



*Rely on it.*

Étanchéité de tunnels en tranchée couverte

RENOLIT  
ALKOR GEO

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](mailto: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](mailto: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](mailto:renolitFrance-geniecivil@renolit.com)

**RENOLIT Hungary Kft.**  
Hegyálja út 7-13  
1016 Budapest | Hungary  
Phone: +36.1.457.81.62  
Fax: +36.1.457.81.60  
E-Mail: [renolit.hungary@renolit.com](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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 constructions en tranchée couverte de par ses excellentes propriétés mécaniques, de manutention et de durabilité.

Sa haute résistance à la perforation est précieuse pour résister, d'une part, aux agressions mécaniques causées par la mise en oeuvre de remblais et, d'autre part, aux pressions élevées réalisées sur la géomembrane par le poids de l'édifice : RENOLIT ALKORPLAN 35034 – 35036 – 35041.

## Installation du système d'étanchéité

### Radier

- Béton maigre, dit de propreté
- Géotextile de 500 g/m<sup>2</sup>
- Géomembrane PVC-P de 2,0 mm (1,5 mm)
- Géotextile de 500 g/m<sup>2</sup>
- Feuille de PE de 0,25 mm comme couche de désolarisation
- Béton de protection

Un système de compartimentage, comprenant des Water Stop et des tuyaux d'injection peut être installé afin d'assurer un système de contrôle et de réparation de l'étanchéité. La surface de ces zones de contrôle ne doit pas être supérieure à 100 m<sup>2</sup>.



### Pied Droit (vertical)

#### Pied Droit sans limite d'emprise (avec espace de travail)

- Géotextile 500 g / m<sup>2</sup>
- Géomembrane PVC-P 2,0 mm (1,5 mm)
- Géotextile 500 g / m<sup>2</sup>
- Couche de protection (carton, blocs de béton)
- remblai

#### Pied Droit avec d'emprise (sans espace de travail)

- Un mur de soutènement
- Couche de séparation (par exemple en mousse de polystyrène de 4 cm ou similaire)
- Géotextile 500 g / m<sup>2</sup>
- Géomembrane PVC-P 2,0 mm (1,5 mm)
- Géotextile
- Mur en béton

On utilise les mêmes systèmes de compartimentage et d'injection qu'en radier. Les arrêts d'eau sont placés au niveau, ou juste à côté, de la jonction radier et pied droit. La surface des zones de contrôle doit être déterminée selon la situation particulière du chantier.



## Installation de la membrane d'étanchéité

### Etanchéité sans limite d'emprise (avec espace de travail)

#### Etanchéité du radier

Une fois le béton maigre coulé, le système d'étanchéité peut être installé.

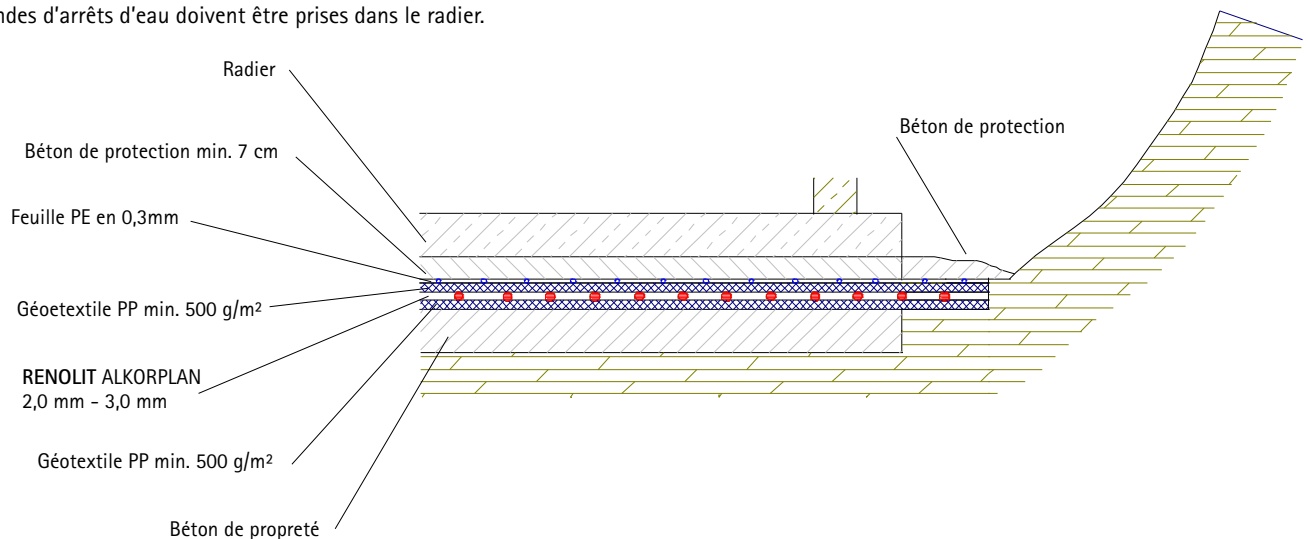
Il est composé de:

