'un contrôle systématique de leurs caractéristiques conformément aux normes et énumérés dans un registre de la SIA.

Des essais relatifs à des exigences particulières sont susceptibles d'être entrepris en fonction des conditions spécifiques de l'ouvrage.

D.3.1 Résistance au poinçonnement mécanique de tapis de protection

L'essai est conduit en appliquant par analogie la norme SN EN 12691, édition 2006, procédure A «Support dur», avec les modifications suivantes:

Appareil d'essai: Extrémité munie d'un poinçon cylindrique diamètre 6 mm, longueur 25 mm, arêtes de base arrondies au diamètre de 3 mm.

Mesure et interprétation: le tapis de protection soumis à l'essai sera posé sur un lé d'étanchéité en matière synthétique ayant résisté à une hauteur de chute de 800 mm à l'essai de résistance à la percussion selon SIA V280 (1996). La hauteur de chute pour laquelle la combinaison lé d'étanchéité-tapis de protection est restée étanche sera retenue comme résultat.

D.4 Essais relatifs aux systèmes

Les essais auront lieu sur des échantillons en laboratoire et sur l'ouvrage.

Les essais en laboratoire et les essais sur l'ouvrage seront soumis à des exigences analogues.

D.5 Essais relatifs au support

Les essais relatifs au support seront conduits conformément aux données de l'annexe B.1.

D.6 Essais lors de la mise en œuvre

D.6.1 Contrôle de l'épaisseur de couche des mortiers étanches, des étanchéités synthétiques liquides et des revêtements de bitumes polymères

Le contrôle a lieu conformément au TP-BEL-B, partie 3, avec adaptations selon la norme SN 640 450.

D.6.2 **Contrôle de l'épaisseur de couche des lés d'étanchéité**

Le contrôle in situ a lieu au moyen d'un pied à coulisse ou conformément à la norme de produit correspondante s'il y a contestation.

D.6.3 **Essai de résistance au pelage de lés d'étanchéité en matière synthétique collés sur toute la surface et d'étanchéités synthétiques liquides**

L'essai a lieu en s'inspirant de la norme SIA 281/2. Dimension des échantillons: largeur de bande 30 mm, longueur de bande 100 mm, longueur de pince 30 mm.

D.6.4 **Contrôle de la porosité des étanchéités synthétiques liquides**

L'appareil de contrôle de la porosité présentera une tension électrique élevée de 20 à 30 kV. La tension sera réglée de manière à obtenir des étincelles d'environ 10 mm de longueur, tout en évitant d'endommager la couche d'étanchéité. L'appareil sera muni d'un indicateur d'erreur acoustique.

D.6.5 **Contrôle des couches d'étanchéité avant la pose de la couche de protection (contrôle final)**

On s'assurera par un contrôle visuel que l'étanchéité est complète et franche de défauts. L'absence de vides au droit des couches d'étanchéité et des détails de construction avec adhérence au support sera contrôlé acoustiquement.

On s'assurera lors du contrôle final que tous les protocoles d'essai de matériaux et de mise en œuvre sont disponibles. Ils font partie des documents de contrôle final.

Organisations représentées dans la commission SIA 272

PAVIDENSA	Étanchéités Revêtements Suisse
VAT	Verband für Abdichtungen im Tunnelbau
VBK	Schweizerischer Verband für Bautenschutz • Kunststofftechnik am Bau

Commission SIA 272

Président	Pius Weber, Hildisrieden	Représentant de entrepreneur
Membres	Heini Aeppli, Sarnen Roland Böni, Oberweningen Ludwig Bucher, Boswil Urs Bürgi, Zurich Jan Dirk Chabot, Berne Thomas Neidhart, Seewen Erich Reinhard, Emmenbrücke Hanspeter Rupp, Giffers Hans-Ruedi Schäfer, Lucerne René P. Schmid, Oberweningen Marcel Suter, Zurich Andrin Urech, Zurich Edi Vetterli, Zurich Raphael Wick, Ennetbaden Peter Zwicky, Sarnen	fabricant entrepreneur fabricant VBK, entrepreneur maître d'ouvrage entrepreneur PAVIDENSA VAT, entrepreneur PAVIDENSA entrepreneur maître d'ouvrage SIA, projecteur SIA, projecteur SIA, projecteur chef de service

Adoption et validité

La Commission centrale des normes et règlements de la SIA a adopté la présente norme SIA 272 le 27 novembre 2008.

Elle est valable à partir du 1^{er} octobre 2009.

Elle remplace la partie technique de la Recommandation SIA 272, *Étanchéité des ouvrages enterrés*, édition 1980.

Copyright © 2009 by SIA Zurich

Tous les droits de reproduction, même partielle, de copie intégrale ou partielle (photocopie, microcopie, CD-ROM, etc.), d'enregistrement sur ordinateur et de traduction sont réservés.

