

# Étanchéité par revêtements de surface préfabriqués

par **Philippe COGNARD**

*Ingénieur de l'École supérieure de physique et chimie industrielle de la ville de Paris (ESPCI)*

*Expert près les tribunaux*

*Ancien Directeur à la société Bostik Findley*

<b>1. Définitions. Terminologie .....</b>	<b>C 3 555 — 2</b>
<b>2. Rôles et fonctions de l'étanchéité. Attaques subies par les ouvrages .....</b>	<b>— 3</b>
<b>3. Sollicitations auxquelles sont soumis les revêtements d'étanchéité .....</b>	<b>— 3</b>
3.1 Fissurations, mouvements des supports.....	— 3
3.2 Contraintes liées à l'utilisation des ouvrages.....	— 3
3.3 Contraintes climatiques .....	— 3
3.4 Contraintes dues à l'isolation thermique.....	— 3
<b>4. Caractéristiques des revêtements d'étanchéité .....</b>	<b>— 4</b>
4.1 Caractéristiques mécaniques.....	— 4
4.2 Caractéristiques physiques et chimiques .....	— 6
4.3 Classement FIT des revêtements d'étanchéité.....	— 7
4.4 Caractéristiques de mise en œuvre.....	— 7
<b>5. Procédés et produits d'étanchéité .....</b>	<b>— 8</b>
5.1 Matériaux d'étanchéité coulés ou en masse .....	— 8
5.2 Revêtements multicouches à base de bitumes oxydés (matériaux traditionnels normalisés).....	— 11
5.3 Revêtements à base d'associations bitumes-polymères .....	— 13
5.4 Revêtements monocouches minces et synthétiques ou membranes d'étanchéité .....	— 14
<b>6. Généralités sur les techniques de pose pour tous revêtements. ....</b>	<b>— 16</b>
<b>Application des revêtements d'étanchéité préfabriqués .....</b>	<b>C 3 556</b>
<b>Pour en savoir plus .....</b>	<b>Doc. C 3 557</b>
<b>Comparatif .....</b>	<b>Comp. C 3 558</b>

**L**es ouvrages de Bâtiment et de Travaux publics doivent être protégés de l'eau, non seulement parce que l'intérieur des bâtiments doit rester au sec, mais aussi parce que l'eau peut les dégrader de plusieurs façons : elle peut corroder les aciers de construction, faire perdre leur pouvoir aux isolants thermiques (mousses, laine de verre), détériorer les matériaux par le gel, provoquer des moisissures.

Par ailleurs, les réservoirs, cuvelages et bassins doivent être étanches vis-à-vis des liquides qu'ils contiennent (de l'eau le plus souvent, potable ou non).

Il faut donc étanchéifier les toitures, les murs ou façades et les fondations des bâtiments, les tabliers de ponts et les tunnels ou ouvrages enterrés, les bassins et réservoirs.



Il y a pour cela plusieurs techniques :

— on peut **imperméabiliser** ou **hydrofuger** les matériaux en les recouvrant de produits d'imperméabilisation (silicones, par exemple) ou en leur incorporant des hydrofuges de masse ;

— on peut **étanchéifier** les ouvrages de construction de plusieurs façons :

- soit en les recouvrant de revêtements en feuilles ou chapes préfabriquées en usine,
- soit en leur appliquant une couche de revêtement de type enduit, peinture ou résine, appliquée à l'état liquide et qui sèche et durcit ensuite.

Dans le présent article, nous ne nous intéresserons principalement qu'à la deuxième technique (**revêtements en feuilles et chapes**). Il sera consacré à la terminologie, aux règles d'étanchéité, aux différents types de produits et revêtements d'étanchéité ainsi qu'à leurs caractéristiques.

Un deuxième article [C 3 556] étudiera en détail les diverses applications des feuilles d'étanchéité, en toitures, toitures-terrasses, fondations et ouvrages d'art. Nous ne traiterons pas les étanchéités de cuvelages, réservoirs, bassins, tunnels et ouvrages enterrés, ni, non plus, le cas des façades.

Les lecteurs intéressés par les autres techniques de protection des ouvrages de Bâtiment et Travaux publics pourront consulter les diverses rubriques du traité Construction.

## 1. Définitions. Terminologie

La figure 1 montre un exemple d'étanchéité. Elle nous permet de définir les principaux termes qui seront utilisés dans cet article.

