

Calfeutrement des joints dans les TP

Applications

par **Philippe COGNARD**

Expert auprès des tribunaux

Ancien Directeur Marketing de la société ATO FINDLEY

1. Chaussées routières	C 5 461 - 2
1.1 Chaussées en béton	— 2
1.2 Calcul et dimensionnement des joints transversaux de dalles courtes ..	— 3
1.3 Différents types de joints	— 3
1.4 Matériel et technique de sciage	— 4
1.5 Remplissage des joints	— 4
1.6 Réfection des joints	— 5
1.7 Revêtements de chaussées à base de liants hydrocarbonés	— 5
2. Chaussées d'aéroports	— 6
2.1 Joints de retrait	— 6
2.2 Joints de construction	— 6
2.3 Joints de dilatation	— 7
2.4 Chaussées à dalles courtes non armées et goujonnées (BCg)	— 7
2.5 Produits pour calfeutrement de joints	— 7
3. Chaussées de ponts-routes	— 7
3.1 Mouvements et localisation des joints	— 7
3.2 Qualités requises pour un joint de chaussée de pont	— 8
3.3 Différents systèmes de calfeutrement	— 8
3.4 Fonction d'étanchéité des joints	— 9
4. Barrages	— 9
4.1 Exigences particulières et types de joints	— 9
4.2 Barrage en enrochement à masque en béton	— 9
4.3 Barrages-poids en béton	— 10
4.4 Bandes d'arrêt d'eau (<i>waterstop</i>)	— 10
5. Tunnels	— 12
5.1 Revêtement en béton coulé en place	— 12
5.2 Tunnel à voussoirs préfabriqués	— 12
6. Cuvelage, réservoirs, bassins et piscines en béton	— 12
7. Égouts, bassins de traitements des eaux	— 13
8. Tuyauteries et canalisations	— 14
9. Joints spéciaux	— 14
9.1 Ouvrages en contact avec l'eau de mer	— 14
9.2 Bâtiments et usines à risques	— 14
9.3 Joints antiacides	— 15
9.4 Boîtes de câbles électriques	— 15
9.5 Pipe-lines, raffineries de pétrole et plate-formes pétrolières	— 15
Pour en savoir plus	Doc. C 5462

Dans un premier article, nous avons étudié les différents types de joints utilisés dans les TP. Dans ce deuxième article, nous traitons des applications de ces joints dans les différents domaines des travaux publics comme les chaussées routières, d'aéroport et de ponts-routes, les barrages, les tunnels, les égouts et les bassins de traitement des eaux, les tuyauteries, les industries nucléaire et pétrolière.

1. Chaussées routières

Nous distinguons :

- les chaussées en béton pour lesquelles la rigidité et les mouvements du béton doivent être compensés par la présence de joints ;
- les enrobés à base de liants hydrocarbonés (bitume, asphaltique) qui permettent d’avoir des revêtements souples et continus (sans joints).

Dans le premier cas, l’apparition et l’évolution des fissures doit être prévues dès la conception de l’ouvrage.

Dans le deuxième cas, les joints sont soit des joints de construction, soit des fissures s’il y a des mouvements trop importants de la couche de fondation que le liant hydrocarboné ne peut pas tolérer.

1.1 Chaussées en béton

Par ordre croissant de trafic, on trouve les trois types de chaussées en béton suivants.

■ **Chaussées à dalles courtes non armées et non goujonnées (BC)** (figure 1). Afin de localiser la fissuration de retrait du revêtement en béton, les joints déterminant les dalles sont sciés au jeune âge du béton sur une faible profondeur, avec un espacement tous les 4 à 6 m pour limiter l’amplitude de l’ouverture des fissures qui se forment à l’aplomb du joint scié.

■ **Chaussées à dalles courtes non armées et goujonnées (BC_g)** (figure 2). Cette technique convient pour les trafics élevés (autoroutes avec passages fréquents de camions lourds).

■ **Chaussées en béton armé continu (BAC)** (figure 3). Pour éliminer les joints transversaux, on dispose, à mi-épaisseur de la dalle, des armatures longitudinales métalliques, constituées de barres rondes ou de plats crantés. L’adhérence de ces armatures permet de répartir, par la création de nombreuses mais très fines fissures, la déformation due au retrait.

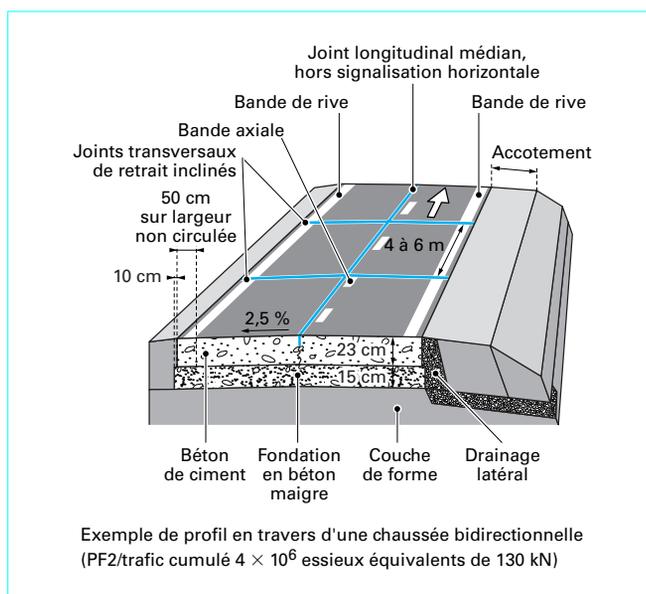


Figure 1 – Dalles courtes non goujonnées, non armées dites « californiennes » (BC) [2]

De ce fait, le nombre de joints transversaux est considérablement réduit.

Les chaussées sont coulées en continu, que ce soit pour des chaussées en dalles non armées ou en BAC. Les machines actuelles positionnent les armatures, répartissent et compactent le béton, forment les joints et assurent la finition de la surface.

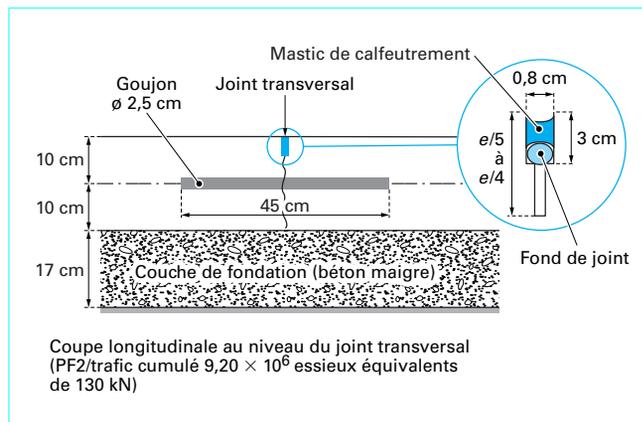


Figure 2 – Dalles courtes goujonnées, non armées (BC_g) [2]

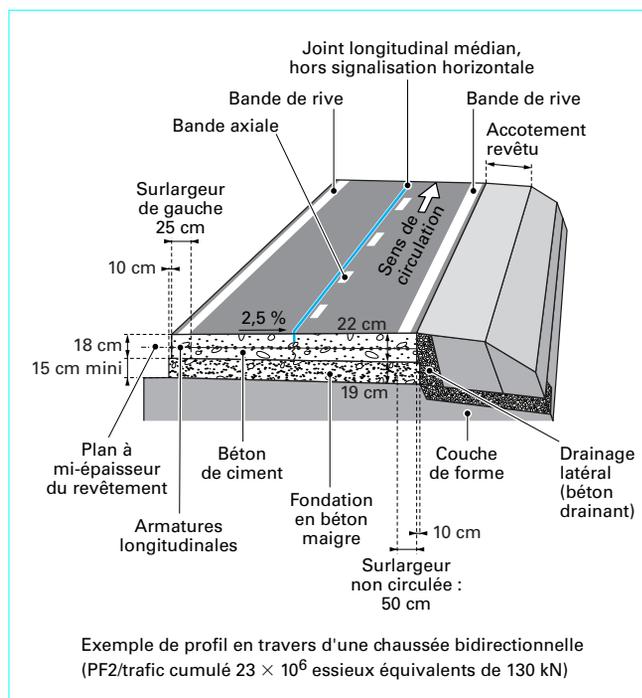


Figure 3 – Béton armé continu (BAC)

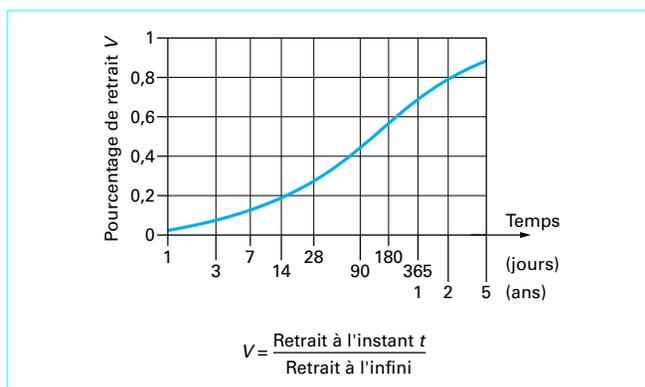


Figure 4 - Retrait du béton

1.2 Calcul et dimensionnement des joints transversaux de dalles courtes

À titre d'exemple concret, nous allons calculer de tels joints, en tenant compte du retrait du béton et des variations dimensionnelles dues aux variations climatiques.

La longueur moyenne des dalles courtes est en France et en Europe de 5 m.

