

<b>1. INTRODUCTION</b> .....	3
<b>1.1. Généralité</b> .....	3
<b>1.2. Produits RENOLIT</b> .....	3
<b>1.3. Qualité du revêtement- Exigences</b> .....	3
<b>1.3.1. Imperméabilité</b> .....	3
<b>1.3.2. Souplesse</b> .....	3
<b>1.3.3. Résistance chimique</b> .....	3
<b>2. GEOMEMBRANES RENOLIT</b> .....	4
<b>2.1. Géomembranes RENOLIT ALKORPLAN</b> .....	4
<b>2.1.1. Références Géomembranes RENOLIT ALKORPLAN</b> .....	4
Les membranes dénommées ci-dessous ne sont pas traité UV.....	4
<b>2.1.2. Propriétés</b> .....	4
<b>2.1.3. Caractéristiques</b> .....	5
<b>2.2. Géomembranes RENOLIT ALKORTOP</b> .....	5
<b>2.2.1. Références Géomembranes RENOLIT ALKORTOP</b> .....	5
<b>2.2.2. Propriétés</b> .....	5
<b>2.2.3. Caractéristiques</b> .....	5
<b>2.3. Géomembranes RENOLIT ALKORTENE</b> .....	6
<b>2.3.1. Références Géomembranes RENOLIT ALKORTENE</b> .....	6
<b>2.3.2. Propriétés</b> .....	6
<b>2.3.3. Caractéristiques</b> .....	6
<b>2.4. Accessoires</b> .....	6
<b>2.5. Procédure de production de RENOLIT</b> .....	7
<b>2.6. Géomembrane recommandées</b> .....	7
<b>3. CONCEPT DU SYSTEME D'ETANCHEITE</b> .....	7
<b>3.1. Radier</b> .....	7
<b>3.2. Pied Droit (vertical)</b> .....	8
<b>3.2.1. Pied Droit sans limite d'emprise (avec espace de travail)</b> .....	8
<b>3.2.2. Pied Droit avec limite d'emprise (sans espace de travail)</b> .....	8
<b>4. INSTALLATION DE LA MEMBRANE D'ETANCHEITE</b> .....	9
<b>4.1. Etanchéité sans limite d'emprise (avec espace de travail)</b> .....	9
<b>4.1.1. Etanchéité du radier</b> .....	9
<b>4.1.2. Etanchéité entre le radier et les voiles verticaux</b> .....	11
<b>4.1.3. Etanchéité des voiles verticaux</b> .....	11
<b>4.2. Etanchéité avec limite d'emprise (sans espace de travail)</b> .....	12
<b>4.2.1. Etanchéité du radier</b> .....	12
<b>4.2.2. Etanchéité des voiles verticaux</b> .....	13
<b>4.3. Système de Compartimentage</b> .....	15
<b>4.4. Système de double étanchéité pour applications spéciales</b> .....	16
<b>4.4.1. Préfabrication</b> .....	18
<b>4.4.2. Système de Contrôle et Système d'Injection:</b> .....	19
<b>4.4.3. Raccordement des éléments préfabriqués sur le site</b> .....	20
<b>4.4.4. Réparation</b> .....	22
<b>5. MATERIEL</b> .....	23
<b>5.1. Géomembrane</b> .....	23

5.1.1.	Système avec couche de signalisation (Signal Layer) .....	23
5.1.2.	Membrane Translucide .....	23
5.1.3.	Résistance de la géomembrane PVC-P RENOLIT ALKORPLAN sous pression 24	
5.2.	<b>Géotextile</b> .....	25
5.3.	<b>Bande d'arrêt d'eau (water stop)</b> .....	25
5.3.1.	Water stop avec joint de dilatation.....	25
4.4.1.	Water stop de compartimentation .....	26
5.4.	<b>Dispositifs d'injection</b> .....	26
5.4.1.	Pipe d'injection.....	26
5.4.2.	Tube d'injection .....	27
5.5.	<b>Appareil de soudage</b> .....	28
5.5.1.	Machine automatique de soudure à coin chauffant.....	28
5.5.2.	Machine automatique de soudure à air chaud.....	29
5.5.3.	Soudure manuelle.....	29

## **1. INTRODUCTION**

### **1.1. Généralité**

L'utilisation des géomembranes synthétiques comme une étanchéité des fondations 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

### **1.2. Produits RENOLIT**

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

- Géomembrane RENOLIT ALKORPLAN PVC-P
- Géomembrane RENOLIT ALKORTENE PE
- Géomembrane RENOLIT ALKORTOP PP

### **1.3. Qualité du revêtement- Exigences**

La qualité de l'étanchéité dépend de:

- Choix de la géomembrane
- Système d'étanchéité incluant la préparation du support
- 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 (PP) flexible.

### **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.

- FPP est moins souple que le PVC-P par température de  $10^\circ \text{ C}$ , 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. Géomembranes RENOLIT ALKORTENE**

Les géomembranes RENOLIT ALKORTENE sont des géomembranes en Polyéthylène (PE)

#### **2.3.1. Références Géomembranes RENOLIT ALKORTENE**

- 00251, Géomembrane homogène PE Haute Densité (HD), extrudée, largeur standard 6,00 m, couleur noire.
- 00274, Géomembrane homogène PE Basse Densité (PEBD), extrudée, largeur standard 6,00 m, couleur noire.

#### **2.3.2. Propriétés**

Géomembranes fabriquées à base de PE, extrudées, noir.

- Les géomembranes en polyéthylène ont une résistance chimique élevée, en particulier par rapport aux hydrocarbures, ainsi qu'aux acides et bases.
- Faible résistance contre l'oxygène actif.
- Capacité de déformation réduite en raison de sa faible flexibilité, surtout sur un sol inégal et rugueux.
- Résistance moyenne au poinçonnement hydraulique (>675 kPa/mm).
- Faible angle de frottement (+- 18°)
- Très forte dilatation thermique : (+- 2.6 10<sup>-4</sup> cm/cm/°C)
- Le PE peut être soudée par l'air chaud ou coins chauffants. Les détails doivent être soudés par extrusion. Il n'est pas possible de souder ce matériel manuellement avec l'air chaud.

#### **2.3.3. Caractéristiques**

Voir fiches techniques.

### **2.4. 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 partie d'un tel système:

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

## **2.5. 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.

## **2.6. 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 fondation 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 œuvre de remblais et, d'autre part, aux pressions élevées réalisées sur la géomembrane par le poids de l'édifice : RENOLIT ALKORPLAN 35034 – 35036 – 35041.

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. CONCEPT DU SYSTEME D'ETANCHEITE**

### **3.1. 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 désolidarisation
- 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>.