- Géotextile PP de minimum 500 g/m<sup>2</sup>.
- Géomembrane PVC-P d'épaisseur 2,0 mm minimum.
- Couche de protection qui peut être constituée soit d'une feuille de protection PVC-P de 1,5 mm à 2,0 mm (RENOLIT ALKORPLAN 35020) soit d'un géotextile de 500 g/m<sup>2</sup> minimum. La couche de protection est installée sur la géomembrane, en dehors des arrêts d'eau (le cas échéant).

Il est absolument indispensable de mettre une feuille mince en PE par dessus le géotextile si celui-ci est choisi comme couche de protection, afin d'avoir une couche de séparation entre le béton maigre et la dalle de béton. En outre la feuille de PE évite la pénétration de ciment liquide dans le géotextile.

Cette protection est installée en dehors des arrêts d'eau (le cas échéant), qui doivent rester libre.

- Enfin, une dernière couche de béton de protection doit être mise en place. En cas de mise en oeuvre d'arrêts d'eau, le béton de protection ne doit pas être coulé sur ceux-ci. Pour fonctionner, les bandes d'arrêts d'eau doivent être prises dans le radier.



Excavation sans limite d'emprise (avec un espace de travail)

#### Etanchéité entre le radier et les voiles verticaux

La membrane d'étanchéité doit dépasser de chaque côté du radier, afin de pouvoir se connecter à l'étanchéité des voiles verticaux. Cette membrane qui dépasse du radier, doit être protégée (par exemple avec du béton poreux) jusqu'à ce que les murs soient construits.

Selon sa hauteur, le mur vertical sera construit par étapes. Après avoir terminé les travaux de bétonnage de la première section du mur vertical, le béton protégeant la membrane dépassant du radier, sera supprimé. La jonction entre le système d'étanchéité du radier et du mur peut être exécutée.

Ce point de jonction entre le radier et le mur vertical est extrêmement délicat pour l'étanchéité. La pression qui s'exerce dans ces coins, génère de fortes contraintes; il est donc très important d'y placer avec le plus grand soin, le revêtement d'étanchéité.

