



ArcelorMittal

## Palplanches

Étanchéité des rideaux  
de palplanches





# Sommaire

## Approche théorique

Analyse rationnelle de l'étanchéité des rideaux de palplanches métalliques	3
Concept de la résistance à l'écoulement à travers les serrures	4
Mesures in situ	6
Utilisation pratique du concept	8
Résumé	13

## Approche pratique

Principaux systèmes d'étanchement vertical et horizontal	17
Etanchement Vertical	
• Produits d'étanchéité	18
• Soudures	28
• Solutions alternatives	32
• Réparation des défauts d'étanchéité des serrures	34
Etanchement Horizontal	40
Remarques et références	44

# Approche théorique

Analyse rationnelle de l'étanchéité des rideaux de palplanches métalliques	3
Concept de la résistance à l'écoulement à travers les serrures	4
Mesures in situ	6
Utilisation pratique du concept	8
Résumé	13



# Analyse rationnelle de l'étanchéité des rideaux de palplanches métalliques



Jusqu'à la fin des années 80, il n'existait aucune méthode rationnelle pour déterminer la résistance à l'écoulement de l'eau à travers les rideaux de palplanches métalliques. L'absence d'une telle méthode pouvait entraîner une conception peu économique de l'ouvrage, surtout lorsque la résistance à l'écoulement de l'eau avait été surévaluée par rapport à celle réellement exigée par le projet.

**ArcelorMittal, premier producteur mondial de palplanches, a mené un projet de recherche exhaustive sur l'étanchéité des serrures en collaboration avec Deltares (Delft Geotechnics).**

Ce projet avait pour but de déterminer le degré d'écoulement à travers les rideaux de palplanches métalliques pour des serrures de type Larssen munies de différents produits d'étanchéité, des serrures sans produits et des serrures soudées.

Deux domaines principaux de recherche ont été explorés:

- Elaboration d'une théorie logique visant à décrire le phénomène de l'écoulement de l'eau à travers les serrures de palplanches.
- Essais in situ sur des rideaux de palplanches.

La présente note décrit les résultats de la recherche, afin de permettre à l'ingénieur d'effectuer une évaluation rationnelle du degré d'écoulement pour un cas spécifique. Une gamme de possibilités est discutée: serrures non remplies perméables, serrures munies de produits d'étanchéité moyennement perméables et serrures soudées entièrement étanches.

Les coûts impliqués dans les trois cas peuvent être comparés aux exigences de résistance à l'écoulement d'eau et la solution la plus appropriée sera déduite de cette analyse.

# Concept de la résistance à l'écoulement à travers les serrures

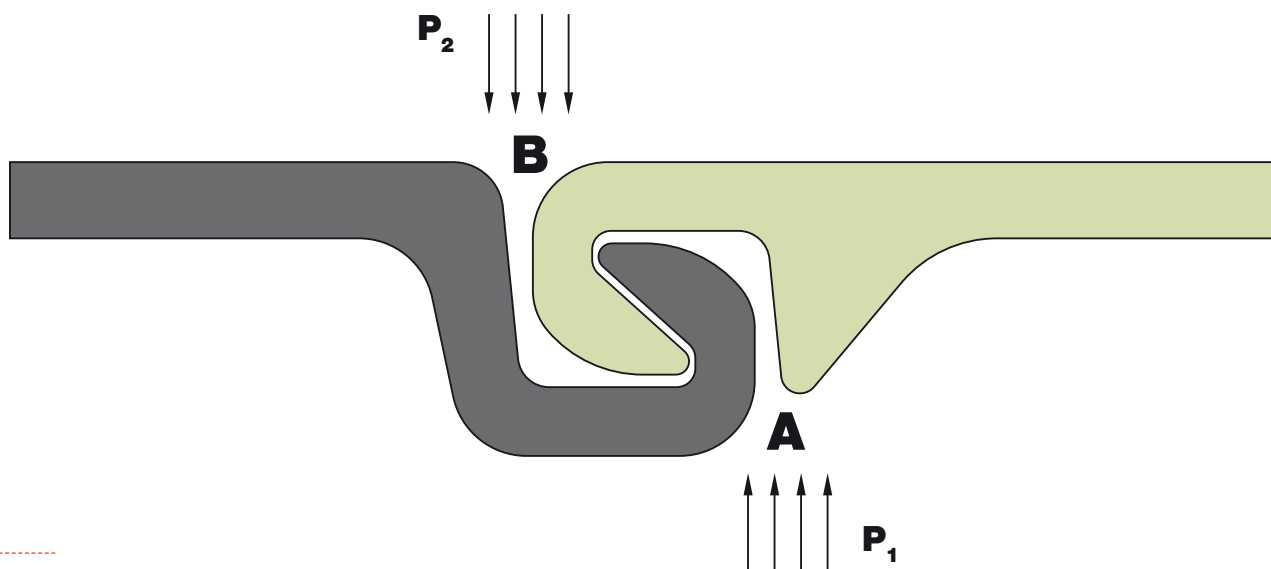


Fig. 1

Les palplanches métalliques proprement dites sont totalement imperméables et le seul passage que le liquide puisse emprunter pour traverser le rideau est créé par les serrures. Pour les écrans d'étanchéités poreux, telles que les parois moulées, le processus d'infiltration peut se traiter à l'aide de la loi de Darcy au moyen d'un coefficient de perméabilité  $K$ :

$$v = K \cdot i \quad (1)$$

où  $v$  est la vitesse de décharge et  $i$  représente le gradient hydraulique:

$$i = (\Delta p / \gamma_w) / s \quad (2)$$

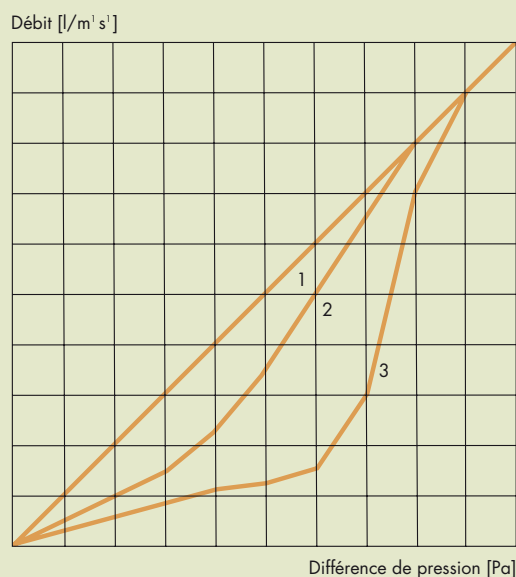
Ce dernier est défini dans un plan horizontal comme le rapport entre la différence de hauteur de pression ( $\Delta p / \gamma_w$ ) et la longueur de cheminement du liquide ( $s$ ), voir référence 4.

La (Fig.1) représente une section horizontale d'un assemblage de palplanches métalliques. La différence positive de pression entre les points A et B :  $p_2 - p_1$  est associée à un flux de B vers A.

Le type d'écoulement (tubulaire, potentiel, ...) est difficile à déterminer, mais très vraisemblablement, ce ne sera pas le type d'écoulement d'un milieu poreux et la loi de Darcy ne s'applique pas à l'écoulement localisé du liquide à travers les serrures d'un rideau de palplanches métalliques. Pour résoudre cette difficulté, les chercheurs de Deltares ont introduit le concept de "résistance des serrures à l'écoulement" d'un liquide.

La (Fig.3) représente une application typique de palplanches métalliques avec des niveaux d'eau différents de part et d'autre

du rideau, lesquels provoquent une différence de pression dépendant de ( $z$ ). Si l'on ne tient pas compte de l'écoulement vertical dans la serrure, la relation entre l'écoulement horizontal dans la serrure et la chute de pression correspondante  $p_1 - p_2$  est décrite sommairement à la (Fig.2). L'hypothèse d'une absence de décharge dans le sens vertical de la serrure est plus générale que celle de Dupuit-Forchheimer, habituellement utilisée pour le traitement de ce type d'écoulement, voir référence 2.



1. serrure vide
2. serrure remplie de terre
3. serrure avec produit d'étanchéité

Fig. 2

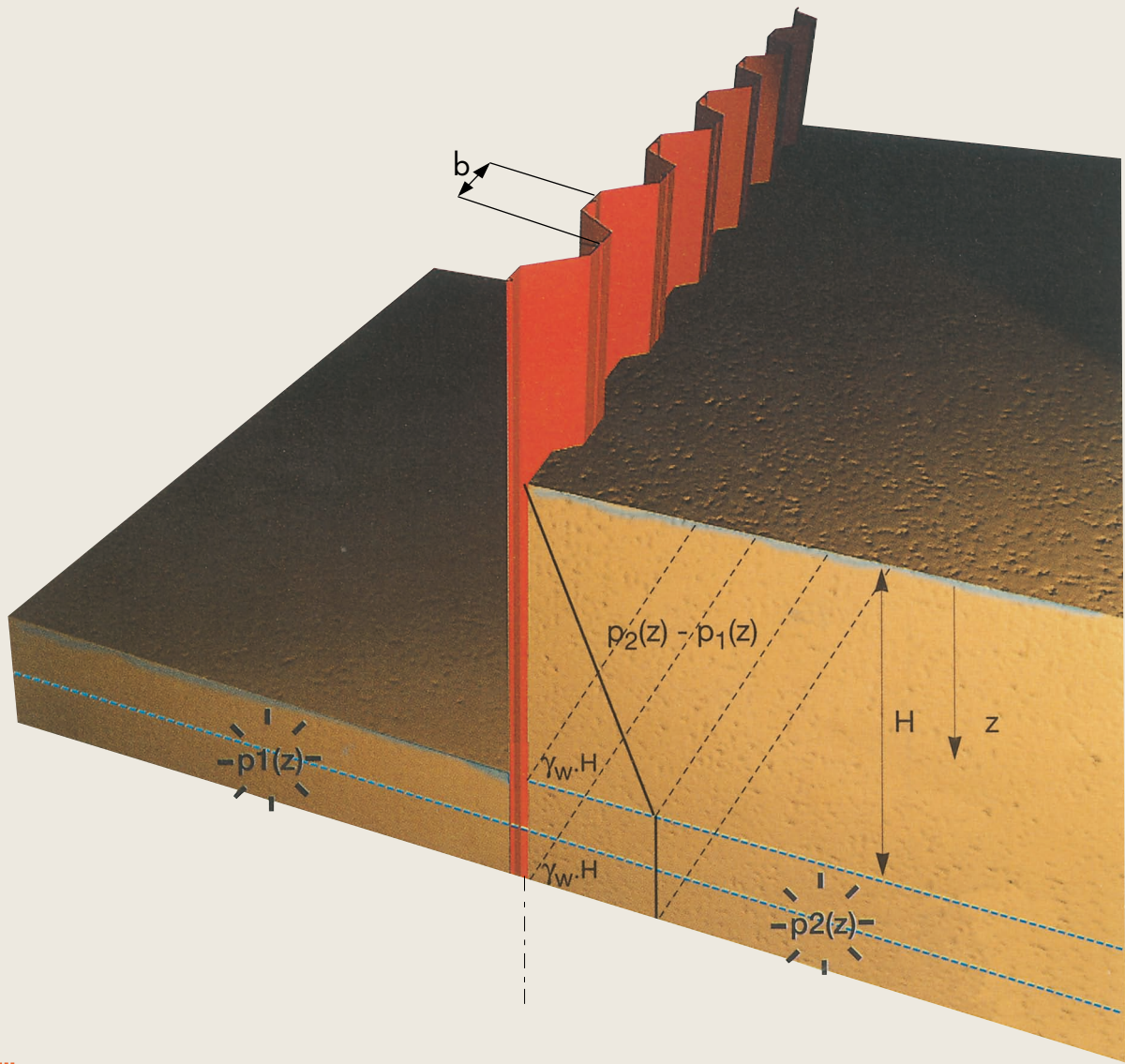


Fig. 3

Une approche directe consiste à supposer que l'écoulement est proportionnel à la chute de pression:

**$q(z)$  proportionnel à  $\Delta p(z)$**

Le coefficient de proportionnalité est désigné par  $\rho$ :

**$q(z) = \rho \cdot \Delta p(z) / \gamma_w \quad (3)$**

La signification des symboles est la suivante:

- $q(z)$ : débit par unité de longueur de la serrure à la hauteur  $z$ , exprimé en  $[m^3/s/m]$
- $\Delta p(z)$ : différence de pression à la hauteur  $z$ , exprimée en  $[kPa]$
- $\rho$ : inverse de la résistance de la serrure à l'écoulement, en  $[m/s]$
- $\gamma_w$ : poids volumique de l'eau, en  $[kN/m^3]$

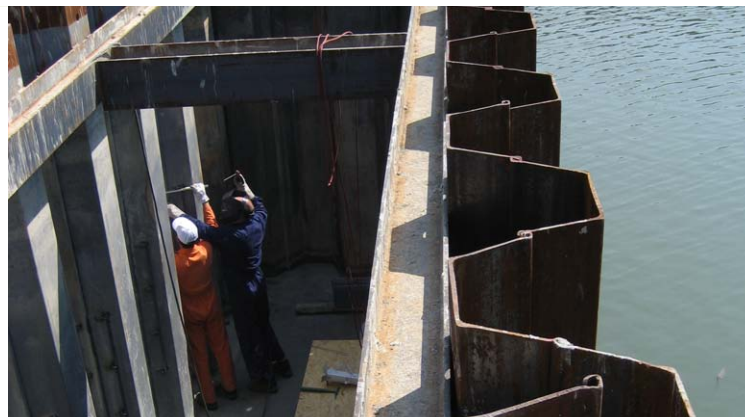
Il est à remarquer que l'équation (3) ne suppose pas un écoulement de type Darcy. Toutes les propriétés de la serrure sont contenues dans  $\rho$  et ce paramètre est déterminé de manière expérimentale.





# Mesures in situ

Afin de permettre à l'ingénieur de faire un usage pratique de l'équation (3), Deltares et ArcelorMittal ont mené des essais sur chantier portant sur un grand nombre de produits d'étanchéité. Les résultats de ces tests donnent des valeurs de  $\rho$ .



En vue de soumettre le produit d'étanchéité à des conditions extrêmes de chantier, les palplanches des rideaux d'essai ont été foncées au vibreur. Chaque produit d'étanchéité a été appliqué dans plusieurs serrures.

Le débit à travers chacune des serrures a été mesuré en fonction de la pression appliquée au moyen d'un appareil d'essai spécifique, voir (Fig.5). Le comportement en fonction du temps a été suivi par des relevés effectués à des intervalles de temps déterminés.

Le (Tableau 1) met en évidence les critères importants permettant de sélectionner un système d'étanchéité pour un rideau de palplanches métalliques ainsi que la gamme de valeurs obtenues lors des essais sur les différents types de produits d'étanchéité. Les résultats des serrures non munies de produits y figurent également. Les résultats des essais

sont évalués graphiquement à la (Fig.4) qui confirme généralement le bien-fondé de l'hypothèse menant à la formule (3) (voir également Fig.3), du moins en ce qui concerne une certaine fourchette de pression.

Le programme d'essais mené par Deltares et ArcelorMittal démontre clairement que l'utilisation de produits d'étanchéité dans les serrures d'un rideau en palplanches métalliques réduit considérablement le débit d'écoulement.

En outre, il apparaît que le produit d'étanchéité introduit dans les serrures reste en place, même après la mise en oeuvre au vibreur, pour autant que l'on respecte strictement les spécifications du fabricant du produit et que l'on utilise les outils spécifiques mis au point par ArcelorMittal pour la mise en oeuvre des produits d'étanchéité.

Tableau 1

Solutions	$\rho$ [ $10^{-10}$ m/s]		Mise en œuvre	Ratio des coûts **
	100 kPa	200 kPa		
Serrure sans produit	> 1000	*	-	0
Serrure avec Beltan	< 600	à éviter	simple	1
Serrure avec Arcoseal™	< 600	à éviter	simple	2,5
Serrure avec système ROXAN™	0,3	3	avec précaution	5
Serrure soudée	0	0	serrure enclenchée sur chantier et soudée après excavation	15

\* VALEUR DISPONIBLE A 150 kPa: < 4500

\*\* Ratio des coûts =  $\frac{\text{Coûts de la solution}}{\text{Coûts pour serrure avec Beltan}}$

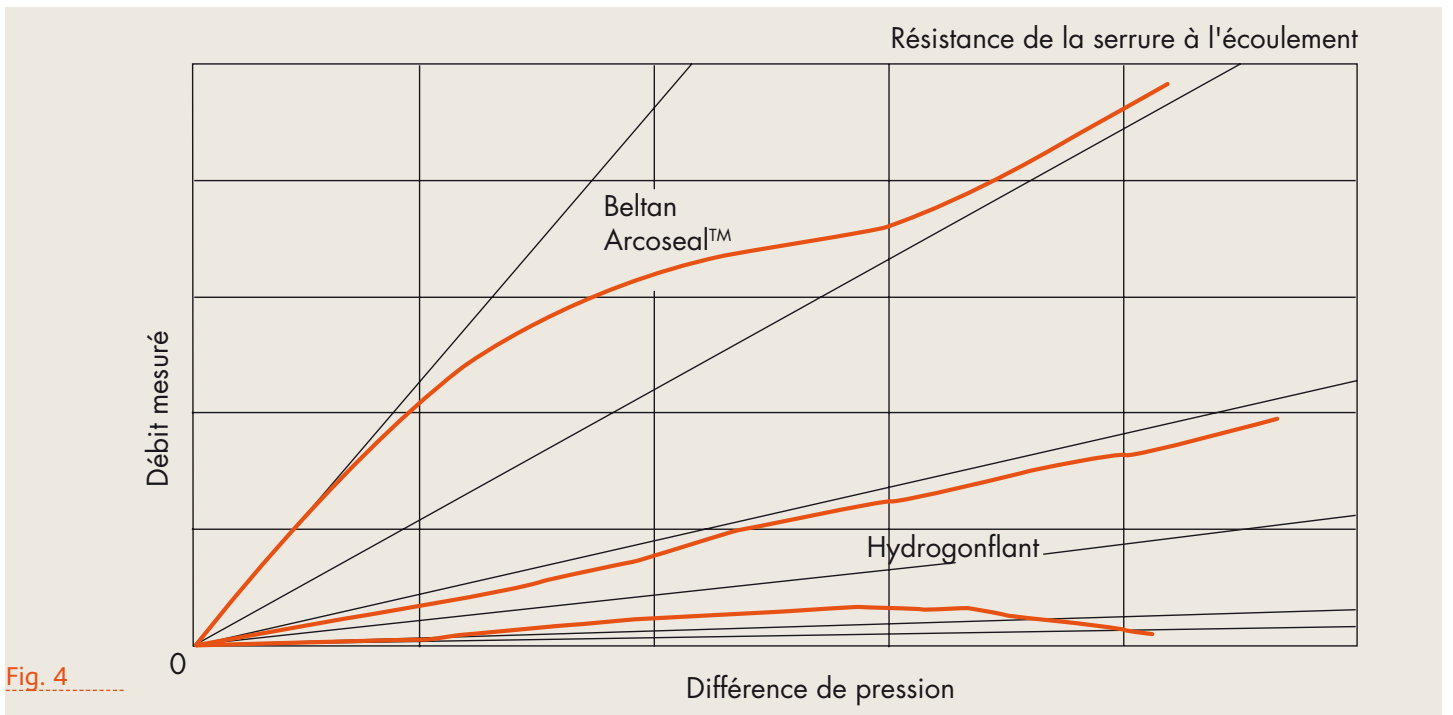


Fig. 4



Fig. 5



# Utilisation pratique du concept

La formule principale de calcul est:

$$q(z) = \rho \cdot \frac{\Delta p(z)}{\gamma_w} \quad (3)$$

$q(z)$ : débit par unité de longueur de serrure à la hauteur  $z$ , en [m<sup>3</sup>/s/m]

$\Delta p(z)$ : différence de pression à la hauteur  $z$ , en [kPa]

$\rho$ : inverse de la résistance de la serrure à l'écoulement, en [m/s]

$\gamma_w$ : poids volumique de l'eau, en [kN/m<sup>3</sup>]

Les définitions géométriques sont données aux (Fig.1 et 2).

## A. L'écoulement à travers un rideau de palplanches métalliques: exemple simple

La (Fig.6) montre une excavation dans laquelle le niveau de la nappe phréatique a été abaissé d'environ 5 m. Le pied du rideau de palplanches métalliques descend directement jusqu'à la couche de fond; celle-ci est supposée virtuellement imperméable. Cette hypothèse permet de ne pas tenir compte de l'écoulement par le pied. (La valeur  $K$  requise pour que l'on puisse considérer la couche de fond comme imperméable sera traitée au chapitre C). Le diagramme de pression hydrostatique en résultant est indiqué (Fig.6):  $\max(\Delta p) = \gamma_w \cdot H$ .

On obtient le débit total à travers une seule serrure:

$$Q_1 = \int_0^{H+h} q(z) \cdot dz = (\rho/\gamma_w) \cdot \int_0^{H+h} \Delta p(z) \cdot dz \quad (4)$$

Etant donnée la chute de pression:

$$\Delta p(z) = \begin{cases} \gamma_w \cdot z & z \leq H \\ \gamma_w \cdot H & H < z \leq H + h \end{cases}$$

En conséquence, l'intégrale en (4) fournit la surface du diagramme de pression et le résultat pour  $Q_1$  est comme suit:

$$Q_1 = \rho \cdot H \cdot (0,5 H + h) \quad (5)$$

Le nombre total de serrures dans le rideau de palplanches métalliques de la fouille est égal à:

$$n = L / b \quad (6)$$

$L$ : périmètre de la fouille [m]

$b$ : largeur utile d'une palplanche, [m]

Le débit total pour la fouille complète est de:

$$Q = n \cdot Q_1 \quad (7)$$

(7) représente une approximation prudente du débit, car certains aspects ont été négligés, par exemple l'influence du modèle d'écoulement sur la géométrie de la surface de la nappe phréatique.

