

INTRODUCTION	3
1.1. Généralité	3
1.2. Produits RENOLIT	3
1.3. Qualité du revêtement- Exigences	3
o Imperméabilité.....	3
o Souplesse.....	3
o Résistance chimique.....	3
2. GEOMEMBRANES RENOLIT	4
2.1. Géomembranes RENOLIT ALKORPLAN	4
2.1.1. Références Géomembranes RENOLIT ALKORPLAN	4
2.1.2. Propriétés	4
2.1.3. Caractéristiques	5
2.2. Géomembranes RENOLIT ALKORTOP	5
2.2.1. Références Géomembranes RENOLIT ALKORTOP	5
2.2.2. Propriétés	5
2.2.3. Caractéristiques	6
2.3. Accessoires	6
2.4. Process de production de RENOLIT	6
2.5. Géomembrane recommandées	6
2.6. Géomembrane recommandées	8
3. CONCEPTION DU SYSTEME D'ETANCHEITE	8
3.1. Composants	8
3.2. Support	9
3.3. Installation du drainage	9
4. INSTALLATION DU SYSTEME D'ETANCHEITE	10
4.1. Installation du Géotextile	11
4.2. Fixation des rondelles	12
4.3. Installation de la Géomembrane	12
4.4. Bande de renfort	13
4.5. Béton de la voûte	13
4.6. Ancrages pour les fers à béton de l'armature	14
4.7. Système de compartimentage	15
4.8. Système collé	16
5. MATERIEL	16
5.1. Géomembrane	16
5.1.1. Membrane Signal Layer	17
5.1.2. Membrane Translucide	17
5.1.3. Résistance de la géomembrane PVC-P RENOLIT ALKORPLAN sous pression	18
5.2. Géotextile	19
5.3. Bande d'arrêt d'eau (water stop)	19
5.3.1. Water stop avec joint de dilatation	19
6.3.1. Water stop de compartimentation	20

5.4. Dispositif d'injection	20
5.5. Echafaudage	21
5.5.1. Echafaudage manuel.....	21
5.5.2. Echafaudage hydraulique.....	21
5.6. Appareil de soudage	21
5.6.1 Machine automatique de soudure à chaud de coin	21
5.6.2. Machine automatique de soudure à air chaud.....	22
5.6.3. Soudure manuelle.....	22

INTRODUCTION

1.1. Généralité

L'utilisation des géomembranes PVC-P comme Étanchéité de Tunnel sous pression d'eau est une technologie sophistiquée et sûre pour protéger les constructions contre les influences destructrices de l'eau.

Selon les arrivées d'eau (humidité, pression de l'eau temporaires, pression d'eau permanente) le système d'étanchéité doit être adapté en conséquence. Cela s'exprime par l'épaisseur de la géomembrane et un système de contrôle et de réparation. Sous l'influence de la pression d'eau permanente de la géomembrane doit avoir une épaisseur minimale de 2,0 mm.

Cette description technique explique l'utilisation de géomembranes pour l'étanchéité RENOLIT en Étanchéité des Tunnels sous infiltration.

1.2. Produits RENOLIT

RENOLIT présente une large gamme de géomembranes synthétiques destinées à la réalisation d'étanchéité des Étanchéités des Tunnels sous infiltration :

- o Géomembrane RENOLIT ALKORPLAN PVC-P
- o Géomembrane RENOLIT ALKORTOP PP

1.3. Qualité du revêtement- Exigences

La qualité de l'étanchéité dépend de:

- o Choix de la géomembrane
- o Système d'étanchéité incluant la préparation du support
- o Manière d'exécution des travaux (Support, Drainage, Système d'étanchéité, Protection)
- o Imperméabilité
Dépend du type de membrane utilisée (nature, l'épaisseur) afin de résister à toutes les influences (pression, état du support)
- o Souplesse
Cette question doit être prise en considération lors de la conception du projet. Selon la forme de la construction, le type de membrane doit être choisi
- o Résistance chimique
Pollution du sol et des eaux souterraines.

2. GEOMEMBRANES RENOLIT

2.1. Géomembranes RENOLIT ALKORPLAN

Les géomembranes RENOLIT ALKORPLAN sont des géomembranes en PVC-P plastifiées, souples, homogènes ou renforcées.

2.1.1. Références Géomembranes RENOLIT ALKORPLAN

Les membranes dénommées ci-dessous ne sont pas traitées UV.

- 35041, Géomembrane homogène. Opaque, Gris Foncé avec une couche de Signal Layer Jaune (Bi – Color) pour prévenir les dommages mécaniques. Conforme aux spécifications Normes SIA V280, RVS 8T, DS 853, HEFT 365.
- 35034, Géomembrane homogène. opaque, Opaque, Vert Clair (simple couleur). Conforme aux spécifications Normes RVS 8T, HEFT 365;
- 35036, Géomembrane homogène, transparent (>70%). Conforme aux spécifications du fascicule 67 titre III et à l'Avis Technique CETE Lyon, NEAT ;
- 35020 Géomembrane homogène. Opaque, Noir, feuille de protection.
- 35038, Géomembrane compatible temporairement avec le bitume, noire, non protégée UV et applicable directement sur le bitume (sans protection contre les rayonnements UV), Noir.