### ■ En toitures-terrasses et autres toitures :

— un **élément porteur** qui est, en général, du béton pour les toitures-terrasses, ou des panneaux en particules de bois pour les toitures en pente des maisons, ou des bacs en acier pour des usines et bâtiments préfabriqués ;

— éventuellement, un **écran d'indépendance**, qui sert à désolidariser le revêtement d'étanchéité de l'élément porteur, dont nous verrons le but au paragraphe 4.1.7 ;

— un **isolant thermique**, polystyrène expansé, mousse de polyuréthane ou autre, qui comportera en général un **pare-vapeur** afin d'empêcher l'eau de venir se condenser, selon les conditions climatiques, à l'intérieur de l'isolant, car alors cela pourrait provoquer la rupture de l'isolant en cas de gel ;

— le **revêtement d'étanchéité ou membrane**, qui est relevé en parties verticales (acrotères) ;

— une **protection rapportée**, qui peut être dure (dalles rigides, par exemple en béton) ou meuble (par exemple gravillons), sur les parties courantes horizontales, ou bien intégrée au revêtement ;

— une **autoprotection en relevés**.

### ■ En cuvelages, bassins ou ouvrages d'art

Le lecteur se reportera à la figure 1 pour les définitions et à l'article [C 3 556] concernant les applications.

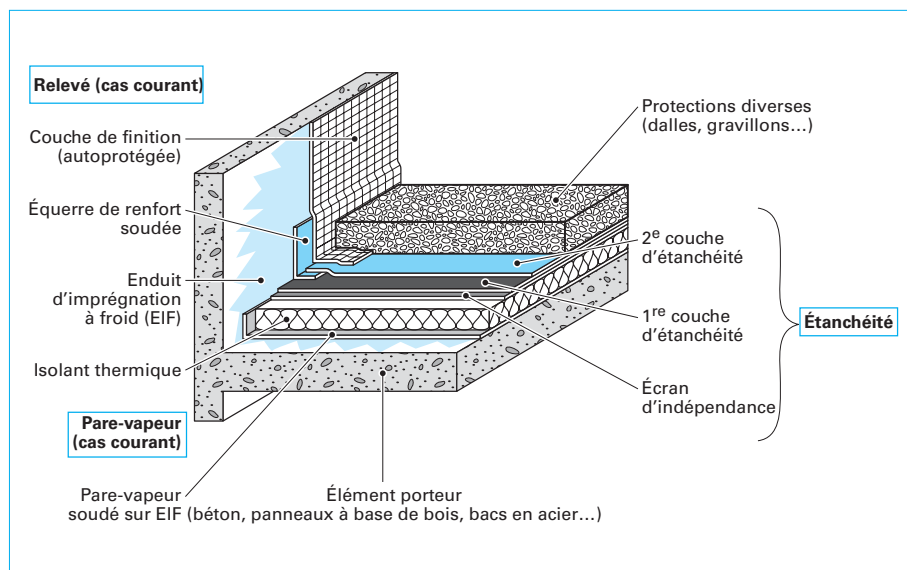


Figure 1 – Les différents constituants d'un système d'étanchéité



## 2. Rôles et fonctions de l'étanchéité. Attaques subies par les ouvrages

En Bâtiment, l'étanchéité a pour but d'empêcher la pénétration de l'eau dans l'ouvrage. Elle peut aussi empêcher le passage de la vapeur d'eau, mais ce rôle est tenu en général par le pare-vapeur.

Trois rôles différents peuvent être remplis par les revêtements d'étanchéité.

### ■ Pérennité des ouvrages

Il s'agit ici de protéger durablement, pendant toute la vie de l'ouvrage, celui-ci contre les dommages qui pourraient être faits à sa structure, et qui pourraient donc affecter sa solidité. Il faut en particulier, dans les domaines du Bâtiment et du Génie civil, protéger les structures en béton ou autres maçonneries contre une pénétration excessive des eaux (de pluie, du sol, agressives ou non), qui pourraient venir ensuite corroder les armatures en acier ou dégrader les panneaux de toiture en bois ; cela est plus important pour les ouvrages de Génie civil, qui doivent durer longtemps, par exemple plus de 100 ans pour un pont, un viaduc, un tunnel...