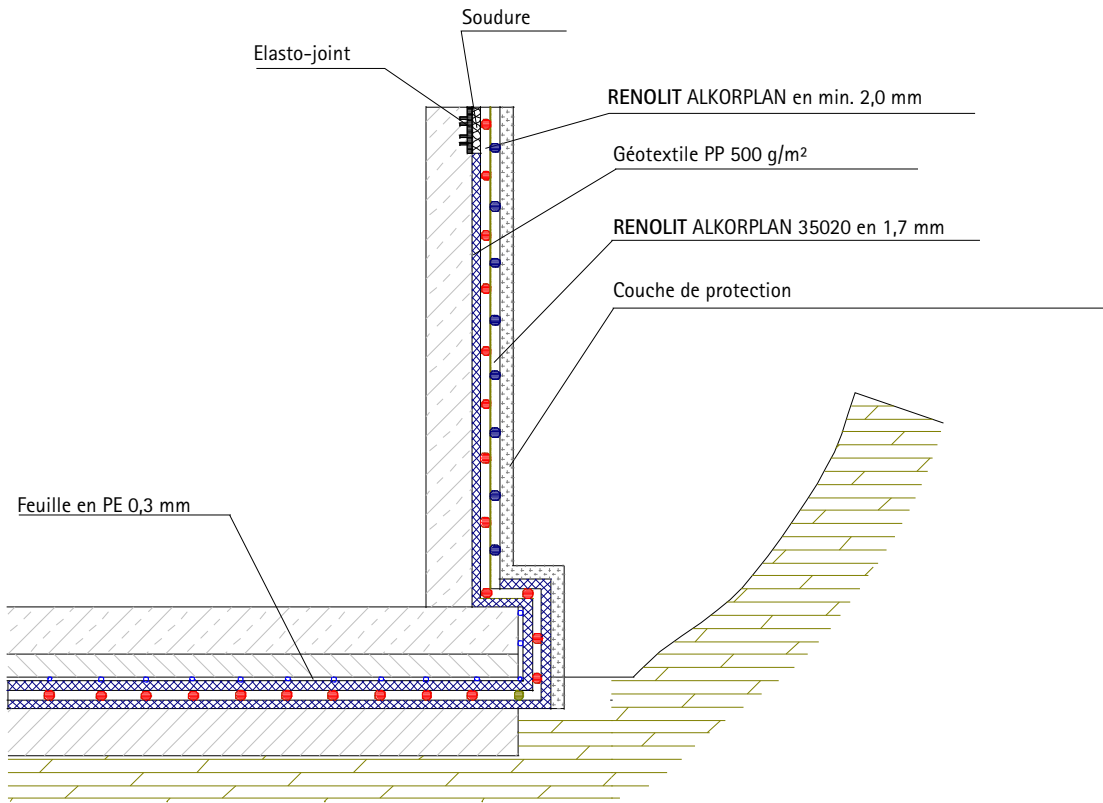


### Etanchéité des voiles verticaux

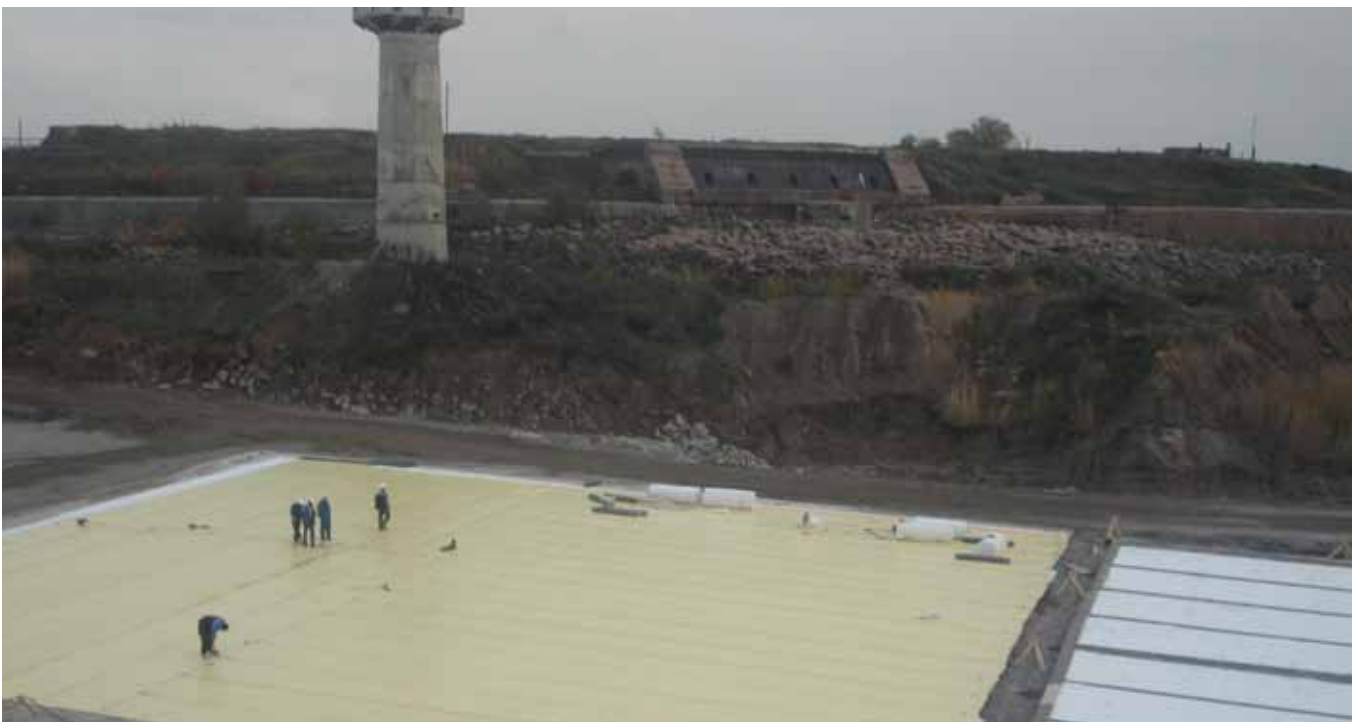
La fixation en tête peut être faite de différentes manières. Il y a la possibilité de placer une bande d'arrêt d'eau (water stop) dans la partie supérieure du coffrage. Après le bétonnage, le coffrage est retiré, la bande d'arrêt d'eau nettoyée à l'eau et la géomembrane est soudée au water stop. C'est une très bonne solution technique qui permet en outre de créer un système de compartimentage. Quand le mur est construit par étape, et que la fouille est remblayée

au fur et à mesure, l'étanchéité doit suivre les travaux de bétonnage et être fixée de manière temporaire avec une fixation intermédiaire sur la nouvelle section de mur. A l'étape suivante, la géomembrane est soudée en dessous de cette fixation intermédiaire, qui est alors supprimée.

