



Rely on it.

Étanchéité de tunnels sous infiltration

RENOLIT ALKORGEO

Ouvrages
enterrés



RENOLIT ALKORGEO

Ouvrages enterrés



RENOLIT Belgium N.V.
Industriepark de Bruwaan 9
9700 Oudenaarde | Belgium
Phone BELGIUM: +32.55.33.98.24
Phone NETHERLANDS: +32.55.33.98.31
Fax: +32.55.318658
E-Mail: renolit.belgium@renolit.com

RENOLIT Polska Sp.z.o.o
ul.Szeligowska 46 | Szeligi
05-850 Ozarow Mazowiecki | Poland
Phone: +48.22.722.30.87
Fax: +48.22.722.47.20
E-Mail: renolit.polska@renolit.com

RENOLIT France SASU
5 rue de la Haye BP10943
95733 Roissy CDG Cedex | France
Phone: +33.141.84.30.28
Fax: +33.149.47.07.39
E-Mail: renolitFrance-geniecivil@renolit.com

RENOLIT Hungary Kft.
Hegyalja út 7-13
1016 Budapest | Hungary
Phone: +36.1.457.81.62
Fax: +36.1.457.81.60
E-Mail: renolit.hungary@renolit.com

RENOLIT India PVT. Ltd
9, Vatika Business Centre, Vatika Atrium, III Floor
Block- B, Sector 53, Golf Course Road
Gurgaon 122002 | India
Phone: +91.124.4311267
Fax: +91.124.4311100
E-Mail: renolit.india@renolit.com

RENOLIT Italia S.r.L
Via Uruguay 85
35127 Padova | Italy
Phone: +39.049.099.47.00
Fax: +39.049.870.0550
E-Mail: renolit.italia@renolit.com

RENOLIT Portugal Ltda.
Parque Industrial dos Salgados da Póvoa
Apartados 101
2626-909 Póvoa de Santa Iria | Portugal
Phone: +351.219.568.306
Fax: +351.219.568.315
E-Mail: renolit.portugal@renolit.com

RENOLIT Iberica S.A.
Ctra. del Montnegre, s/n
08470 Sant Celoni | Spain
Phone: +34.93.848.4013
Fax: +34.93.867.5517
E-Mail: renolit.iberica@renolit.com

OOO RENOLIT-Rus
BP "Rumyantsevo" bld.2, block V, office 414 V
142784 Moscow region, Leninskiy district | Russia
Phone: +7.495.995.1404
Fax: +7.495.995.1614
E-Mail: renolit.russia@renolit.com

RENOLIT Nordic K/S
Naverland 31
2600 Glostrup | Denmark
Phone: +45.43.64.46.33
Fax: +45.43.64.46.39
E-Mail: renolit.nordic@renolit.com

RENOLIT Export department
Ctra. del Montnegre, s/n
08470 Sant Celoni | Spain
Phone: +34.93.848.4272
Fax: +34.93.867.5517
E-Mail: tiefbau@renolit.com

RENOLIT SE
Horchheimer Str. 50
67547 Worms | Germany
Phone: +34.93.848.4272
Fax: +34.93.867.5517
E-Mail: tiefbau@renolit.com



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 : 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.

Conception du système d'étanchéité

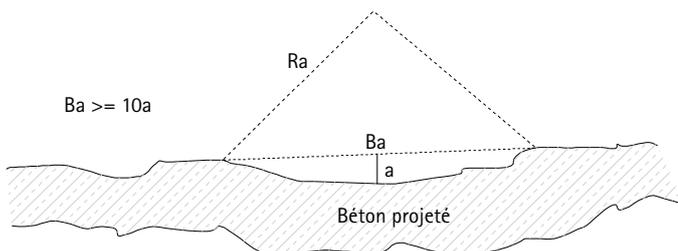
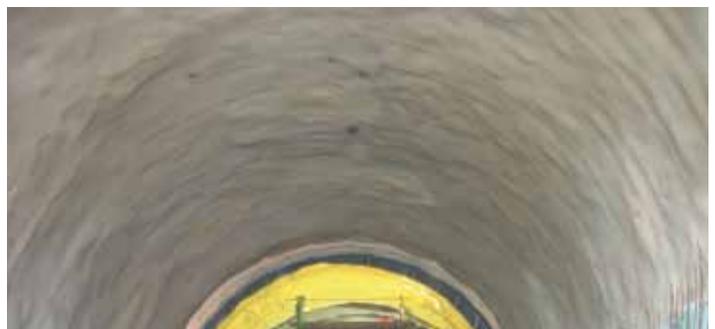
Composants

- 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 Stops), principalement dans les tunnels sous pression d'eau.
- Système d'injection, principalement dans les tunnels sous pression d'eau.