Les géomembranes mentionnées ci-dessus peuvent également être produites:

- Avec renfort (grille de polyester ou de fibres de verre).
- Avec feutre géotextile PES (polyester) ou PP (polypropylène) géotextile.

Les caractéristiques mécaniques peuvent alors changer en raison de l'armature ou du feutre.

2.1.2. Propriétés

Les géomembranes RENOLIT ALKORPLAN sont constituées à partir de PVC-P plastifiés, souples, calandrées ou extrudées, conditionnées en rouleaux sur mandrin carton. Leur largeur est habituellement de 2, 05m

- Aucun point de rupture ne sera atteint avant la rupture: après allongement sous l'effort, le PVC-P est en mesure de se détendre et à s'adapter au support

- Haute performance à la déformation bi-directionnelle due à leur élasticité (> 170%).
- Très haute résistance au poinçonnement hydrostatique (>950 kPa/mm).
- Haute résistance au poinçonnement dynamique
- Elles possèdent un large spectre de résistance aux produits chimiques tels que : acides, bases et sels et sont résistantes au vieillissement, aux racines et aux influences environnementales.
- Résistance en contact permanent à des pH compris entre 2 et 10
- Les Géomembranes PVC-P sans protection anti-UV peuvent résister un mois en exposition directe aux rayons UV sans perdre ses caractéristiques mécaniques.
- La capacité de soudure est très bonne manuellement à l'air chaud (type triac) et par machine automatique (coin chaud et / ou air chaud), même après plusieurs années d'utilisation, avec une grande plage de température et de vitesse.
- Dilatation thermique : $1.5 \cdot 10^{-4} \text{ cm/cm/}^\circ\text{C}$

2.1.3. Caractéristiques

Voir fiches techniques

2.2. Géomembranes RENOLIT ALKORTOP

Les géomembranes RENOLIT ALKORTOP sont des géomembranes en polypropylène flexible (FPP).

2.2.1. Références Géomembranes RENOLIT ALKORTOP

- 35080, Géomembrane homogène PP flexible, calandree, largeur standard 2.05 m large couleur grise.

2.2.2. Propriétés

Géomembranes en polypropylène flexible ou renforcé.

- Le FPP est moins souple que le PVC-P par température de 10° C, mais nettement supérieure au PVC-P par grand froid).
- Limite d'élasticité (+ -40%).
- Les géomembranes en polypropylène flexible ont une bonne souplesse et une bonne capacité de déformation bidirectionnelle. Elles conservent en particulier une souplesse, particulièrement à basse température.
- Bonne résistance chimique au moins équivalente au PVC-P.
- Résistance moyenne au poinçonnement hydraulique (>600 kPa/mm).

- Soudure manuelle à l'air chaud (type triac) et par machine automatique (coin chaud et/ ou air chaud), mais avec une faible plage de température.

2.2.3. Caractéristiques

Voir fiches techniques.

2.3. Accessoires

Les géomembranes sont la partie la plus importante du système d'étanchéité. Pour assurer cette étanchéité, selon le type de construction, tous les accessoires doivent être compatibles avec la géomembrane utilisée.

Les accessoires suivants font partis d'un tel système:

- Matériaux de protection et anti-poinçonnement (Géotextile)
- Eléments de fixation (Tôles colaminées, arrêts d'eau, Plat métal inoxydable, Eléments d'ancrages....)

Eléments de compartimentage et d'injection pour être en mesure de contrôler et de réparer l'étanchéité après le coulage du béton (arrêts d'eau, tuyaux d'injection, ...)

2.4. Procédure de production de RENOLIT

La procédure de production y compris la gestion et l'achat de matières premières doit se conformer aux exigences de la norme ISO 9001.

Le contrôle de la production commence par la réception des matières premières, passe par le laboratoire où sont composés et préparés les mélanges, puis se poursuit à travers la production, le département logistique, et aussi l'équipe de direction.

Après un passage à travers le mélangeur, le compound est acheminé vers les unités de fabrication, calandres ou extrudeuses. Après avoir traversé de nombreux cylindre, la membrane est contrôlé en ligne par de nombreux appareils électriques afin de vérifier des valeurs comme l'épaisseur, la température, la pression, la vitesse... pour finir par l'enroulage et l'emballage.

La géomembrane couche de signal (35041) est produite par extrusion / laminage où la couche mince de signal est laminé sur la géomembrane gris foncé. La chaleur et la pression exacte sont importantes afin d'obtenir une parfaite adhérence entre les deux couches de géomembrane.

2.5. Géomembrane recommandées

Le groupe RENOLIT fabrique toutes sortes de géomembranes différentes adapté pour tout type d'application. Les Géomembranes pour Tunnel peuvent être faites en PVC-P et TPO qui peut être laminé avec un feutre PP pour des applications de collage.

Les excellentes caractéristiques mécaniques (élongation sans limite d'élasticité, résistance à la perforation) et la possibilité d'une bonne soudure du PVC-P géomembranes en font l'un des meilleurs matériaux d'étanchéité. Le système d'étanchéité en PVC-P est parfaitement adapté à ce type d'application avec des éléments de fixation, d'arrêts d'eau et d'injection. Tous ces matériaux sont fabriqués en PVC-P et sont donc compatibles les uns avec les autres. PVC-P a été utilisé pendant plus de 30 ans comme un matériau d'étanchéité et s'est avéré être un matériau très fiable.