Cette procédure se poursuivra tant que les travaux ne sont pas achevés. La fixation définitive sur le plus haut niveau peut alors être faite avec l'aide d'un arrêt de l'eau ou une fixation mécanique.



Etanchéité entre le radier et les voiles verticaux

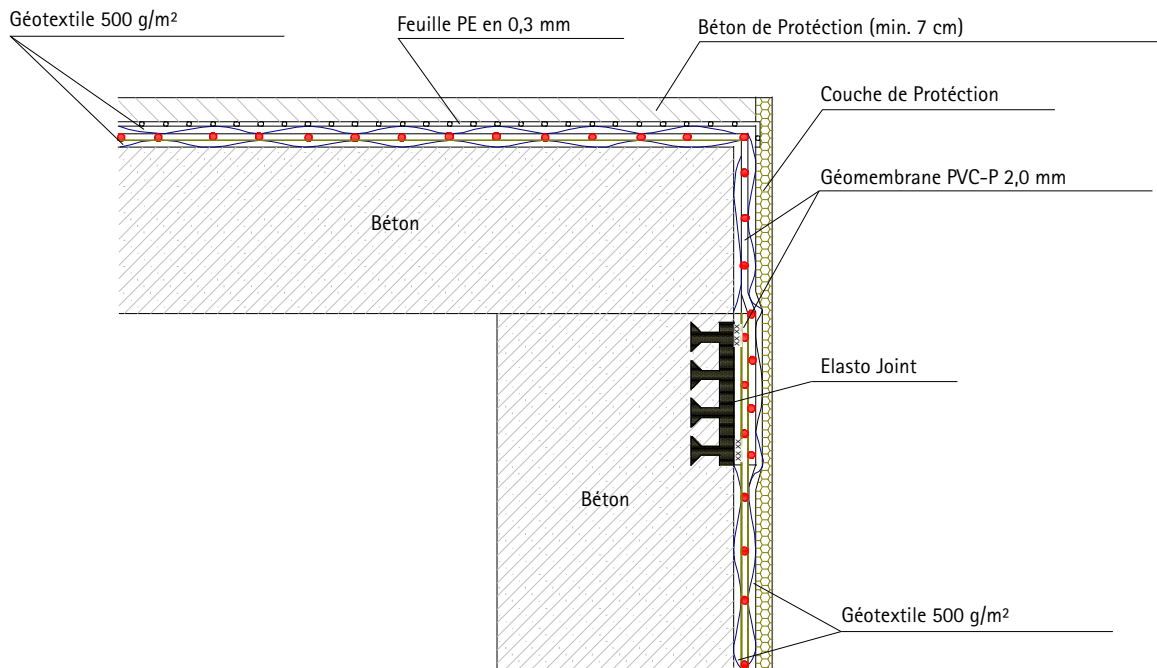




## 6 Etanchéité de tunnels en tranchée couverte

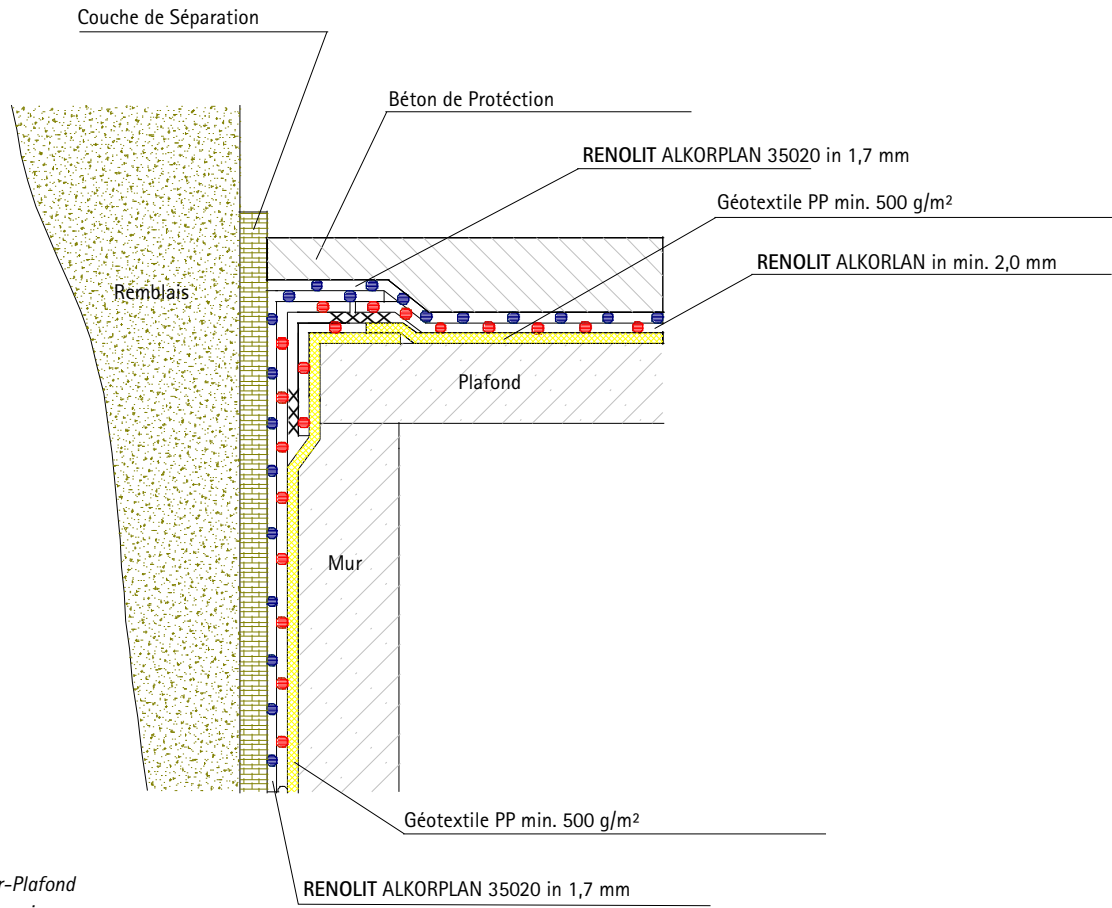
### Etanchéité de la dalle de couverture

La jonction entre le mur vertical et la dalle de couverture peut être exécutée de différentes manières. Une bonne solution technique consiste à utiliser une bande d'arrêt d'eau pour