Étanchéités et drainages d'ouvrages enterrés et souterrains Correctif C1 à la norme SIA 272:2009

Numéro de référence
SN 564272-C1:2015 fr

Valable dès: 2015-03-01

Nombre de pages: 6

Editeur
Société suisse des ingénieurs
et des architectes
Zurich

Copyright © 2015 by SIA Zurich

Groupe de prix: 0

Le présent correctif SIA 272-C1:2015 à la norme SIA 272:2009 a été approuvé par la Commission SIA pour les normes du bâtiment le 19 février 2015.

Le correctif est mis à disposition sous www.sia.ch/correctif

Correctif C1 à la norme SIA 272:2009 (1^{ère} édition 2009-08)

Page	Chapitre/ Chiffre/ Figure	Précédent (Les modifications sont biffées et en gras)	Correction (Les corrections sont en gras italique)														
5	0.1	- pour l'évacuation des eaux de chaussées (norme SN 640 430)	- pour l'évacuation des eaux de chaussées (norme SN 640 340)														
11	1	Cavité pour la concrétion - Sinterhohlräum	Cavité pour éviter la concrétion - Sinterhohlräum														
22	3.1.3.4	$f_{ctd} * A_{ct}$	$f_{ctd} * A_{ct}$														
31	3.3.4.11	[...].	[...], voir le chiffre 3.3.3.11.														
32	3.4.3.9	tableau 8	tableau 9														
64	B.1 Tab. 16	Rugosité (non valable pour le béton projeté)	Rugosité														
64	B.1 Tab. 16	Planéité (non valable pour le béton projeté)	Planéité														
64	B.1 Tab. 16	Arêtes et moulures: [...] Liste triangulaire 25 x 25 mm	Arêtes et moulures: [...] Baguette triangulaire 25 x 25 mm														
64	B.1 note en bas du page	⁴ [...], voir annexe C.10.3	⁴ [...], voir des annexes C10.3 et C.10.4														
68	C.4.1.1	Le groupe d'application B1 est subdivisé en un groupe B1.1 « Étanchéité contre l'humidité du sol et les venues d'eau » et un groupe B1.2 «Tunnels à ciel ouvert et ouvrages enterrés».	Le groupe d'application B1 est subdivisé en un groupe B1.1 «Etanchéités en souterrain contre les eaux sous pression et les eaux sans pression hydrostatique» et un groupe B1.2 «Tunnels à ciel ouvert et ouvrages enterrés».														
70	C.4.1.1 Tab. 20 note en bas du page	<table border="1"> <tr> <td>3</td> <td>x</td> <td>Perméabilité</td> <td>SN EN 14150</td> <td>$m^3/m^2 \cdot d$</td> <td>$\leq 1 \times 10^{-5}$</td> <td></td> </tr> </table>	3	x	Perméabilité	SN EN 14150	$m^3/m^2 \cdot d$	$\leq 1 \times 10^{-5}$		<table border="1"> <tr> <td>3</td> <td>x</td> <td>Perméabilité</td> <td>SN EN 14150</td> <td>$m^3/m^2 \cdot d$</td> <td>$\leq 1 \times 10^{-5}$</td> <td>⁸</td> </tr> </table> <p>⁸ Pour l'application en Suisse les exigences sont considérées comme atteintes si les caractéristiques du No 4 selon la procédure B (EN 1928), 24 h, 500kPa sont remplies (étanche). L'annotation 8 ne doit pas être appliquée dans le cadre du procédé d'attestation de conformité.</p>	3	x	Perméabilité	SN EN 14150	$m^3/m^2 \cdot d$	$\leq 1 \times 10^{-5}$	⁸
3	x	Perméabilité	SN EN 14150	$m^3/m^2 \cdot d$	$\leq 1 \times 10^{-5}$												
3	x	Perméabilité	SN EN 14150	$m^3/m^2 \cdot d$	$\leq 1 \times 10^{-5}$	⁸											