### 3.2. Pied Droit (vertical)

#### 3.2.1. 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



#### 3.2.2. Pied Droit avec limite 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.

#### **4. INSTALLATION DE LA MEMBRANE D'ETANCHEITE**

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

###### **4.1.1. 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 1,5 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).

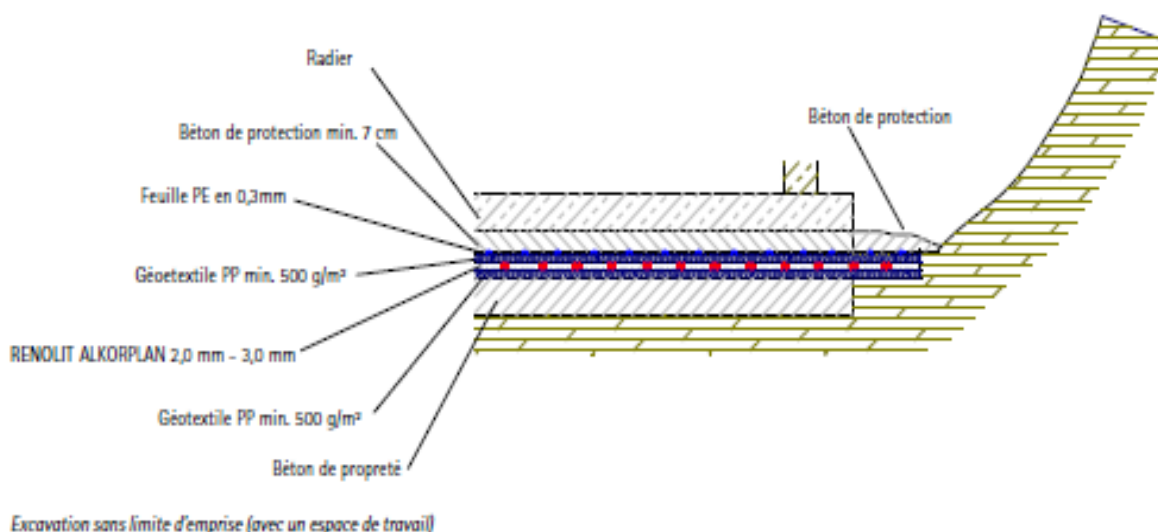
Il est absolument indispensable de mettre une feuille mince en PE par dessus le géotextile si celui-ci est choisi comme couche de protection, afin d'avoir une couche de séparation entre le béton maigre et la dalle de béton. En outre la feuille de PE évite la pénétration de ciment liquide dans le géotextile.

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 œuvre 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.



*Mise en œuvre du béton de protection*



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

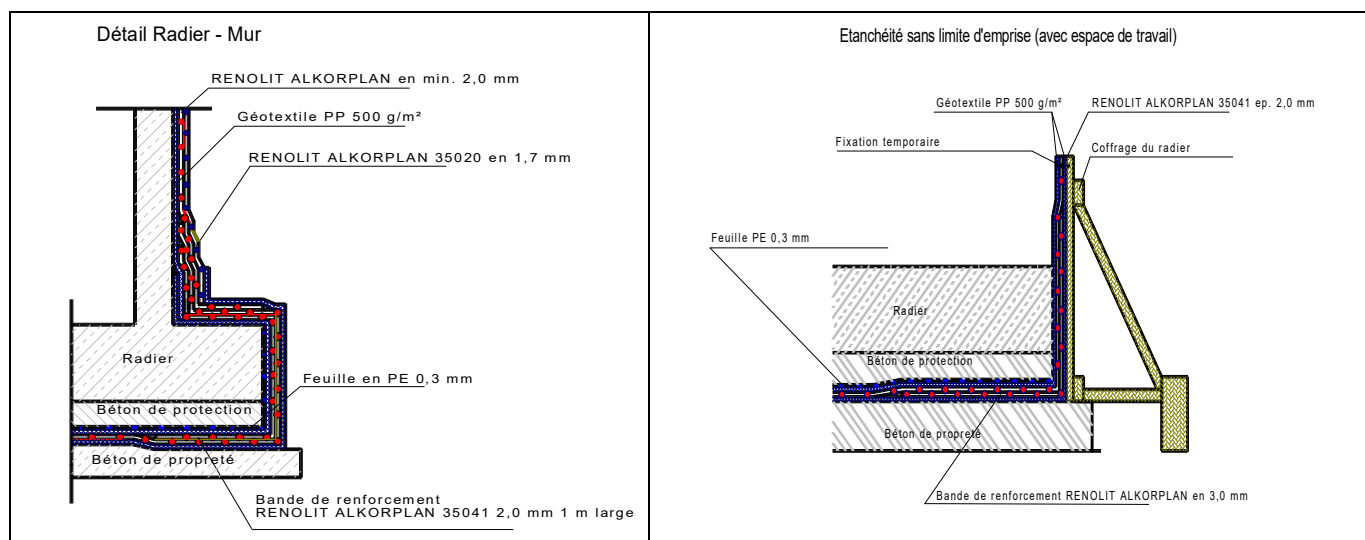
*Excavation sans limite d'emprise (avec un espace de travail)*