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

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

Installation du système d'étanchéité

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 réglé 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.

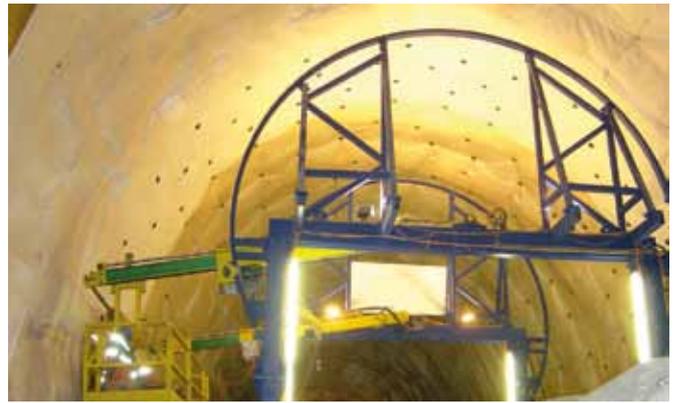
Les laies de géomembranes sont soudées ensemble avec des machines automatiques à double soudure avec canal central de contrôle.

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.



Échafaudage hydraulique sur roues



Echafaudage manuel



Fixation du géotextile

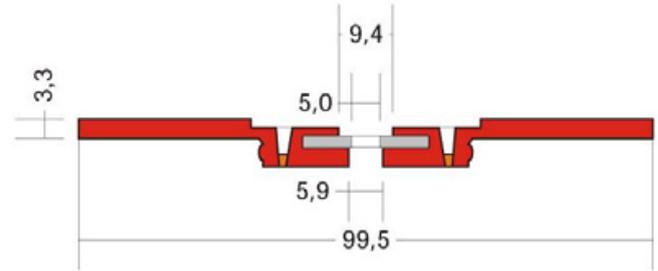


Fixation de la géomembrane par appareil manuel

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:



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.

Bande de renfort

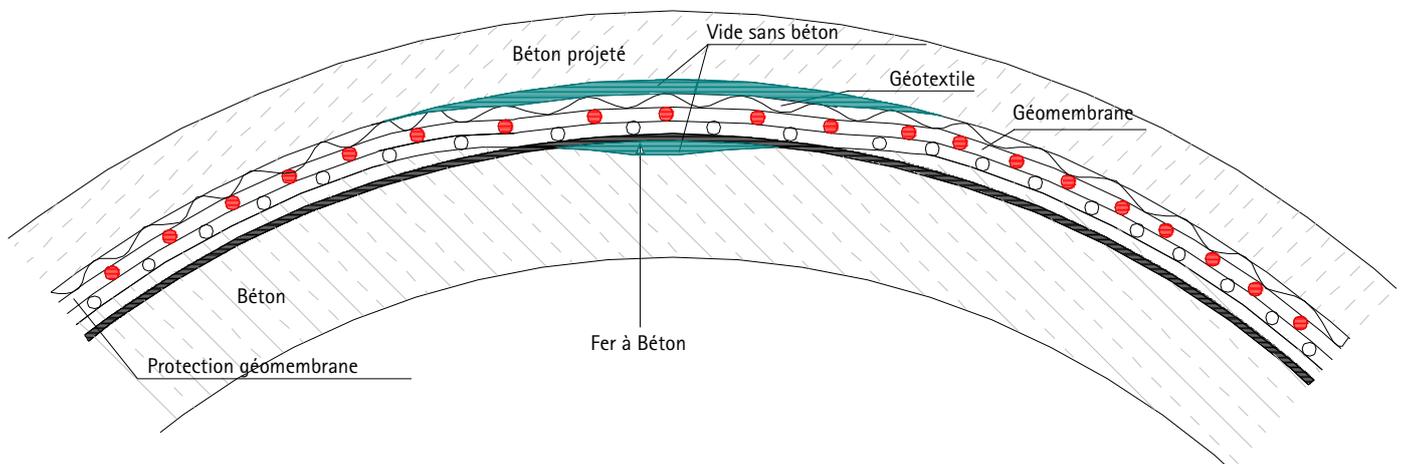
Les unités de coffrage pour le béton intérieur font, en général, entre 8 à 12 m. A la fin de l'unité de coffrage, une tête de coffrage doit être placée. Le placement de cette tête de coffrage, composée de petites planches, peut endommager la géomembrane si elle n'est pas protégée.