Le **retrait du béton** moyen en France est de $2,5 \times 10^{-4}$. 20 à 30 % de ce retrait se fait 1 mois après la coulée du béton. 70 % se fait après 1 an (figure 4). Le retrait total de la dalle de 5 m de longueur sera donc :

$$5\,000 \times 2,5 \times 10^{-4} = 1,25 \text{ mm}$$

Si on scie un joint de 8 mm de large, peu de temps après la coulée du béton, la dalle aura donc un retrait de $\approx 1,2$ mm après 4-5 ans, générant une ouverture du joint de la même valeur, ce qui représente $1,2/8 \approx 15\%$, ce qui est admissible pour tous les mastics de calfeutrement utilisés dans les TP, et en particulier pour les asphaltiques modifiés élastomères, car ils flueront après application et compenseront ainsi le retrait du béton.

Les **variations de température** en France sont de -15°C en hiver à $+40^\circ\text{C}$ en été (mais le contact avec le sol limite un peu ces variations de température). Le coefficient de dilatation du béton armé étant de 10^{-5} par degré Celsius, si l'on suppose que la dalle de 5 m de longueur a été coulée à $+40^\circ\text{C}$ (ce qui est rarissime), son raccourcissement à -15°C sera de :

$$5 \times 10^3 \times 10^{-5} \times 55 = 2,75 \text{ mm}$$

Si l'on cumule avec le retrait du béton, le raccourcissement total atteindra :

$$1,25 + 2,75 = 4 \text{ mm}$$

Le joint de 8 mm s'ouvrira donc de 4 mm, soit 50 %.

Les variations dimensionnelles sont aussi en fonction de l'**humidité**. Le béton se contracte faiblement par temps chaud et sec et s'allonge par temps humide. Ces variations sont inverses de celles dues aux variations de température et les modèrent donc légèrement.

Les joints transversaux peuvent non seulement compenser le retrait du béton, mais ils peuvent éventuellement aussi compenser les variations dimensionnelles en fonction de la température et de l'humidité.

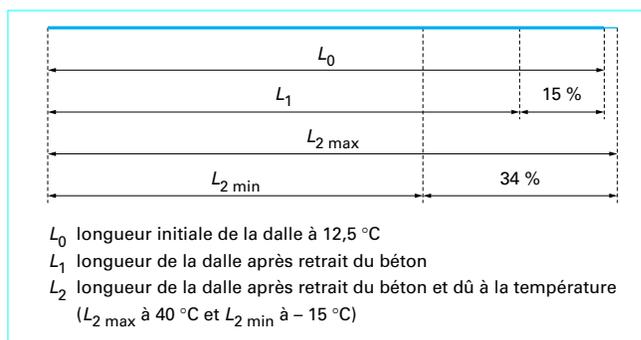


Figure 5 - Variations dimensionnelles d'une dalle en béton

Pour jouer ce deuxième rôle, ils doivent supporter au plus des variations de $\frac{2,75}{8} = 34\%$.

La figure 5 montre comment s'additionnent les variations dues au retrait et les autres variations dimensionnelles. Si l'on suppose que la dalle a été coulée à $12,5^\circ\text{C}$ (cas courant) :

La variation totale la plus importante correspond à la dimension la plus petite soit $-15 - 17 = 32\%$.

La variation totale en été ne sera que de $+17 - 15\% = 2\%$ donc négligeable.

Donc avec des mastics élastomères et aussi avec les asphaltiques modifiés élastomères, les joints transversaux peuvent remplir les deux rôles : joints de retrait et joints de dilatation.

Par contre, les asphaltiques non modifiés ne le peuvent pas car leur élongation maximale de service est trop faible.

Parmi les produits de calfeutrement utilisés pour les chaussées :

- les plus utilisés sont les **asphaltiques** et **bitumineux** modifiés élastomères qui représentent le meilleur compromis entre prix modique et une petite élasticité, suffisante ici ;
- les PU/brai, PU, silicones, sont peu utilisés en raison de leurs prix élevés.

1.3 Différents types de joints

■ Joints longitudinaux

Quel que soit le type de chaussée rencontrée, il s'agit de joints sciés sur 20 à 25 % de l'épaisseur totale de la dalle, profondeur suffisante pour provoquer, par retrait, la fissuration au droit de cette amorce de rupture. Leur largeur varie selon le type de scie employée (7 à 8 mm environ).

■ Joints longitudinaux de construction

Ils correspondent au contact de deux bandes de bétonnage adjacentes. Ils sont sciés dans le béton après coulage des deux bandes et doivent suivre rigoureusement le tracé de cette séparation (afin d'éviter la création d'une languette de béton fragile non adhérente).

■ Joints longitudinaux de retrait

Ils sont exécutés lorsque les bandes de roulement atteignent des largeurs trop importantes (5 m environ). Ce sont des joints de retrait-flexion réalisés pour constituer des dalles étroites pouvant absorber sans autre fissuration de légers mouvements lorsqu'elles sont sollicitées par les charges roulantes.

Pour les chaussées routières, leur emplacement correspond, dans la mesure du possible, à la limite de deux voies de circulation.

Pour les chaussées d'aérodrome, les joints longitudinaux de retrait sont exécutés au milieu de la bande de bétonnage lorsque la largeur de cette dernière excède :

- 5 m pour une dalle d'épaisseur inférieure à 30 cm ;
- 7,5 m pour une dalle d'épaisseur supérieure à 30 cm.

■ **Joint transversaux**

On les rencontre dans les chaussées constituées de dalles non armées. Ce sont des joints de retrait-flexion.

Pour éviter le phénomène de résonance provoqué par le choc des roues sur les lèvres des joints transversaux, ces derniers sont répartis selon une séquence type de : 4 – 5 – 4,5 – 6 – 5,5 – 4 – 6 – 5 – 5,5 – 4,5 m. Ils sont inclinés de 1/6 par rapport à la perpendiculaire de l'axe de la route, de telle façon que la roue gauche aborde le joint avant la roue droite. Comme les joints longitudinaux, les joints transversaux sont sciés sur 20 à 25 % de l'épaisseur totale de la dalle. Leur largeur moyenne est de l'ordre de 7 mm. Le sciage est réalisé soit dans le béton frais, soit dans le béton durci 6 à 72 h après le coulage du béton.

■ **Joint transversaux goujonnés**

Le comportement des joints transversaux et le transfert de charge entre dalles peuvent être améliorés en introduisant des goujons à mi-épaisseur de la dalle au droit de chaque joint transversal (figure 6).

Les goujons sont constitués de barres d'acier lisse (de 20 à 30 mm de diamètre) d'une longueur d'environ 30 cm.

Ils sont recouverts d'un produit anti-adhérent (produit bitumineux par exemple) permettant le libre mouvement longitudinal des dalles sous l'effet des contraintes thermiques.

Les goujons sont le plus souvent posés à l'avance sur des berceaux. Ils peuvent aussi être insérés par vibration dans le béton frais.

■ **Joint transversaux de construction**

Ces joints sont réalisés en fin de journée ou à la suite d'un arrêt prolongé du bétonnage soit par coupure, coffrage et finition du béton frais, soit, sur les chantiers importants, par sciage du béton jeune mais durci.

Dans la mesure du possible, ces joints correspondent à un joint de retrait.

Dans le cas contraire, le joint transversal de construction doit être à une distance minimale de 1,5 m du joint de retrait le plus proche.

■ **Joint transversaux de dilatation**

Ils sont réalisés sur toute la hauteur de la dalle. Ils comportent, de bas en haut, une planchette déformable, correspondant aux trois-quarts inférieurs de sa profondeur, un fond de joint et un matériau de jointolement (figure 7).

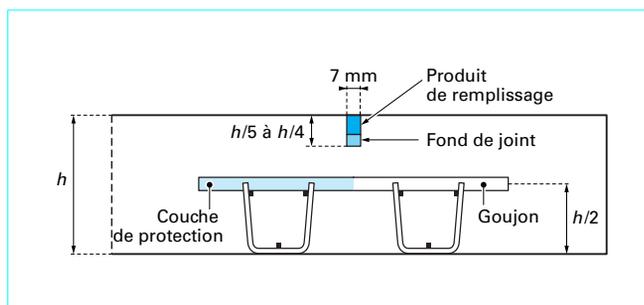


Figure 6 – Joint transversal goujonné de dalles en béton goujonnées (BC_g)

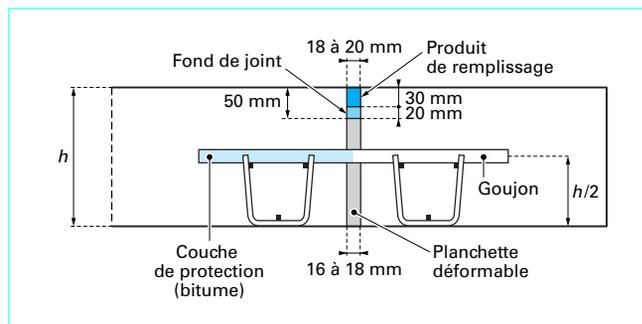


Figure 7 – Joint transversal de dilatation de dalles en béton goujonnées (BC_g)

Ces joints étaient autrefois exécutés tous les 30 m.

Depuis environ 35 ans, ils ne se rencontrent plus qu'aux points singuliers de la chaussée, comme les abords d'ouvrages d'art, et aux croisements de chaussées d'aérodromes.

1.4 Matériel et technique de sciage

Le sciage est la méthode la plus courante de réalisation des joints.

Le moment du sciage doit être bien choisi. Il ne peut commencer que lorsque le béton de la dalle est suffisamment durci pour éviter que les machines de sciage ne laissent de traces et pour qu'il ne se produise plus d'épaufrures ou d'arrachements au bord des dalles.

L'exécution des joints par réservation ou par moulage dans le béton frais n'est utilisée que pour les chantiers de moindre importance.