#### 4.1.2. 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.



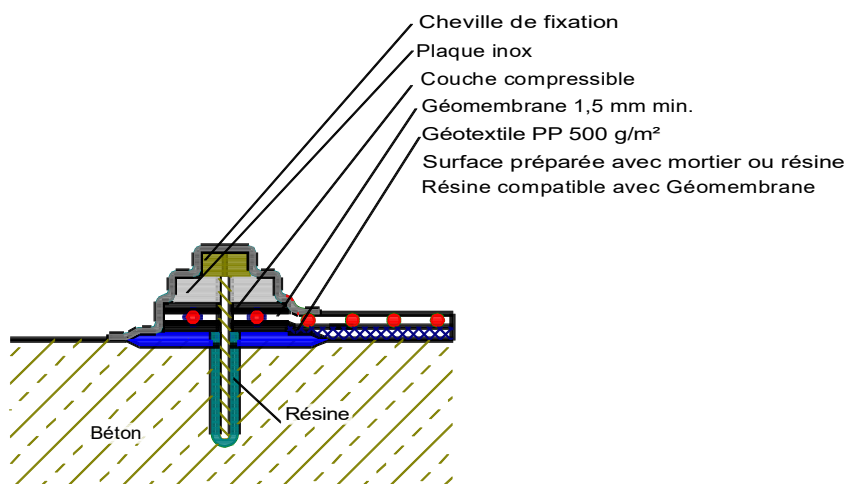
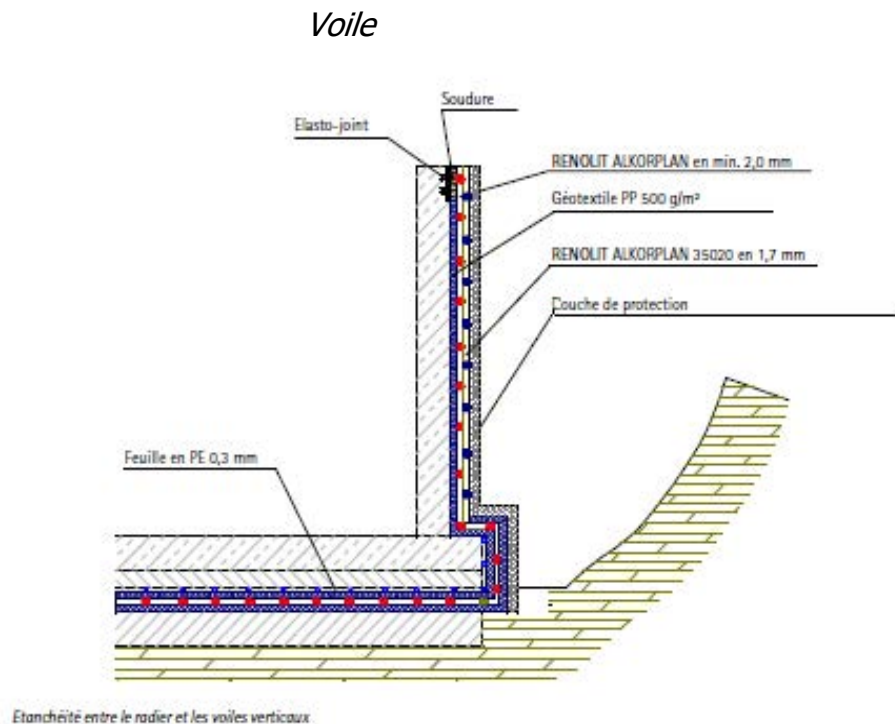
#### *Jonction entre radier et mur vertical*

#### 4.1.3. 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.

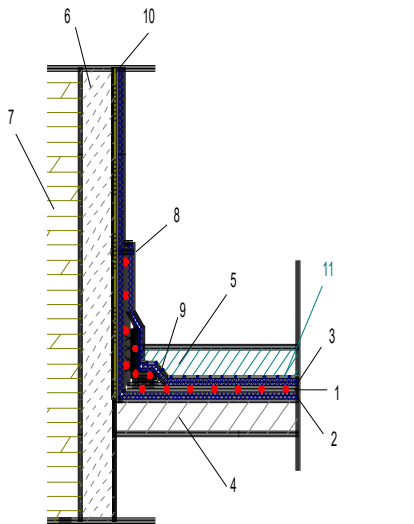
Cette procédure se poursuivra tant que les travaux ne sont pas achevés. La fixation définitive sur le plus haut niveau peut alors être faite avec l'aide d'un arrêt de l'eau ou une fixation mécanique.



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

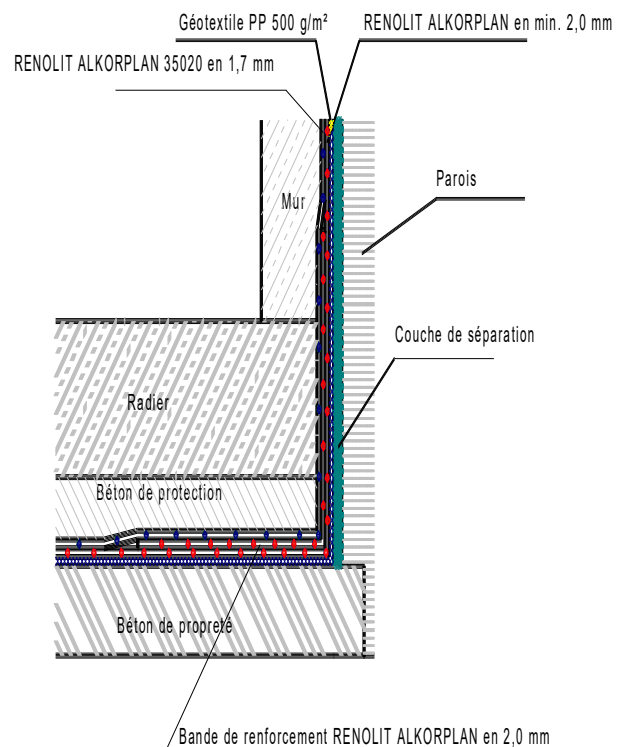
### 4.2.1. Etanchéité du radier

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.



- 1 RENOLIT ALKORPLAN 35041 2,0 mm
- 2 Géotextile 800 g/m<sup>2</sup>-500 g/m<sup>2</sup>
- 3 Géotextile 500 g/m<sup>2</sup>
- 4 Béton de propreté
- 5 Béton de protection
- 6 Béton projeté
- 7 Mur de soutènement
- 8 Fixation temporaire
- 9 Soudure
- 10 Couche de séparation
- 11 PE feuille de 0,3 mm

Détail Radier - Mur avec Limite d'Emprise



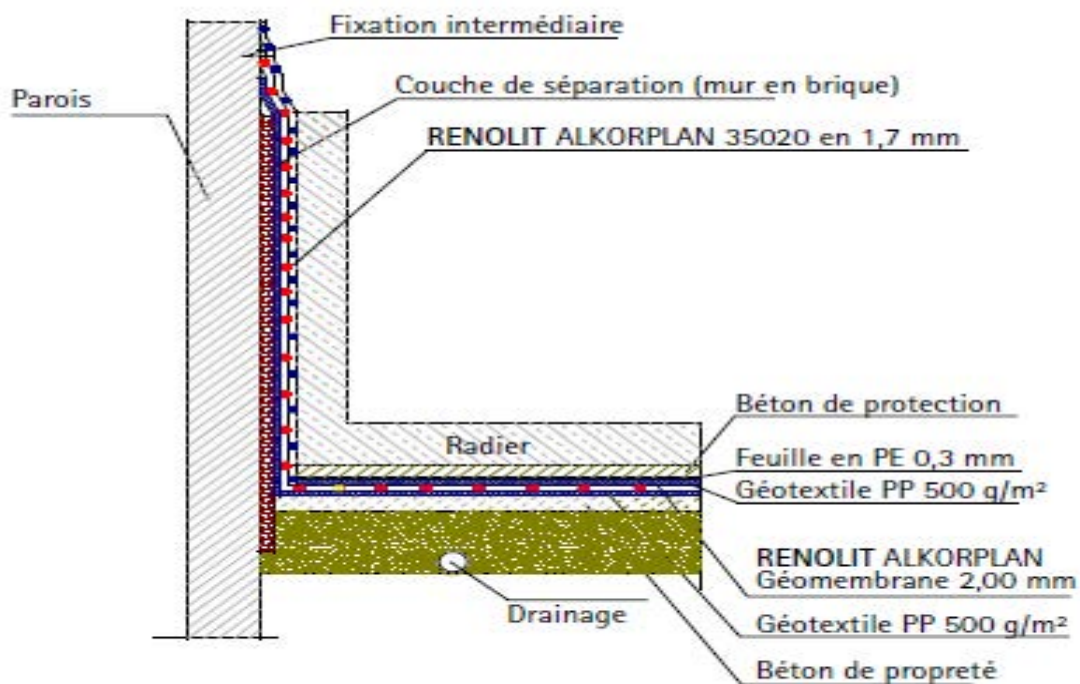
*Mise en œuvre du système d'étanchéité entre le radier le mur*