fixer la géomembrane en sommet du mur vertical et d'y faire la jonction avec la membrane horizontale de la dalle du plafond.



La surface de la dalle de couverture doit être propre et exempte de débris et de pierres, sans trous. Le système d'étanchéité est identique à celui du radier.





Connexion Mur-Plafond  
Sans limite d'emprise



## Etanchéité avec limite d'emprise (sans espace de travail)

### Etanchéité du radier

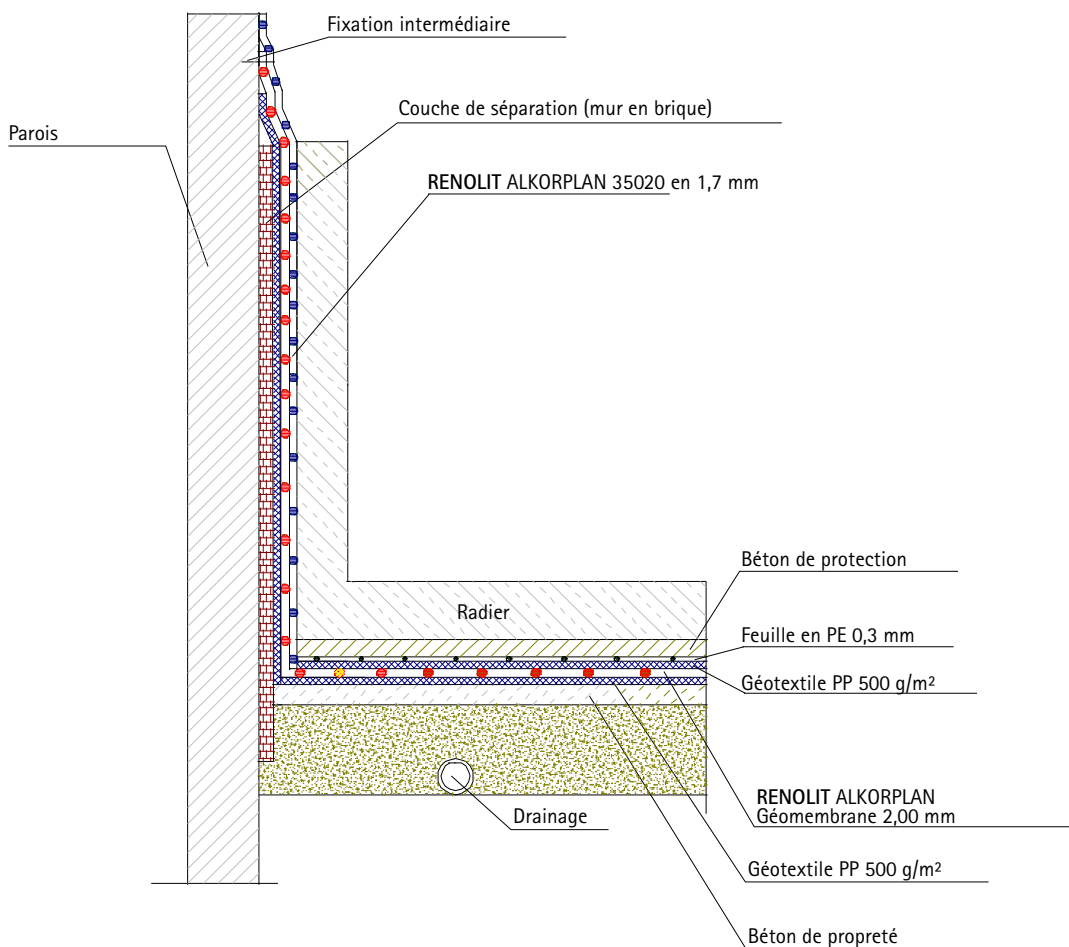
L'exécution de l'étanchéité du radier avec limite d'emprise, est similaire à celle sans limite d'emprise, mis à part sa connexion au voile vertical.

