

1. INTRODUCTION	3
1.1. Généralité	3
1.2. Produits RENOLIT	3
1.3. Qualité du revêtement- Exigences	3
1.3.1. Imperméabilité	3
1.3.2. Souplesse	3
1.3.3. 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	5
2.3. Accessoires	6
2.4. Process de production de RENOLIT	6
2.5. Géomembrane recommandées	6
2.6. Dans l'attente de connexion à la voûte	7
2.7. Protection du système d'étanchéité sur la dalle inférieur	7
2.8. Dalle béton	7
2.9. Géomembranes recommandées	7
3. CONCEPTION DU SYSTEME D'ETANCHEITE	8
3.1. Composants	8
3.2. Support	9
4. INSTALLATION DU SYSTEME D'ETANCHEITE EN RADIER DU TUNNEL	9
4.1. Installation du Géotextile	9
4.2. Installation de la Géomembrane	9
4.3. Water stops (Arrêts d'eau)	10
4.4. Pipes d'Injection	11
4.5. Dans l'attente de connexion à la voûte	12
4.6. Protection du système d'étanchéité sur la dalle inférieur	12
4.7. Dalle béton	13
5. INSTALLATION DU SYSTEME D'ETANCHEITE EN VOUTE DU TUNNEL	13
5.1. Echafaudage	13
5.2. Installation du Géotextile	14
5.3. Fixation des rondelles	15
5.4. Installation de la Géomembrane	15
5.5. Arrêts d'Eau (Water stops)	16
5.6. Pipes d'Injection	17
5.7. L'installation de barres de renfort / Ancrages	17

5.8.	Bande de renfort	18
5.9.	Béton de la voûte.....	18
5.10.	Système collé.....	19
6.	MATERIEL	20
6.1	Géomembrane	20
6.1.1.	Membrane Signal Layer.....	20
6.1.2.	Membrane Translucide	20
6.1.3.	Résistance de la géomembrane PVC-P RENOLIT ALKORPLAN sous pression.....	21
6.2.	Géotextile.....	22
6.2.1.	Produit	22
6.2.2.	Données techniques	22
6.3.	Water stops.....	23
6.3.1.	Water stop avec joint de dilatation	23
6.3.2.	Water stop sans joint de dilatation	23
6.4.	Dispositifs d'injection	24
6.4.1.	Pipe d'injection.....	24
5.4.1.	Tube d'injection.....	25
6.5.	Echafaudage.....	26
6.5.1.	Echafaudage manuel.....	26
6.5.2.	Echafaudage hydraulique	26
6.6.	Appareil de soudage.....	26
6.6.1	Machine automatique de soudure à chaud de coin	26
6.6.2	Machine automatique de soudure à air chaud	27
6.3.3.	Soudure manuelle	27

1. INTRODUCTION

1.1. Généralité

L'utilisation des géomembranes PVC-P comme Etanchéité 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 Etanchéité de Tunnel sous pression d'eau.

1.2. Produits RENOLIT

RENOLIT présente une large gamme de géomembranes synthétiques destinées à la réalisation d'étanchéité de fondations :

- 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)

1.3.1. Imperméabilité

Dépend du type de membrane utilisée (nature, l'épaisseur) afin de résister à toutes les influences (pression, état du support)

1.3.2. 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

1.3.3. 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 ($>600 \text{ kPa/mm}$).
- 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, calendres 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.

2.6. Dans l'attente de connexion à la voûte

Le système d'étanchéité du radier doit dépasser de la construction du béton en bas assez loin pour garantir une connexion sûre avec l'étanchéité de la voûte. La géomembrane et le géotextile seront fixés provisoirement sur le béton projeté. Il est très important de protéger prudemment cette zone. Les barres de renfort - qui sortent de dalle pour être connecté avec les barres d'armature pour la voûte - peuvent compromettre le système d'imperméabilisation.

2.7. Protection du système d'étanchéité sur la dalle inférieur

Lorsque le système d'étanchéité est installé, il doit être recouvert d'un géotextile et d'une protection en béton de 10 cm environ. La zone des Water Stops doit rester libre afin d'être noyé dans le béton de la dalle pour être en mesure de remplir leurs missions.

2.8. Dalle béton

Les travaux de renforcement ayant été exécutés, le coulage du béton de la dalle peut avoir lieu. Le béton de protection protège l'étanchéité des risques de dommage du au coffrage de la dalle de béton. Dans le cas où le béton de protection n'est pas assez épais, des précautions doivent être prises pour éviter d'endommager la géomembrane

2.9. Géomembranes 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 : RENOLIT ALKORPLAN 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. Le système d'étanchéité avec géomembrane PVC-P RENOLIT ALKORPLAN offre une sécurité maximale face au tassement différentiel, et face au risque de perforation dû à l'armature du béton.

En outre, en cas de dommage survenu à la géomembrane, il offre la possibilité de réaliser un système permettant de réparer l'étanchéité, après coulage du béton, sans aucune perforation.

3. CONCEPTION DU SYSTEME D'ETANCHEITE

3.1. Composants

L'étanchéité d'un tunnel est un système de pose libre. En cas de fuite, l'eau peut pénétrer entre la géomembrane et la coque en béton et va chercher le point faible de la structure en béton. En général, la fuite se produit à la jonction des deux blocs de béton.