#### 4.2.2. Etanchéité des voiles verticaux

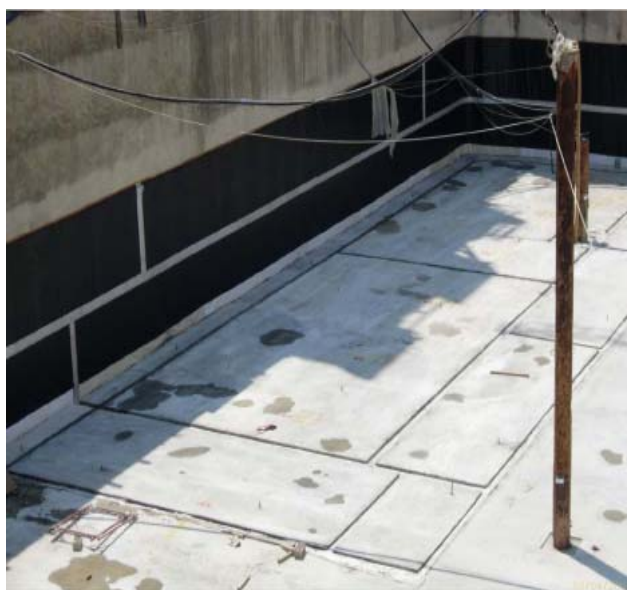
Les travaux d'étanchéité sont effectués avant les travaux de bétonnage du mur vertical. Quand le mur est construit par étape, l'étanchéité doit être installée au dessus de la section de mur qui sera coulée à l'étape suivante. L'étanchéité est temporairement fixée au dessus de ce niveau, avec une



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).



*Fixation intermédiaire de l'étanchéité*



### 4.3. 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 soudure automatique pour les surfaces horizontales).

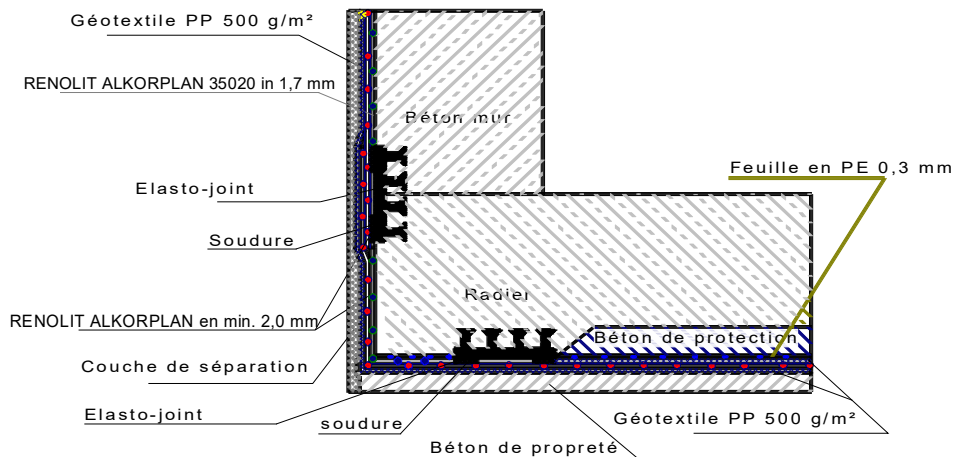
Grâce à ces compartiments, la zone de fuite peut être déterminée avec précision. En combinaison avec un système d'injection, la réparation d'un compartiment en cas de fuite, peut être réalisée sans endommager la géomembrane, à coût raisonnable.

Selon le type de joints, il est utilisé soit des arrêts d'eau normaux soit des arrêts d'eau de dilatations.



*Radier avec des bandes d'arrêts d'eau*

Détail Radier - Mur avec Elasto-Joint

*Mise en œuvre d'une étanchéité avec arrêts d'eau**Installation des bandes d'arrêt d'eau*

#### 4.4. Système de double étanchéité pour applications spéciales

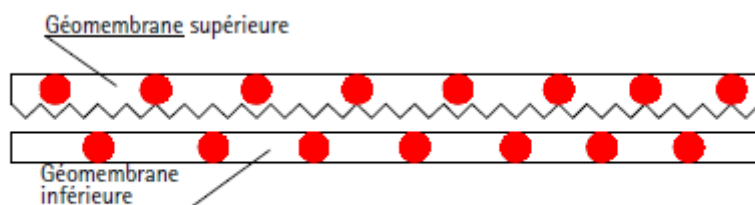
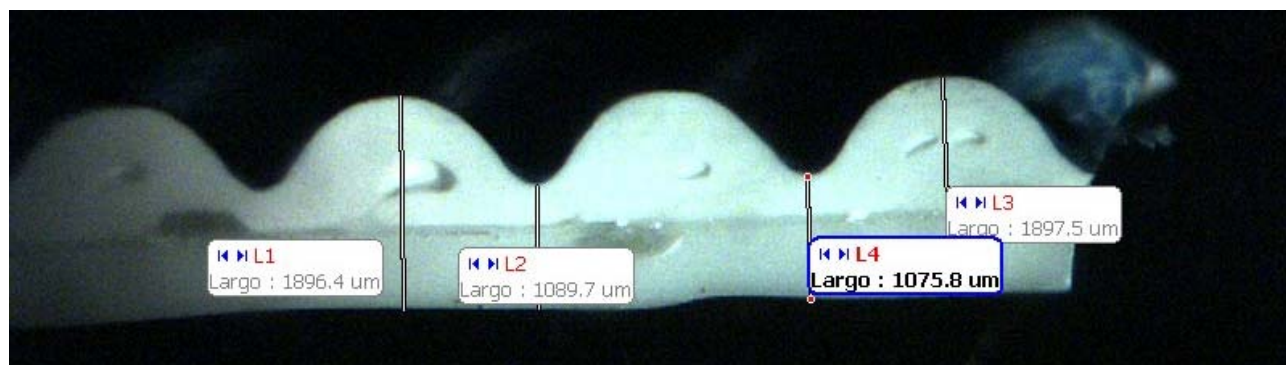
Certaines constructions soumises à de fortes pressions d'eau ont besoin d'une étanchéité très sécurisée. Ces bâtiments peuvent être des centrales nucléaires, des hôpitaux, des bâtiments de stockage d'isotope, des banques avec des coffres-forts,



des parkings terrasse et aussi des tunnels à des profondeurs importantes. Dans ce type de bâtiments, une étanchéité monocouche pourrait ne pas être suffisante car il faut tenir compte du fait que la membrane d'étanchéité pourrait être endommagée durant les travaux de bétonnage et de pose de fers à béton. Par conséquent, nous avons besoin dans de tels cas, d'un système d'étanchéité contrôlable et réparable.