Dans certains cas, il faut aussi protéger la surface des ouvrages pour des raisons esthétiques, mais cela concerne surtout les façades dont l'aspect esthétique est important.

### ■ Protection du contenu intérieur du bâtiment

Dans le cas des bâtiments, on étanchéifie leur enveloppe, c'est-à-dire essentiellement les toitures, les façades et les fondations enterrées, afin que toutes les parties intérieures soient et restent au sec.

### ■ Maintien du contenu

Il s'agit ici d'empêcher le contenu (liquide) de traverser les parois qui doivent le retenir. On distingue différents cas : réservoirs d'eau potable (châteaux d'eau...), bassins contenant des produits nocifs ou gênants (stations d'épuration, bassins de rétention dans des usines chimiques) ainsi que les canaux et les égouts.

Dans le cas de liquides agressifs, il faut en plus protéger l'ouvrage lui-même contre ces agressions (fonction pérennité).

Cette fonction n'est pas étudiée dans cet article.

## 3. Sollicitations auxquelles les revêtements d'étanchéité sont soumis

### 3.1 Fissurations, mouvements des supports

#### 3.1.1 Cas le plus fréquent des supports en béton

Les causes des fissurations dans le béton sont diverses :

- variation des dimensions du support d'origine mécanique, par exemple déformation excessive de l'ouvrage, par suite de tassements différentiels du sol, des charges d'exploitation... ;
- retrait qui entraîne des ruptures par fissuration lors du séchage du béton ;
- variations dimensionnelles dues aux variations de température et d'humidité ;

— fluage du béton (déformation lente pendant plusieurs années après construction) sous l'effet des charges appliquées.

Les fissures peuvent être stabilisées ou bien au contraire vivantes, c'est-à-dire qu'elles peuvent continuer à varier dans le temps en fonction des mouvements de l'ouvrage ou des variations de température et d'humidité.

**Exemple** : les fissures de retrait commencent à se produire six mois après coulage du béton et se poursuivront en augmentant de largeur pendant les premières années, puis le retrait s'arrêtera mais ces fissures continueront à varier de dimensions en fonction des variations de température et d'humidité, et selon les mouvements relatifs des diverses parties de l'ouvrage.

#### 3.1.2 Cas des supports en bois, maçonnerie, bacs en acier

Ici ce sont les variations dimensionnelles de ces supports et matériaux qui doivent être tolérées par les revêtements d'étanchéité. Ce sont des éléments préfabriqués dont l'assemblage comporte des joints qui varient de dimensions en fonction des variations de température et d'humidité (panneaux de bois et bacs acier).

### 3.2 Contraintes liées à l'utilisation des ouvrages

Les ouvrages subissent éventuellement des sollicitations mécaniques :

- charges sur les terrasses accessibles aux piétons ou aux véhicules légers, sur les parkings en terrasses ;
- charges plus importantes sur certains ouvrages d'art (ponts et viaducs) ;
- dépressions dues aux vents (voir classement des climats dans le DTU 43) ;
- charge de la neige en régions montagneuses ou froides (voir classement des régions dans ce même DTU).

### 3.3 Contraintes climatiques

Les ouvrages subissent des variations de température. Les températures basses peuvent rendre cassants les produits bitumineux et asphaltiques, les températures élevées peuvent ramollir certains revêtements (bitume et asphalte à partir de 40 °C).

De plus, les variations dimensionnelles, de température, le soleil, l'eau, l'ozone, provoquent un vieillissement des matériaux avec pertes d'élasticité donc risques de fissurations.

C'est pourquoi le DTU 43 fournit un classement des climats (cf. [Doc. C 3 557]).

### 3.4 Contraintes dues à l'isolation thermique

Nous verrons lors de l'étude des étanchéités sur les toitures-terrasses, que le revêtement peut être posé sur un isolant thermique, en isolation traditionnelle, ce qui crée un risque de poinçonnement puisque le revêtement d'étanchéité est posé sur un support mou, et soumis à des variations de température et d'humidité, ce qui causera, à la longue, un vieillissement du matériau d'étanchéité.



Parfois, dans les systèmes dits de toiture inversée, l'isolant thermique est placé au-dessus du revêtement d'étanchéité et le protège alors des sollicitations mécaniques et des variations de température. Mais c'est alors l'isolant thermique qui est à proximité de l'eau, ce qui comporte d'autres inconvénients, l'eau et le gel pouvant l'endommager.