Deux types de machines sont utilisées pour l'exécution du sciage :

- les **scies monolames** : elles sont très maniables mais peu rapides. Leur utilisation pour les joints transversaux nécessite un retournement, ce qui ralentit l'exécution des joints ;
- les **scies multilames** : elles ont des largeurs qui varient de 7,5 à 15 mm. Elles ne peuvent scier que des joints transversaux. La qualité des lames utilisées doit être adaptée aux granulats composant le béton et au moment du sciage. Le temps écoulé entre le coulage et le sciage est très variable. Il est en effet fonction des paramètres suivants :

- composition du béton,
- rapport E/C (eau/ciment),
- conditions météorologiques (température, humidité relative).

Dans tous les cas, on prendra soin de scier au moins un joint sur trois, dit **joint de sécurité**, dans les 24 h suivant le bétonnage afin de relâcher la tension dans le béton.

Les fournisseurs de machines de sciage et de remplissage des joints sont indiqués en [Doc. C 5 462].

1.5 Remplissage des joints

Cette opération demande un très grand soin, car c'est d'elle que dépend en grande partie la durabilité de l'ouvrage.

Elle doit être menée, dans la mesure du possible, avant la remise en circulation du tronçon et quand le béton présente un état de siccité suffisant (de 3 à 5 jours environ après le bétonnage).

Dans le cas où la chaussée béton sert de voie de service, il convient de prévoir une protection provisoire (fond de joint, par

exemple) afin d'éviter toute introduction dans le joint de corps étrangers (graviers, par exemple). Cette protection provisoire ne protège pas les joints contre les souillures par agents agressifs (hydrocarbures, par exemple).

Après sciage du joint ou de la réserve, les phases du calfeutrement sont les suivantes :

- enlever, s'il y a lieu, le colmatage provisoire inséré dans le joint ;
- effectuer un nettoyage par procédé mécanique et éliminer les poussières par soufflage à l'air comprimé. Dans certains cas, le soufflage peut être réalisé à l'air chaud afin d'éliminer toute trace d'humidité et de poussières ;
- mettre en place un fond de joint (mousse de polyuréthane ou bourrelet de feutre, par exemple) qui préviendra toute propagation de la fissure dans le produit d'étanchéité. Cela est nécessaire pour respecter les règles de dimensionnement des joints étudiées en [C 5 460, § 2] et permettre aussi de contrôler la consommation ;
- appliquer, si nécessaire, un primaire d'accrochage assurant une bonne adhérence du produit d'étanchéité sur les lèvres du joint ; ces primaires sont ceux recommandés et fournis par les fournisseurs des produits de calfeutrement ;
- respecter la température d'application pour les produits coulés à chaud et le dosage pour les produits à deux composants ;
- mettre en œuvre le produit de calfeutrement en arasant légèrement celui-ci sous la surface du revêtement, surtout si le joint est rempli au moment où il est le plus ouvert (période froide). On utilise pour cela des pompes à mastics (GRACO, NORDSON) ou similaires ;
- interdire toute circulation avant mise hors poussière et polymérisation du produit d'étanchéité ;
- laisser les mastics refroidir ou faire leur prise avant d'ouvrir le chantier à la circulation.

Les produits de calfeutrement mis en œuvre sont ceux décrits en [C 5 460, § 4].

1.6 Réfection des joints

Les produits de calfeutrement ont des durabilités comprises entre 5 et 20 ans selon les types de produit (cf. [C 5 460, § 3]).

Lorsqu'ils sont dégradés, ils doivent être extraits du joint avec une machine à lame ou à soc.

Puis il faut nettoyer parfaitement les lèvres du joint par grattage, resciage, et éventuellement le porter à la bonne largeur, compte tenu du produit qui sera utilisé en remplacement.

Une fois le joint lavé et séché, et après application éventuelle d'un primaire si nécessaire, on place un nouveau fond de joint puis on coule le produit de calfeutrement et d'étanchéité.

En réfection, on ne s'occupe plus du retrait qui est déjà fait depuis longtemps.

Sur chaussée unidirectionnelle, la cadence de réfection est de 2 000 m de joints par jour et par équipe.

Nota : avant la réfection de l'étanchéité des joints, les épaufrures des lèvres peuvent éventuellement être réparées à l'aide d'un mortier de résine époxyde deux composants.

Si l'appui des dalles sur la fondation est devenu mauvais, il peut se produire des battements qui peuvent être supprimés par **injections sous les dalles**.

Les références [2] et [17] fournissent des calculs de coût de réfection et de coût des joints sur une période de 20 ans, selon les types de matière utilisés.

1.7 Revêtements de chaussées à base de liants hydrocarbonés

Ces revêtements sont, par définition, des matériaux souples. La présence de joints de conception n'est donc nécessaire qu'aux liaisons chaussées/ouvrages d'art ou encore aux zones d'interruption de travaux : joints de construction transversaux ou longitudinaux.

Toutefois, des fissures peuvent apparaître dans ces revêtements. Ces dernières sont le plus souvent la conséquence d'un mouvement de la sous-couche du revêtement :

- retrait de l'assise traitée au liant hydraulique ;
- tassement du terrain ;
- fissures dues à une mauvaise mise en œuvre.

1.7.1 Réhabilitation des fissures

Le scellement des fissures apparues sur les revêtements à base de liants hydrocarbonés a pour but de recréer l'étanchéité de la couche de surface, et de fixer les gravillons aux lèvres du joint avant que le désordre ne s'aggrave.

Trois techniques peuvent être envisagées pour le scellement des fissures [3] :

- la **pénétration**, qui consiste à introduire par gravité un produit coulable à chaud ou à froid dans la fissure ;
- le **garnissage**, qui consiste à élargir la fissure par sciage et à couler dans la réserve ainsi créée un produit de calfeutrement bitumineux ;
- le **pontage**, qui consiste à répandre une légère surépaisseur (2 mm) de matériaux d'étanchéité au droit et de part et d'autre de la fissure (5 à 15 cm) (figure 8).

Les deux premières techniques sont très peu utilisées. La pénétration est en effet très délicate à réaliser convenablement, du fait de la dimension des fissures et de la forte viscosité des matériaux généralement employés. Le garnissage est très coûteux et ne peut s'appliquer qu'aux fissures parfaitement rectilignes, comme les liaisons entre bandes adjacentes d'enrobés.

Le pontage est la technique de scellement la plus répandue. Il est le plus souvent suivi d'un sablage sur produit frais afin d'éviter le collage aux pneumatiques et nécessite l'utilisation de mastic d'étanchéité répondant à des caractéristiques particulières, définies ci-après (§ 1.7.2).

Les meilleurs produits sont des mastics hydrocarbonés avec ajouts de polymères, coulables à chaud.

Lorsque l'apparition de fissures est liée à un phénomène de retrait de l'assise traitée au liant hydraulique, le pontage des fissures peut être retenu comme technique de réhabilitation.

Lorsque les fissures sont la conséquence de désordres localisés (fissures longitudinales ou anarchiques, tassement de la sous-couche, fatigue, etc.), le traitement de ces dernières ne peut constituer qu'une réparation momentanée du désordre.

1.7.2 Agrément technique des produits

Les produits d'étanchéité utilisés pour le pontage des fissures font l'objet d'un agrément délivré par le LCPC (Laboratoire central des ponts et chaussées).

Cet agrément est obtenu pour 5 ans, lorsque le produit a subi avec succès la série d'essais décrite ci-après, et que son comportement sur un chantier d'essai a été jugé satisfaisant au bout d'un an de trafic.

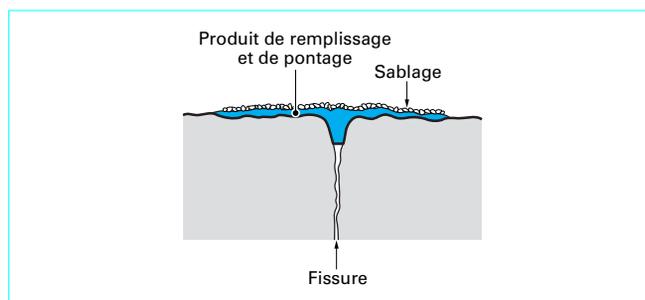


Figure 8 – Pontage d'une fissure de revêtement à base de liants hydrocarbonés

Les essais retenus pour l'obtention de l'agrément LCPC sont voisins de ceux décrits dans la spécification fédérale USSS-S-1401 B. Ils permettent de caractériser :

- la viscosité du produit ;
- sa vitesse de polymérisation ;
- son adhérence à l'enrobé à -18°C ;
- sa tenue aux sollicitations répétées (essai de fatigue traction/compression).

2. Chaussées d'aéroports

Les chaussées et pistes d'aéroports [4] sont construites selon les mêmes techniques que les chaussées des routes : BC, BC_g et BAC, examinées précédemment (§ 1). Le trafic y est plus espacé (1 avion/min) mais le poids des avions est plus élevé (160 t pour un 747 au décollage).

L'uni de surface est important. Sur ces chaussées où les pneumatiques sont gonflés à très forte pression et sont fortement sollicités, les lèvres de la partie supérieure des joints sont chanfreinées à la meule sous un angle de 45° sur 5 ou 6 mm de hauteur (figure 9).

2.1 Joints de retrait

L'espacement entre joints de retrait est limité au maximum à 25 fois l'épaisseur de la couche de béton.

Les **joints longitudinaux** existent lorsque la bande de béton a une largeur supérieure à 25 fois l'épaisseur, ou dans le cas du BAC. Ils peuvent être réalisés de diverses façons :

- une amorce est faite dans le béton frais par moulage ou par l'introduction d'un profilé qui peut également assurer l'étanchéité du joint ;
- par sciage dans le béton durci, à la même profondeur que les joints transversaux, dans un délai de 24 à 48 h selon les conditions climatiques.