Avantage du PVC-P

- La relaxation des contraintes (23 ° C - 50% de déformation)
En quelques minutes (2 – 3 mm) plus de 50% de la contrainte sera libéré.
- Haute flexibilité
Pour des températures > = 0 ° C à faible log (E ') module.
Grande flexibilité des moyens de manutention et une installation facile.
- Propriétés à la traction
Le PVC-P n'a pas de rendement ou de pseudo-limite d'élasticité. Le stress est transféré à travers toute la surface du matériau. PVC-P a également un taux élevé d'allongement afin de se conformer aux règlements.
Le PVC-P possède hautes propriétés en traction uni-axiale (essai de traction bi- axiale + / - 50%)
- Résistance à la perforation
Le PVC-P a une forte résistance à la perforation statique. La membrane épouse les contours des pierres avant la perforation. La surface entière participera au processus de déformation et après perforation de la membrane PVC-P va récupérer plus de la déformation.
PVC-P a une forte résistance à la perforation hydraulique.
- La dilatation thermique linéaire
PVC-P a une valeur faible. Il n'y a pas de risque de plis dus à la dilatation ou de stress dû à la contraction.
- Soudabilité
Membranes PVC-P sont faciles à souder, avec des machines automatiques, mais aussi manuellement (= pour plus de détails).
Les membranes PVC-P peuvent également être réparées. La translucidité en PVC-P membrane permet un contrôle rapide de la soudure.
- Résistance chimique
PVC-P a une grande résistance chimique contre les sels, des bases faibles et des acides en solution aqueuse.

- Durabilité
L'expérience montre que les membranes PVC-P pour les tunnels et ouvrages souterrains ont une durabilité en conformité avec la durée de vie du bâtiment.

2.6. Géomembrane recommandées

Le groupe RENOLIT fabrique et commercialise une gamme très complète de géomembranes en PVC-P, PE ou PP afin de répondre à une grande variété d'applications. L'expérience a montré que la géomembrane PVC-P est l'une des mieux adaptées pour réaliser une étanchéité de tunnels de par ses excellentes propriétés mécaniques, et sa durabilité en conformité avec la durée de vie attendue de l'édifice : RENOLITALKORPLAN 35034 – 35036 – 35041.

De plus, elle peut être doublée d'un géotextile en polypropylène (jusque 700 g/m²) pour une installation collée, et recevoir une grille de renforcement soit en polyester, soit en verre.

3. CONCEPTION DU SYSTEME D'ETANCHEITE

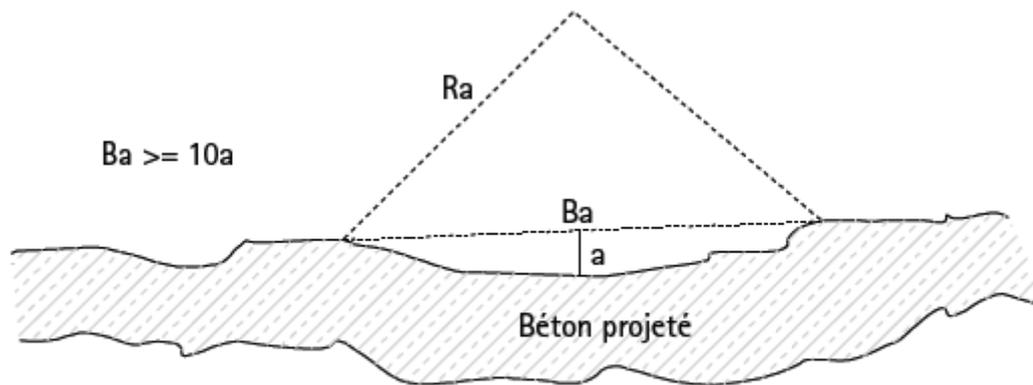
3.1. Composants

- Géotextile polypropylène (pas de polyester) de minimum 500 g/m², déterminé en fonction du support.
- Géomembrane thermoplastique homogène de type PVC-P ou TPO d'épaisseur minimum 2,0 mm, transparent (prescription française) ou avec une couche de signalisation.
- Fixations.
- Bandes de renforcement pour protéger la géomembrane aux arrêts de coffrage de la coque en béton.
- Géomembrane de Protection (prescription française)
- Ancrages, si nécessaire d'y arrimer l'armature de renforcement du béton.
- Bandes d'arrêts d'eau (Water Stop), principalement dans les tunnels sous pression d'eau.
- Système d'injection , principalement dans les tunnels sous pression d'eau.

3.2. Support

La surface du support doit être aussi lisse que possible, le granulat utilisé ne doit pas être supérieur à 16 mm. La géométrie de la surface ($Ba \geq 10a$) doit être contrôlée afin d'éviter la formation de plis dans la géomembrane quand le béton est coulé (voir le dessin de la géométrie).

Quand le béton du parement est coulé, il exerce une pression sur la géomembrane qui est déformée et est comprimée contre le support. Si la surface est très irrégulière, des plis vont se former sur la géomembrane. Dans les tunnels avec pression d'eau, ces plis peuvent conduire à des défaillances de la géomembrane.