Un système « double étanchéité » est un système contrôlable et réparable qui est constitué de deux géomembranes, placées l'une sur l'autre, et soudées ensemble sur leur côté afin de créer des compartiments fermés. La mise sous vide de ce compartiment permet d'en contrôler la parfaite étanchéité. Ce système double étanchéité se compose d'une géomembrane normale et d'une géomembrane structurée qui permet d'avoir un espace libre entre les deux couches. En cas de fuite dans l'une des géomembranes le vide va se détériorer. Grâce à la géomembrane structurée, le produit d'étanchéité liquide qui va être injecté pour réparer la fuite va se disperser aisément sur toute la surface entre les deux géomembranes.

Image de la membrane structurée permettant un espace vide entre les deux membranes



Système double couche avec Géomembrane structurée

Avantage:

- En utilisant deux couches de géomembrane le risque de dommages est fortement réduit. En cas de dommage, dans la plupart des cas, une seule des deux couches sera affectée, ce qui signifie qu'il reste encore une couche qui est pleinement opérationnelle.

- Dans le pire des cas, quand les deux géomembranes sont endommagées, il reste toujours la possibilité de réparation par injection de matériaux d'étanchéité liquide (PU, Acrylate) entre les deux couches.
- Les pipes d'injection permettent d'une part de contrôler le système de double étanchéité par mise sous vide, et d'autre part de le réparer par injection sans avoir à détruire le béton.

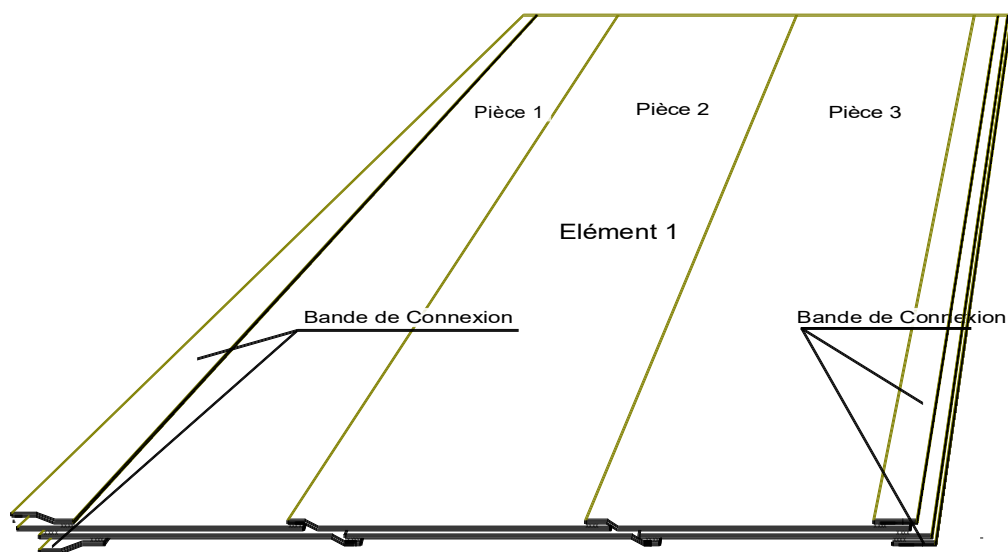
#### 4.4.1. Préfabrication

Des géomembranes sont soudées ensemble dans un endroit propre et sec afin de réaliser des nappes préfabriquées plus ou moins grandes selon le type de construction. Elles sont constituées d'une géomembrane supérieure structurée et d'une géomembrane inférieure normale.

La géomembrane supérieure sera placée parallèlement à la membrane inférieure, décalée d'environ 20 cm afin de créer une bande de recouvrement qui servira à se connecter à la nappe voisine.

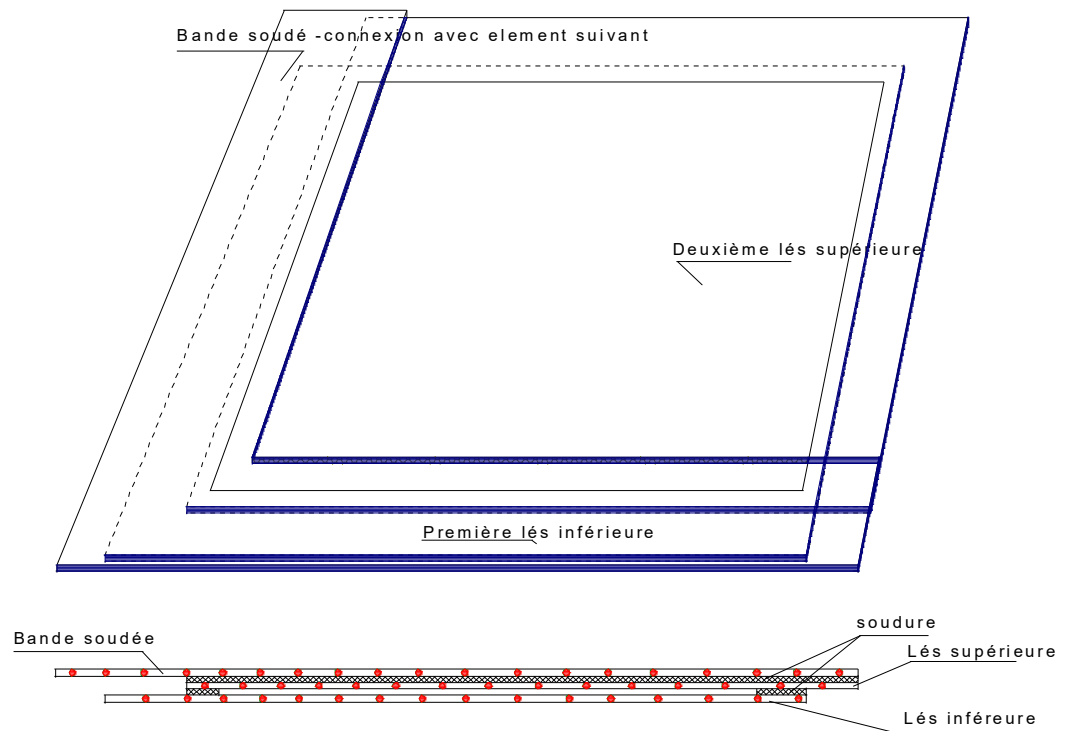
Afin de s'assurer que la zone de raccordement des nappes préfabriquées puisse être contrôlée et injectée, des bandes de géomembrane doivent être soudées en lisière de l'élément préfabriqué.