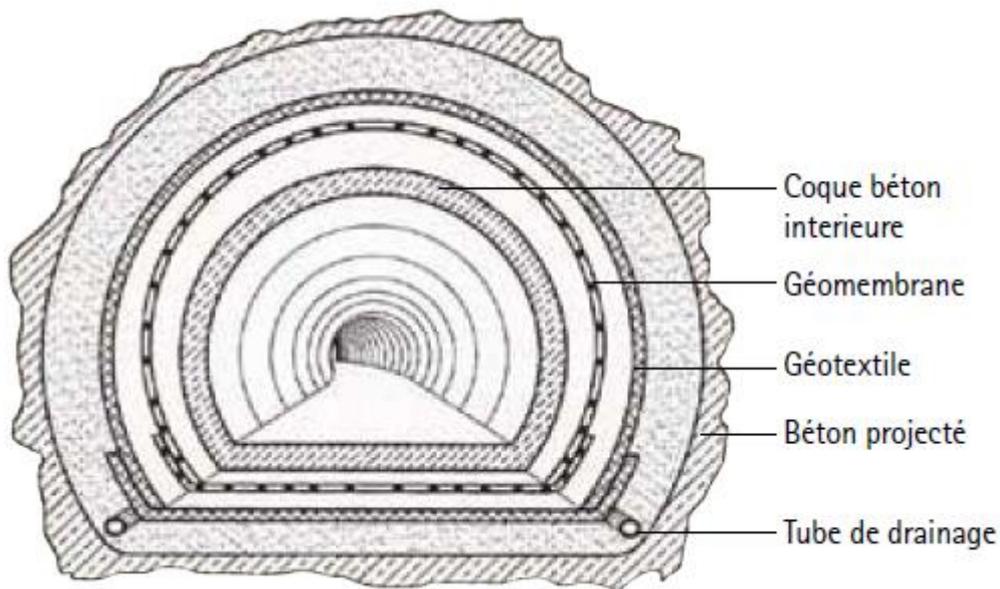
Après les travaux d'étanchéité, des fuites ne peuvent être exclus. Il est donc logique pour prévoir le système d'étanchéité de telle façon que la réparation soit possible après avoir terminé l'ouvrage, sans endommager le système d'étanchéité.

Ceci peut être effectué avec deux méthodes:

- Le premier est de créer des compartiments afin de l'eau s'arrête pour éviter une infiltration de l'eau sur une longueur importante du tunnel.
- Le second, est de placer des dispositifs d'injection afin d'avoir la possibilité de réparer les fuites après avoir coulé le béton.

Composition du système d'étanchéité:

- Géotextile minimum de 500 g / m² en polypropylène (pas de polyester), en fonction du support.
- Géomembrane homogène dans un matériau thermoplastique comme le PVC-P, TPO > 2,0 mm, transparent (prescription français) ou avec une couche de signal.
- Fixation des éléments.
- Renforcement des bandes de protection pour protéger la géomembrane dans la zone où coffrages pour finitions coque en béton.
- Géomembrane de Protection (prescription en français)
- Ancrage si nécessaire pour tenir le renforcement de la coquille à l'intérieur du béton.
- Arrêts d'eau (Water Stop)
- Système d'injection



3.2. Support

La surface du support doit être aussi lisse que possible, le granulats utilisés ne doivent pas être supérieurs à 16 mm. La géométrie de la surface ($Ba \geq 10 a$) devrait être suivie afin d'éviter un plissement possible de la géomembrane après que le béton est été coulé. (Voir le dessin de la géométrie).

La surface du support est un élément très important car il est le gage de la planéité de l'ouvrage après le coulage du béton. Dans le cas où la surface est très irrégulière, des plis sur la membrane vont se produire. Dans les tunnels à la pression de l'eau, ces plis peuvent conduire à des défaillances des soudures de la membrane.

4. INSTALLATION DU SYSTEME D'ETANCHEITE EN RADIER DU TUNNEL

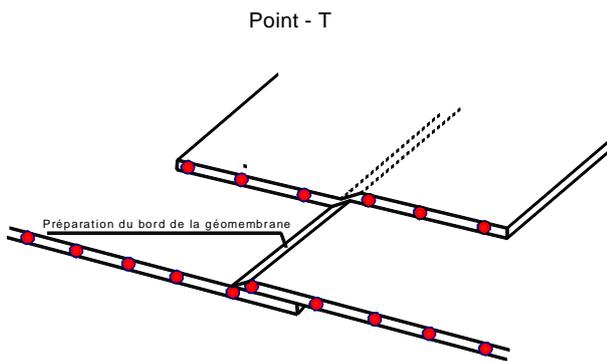
4.1. Installation du Géotextile

Après inspection de la surface de béton, le géotextile sera placé dans la zone inférieure. Le chevauchement doit être suffisant afin d'assurer la protection de la géomembrane à n'importe quel endroit du tunnel (10cm minimum).

4.2. Installation de la Géomembrane

La géomembrane sera placée et soudée avec une machine de soudage automatique. Partout où une jonction se produit, la géomembrane doit être ajustée afin de garantir une soudure correcte.

Les jonctions devront être évitées autant que possible car il ya le danger de capillarité. La géomembrane doit être coupé d'une manière à permettre à l'automate de soudure d'effectuer une soudure parfaite.



Préparation de la soudure pour point T



4.3. Water stops (Arrêts d'eau)

Les arrêts d'eau (Water Stops) divisent le système de revêtement en compartiments qui limite la propagation de l'eau qui s'infiltré. Combiné à d'un système d'injection, une réparation d'un compartiment qui fuit peut être réalisée sans endommager la géomembrane à un coût à un niveau raisonnable. Pour installer l'arrêt de l'eau, la meilleure façon est de le souder directement sur la géomembrane en dehors du tunnel sous de bonnes conditions avec une soudeuse automatique pour toitures (simple soudure).