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.

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).



Ancrages pour les fers à béton de l'armature

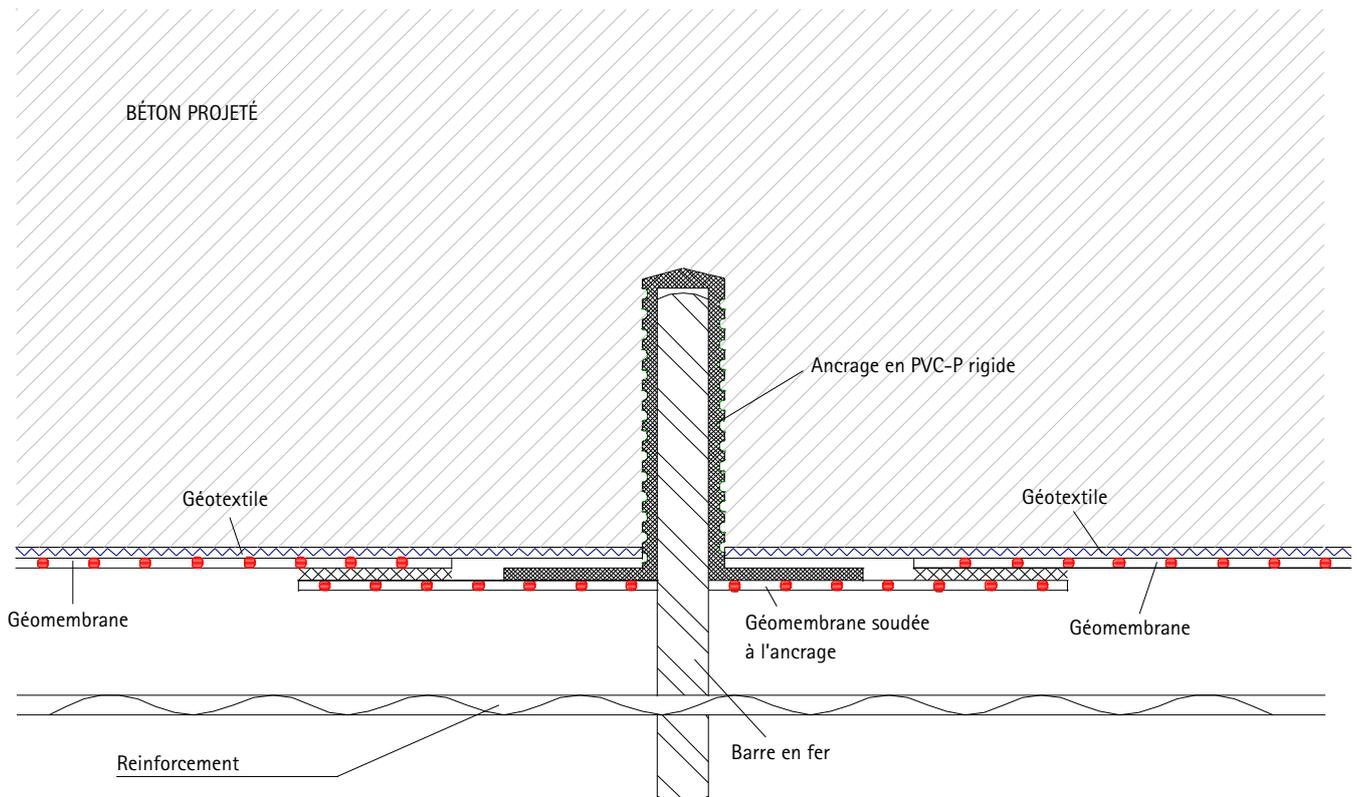
L'installation des fers à béton du béton armé est l'un des plus grands dangers pour le système d'étanchéité. Dans la voûte, la géomembrane n'est généralement pas protégée et donc exposée au danger d'être perforée lors des travaux de ferrailage.