Définition du support

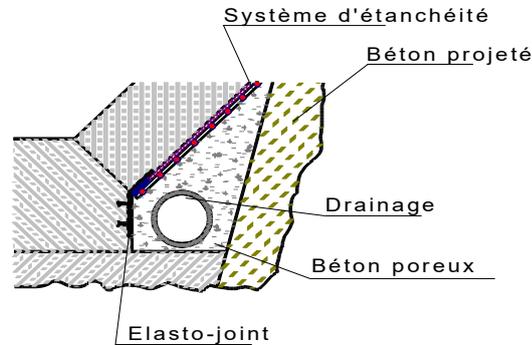
recommandation selon HEFT 365 (Autriche)

3.3. Installation du drainage

Les tunnels sans pression d'eau, avec un système d'étanchéité limité à la voûte, ont besoin d'un drainage en fond de tunnel afin d'évacuer l'eau d'infiltration ou temporaire.

Une bonne solution technique doit garantir que l'eau ne pourra pas s'infiltrer entre l'étanchéité et le parement béton

Drainage et Etanchéité



4. INSTALLATION DU SYSTEME D'ETANCHEITE

L'installation ne peut commencer qu'après réception du support dont la surface doit être conforme au cahier des charges.

L'échafaudage pour l'installation du système de revêtement peut être placé sur la dalle du tunnel. Selon le type d'échafaudage utilisé, le géotextile et la géomembrane seront installés d'un côté du tunnel à l'autre (échafaudage hydraulique) ou à partir du point le plus haut du tunnel (échafaudage manuel).

L'échafaudage hydraulique est coûteux, mais permet de meilleures conditions pour l'installateur. Il doit pouvoir être réglée suivant la géométrie du tunnel.

Le géotextile sera positionné sur le bras de la nacelle oscillante, d'où il se déroule automatiquement d'un côté à l'autre du tunnel avec la levée de la nacelle. Le géotextile est alors fixé au béton projeté avec les rondelles de fixation sur lesquelles la géomembrane, qui est déroulée lors du retour de la nacelle, est ensuite soudée. Après avoir fixé le géotextile et la géomembrane, l'échafaudage peut se mettre en position pour le placement de la prochaine laie d'étanchéité.

L'utilisation d'un échafaudage manuel requiert un travail plus lourd. Tout d'abord les rouleaux de géotextile sont portés au point le plus haut de l'échafaudage, où ils sont fixés sur le béton projeté à l'aide de rondelles. Ensuite, la géomembrane est déroulée en haut de l'échafaudage, et soudée sur les rondelles de fixation en commençant par le point le plus haut de la voûte.

Les laies de géomembranes sont soudées ensemble avec des machines automatiques à double soudure avec canal central de contrôle.



Echafaudages hydrauliques sur roues

Echafaudage manuel

4.1. Installation du Géotextile

Le géotextile sera fixé à l'aide de rondelles de fixation: environ 2 unités par m² en pied-droit, et 3 unités par m² en voûte. Les éléments de fixation doivent être installés dans les creux du béton projeté afin éviter des allongements de la géomembrane quand le béton du parement est coulé (la géomembrane sera soudée sur ces rondelles de fixations).

Le géotextile est porté sur l'échafaudage, déroulé et fixé avec les rondelles de fixation sur la surface de béton projeté. Le géotextile doit avoir un recouvrement de minimum 10 cm. Le géotextile sera fixé sur la totalité de la surface de travail quotidien planifiée.

En cas d'importantes irrégularités, il est recommandé de doubler le géotextile.



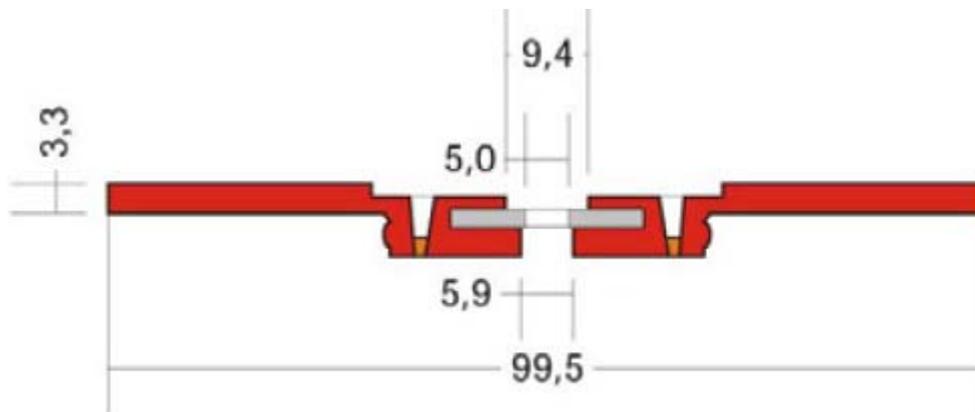
Fixation du géotextile

Fixation de la géomembrane par appareil manuel

4.2. Fixation des rondelles

Le rôle de la rondelle de fixation est d'une part de fixer le géotextile sur la surface de béton projeté par des clous à tirer, et d'autre part de venir souder la géomembrane sur cette rondelle de fixation. La rondelle est de la même composition chimique que la géomembrane afin d'assurer la compatibilité entre les matériaux.