## 4. Caractéristiques des revêtements d'étanchéité

Nous verrons qu'il existe de nombreux produits d'étanchéité, des techniques diverses et des conditions d'emploi différentes.

Il en résulte que ces revêtements d'étanchéité nécessitent, pour être classés, la détermination d'une dizaine de caractéristiques : mécaniques, physiques, chimiques, de mise en œuvre et de durabilité.

### 4.1 Caractéristiques mécaniques

#### 4.1.1 Élasticité et plasticité des produits d'étanchéité

Les revêtements d'étanchéité, qu'ils soient destinés à l'emploi sur une toiture, une façade ou un tablier de pont, sont constitués d'une couche de matériau ou d'une membrane, appliquée sur un ouvrage non étanche par lui-même, et dont le but est d'en assurer l'imperméabilité à l'eau.

L'ouvrage support étant déformable, le revêtement doit pouvoir lui-même se déformer, sans se rompre, même s'il se produit des mouvements ; **un revêtement d'étanchéité doit donc être déformable.**

La propriété de déformabilité est d'ailleurs ce qui distingue les revêtements d'étanchéité des divers systèmes d'imperméabilisation : enduits étanches, produits bouche-pores, etc.

Un solide peut se déformer de deux manières :

- par déformation élastique ;
- par déformation plastique.

Les courbes de la figure 2 illustrent les différents cas de déformation, en fonction des contraintes mécaniques appliquées.

■ Dans le cas de la **déformation élastique**, le matériau revient à ses dimensions initiales lorsque l'on supprime la contrainte (figure 2 a et 2 b).

■ Dans le cas de la **déformation plastique**, au-delà d'un certain seuil, dit **seuil d'écoulement**, le matériau continue à se déformer de façon non proportionnelle aux contraintes appliquées et non réversible (figure 2 c et 2 d).

Cette déformation est de nature visqueuse ; elle est variable avec le temps ; le solide ne reprend pas sa forme après disparition de la contrainte.

#### 4.1.2 Module d'élasticité

Pour la plupart des matériaux, le début de la courbe « contrainte en fonction de l'allongement relatif » est linéaire.