L'étanchéité doit être fixée temporairement sur le mur de soutènement à une certaine hauteur (minimum 30 cm) afin de garantir une connexion sécurisée avec l'étanchéité du mur. La fixation temporaire doit être enlevée avant de poursuivre le bétonnage des faces verticales. Un géotextile doit être placé entre le mur de soutènement et la géomembrane.

### Etanchéité des voiles verticales

Les travaux d'étanchéité sont effectués avant les travaux de bétonnage du mur vertical. Quand le mur est construit par étape, l'étanchéité doit être installée au dessus de la section de mur qui sera coulée à l'étape suivante.

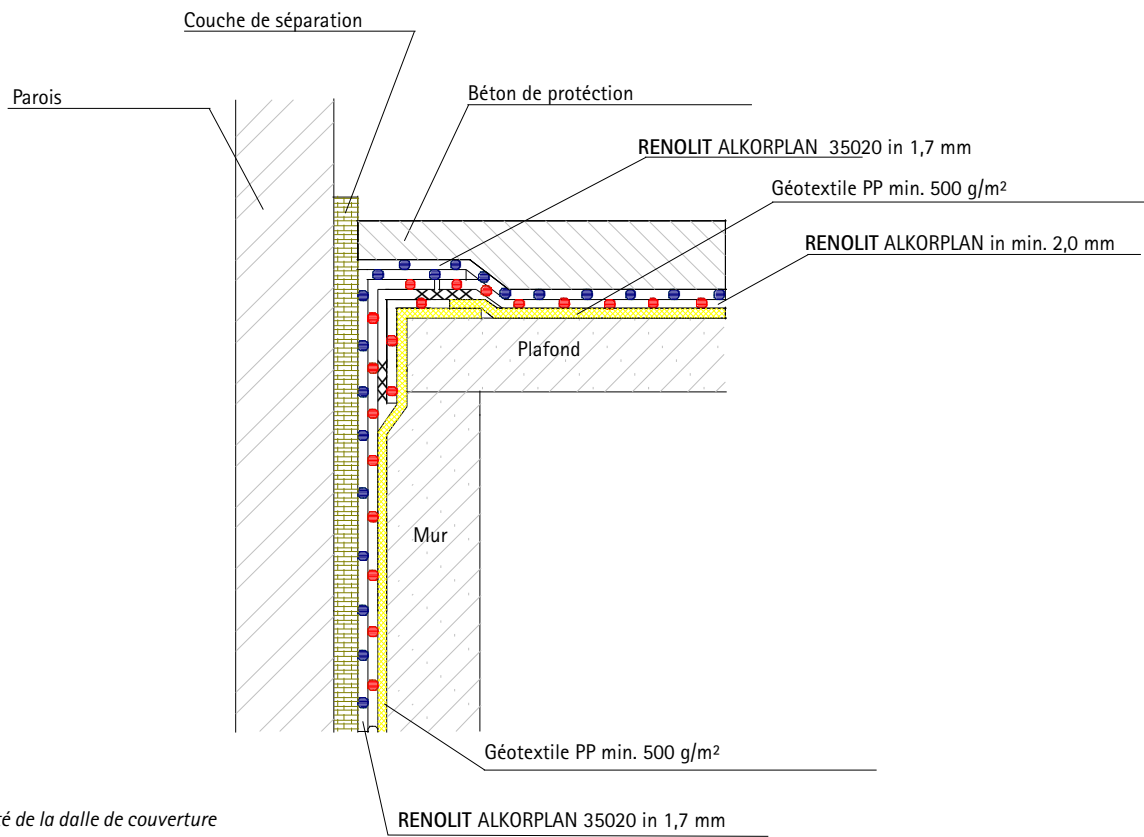
L'étanchéité est temporairement fixée au dessus de ce niveau, avec une fixation intermédiaire sur le mur de soutènement. Lorsque les travaux reprennent, la fixation temporaire est enlevée, la partie suivante de l'étanchéité est soudée à la membrane installée et placée sur la surface verticale de la section suivante. Si la construction continue de cette manière, la méthode décrite sera répétée (schéma sans bandes d'arrêts d'eau).