Il est recommandé d'utiliser des rondelles avec système d'arrachement, dans le cas de présence d'eau sous pression (ce qui est rare avec de l'eau d'infiltration). Exemple de rondelle PVC-P avec système d'arrachement, et rondelle en acier:



4.3. Installation de la Géomembrane

Le producteur de géomembrane doit produire la géomembrane dans la longueur indiquée par l'installateur, qui correspond au périmètre à étancher. Une ligne transversale marquera le milieu de la longueur du rouleau afin de montrer à l'installateur, où il doit commencer à fixer la membrane au plus haut point de la voûte (échafaudage manuel) ; et une ligne longitudinale sur un côté de la membrane à une distance de 5 à 8 cm marquera la zone de recouvrement nécessaire pour la soudure.

L'installateur déroule la géomembrane en haut de l'échafaudage, la soude en son milieu sur les rondelles de fixation en partant du point culminant de la voûte, en descendant petit à petit jusqu'à ce que la totalité de la géomembrane soit soudée aux rondelles de fixation.

De cette manière, la quantité journalière de géomembrane sera fixée à la surface du tunnel. En revenant avec l'échafaudage au départ des rouleaux de membranes qui viennent d'être fixés, les laies de géomembranes sont soudées entre elles, à l'aide de machine de soudure automatique produisant une double soudure avec canal central de contrôle.

L'installateur doit prendre soin que la machine est bien réglée (la température, la vitesse et la pression). Il est donc crucial d'ajuster la machine durant les essais de soudure tous les jours avant de commencer les travaux de soudure définitifs.

4.4. Bande de renfort

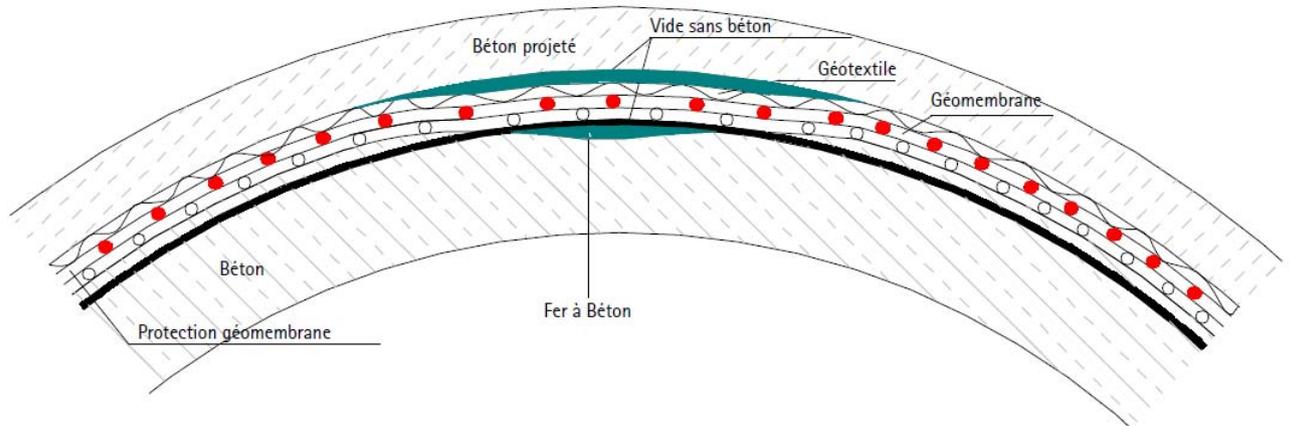
Les unités de coffrage pour le béton intérieur font, en général, entre 8 à 12 m. A la fin de l'unité de coffrage, une tête de coffrage doit être placée. Le placement de cette tête de coffrage, composée de petites planches, peut endommager la géomembrane si elle n'est pas protégée.

Par conséquent, une bande de protection d'environ 50 cm est placée sur la géomembrane à la fin de l'unité de coffrage en vue de renforcer le système d'étanchéité.

4.5. Béton de la voûte

Le bétonnage du parement va exercer une contrainte sur la géomembrane qui va s'allonger sous le poids du béton. L'expérience montre que selon la surface du béton projeté et la manière d'installer le revêtement d'étanchéité, des plis peuvent se former quand le béton du parement est coulé. Une surface de béton projeté lisse garantit la formation de moins de plis dans la géomembrane.

Le pic de la voûte doit être réalisé avec grand soin. Après avoir coulé le béton, il commence à se tasser et laisse un vide sur le dessus de la voûte. Des précautions doivent être prises pour combler ce vide en injectant du ciment après que le béton se soit tassé. Les fers à béton du béton armé doivent être complètement encastrés dans le béton ainsi que les ancrages des water stops (si présents).