Cette membrane sera placée sur la géomembrane suivante et soudée à nouveau avec le coin chaud automatisé. Ainsi, une soudure parfaite du système sera garantie.



Préfabrication de Géomembranes soudées avec des Water Stop

La largeur de la géomembrane préfabriqués avec arrêt de l'eau peut être la même largeur que la géomembrane normale (2,05 m en général). Sur la voûte, il est recommandé de prendre une bande de membrane d'une longueur maxi d'1m pour fixer les rondelles de fixation à la voûte. La soudure à main doit être évitée autant que possible. Il est très difficile d'obtenir une soudure parfaite de l'arrêt de l'eau à la main quand la géomembrane que la surface est en général bosselée et inégale. La pression appliquée à la main est très irrégulière, ce qui est un facteur très important pour la soudure.

4.4. Pipes d'Injection

Les tuyaux d'injection peuvent être placés dans les coins du compartiment et, selon la taille du compartiment aussi dans le milieu. Il est recommandé d'utiliser les arrêts d'eau avec un tube d'injection intégré comme il est important aussi de veiller à l'étanchéité à l'eau aux jonctions. Les tuyaux d'injection également remplir la tâche d'un système de détection. Dans le cas d'une fuite, de l'eau va sortir des conduites d'injection. Par conséquent, ils sont également très utiles en tant que dispositifs de contrôle après avoir coulé la dalle de béton.



4.5. Dans l'attente de connexion à la voûte

Le système d'étanchéité du radier doit dépasser de la construction du béton en bas assez loin pour garantir une connexion sûre avec l'étanchéité de la voûte. La géomembrane et le géotextile seront fixés provisoirement sur le béton projeté. Il est très important de protéger prudemment cette zone. Les barres de renfort - qui sortent de dalle pour être connecté avec les barres d'armature pour la voûte - peuvent compromettre le système d'imperméabilisation.



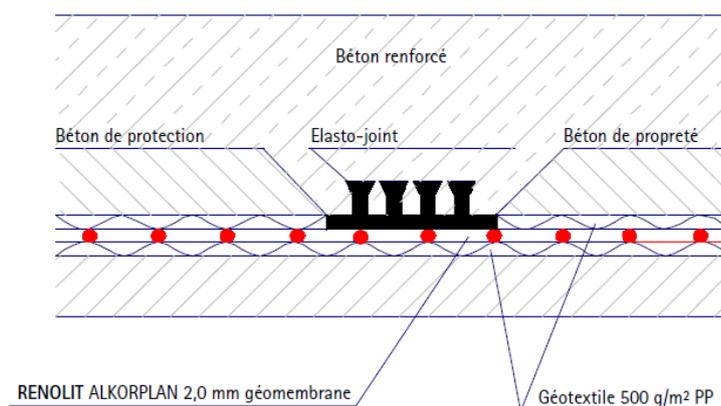
Les dangers des Barres de renfort pour la géomembrane



Tête de coffrage en béton

4.6. Protection du système d'étanchéité sur la dalle inférieur

Lorsque le système d'étanchéité est installé, il doit être recouvert d'un géotextile et d'une protection en béton de 10 cm environ. La zone des Water Stops doit rester libre afin d'être noyé dans le béton de la dalle pour être en mesure de remplir leurs missions.



Elasto-joint Radier



4.7. Dalle béton

Les travaux de renforcement ayant été exécutés, le coulage du béton de la dalle peut avoir lieu. Le béton de protection protège l'étanchéité des risques de dommage du au coffrage de la dalle de béton. Dans le cas où le béton de protection n'est pas assez épais, des précautions doivent être prises pour éviter d'endommager la géomembrane

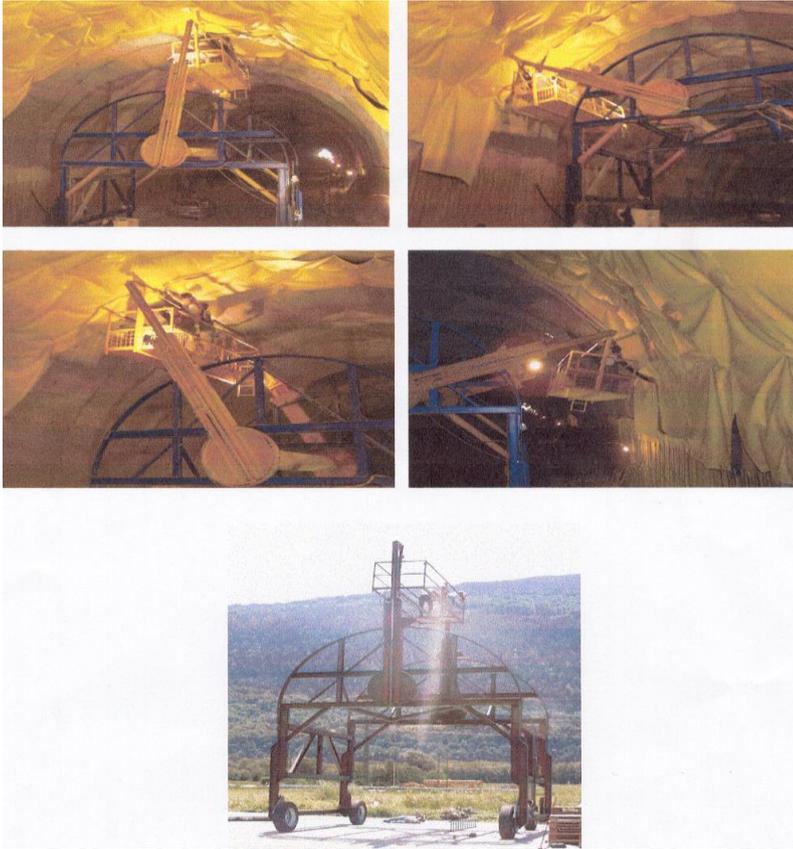
5. INSTALLATION DU SYSTEME D'ETANCHEITE EN VOUTE DU TUNNEL

Avant de commencer l'installation, l'entreprise doit s'assurer que la surface du support est au cahier des charges.