Pour les **joints transversaux**, l'amorce de fissuration peut être réalisée soit dans le béton frais, soit le plus souvent dans le béton durci. Dans ce dernier cas, elle est réalisée entre 6 et 36 h après le coulage, selon les conditions de chantier, par sciage d'une largeur de 3 à 5 mm et d'une profondeur comprise entre le quart et le cinquième de l'épaisseur de la dalle. Le suivi de la fréquence de l'ouverture des joints donne une indication sur l'adaptation du matériel et sur la période de sciage (norme NF P 98-170).

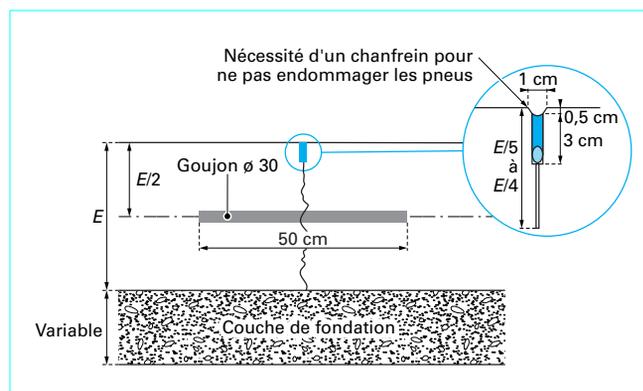


Figure 9 – Dalles goujonnées : coupe longitudinale au niveau d'un joint de retrait, en chaussées aéronautiques

2.2 Joints de construction

Des joints de construction transversaux sont réalisés à chaque interruption de bétonnage : ils sont coffrés et comportent des goujons. Pour les chaussées à trafic élevé, le coffrage a une forme permettant de réaliser un joint conjugué comme montré sur la figure 10.

Les joints de construction longitudinaux séparent deux bandes adjacentes de construction.

Dans la couche de revêtement, l'étanchéité du joint est assurée par la mise en place d'un produit d'étanchéité après sciage sur une profondeur de 3 cm et une largeur minimale de 1 cm.

Le profil latéral des bandes de béton doit être de type sinusoïdal, (joints conjugués imbriqués) comme le montre la figure 10 afin d'assurer le transfert des charges lourdes. Ce profil est réalisé par coffrages glissants.

Les joints longitudinaux devront être réalisés selon la norme NF P 98-170.

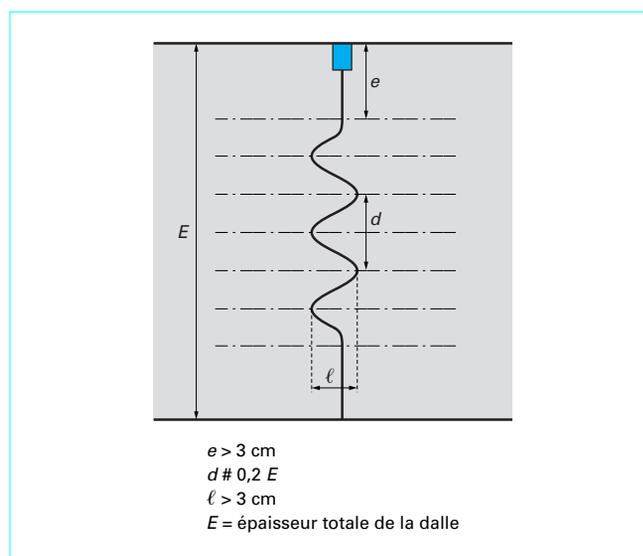


Figure 10 – Profil vertical d'un joint longitudinal entre deux bandes de béton

2.3 Joints de dilatation

Ils ne sont pas nécessaires en parties courantes d'une aire de manœuvre, mais ils sont nécessaires à chaque croisement de voies.

Ces joints sont goujonnés et ont une épaisseur de 2 cm environ sur toute la hauteur du béton de revêtement pour les structures à joints transversaux, et de 6 cm dans le cas du BAC.

2.4 Chaussées à dalles courtes non armées et goujonnées (BC_g)

Afin d'améliorer le comportement des joints transversaux et le transfert de l'effort tranchant entre dalles, des goujons sont disposés à mi-épaisseur de la dalle au droit de chaque joint (figure 10).

Les goujons sont des barres d'acier lisses, dont les caractéristiques ont été précisées au paragraphe 1, enduites sur au moins la moitié de leur longueur d'un produit évitant l'adhérence au béton pour permettre les mouvements longitudinaux des dalles ; les goujons sont espacés de 30 cm environ.

Cette technique, bien adaptée aux trafics d'avions lourds est utilisée sur les aires aéronautiques civiles.

2.5 Produits pour calfeutrement de joints

Les mastics de calfeutrement pour les chaussées d'aérodromes doivent avoir toutes les caractéristiques et performances des produits de calfeutrement des chaussées routières (§ 1).

Ils doivent satisfaire aux normes de la sous série NF P 98-282,3... en particulier pour la résistance à la fatigue, au cisaillement, à la traction, au vieillissement. Prochainement, ils devront satisfaire aux normes européennes en préparation.

Mais en plus, ils doivent, pour les joints situés sur les **aires de trafic**, résister au kérosène.

Les joints situés sur les **seuils de piste** doivent, en outre, résister au souffle chaud des réacteurs.

Ces exigences spéciales sont visées par plusieurs normes américaines qui sont aussi reprises en Europe et en France (par la DIRR chaussées aéronautiques) :

- norme fédérale SS-S 167 et SS-S 200 ;
- norme fédérale SS-S 1614.

(les normes sont citées en [C 5 460, tableau 1])

Pour la résistance au **kérosène** seuls conviennent les mastics PVC/brai coulés à chaud et, pour les produits coulés à froid, les PU/brai et thiokol/brai.

Pour la résistance au **souffle chaud** des réacteurs seuls conviennent les PU/brai, certains thiokol/brai et les silicones (deux composants).

Par contre pour les **pistes**, d'autres produits de calfeutrement conviennent (car on n'a pas ces exigences particulières) : asphaltique modifié élastomères, produits préformés dans quelques cas particuliers.

3. Chaussées de ponts-routes

3.1 Mouvements et localisation des joints

Un joint est nécessaire sur un pont, un viaduc ou une passerelle, dans tous les cas où il y a possibilité de mouvements relatifs entre deux éléments de structure de l'ouvrage et quand la zone du mouvement affecte la chaussée supportant la circulation [6].

Il faut distinguer pour les performances du joint :

- les grands ponts fluviaux de longues portées où les mouvements peuvent être très importants ;
- les petits ponts qui enjambent des routes ou des rivières.

On appelle « **souffle** » (ou parfois « jeu ») d'un joint, le déplacement relatif maximal prévisible des deux éléments en regard, mesuré entre leurs deux positions extrêmes (et non par rapport à la position moyenne ou de réglage) (figure 11).

Le modèle de joint devra satisfaire aux trois degrés de liberté correspondant aux trois directions du déplacement relatif des deux éléments par rapport à l'axe de la voie (figure 12).

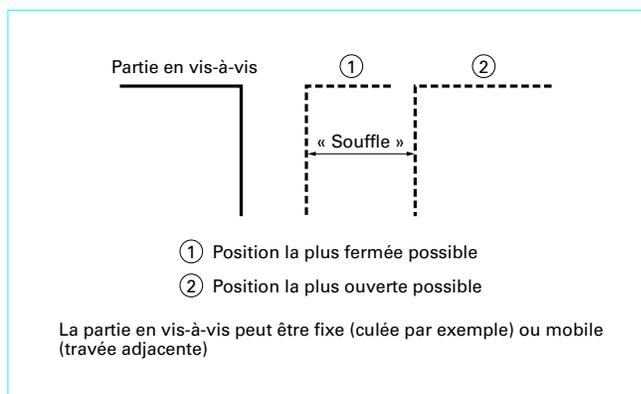


Figure 11 – Souffle

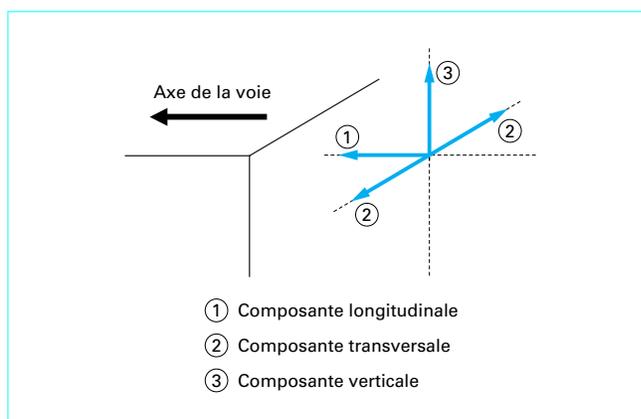


Figure 12 – Mouvements dans les trois dimensions d'un joint de pont

La **composante longitudinale** est, en général, la plus importante. Elle représente les mouvements de contraction et d'extension réversibles ou non de la structure (température, retrait...).

La **composante transversale** apparaît dans le cas d'ouvrages courbes ou biais et elle est la conséquence d'une déformation particulière du tablier (sous l'action de la température surtout) et de l'effet du trafic (force centrifuge et freinage). Dans le cas de grands ponts suspendus ou à haubans, l'action du vent peut intervenir très sensiblement dans la valeur de cette composante.

Les déformations dues aux **variations de température** et au **retrait du béton** doivent être cumulées pour un ouvrage métallique ou en béton armé.

Pour un ouvrage précontraint, il convient en outre de cumuler l'effort de fluage.