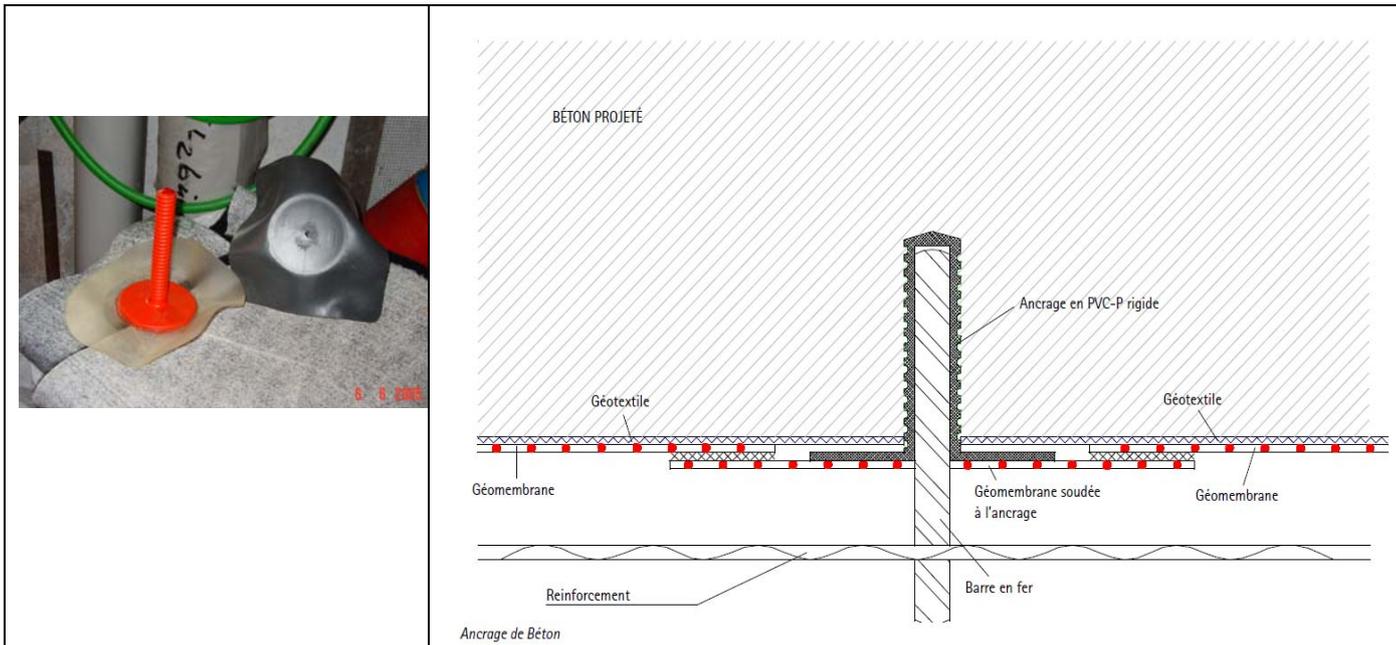
*Crête de Tunnel
Système français*

4.6. Ancrages pour les fers à béton de l'armature

L'installation des fers à béton du béton armé est l'un des plus grands dangers pour le système d'étanchéité. Dans la voûte, la géomembrane n'est généralement pas protégée et donc exposée au danger d'être perforée lors des travaux de ferrailage. Les fers à béton doivent être placés à une certaine distance de l'étanchéité. Dans le cas d'une armature non auto-portante, il est fortement recommandé d'utiliser des ancrages sur lesquelles les fers à béton sont fixés à une distance correcte de l'étanchéité. Ces ancrages peuvent tenir des charges de plus de 30 kN, selon la qualité du béton projeté.

Ce type d'ancrage est un système totalement fermé où l'eau ne peut s'infiltrer entre l'étanchéité, et la coque béton. Il se compose d'un tube de PVC-P rigide avec une bride, sur lequel la géomembrane en PVC-P est soudée. Après avoir installé la géomembrane, un trou est foré dans le béton projeté, à travers la géomembrane. Le tube PVC-P est collé dans le forage. La bride en PVC-P souple est soudée à la géomembrane.

Dans le tube en PVC-P une tige filetée en acier est introduite afin de fixer les fers à béton de l'armature du béton du parement.



4.7. Système de compartimentage

Les bandes d'arrêt d'eau (water stops) sont principalement utilisées dans les tunnels avec pression d'eau. Les water stops divisent le système d'étanchéité en compartiments qui limitent la propagation de l'eau en cas de fuite. Combiné à un système d'injection, la réparation d'un compartiment qui fuit peut être réalisée sans endommager la géomembrane, et à un coût raisonnable.



4.8. Système collé

Le dernier développement dans l'étanchéité tunnel, est l'emploi de systèmes d'étanchéité collé. Les tunnels deviennent de plus en plus longs avec le développement des trains à grande vitesse. Ces tunnels sont construits avec des tunneliers (machines TBM, pour Tunnel Boring Machine) où la géologie le permet et le profil de fouille est régulier.

Les voussoirs sont placés sur le béton projeté et réalisent une surface parfaite pour y coller la géomembrane.

Pour une telle application, il est nécessaire de disposer d'une géomembrane doublée d'un feutre Polypropylène.

Des portiques spéciaux ont été développés pour l'installation de la géomembrane.

Ils ont une unité de nettoyage, de brossage, et de collage et peuvent être dirigés avec seulement 3 hommes. La performance de ce système avec un tel portique automatisé est beaucoup plus élevée qu'un système conventionnel.

RENOLIT est en mesure de fabriquer la géomembrane adaptée à cette demande.



Automate d'installation pour le système collé

5. MATERIEL

5.1. Géomembrane

Le choix du type de géomembrane (PVC-P, PP ou PE) se fait selon les fonctions qu'elle doit remplir.

La géomembrane en PVC-P est le matériau le plus adapté à l'étanchéité des tunnels et des fondations de par son excellente performance mécanique et sa résistance chimique.

Au cours des ces 40 dernières années, une grande variété de géomembranes en PVC-P a été créée. Au vu des normes existantes en Europe, deux systèmes d'étanchéité tunnel dominant :

- dans les pays de langue allemande, la géomembrane avec couche de signalisation (bicolore) est spécifiée dans toutes les normes importantes ;
- en France et autres pays méditerranéens, la géomembrane translucide s'est imposée.