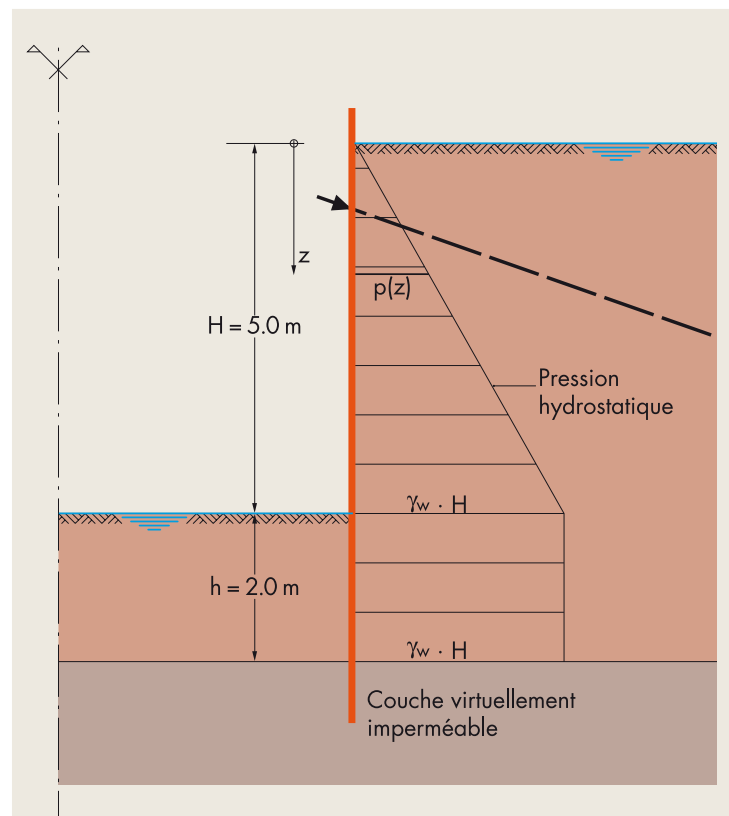


Fig. 6

## Exemple chiffré:

Pour une fouille entourée d'un rideau de palplanches métalliques du type AZ 18-700, ( $b = 0,70$  m), le périmètre est égal à  $L = 161$  m.

Chaque serrure est munie d'un produit hydrogonflant et défini par la valeur  $\rho$

$$\rho = 3 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$$

La (Fig. 6) représente les données géométriques

$$H = 5 \text{ m et } h = 2 \text{ m.}$$

Nombre de serrures:

$$n = 161 / 0,70 = 230 \quad (6)$$

Débit par serrure:

$$Q_1 = 3 \cdot 10^{-10} \cdot 5,0 \cdot (0,5 \cdot 5,0 + 2,0) \quad (5)$$

$$Q_1 = 6,75 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}$$

Le débit total dans la fouille:

$$Q = 230 \cdot 6,75 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s} \quad (7)$$

$$Q = 1,553 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 5,59 \text{ l/h}$$

## B. Comparaison avec l'écoulement dans les milieux poreux

Dans la pratique courante, on doit souvent comparer les performances (résistance à l'écoulement) d'un rideau de palplanches métalliques avec d'autres solutions, comme la paroi moulée; un mur parafouille est un bon exemple dans lequel ce type de comparaison est possible.

La paroi moulée peut être considérée comme un milieu poreux et l'écoulement y est régi par la loi de Darcy.

La comparaison entre le rideau de palplanches métalliques et la paroi moulée peut être effectuée en supposant que l'écoulement par unité de surface de la paroi est identique. A partir des définitions données à la (Fig.7), la loi de Darcy (cf. références 2 et 4) fournit un débit spécifique:

$$Q_{sw} = K \cdot (\Delta p / \gamma_w) / d \quad (8)$$

où

$d$ : épaisseur de la paroi moulée en [m]

$K$ : perméabilité de la paroi dans le sens horizontal, en [m/s]

$\Delta p$ : différence de pression entre les deux côtés de la paroi, en [kPa]

Le débit spécifique dans un rideau de palplanches métalliques (Fig.7) est obtenu à partir de (3), (6) et (7), avec  $L = 1$  m:

$$Q_{sp} = (1/b) \cdot \rho \cdot (\Delta p / \gamma_w) \quad (9)$$

Les deux débits spécifiques sont égaux:

$$Q_{sw} = Q_{sp} \quad (10)$$

Cette condition donne:

$$(K/d) = (\rho/b) \quad (11)$$

Pour un rideau de palplanches métalliques donné, la relation (11) permet de calculer les caractéristiques d'une paroi moulée présentant des propriétés d'écoulement identiques.

Si l'on suppose une paroi moulée d'une épaisseur  $d = 1$  m, la valeur du coefficient  $K$  équivalent est:

$$K_e = \rho \cdot (1\text{m})/b \quad (12)$$

Toutefois, il ne faut pas oublier que la nature des deux écoulements est tout à fait différente!

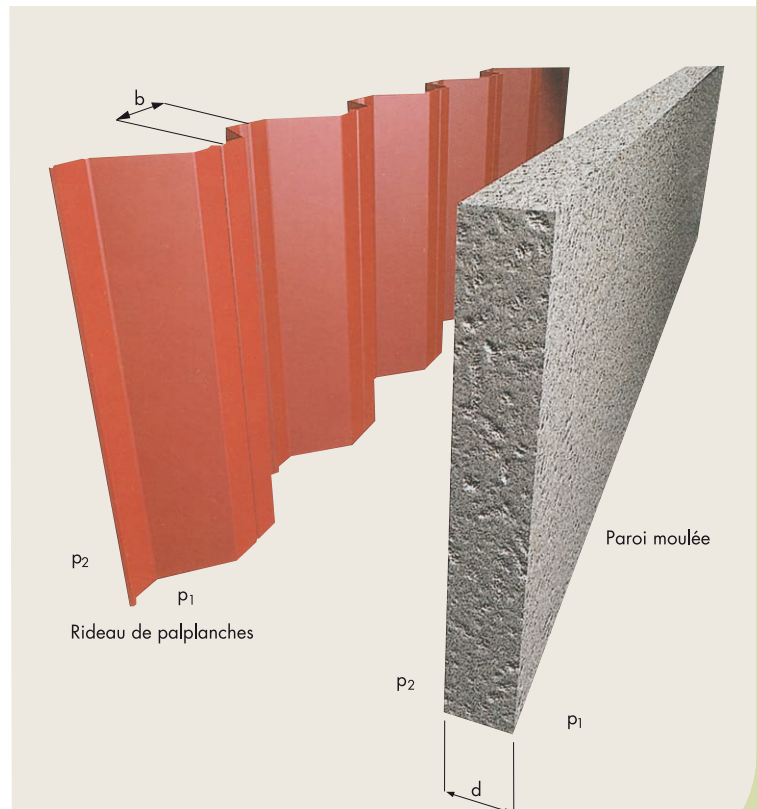


Fig. 7

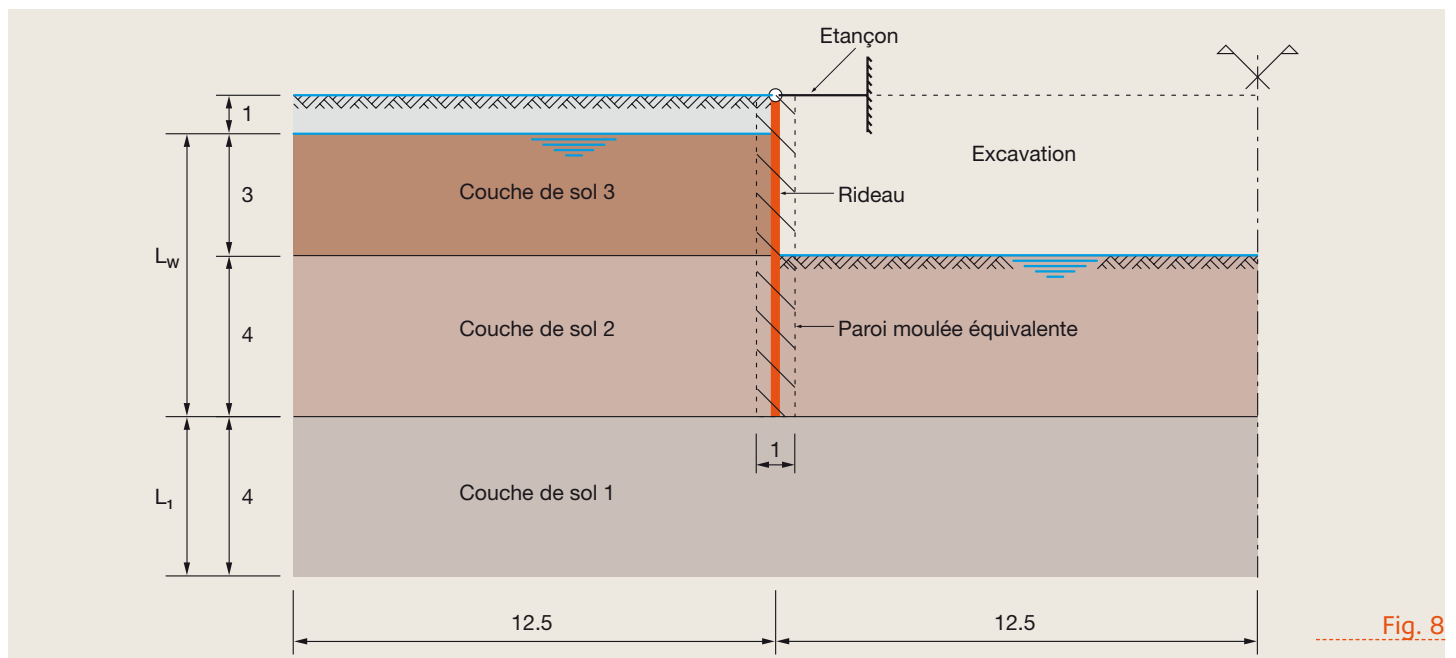


Fig. 8

### C. Ecoulement bidimensionnel à travers un rideau de palplanches métalliques ainsi que par le pied de celui-ci

Au chapitre A, l'écoulement par le pied d'un rideau de palplanches métalliques avait été négligé. Cette méthode n'est correcte que si la couche de fond est nettement moins perméable que le rideau. Si tel n'est pas le cas, l'écoulement de l'eau à la fois à travers le rideau et par le pied de celui-ci doit être pris en considération. Pour ce faire, on recourt à un logiciel de calcul d'écoulement en deux dimensions.

Etant donné que ces programmes ne traitent que des écoulements de type Darcy, le comportement du rideau de palplanches métalliques doit être traité comme un écoulement en milieu poreux, en recourant à une paroi moulée équivalente définie par son épaisseur  $d$  et sa perméabilité  $K$  (selon 11).

Quatre cas différents ont été analysés afin de montrer d'une part les possibilités de cette approche et d'autre part l'influence de la couche de fond sur l'écoulement.

Les quatre cas traités se réfèrent à la coupe de principe (Fig.8). Le rideau de palplanches métalliques sert de soutènement et est simulé par une paroi moulée équivalente d'une épaisseur  $d = 1$  m.

Le coefficient de perméabilité de la paroi moulée  $K_w$  peut être évalué au moyen de la formule (12). Les calculs sont réalisés au moyen du logiciel aux éléments finis PLAXIS.

Le (Tableau 2) résume les données d'entrée et les résultats des différents cas. Les flux d'écoulement résultants sont représentés aux (Fig.9, 10, 11 et 12).



Tableau 2

Ligne	Sujet	cas 1	cas 2	cas 3	cas 4
1	$K_i$ [m/s]: couche de sol 1, $i=1$ couche de sol 2, $i=2$ couche de sol 3, $i=3$	$10^{-4}$ $10^{-4}$ $10^{-3}$	$10^{-4}$ $10^{-4}$ $10^{-3}$	$10^{-7}$ $10^{-4}$ $10^{-3}$	$10^{-4}$ $10^{-4}$ $10^{-3}$
2	paroi moulée équivalente: $K_w = \rho/b$ [m/s]	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-5}$
3	géométrie: $L_w / L_1$	7/4	7/4	7/4	7/8
4	$K_w \cdot L_w / K_1 \cdot L_1$	0,0175	0,175	17,5	0,0875
5	écoulement total (rideau+couche inférieure) selon le modèle E.F.: $D_t$ [l/h]	518	742	60,5	887
6	écoulement a travers le rideau selon (chap.A): $D_w$ [l/h]	59,4	594	59,4	594
7	$D_w / D_t$ [%]	11	80	98	67

Cas 1:  $K_w \cdot L_w / K_1 \cdot L_1 = 0,0175$

Le rideau est beaucoup moins perméable que la couche de fond. Il n'y a pratiquement pas d'écoulement à travers le rideau; la plus grande partie de l'écoulement se fait par le pied (Fig.9).

Cas 2:  $K_w \cdot L_w / K_1 \cdot L_1 = 0,175$

Les écoulements à travers le rideau et autour de celui-ci sont du même ordre de grandeur (Fig.10).

Cas 3:  $K_w \cdot L_w / K_1 \cdot L_1 = 17,5$

La couche de fond est pratiquement imperméable. L'écoulement à travers le rideau domine le flux (Fig.11).

Cas 4:  $K_w \cdot L_w / K_1 \cdot L_1 = 0,0875$

Les valeurs  $K$  sont identiques à celles du cas 2, mais l'épaisseur de la couche de fond a été doublée (Fig.12). Cet exemple souligne l'influence de la géométrie sur le flux. Si on le compare au cas 2, l'écoulement total a augmenté en raison des débits supplémentaires par le pied et à travers la couche de fond (Tableau 2).

Dans le (Tableau 2), la ligne 5 donne le débit total ( $D_t$ ) par m perpendiculaire au plan (Fig.8); la ligne 6 donne l'écoulement ( $D_w$ ) à travers le rideau proprement dit, selon l'approche simplifiée d'après le chapitre A.

Le rapport  $D_w / D_t$  représente le ratio du débit à travers le rideau par rapport au débit total, tandis que le rapport  $K_w \cdot L_w / K_1 \cdot L_1$  contient tous les éléments importants concernant la géométrie et la perméabilité du rideau par rapport à la perméabilité de la couche de fond.

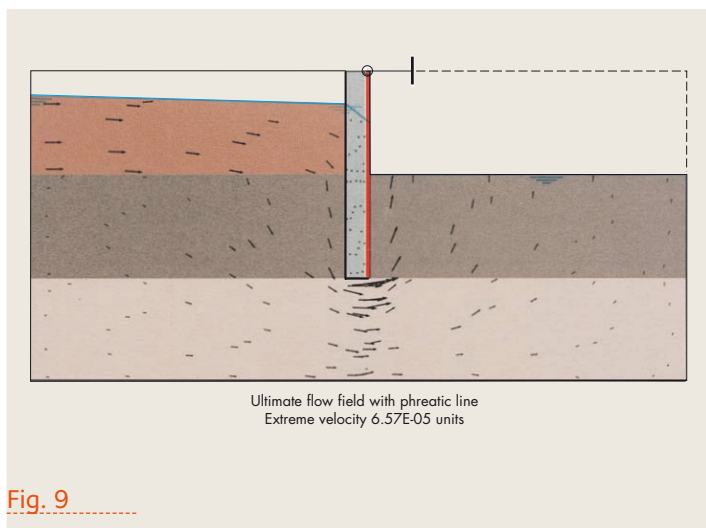


Fig. 9

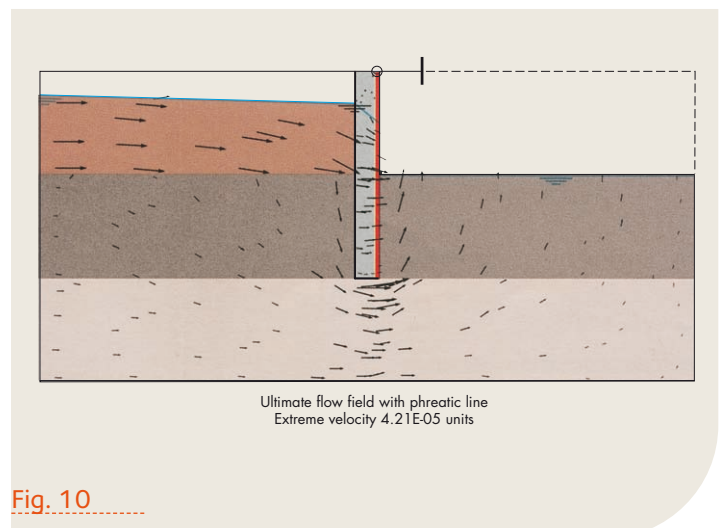


Fig. 10



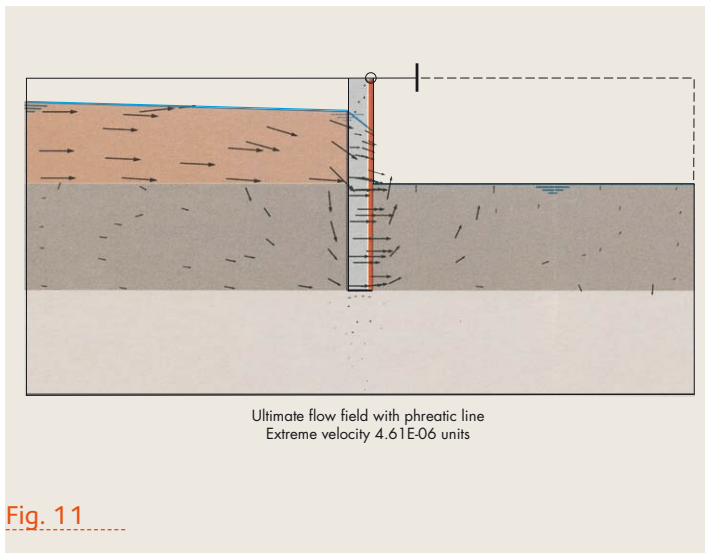


Fig. 11

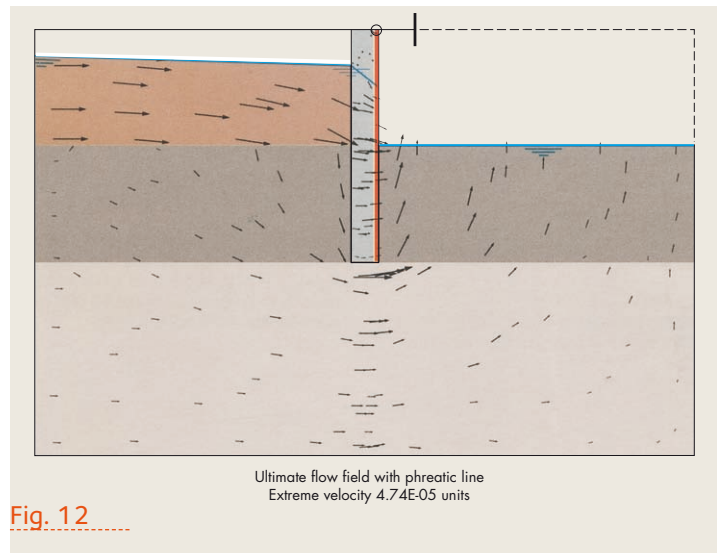


Fig. 12

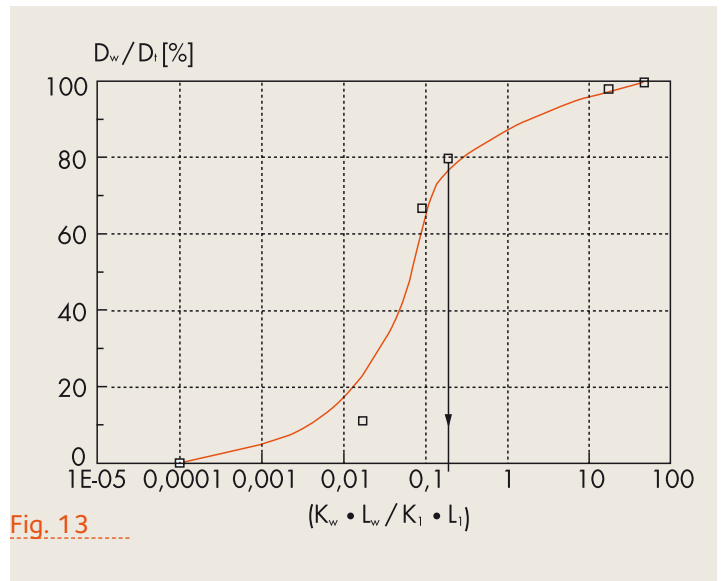
L'examen des deux rapports au (Tableau 2) confirme l'hypothèse du chapitre A.

(Cas 3:  $K_w \cdot L_w / K_1 \cdot L_1 = 17,50 \Rightarrow D_w / D_t = 98,2\%$ ).

Le diagramme (Fig.13) nous montre que pour des valeurs de l'ordre de

**$K_w \cdot L_w / K_1 \cdot L_1 > 0,175$**

l'écoulement se produit à 80% à travers le rideau et que par conséquent, l'approche simplifiée donne des résultats satisfaisants.





# Résumé de l'approche théorique

# Étanchéité des rideaux de palplanches

Dans la pratique, il est recommandé d'évaluer le degré de résistance à l'écoulement requis dans le cas spécifique afin de pouvoir choisir une solution économique. En fonction de ces exigences, trois solutions sont proposées:

1. Dans des applications telles que les rideaux à caractère temporaire, un écoulement modéré est souvent admissible. Un rideau de palplanches métalliques dotées de serrure de type Larssen assure une résistance suffisante aux infiltrations.
2. Dans les applications exigeant une résistance à l'infiltration moyenne à élevée, telles que les murs parafoilles pour sites contaminés, les structures permanentes pour culées de ponts et tunnels etc., il est préférable d'utiliser des palplanches jumelées avec serrure intermédiaire soudée en atelier. Une soudure réalisée en atelier est aussi imperméable que la palplanche proprement dite. La serrure libre des palplanches doubles devant être enclenchée sur chantier sera munie d'un produit d'étanchéité. La plage inférieure des résistances à l'écoulement est assurée par les différents produits de type «Arcoseal™» ou «Beltan», mais on remarquera que leur utilisation se limite aux pressions d'eau inférieures à 100 kPa. Pour les applications exigeant une étanchéité élevée, ainsi que pour les pressions d'eau jusqu'à 200 kPa, il convient d'utiliser un produit hydrogonflant. Un rideau conçu de la sorte est de 100 à 1000 fois plus imperméable qu'un rideau sans produit d'étanchéité.
3. Une imperméabilité totale peut être obtenue en soudant chaque serrure. On utilisera des palplanches doubles avec soudure exécutée en atelier pour construire le rideau. La serrure enclenchée sur chantier sera soudée sur site après excavation.

Le tableau ci-après permet de comparer le degré d'écoulement d'un rideau de palplanches métalliques et celui d'une paroi moulée. Pour un rideau de palplanches donné, il est possible de déterminer le coefficient de perméabilité que doit avoir une paroi moulée d'épaisseur D pour obtenir, à pression égale, le même écoulement que le rideau de palplanches métalliques.

Rideau de palplanches			Perméabilité k [ m/s ] d'une paroi moulée équivalente ayant une épaisseur D		
Section	Serrure intermédiaire soudée en atelier	Produit d'étanchéité	D = 60 cm	D = 80 cm	D = 100 cm
Z (b = 630 mm)	oui	Arcoseal™ ou Beltan	2,86 E-08	3,81E-08	4,76 E-08
	oui	Système ROXAN™	1,43 E-10	1,90 E-10	2,38 E-10
	non	Arcoseal™ ou Beltan	5,71 E-08	7,62 E-08	9,52 E-08
	non	Système ROXAN™	2,86 E-10	3,81E-10	4,76 E-10
U (b = 600 mm)	oui	Arcoseal™ ou Beltan	3,00 E-08	4,00 E-08	5,00 E-08
	oui	Système ROXAN™	1,50 E-10	2,00 E-10	2,50 E-10
	non	Arcoseal™ ou Beltan	6,00 E-08	8,00 E-08	1,00 E-07
	non	Système ROXAN™	3,00 E-10	4,00 E-10	5,00 E-10

## Exemple

On a choisi un rideau de palplanches doubles AZ dont la serrure intermédiaire a été soudée en atelier et un produit hydrogonflant dans la serrure libre enclenchée sur chantier. Pour obtenir un débit équivalent, une paroi moulée de 80 cm d'épaisseur doit avoir un coefficient de perméabilité

$$K = 1,9 \cdot 10^{-10} \text{ m/s.}$$

Les données suivantes sont nécessaires pour déterminer le débit d'écoulement à travers le rideau de palplanches métalliques mises en fiche dans une couche de fond définie comme imperméable (voir fig. 14).