Les **charges d'exploitation** génèrent :

- des mouvements verticaux et horizontaux par rotations d'about ;
- des mouvements horizontaux sous l'effet du freinage ou du vent.

Les **autres mouvements** sont :

- des mouvements transversaux dans le cas d'ouvrages courbes, (déformation du tablier sous l'effet des variations de température et du trafic et force centrifuge) ;
- des tassements de appareils d'appui en élastomères ;
- des tassements des sols.

Le **trafic** engendre des contraintes au niveau du joint et des mouvements.

En combinant ces divers mouvements on détermine le souffle total.

3.2 Qualités requises pour un joint de chaussée de pont

- confort de l'utilisateur : les interstices supérieurs à 4 cm ne sont pas acceptables (choc des pneus) ;
- bonne liaison, solide et durable à la structure (utilisation éventuelle de fixations par précontrainte) ;
- étanchéité, avec un raccord efficace du joint à l'étanchéité du tablier ;
- solidité et durabilité des matériaux, pour un pont, on s'attend à une durabilité des joints de 20 ans ;
- résistance à la fatigue ;
- entretien et réparation faciles.

3.3 Différents systèmes de calfeutrement

3.3.1 Produits de calfeutrement coulés dans le joint

Ils conviennent pour des petits ponts jusqu'à 20 m de portée, ce qui donne un souffle maximal de 10 mm, acceptable avec un joint élastomère de 40 à 50 mm de large.

Exemple : le pont-route de 6 km de long entre l'Arabie Saoudite et Bahreïn a été jointoyé avec des mastics bitume-élastomère coulés à chaud.

3.3.2 Profilés élastomères

Ils conviennent aussi pour des portées limitées (quelques dizaines de mètres). On peut éventuellement se baser sur la norme américaine ASTM D 3542 qui est assez exigeante.

Ces profilés doivent être collés aux rives du joint avec un « adhésif-lubrifiant » qui doit lui satisfaire à la norme américaine ASTM D 4070.

Ces profilés existent en nombreuses formes, sections.

Dans certains cas après leur collage sur les rives du joint, on les gonfle à l'air jusqu'à ce que l'adhésif fasse sa prise. Nous citons quelques fournisseurs en [Doc. C 5 462].

3.3.3 Systèmes pour joints présentant des mouvements de grande amplitude

Il existe des dizaines de modèles différents. Ils se classent en cinq familles qui peuvent comprendre des sous-familles.

Joint à pont souple appuyé : il est constitué d'une partie métallique fixée mécaniquement sur une des lèvres du joint et reposant librement sur l'autre lèvre.

Joint à pont souple à bandes : c'est un système monobloc en élastomère *Néoprène*, armé dans le sens transversal de la chaussée et pouvant supporter des déformations dans les autres directions.

Joint à pont en porte à faux (ou joint à peigne) : deux parties métalliques en forme de peignes sont fixées mécaniquement sur chaque lèvre du joint et encastrées l'une dans l'autre (figure 13) ce qui permet des mouvements de grande amplitude : 5 cm.

Joint à lèvres et remplissage du vide : les lèvres du joint peuvent être composées de différents matériaux rigides. Le remplissage du vide est assuré par un profilé en élastomère ou en mousse d'élastomère (figure 14).

Ces systèmes sont souvent limités en largeur du fait de la discontinuité dans la surface de roulement.

Joint non apparent à revêtement : c'est le revêtement hydrocarboné qui tient lieu de système de calfeutrement. C'est pourquoi, on utilise parfois, au droit du joint, un matériau de chaussée plus performant. L'usage de ce type de joint est limité à des zones peu sollicitées, à mouvements faibles à modérés.

Le choix du système par le concepteur est fonction, principalement, du mouvement prévisible du joint (ou souffle du joint) et du trafic envisagé à moyen terme sur l'ouvrage.

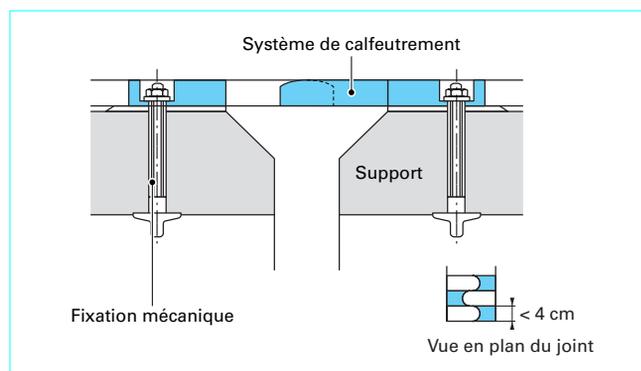


Figure 13 – Joint à pont en porte à faux, dit joint à peigne (Joint FREYSSINET FT 75)

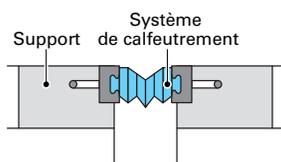


Figure 14 – Joint à lèvres et remplissage du vide par un matériau élastomère

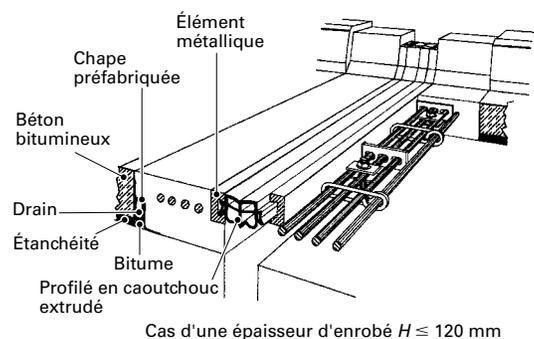


Figure 15 – Joint élastomère BETA B 50 de la société BTPS

Le Service d'étude technique des routes et autoroutes (SETRA) publie pour chaque système un avis technique permettant aux maîtres d'œuvre d'apprécier celui qu'ils envisagent d'utiliser, en fonction des exigences de leur chantier.

Exemple : la figure 15 montre le joint BETA B 50 de la société BTPS tiré de son avis technique.

3.4 Fonction d'étanchéité des joints

Lorsque le maître d'œuvre choisit de munir l'ouvrage d'art qu'il conçoit d'une étanchéité, il doit prévoir des systèmes de calfeutrement permettant la continuité de cette étanchéité.

Deux techniques peuvent être adaptées :

- la continuité de l'étanchéité au ras du joint ;
- l'étanchéité dans le vide du joint.

L'eau est recueillie par un système souple ou par un caniveau et évacuée vers l'extérieur de l'ouvrage.

Il convient, lorsque le cas se présente, de prévoir la continuité de l'étanchéité dans les caniveaux et dans les bordures de trottoir.

Dans tous les cas rencontrés, le traitement de ce point particulier est étudié dans l'avis technique correspondant au système choisi.

Pour les méthodes de pose, le lecteur se reportera à la référence [6] très complète.

Évolution des joints routiers

La technique des joints routiers est actuellement dans une phase de transition.

Si l'on excepte en effet les joints de ponts-routes, il apparaît que l'on s'oriente de plus en plus vers des chaussées où les joints transversaux seraient supprimés.

D'après [1], les techniques du béton armé continu (BAC) et du béton poreux sont appelées à se développer et l'on peut supposer que l'emploi simultané du BAC en sous-couche et du revêtement poreux en finition sera de plus en plus étendu dans le futur.

C'est déjà le cas pour les chaussées d'aéroports.

Mais d'autres pays moins développés continueront à utiliser des dalles courtes BC et BC_g plus faciles à réaliser avec un équipement simple.

4. Barrages

4.1 Exigences particulières et types de joints

Dans les barrages en béton (barrages-poids ou barrages voûtes) ou à masque en béton, des fissurations de retrait sont à prévoir en raison des grandes dimensions des ouvrages. Il est donc nécessaire de découper le volume total du béton en plusieurs plots ou blocs, de façon à ce que la contraction du béton ne dépasse pas les limites tolérables.

On crée donc ainsi des **joints de retrait** [11]. Le ferrailage y est alors interrompu.

Les variations périodiques de température peuvent être importantes surtout pour les barrages en altitude où la température ambiante peut passer de + 50 °C en été à - 25 °C en hiver. Il faut donc des **joints de dilatation** : séparation entre les parties contiguës de la structure en béton dans laquelle est introduite une membrane déformable susceptible d'absorber les changements de dimensions des plots.

Le poids du barrage et de la retenue d'eau peuvent provoquer un tassement des fondations. Il faut donc des **joints d'isolation** pour limiter le mouvement à la partie de structure où a lieu le mouvement.

Enfin on a aussi des **joints de construction** dans les plans verticaux ou horizontaux au fur et à mesure de l'avancement des travaux.

4.2 Barrage en enrochement à masque en béton

On se reportera aux références [9] et [C 5 555], réf. [20] de [Doc. C 5 462]. Le masque est une grande dalle mince (30 à 80 cm) en béton armé qui recouvre l'enrochement.

Trois types de joints se rencontrent sur les masques en béton :

- les joints horizontaux correspondant aux reprises de bétonnage ;
- les joints verticaux entre bandes de bétonnage ;
- le joint périmétral.

À chacun d'eux correspond un type de traitement particulier.

4.2.1 Joints horizontaux

Ils correspondent aux arrêts de bétonnage du masque. Leur nombre est fonction des phases d'enrochement du barrage.

La mise en place de bandes d'arrêt d'eau dans les joints horizontaux est aujourd'hui abandonnée.

Ces derniers sont traités comme une simple reprise de bétonnage, mais en prenant bien soin de ne pas interrompre les armatures d'acier.

4.2.2 Joints dans un plan vertical

Ils sont espacés de 12 à 18 m, 15 m en moyenne dans la partie centrale du barrage. Ce sont des joints secs dont les lèvres sont enduites de bitume.