5.1.1. Membrane Signal Layer

L'objectif de la géomembrane avec «couche de signalisation » est de détecter les défaillances et les fuites à travers une couche de signalisation très mince.

Elle est composée d'une couche supérieure de couleur claire, la couche de signalisation, et d'une couche inférieure de couleur sombre, la couche d'étanchéité. La couche de signalisation doit être très fine (moins de 0,2 mm dans la norme DS 853) afin de laisser apparaître la couleur sombre de la couche inférieure en cas d'impact mécanique sur la géomembrane. Les deux couches doivent être faites avec la même matière première, pour éviter tout délaminage.

La géomembrane avec couche de signalisation peut être produite selon deux méthodes :

- par calandrage d'une couche signal de 0.2mm d'épaisseur qui est ensuite laminée sur la géomembrane ;
- par impression.

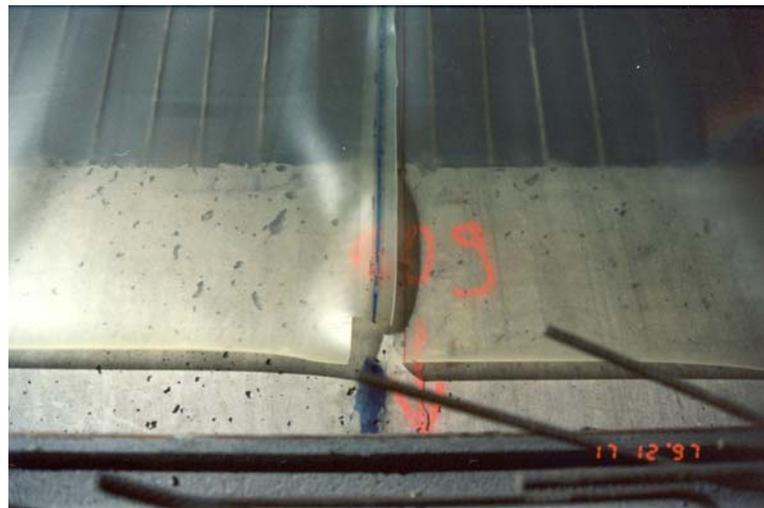
5.1.2. Membrane Translucide

L'utilisation d'une géomembrane translucide permet un très bon contrôle visuel de la soudure (continuité et brûlage).



Cette image montre que cette soudure est de bonne qualité avec une soudure plus translucide que la zone du canal de test, mais les traces noires au début de la soudure montrent que la température était trop élevée, ou le coin chauffant mal nettoyé. Dans un cas similaire, une analyse de la qualité de soudure en cet endroit peut se faire immédiatement. Avec une géomembrane opaque ces défauts ne seraient jamais apparus.

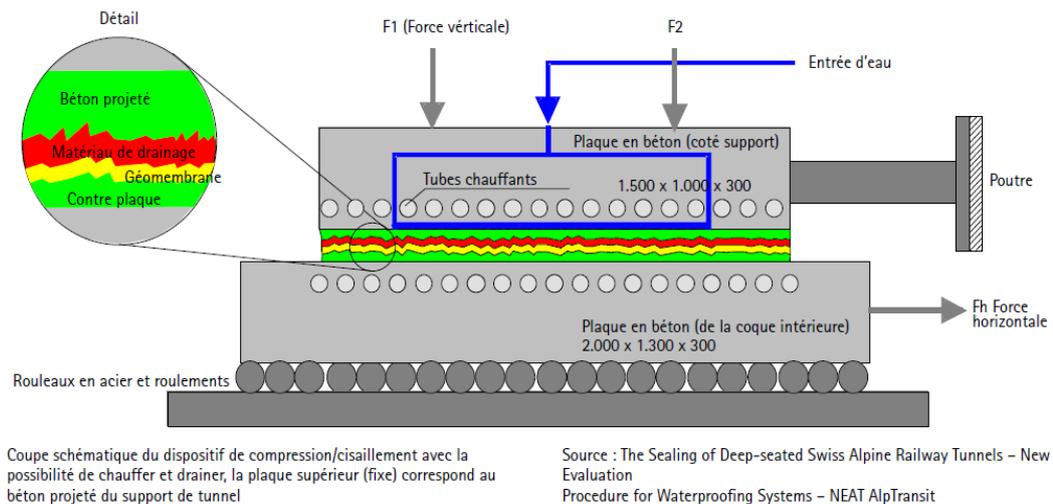
La double soudure peut être contrôlée par pression d'air ou avec des liquides colorés. L'avantage des liquides colorés est de détecter immédiatement l'endroit du défaut de la soudure.