- H: différence de niveau entre la nappe phréatique située de part et d'autre du rideau
- h: distance entre le point le plus haut de la couche de fond imperméable et le niveau inférieur de la nappe phréatique.

L'écoulement à travers une serrure non soudée est égal à:

$$Q_1 = \rho \cdot H \cdot (H/2 + h)$$

D'après les essais, l'inverse de la résistance à l'écoulement  $\rho$  peut être admis comme suit en première approche:

produit de type Beltan ou Arcoseal™:  
 $\rho = 6 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$  ( $p \leq 100 \text{ kPa}$ )

produit de type ROXAN™:  
 $\rho = 3 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$  ( $100 < p \leq 200 \text{ kPa}$ )

Pour tout détail complémentaire, on pourra consulter le chapitre A de la présente brochure.

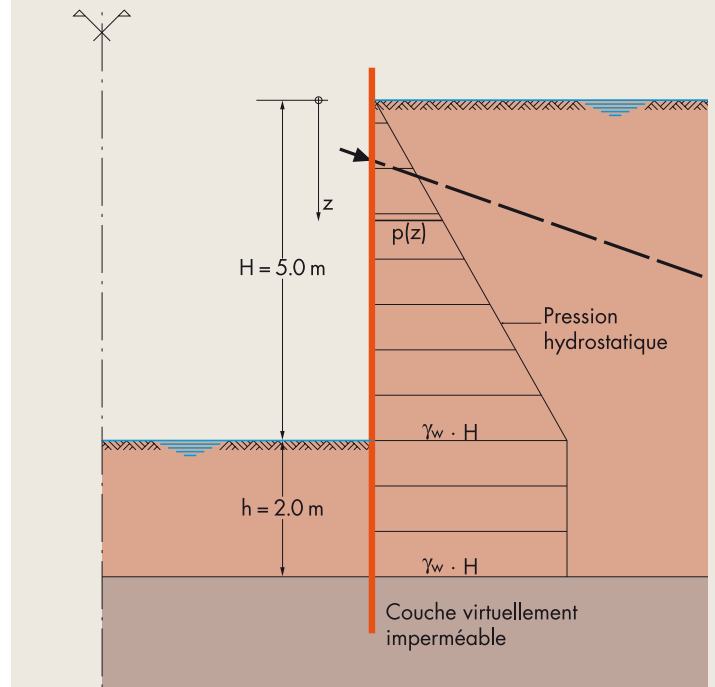


Fig. 14

Le tableau ci-après donne un aperçu du coût par mètre de serrure pour les différentes solutions. Le ratio coût est égal au coût d'une solution spécifique par rapport à celui du produit de type Beltan.

Ces coûts couvrent le matériau d'étanchéité ainsi que sa mise en œuvre dans la serrure.

Solutions	Ratio Coût
Serrure sans produit	0
Serrure avec Beltan	1
Serrure avec Arcoseal™	2,5
Serrure avec système ROXAN™	5
Serrure soudée	15

### Valeur de $\rho$ pour une première approche de calcul

Système d'étanchéité	$\rho$ [ $10^{-10}$ m/s]	Pression hydrostatique maximum [kPa]
Serrure sans produit	> 1000	100
Serrure avec Beltan	600	100
Serrure avec Arcoseal™	600	100
Serrure avec système ROXAN™	0,3	100
	3	200

Arcoseal™ et le système Roxan™ sont des marques déposées par une société du groupe ArcelorMittal.

# Approche pratique

Principaux systèmes d'étanchement vertical et horizontal	17
Etanchement vertical:	
• Produits d'étanchéités	18
• Soudures	28
• Solutions alternatives	32
• Réparation des défauts d'étanchéité des serrures	34
Etanchement horizontal	40
Remarques et références	44



# Principaux systèmes d'étanchement vertical et horizontal

Dans certains types d'ouvrages tels que les parkings souterrains, les tunnels, les confinements de décharges, etc., l'étanchéité des parois est un critère déterminant dans le choix du procédé de construction.

La palplanche métallique, de par sa définition d'élément de séparation de deux milieux différents, constitue une solution idéale pour résoudre le problème des parois étanches, dès lors que l'on propose:

1. une méthode pour évaluer de façon précise l'écoulement à travers les serrures. (Voir première partie de la présente brochure)
2. des solutions aux problèmes pratiques se posant lors de la réalisation de parois étanches.

## Principaux systèmes d'étanchement vertical et horizontal

Considérant un rideau de palplanches étanche, il faut distinguer deux types d'étanchement:

- L'étanchement vertical, qui consiste principalement à rendre étanches les serrures des palplanches. Selon le degré d'étanchéité souhaité, plusieurs techniques sont possibles:
  - Mise en place d'un produit dans les serrures, avant ou après enclenchement des palplanches, pour des performances d'étanchéité moyenne ( $\rho = 6 \cdot 10^{-8}$  m/s) à élevée ( $\rho = 3 \cdot 10^{-10}$  m/s)
  - La soudure des serrures, pour les applications nécessitant une étanchéité totale. Les serrures intermédiaires des

palplanches livrées par paires ou en triplettes seront soudées en usine; les serrures enclenchées sur chantier le seront sur site (au-dessus du niveau du sol ou à partir d'une faible profondeur sous le fond de fouille)

- Il existe également d'autres méthodes d'étanchement vertical par exemple, l'utilisation d'éléments de refoulement ou l'injection de coulis, etc..
- L'étanchement horizontal, qui concerne la jonction étanche entre la paroi de palplanches et un élément d'ouvrage horizontal s'y raccordant (par exemple une dalle en béton, une géomembrane, ...). Différents exemples de connexions étanches sont traités dans cette brochure pour lesquels l'on distingue en général deux cas:
  - L'étanchéité avec la dalle de fond, zone souvent sous eau.
  - L'étanchéité avec la dalle de couverture

### Attention

Lorsque le projet prévoit un traitement de surface des palplanches par application de revêtement, il est essentiel de le signaler au service technique d'ArcelorMittal. En effet, le choix du système d'étanchéité des serrures dépend non seulement du degré d'étanchéité demandé par le projet, mais doit également être compatible avec le revêtement, afin d'éviter d'éventuels problèmes d'adhérence.



# Étanchement vertical: Produits d'étanchéité

Pour les applications à performances moyennes, deux produits sont conseillés: le Beltan (à base de bitume) et l' Arcoseal™ (à base de cire), mis en œuvre à chaud dans les serrures:

		Beltan	Arcoseal™
Pression hydrostatique		≤ 100 kPa	≤ 100 kPa
ρ		6 · 10 <sup>-8</sup> m/s	6 · 10 <sup>-8</sup> m/s
Caractéristiques	Composition	bitume + graisse lubrifiante	huile minérale + cire de paraffine
	Masse volumique	à 25 °C: 0,98 ~ 1 g/cm <sup>3</sup>	à 15 °C: 0,955 g/cm <sup>3</sup>
	Point de ramollissement	~ 90 °C (ASTM D36)	~ 70 °C
	Couleur	noir-brun	brun
Conditionnement		seau de 25 kg	seau de 12 kg
Conditions d'applications	Surface recouverte d'eau	à proscrire	à proscrire
	Surface humide	à éviter	à proscrire
	Température de la surface	- 10°C ~ + 70°C excellent	0°C ~ + 70°C excellent
	Durcissement sous pluie	excellent	excellent
	Séchage sous UV	excellent	excellent
Durabilité	Eau douce	pH 3,5 ~ pH 11,5 excellent	pH 2 ~ pH 12 excellent
	Eau de mer	excellent	excellent
	Huile minérale*	faible	faible à moyenne
	Essence*	très faible	faible
	Pétrole*	très faible	faible
Consommation	Serrures libres	0,3 litre / mètre de serrure	0,4 litre / mètre de serrure
	Serrures médianes pincées	0,1 litre / mètre de serrure	0,15 litre / mètre de serrure

(\*)Tests effectués en laboratoire dans une solution pure.

## Application d'Arcoseal™ ou de Beltan en usine (Fig. 1 à 5)

L'application de ces deux produits en usine est réalisée suivant les prescriptions suivantes:

- les serrures doivent être sèches;
- les palplanches sont disposées en position parfaitement horizontale;
- pour des raisons d'adhérence du produit dans les serrures, un nettoyage à l'air comprimé, à la brosse en acier ou au jet d'eau à haute pression est nécessaire;
- afin d'éviter tout écoulement du produit chaud et liquide par les extrémités des palplanches lors du remplissage des serrures, un colmatage préalable est réalisé en tête et en pied des barres à l'aide de mastic;
- chauffage du produit à la température indiquée dans la procédure industrielle;
- mélange du produit jusqu'à l'obtention d'une masse homogène (impératif);
- mise en place du produit dans les serrures à l'aide d'un déversoir approprié en tenant compte du sens de battage des palplanches et de leurs positions par rapport à la poussée hydrostatique;



- si les palplanches sont livrées en barre simples, seule la serrure libre à l'avancement est remplie;
- si les palplanches sont livrées en paires, la serrure intermédiaire pincée et la serrure libre à l'avancement sont remplies.

### Attention

L'étanchement des serrures médianes de palplanches doubles (ou plus) n'est réalisable qu'à partir de «SERRURES PINCEES». Pour ne pas diminuer la résistance des points de pinçage, l'application des produits est impérativement exécutée après pinçage.