### Etanchéité de la dalle de couverture

La surface de la dalle de couverture doit être propre et exempte de débris et de pierres, sans trous. Le système d'étanchéité est identique à celui du radier.



Etanchéité de la dalle de couverture



## Système de Compartimentage

Ce système contribue à réduire les travaux de réparation en cas de dommage. La bande d'arrêt d'eau (water stop), soudée à la géomembrane, divise le système d'étanchéité en compartiments qui limite la propagation de l'eau en cas d'infiltration. La surface d'un compartiment ne doit pas être supérieure à 100 m<sup>2</sup>. Les ancrages des arrêts d'eau doivent être bien intégrés dans le béton afin d'empêcher l'eau de se répandre d'un compartiment à l'autre. Les arrêts d'eau en PVC-P sont soudés à la géomembrane (avec soudeuse automatique pour les surfaces horizontales). Grâce à ces compartiments, la zone de fuite peut être déterminée avec précision. En combinaison avec un système d'injection, la réparation d'un compartiment en cas de fuite, peut être réalisée sans endommager la géomembrane, à coût raisonnable. Selon le type de joints, il est utilisé soit des arrêts d'eau normaux soit des arrêts d'eau de dilatations.

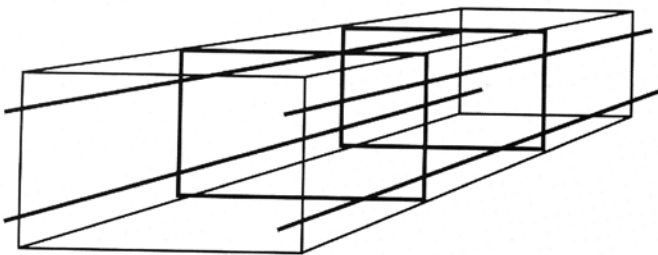


Schéma de compartiments dans le tunnel en tranchée couverte



Installation des bandes d'arrêt d'eau

## 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.



Double soudure de la membrane translucide

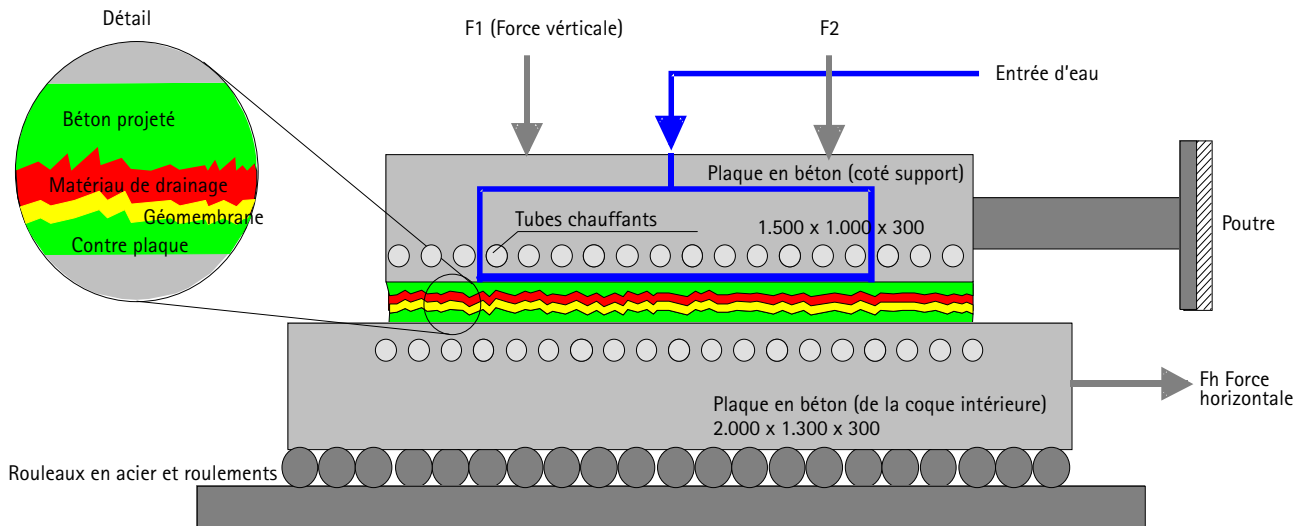
#### Membrane Translucide

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 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 opaques ces défauts ne seraient jamais apparus. La double soudure peut être contrôlée par pression d'air ou avec des liquides colorés. L'avantage de cette méthode 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