Contrôle avec liquide de couleur

5.1.3. Résistance de la géomembrane PVC-P RENOLIT ALKORPLAN sous pression

- D'intenses tests ont été réalisés dans le tunnel du St.Gotthard en Suisse (Projet NEAT). Ils ont montré l'excellente résistance au cisaillement sous compression des membranes PVC-P translucide RENOLITALKORPLAN (type 35036 2mm d'épaisseur), même sous pressions extrêmes :
 - Charge de 2MPa
 - Déplacement horizontal de 3 mm



- Le laboratoire allemand SKZ a montré que la géomembrane avec couche de signalisation PVC-P RENOLITALKORPLAN (type RENOLITALKORPLAN 35041 2mm d'épaisseur) avait un excellent comportement sous pression (EN ISO 604):
 - Une compression de 20% est atteinte avec une pression de 13,3 MPa, alors qu'un minimum de 2,5 MPa est requis dans la norme;
 - Une compression de 7.5% est atteinte avec une pression de 2,5 MPa, alors que la norme admet une compression allant jusque 20%.
- L'Institut français CETE a montré que le système d'étanchéité composé d'un géotextile 700 g/m² + géomembrane RENOLITALKORPLAN 35036 2mm + couche de protection RENOLITALKORPLAN 35020 1.9mm offre une résistance à la perforation dynamique supérieure à 8.5J (fascicule 67 titre III du CCTG).

5.2. Géotextile

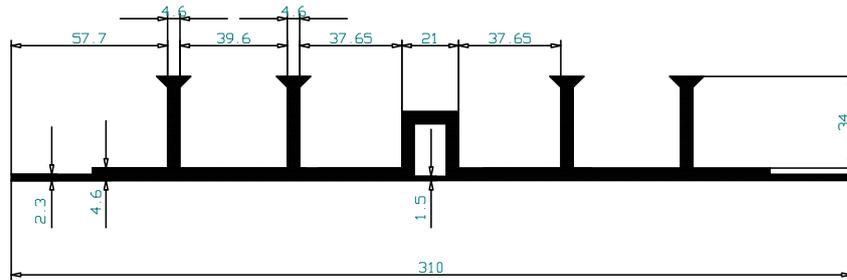
Le géotextile doit être en fibres de polypropylène, fibres courtes fixées mécaniquement ou fibres longues. Le géotextile Polyester doit être évité en raison de l'hydrolyse du polyester due à l'alcalinité du béton. Le béton fraîchement appliqué attaque le géotextile en polyester qui après un certain temps est totalement dissout.

5.3. Bande d'arrêt d'eau (water stop)

5.3.1. Water stop avec joint de dilatation

Ce type de water stop est installé dans tous les joints de dilatation de la construction. En cas de mouvements importants de la construction, le fin joint fermant le bulbe situé au milieu du water stop, est en mesure de se rompre et de suivre les mouvements sans perte d'étanchéité.

DILATION WATER STOP 30/3/4

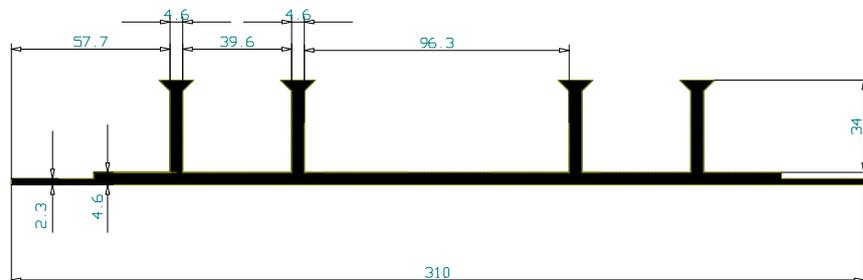


Exemple de water stop avec joint de dilatation selon norme DS 853

6.3.1. Water stop de compartimentation

Ce type de water stop est utilisé pour créer un système de compartimentation dans la partie courante du bétonnage.

WATER STOP 30/3/4



Exemple de water stop de compartimentation selon norme DS 853

5.4. Dispositif d'injection

Deux différents types de systèmes d'injection sont disponibles :

- pipe d'injection
- tube d'injection



Pipe d'injection



Tube d'injection

5.5. Echafaudage

5.5.1. Echafaudage manuel

C'est le type d'échafaudage le plus utilisé. Il peut circuler sur rail ou sur roue. L'échafaudage est constitué d'éléments démontables qui peuvent être transportés facilement et qui permettent d'adapter facilement ses dimensions à celles du tunnel.

5.5.2. Echafaudage hydraulique

Un échafaudage hydraulique est plus sophistiqué. Il est équipé d'une nacelle hydraulique qui tourne d'un côté à l'autre du tunnel.

5.6. Appareil de soudage

5.6.1 Machine automatique de soudure à chaud de coin

Ce type de machine fonctionne avec un coin chauffé électriquement. Par-dessus, et par-dessous le coin chauffant, il y a deux rouleaux de pression qui sont motorisés de manière indépendante. Le coin chauffant est guidé dans le recouvrement des géomembranes ; les deux rouleaux de pression font avancer la machine à une vitesse déterminée. La température, la pression et la vitesse sont ajustées avant l'exécution de la soudure finale.

La machine est totalement guidée électroniquement. Dans le cas où la température extérieure se modifie, le guidage électronique ajuste la température aux nouvelles conditions.



Machine automatique de soudure à coin chauffant

5.6.2. Machine automatique de soudure à air chaud

La machine est une combinaison de machine automatique à coin chauffant et à air chaud. La température de l'air chaud, la pression, et la vitesse de soudure sont réglables et sont contrôlés électroniquement



Machine automatique de soudure à air chaud

5.6.3. Soudure manuelle

La soudure manuelle travaille avec de l'air chaud. Elle est indispensable dans les travaux souterrains. Tous les détails doivent être soudés avec cet appareil bien connu.