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.



Ancrage de Béton

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.

Combinée à un système d'injection, la réparation d'un compartiment qui fuit peut être réalisée sans endommager la géomembrane, et à un coût raisonnable.





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 broyage, 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

Matériel

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.

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.



Membrane Translucide

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



Contrôle avec liquide de couleur

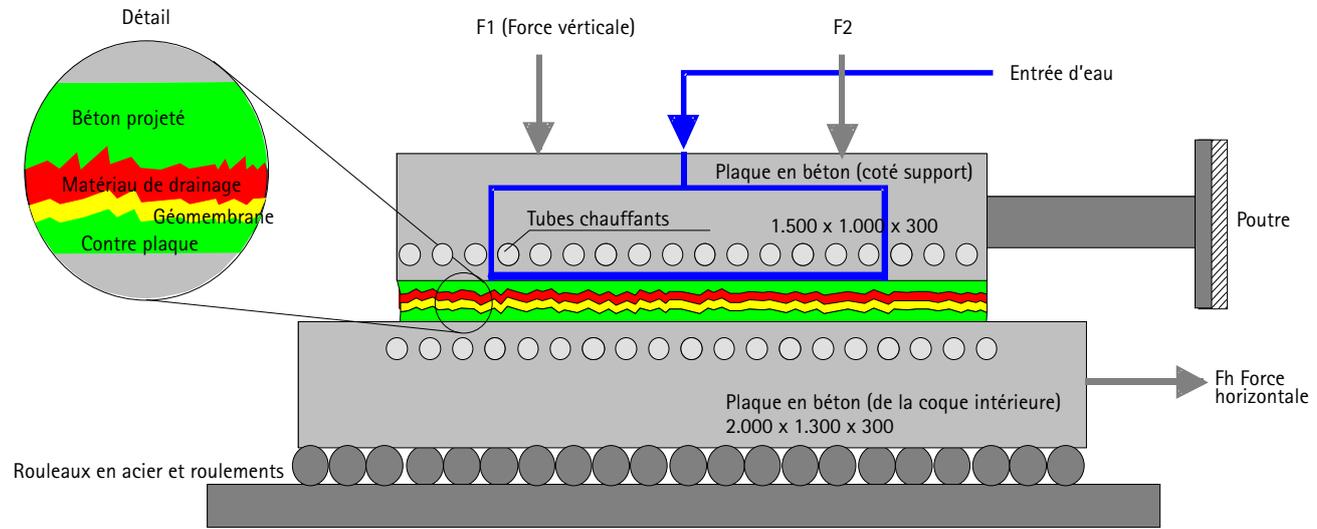
Cette image montre que cette soudure est de bonne qualité avec une soudure plus translucide que la zone du canal de test, mais les traces noires au début de la soudure montrent que la température était trop élevée, ou le coin chauffant mal nettoyé. Dans un cas similaire, une analyse de la qualité de soudure à 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.



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 RENOLIT ALKORPLAN (type 35036 2mm d'épaisseur), même sous pressions extrêmes :
 - Charge de 2MPa
 - Déplacement horizontal de 3 mm



Coupe schématique du dispositif de compression/cisaillement avec la possibilité de chauffer et drainer, la plaque supérieur (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 la géomembrane avec couche de signalisation PVC-P RENOLIT ALKORPLAN (type 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 RENOLIT ALKORPLAN 35036 2mm + couche de protection RENOLIT ALKORPLAN 35020 1.9mm offre une résistance à la perforation dynamique supérieure à 8.5J (fascicule 67 titre III du CCTG).

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.

Bande d'arrêt d'eau (water stop)

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.

Water stop de compartimentation

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

Dispositif d'injection

- Deux différents types de systèmes d'injection sont disponibles :
- pipe d'injection
 - tube d'injection

Echafaudage

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.

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.