Page	Chapitre/ Chiffre/ Figure	Précédent (Les modifications sont biffées et en gras)	Correction (Les corrections sont en gras italique)																																																																								
71	C.4.3.1 Tab. 21	<table border="1"> <thead> <tr> <th>N°</th> <th>Caractéristique</th> <th>Essai selon</th> <th>Dimension</th> <th>Exigence</th> <th>Remarque</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Résistance à l'adhérence par traction</td> <td>SIA 281/3</td> <td>N/mm²</td> <td>≥ 0,76 à 5°C¹ ≥ 0,26 à 30°C¹</td> <td>Interpoler linéairement entre les températures</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Résistance au pelage essai mécanique²</td> <td>SIA 281/2</td> <td>N/mm</td> <td>≥ 3,1 à 5°C^{1,4} ≥ 0,5 à 30°C^{1,4}</td> <td>Interpoler linéairement entre les températures</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Résistance au pelage essai manuel³</td> <td>SIA 281/2</td> <td>-</td> <td>Degré 3 ou 4⁴</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Adhérence sur toute la surface</td> <td>Contrôle acoustique</td> <td>-</td> <td>Pas de vides ≥ 100 cm²</td> <td>Essai au marteau ou au râteau à feuille</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Mise en oeuvre</td> <td>Contrôle acoustique</td> <td>-</td> <td>Pas de dommages</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	N°	Caractéristique	Essai selon	Dimension	Exigence	Remarque	1	Résistance à l'adhérence par traction	SIA 281/3	N/mm ²	≥ 0,76 à 5°C ¹ ≥ 0,26 à 30°C ¹	Interpoler linéairement entre les températures	2	Résistance au pelage essai mécanique ²	SIA 281/2	N/mm	≥ 3,1 à 5°C ^{1,4} ≥ 0,5 à 30°C ^{1,4}	Interpoler linéairement entre les températures	3	Résistance au pelage essai manuel ³	SIA 281/2	-	Degré 3 ou 4 ⁴		4	Adhérence sur toute la surface	Contrôle acoustique	-	Pas de vides ≥ 100 cm ²	Essai au marteau ou au râteau à feuille	5	Mise en oeuvre	Contrôle acoustique	-	Pas de dommages		<table border="1"> <thead> <tr> <th>N°</th> <th>Caractéristique</th> <th>Essai selon</th> <th>Dimension</th> <th>Exigence</th> <th>Remarque</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Résistance à l'adhérence par traction</td> <td>SIA 281/3</td> <td>N/mm²</td> <td>≥ 0,76 à 5°C¹ ≥ 0,26 à 30°C¹</td> <td>Interpoler linéairement entre les températures</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Résistance au pelage essai mécanique²</td> <td>SIA 281/2 Procédé A</td> <td>N/mm</td> <td>≥ 3,1 à 5°C^{1,4} ≥ 0,5 à 30°C^{1,4}</td> <td>Interpoler linéairement entre les températures</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Résistance au pelage essai manuel³</td> <td>SIA 281/2 Procédé C</td> <td>-</td> <td>Degré 3 ou 4⁴</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Adhérence sur toute la surface</td> <td>Contrôle acoustique</td> <td>-</td> <td>Pas de vides ≥ 100 cm²</td> <td>Essai au marteau ou au râteau à feuille</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Mise en oeuvre</td> <td>Contrôle acoustique</td> <td>-</td> <td>Pas de dommages</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	N°	Caractéristique	Essai selon	Dimension	Exigence	Remarque	1	Résistance à l'adhérence par traction	SIA 281/3	N/mm ²	≥ 0,76 à 5°C ¹ ≥ 0,26 à 30°C ¹	Interpoler linéairement entre les températures	2	Résistance au pelage essai mécanique ²	SIA 281/2 Procédé A	N/mm	≥ 3,1 à 5°C ^{1,4} ≥ 0,5 à 30°C ^{1,4}	Interpoler linéairement entre les températures	3	Résistance au pelage essai manuel ³	SIA 281/2 Procédé C	-	Degré 3 ou 4 ⁴		4	Adhérence sur toute la surface	Contrôle acoustique	-	Pas de vides ≥ 100 cm ²	Essai au marteau ou au râteau à feuille	5	Mise en oeuvre	Contrôle acoustique	-	Pas de dommages	
N°	Caractéristique	Essai selon	Dimension	Exigence	Remarque																																																																						
1	Résistance à l'adhérence par traction	SIA 281/3	N/mm ²	≥ 0,76 à 5°C ¹ ≥ 0,26 à 30°C ¹	Interpoler linéairement entre les températures																																																																						
2	Résistance au pelage essai mécanique ²	SIA 281/2	N/mm	≥ 3,1 à 5°C ^{1,4} ≥ 0,5 à 30°C ^{1,4}	Interpoler linéairement entre les températures																																																																						
3	Résistance au pelage essai manuel ³	SIA 281/2	-	Degré 3 ou 4 ⁴																																																																							
4	Adhérence sur toute la surface	Contrôle acoustique	-	Pas de vides ≥ 100 cm ²	Essai au marteau ou au râteau à feuille																																																																						
5	Mise en oeuvre	Contrôle acoustique	-	Pas de dommages																																																																							
N°	Caractéristique	Essai selon	Dimension	Exigence	Remarque																																																																						
1	Résistance à l'adhérence par traction	SIA 281/3	N/mm ²	≥ 0,76 à 5°C ¹ ≥ 0,26 à 30°C ¹	Interpoler linéairement entre les températures																																																																						
2	Résistance au pelage essai mécanique ²	SIA 281/2 Procédé A	N/mm	≥ 3,1 à 5°C ^{1,4} ≥ 0,5 à 30°C ^{1,4}	Interpoler linéairement entre les températures																																																																						
3	Résistance au pelage essai manuel ³	SIA 281/2 Procédé C	-	Degré 3 ou 4 ⁴																																																																							
4	Adhérence sur toute la surface	Contrôle acoustique	-	Pas de vides ≥ 100 cm ²	Essai au marteau ou au râteau à feuille																																																																						
5	Mise en oeuvre	Contrôle acoustique	-	Pas de dommages																																																																							
72	C.5.1.1	Le groupe d'application B1 est subdivisé en un groupe B1.1 « Étanchéité contre l'humidité du sol et les venues d'eau » et un groupe B1.2 «Tunnels à ciel ouvert et ouvrages enterrés».	Le groupe d'application B1 est subdivisé en un groupe B1.1 « Étanchéité en souterrain contre les eaux sous pression et les eaux sans pression hydrostatique » et un groupe B1.2 «Tunnels à ciel ouvert et ouvrages enterrés».																																																																								
75	C.5.1.1 Tab. 22 note en bas du page	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>11</td> <td></td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>Durabilité de l'étanchéité exposée au vieillissement artificiel</td> <td>SN EN 14575</td> <td>%</td> <td>≥ 75</td> <td>⁶</td> </tr> </tbody> </table>	11		x	x	x	x	x	Durabilité de l'étanchéité exposée au vieillissement artificiel	SN EN 14575	%	≥ 75	⁶	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>11</td> <td></td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>Durabilité de l'étanchéité exposée au vieillissement artificiel</td> <td>SN EN 14575</td> <td>%</td> <td>≥ 75</td> <td>^{6,7}</td> </tr> </tbody> </table> <p>⁷ Uniquement pour les lés d'étanchéité à base de polyoléfine.</p>	11		x	x	x	x	x	Durabilité de l'étanchéité exposée au vieillissement artificiel	SN EN 14575	%	≥ 75	^{6,7}																																																
11		x	x	x	x	x	Durabilité de l'étanchéité exposée au vieillissement artificiel	SN EN 14575	%	≥ 75	⁶																																																																
11		x	x	x	x	x	Durabilité de l'étanchéité exposée au vieillissement artificiel	SN EN 14575	%	≥ 75	^{6,7}																																																																