5.1. Echafaudage

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 (l'utilisation d'échafaudages hydrauliques) ou à partir du point le plus haut du tunnel puis des deux côtés (échafaudages manuel).

Echafaudage hydraulique



L'échafaudage hydraulique est coûteux, mais permet bien sûr de meilleures conditions pour l'installateur. Il doit pouvoir être réglée suivant la géométrie du tunnel. Le géotextile sera positionné sur la barre d'acier de la corbeille où il sera déroulé automatiquement avec la levée de la corbeille. Le géotextile sera fixé avec les rondelles de fixation à laquelle la géomembrane sera ensuite soudés. Après avoir fixé les deux éléments de l'échafaudage, l'échafaudage peut se mettre en position pour le prochain placement du système d'étanchéité.

Echafaudage manuel



L'utilisation des échafaudages manuels requiert un travail acharné. Tout d'abord les rouleaux de géotextile sont portés en haut de l'échafaudage, puis fixée sur le béton projeté à l'aide de rondelles. Ensuite, la géomembrane est déroulée du haut de l'échafaudage, et soudés sur la rondelle de fixation en commençant par le point le plus haut de la voûte.

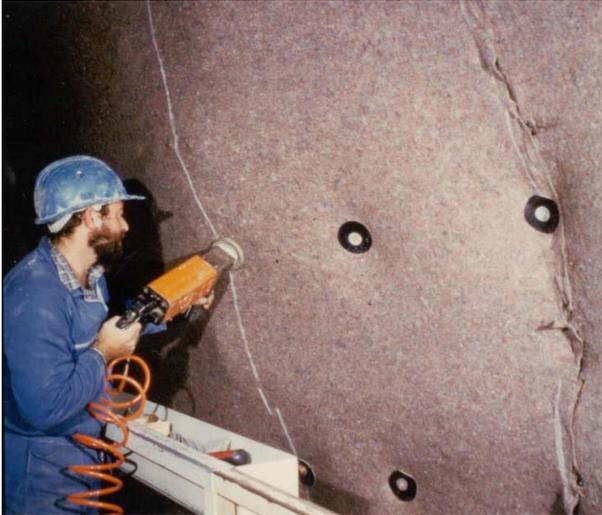
5.2. Installation du Géotextile

Le géotextile sera fixée à l'aide de rondelles de fixation: dans la surface du mur, environ 2 unités par m², et en voûte 3 unités par m². Les éléments de fixation doivent être fixés dans les

creux de la surface de béton afin éviter des allongements de la géomembrane lors de la projection du béton (la géomembrane sera soudée sur ces fixations).

Le géotextile est levé de l'échafaudage, déroulé et fixé avec des rondelles de fixation sur la surface de béton projeté. Le géotextile doit avoir un chevauchement de minimum 10 cm. Le géotextile sera fixé complètement sur la surface du travail quotidien planifié.

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



Fixation du géotextile

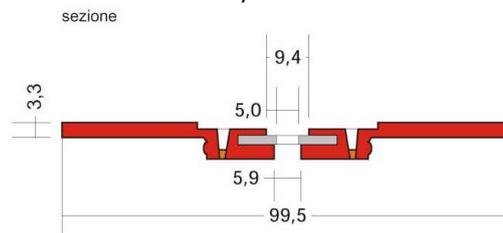


Fixation de la géomembrane par appareil manuel

5.3. 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 frapper, 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. En cas de forte pression derrière la géomembrane, le système «knock-out" de la rondelle empêche la fixation de tomber derrière la géomembrane, ce qui pourrait provoquer des dommages de l'étanchéité.

Exemple de plats en rondelle PVC-P avec système des clous à frapper, avec rondelle en acier:



5.4. Installation de la Géomembrane

Le producteur de géomembrane doit produire une géomembrane dans la bonne longueur en suivant les indications de l'installateur. Dans la longueur du rouleau, il sera indiqué une

marque au milieu du rouleau ainsi qu'une ligne sur un côté de la membrane à une distance de 5 à 8 cm. La marque du milieu du rouleau montre à l'installateur, où il doit commencer à fixer la membrane au plus haut point de la voûte et la ligne de côté indique le chevauchement nécessaire pour la soudure.

Quand la première membrane vient d'être fixée en sommet de voûte, la procédure de soudage peut commencer.

Avec l'aide d'automates de soudage produisant une soudure avec canal central, les géomembranes sont soudées ensemble. 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.



5.5. Arrêts d'Eau (Water stops)

Comme pour la dalle, il est préférable de souder les Water Stops pendant la préfabrication sur les bandes de membrane.

Ayant déroulé toutes les géomembranes en position, la connexion aux bandes préfabriquées de géomembrane avec les Water Stops doit correspondre exactement avec le chevauchement nécessaire pour la soudure.



5.6. Pipes d'Injection

Les tuyaux d'injection doivent être placés en positions correctes des deux côtés de la voûte.