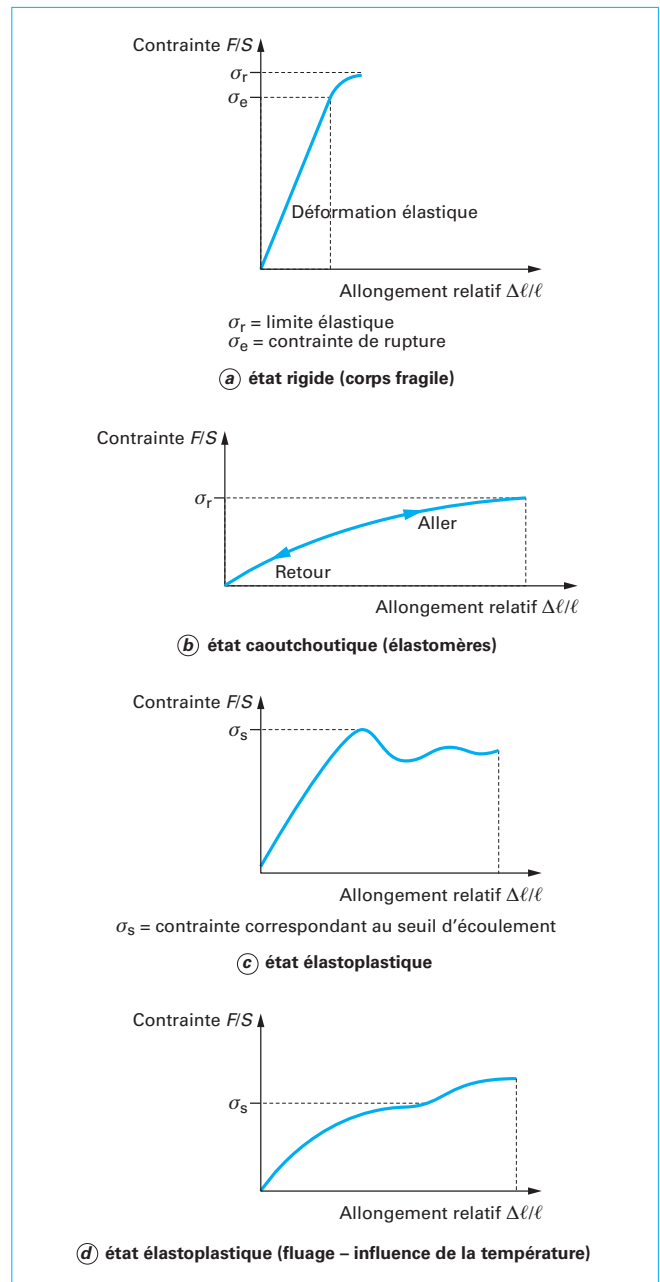


Figure 2 – Déformation d'un solide en fonction des contraintes mécaniques appliquées

On définit alors le **module d'élasticité  $E$**  comme étant le rapport :

$$E = \frac{F/S}{\frac{\Delta\ell}{\ell}} = \frac{\text{Contrainte}}{\text{Allongement relatif}}$$

Le module d'élasticité est mesuré en MPa.

Les matériaux qui présentent un module élevé sont dits **rigides** ; ceux qui ont un module faible sont dits **élastiques**.



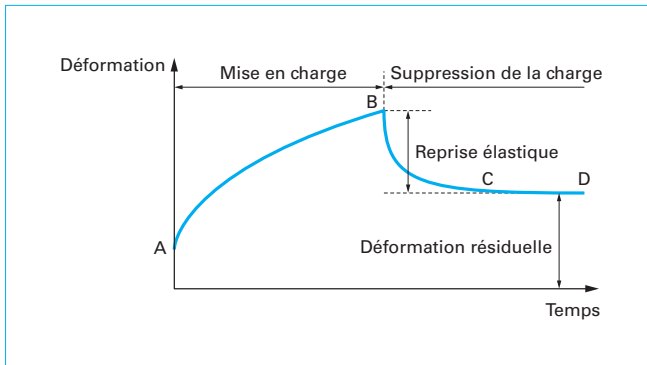


Figure 3 – Fluage et relaxation des contraintes (pour un produit élastoplastique)

#### 4.1.3 Reprise élastique

Lorsqu'on enlève la charge qui a provoqué l'allongement, le matériau peut revenir plus ou moins à sa longueur d'origine.

Nous avons vu que les matériaux élastiques reviennent à leur longueur d'origine.

Les matériaux plastiques ne reviennent que partiellement car ils fluient comme nous allons le voir ci-dessous.

#### 4.1.4 Fluage et relaxation des contraintes

Le test de fluage consiste à enregistrer l'allongement en fonction du temps **sous charge constante** (figure 3).

■ De A à B, l'éprouvette est sous une charge constante et elle s'allonge continuellement car (et si) le produit flue.

■ En B, on supprime la charge.

■ De B à C, l'éprouvette revient partiellement à sa longueur initiale mais pas complètement (car les molécules ont « glissé » les unes par rapport aux autres) ; il reste finalement une déformation résiduelle ; **cette déformation résiduelle mesure le fluage**.

La distance BC mesure, elle, la « **reprise élastique** ».

#### 4.1.5 Comportement d'un revêtement en cas de fissure dans le support

Il existe pour tout solide une **contrainte limite** que nous appelons la **contrainte à la limite d'élasticité**. Au-dessous de celle-ci, le solide ne subit que des déformations élastiques. Passé cette valeur, le solide se déforme dans son domaine plastique (ou élastoplastique).

On conçoit que cette valeur *limite* présente une grande importance pour connaître le comportement d'un revêtement déformable ; sera-t-il déformé dans un domaine élastique ou plastique ? L'important est que ne subsiste aucune déformation permanente après la disparition de la sollicitation ; les deux éventualités peuvent convenir.

Il semblerait, d'après ce qui précède, que le revêtement d'étanchéité qui présenterait la plus forte limite d'élasticité serait le meilleur ; or nous allons voir que cette conclusion est trop hâtive. En effet, pour concevoir un système d'étanchéité, il ne faut pas tenir compte seulement du revêtement, mais aussi du mode de liaison de celui-ci à son support.