Pour les dalles les plus proches des appuis latéraux, les joints sont traités à l'aide de deux bandes d'arrêt d'eau (figures 16 et 17) ; l'une en cuivre ou en acier, l'autre en PVC ou en caoutchouc synthétique ou en Hypalon.

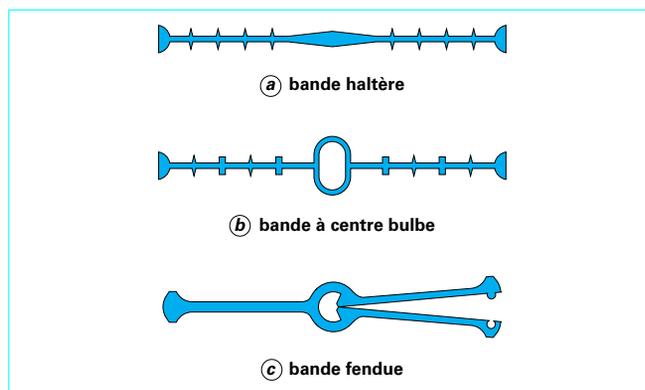


Figure 16 – Bandes d'arrêt d'eau

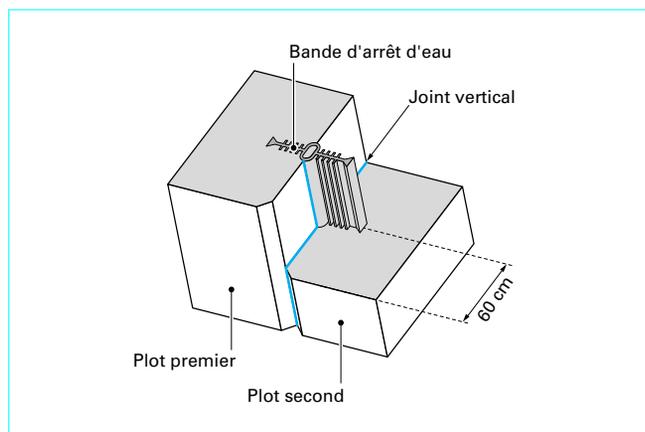


Figure 17 – Bande d'arrêt d'eau à bulbe mise en place dans un barrage en béton [11]

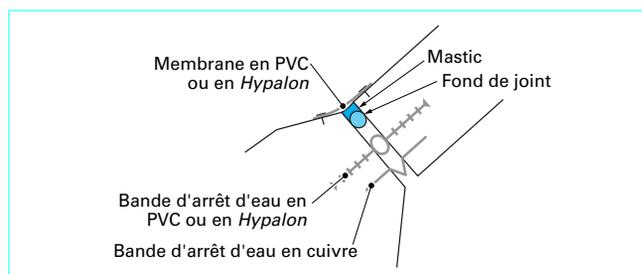


Figure 18 – Joint périmétral des barrages en enrochement à masque en béton

L'importance de cette zone, dans laquelle les joints travaillent en traction, est fonction de la configuration du barrage (1/5 à 1/3 de la longueur du couronnement).

4.2.3 Joint périmétral

Ce dernier est très fortement sollicité, en particulier, lors de la mise en eau du barrage. Trois barrières assurent l'étanchéité de ce joint (figure 18) :

- une bande d'arrêt d'eau en cuivre est placée dans la partie inférieure du joint ;
- une seconde bande d'arrêt d'eau en PVC ou en Hypalon est prise au coulage, à mi-épaisseur de la dalle ;
- un mastic est mis en place en partie supérieure du joint, puis protégé par une membrane en PVC ou en Hypalon fixée mécaniquement de part et d'autre du joint.

Le bon fonctionnement du joint est assuré, lors de la mise en œuvre du système de calfeutrement, par l'introduction d'un matériau rigide qui prévient tout écrasement dû à un éventuel glissement des dalles formant le masque.

4.3 Barrages-poids en béton

La technique la plus utilisée actuellement est celle du béton compacté au rouleau ou BCR. Le béton n'est plus coulé entre des coffrages mais répandu horizontalement sur de grandes surfaces et compacté au rouleau et avec des compacteurs vibrants. De ce fait, le rapport E/C du béton est plus faible.

Il en résulte moins de retrait et donc moins de joints.

Le traitement des joints est ici aussi réalisé avec des bandes d'arrêt d'eau.

4.4 Bandes d'arrêt d'eau (waterstop)

4.4.1 Exigences spécifiques propres aux barrages

Les bandes d'arrêt d'eau doivent avoir une résistance mécanique suffisante, à la traction et au cisaillement, pour résister aux efforts résultant de la pression d'eau maximale à l'endroit où elles sont situées et aux mouvements relatifs des éléments de la structure.

Elles doivent être suffisamment déformables pour supporter ces mouvements, sans se déchirer et sans s'arracher de leurs ancrages. De plus, leur section droite (figure 16) comportera des saillies pour éviter les cheminements de l'eau le long de la largeur de la bande.

Leur durabilité doit être égale à celle du barrage lui-même, qui est souvent supérieure à 100 ans.

Leur matériau ne devra pas être sensible aux agressions chimiques telles que l'alcalinité du béton, teneur en sels dissous dans l'eau, donc pas du zinc.

4.4.2 Positionnement et rôles

Sur les barrages-poids, elles sont généralement placées près de la face amont des plots mais aussi près de la face aval des sections des évacuateurs de crue.

Sur les barrages-voûte, nettement moins épais, elles sont placées près des faces amont et aval. Elle peuvent ainsi jouer un rôle de confinement pour procéder à une injection de coulis dans le joint, permettant de recréer l'effet de voûte dans la structure ainsi rétablie dans son monolithisme. Leur utilisation sur le pourtour des galeries intérieures au barrage permettra d'éviter toute infiltration de ce coulis dans ces ouvrages au moment de l'injection.

Les figures 17 et 19 montrent la mise en place de ces bandes d'arrêt d'eau.

4.4.3 Différents matériaux utilisés

Les bandes d'arrêt d'eau sont principalement constituées de polychlorure de vinyle et de caoutchoucs synthétiques (*Néoprène* en particulier).

Les matériaux du type caoutchouc naturel, cuivre, acier inoxydable et acier galvanisé ne sont plus utilisés que de façon annexe.

Les propriétés d'élasticité, de maniabilité et le coût abordable des matériaux PVC et des caoutchoucs synthétiques sont les qualités principales qui expliquent le fort développement de leur utilisation.

Si le PVC a le gros avantage d'être facilement soudable sur le chantier, les basses températures ($< 10\text{ °C}$) tendent à le durcir et à le rendre fragile. Les bandes en PVC doivent être protégées de la lumière solaire.

Le caoutchouc synthétique n'a pas cet inconvénient, mais est, d'une façon générale, plus délicat à rabouter sur chantier (il doit être vulcanisé à chaud).

De plus, ces deux matériaux présentent une tenue réduite aux ultraviolets et doivent donc être protégés en cas de stockage prolongé sur le chantier.

Dans certains cas, rencontrés de plus en plus rarement, il est aménagé, en aval de la bande d'arrêt d'eau, une cavité verticale calfeutrée à l'aide de mastic bitumineux, pour un complément d'étanchéité.

Les matériaux rencontrés dans le traitement des joints de barrage évoluent aujourd'hui vers des bandes d'arrêt d'eau composées d'un mélange de PVC et de caoutchouc synthétique, permettant d'allier les performances de ces deux matériaux.

Le cuivre et l'acier inoxydable sont encore un peu utilisés pour des très grands barrages.

4.4.4 Spécifications

Pour être utilisés en bande d'arrêt d'eau, les matériaux doivent répondre à différentes spécifications.

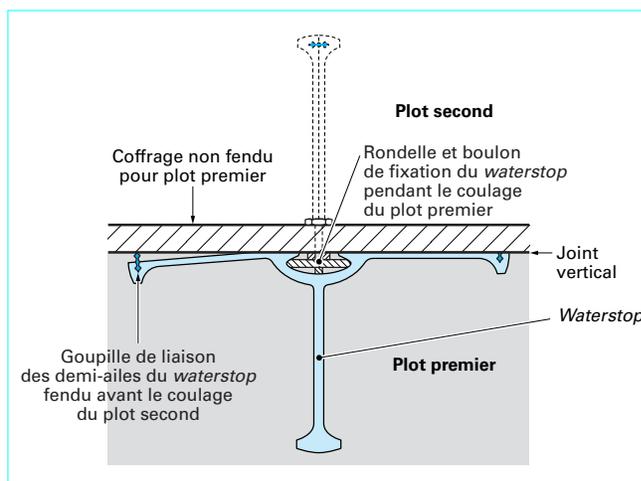


Figure 19 – Waterstop à centre bulbe à aile fendue, en caoutchouc ou PVC

En France, il n'existe à ce jour aucune norme ou aucun cahier des charges qui régissent la qualité des bandes d'arrêt d'eau.

Dans les pays cités ci-après, les bandes d'arrêt d'eau doivent être conformes aux normes suivantes en vigueur [11].

- Pour le **polychlorure de vinyle** :

- *Autriche et République Fédérale d'Allemagne* : DIN 53.455, DIN 16.938, DIN 53.476, SIA 280 ;

- *Royaume-Uni* : BS 903, BS 2571 ;

- *États-Unis* : deux familles de spécifications sont en vigueur :

- d'une part les normes ASTM : D 638, D 746, D 747, D 1203 ;

- d'autre part, les descriptifs du US Army Corps of Engineers CRD-C 572 et CRD-C 513.

- Pour le **caoutchouc synthétique** : en l'absence de spécifications propres à ce matériau, on retient celles en vigueur pour le PVC et pour le caoutchouc naturel.