Page	Chapitre/ Chiffre/ Figure	Précédent (Les modifications sont bifées et en gras)	Correction (Les corrections sont en gras italique)																																																																		
75	C.5.1.1 Tab. 22 note en bas du page	<table border="1"> <tr> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>Perméabilité</td> <td>SN EN 14150</td> <td>m³/m²d</td> <td>≤ 1 x 10⁻⁵</td> <td></td> </tr> </table>	3			x	x	x	x	x	Perméabilité	SN EN 14150	m ³ /m ² d	≤ 1 x 10 ⁻⁵		<table border="1"> <tr> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>Perméabilité</td> <td>SN EN 14150</td> <td>m³/m²d</td> <td>≤ 1 x 10⁻⁵</td> <td>¹²</td> </tr> </table> <p>¹² Pour l'application en Suisse les exigences sont considérées comme atteintes si les caractéristiques du No 14 selon la procédure B (EN 1928), 24 h 500kPa, sont remplies. L'annotation 12 ne doit pas être appliquée dans le cadre du procédé d'attestation de conformité.</p>	3			x	x	x	x	x	Perméabilité	SN EN 14150	m ³ /m ² d	≤ 1 x 10 ⁻⁵	¹²																																								
3			x	x	x	x	x	Perméabilité	SN EN 14150	m ³ /m ² d	≤ 1 x 10 ⁻⁵																																																										
3			x	x	x	x	x	Perméabilité	SN EN 14150	m ³ /m ² d	≤ 1 x 10 ⁻⁵	¹²																																																									
76	C.5.3.1 Tab. 23	<table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Caractéristique</th> <th>Essai selon</th> <th>Dimension</th> <th>Exigence</th> <th>Re- marque</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>résistance à l'adhérence par traction 1</td> <td>SIA 281/3</td> <td>N/mm2</td> <td>≥ 1,5 à 5°C 2 ≥ 0,9 à 30°C 2</td> <td>Interpoler linéairement entre les températures</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>résistance à l'adhérence par traction 1 essai mécanique</td> <td>Annexe-D</td> <td>N/mm</td> <td>≥ 1,5 à 5°C 2 ≥ 0,8 à 30°C 2</td> <td>Interpoler linéairement entre les températures</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>résistance à l'adhérence par traction 1 essai manuel</td> <td>Annexe-D</td> <td>-</td> <td>degré 3 ou 4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Adhérence sur toute la surface 1</td> <td>Contrôle acoustique</td> <td>-</td> <td>pas de vides</td> <td>Essai au marteau ou au râteau à feuilles</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Soudures Soudure à recouvrement avec canal de contrôle Soudure à recouvrement sans canal de contrôle</td> <td>DVS 2225, partie 2 paragraphe 4.5.2 (essai à l'air comprimé) paragraphe 4.4 (essai de pelage) Paragraphe 4.2 (examen visuel à l'aiguille) Paragraphe 4.5.3 (essai</td> <td>-</td> <td>Pression d'essai 2 bar chute de pression ≤ 10% en 10 min. Résistance au pelage ≥ 60 % de la traction comparable à 100 % d'allongement Ni irrégularités ni défauts Pas de cloques</td> <td>Essai à l'air comprimé ou liquide coloré</td> </tr> </tbody> </table>	No.	Caractéristique	Essai selon	Dimension	Exigence	Re- marque	1	résistance à l'adhérence par traction 1	SIA 281/3	N/mm2	≥ 1,5 à 5°C 2 ≥ 0,9 à 30°C 2	Interpoler linéairement entre les températures	2	résistance à l'adhérence par traction 1 essai mécanique	Annexe-D	N/mm	≥ 1,5 à 5°C 2 ≥ 0,8 à 30°C 2	Interpoler linéairement entre les températures	3	résistance à l'adhérence par traction 1 essai manuel	Annexe-D	-	degré 3 ou 4		4	Adhérence sur toute la surface 1	Contrôle acoustique	-	pas de vides	Essai au marteau ou au râteau à feuilles	5	Soudures Soudure à recouvrement avec canal de contrôle Soudure à recouvrement sans canal de contrôle	DVS 2225, partie 2 paragraphe 4.5.2 (essai à l'air comprimé) paragraphe 4.4 (essai de pelage) Paragraphe 4.2 (examen visuel à l'aiguille) Paragraphe 4.5.3 (essai	-	Pression d'essai 2 bar chute de pression ≤ 10% en 10 min. Résistance au pelage ≥ 60 % de la traction comparable à 100 % d'allongement Ni irrégularités ni défauts Pas de cloques	Essai à l'air comprimé ou liquide coloré	<table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Caractéristique</th> <th>Essai selon</th> <th>Dimension</th> <th>Exigence</th> <th>Re- marque</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>résistance à l'adhérence par traction 1</td> <td>SIA 281/3</td> <td>N/mm2</td> <td>≥ 1,5 à 5°C 2 ≥ 0,9 à 30°C 2</td> <td>Interpoler linéairement entre les températures</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>résistance à l'adhérence par traction 1 essai mécanique</td> <td>SIA 281/2 Procédé B</td> <td>N/mm</td> <td>≥ 1,5 à 5°C 2 ≥ 0,8 à 30°C 2</td> <td>Interpoler