On a démontré que, pour qu'une membrane déformable appliquée sur un support rigide, présentant lui-même une discontinuité

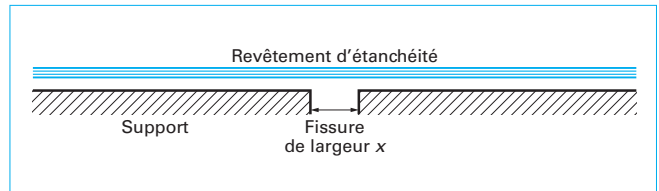


Figure 4 – Discontinuité ou fissure dans un support

(fissure) d'ouverture variable (figure 4), reste dans son domaine élastique, il faut que la valeur de  $x$  correspondant à ce mouvement soit telle que :

$$x \leq K \frac{MA}{\varphi}$$

avec	A	allongement à la limite d'élasticité de la membrane, mesuré en traction,
	M	effort correspondant par unité de largeur, mesuré dans la membrane lorsqu'elle a atteint l'allongement A,
	$\varphi$	force par unité de surface que transmet le système de fixation choisi (force de frottement dans le cas de systèmes indépendants, force de viscosité dans le cas de collage visqueux),
	K	constante qui varie suivant le mode de fixation ; si l'on prend comme valeur $\varphi$ moyen, on trouve : $K = 1$ en système indépendant (feuille de revêtement non collée au support) ; $K = 2/3$ en système collé.

#### 4.1.6 Classement des revêtements d'étanchéité selon leurs limites d'élasticité

De tous les facteurs qui conditionnent la valeur de la fissure  $x$ , dans la formule :  $x = K(MA/\varphi)$ , seule la valeur de A, allongement à la limite d'élasticité, est caractéristique du système de revêtement choisi :

- on peut faire varier  $M$  en jouant sur les armatures, comme nous le verrons plus loin ;
- on peut aussi faire varier  $K/\varphi$ , en attachant plus ou moins solidement le revêtement au support.

La valeur de la limite d'élasticité de la membrane imperméable détermine la limite d'élasticité du revêtement tout entier.

La limite d'élasticité du produit déformable qui compose le revêtement d'étanchéité est donc la caractéristique choisie pour classer les différents matériaux existants.

Nous en donnons donc le classement d'après la limite d'élasticité obtenue en traction des différents types de membranes utilisés.

■ **1<sup>re</sup> famille** : revêtements dont l'allongement à la limite d'élasticité est très faible et qui se déforment pour des contraintes très faibles dans leur *domaine visqueux*.

**Exemple** : type asphalte coulé. Ces produits anciens et peu performants sont de moins en moins utilisés sauf en Travaux publics.



■ **2<sup>e</sup> famille** : revêtements dont l'allongement à la limite d'élasticité se situe entre :

$$0,2 \% < A < 2 \%$$

**Exemple** : type multicouches à base de bitumes oxydés [feutres ou chapes collés à l'EAC (enduit d'application à chaud, à base de bitume permettant de coller à chaud les chapes de bitume ou d'asphalte et certains isolants)].

■ **3<sup>e</sup> famille** : revêtements dont l'allongement à la limite d'élasticité se situe entre :

$$2 \% < A < 20 \%$$

**Exemple** : revêtements dont la membrane est constituée de polypropylène-bitume ou APP-bitume (A pour atactique).

■ **4<sup>e</sup> famille** : revêtements dont la membrane est constituée de mélanges d'élastomères et de bitumes, dits bitumes modifiés élastomères (SBS : copolymères blocs butadiène-styrène) ou d'élastomères plus ou moins vulcanisés ou de certains plastomères :

$$A > 20 \%$$

**Exemple** : type membranes à base de SBS - bitume (à plus de 7 % de SBS), à base de caoutchouc butyl, de feuilles de PVC...

■ **5<sup>e</sup> famille** : revêtements constitués d'élastomères purs :

$$A > 40 \%$$

**Exemple** : types membranes à base d'*Hypalon®*, de caoutchouc EPDM (terpolymère d'éthylène, de propylène et d'un diène), de caoutchouc butyl vulcanisé.

Nous verrons plus loin aux paragraphes 4.2 et suivants qu'il y a aussi d'autres caractéristiques à considérer pour le choix des revêtements d'étanchéité en feuilles.

#### 4.1.7 Cas des revêtements d'étanchéité collés au support

Dans un tel cas, l'apparition d'une fissure, même fine, provoque un allongement très grand du revêtement situé en face de cette fissure, puisque l'on passe de 0 à une valeur finie non nulle.