### Mode opératoire



Four de chauffage

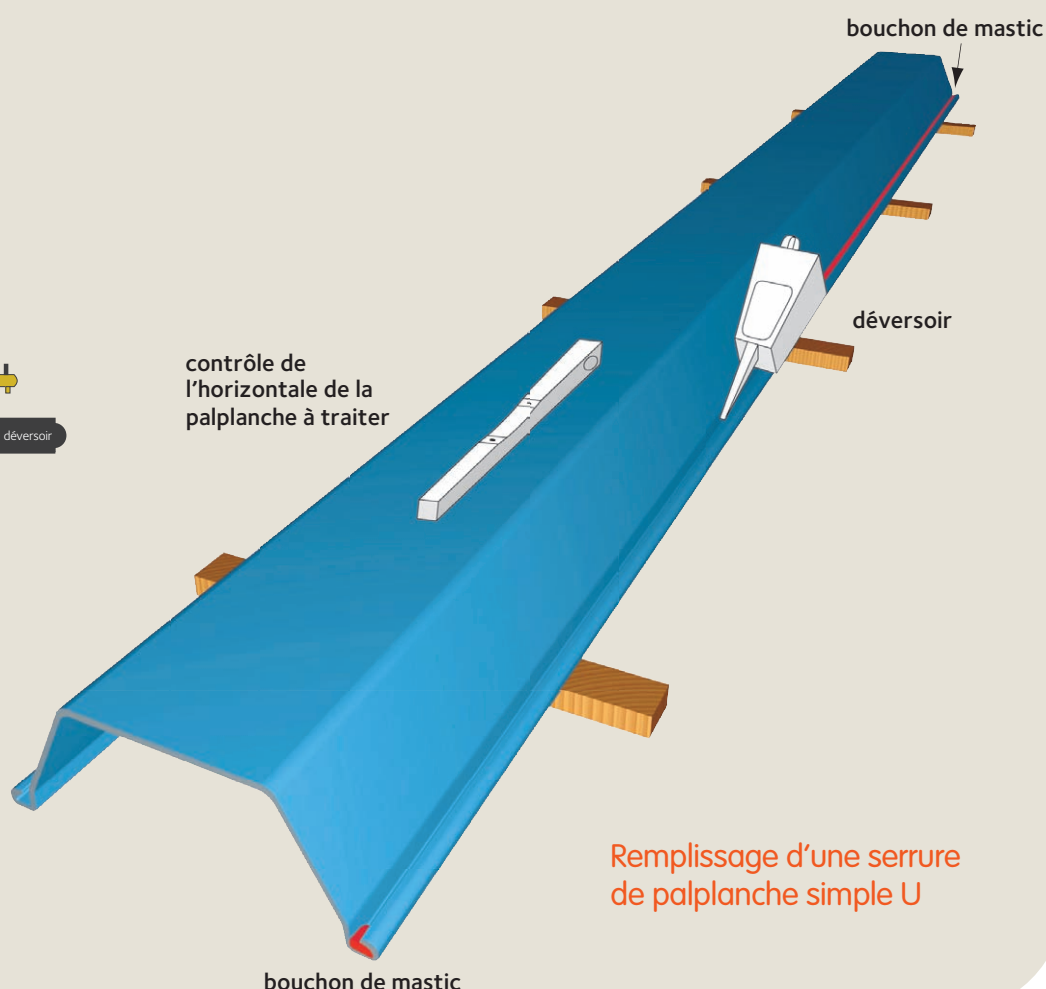


Fig. 1

Détails de l'application dans les palplanches Z simples

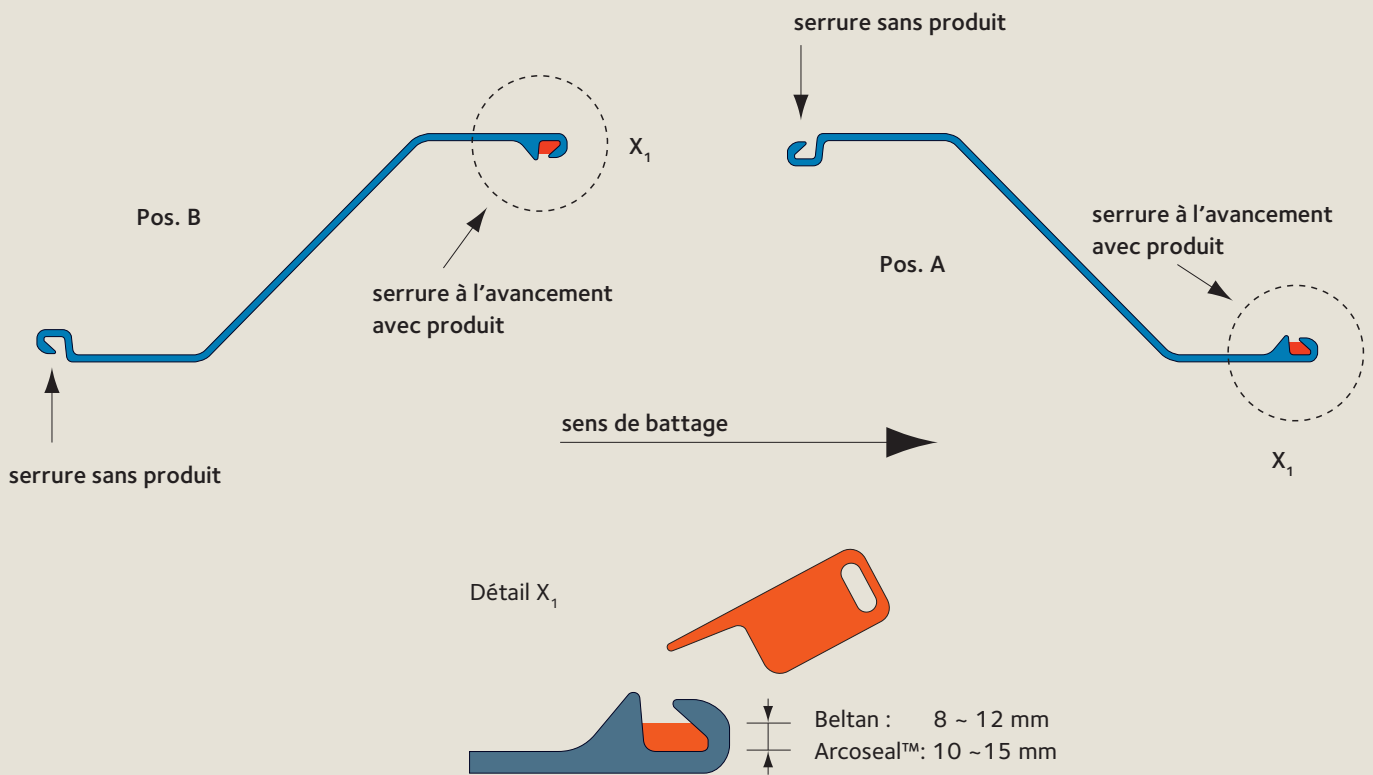


Fig. 2

Détails de l'application dans les palplanches U simples

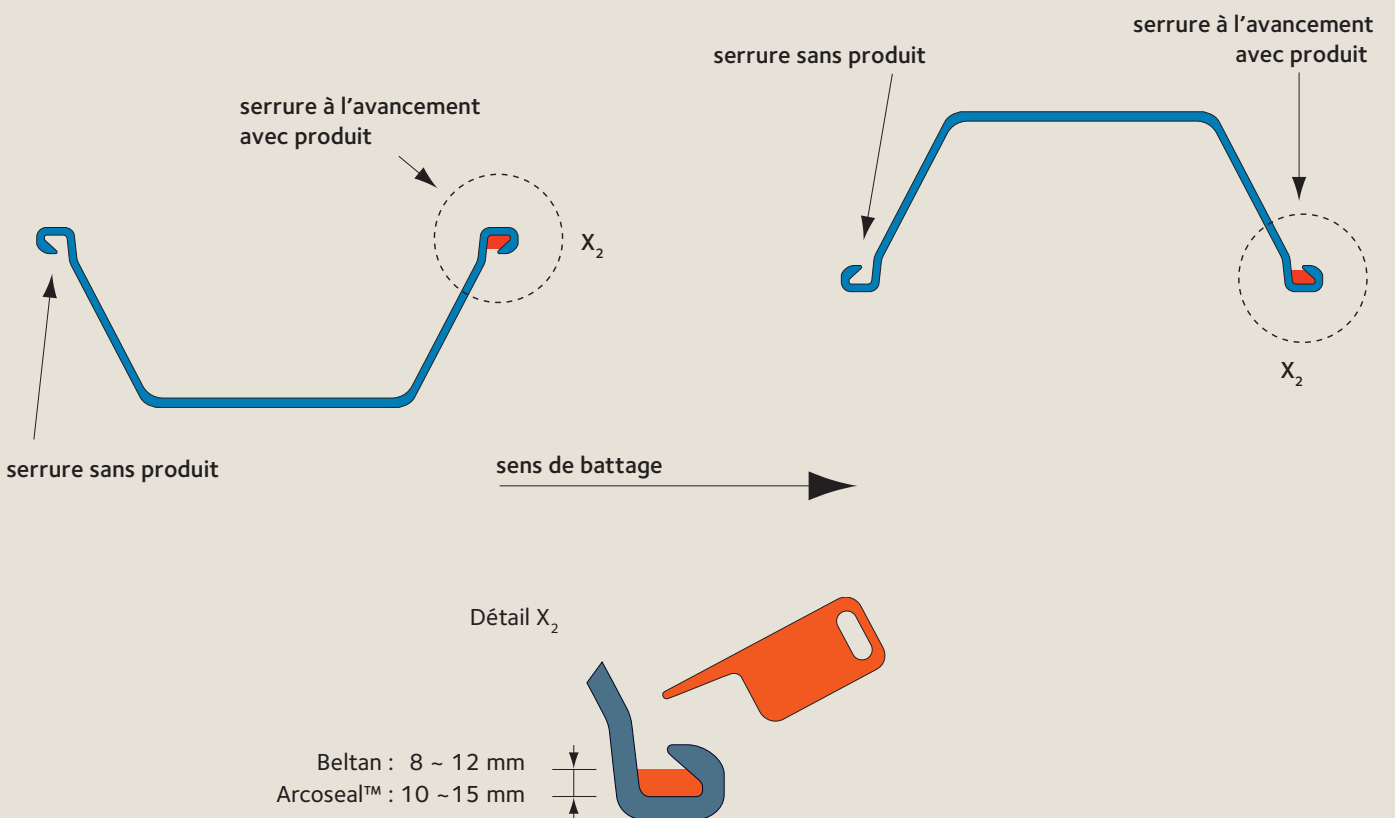


Fig. 3

### Détails de l'application dans les palplanches Z doubles

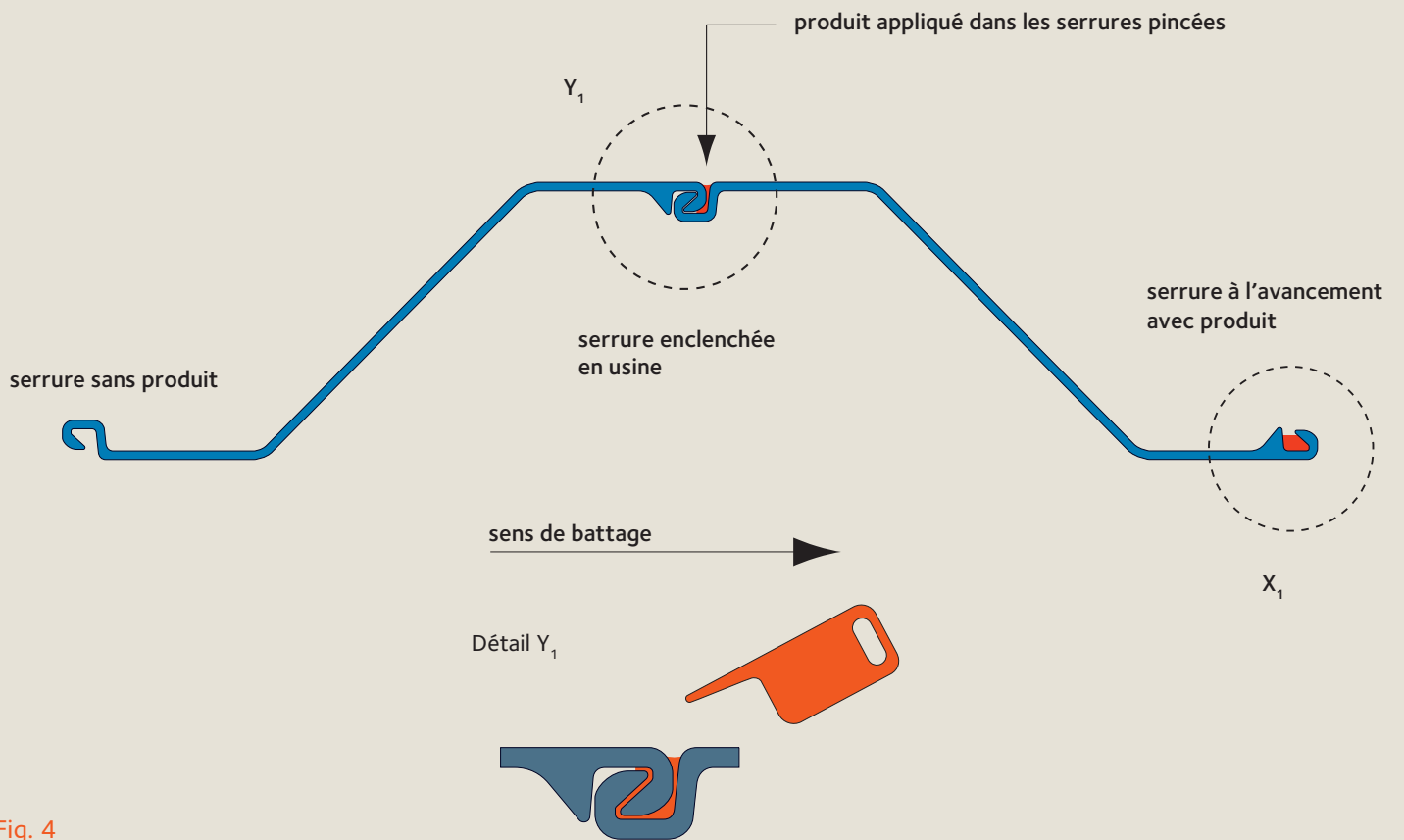


Fig. 4

### Détails de l'application dans les palplanches U doubles

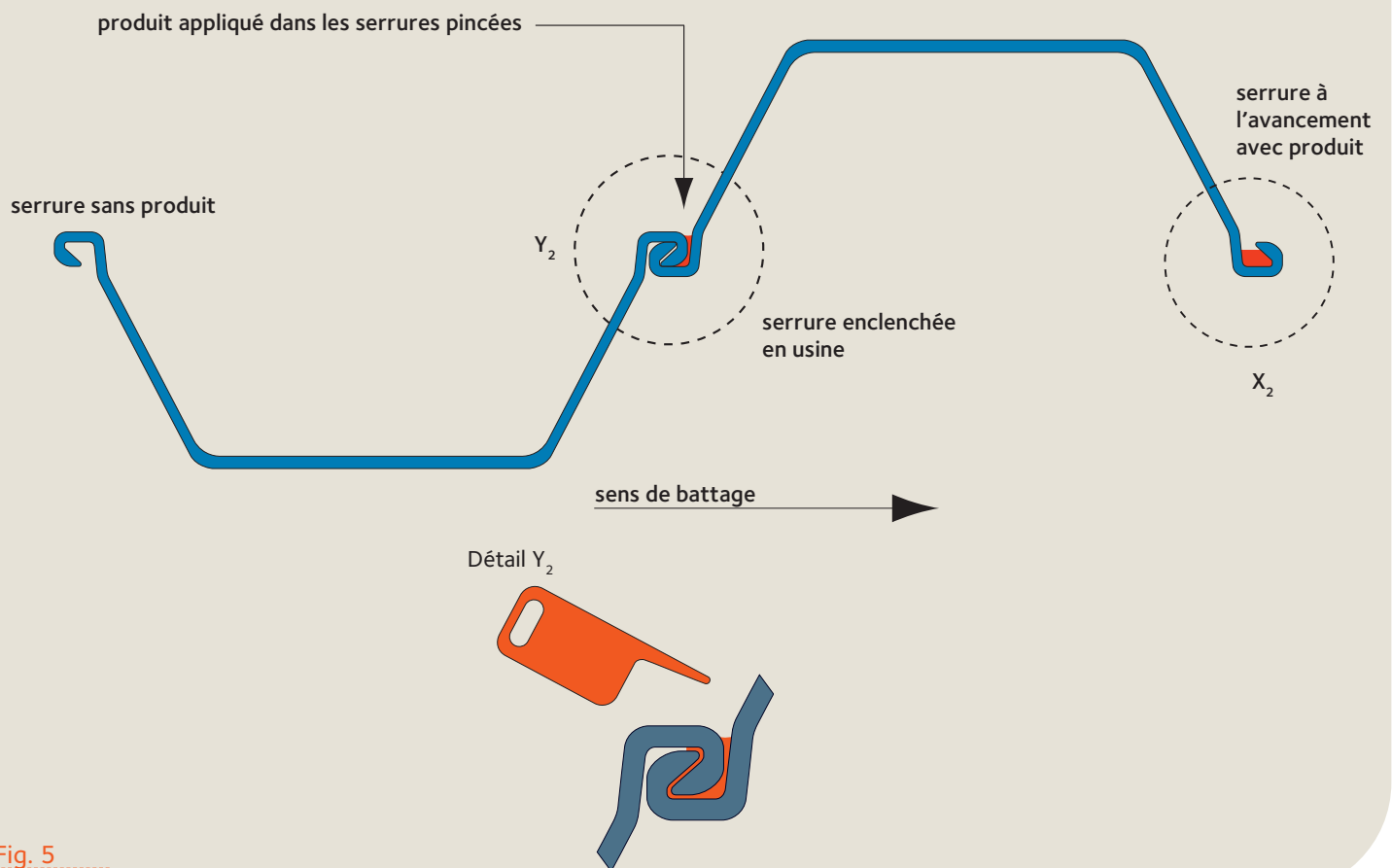


Fig. 5

## Application d'Arcoseal™ ou de Beltan in situ

- L'application d'Arcoseal™ ou Beltan in situ se fait suivant le même mode opératoire qu'en usine.
- Par temps sec la mise en œuvre à l'air libre ne pose aucun problème.
- Par temps pluvieux, l'application se fera sous abri.

## Transport des palplanches étanchées

- Tant que le produit ne s'est pas solidifié, les palplanches doivent être transportées en position horizontale, l'ouverture des serrures étanchées **positionnée vers le haut**.
- Après refroidissement du produit, les palplanches doivent être protégées contre tout échauffement trop important afin d'éviter un écoulement hors des serrures.

### Attention

Ne pas dépasser la température du point de ramollissement du produit.



## Fonçage des palplanches étanchées (Fig. 6)

Les palplanches étanchées à l'aide d'Arcoseal™ ou Beltan peuvent être fonçées par battage, par vibrofonçage ou par vérinage.

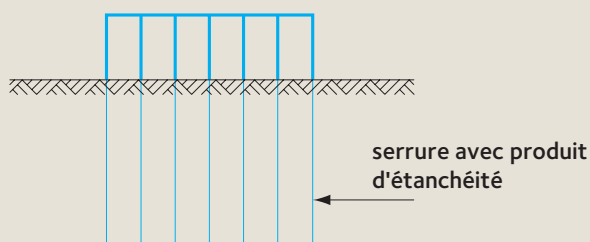
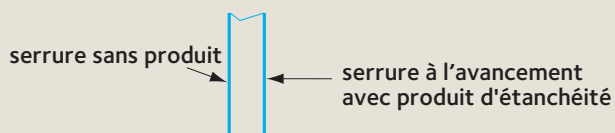
Concernant leur mise en œuvre, il y a lieu de procéder comme suit (Fig. 6):

- la serrure munie du produit devra toujours être placée à l'avancement;
- lors du fonçage des palplanches un guidage approprié sera réalisé de manière à éviter tout dévers longitudinal ou transversal. L'utilisation de guides est primordiale pour assurer une mise en œuvre correcte et respecter une tolérance maximale de 1% sur la verticalité des barres;
- lors de l'installation des palplanches par simple pose sans fonçage, il peut arriver que, suite à un excès de produit dans la serrure ou à un raidissement localisé de celui-ci à basse température, les palplanches ne parviennent pas à la cote requise. Il faut alors prévoir sur le chantier l'utilisation d'un engin de battage permettant une mise en œuvre correcte. Le cas échéant, il peut s'avérer nécessaire de réchauffer légèrement la zone récalcitrante en veillant à ne pas dépasser le point de ramollissement du produit;
- lors de la mise en œuvre par vibrofonçage, il est important de ne pas dépasser une température dans les serrures de 90 °C (risque d'écoulement du produit). La solution recommandée, dans le cas de sols difficiles, consiste à refroidir (jet d'eau) la serrure;
- la mise en œuvre des palplanches ainsi étanchées est à proscrire, lorsque la température extérieure est inférieure à -10 °C. (Pour plus d'information nous contacter)

## Fonçage des palplanches

### 1) Palplanches simples

sens de battage →



### 2) Palplanches enclenchées par paires

sens de battage →

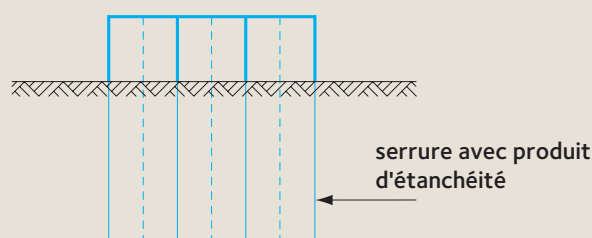
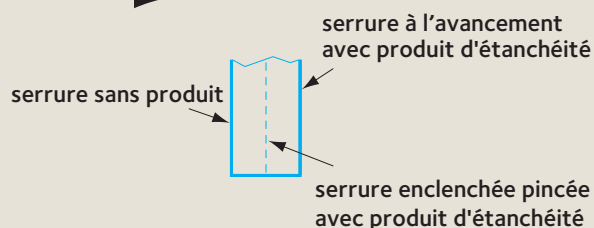


Fig. 6



Pour les applications à performances élevées, il est conseillé d'utiliser le système ROXAN™. Ce système est composé d'un produit hydrogonflant, ADEKA utilisé exclusivement dans les serrures libre et d'un polyuréthane 2 composants Sikafloor® utilisé dans les serrures médianes pincées des palplanches jumelées. La mise en œuvre de ces produits dans les serrures se fait à froid.

		Système ROXAN™	
Produit		Adeka	+ Sikafloor®
Application		Serrures libres	Serrures médianes pincées
Pression hydrostatique		≤ 200kPa	≤ 200kPa
ρ		3 · 10 <sup>-10</sup> m/s	3 · 10 <sup>-10</sup> m/s
Caractéristiques	Genre	hydrogonflant mono composant	liant à deux composants
	Composition	prépolymère uréthane	polyuréthane
	Masse volumique	1,28 ± 0,15 g/cm <sup>3</sup>	à 20 °C: 1,28 g/cm <sup>3</sup>
	Couleur	gris clair	gris
Conditionnement		seau de 15kg	emballage pré-dosé de 25kg
Conditions d'applications	Surface recouverte d'eau	à proscrire	à proscrire
	Surface humide	à proscrire	à proscrire
	Température de la surface	+ 5 °C ~ + 70 °C excellent	+ 10 °C ~ + 30 °C excellent
	Polymérisation sous pluie	à proscrire	à proscrire
	Polymérisation sous UV	excellente	excellente
Durabilité	Eau douce	pH 3,5 ~ pH 11,5 excellent	pH 3,5 ~ pH 11,5 excellent
	Eau de mer	excellent	excellent
	Huile minérale*	faible	faible
	Essence*	moyen	faible
	Pétrole*	faible	faible
Propriétés de gonflement	en cycle alterné saturé en eau/sec	excellent	-
	sous température -10 °C à +60 °C	excellent	-
	dans le coulis bentonitique	excellent	-
Consommation	Litre/ mètre de serrure	0,15 l/m	0,35 l/m

(\*)Tests effectués en laboratoire dans une solution pure.

## Application du système ROXAN™ en usine (Fig. 7 à 11)

L'application du produit hydrogonflant se fera toujours **dans l'une des serrures libres de palplanches simples ou jumelées**, suivant les prescriptions suivantes:

- les serrures doivent être sèches;
- il n'est pas indispensable de placer les palplanches de manière parfaitement horizontale;
- pour des raisons d'adhérence du produit dans les serrures, un nettoyage à l'air comprimé, à la brosse en acier ou au jet

d'eau à haute pression est nécessaire;

- mis en place par extrusion, le produit est réparti dans la serrure libre à l'aide d'un gabarit spécial (brevet ArcelorMittal LU88397), en tenant compte du sens de battage.

### Attention

L'utilisation du gabarit spécial est indispensable pour garantir l'étanchéité de la serrure.

L'application du polyuréthane à 2 composants se fera toujours **dans les serrures médianes pincées de palplanches jumelées**, suivant les prescriptions suivantes:

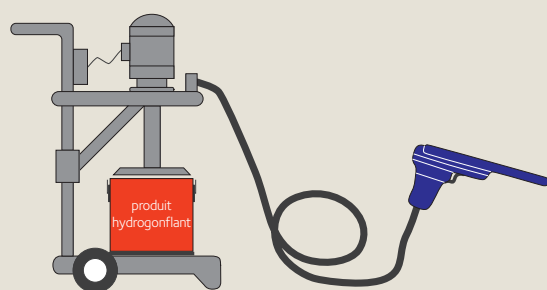
- les serrures doivent être sèches;
- les palplanches sont disposées en position parfaitement horizontale;
- pour des raisons d'adhérence du produit dans les serrures, un nettoyage à l'air comprimé, à la brosse en acier ou au jet d'eau à haute pression est nécessaire;
- afin d'éviter tout écoulement du produit par les extrémités des palplanches lors du remplissage des serrures, un colmatage préalable est réalisé en tête et en pied des barres à l'aide de mastic;

- mélange des 2 produits à l'aide d'un mélangeur électrique (impératif), se référer à la fiche technique;
- mise en place du produit dans les serrures à l'aide d'un déversoir approprié en tenant compte du sens de battage des palplanches et de leurs positions par rapport à la poussée hydrostatique.

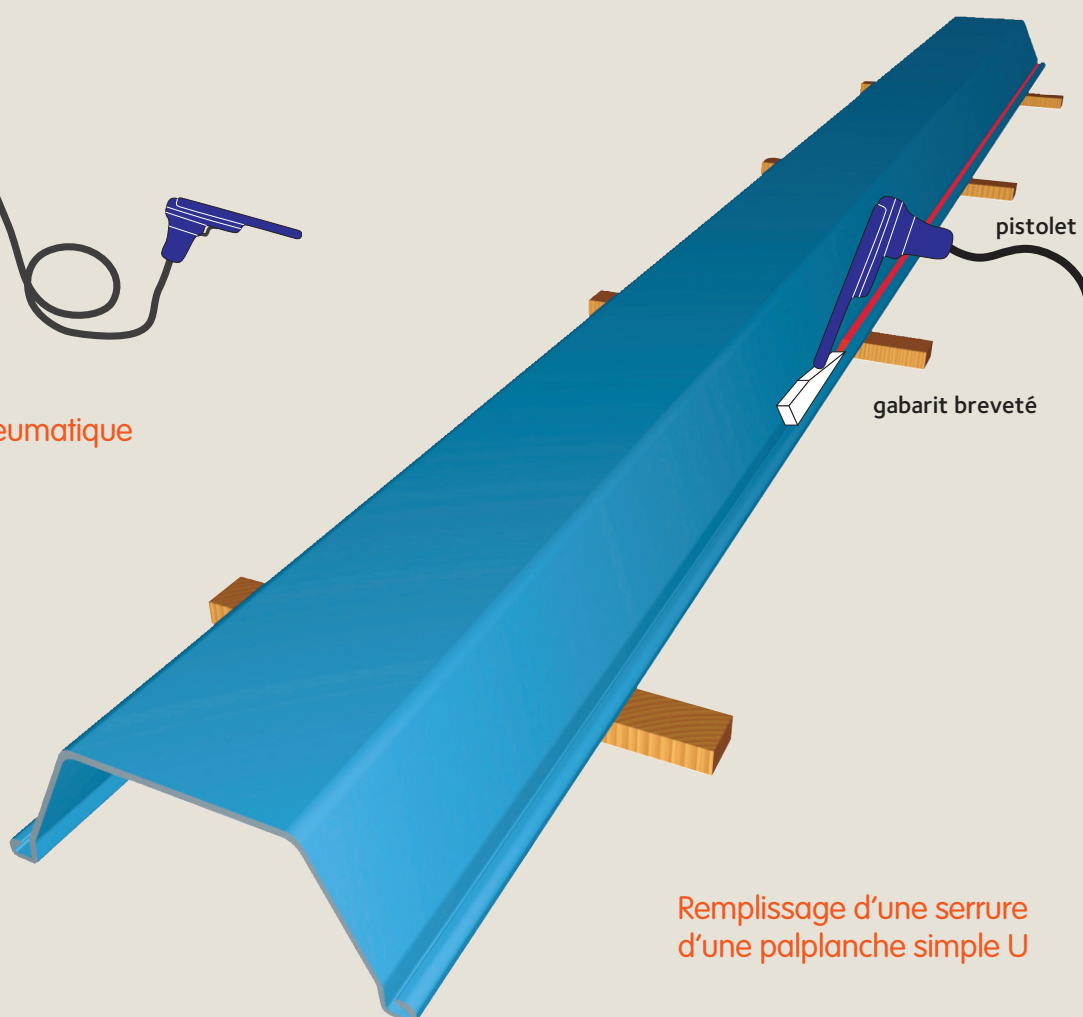
#### Attention

*L'application doit se faire immédiatement après le mélange des 2 composants. La durée d'utilisation avant durcissement est limitée à + ou - 20 min en fonction de la température ambiante (se référer à la fiche technique)*

### Mode opératoire



Pompe pneumatique

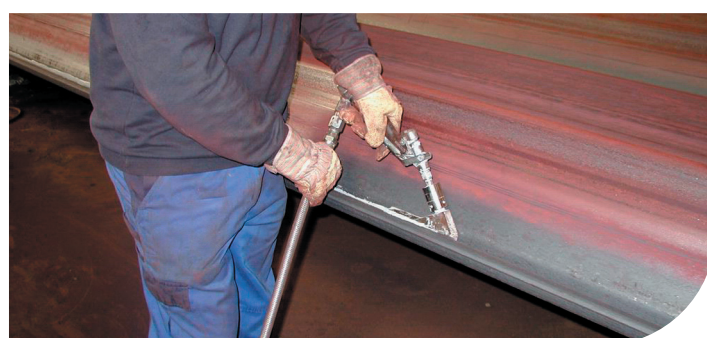


Remplissage d'une serrure d'une palplanche simple U

Fig. 7

### Application du système ROXAN™ in situ

L'application du produit hydrogonflant in situ est déconseillée, sauf si le travail peut être fait sous abri. Il doit alors être réalisé suivant les mêmes prescriptions que pour la mise en œuvre en usine (avec assistance du service technique d'ArcelorMittal).