linéairement entre les températures</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Adhérence sur toute la surface 1</td> <td>Contrôle acoustique</td> <td>-</td> <td>pas de vides</td> <td>Essai au marteau ou au râteau à feuilles</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Soudures Soudure à recouvrement avec canal de contrôle Soudure à recouvrement sans canal de contrôle</td> <td>DVS 2225, partie 2 paragraphe 4.5.2 (essai à l'air comprimé) paragraphe 4.4 (essai de pelage) Paragraphe 4.2 (examen visuel à l'aiguille) Paragraphe 4.5.3 (essai</td> <td>-</td> <td>Pression d'essai 2 bar chute de pression ≤ 10% en 10 min. Résistance au pelage ≥ 60 % de la traction comparable à 100 % d'allongement Ni irrégularités ni défauts Pas de cloques</td> <td>Essai à l'air comprimé ou liquide coloré</td> </tr> </tbody> </table>	No.	Caractéristique	Essai selon	Dimension	Exigence	Re- marque	1	résistance à l'adhérence par traction 1	SIA 281/3	N/mm2	≥ 1,5 à 5°C 2 ≥ 0,9 à 30°C 2	Interpoler linéairement entre les températures	2	résistance à l'adhérence par traction 1 essai mécanique	SIA 281/2 Procédé B	N/mm	≥ 1,5 à 5°C 2 ≥ 0,8 à 30°C 2	Interpoler linéairement entre les températures	4	Adhérence sur toute la surface 1	Contrôle acoustique	-	pas de vides	Essai au marteau ou au râteau à feuilles	5	Soudures Soudure à recouvrement avec canal de contrôle Soudure à recouvrement sans canal de contrôle	DVS 2225, partie 2 paragraphe 4.5.2 (essai à l'air comprimé) paragraphe 4.4 (essai de pelage) Paragraphe 4.2 (examen visuel à l'aiguille) Paragraphe 4.5.3 (essai	-	Pression d'essai 2 bar chute de pression ≤ 10% en 10 min. Résistance au pelage ≥ 60 % de la traction comparable à 100 % d'allongement Ni irrégularités ni défauts Pas de cloques	Essai à l'air comprimé ou liquide coloré
No.	Caractéristique	Essai selon	Dimension	Exigence	Re- marque																																																																
1	résistance à l'adhérence par traction 1	SIA 281/3	N/mm2	≥ 1,5 à 5°C 2 ≥ 0,9 à 30°C 2	Interpoler linéairement entre les températures																																																																
2	résistance à l'adhérence par traction 1 essai mécanique	Annexe-D	N/mm	≥ 1,5 à 5°C 2 ≥ 0,8 à 30°C 2	Interpoler linéairement entre les températures																																																																
3	résistance à l'adhérence par traction 1 essai manuel	Annexe-D	-	degré 3 ou 4																																																																	
4	Adhérence sur toute la surface 1	Contrôle acoustique	-	pas de vides	Essai au marteau ou au râteau à feuilles																																																																
5	Soudures Soudure à recouvrement avec canal de contrôle Soudure à recouvrement sans canal de contrôle	DVS 2225, partie 2 paragraphe 4.5.2 (essai à l'air comprimé) paragraphe 4.4 (essai de pelage) Paragraphe 4.2 (examen visuel à l'aiguille) Paragraphe 4.5.3 (essai	-	Pression d'essai 2 bar chute de pression ≤ 10% en 10 min. Résistance au pelage ≥ 60 % de la traction comparable à 100 % d'allongement Ni irrégularités ni défauts Pas de cloques	Essai à l'air comprimé ou liquide coloré																																																																
No.	Caractéristique	Essai selon	Dimension	Exigence	Re- marque																																																																
1	résistance à l'adhérence par traction 1	SIA 281/3	N/mm2	≥ 1,5 à 5°C 2 ≥ 0,9 à 30°C 2	Interpoler linéairement entre les températures																																																																
2	résistance à l'adhérence par traction 1 essai mécanique	SIA 281/2 Procédé B	N/mm	≥ 1,5 à 5°C 2 ≥ 0,8 à 30°C 2	Interpoler linéairement entre les températures																																																																
4	Adhérence sur toute la surface 1	Contrôle acoustique	-	pas de vides	Essai au marteau ou au râteau à feuilles																																																																
5	Soudures Soudure à recouvrement avec canal de contrôle Soudure à recouvrement sans canal de contrôle	DVS 2225, partie 2 paragraphe 4.5.2 (essai à l'air comprimé) paragraphe 4.4 (essai de pelage) Paragraphe 4.2 (examen visuel à l'aiguille) Paragraphe 4.5.3 (essai	-	Pression d'essai 2 bar chute de pression ≤ 10% en 10 min. Résistance au pelage ≥ 60 % de la traction comparable à 100 % d'allongement Ni irrégularités ni défauts Pas de cloques	Essai à l'air comprimé ou liquide coloré																																																																