5.7. L'installation de barres de renfort / Ancrages

L'installation de l'acier d'armature est l'un des dangers les plus importants 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 renforcement. Les barres d'acier doivent être placées à une certaine distance de l'étanchéité. Dans le cas d'un renfort non auto portant, il est fortement recommandé d'utiliser les ancrages sur lesquelles les barres de renfort sont fixées à une distance correcte.

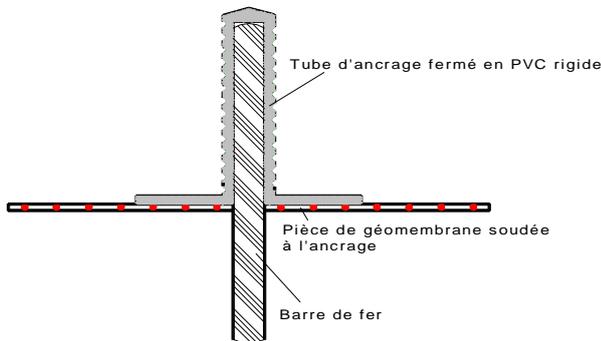
Ces ancrages doivent être en mesure de tenir à des charges de plus de 30 kN, selon la qualité du béton projeté.

L'ancrage se compose d'un tube de PVC-P rigide avec une bride, sur lequel la géomembrane en PVC-P est soudée.

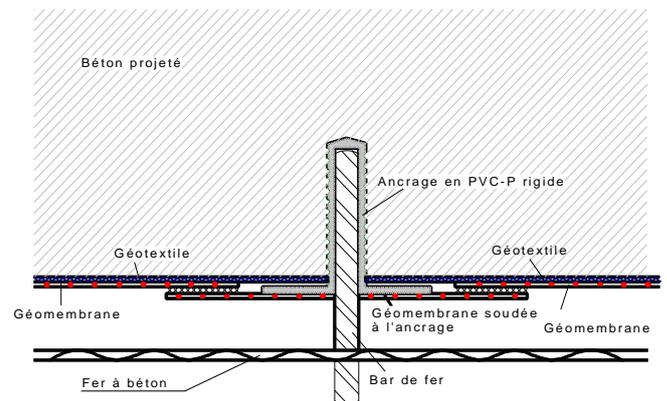
Après avoir installé la géomembrane, un trou est percé dans le béton projeté et à travers de la géomembrane. Le tube PVC-P est collé dans le forage. La bride en PVC-P souple est soudée à la géomembrane.

Dans le tube en PVC-P une tige en acier est introduite afin de fixer l'acier de l'armature à l'intérieur de la coquille de béton.

Ancrage de Béton



Ancrage de Béton



5.8. 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, composé de petites planches, est un grand danger pour le système d'étanchéité. Lors de la fixation, des panneaux de la géomembrane peuvent être endommagés.

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

5.9. Béton de la voûte

Tout au long de la procédure de coffrage, une contrainte sera appliquée à la géomembrane, provoquant un léger allongement en raison du poids du béton. Les expériences dans le passé ont montré que, selon la surface du béton projeté et la manière d'installer le système de

revêtement, des plis peuvent apparaître en raison de la coulée du béton. Une surface lisse du béton projeté garantit moins de plis sur la géomembrane.

Le pic de la voûte doit être réalisé avec grand soin. Après avoir versé le béton, il commence à s'installer et laisse un vide sur le dessus de la voûte. Des précautions doivent être prises pour combler cette lacune en injectant du ciment après que le béton ai réagi. Les barres d'acier doivent être complètement encastrées dans le béton ainsi que les ancrages des Water Stops (si présents).

5.10. Système collé

Le dernier développement dans l'étanchéité est l'emploi de systèmes d'étanchéité collé. Les tunnels deviennent plus longs avec le développement des trains à grande vitesse. Ces tunnels sont construits avec des machines TBM où la géologie le permet et le profil de fouille est régulier.

Les tubes sont placés pour le béton projeté et de faire une surface parfaite pour coller la géomembrane sur eux.

Pour une telle application, une géomembrane avec un feutre PP est le bon matériel pour réaliser une étanchéité de la construction.

Des machines spéciales ont été développées pour l'installation de la géomembrane. Elles effectuent nettoyage, brossage, collage et l'étanchéité peut être réalisée avec seulement 3 hommes. La performance d'une telle installation automatisée est beaucoup plus élevée que la méthode d'installation conventionnelle.

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



Automate d'installation pour le système collé

6. MATERIEL

6.1 Géomembrane

Le choix de la géomembrane dépend du rôle que doit remplir la géomembrane (PVC-P, PP ou PE).

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

Au cours des ces 40 dernières années, toutes sortes de géomembranes de PVC-P ont été créés et vu les normes existantes en Europe deux types, enfin conquis ce marché difficile.

Dans les pays allemand, on parle de la géomembrane (bicolore "couche de signal"). Elle est entrée dans toutes les normes importantes.

En France et autres pays méditerranéens, la géomembrane PVC-P-P translucide est le produit normé, et le plus usité

6.1.1. Membrane Signal Layer

L'objectif de la «couche de signal" géomembrane est de détecter les défaillances et les fuites à travers une couche très mince de signal. La couche de signal doit être une couleur vive fine couche supérieure (moins de 0,2 mm de DS 853) de telle sorte que la couleur sombre de la géomembrane apparaisse dans le cas d'un impact mécanique de la matière. Les deux couches doivent être faites avec la même matière première, pour éviter tout délaminage.

RENOLIT ALKORPLAN 35041: PVC-P-P Géomembrane pour les tunnels et les travaux sous-terrain avec couche de signal calandré.