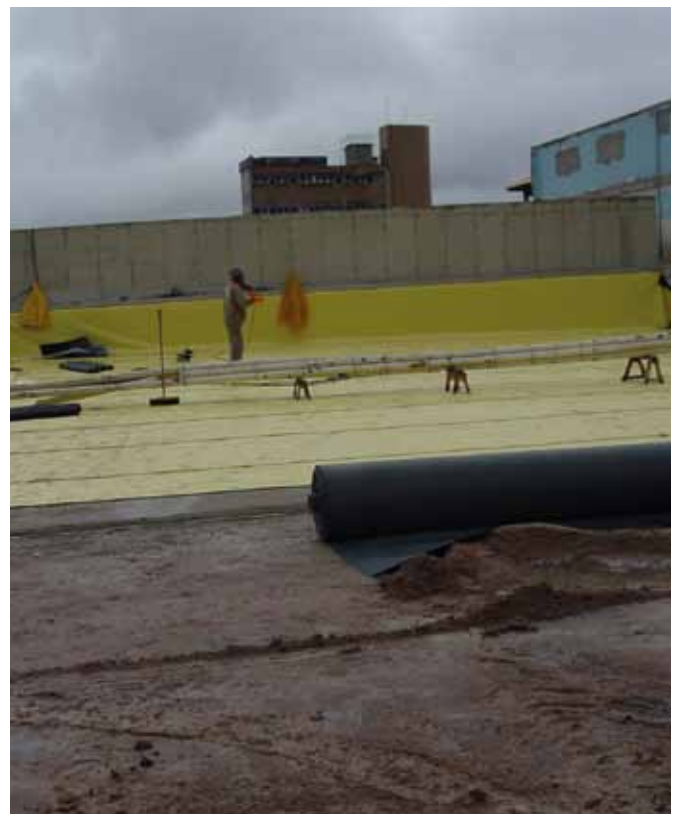
Coupe schématique du dispositif de compression/cisaillement avec la possibilité de chauffer et drainer, la plaque supérieur (fixe) correspond au béton projeté du support de tunnel

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 RENOLIT ALKORPLAN PVC-P (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/m<sup>2</sup> + 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). higher than 8.5J (fascicule 67 titre III of C.C.T.G.)

### 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 – partie courante

Ce type de water stop est utilisé pour créer un système de compartimentation.

## Dispositifs d'injection

En plus des water stop, des dispositifs d'injection sont soudés à des points précis de la géomembrane afin de pouvoir injecter des matériaux d'étanchéité liquide en vue de colmater une éventuelle fuite dans la géomembrane. Ces liquides (ou résines) sont surtout des bi-composants à base d'acrylique ou de polyuréthane. Les dispositifs d'injection passent à travers la coque en béton et sont toujours accessibles dans le cas où le système d'étanchéité se révèle défaillant. Le travail d'injection est une tâche difficile et doit être réalisée par des experts. La résine doit être injectée entre la géomembrane et le béton. Très important est le mélange des deux composants de la résine, car d'une part, elle doit rester liquide assez longtemps afin de se répandre dans toute la surface du compartiment, et d'autre part, elle doit durcir suffisamment rapidement de sorte qu'elle ne soit pas lessivée par les infiltrations d'eau.

Deux différents types de systèmes d'injection sont disponibles:

- pipe d'injection
- tube d'injection

### Pipe d'injection

La pipe d'injection est un tuyau sur lequel un tube de PVC-P sera soudé à froid chimiquement par THF. Le tube doit être résistant à une pression d'au moins 6 à 8 bars. Aucun dispositif métallique ne sera utilisé pour éviter le danger de perforer la géomembrane. La sortie du tuyau d'injection doit être intégrée à un dispositif de sécurité se trouvant à la surface du béton.



Protection de l'entrée du tuyau d'injection

### Tube d'injection

Dispositif d'injection alternatif: tubes d'injection ponctuellement soudés à la géomembrane qui s'ouvrent sous l'effet de leur mise en pression.



Tube d'injection soudé à la géomembrane







## Appareil de soudage

### Machine automatique de soudure à coin chauffant

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*





*Machine automatique de soudure à air chaud*

#### **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 contrôlées 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.  
Carretera 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



RENOLIT ALKORGEO