La figure 5 montre ce qui se passe alors lors des variations de largeur de la fissure en fonction des variations de température et d'hygrométrie, dans le cas d'un revêtement à faible reprise élastique.

On conçoit qu'au bout de quelques années la petite portion de revêtement en face de la fissure finira par casser sous l'effet de ces allongements et contractions répétés et très élevés en pourcentage, et de la fatigue qui en résulte pour le matériau.

#### 4.1.8 Résistance à la perforation, à l'indentation, aux chocs

Selon les cas, les revêtements d'étanchéité peuvent être :

- soit protégés par divers systèmes : dalles, gravillonnage... Ils peuvent alors supporter un certain trafic ;
- soit laissés nus ; dans ce dernier cas, ils ne doivent pas alors être soumis à un trafic qui les endommagerait (cf. § 4.3 Classement FIT). La résistance à l'indentation est mesurée par divers tests (cf. normes NF EN 1426, NF P 84-352 en [Doc. C 3 557]).

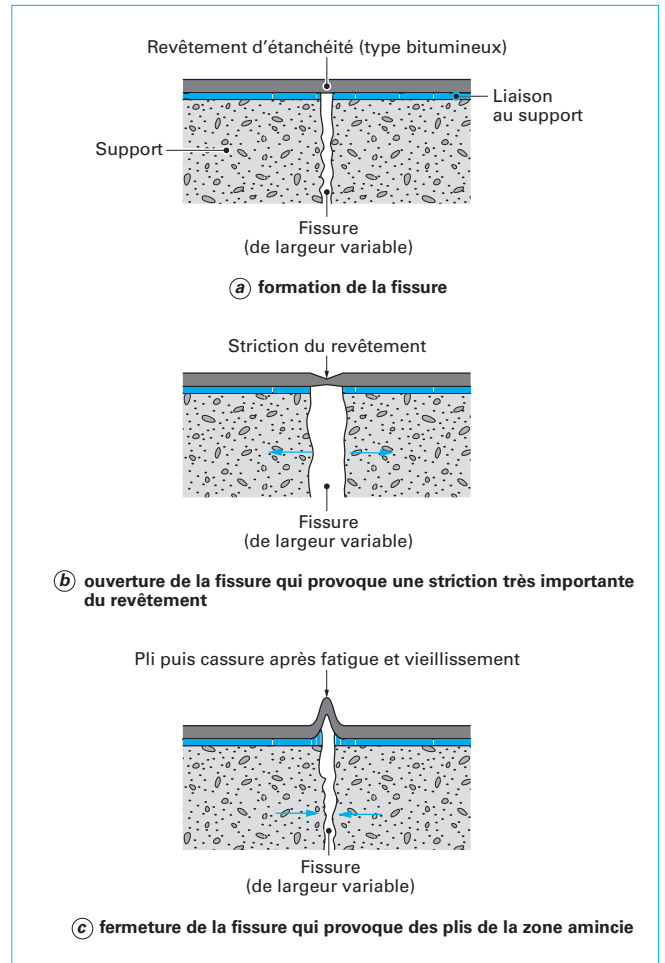


Figure 5 – Fonctionnement d'un revêtement à reprise élastique insuffisante (asphalte, bitume) au droit d'une fissure

## 4.2 Caractéristiques physiques et chimiques

### 4.2.1 Adhérence sur les supports de base

D'après ce que nous avons vu aux paragraphes 4.1.5 et 4.1.7, dans certains cas le revêtement d'étanchéité peut adhérer au support et dans d'autres cas, plus fréquents, il ne doit pas adhérer (**pose dite « en indépendance »**).

Certaines chapes à base de bitume ou d'asphalte ou de bitume SBS peuvent adhérer à chaud sur les matériaux du bâtiment qui ont reçu au préalable une couche d'imprégnation à chaud (EAC) ou à froid (EIF).

D'autres revêtements : feuilles de caoutchouc, de plastiques (PVC...) doivent être :

- soit collés sur les supports avec un adhésif, en particulier dans le cas des toitures en pente ou des surfaces verticales, ou de dépressions dues à des vents forts ;
- soit posés libres (en indépendance) pour pouvoir jouer / se déformer librement car, dans ce deuxième cas, le matériau d'étanchéité subit des déformations bien moindres puisque c'est alors toute sa surface qui est sollicitée.