Page	Chapitre/ Chiffre/ Figure	Précédent (Les modifications sont biffées et en gras)					Correction (Les corrections sont en gras italique)																																																																												
				au vide)																																																																															
		6	Mise en oeuvre	Contrôle visuel	-	Pas de dommages																																																																													
81	C.7.3 Tab. 27	<table border="1"> <thead> <tr> <th>N°</th> <th>Caractéristique</th> <th>Essai selon</th> <th>Dimension</th> <th>Exigence</th> <th>Remarque</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>résistance à l'adhérence par traction</td> <td>SIA 282 annexe F</td> <td>N/mm²</td> <td>MW ≥ 1,5 EW ≥ 1,0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Résistance au pelage par traction</td> <td>Annexe D</td> <td>N/mm</td> <td>MW ≥ 7,0 EW ≥ 5,0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Épaisseur de couche</td> <td>Annexe D</td> <td>mm</td> <td>Épaisseur minimale selon chiffre 3.7.3.3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Adhérence sur toute la surface</td> <td>Contrôle acoustique</td> <td>-</td> <td>Pas de vides</td> <td>Essai au marteau ou au râteau à feuilles</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Porosité</td> <td>Annexe D</td> <td>-</td> <td>Pas de pores</td> <td>Appareil de mesure des pores</td> </tr> </tbody> </table>					N°	Caractéristique	Essai selon	Dimension	Exigence	Remarque	1	résistance à l'adhérence par traction	SIA 282 annexe F	N/mm ²	MW ≥ 1,5 EW ≥ 1,0		2	Résistance au pelage par traction	Annexe D	N/mm	MW ≥ 7,0 EW ≥ 5,0		3	Épaisseur de couche	Annexe D	mm	Épaisseur minimale selon chiffre 3.7.3.3		4	Adhérence sur toute la surface	Contrôle acoustique	-	Pas de vides	Essai au marteau ou au râteau à feuilles	5	Porosité	Annexe D	-	Pas de pores	Appareil de mesure des pores	<table border="1"> <thead> <tr> <th>N°</th> <th>Caractéristique</th> <th>Essai selon</th> <th>Dimension</th> <th>Exigence</th> <th>Remarque</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>résistance à l'adhérence par traction</td> <td>SIA 282 annexe F</td> <td>N/mm²</td> <td>MW ≥ 1,5 EW ≥ 1,0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Résistance au pelage par traction</td> <td>SIA 281/2 Procédé B</td> <td>N/mm</td> <td>MW ≥ 7,0 EW ≥ 5,0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Épaisseur de couche</td> <td>Annexe D</td> <td>mm</td> <td>Épaisseur minimale selon chiffre 3.7.3.3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Adhérence sur toute la surface</td> <td>Contrôle acoustique</td> <td>-</td> <td>Pas de vides</td> <td>Essai au marteau ou au râteau à feuilles</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Porosité</td> <td>Annexe D</td> <td>-</td> <td>Pas de pores</td> <td>Appareil de mesure des pores</td> </tr> </tbody> </table>					N°	Caractéristique	Essai selon	Dimension	Exigence	Remarque	1	résistance à l'adhérence par traction	SIA 282 annexe F	N/mm ²	MW ≥ 1,5 EW ≥ 1,0		2	Résistance au pelage par traction	SIA 281/2 Procédé B	N/mm	MW ≥ 7,0 EW ≥ 5,0		3	Épaisseur de couche	Annexe D	mm	Épaisseur minimale selon chiffre 3.7.3.3		4	Adhérence sur toute la surface	Contrôle acoustique	-	Pas de vides	Essai au marteau ou au râteau à feuilles	5	Porosité	Annexe D	-	Pas de pores	Appareil de mesure des pores
N°	Caractéristique	Essai selon	Dimension	Exigence	Remarque																																																																														
1	résistance à l'adhérence par traction	SIA 282 annexe F	N/mm ²	MW ≥ 1,5 EW ≥ 1,0																																																																															
2	Résistance au pelage par traction	Annexe D	N/mm	MW ≥ 7,0 EW ≥ 5,0																																																																															
3	Épaisseur de couche	Annexe D	mm	Épaisseur minimale selon chiffre 3.7.3.3																																																																															
4	Adhérence sur toute la surface	Contrôle acoustique	-	Pas de vides	Essai au marteau ou au râteau à feuilles																																																																														
5	Porosité	Annexe D	-	Pas de pores	Appareil de mesure des pores																																																																														
N°	Caractéristique	Essai selon	Dimension	Exigence	Remarque																																																																														
1	résistance à l'adhérence par traction	SIA 282 annexe F	N/mm ²	MW ≥ 1,5 EW ≥ 1,0																																																																															
2	Résistance au pelage par traction	SIA 281/2 Procédé B	N/mm	MW ≥ 7,0 EW ≥ 5,0																																																																															
3	Épaisseur de couche	Annexe D	mm	Épaisseur minimale selon chiffre 3.7.3.3																																																																															
4	Adhérence sur toute la surface	Contrôle acoustique	-	Pas de vides	Essai au marteau ou au râteau à feuilles																																																																														
5	Porosité	Annexe D	-	Pas de pores	Appareil de mesure des pores																																																																														
91	Annexe D	<p>D.6.3 Essai de résistance au pelage de lés d'étanchéité en matière synthétique collés sur toute la surface et d'étanchéités synthétiques liquides</p> <p>L'essai a lieu en s'inspirant de la norme SIA 281/2. Dimension des échantillons: largeur de bande 30 mm, longueur de bande 100 mm, longueur de pince 30 mm.</p>					<p>„biffé sans remplacement“</p>																																																																												