### Détails de l'application dans les palplanches Z simples

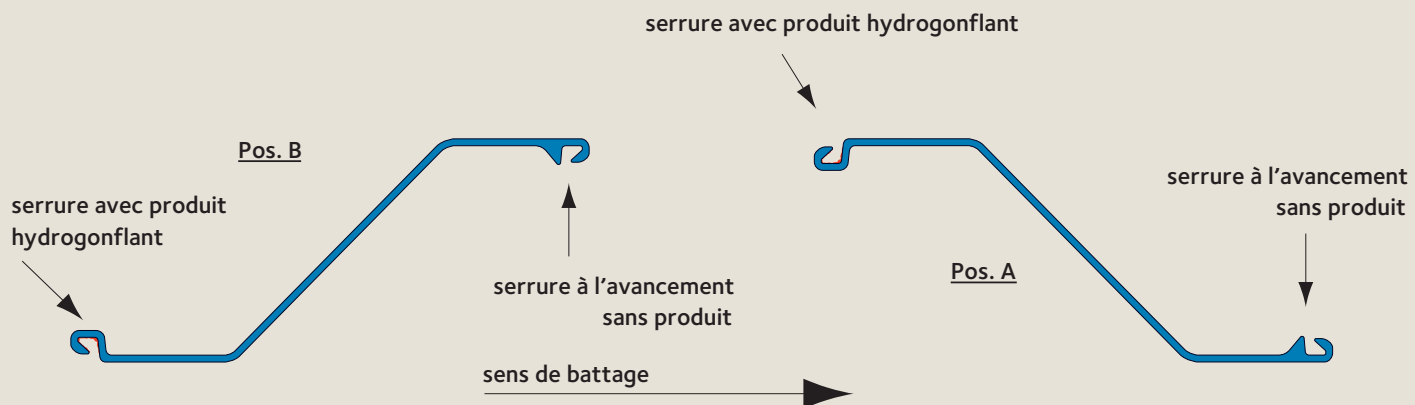


Fig. 8

### Détails de l'application dans les palplanches U simples

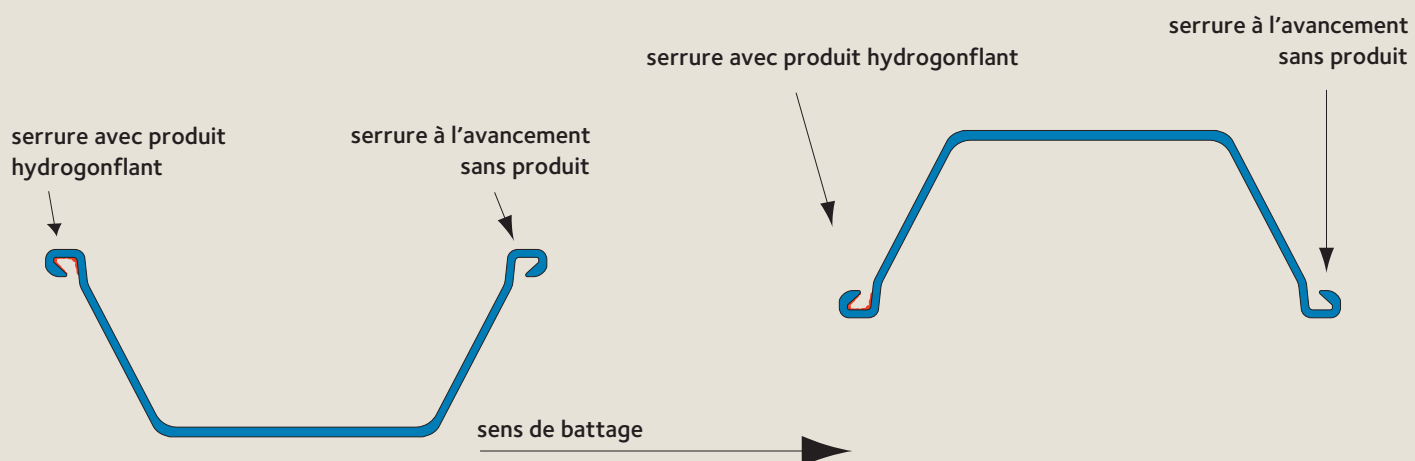


Fig. 9

### Détails de l'application dans les palplanches Z doubles

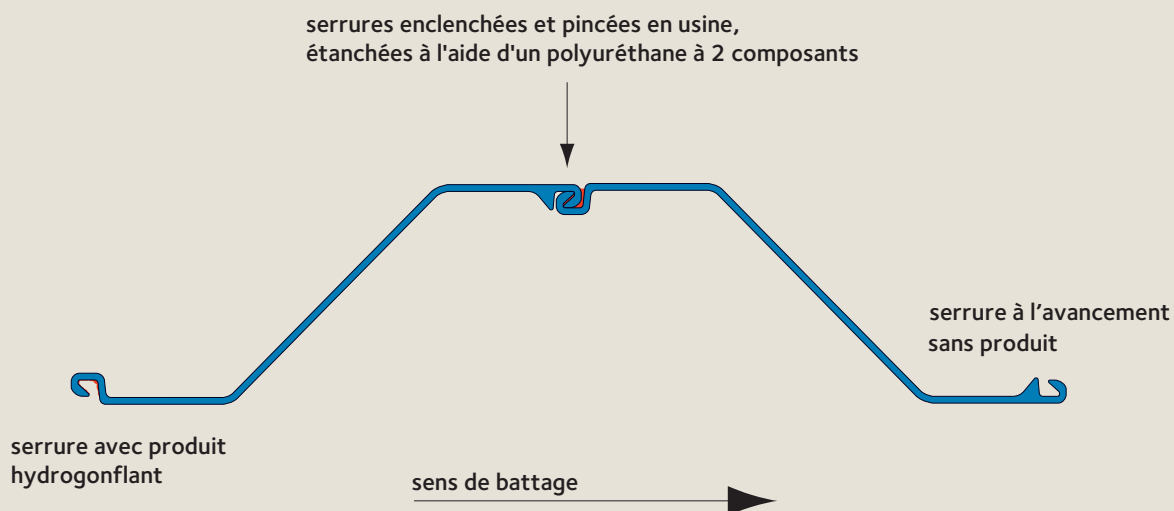


Fig. 10

### Détails de l'application dans les palplanches U doubles

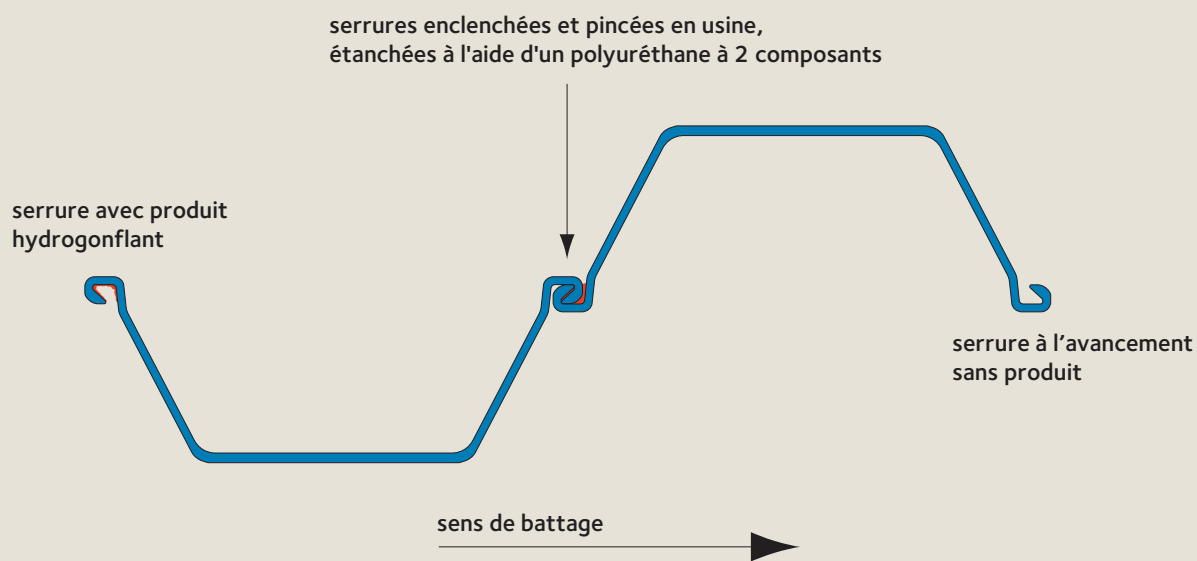


Fig. 11

### Transport et stockage des palplanches étanchées (Fig. 12)

Les palplanches sont stockées ou transportées de façon à ce qu'aucune serrure libre emplies de produit hydrogonflant ne soit en contact avec de l'eau stagnante (risque de gonflement

du produit après polymérisation et perte d'adhérence), il faut donc veiller à toujours les placer «**serrure libre étanchée**» dirigée vers le bas.

### Transport et stockage

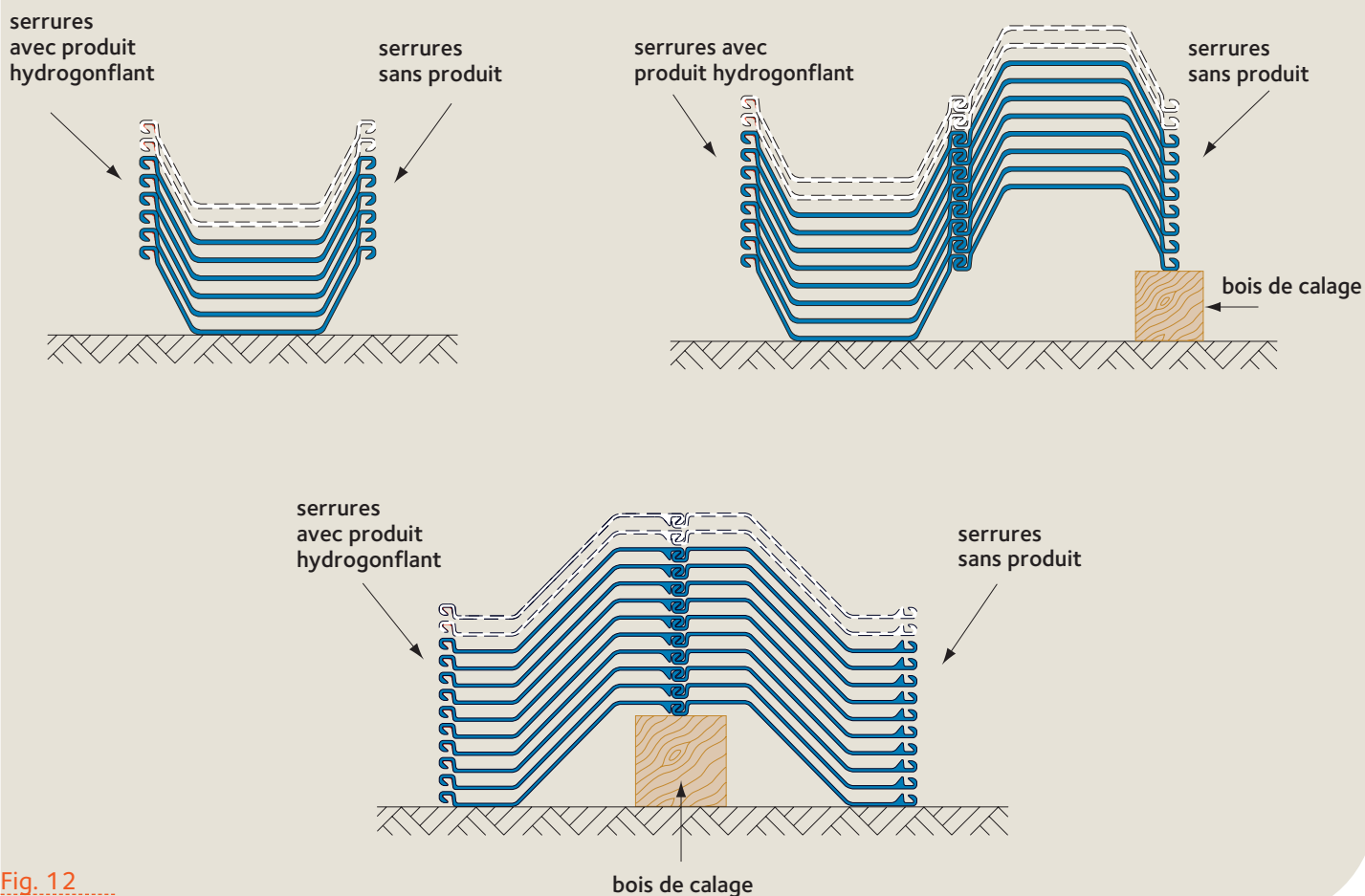


Fig. 12

## Fonçage des palplanches étanchées

Les palplanches étanchées à l'aide d'un produit hydrogonflant peuvent être foncées par battage, vibration ou par véringage.

Concernant leur mise en œuvre, il y a lieu de procéder comme suit:

- lors du fonçage des palplanches un guidage approprié sera réalisé de manière à éviter tout dévers longitudinal ou transversal. L'utilisation de guides est primordiale pour assurer une mise en œuvre correcte et respecter une tolérance maximale de 1% sur la verticalité des barres;
- toutes les palplanches ainsi étanchées sont livrées: «serrures libres chanfreinée en tête» et «serrures munies de produit hydrogonflant découpées en pied» (Fig. 14). Ces deux réalisations permettent lors du fonçage, le nettoyage de la serrure libre de la palplanche déjà en fiche par l'enclenchement de la palplanche suivante. Le but de cette opération est d'éviter au maximum la détérioration du produit hydrogonflant;
- avant enclenchement, le produit hydrogonflant doit être lubrifié au moyen d'un produit savonneux du commerce,

que l'on répartit dans la serrure étanchée à l'aide d'un pinceau;

- lors de l'installation des palplanches par simple pose sans fonçage, il peut arriver qu'à cause du produit hydrogonflant, les palplanches ne parviennent pas à la profondeur voulue. Il faut alors prévoir sur le chantier un engin de battage permettant une mise en œuvre correcte;
- lors de la mise en œuvre des palplanches par vibration, il faut veiller à ne jamais dépasser la température de 130°C dans les serrures (risques d'endommagement du joint d'étanchéité);
- en présence d'eau il faut éviter de laisser une palplanche partiellement enfoncée pendant plus de deux heures. Le gonflement du produit d'étanchéité provoquerait son arrachement lors de la reprise du fonçage;
- la mise en œuvre des palplanches ainsi étanchées est à proscrire; lorsque la température extérieure est inférieure à -10°C. (Pour plus d'information nous contacter)

### Fonçage des palplanches

#### 1) Palplanches simples

sens de battage →

serrure avec produit hydrogonflant lubrifié avec un produit du commerce à base de savon

découpe en pied

serrure à l'avancement sans produit

chanfreinage de la serrure

serrure à l'avancement sans produit

#### 2) Palplanches enclenchées par paires

sens de battage →

serrure avec produit hydrogonflant lubrifié avec un produit du commerce à base de savon

découpe en pied

serrure à l'avancement sans produit

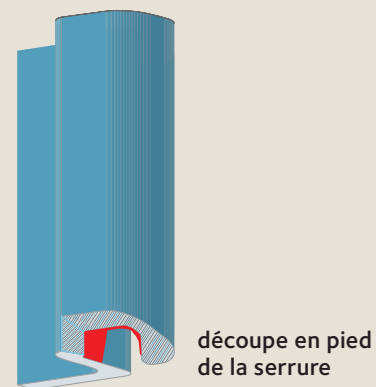
serrure enclenchée, pincée et étanchée

chanfreinage de la serrure

serrure à l'avancement sans produit

Fig. 13

### Détails



chanfrein en tête de la serrure

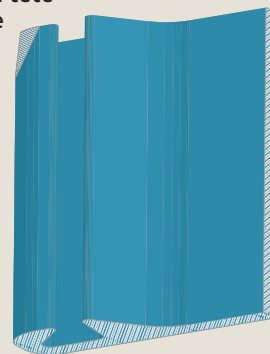


Fig. 14



# Etanchement vertical: Soudure

La majorité des procédés de soudage à l'arc électrique est reconnue valable pour étancher les serrures des palplanches enclenchées en atelier ou sur chantier.

Afin d'éviter les problèmes liés à la qualité des soudures, il est conseillé d'analyser au préalable la rentabilité et la compétitivité des procédés de soudage. Il faut rappeler que la notion de compétitivité d'un procédé de soudage repose sur une série de facteurs, qui font intervenir :

- le taux de dépôt en kg/h,
- le facteur de marche, c-à-d. le temps d'arc par heure,
- le rendement du produit de soudage (le poids réellement déposé par kg de produit),
- la préparation du joint,
- la position de soudage.

Dans des conditions autres que celles proposées en usine, connues et maîtrisées, les critères définis précédemment

peuvent devenir aléatoires et une attention particulière devra être portée sur les points suivants :

- la possibilité d'accès à la palplanche,
- la situation atmosphérique sur le chantier,
- la résistance mécanique de la soudure (voir épaisseur du cordon et pénétration à respecter),
- le degré d'humidité dans les serrures,
- l'écartement des serrures,
- l'agressivité du milieu agissant sur les soudures.

Pour tout projet d'étanchement des serrures de palplanches, il y a lieu de choisir la solution la mieux adaptée aux conditions rencontrées. Le Service Technique ArcelorMittal Palplanches est à votre disposition pour vous conseiller quant au choix du meilleur procédé.

## Possibilités de soudage des serrures de palplanches (Fig. 15 - 16)

Il faut différencier le cas où les palplanches sont livrées enclenchées soudées à partir de l'usine, de celui où les barres doivent être solidarisiées par soudure une fois en place dans l'ouvrage :

- dans le cas d'une fourniture de palplanches jumelées une soudure des serrures enclenchées peut être exécutée soit en usine soit sur chantier avant fonçage. Cette soudure est réalisée en position horizontale;
- les serrures enclenchées lors du fonçage des palplanches ne peuvent être soudées qu'après mise en œuvre des barres et éventuellement après excavation. Ces soudures sont exécutées en position verticale.

Le tableau 1 (page 31) résume les principales conditions régissant le choix des soudures dans les différents cas.

### Remarque:

*Si en raison d'exigences d'étanchéité parfaite il y a lieu de procéder à un soudage des serrures enclenchées sur chantier, le remplissage préalable des serrures libres avant fonçage à l'aide d'un joint hydrocarboné est recommandé. Cet étanchement préliminaire empêche une humidification trop importante des serrures pouvant gêner les opérations de soudage. Le joint hydrocarboné doit alors être placé de manière à éviter tout contact avec la soudure future. Ces indications doivent être mentionnées dans la spécification.*

## Choix du procédé de soudage sur chantier

Il se limite aux systèmes suivants :

a) Soudage à l'arc avec électrode enrobée

Avantages	Inconvénients
procédé connu	taux de dépôt plutôt faible (fig. 17)
emploi universel	
facile à mettre en œuvre	
bonne qualité de la soudure	
très peu lié à la situation atmosphérique sur chantier	
investissement machine minimal	
robuste	

b) Soudage à l'arc sous protection de gaz actif avec fil-électrode fusible-procédé MAG

Avantages	Inconvénients
facile à mettre en œuvre	formation du personnel
taux de dépôt élevé (fig. 17)	investissement machine plus élevé que pour le soudage à l'électrode
	protection gazeuse déficiente en cas de courant d'air, d'où qualité de soudure parfois irrégulière

c) Soudage à l'arc sous protection de gaz actif avec fil-électrode fourré fusible

Avantages	Inconvénients
emploi universel	investissement machine plus élevé que pour le soudage à l'électrode
facile à mettre en œuvre	formation du personnel
taux de dépôt élevé (fig. 17)	
procédé alliant l'efficacité du soudage à l'électrode à une procédure semi-automatique	

Exécution des soudures d'étanchéité sur palplanches Z jumelées

1) Serrures enclenchées en usine  
- serrures sèches  
- soudage en position horizontale

2) Serrures enclenchées sur chantier  
- serrures sèches ou humides  
- soudage en position verticale

a) serrures sèches  
côté terre  
côté excavation

b) serrures humides  
côté terre  
côté excavation

c) serrures humides (ruissellement d'eau)  
côté terre  
côté excavation

Détail  
support de soudure en cas d'écartement max. des serrures (facultatif)  
a<sub>eff</sub>

côté terre  
côté excavation

**Fig. 15**

Exécution des soudures d'étanchéité sur palplanches U jumelées

1) Serrures enclenchées en usine  
- serrures sèches  
- soudage en position horizontale

2) Serrures enclenchées sur chantier  
- serrures sèches ou humides  
- soudage en position verticale

a) serrures sèches  
côté terre  
côté excavation

b) serrures humides (ruissellement d'eau)  
côté terre  
côté excavation

c) serrures humides (ruissellement d'eau)  
côté terre  
côté excavation

Détail  
support de soudure en cas d'écartement max. des serrures (facultatif)  
a<sub>eff</sub>

côté terre  
côté excavation

**Fig. 16**

## Automatisation du soudage des serrures de palplanches sur chantier

En raison de la multitude des paramètres intervenant dans l'élaboration de ce travail sur chantier, il est judicieux de traiter ce chapitre avec les plus grandes réserves, car une automatisation demande une grande constance des paramètres de soudage. En raison des différents écartements des serrures et des conditions de chantier, une trop grande automatisation semble difficile et peu utile. L'investissement ne sera pas suffisamment rentabilisé et le matériel nécessitera des manipulations supplémentaires, ce qui risque d'alourdir les frais de soudure inhérents à ce type de travail.

### Procédé de soudage (comparatif)

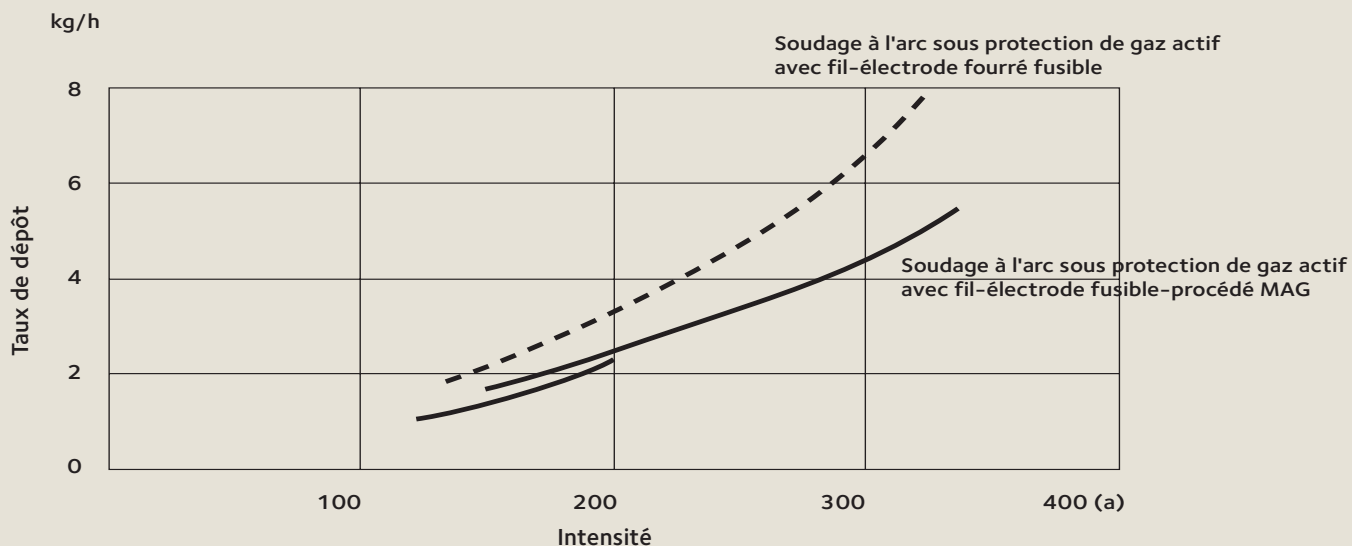


Fig. 17



Tableau 1 : Possibilités de soudage des serrures de palplanches (Tableau récapitulatif)

Serrure	Type de soudure		Position de soudage		Procédé de soudage	Avantages	Inconvénients
	sèche	humide (1)	verticale				
			sens de soudage montant (a <sub>eff</sub> > 6 mm)	sens de soudage descendant (a <sub>eff</sub> : 3-4 mm)			
Serrure endenchée en usine + soudage en usine ou sur chantier	X			X	tous	- tous les avantages d'une soudure horizontale par rapport à une soudure verticale	
	X	X	Dans le cas: - de n'importe quel écart dans les serrures - d'une sollicitation en flexion max. de la paroi - d'un environnement corrosif			- pénétration - caractéristiques mécaniques garanties - une seule passe de soudure	- taux de chargement élevé - rendement médiocre - prix
	X	X			tous	- taux de chargement min. - vitesse d'exécution élevée	- risque de collage (peu de pénétration) - caractéristiques mécaniques min. - parfois soudage multipasse
	X	X	Dans le cas: - d'une sollicitation en flexion max. de la paroi - d'un environnement corrosif	voir (2)	voir (2)	- pénétration - caractéristiques mécaniques garanties - une seule passe de soudure	- taux de chargement élevé - rendement médiocre - prix
	X	X			tous	- taux de chargement min. - vitesse d'exécution élevée	- risque de collage (peu de pénétration) - caractéristiques mécaniques min. - parfois soudage multipasse
Serrure endenchée sur chantier + soudage sur chantier		X	Dans le cas: - de n'importe quel écart dans les serrures - d'une sollicitation en flexion max. de la paroi - d'un environnement corrosif		tous	- pénétration - caractéristiques mécan. élevées - chauffe montante par dispersion calorifique ascensionnelle - une seule passe de soudure (dépend du degré d'humidité)	- taux de chargement élevé - rendement médiocre - coût - aspect visuel (dépend du degré d'humidité)
		X			tous	- taux de chargement min. - vitesse d'exécution	- limitation en fonction du degré d'humidité - soudage multipasse nécessaire (porosités) - risque de collage (peu de pénétration) - caractéristiques mécaniques min.
	X	X	Dans le cas: - d'une sollicitation en flexion max. de la paroi - d'un environnement corrosif	voir (2)	voir (2)	- pénétration - caractéristiques mécan. garanties - chauffe montante par dispersion calorifique ascensionnelle - une seule passe de soudure	- taux de chargement élevé - rendement médiocre - coût
	X	X			tous	- pénétration - caractéristiques mécan. garanties - une seule passe de soudure	- limitation en fonction du degré d'humidité - soudage multipasse possible (porosités) - risque de collage - caractéristiques mécaniques min.
	X	X	Dans le cas: - d'une sollicitation en flexion min. de la paroi	voir (2)	voir (2)	- taux de chargement min. - vitesse d'exécution	

(1) Dans le cas de présence d'humidité un séchage de la zone à souder est recommandé. Il faut noter toutes les réserves contre les risques d'électrocution.

(2) Concernant l'étanchement moyennant soudage d'une tôle de couverture: - Il y a lieu de placer la tôle de manière à ce quelle soit bien répartie de part et d'autre de la serrure de la palplanche  
- La goulotte de recouvrement doit être dimensionnée en fonction de la quantité d'écoulement d'eau à travers la serrure (pas d'aitération du soudage des 2 bords).



# Étanchement vertical: Solutions alternatives

Il est tout à fait possible d'étancher les rideaux de palplanches par d'autres moyens que ceux décrits précédemment.