La couche de signal est produit par calandrage / laminage

Dans

l'ordre:

- D'avoir une couche de signal dans une épaisseur inférieure à 0,2 mm (comme requis par DS853 et le tunnel ZTV)
- D'avoir un contrôle parfait de l'épaisseur sur toute la surface.

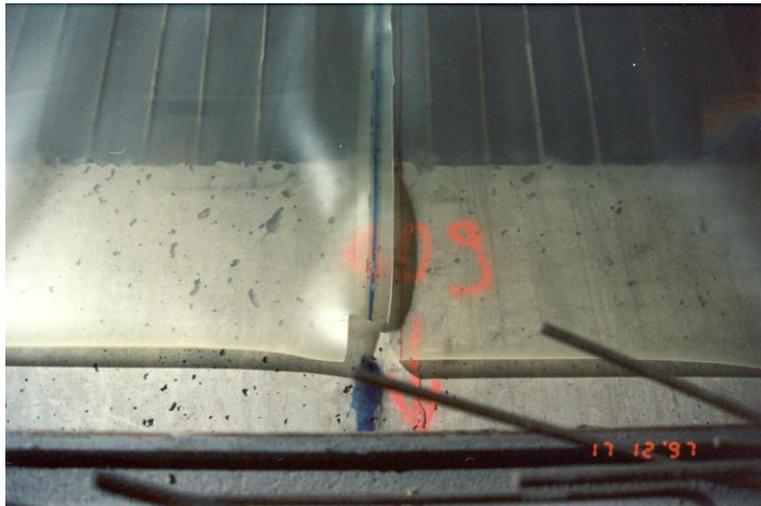
6.1.2. Membrane Translucide

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



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 l'émission de soudure montre que la température était trop élevée, ou le coin chaud pas correctement nettoyée. Dans un tel cas une enquête spéciale sur la qualité de soudure dans ce domaine peut être faite immédiatement. Avec une géomembrane opaques ces défauts ne seraient jamais apparus. La double soudure peut être contrôlée avec une pression d'air ainsi que des liquides colorés. L'avantage de cette méthode est de détecter immédiatement l'endroit des défauts des soudures.

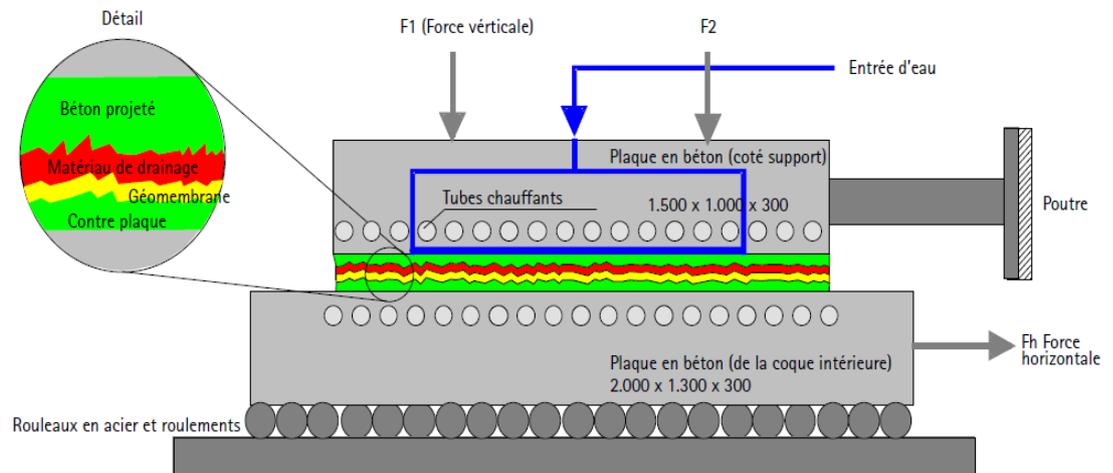
RENOLIT ALKORPLAN 35036 : PVC-P-P Géomembrane translucide



Contrôle avec liquide de couleur

6.1.3. 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) ont montré un cisaillement élevé / résistance à la compression des membranes PVC-P translucide RENOLIT ALKORPLAN 35036 2mm d'épaisseur, même sous haute pression
 - Charge de 2MPa
 - Déplacement horizontal de 3 mm



Coupe schématique du dispositif de compression/cisaillement avec la possibilité de chauffer et drainer, la plaque supérieure (fixe) correspond au béton projeté du support de tunnel

source : The Sealing of Deep-seated Swiss Alpine Railway Tunnels – New Evaluation Procedure for Waterproofing Systems – NEAT AlpTransit

- Le laboratoire allemand SKZ a montré que le PVC-P géomembrane RENOLIT ALKORPLAN 35041 2mm d'épaisseur avait un excellent comportement sous pression (EN ISO 604):
 - La compression à 20%, est de 13,3 MPa, quand un minimum de 2,5 MPa est requise;
 - Compression, à 2,5 MPa de contrainte de compression, est de 7,5%, quand un maximum de 20% est nécessaire
- L'Institut français CETE a montré que le système d'étanchéité composé d'un géotextile 700g / m² + géomembrane RENOLIT ALKORPLAN 35036 2mm + protection de la couche RENOLIT ALKORPLAN 35020 1.9mm offre une résistance à la perforation dynamique une valeur supérieure à 8.5J (fascicule 67 titre III du CCTG)

6.2. Géotextile

6.2.1. Produit

Le géotextile doit être en fibres de polypropylène, fibres courtes fixés mécaniquement ou des 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 et après un certain temps, le géotextile se dissout complètement.