Etanchéités et drainages d'ouvrages enterrés et souterrains

Correctif C2 à la norme SIA 272:2009

Numéro de référence
SN 564272-C2:2018 fr

Valable dès: 2018-07-01

Nombre de pages: 6

Editeur
Société suisse des ingénieurs
et des architectes
Zurich

Copyright © 2018 by SIA Zurich

Groupe de prix: 0

Le présent correctif SIA 272-C2:2018 à la norme SIA 272:2009 a été approuvé par la Commission SIA pour les normes du bâtiment le 14 février 2018.

Le correctif est mis à disposition sous www.sia.ch/correctif

Correctif C2 à la norme SIA 272:2009 (1^{ère} édition 2009-08)

Page	Chapitre/ Chiffre/ Figure	Précédent (Les modifications sont biffées et en gras)	Correction (Les corrections sont en gras italique)
23	3.1.3.4	<p>La fissuration d'ouvrages en béton est inévitable. Elle est due au retrait et au fluage du béton, aux effets d'entraves, aux actions thermiques et statiques, aux déformations du terrain de fondation, à l'usure, aux actions d'ordre chimique (p.ex. les chlorures), aux réactions alcali-agrégat, à des actions d'ordre biologique. Ces actions peuvent être temporaires ou permanentes.</p> <p>Les fissures sont susceptibles d'être le siège de circulations d'eau à partir d'une largeur de 0,1 mm. Les mesures à prendre pour limiter la fissuration au moyen d'armatures (teneur et disposition) ou au moyen d'éléments de fissuration programmée seront définies dans le projet. Les fissures apparaissant malgré tout seront étanchées par des bandes collées ou au moyen d'injections de résine synthétique.</p> <p>Les variations de largeur des fissures sont dues aux actions citées. Elles se manifestent de manière répétitive sous forme statique ou dynamique. Elles seront déterminées dans le projet. Le choix des matériaux d'étanchement adéquats (produits d'injection, bandes collées) dépend des variations de largeur présumées.</p> <p>La formation de fissures sera réduite au minimum en appliquant la recommandation suivante pour la section d'armature :</p> $A_{s\min} = \frac{f_{ctd} \cdot A_{ot}}{\sigma_{adm}}$ <p>Pour la classe d'étanchéité 1: $\sigma_{adm} = 360 \sqrt{\frac{10}{\varnothing}}$ N/mm²</p> <p>Pour la classe d'étanchéité 2: $\sigma_{adm} = 435 \sqrt{\frac{10}{\varnothing}}$ N/mm²</p> <p>Pour la classe d'étanchéité 3: $\sigma_{adm} = 500 \sqrt{\frac{10}{\varnothing}}$ N/mm²</p> <p>\varnothing = diamètre de barre choisi en mm</p> <p>À partir d'une épaisseur d'élément d'environ h = 0,80 m, l'épaisseur active h' de l'élément de construction peut être tirée du tableau suivant.</p>	<p>La fissuration d'ouvrages en béton est inévitable. Elle peut être due au retrait, aux effets d'entraves, aux variations de température, à l'action des charges, aux déformations du sol de fondation, à l'usure, aux actions d'ordre chimique (p.ex. les chlorures), aux réactions alcali-agrégat, à des actions d'ordre biologique. Ces actions peuvent être temporaires ou permanentes. Selon le type d'action, des fissures peuvent déjà apparaître au cours de la prise du béton ou alors seulement après des mois, voire après des années.</p> <p>Les fissures sont susceptibles d'être le siège de circulations d'eau à partir d'une largeur de 0,1 mm. Les mesures à prendre pour limiter la fissuration au moyen d'armatures (teneur et disposition), au moyen d'éléments de fissuration programmée ou de toute autre mesure adéquate seront définies dans le projet. Les fissures apparaissant malgré tout seront étanchées par exemple à l'aide de bandes collées et/ou d'injections.</p> <p>Les variations de largeur des fissures sont dues aux actions citées. Elles se manifestent de manière répétitive sous forme statique ou dynamique. Elles seront déterminées dans le projet. Le choix des mesures d'étanchement adéquates (produits d'injection, bandes collées) dépend des variations de largeur présumées.</p> <p>La formation de fissures sera réduite à un minimum par la mise en place d'une armature minimale selon la norme SIA 262.</p> <p>Classe d'étanchéité 1 = exigences élevées, prévision d'ouverture nominale des fissures ≤ 0,2 mm</p> <p>Classe d'étanchéité 2 = exigences accrues, prévision d'ouverture nominale des fissures ≤ 0,5 mm</p> <p>Classe d'étanchéité 3 = exigences normales</p> <p>La zone de traction efficace du béton utilisée pour le calcul sera réduite selon la norme SIA 262 (formule 99).</p> <p>Les espacements d'armatures ne doivent pas dépasser 150 mm pour les classes d'étanchéité 1 à 3. Le chiffre 5.2.3 de la norme SIA 262 relatif aux espacements minims sera pris en considération.</p> <p>Si l'on peut vérifier que la mise en œuvre de mesures particulières, comme des éléments de fissuration programmée par exemple, empêcheront dans</p>