## Rideau de palplanches combiné avec une paroi bentonite-ciment (Fig. 18)

Ces systèmes allient les qualités d'étanchéité de la bentonite à celle de la résistance mécanique des palplanches en acier. Ils permettent en outre une exécution en grande profondeur et en terrain difficile. Le désavantage de la technique réside dans la production de déblais qu'il faut considérer comme des déchets.

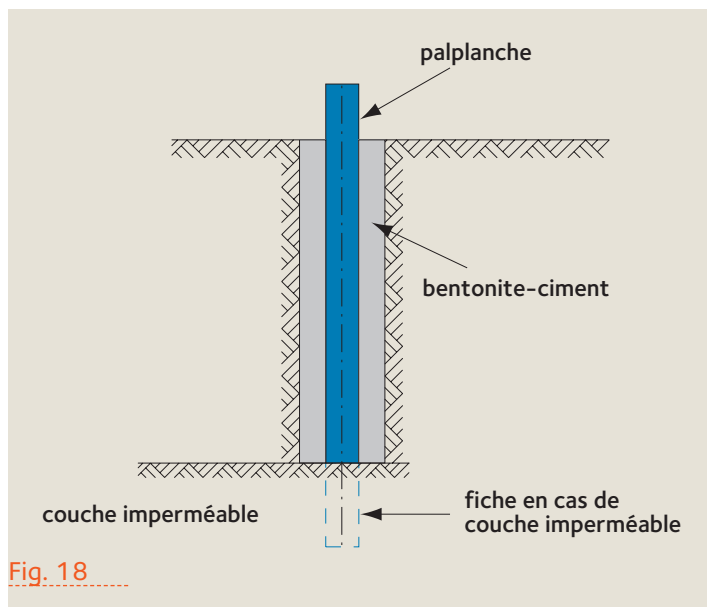
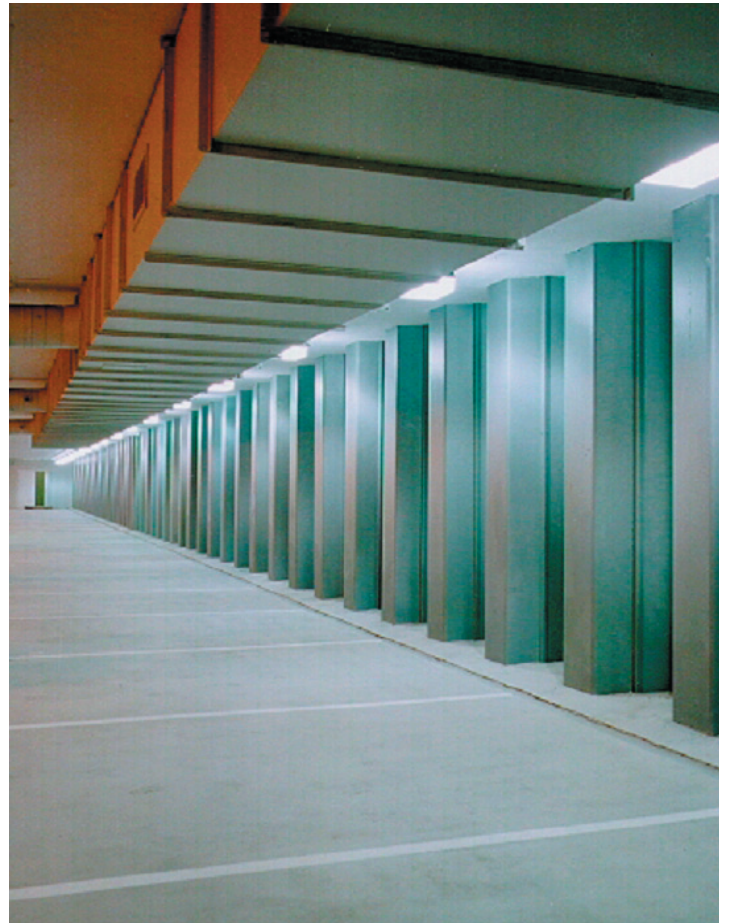


Fig. 18



## Préforage vertical dans l'axe des serrures (Fig. 19)

Un forage est pratiqué dans le sol à l'emplacement des futures serrures libres. Diamètre de forage: entre 300 et 450 mm. Distance entre 2 trous: distances entre les serrures extrêmes d'une palplanche double (1200 mm pour les PU). Le sol extrait est remplacé par de la bentonite. Le coulis offrant ainsi moins de résistance à la pénétration des barres. Cette méthode représente une aide au battage lorsque le terrain à traverser est difficile et peut être combinée si nécessaire aux techniques d'étanchéité des serrures de palplanches décrites dans les chapitres précédents. La production de déblais boueux est limitée.

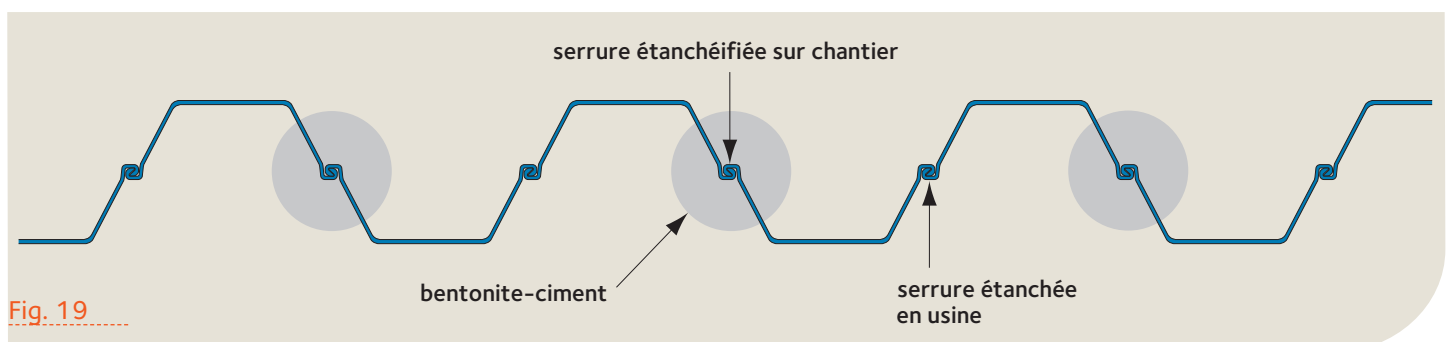


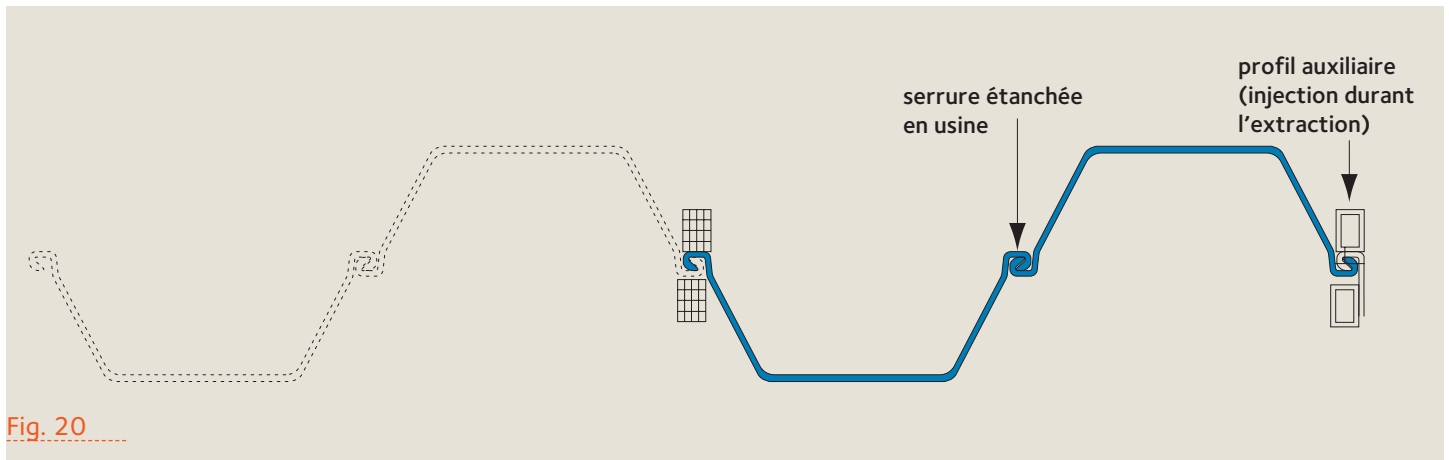
Fig. 19



## Utilisation d'un profil auxiliaire spécial (Fig. 20)

Un profil auxiliaire spécial, de dimensions réduites, est enclenché dans la serrure d'une palplanche et installé avec elle dans le sol. Si les caractéristiques géotechniques du terrain le permettent, il peut être foncé après coup dans la serrure libre d'une palplanche déjà en place. Ce profil est

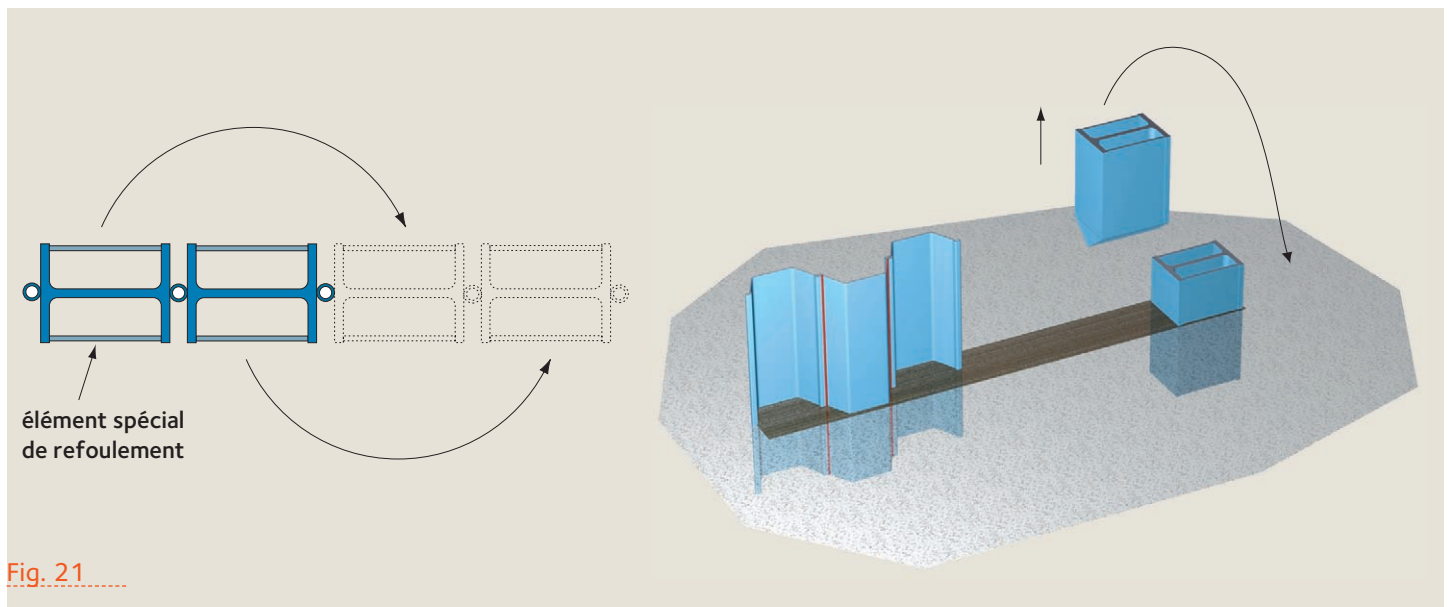
muni de tubes qui écartent le sol au voisinage des serrures. Un coulis est alors injecté par ces mêmes tubes au fur et à mesure que le profil auxiliaire est extrait. Le vide ainsi créé est rempli de matériau permettant un passage plus aisé de la griffe à venir et assurant l'étanchéité ultérieure de la zone.



## Utilisation d'un élément de refoulement (Fig. 21)

Pour ce procédé d'exécution, deux éléments de refoulement sont réalisés. Chacun d'eux est constitué d'une poutrelle avec des tôles latérales soudées sur toute la longueur, munies de trusses coupantes en pied. Ils sont reliés entre eux par un système d'enclenchement. Pendant l'opération de fonçage, le sol est écarté et après avoir atteint la profondeur requise,

l'élément refouleur est retiré, laissant une cavité qui est remplie de coulis de bentonite. Les palplanches métalliques sont alors placées dans ce coulis en suspension. Le procédé permet d'éviter la création et donc l'élimination de déblais parfois gênants.



## Injection de coulis derrière la paroi en palplanches

Ce système d'injection de coulis du côté terre est assez rudimentaire et peu fiable étant donné la répartition aléatoire du produit d'étanchement, c'est-à-dire du coulis, à l'arrière du rideau.



# Etanchement vertical:

## Réparation des défauts d'étanchéité des serrures

Lorsqu'un incident de fonçage endommage une serrure étanchée, certains procédés permettent de la réparer.

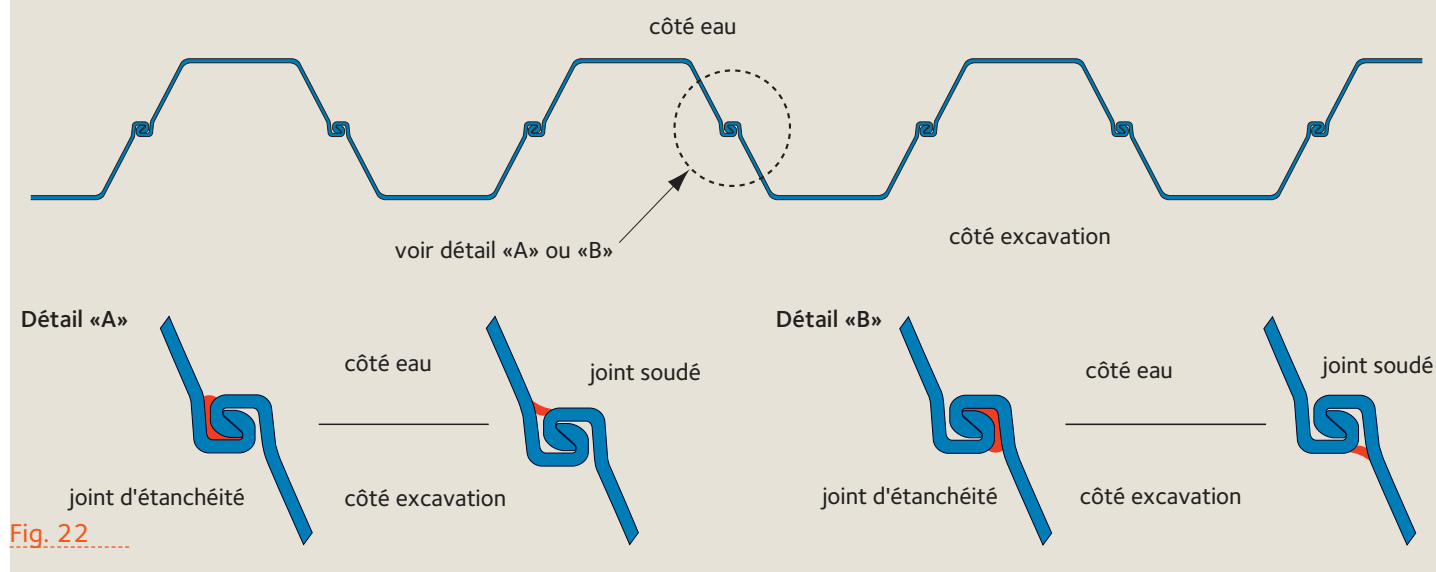
Le choix du procédé de réparation à utiliser dépend des facteurs suivants:

- type de technique d'étanchéité utilisée (par produit d'étanchéité, par soudure, etc.);
- localisation du joint d'étanchéité (voir figures 22 et 23);
- écartement des serrures (voir figure 24);

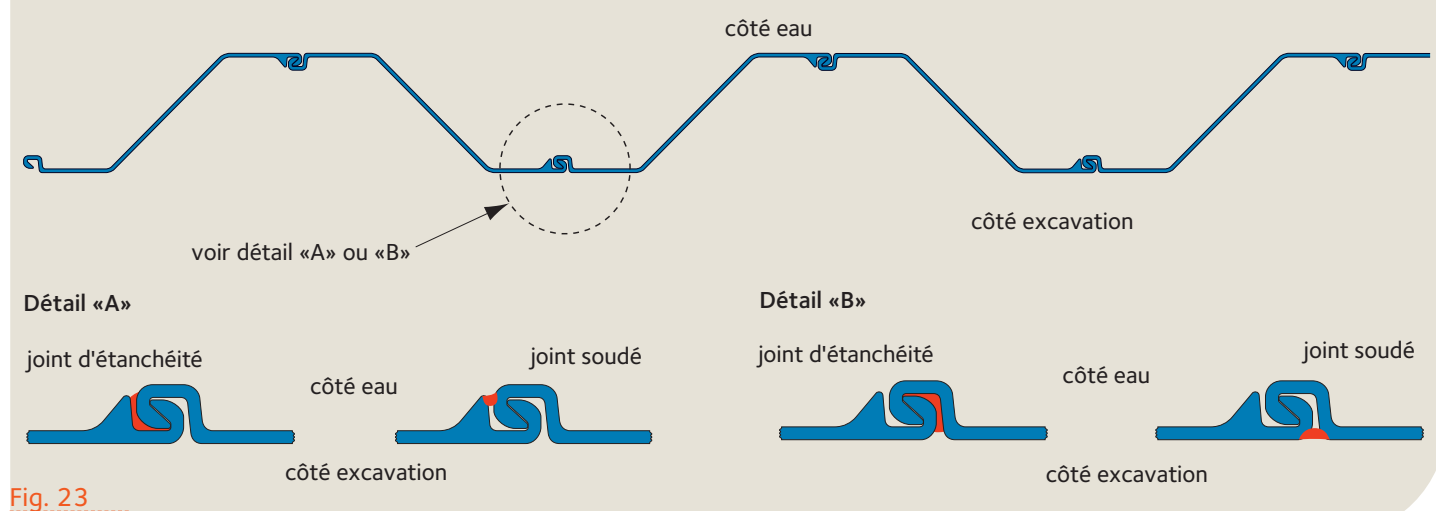
- degré d'humidité dans les serrures;
- possibilité d'accès.

Les différents procédés sont résumés ci-après et le tableau 2 indique les principaux critères permettant le choix du procédé adéquat.

### Localisations possibles du joint d'étanchéité (palpl. U)

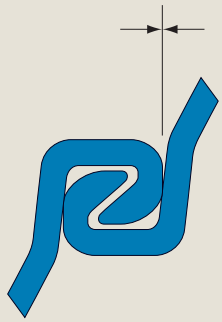


### Localisations possibles du joint d'étanchéité (palpl. Z)

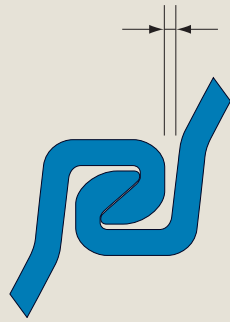


### Ecartement des serrures (palpl. U)

A) Sans écartement

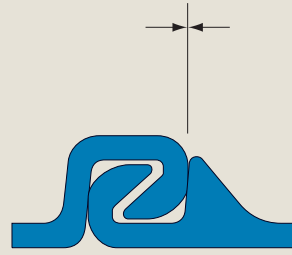


B) Avec écartement



### Ecartement des serrures (palpl. Z)

A) Sans écartement



B) Avec écartement

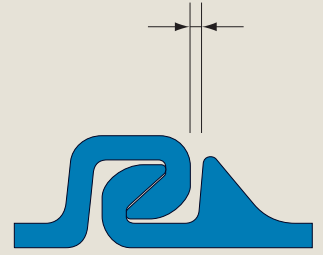


Fig. 24





Choix des procédures de réparation de l'étanchéité des palplanches Tableau 2

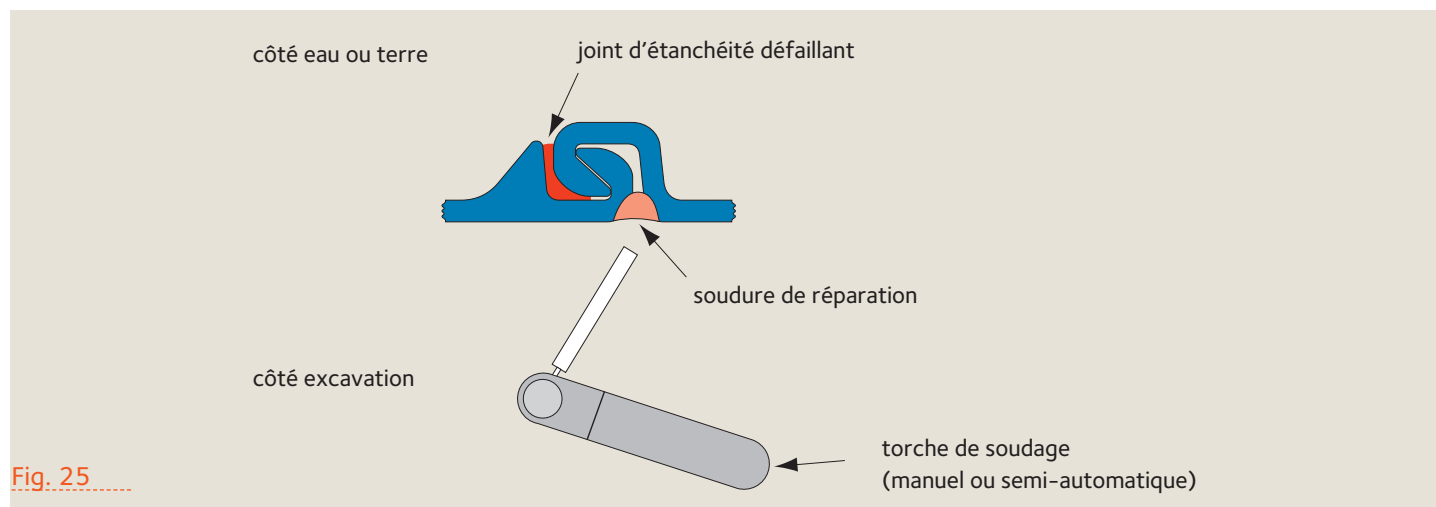
Localisation du joint d'étanchéité	Type de joint d'étanchéité					Ecartement des serrures (voir fig. 24)			Humidité dans les serrures			Possibilité d'accès	Procédure à appliquer (voir fig. 25 à 27)
	Joint Beltan	Joint Arcoseal™	Joint Système ROXAN™	Serrures soudées	Serrures		Humidité sans ruissellement	Humidité avec ruissellement	Côté excavation uniquement				
					Sans écartement	Avec écartement							
Suivant détail A (fig. 22 et 23) (joint côté eau)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Procédure 1 ou 2
(exemple)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Procédure 1 ou 2 ou 3
Suivant détail B (fig. 22 et 23) (joint côté excavation)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Procédure 2
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Procédure 2 ou 3 (ponctuellement)
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Procédure 1 (ponctuellement) ou 2

Exemple: Palplanche Z - Joint Système Roxan - localisé côté eau svt. figure 23 détail A - avec écartement des serrures - débit d'eau important à travers le joint, donc ruissellement - possibilité d'accès par l'intermédiaire du batardeau.  
 - Réparation: suivant les indications des procédures 2 ou 3.