Elément Préfabriqué



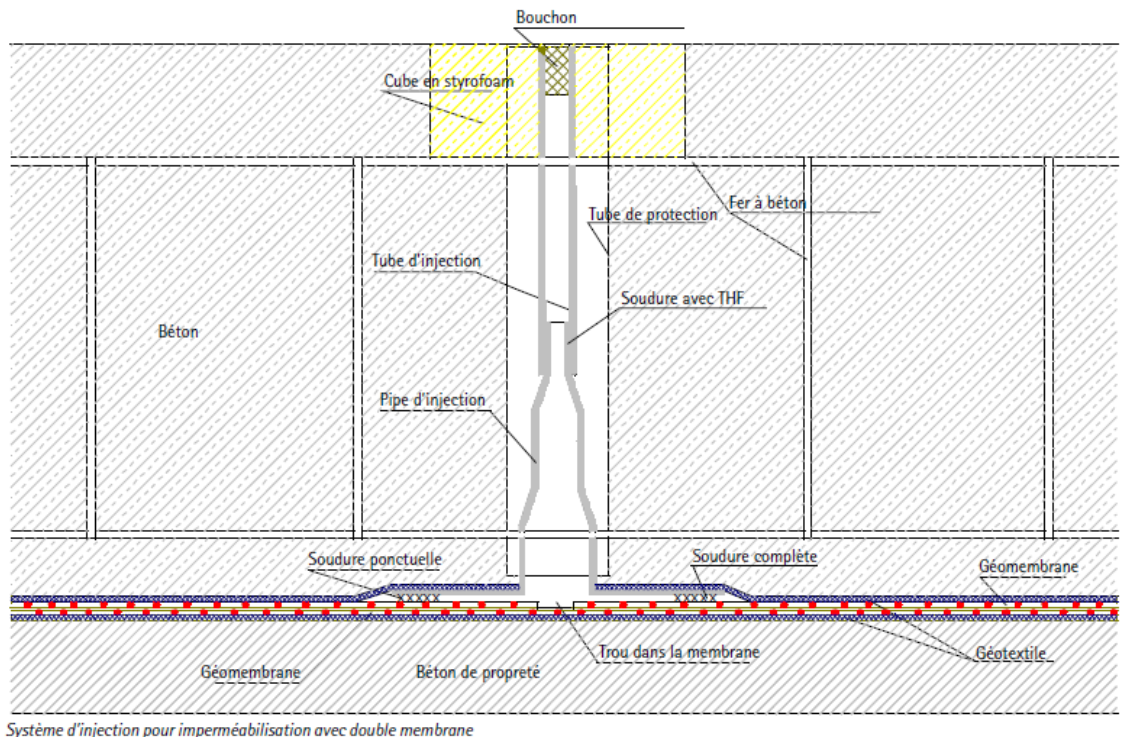
Dans le cas où les nappes doivent être connectées par leur côté transversal, le bord transversal de la membrane supérieure sera lui aussi décalé d'environ 20 cm du bord transversal de la membrane inférieure.

Elément préfabriqué



#### 4.4.2. Système de Contrôle et Système d'Injection:

Le système qui permet de contrôler la qualité de la soudure et de détecter les fuites, peut en même temps être utilisé comme système de réparation.



Les pipes d'injection peuvent avoir des formes différentes selon le type de produit.

La pipe d'injection est soudée sur la géomembrane supérieure dans laquelle on aura au préalable réalisé un petit trou. Selon le type d'ouvrage, les pipes d'injection peuvent être soudées aux nappes pendant leur préfabrication, ou sur site.

En tunnel, il est recommandé d'installer les pipes d'injection pendant la préfabrication, ainsi, la mise sous vide, contrôle toutes les soudures. Si une soudure n'est pas conforme, il ne sera pas possible de créer le vide.

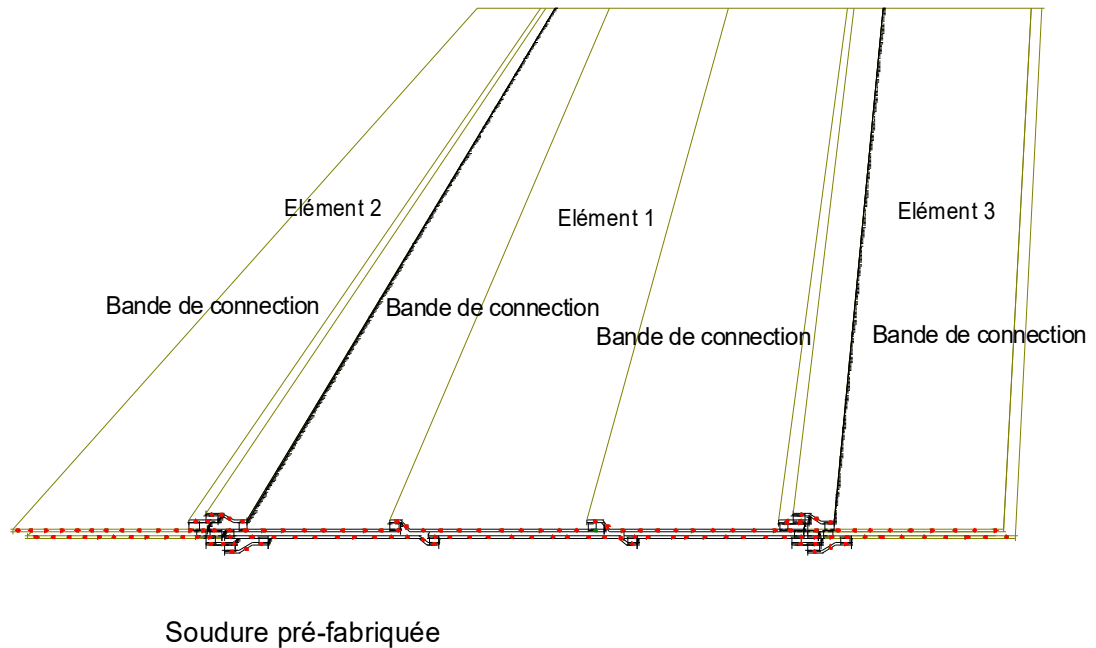
En raison du vide, les deux géomembranes vont se coller ensemble et les éléments peuvent être installés comme un système monocouche.

Les tubes d'injection sont soudés aux pipes avec du THF, sur site.