6.2.2. Données techniques

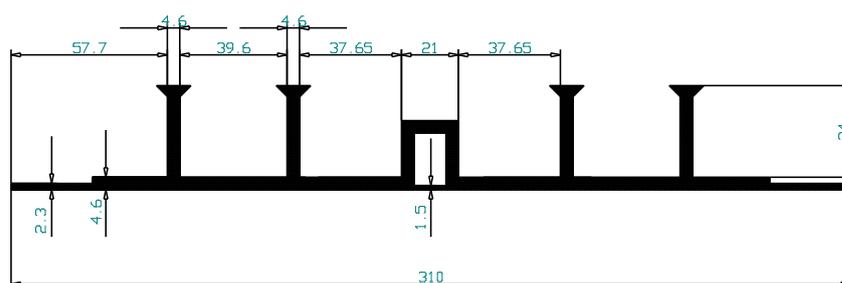
Caractéristiques	Normes	Unités	Spécifications
Poids surfacique	(EN ISO 9864)	g/m ²	500 +-10%
Épaisseur nominale sous 20kPa	(EN ISO 9863-1)	mm	≥ 3.0 +-20%
Résistance à la traction L&T	(EN ISO 10319)	kN/m	≥ 32 -10%
Allongement à la charge maximale	(EN ISO 10319)	%	≥ 80% +-20%
Essai de poinçonnement statique (CBR)	(EN ISO 12236)	kN	>= 6.2 -10%
Test de perforation dynamique (essai par chute d'un cône)	(EN 918)	mm	4 +20%
Résistance à l'oxydation	(EN ISO 13438)	Prévision de durabilité minimale de 25 ans pour chaque application dans un milieu naturel avec 4 < pH <9 et une température du sol <25 ° C	

6.3. Water stops

6.3.1. Water stop avec joint de dilatation

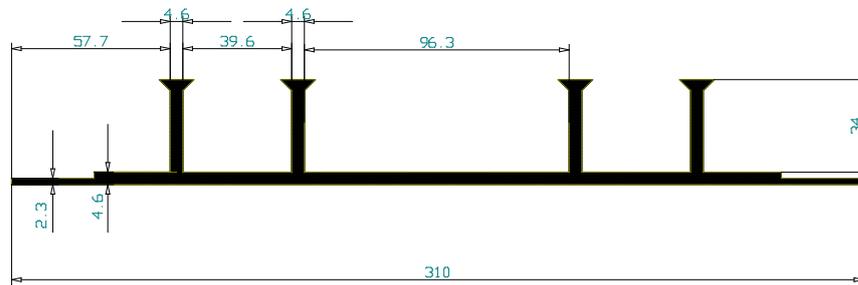
Cet arrêt de l'eau assure la dilatation des bâtiments. En cas de mouvements importants de la construction, le joint du milieu est en mesure se déchire au niveau de la partie fine du fond afin de suivre les mouvements sans endommager l'étanchéité.

DILATION WATER STOP 30/3/4



6.3.2. Water stop sans joint de dilatation

WATER STOP 30/3/4



6.4. Dispositifs d'injection

En plus des waters stop, les dispositifs d'injection sont soudés à des points spécifiques de la géomembrane. La tâche des dispositifs d'injection est de fournir la possibilité d'injecter des matériaux d'étanchéité liquide en vue de colmater la fuite de la géomembrane. Ces liquides ou des résines sont surtout basés sur deux éléments à base d'acrylate ou de polyuréthane. Les dispositifs d'injection passent à travers la coque en béton et sont toujours accessibles au cas où le système d'étanchéité soit défaillant.

Le travail d'injection est une tâche difficile et doit être réalisée par des experts. La résine d'injection doit être projetée dans les tuyaux d'injection entre la géomembrane et le béton. Très important est le mélange des deux composants de la résine, car ils doivent rester liquide assez longtemps afin de se répandre dans toute la surface du compartiment d'une part, et d'autre durcir rapidement, de sorte qu'ils ne soient pas évacués par les infiltrations d'eau.

Deux différents types de systèmes d'injection sont valables:

- pipe d'injection
- tube d'injection



Pipe d'injection



Tube d'injection

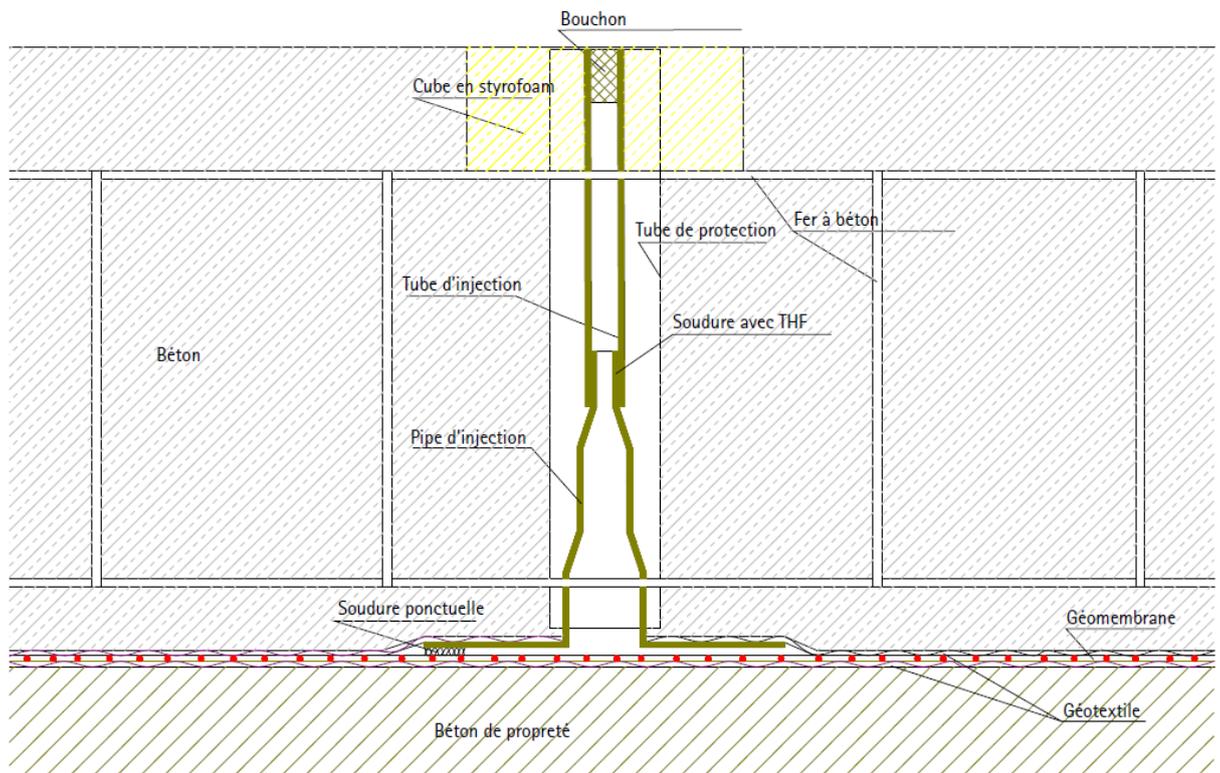
6.4.1. Pipe d'injection

Le tuyau d'injection est un tuyau sur lequel un tube de PVC-P sera soudé à froid chimiquement par THF. On doit s'assurer que le tube peut résister à une pression d'au moins 6 à 8 bars. La connexion entre le tuyau et le tube est sécurisée par une soudure

homogène dans le THF. Aucuns dispositifs métalliques ne seront utilisés pour éviter le danger de perforer la géomembrane. La pièce de sortie du tuyau d'injection doit être intégrée à un dispositif sécuritaire de la surface du béton.



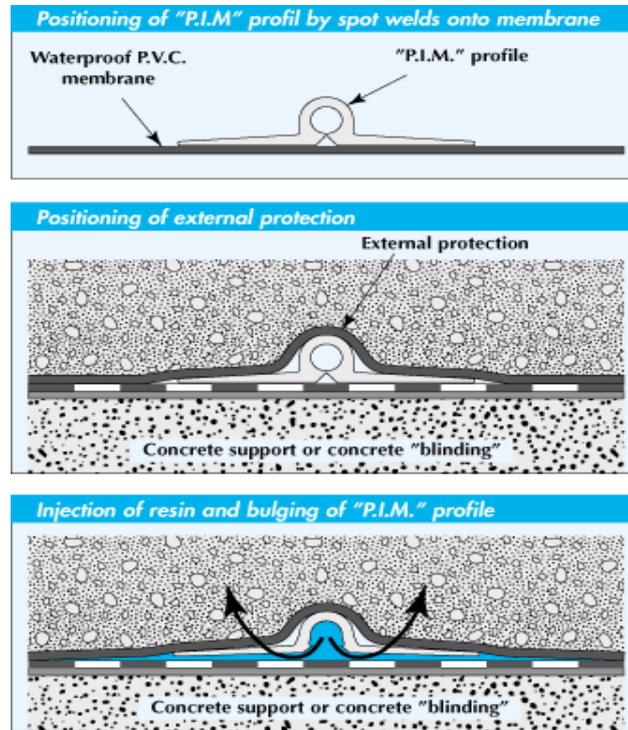
Protection de l'entrée du tuyau d'injection



Mise en œuvre de tuyaux d'injections soudés à la Géomembrane

5.4.1. Tube d'injection

Dispositif d'injection alternative: tubes d'injection ponctuellement soudé à la géomembrane.



6.5. Echafaudage

6.5.1. Echafaudage manuel

En général, l'échafaudage simple est utilisé, circulant sur rails ou sur roues. L'échafaudage est constitué d'éléments stables qui peuvent être transportés facilement et permet des adaptations suivant les dimensions du tunnel.

6.5.2. Echafaudage hydraulique

Un échafaudage hydraulique est un plus sophistiqué avec un dévidoir hydraulique tournant d'un côté à l'autre.

6.6. Appareil de soudage

6.6.1 Machine automatique de soudure à chaud de coin

Ce genre de machine fonctionne avec une panne électrique chauffante. Au-dessus et en dessous du coin, il ya les deux rouleaux de pression qui sont à la fois autonomes et motorisés. Le coin chaud guide la géomembrane qui se chevauche à une pression déterminée entre les deux rouleaux de et la machine avance à la vitesse déterminée. Température, pression et vitesse sont ajustées avant l'exécution de la soudure finale.

La machine est entièrement électroniquement guidée. Dans le cas où la température extérieure se modifie, le guidage électronique s'ajuste aux nouvelles conditions. Des tests ont montré que le soudage exécuté par un automate à coin chaud fournit d'excellents résultats.



Machine automatique de soudure à coin chauffant

6.6.2 Machine automatique de soudure à air chaud

La machine est une combinaison de coin chaud / machine à souder automatique de l'air. 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

6.3.3. Soudure manuelle

La soudure manuelle est indispensable dans les travaux souterrains. Tous les détails doivent être soudés avec cet appareil bien connu.