## Réparation au-dessus du niveau du sol (serrures accessibles du côté excavation)

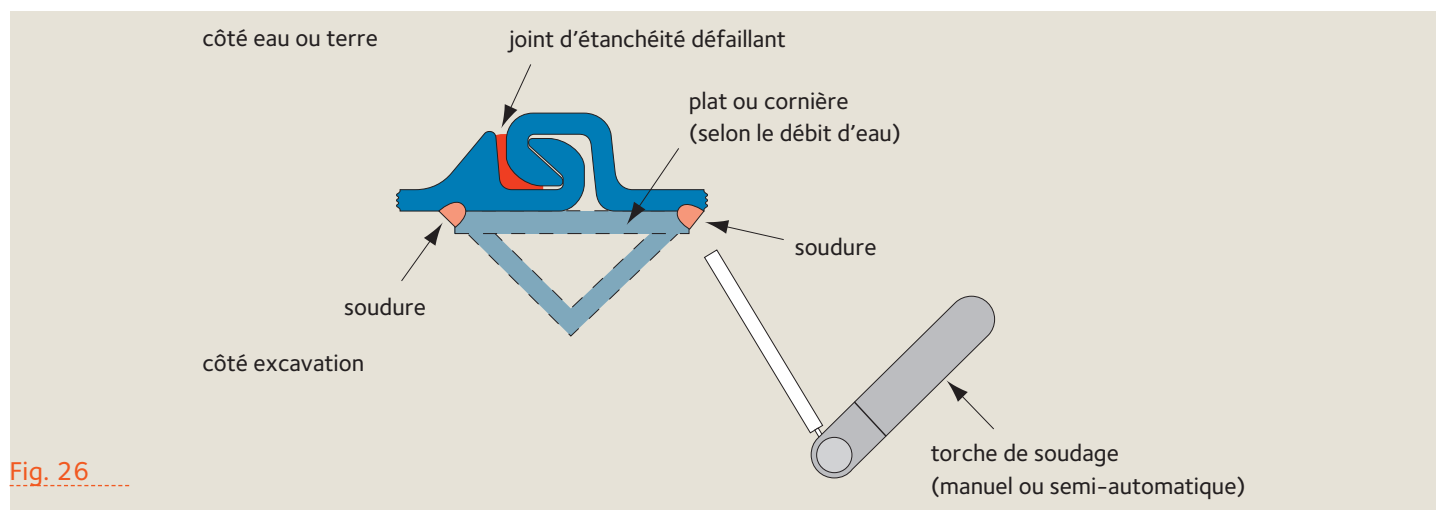
### Procédure 1:

Etanchement par soudure le long de la serrure sur la hauteur nécessaire. (Fig. 25)



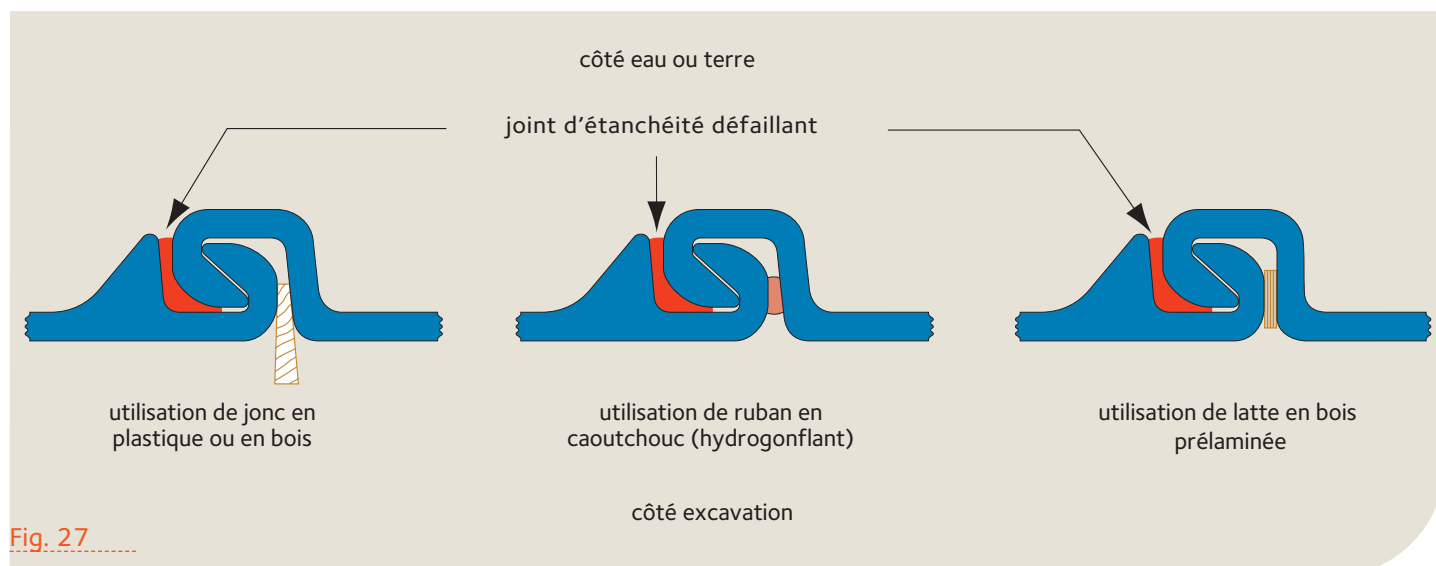
### Procédure 2:

Etanchement par soudage d'un plat ou d'une cornière au-dessus de la serrure sur la hauteur nécessaire. (Fig. 26)



### Procédure 3:

Etanchement par obturation de l'espace dans les serrures à l'aide de joncs en plastique, de rubans en caoutchouc hydrogonflant ou de lattes en bois pré laminées, sur la hauteur nécessaire. (Fig. 27)

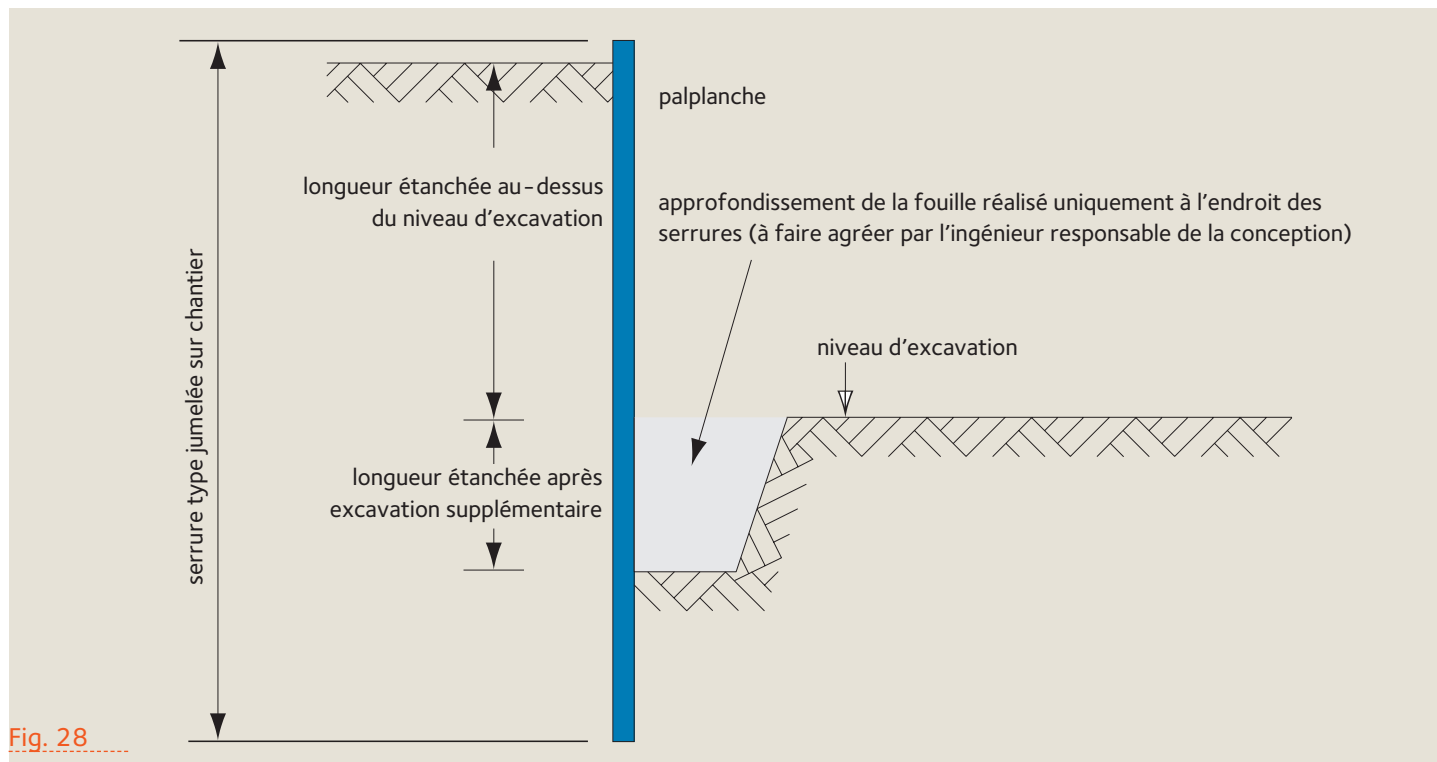




## Réparation en dessous du niveau du sol

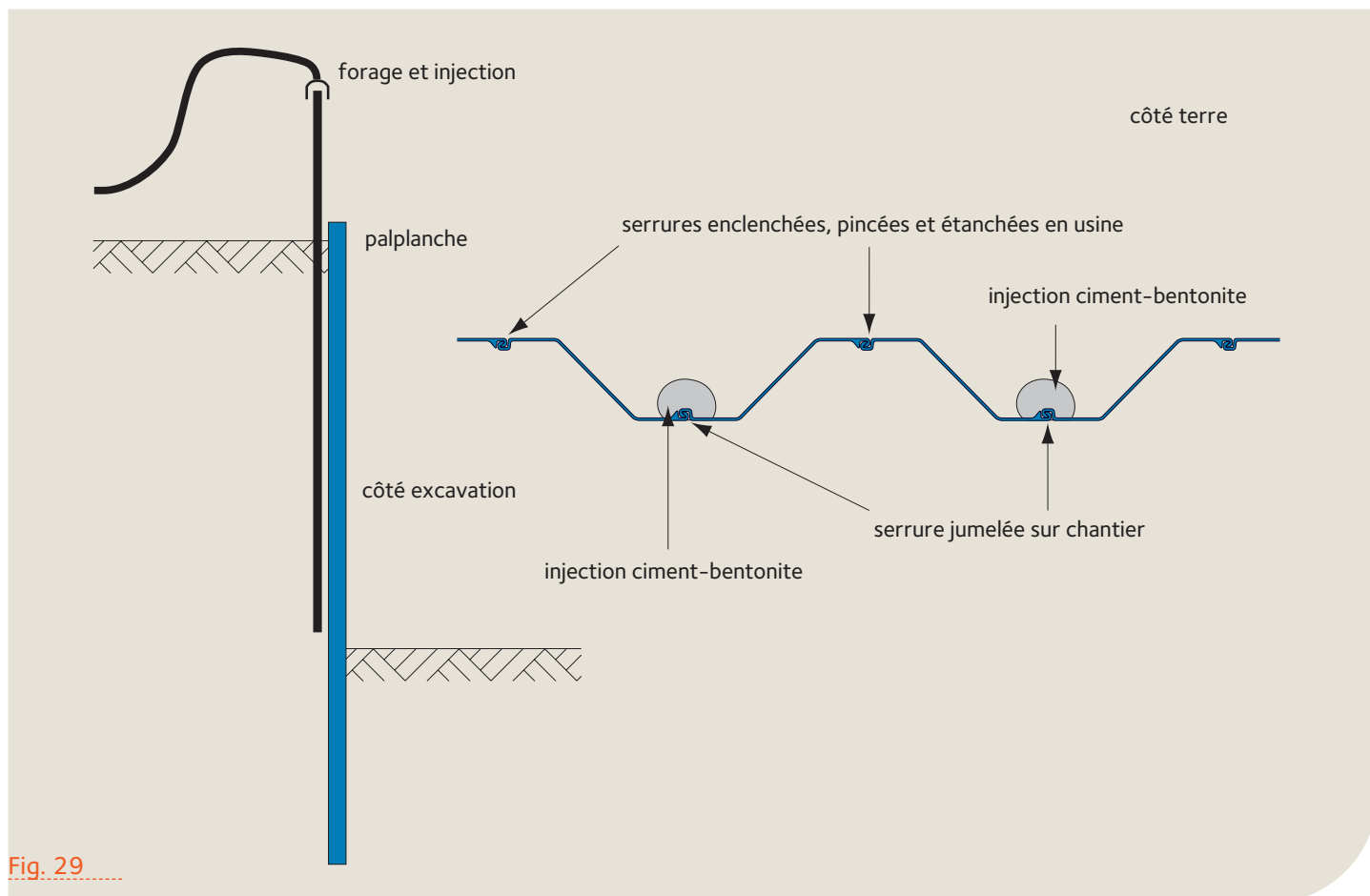
### Procédure 1:

Approfondissement de la fouille au droit de la serrure à étancher et prolongation de la soudure d'étanchéité ou du bourrage des serrures jusqu'à la profondeur nécessaire. (Fig. 28)



### Procédure 2:

Forage à l'arrière du rideau au niveau des serrures, puis injection [ciment (à prise rapide) ou bentonite] le long des serrures à étancher. (Fig. 29)



### Procédure 3:

En cas de fuites d'eau importantes, il est recommandé d'installer un système de drainage légèrement sous la cote de terrassement et de le raccorder à un système de pompage. (Fig. 30)

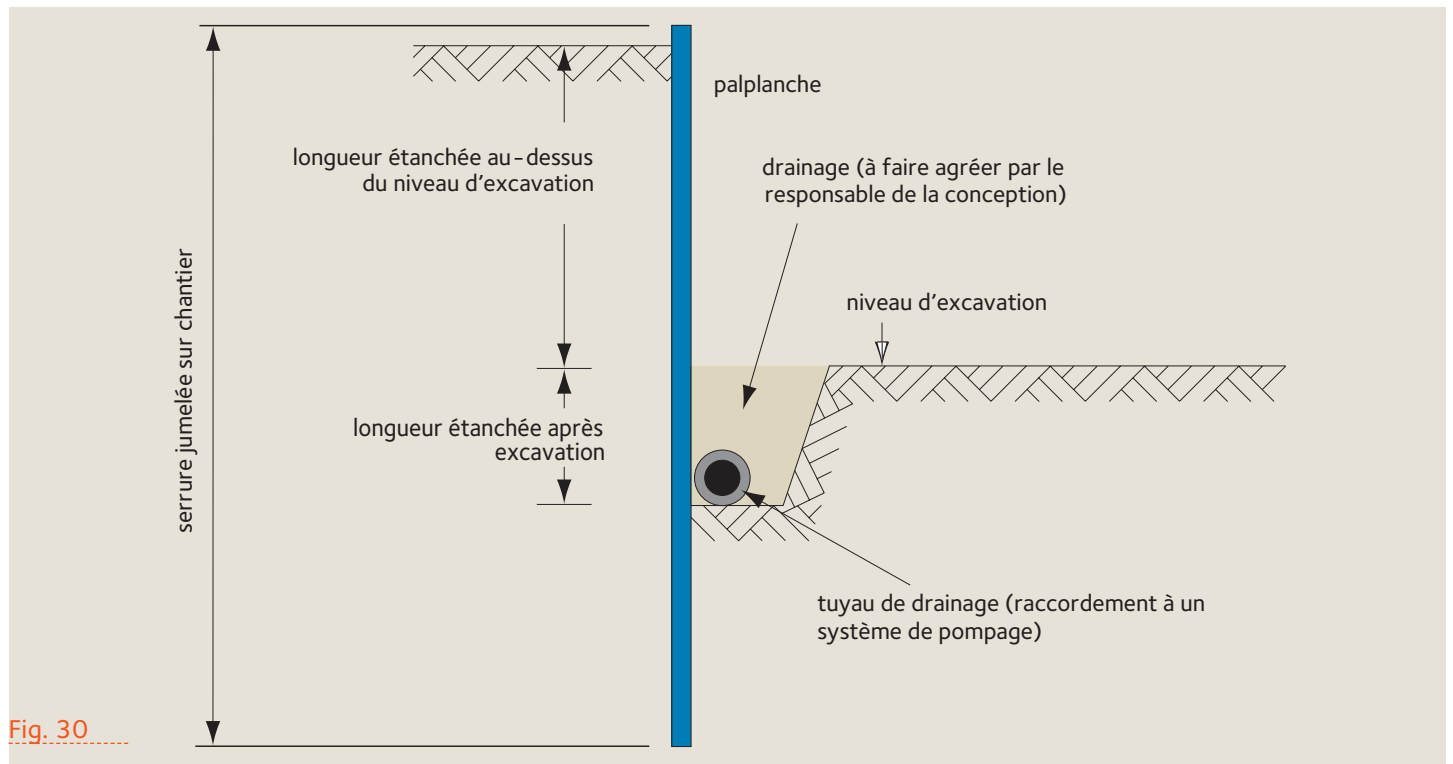


Fig. 30

### Réparation sous eau

Il est fait mention ci-après de 2 cas possibles (figures 31A et 31B) de réalisation ou réparation d'une étanchéité côté eau d'un ouvrage.

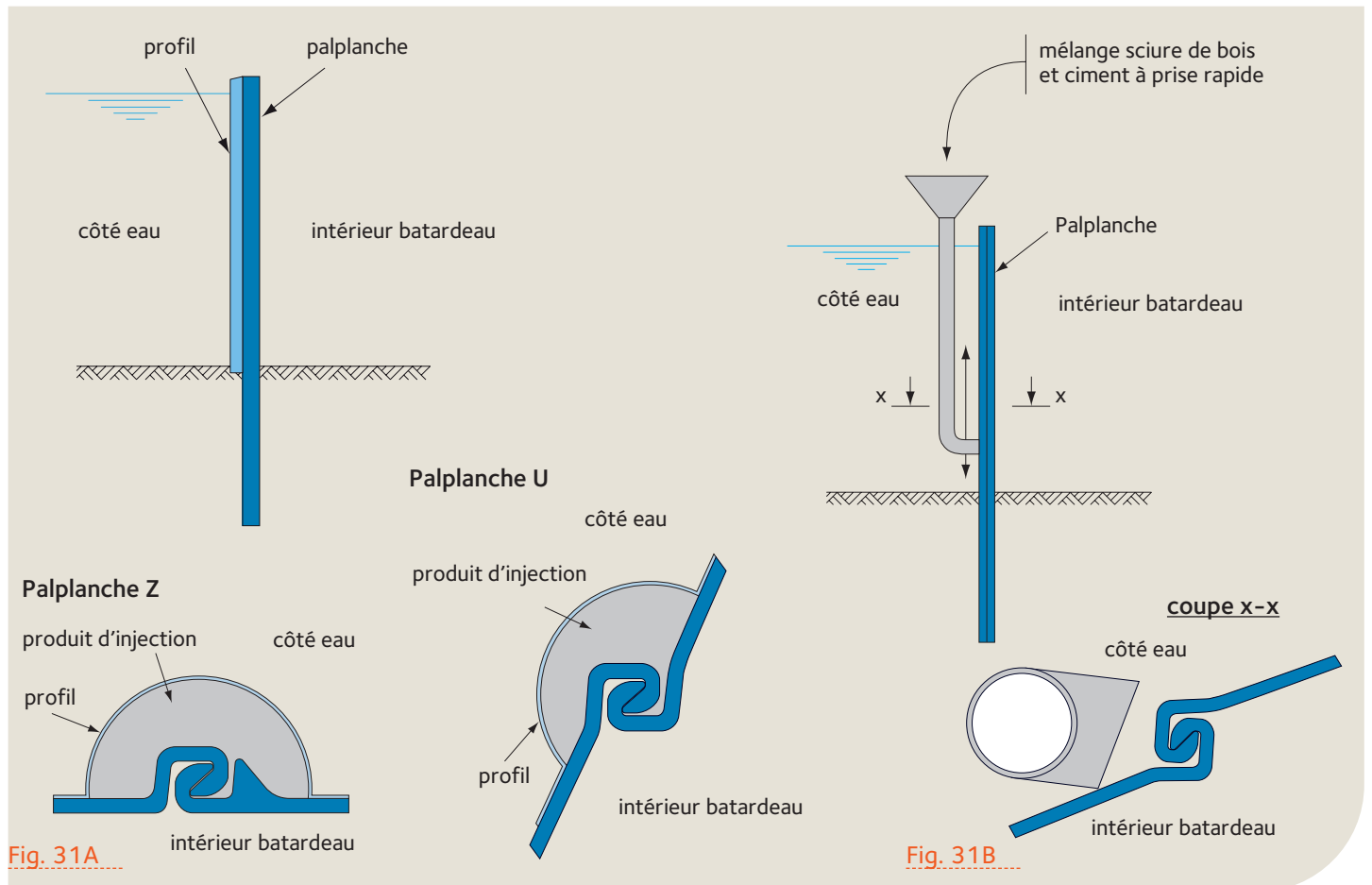


Fig. 31A

Fig. 31B

# Etanchement Horizontal

De l'étanchement horizontal il n'est traité que de la liaison étanche entre le rideau de palplanches (rigide et ondulé) et l'élément de construction horizontal (rigide ou souple et généralement plan).