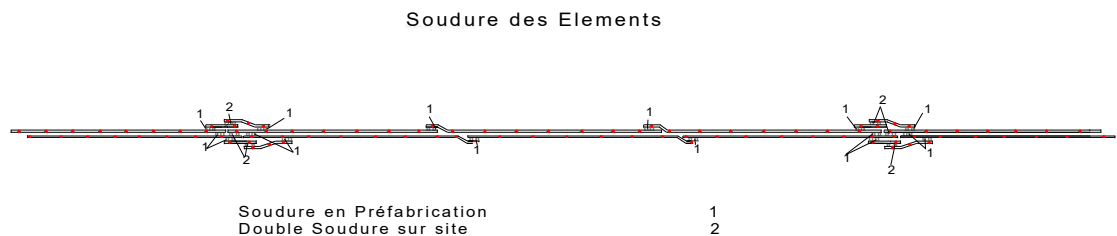
#### **4.4.3. Raccordement des éléments préfabriqués sur le site**

Les éléments préfabriqués sont positionnés d'une manière correcte sur le site et soudés ensemble. Toutes les soudures sur le site, en dehors des détails doivent être soudées par soudure automatique.

### Connexion des éléments



### Détail de raccordement entre les éléments



Après la connexion de tous les éléments, le béton peut être projeté sur le système d'étanchéité.

Les tubes d'injection peuvent être guidés vers une boîte centrale reliée à des jauges à vide afin de contrôler le fonctionnement de chaque élément.



#### 4.4.4. Réparation

En cas de défaut, le vide dans la nappe préfabriquée va disparaître. Cela peut se produire lorsqu'une seule des deux géomembranes est endommagée ou si une soudure n'est pas correcte. L'apparition d'eau dans les pipes d'injection permet de contrôler si les deux couches sont endommagées.

Si seulement une couche est endommagée, l'eau ne rentrera pas dans le compartiment, mais le vide ne se fait plus. Cela signifie que l'étanchéité fonctionne toujours mais seulement avec une couche de géomembrane et il n'y a donc aucune raison de faire des réparations.

Si les deux couches sont endommagées, l'espace entre les deux couches de géomembrane doit être réparé. La réparation est en général faite par injection d'acrylate, de PU ou de ciment étanche.

Les travaux d'injection sont très délicats. Ils doivent être effectués par un spécialiste. Le mélange idéal (viscosité), la force de pression et de la vitesse de l'injection doivent être coordonnés avec soin.

D'une part, le liquide d'injection doit circuler facilement à travers tout l'espace entre les deux couches de membrane pour réparer les dégâts, et d'autre part il ne peut pas être trop liquide sinon il risque d'être lessivé par l'eau entrante. La viscosité du matériel d'injection doit être déterminée avec une grande précision.



## 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-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. **Système avec couche de signalisation (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 brulage).

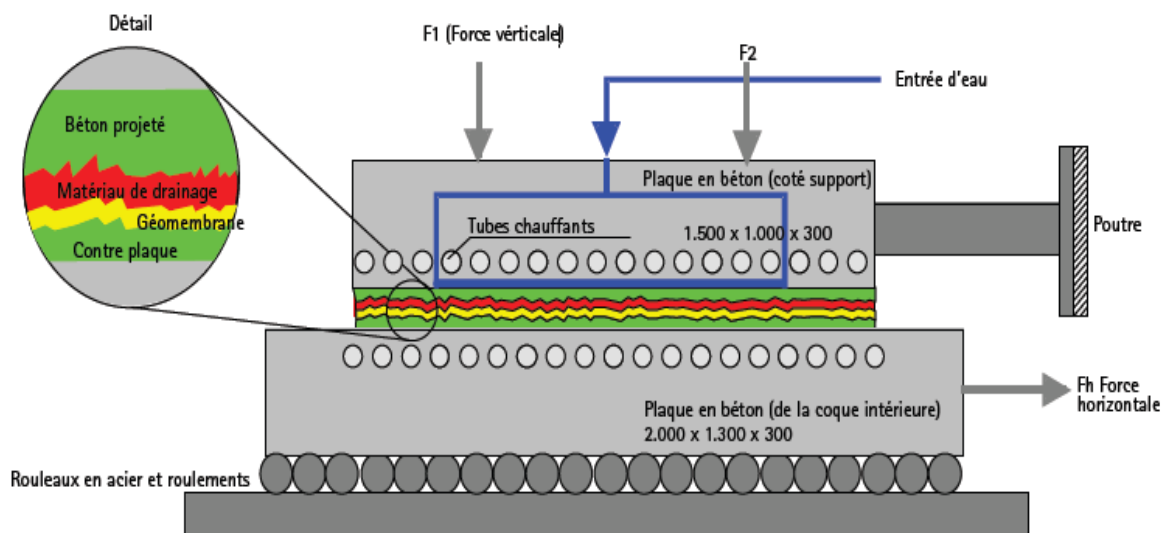


Cette image montre que cette soudure est de bonne qualité avec une soudure plus translucide que la zone du canal de test, mais les traces noires au début de la soudure montrent que la température était trop élevée, ou le coin chauffant mal nettoyé. Dans un cas similaire, une analyse de la qualité de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

### 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 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  
P. Hüeler, Ch. Löwe, M. Farshad, P. Zwicky, H. Böhni



- 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/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).

## 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.

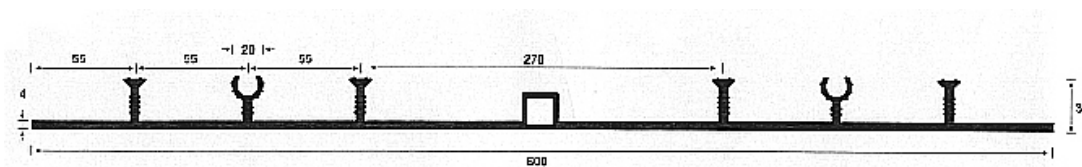
## 5.3. Bande d'arrêt d'eau (water stop)

Il est recommandé d'utiliser des water stop avec un tube d'injection intégré afin d'assurer l'étanchéité dans les joints de compartimentage.



### 5.3.1. Water stop avec joint de dilatation

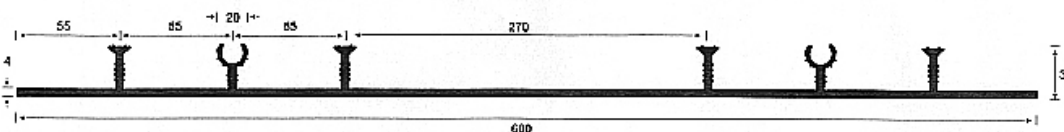
Ce type de water stop est installé dans tous les joints de dilatation de la construction. En cas de mouvements importants de la construction, le fin joint fermant le bulbe situé au milieu du water stop, est en mesure de se rompre et de suivre les mouvements sans perte d'étanchéité.