Appareil de soudage

Machine automatique de soudure à chaud de coin

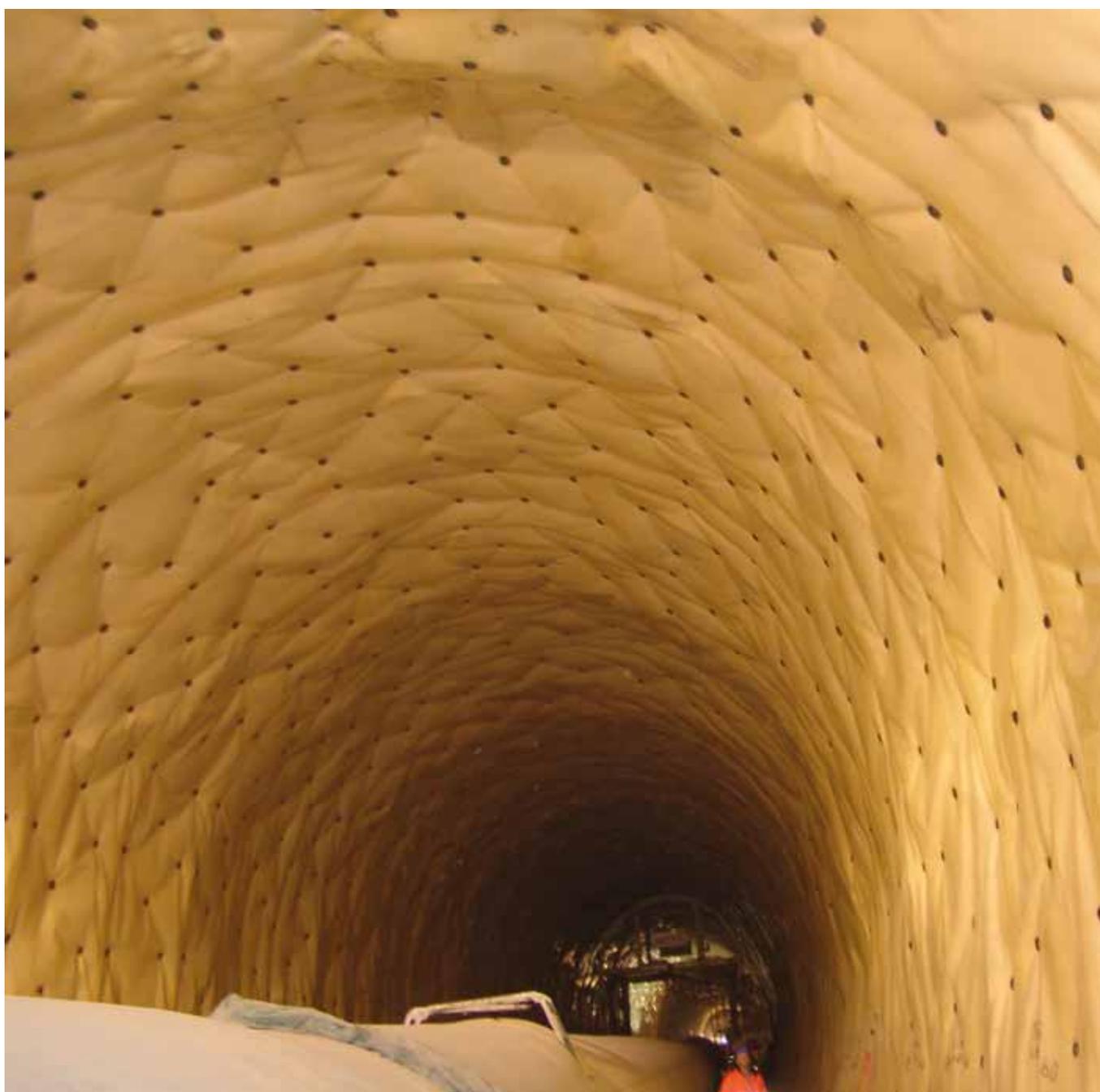
Ce type de machine fonctionne avec un coin chauffé électriquement. Par dessus, et par-dessous le coin chauffant, il y a deux rouleaux de pression qui sont motorisés de manière indépendante. Le coin chauffant est guidé dans le recouvrement des géomembranes ; les deux rouleaux de pression font avancer 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 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

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.





Rely on it.

RENOLIT Iberica, S.A.
Ctra. del Montnegre, s/n
08470 Sant Celoni (Barcelona)
Spain
Phone: +34.93.848.4000
Fax: +34.93.867.5517
renolit.iberica@renolit.com
www.alkorgeo.com

vinyl^{plus}



RENOLIT ALKORGEO