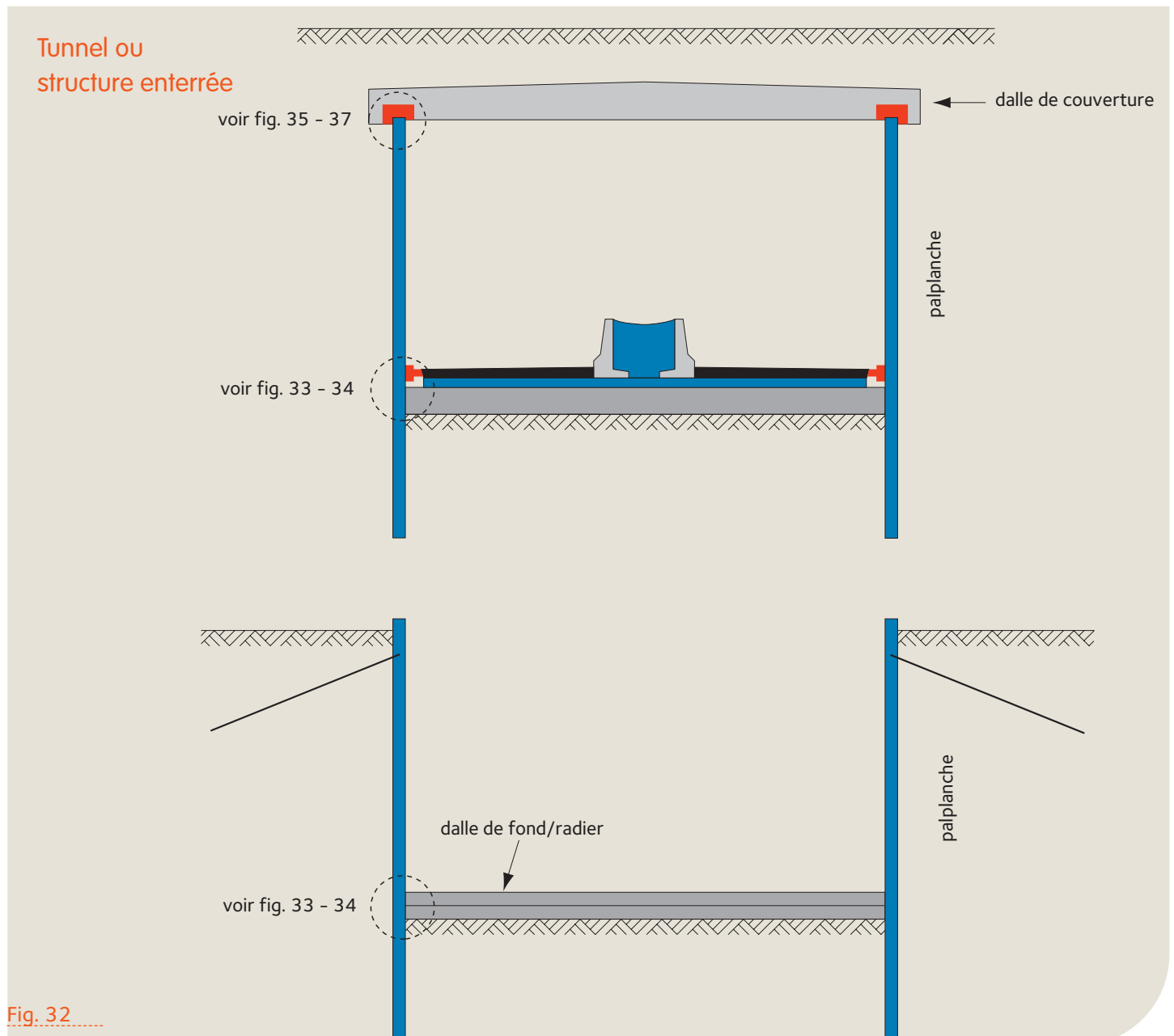
On distingue en général deux types d'étanchement:

- l'étanchéité avec la dalle de fond, c'est-à-dire la réalisation d'une étanchéité dans des zones souvent sous eau;
- l'étanchéité avec la dalle de couverture.

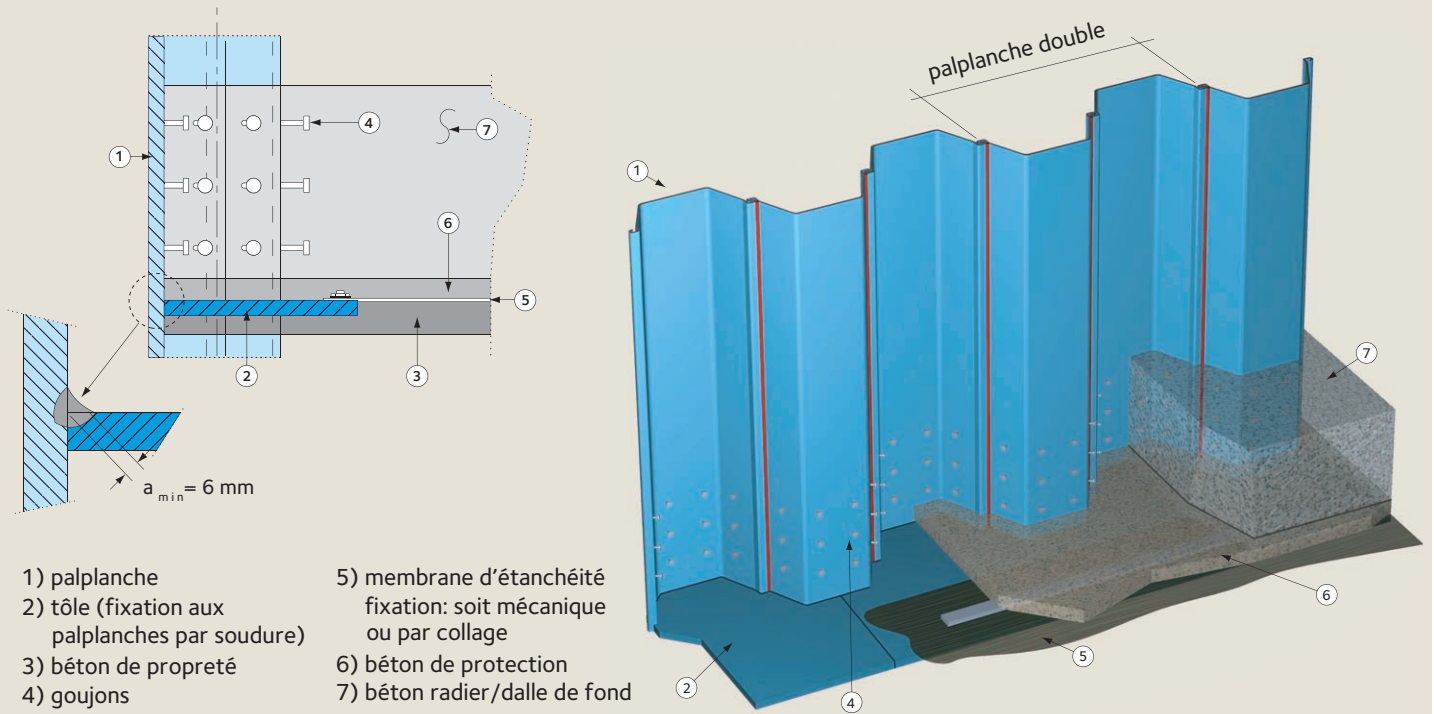
Plusieurs exemples de connexions étanches entre palplanches et éléments horizontaux sont traités ci-après, notamment:

Figures 33-34: raccordement à une dalle de fond (radier)

Figures 35-37: raccordement à une dalle de couverture.



## Etanchéité horizontale avec la dalle de fond à l'aide d'un système tôle/membrane pour sollicitations faibles à moyennes



- |  |   |
|--|---|
| 1) palplanche                                  | 5) membrane d'étanchéité                |
| 2) tôle (fixation aux palplanches par soudure) | fixation: soit mécanique ou par collage |
| 3) béton de propreté                           | 6) béton de protection                  |
| 4) goujons                                     | 7) béton radier/dalle de fond           |

Fig. 33

## Etanchéité horizontale avec la dalle de fond à l'aide d'un système tôle/membrane pour sollicitations et exigences élevées

- |   |  |   |
|---|--|---|
| 1) palplanche   | 9) membrane d'étanchéité (ép. 2 mm/larg. 400 mm) | 14) feuille PVC (ép. 2 mm/larg. 400 mm)           |
| 2) radier bétonné sous eau                                | 10) feuille PVC (ép. 2 mm/larg. 140 mm)          | 15) membrane d'étanchéité (ép. 2 mm/larg. 350 mm) |
| 3) tôle (ép. ~ 8-10 mm) fixée aux palplanches par soudure | 11) soudure par pointage                         | 16) béton de protection                           |
| 4) cordons de soudure                                     | 12) goujon fileté avec écrou à souder            | 17) bourrage d'étanchéité                         |
| 5) peinture à base de résine époxy                        | 13) plaque d'acier (ép. 10 mm/larg. 100 mm)      | 18) tôle profilée                                 |
| 6) drain  |  |   |
| 7) béton drainant   |  |   |
| 8) membrane d'étanchéité                                  |  |   |

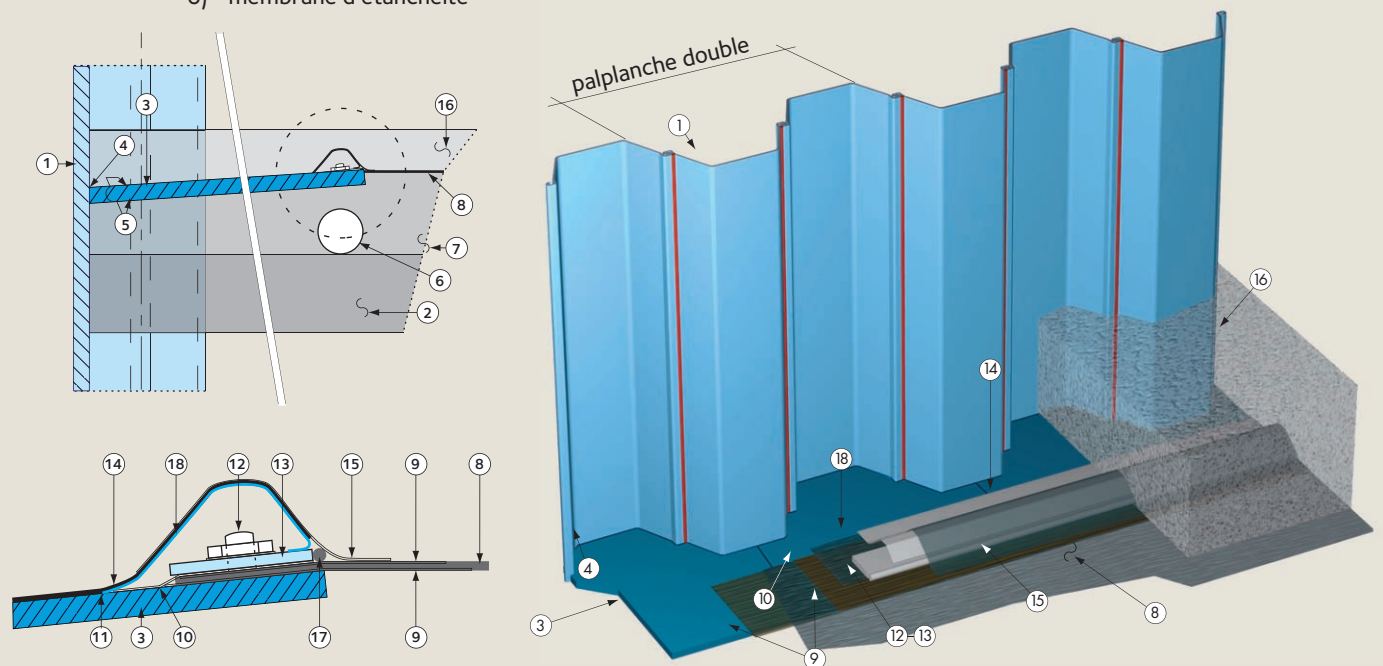


Fig. 34



## Etanchéité horizontale avec la dalle de couverture

### Articulation dalle/rideau de palplanches en présence d'infiltration d'eau

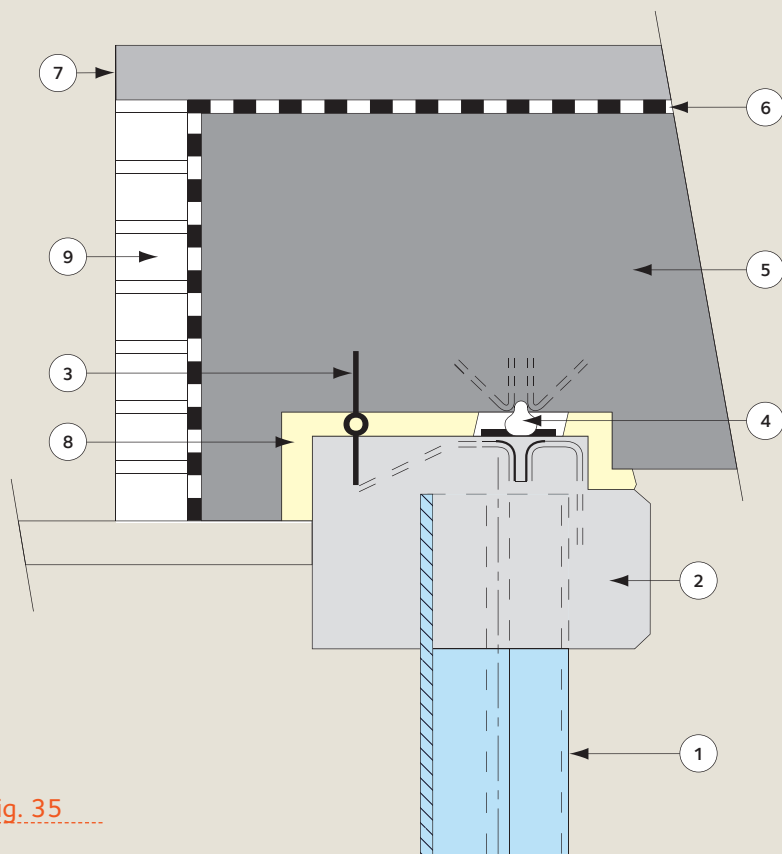


Fig. 35

- 1) palplanche
- 2) couronnement en béton armé
- 3) joint type élastomère
- 4) appui
- 5) dalle de couverture en béton armé
- 6) étanchéité
- 7) béton de protection ou chape en asphalte
- 8) polystyrène expansé (coffragé perdu)
- 9) protection verticale

#### phases d'exécution:

- a) terrassement, mise à niveau de la tête des palplanches, nettoyage, etc...
- b) préparation du coffrage pour le couronnement en béton armé, mise en place de la partie inférieure de l'appui, ferrailage, mise en place du joint élastomère, bétonnage
- c) coffrage pour la dalle de couverture
- d) mise en œuvre:
  - de l'étanchéité
  - du béton de protection ou de la contre-chape en asphalte
  - de la protection supplémentaire verticale

## Etanchéité horizontale avec la dalle de couverture

### Encastrement dalle/rideau de palplanches en présence d'infiltration d'eau

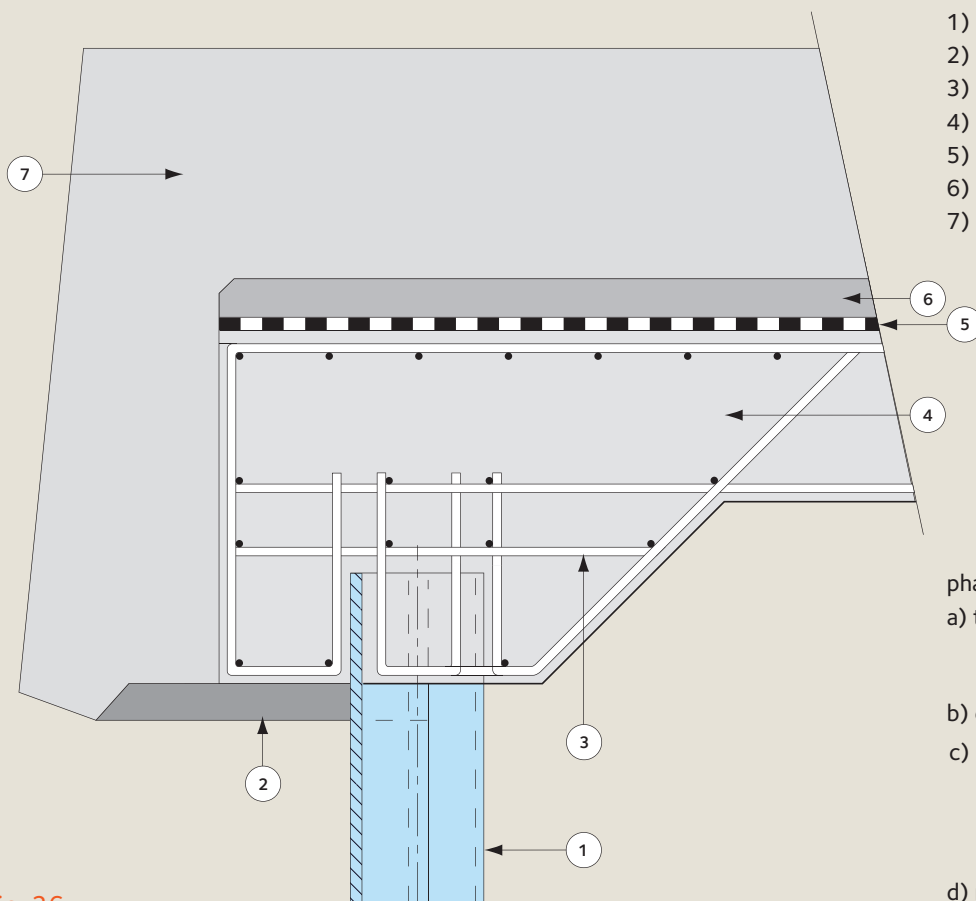


Fig. 36

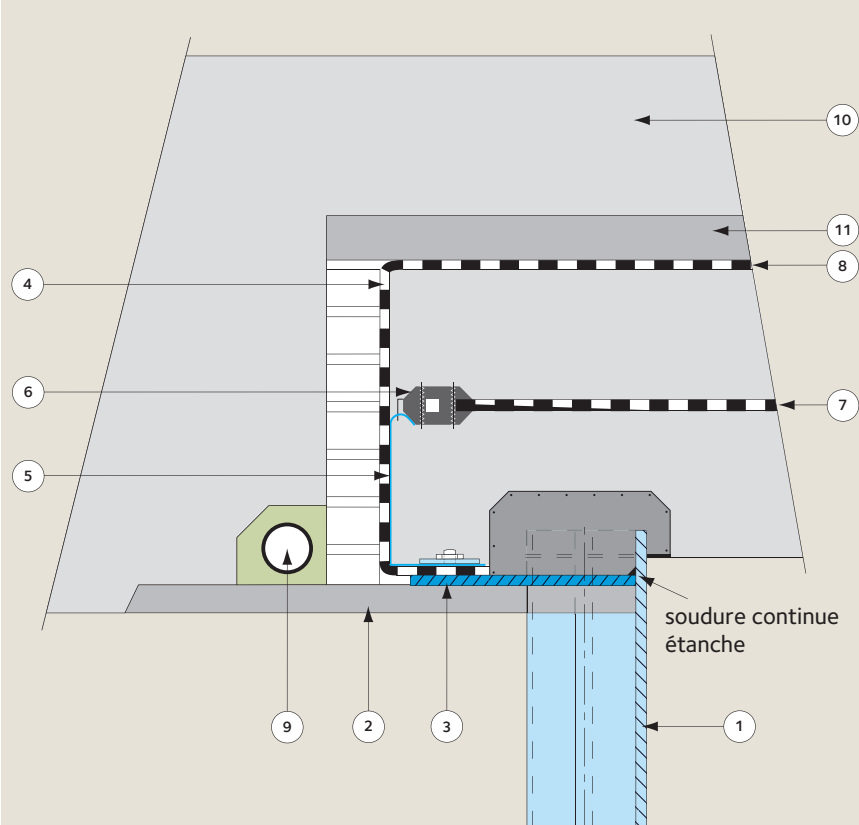
- 1) palplanche
- 2) béton de propreté
- 3) armatures
- 4) dalle de couverture en béton armé
- 5) étanchéité
- 6) béton de protection ou chape en asphalte
- 7) remblai, dalle en béton

#### phases d'exécution:

- a) terrassement, mise à niveau de la tête des palplanches, béton de propreté, nettoyage, etc...
- b) coffrage pour la dalle de couverture
- c) mise en œuvre:
  - de l'étanchéité
  - du béton de protection ou de la contre-chape en asphalte
- d) remblai, dalle en béton

## Etanchéité horizontale avec dalle de couverture

Appui simple dalle/rideau de palplanches en présence de pression d'eau



- 1) palplanche
- 2) béton de propreté
- 3) tôle (ép. ~ 8 mm)
- 4) membrane d'étanchéité  
(feuille de roofing ép. ~ 5 mm)  
collage à chaud ou fixation mécanique  
avec bande souple
- 5) feuille de cuivre
- 6) plaque de serrage
- 7) étanchéité
- 8) toile filtrante
- 9) drainage
- 10) dalle de couverture en béton armé
- 11) béton de protection ou contre-chape en  
asphalte coulé resp. de la maçonnerie dans  
la partie verticale

phases d'exécution:

- a) terrassement, mise à niveau de la tête des palplanches, béton de propreté, nettoyage, etc.
- b) préparation du coffrage pour le couronnement en béton armé
- c) coffrage pour la dalle de couverture
- d) mise en œuvre d'une étanchéité conforme à la spécification, béton de protection ou contre-chape en asphalte, y compris drainage

Fig. 37



# Remarques et références

## Remarques

Il est important de noter que toutes les valeurs de  $\rho$  indiquées dans le document sont des valeurs caractéristiques (valeurs maximales) déterminées lors d'essais in situ. Dans les cas concrets, un facteur de sécurité doit être appliqué (prenant en compte la dispersion des résultats et les impondérables dus à la mise en oeuvre, à la nature du sol, aux défauts locaux etc).

Pour la détermination de ce facteur de sécurité, nous vous prions de contacter notre département technique.



## Références

Pour toute information théorique complémentaire, il est possible de consulter:

- 1) Steel Sheet Pile Seepage Resistance, J.B. SELLMEIJER, Fourth International Landfill Symposium, Cagliari, Italie, 1993
- 2) Joint Resistance of Steel Sheet Piles, Definition, J.B. SELLMEIJER, août 1993 (non publié).
- 3) The Hydraulic Resistance of Steel Sheet Pile Joints, J.B. SELLMEIJER, J.P.A.E. COOLS, W.J. POST, J. DECKER, 1993 (publication ASCE)
- 4) EAU 2004, Recommendations of the Committee for Waterfront Structures, Harbours and Waterways, Berlin, 2006. (Ernst & Sohn)



Les données et commentaires contenus dans ce catalogue sont fournis à titre d'information générale uniquement, et sans garantie d'aucune sorte. ArcelorMittal ne saurait être tenu pour responsable des erreurs, omissions ou mauvais usages des informations, quelles qu'elles soient, qu'il contient, et décline toute responsabilité résultant du caractère utilisable ou non de ces informations. Leur usage se fait aux risques de celui qui les utilise. En aucun cas, ArcelorMittal ne saurait être tenu pour responsable des dommages, y compris des pertes de bénéfices, des pertes d'économies ou des dommages accessoires ou indirects, issus de l'utilisation ou de l'impossibilité d'utiliser les informations fournies.



**ArcelorMittal Commercial RPS S.à r.l.**  
Palplanches

66, rue de Luxembourg  
L-4221 Esch-sur-Alzette  
Luxembourg

T +352 5313 3105  
F +352 5313 3290  
E [palplanches@arcelormittal.com](mailto:palplanches@arcelormittal.com)  
[www.arcelormittal.com/palplanches](http://www.arcelormittal.com/palplanches)