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

#### 4.4.1. Water stop de compartimentation

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



exemple de water stop selon norme DS 853

### 5.4. Dispositifs d'injection

En plus des waters stop, des dispositifs d'injection sont soudés ponctuellement à 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*



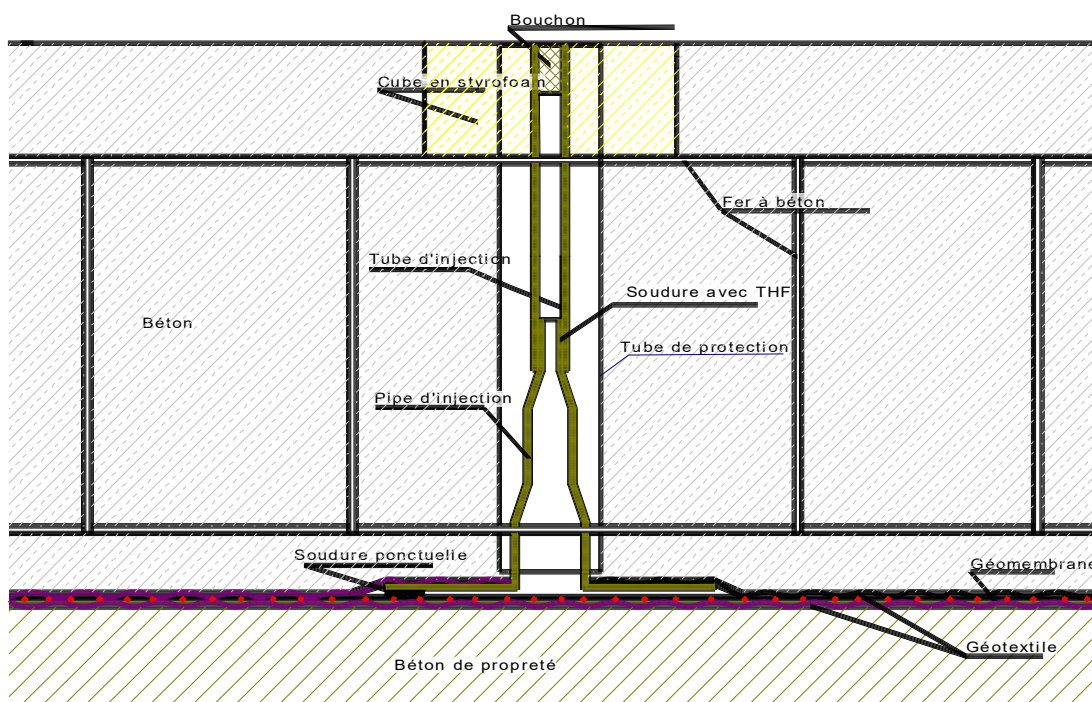
*tube d'injection*

#### 5.4.1. Pipe d'injection

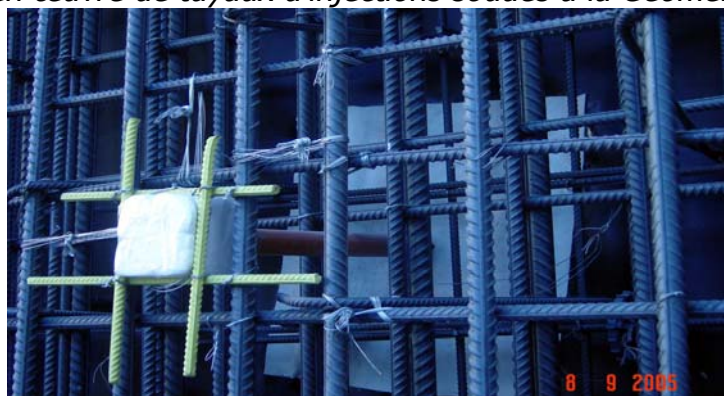
La pipe d'injection est un tuyau sur lequel un tube de PVC-P sera soudé à froid chimiquement par THF. Le tube doit être résistant à une pression d'au moins 6 à 8 bars. Aucun dispositif métallique ne sera utilisé pour éviter le danger de perforer la géomembrane.

La sortie du tuyau d'injection doit être intégrée à un dispositif de sécurité se trouvant à la surface du béton.

### Système d'Injection



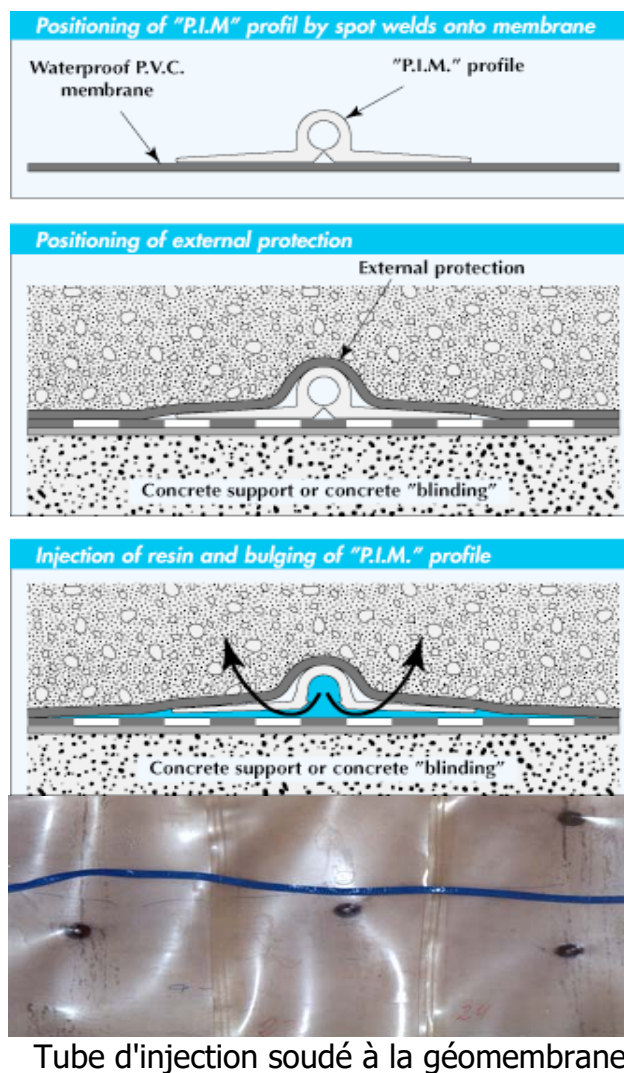
### Mise en œuvre de tuyaux d'injections soudés à la Géomembrane



*Protection de l'entrée du tuyau d'injection*

#### 5.4.2. 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.



## 5.5. Appareil de soudage

### 5.5.1. 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*

### **5.5.2. 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*

### **5.5.3. 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.