- Pour le **caoutchouc naturel**, les spécifications retenues aux États-Unis par le USBR (Bureau des États-Unis) et le US Army Corps of Engineers sont présentées dans le tableau 1 à titre indicatif.

La référence [11] fournit d'autres spécifications pour les autres matériaux (cuivre, inox).

4.4.5 Mise en œuvre

Les bandes d'arrêt d'eau en PVC ou caoutchouc doivent être posées en utilisant la méthode du coffrage à fente, qui permet d'assurer que la bande d'arrêt sera bien dans sa bonne position définitive après démontage du coffrage du béton du plot correspondant.

La bande d'arrêt d'eau doit être solidement fixée pour éviter tout déplacement avant et pendant le coulage du béton.

Le béton sera vibré soigneusement tout autour de la bande d'arrêt.

Le rabotage et le recouvrement des *waterstop* en PVC ou en caoutchouc seront exécutés sur chantier conformément aux instructions des fabricants.

Tableau 1 – Spécifications pour le caoutchouc utilisé dans la fabrication des bandes d'arrêt d'eau

Propriété physique	USBR		US Army Corps of Engineers (1)	
	Spécification Essai	Valeur requise	Spécification Essai	Valeur requise
Résistance minimale à la traction	ASTM D 412	24,2 MPa	CRD-C 573	13,8 MPa
Élongation minimale sous effort de rupture	ASTM D 412	500 %	CRD-C 573	360 %
Raideur minimale à la flexion	ASTM D 747	4,45 MPa	–	–
Dureté	ASTM 2240	60 à 70 au duromètre Shore	CRD-C 569	60 à 70 au duromètre Shore
Résistance minimale à la traction après vieillissement dans l'oxygène	ASTM D 573	80 %	CRD-C 577	80 %
Élongation minimale après vieillissement dans l'oxygène	ASTM D 573	80 %		
Maximum d'absorption d'eau (en masse)	–	–	CRD-C 575	5 % après 7 jours
Déformation permanente sous compression maximale	ASTM D 395 Méthode B	30 %	CRD-C 576	30 %
Résistance à la fissuration ozone	ASTM D 1149	Aucune fissure	CRD-C 536	Aucune fissure

Il est à noter que, en ce qui concerne le caoutchouc synthétique, l'USBR réduit pour sa part la résistance à la traction à 22,4 MPa et l'élongation à la rupture à 450 % ; pour le polychloroprène à 14,9 MPa et 350 % respectivement.

(1) Consulter également la spécification générale CRD-C 513-74 (juin 1974).

5. Tunnels

5.1 Revêtement en béton coulé en place

Dans ce cas, on doit traiter les joints de retrait et les joints de reprise de bétonnage (joints transversaux dans les deux cas).

En arrière du revêtement, ces joints doivent être complétés par une injection de mortier de ciment.

5.2 Tunnel à voussoirs préfabriqués

L'étanchéité doit être réalisée sur les quatre côtés de chaque voussoir (figure 20).

Différents systèmes permettent la réalisation de l'étanchéité entre éléments dans le cas des tunnels à voussoirs.

Celle-ci peut, en effet, être obtenue :

- par collage de profilés compressibles en PVC le plus souvent à la surface du béton ; ces derniers sont comprimés par boulonnage ;
- par un système hydrogonflant ou hydrophile ;
- par injection de résine (époxyde).

Exemple : dans le cas du **tunnel sous la Manche**, c'est le premier système qui a été retenu (figure 20 a). Un anneau comporte 5 voussoirs et 1 clé. Les joints radiaux sont articulés alors que les joints verticaux sont plats. Une gorge ménagée autour de chaque voussoir permet la mise en place du profilé.

Lors de la pose des voussoirs, les joints sont comprimés sous environ 6 t par mètre de joint. Cette charge est ensuite reprise par les boulons de montage.

Pour que l'étanchéité du revêtement de béton soit bonne, il faut que les faces des voussoirs soient fabriquées avec une précision de ± 1 à 2 mm en utilisant la technique des profils conjugués (voussoir $n + 1$ moulé sur le voussoir n).

On peut alors coller ensemble les voussoirs avec un adhésif époxyde, comme pour les ponts à voussoirs.

Les références [16] et [17] fournissent d'autres précisions utiles.

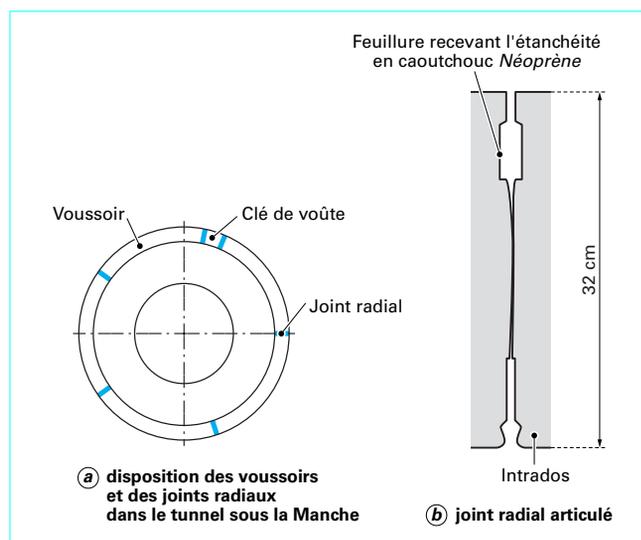


Figure 20 – Joints de tunnel à voussoirs

6. Cuvelage, réservoirs, bassins et piscines en béton

Toutes les structures sont soumises à la pression de l'eau ou de liquides divers. Ces pressions peuvent s'exercer de l'extérieur vers l'intérieur (cuvelages) ou de l'intérieur vers l'extérieur (réservoirs) éventuellement ces deux actions peuvent être alternées selon l'état de remplissage (bassins et piscines).

Elles comportent différents types de joints qu'il faut obtenir :

- joint de construction (reprises de bétonnage) ;
- joint de retrait et de dilatation (qui peuvent être évités si l'ouvrage est réalisé en béton précontraint) ;
- points de pénétration de canalisation ;
- fissurations.

Le lecteur se reportera aux articles [C 3 670] et suivants, réf. [22].

Rappelons simplement la réglementation actuelle :

- pour les cuvelages : DTU 14-1 (norme homologuée NF P 11.221.1) publiée en mai 2000 [13] ;
- pour les réservoirs : fascicule 74 (décret 83251 du 21 mars 1983) [15].

Depuis mai 1990, ce fascicule est complété par les recommandations intitulées *Calcul, réalisation et étanchéité des réservoirs, cuves, Bassins, châteaux d'eau enterrés, semi-enterrés, aériens, ouverts ou fermés* [14]. Ce document indique en particulier que le traitement des joints peut être réalisé :

- par calfeutrement à l'aide d'un mastic élastique ;
- par pontage à l'aide soit de bandes élastomères ou plastomères collées, soit à l'aide de toile de verre ou mat de verre armant le complexe d'étanchéité à base de résine.

Les figures 21 et 22 en donnent deux exemples.

Sur toutes les surfaces humides ou qui sont soumises à l'humidité plus ou moins permanente, il faudra prendre des précautions particulières :

- assécher les lèvres du joint avant calfeutrement ;
- appliquer le primaire recommandé par le fournisseur du mastic d'étanchéité.

Le produit de calfeutrement devra être complètement réticulé/polymérisé avant la mise en eau.

On devra aussi penser au remplacement possible du produit de calfeutrement lorsqu'il deviendra trop ancien ou sera dégradé.

7. Égouts, bassins de traitements des eaux

Les eaux usées, ménagères ou industrielles, peuvent avoir des pH variables de 5 (acide) à 8 ou 9 (basique).

Elles peuvent contenir des bactéries.

Les eaux industrielles peuvent aussi contenir des produits chimiques divers.

Les produits de calfeutrement et d'étanchéité devront donc être choisis soigneusement en fonction de ces divers facteurs agressifs, selon les recommandations des fabricants.