Page	Chapitre/ Chiffre/ Figure	Précédent (Les modifications sont biffées et en gras)	Correction (Les corrections sont en <i>gras italique</i>)																						
		<p>Tableau 6 — Épaisseur active d'élément de construction en m pour une sollicitation à la traction</p> <table border="1" data-bbox="248 763 858 826"> <tr> <td>Épaisseur effective</td> <td>h</td> <td>0,80</td> <td>0,90</td> <td>1,00</td> <td>1,10</td> <td>1,20</td> <td>1,30</td> <td>1,40</td> <td>1,50</td> <td>≥ 1,60</td> </tr> <tr> <td>Épaisseur active</td> <td>h¹</td> <td>0,80</td> <td>0,87</td> <td>0,94</td> <td>1,00</td> <td>1,04</td> <td>1,08</td> <td>1,12</td> <td>1,16</td> <td>1,20</td> </tr> </table> <p>Au-delà de 1,60 m, l'épaisseur active conserve la valeur de 1,20 m, il est admis que la zone active de la section est au maximum de 0,60 m.</p> <p>Les valeurs de limitation des contraintes obtenues par ces formules sont situées entre les valeurs des courbes B et C de la figure 31 de la norme SIA 262.</p> <p>Les espacements d'armatures ne doivent pas dépasser 150 mm pour les classes d'étanchéité 1 à 3. Le chiffre 5.2.3 de la norme SIA 262 relatif aux espacements minimaux sera pris en considération.</p> <p>Sans autres dispositions et en fonction de l'armature, on peut s'attendre, sur la base de calculs, aux largeurs de fissures approximatives suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> — classe d'étanchéité 1 — 0,1 à 0,2 mm — classe d'étanchéité 2 — 0,2 à 0,4 mm — classe d'étanchéité 3 — 0,4 à 0,7 mm <p>Une réduction de ces largeurs est possible si le retrait et le glissement du radier sur le support ne sont pas entravés (pas de forces de frottement), et si des éléments de fissuration programmée et des modèles statiques simples comprenant des joints étanchés de manière adéquate sont prévus.</p> <p>Les ouvrages de classe d'étanchéité 4 ne sont pas soumis à des recommandations particulières.</p>	Épaisseur effective	h	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	≥ 1,60	Épaisseur active	h ¹	0,80	0,87	0,94	1,00	1,04	1,08	1,12	1,16	1,20	<p>tous les cas que la force de fissuration admissible ne soit atteinte, on pourra <i>réduire l'armature exigée</i>.</p> <p>Dans tous les cas, l'<i>armature minimale</i> doit être disposée des deux côtés de la section de béton.</p> <p>Une réduction de ces largeurs est possible si le retrait et le glissement du radier sur le support ne sont pas entravés (forces de frottement réduites), et si des éléments de fissuration programmée et des modèles statiques simples comprenant des joints étanchés de manière adéquate sont prévus.</p> <p>Les ouvrages de classe d'étanchéité 4 ne sont pas soumis à des recommandations particulières.</p>
Épaisseur effective	h	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	≥ 1,60															
Épaisseur active	h ¹	0,80	0,87	0,94	1,00	1,04	1,08	1,12	1,16	1,20															