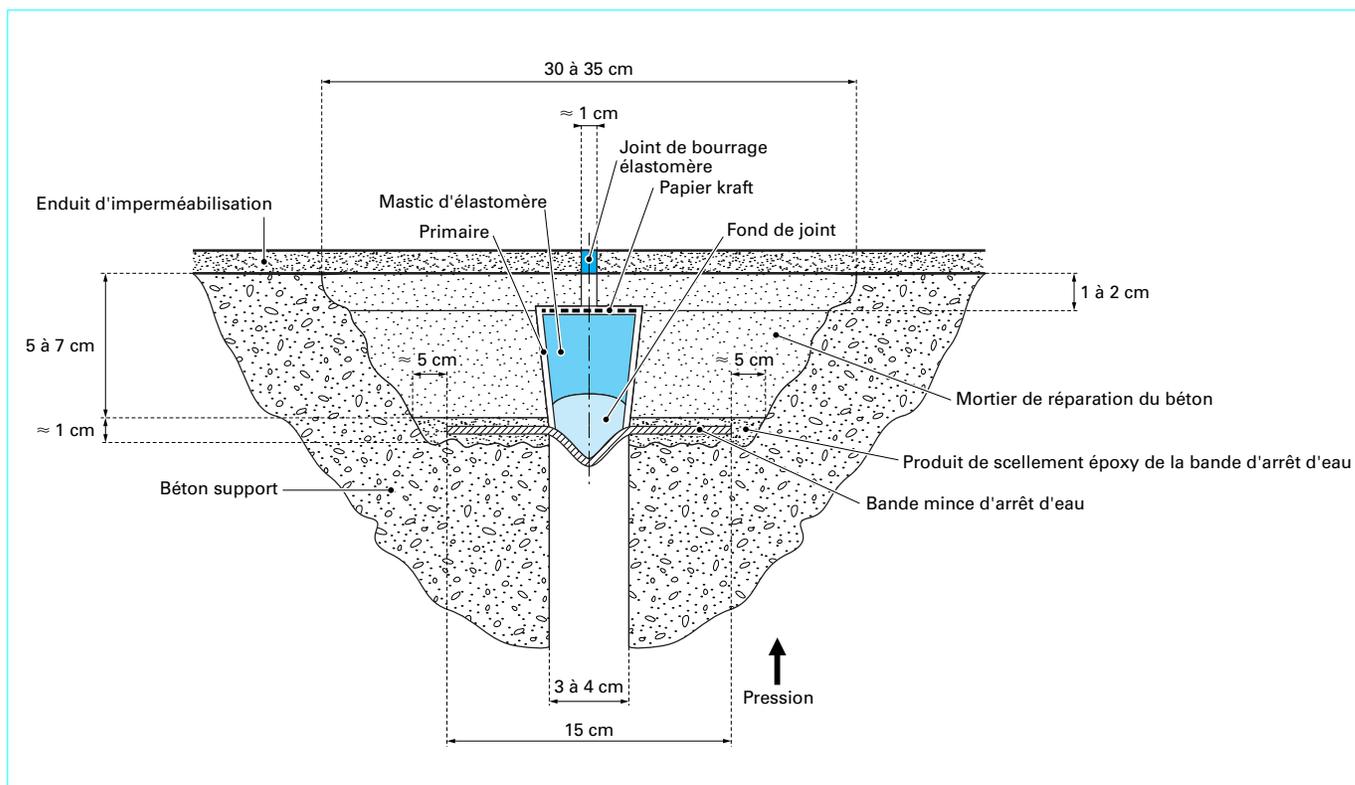


Figure 21 – Traitement d'un joint de dilatation dans un cuvelage à revêtement d'imperméabilisation mince

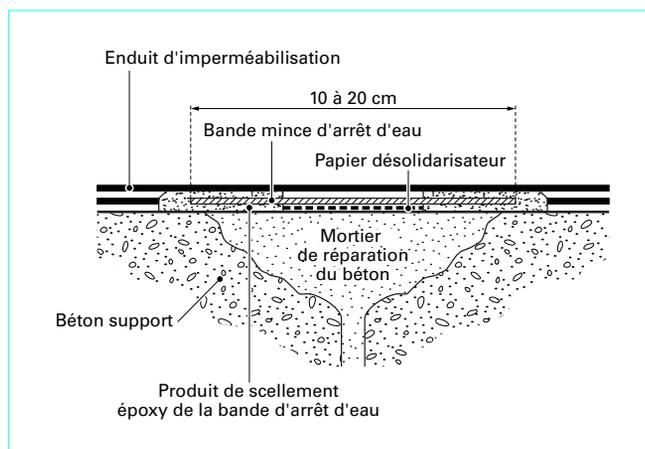


Figure 22 – Traitement d'un joint de retrait dans un réservoir à revêtement d'imperméabilisation mince

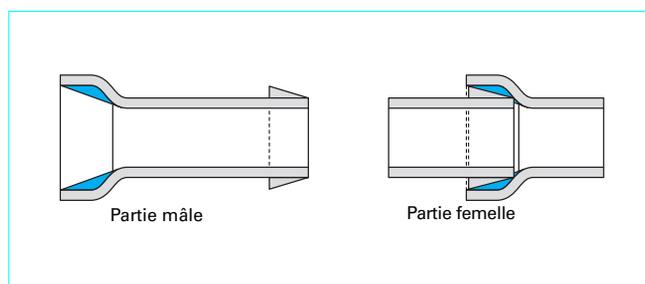


Figure 23 – Calfeutrement de tuyauteries (eau, égouts) en grès ou terre cuite

Cas des égouts : les tuyaux ou voussoirs d'égouts peuvent être en béton, terre cuite, grès. Les meilleurs produits de calfeutrement sont :

- les polyuréthanes qui résistent bien aux microorganismes, aux acides dilués, aux bases et à l'eau et qui adhèrent fortement aux divers matériaux ci-dessus ;
- les époxydes mais, comme ils sont rigides, ils ne conviennent que pour des joints sans mouvements ;
- les polysulfures, thiokols, et époxy-thiokols qui résistent également tous aux microorganismes, aux acides et bases, à l'eau ;
- les joints préformés élastomères (figure 23).

On peut aussi combiner des joints préformés avec des colles polyuréthanes ou avec des mastics polyester/plastisol PVC.

8. Tuyauteries et canalisations

Les **grosses canalisations principales de distribution d'eau potable** peuvent être en ciment armé, en acier (qui peut être soudé), en fonte ou en PVC, en grès.

De nombreux systèmes de joints existent :

- joints à emboîtement et cordon, qui étaient autrefois étanchéifiés au plomb semi-rigide ;
- joints à brides ;

- joints à bague ou à manchon avec un joint en caoutchouc comprimé ;
- joints flexibles (types Gibault par exemple) ; l'étanchéité étant réalisée par une bague en caoutchouc ;
- joints étanchéifiés avec des mastics élastomères polyuréthane, polysulfure... souples ;
- joints scellés avec des mastics époxydes, rigides.

Bien entendu, tous les produits et matériaux en contact avec l'eau potable doivent être sans danger pour le consommateur et il existe des tests spécifiques.

Ils doivent avoir une résistance de très longue durée car les contrôles et réfections en tranchées sont onéreuses.

Dans les **canaux d'irrigation**, les joints peuvent être réalisés avec des mastics bitume modifié élastomère appliqués à chaud ou avec des polyuréthanes ou polysulfures.

Pour les **tuyaux en fonte d'évacuation des eaux usées, d'eaux pluviales et d'eaux - vannes** on se reportera au DTU 60.2 de mai 1993 [7] qui indique brièvement les différents modes d'assemblage.

9. Joints spéciaux

9.1 Ouvrages en contact avec l'eau de mer

Cela concerne les jetées, les terminaux de ferries, les plates-formes pétrolières et les phares.

Dans tous ces cas, on peut utiliser :

- soit des époxydes qui offrent une très longue résistance à l'eau de mer (plusieurs dizaines d'années) et qui protègent les aciers de la corrosion saline, mais qui donnent des joints rigides ;
- soit des polysulfures, des époxy-polysulfures souples, ou des époxy-polyuréthanes.

Exemple

Les joints de la dalle en béton de grandes dimensions du Hoverport de Douvres (GB) – qui reçoit l'Hovercraft à coussin d'air, ont été réalisés avec un mastic époxy-polyuréthane, de souplesse modeste mais qui résiste aux conditions de travail sévères (frottement, usure, eau de mer).

De même, le phare anglais « Royal sovereign lighthouse » en Manche a été calfeutré avec un mastic polysulfure deux composants capable de résister sur une longue durée aux intempéries, tempêtes, vents violents venant de l'Atlantique.

À noter que certaines formules spéciales à base d'époxydes peuvent être appliquées et durcir sous l'eau.

9.2 Bâtiments et usines à risques

9.2.1 Nucléaire

La construction de centrales nucléaires exige des mastics de calfeutrement à hautes performances :

- soit décontaminables tel le mastic DYMERIC de TREMCO, homologué CEA, à base de polyuréthanes spéciaux qui résiste aux irradiations nucléaires, ou le mastic silicone PROGLAZE décontaminable et ADR (essai EDF de résistance à une élévation rapide de température) ;
- soit coupe-feu.

Sur les réacteurs nucléaires, le taux de fuite global de l'**enceinte de confinement** est fixé (par le décret d'autorisation de création

DAC) à 1,5 % par jour de la masse de gaz contenue dans l'enceinte (dans les conditions de l'accident de perte de refroidissement primaire).

Lors de certaines épreuves de mise en pression, on a constaté une évolution du taux de fuite global due à l'apparition de fissures au niveau des points singuliers de l'enceinte.

On a donc dû réparer les parois internes de certaines enceintes. Deux procédés ont été retenus :

- l'injection de résine (époxyde) et de coulis de ciment au niveau des reprises de bétonnage ;
- la pose d'une peau en composite pour obturer les fissures qui pourraient s'ouvrir lors de la montée en pression.

9.2.2 Cuvelages contenant des produits dangereux et bassins de rétention

Non seulement, ils doivent être imperméables, mais également les joints doivent être étanches et résister aux produits contenus.

Les joints des bassins et de traitement des effluents sont fortement sollicités : grande amplitude, immersion, pression et contre pression, agression chimique.

Les deux meilleurs procédés sont alors :

- l'emploi d'une bande en *Hypalon* collée de part et d'autre du joint avec un adhésif époxyde spécial ;
- le calfeutrement du joint par un mastic polyuréthane mono-composant ou deux composants à haute résistance, élastomère première catégorie titulaire du label SNJF (cf. [C 3 660] et suivants, réf. [21]).

9.3 Joints antiacides

Les meilleures résistances aux acides sont obtenues avec les époxydes (pour des joints inertes car les époxydes sont rigides) ou les époxy-thiokol plus souples.

9.4 Boîtes de câbles électriques

Ces boîtes en fonte ou en plastiques enferment les raccords et dérivations de câbles électriques.

Afin d'isoler les épissures, on les noie dans une masse de polyuréthanes deux composants, étanche et isolante de l'électricité.

9.5 Pipe-lines, raffineries de pétrole et plates-formes pétrolières

Lorsque l'on exige une résistance aux huiles, carburants, produits pétroliers, on devra sélectionner les tous meilleurs mastics de calfeutrement et d'étanchéité : époxydes, époxy-thiokols, polyuréthanes spéciaux.