## 4.2.2 Étanchéité

L'étanchéité des revêtements est mesurée par une épreuve de mise en eau comme suit.

Sur prescription des documents particuliers du marché, il sera effectué, à l'achèvement des travaux, une épreuve d'étanchéité par terrasse, qui sera sanctionnée par un procès-verbal.

Les épreuves d'étanchéité des toitures-terrasses en béton sont effectuées par mise en eau. On établit le niveau à 0,05 m au-dessous de la partie supérieure du point le plus bas des relevés.

Il y a lieu de veiller à ce que la charge d'eau ainsi créée ne dépasse pas celle admise pour les calculs de résistance (les documents particuliers du marché indiqueront la hauteur d'eau admissible).

Ce niveau est maintenu 24 h au minimum. L'obstruction des entrées d'eaux pluviales doit se faire par un système permettant d'évacuer les eaux lorsque le niveau dépasse celui prévu (par suite d'une pluie soudaine par exemple).

La vidange de l'eau est faite progressivement pour éviter tout reflux dans les colonnes d'évacuation. Aucune fuite ne doit apparaître, tant en sous-face de la terrasse que dans un mur ou une cloison.

(En cas d'ambiguïté sur la provenance d'humidité, on pourra la lever en refaisant les épreuves à l'aide d'eau teintée.)

La norme allemande DIN 16734 (norme générale sur les revêtements d'étanchéité) mesure la résistance à la pression d'eau et exige une étanchéité à 2 bar durant 24 h.

## 4.2.3 Résistance à l'eau

Les revêtements d'étanchéité doivent évidemment résister à l'eau liquide pendant toute leur durée de vie puisqu'ils supportent la pluie, la neige, les flaques d'eau stagnantes et les joints entre lés doivent rester totalement étanches.

## 4.2.4 Résistance aux cycles thermiques à la chaleur

Le lecteur se reportera au classement FIT au paragraphe 4.3. Les catalogues techniques des fabricants indiquent les classements FIT.

## 4.2.5 Résistance à l'oxydation, aux rayons UV au soleil

Cette résistance varie selon la nature chimique des produits : faible pour les produits à base d'asphalte, bien meilleure pour les matériaux élastomères.

## 4.2.6 Durabilité

Elle est variable selon la nature chimique des revêtements et selon les sollicitations climatiques : elle est comprise entre 20 ans pour les revêtements traditionnels (bitume, asphalte) et 50 ans pour les revêtements modernes les plus performants : EPDM, bitume-SBS à hautes teneurs en élastomère SBS, PVC plastifié...

## 4.2.7 Caractéristiques dimensionnelles et d'aspect

Citons l'épaisseur des revêtements (comprise entre 1 et 20 mm selon les produits), la masse au m<sup>2</sup> (comprise entre 1,2 et 25 kg/m<sup>2</sup>), l'aspect des revêtements de surface (grésé, ardoisé, feuilles d'aluminium, de cuivre...), les dimensions des rouleaux.

## 4.2.8 Résistance au feu

La réglementation « feu » française est complexe et nous ne pouvons pas la détailler ici. On se reportera aux divers textes de référence cités dans « Pour en savoir plus » [Doc. C 3 557].

Nous nous bornerons aux indications suivantes.

■ **Le comportement au feu des matériaux est apprécié selon 3 critères** [1] :

— la **réaction au feu** : on classe les matériaux en M0 incombustible, M1 combustible non inflammable, M2 difficilement inflammable, M3 moyennement inflammable et M4 facilement inflammable ;

— le **comportement au feu** (propagation du feu) ;

— la **résistance au feu**, c'est-à-dire l'aptitude des éléments de construction à conserver leur rôle isolant au feu durant le temps nécessaire à l'évacuation et à la lutte contre l'incendie.

■ **En ce qui concerne les couvertures**, il y a de nombreuses réglementations selon que les bâtiments sont à usage d'habitation, des établissements recevant du public (ERP) ou bien des immeubles de grande hauteur (IGH) [2] [3].

Les réglementations et normes aussi que les méthodes d'essais sont données dans « Pour en savoir plus » [Doc. C 3 557].

## 4.3 Classement FIT des revêtements d'étanchéité

Le classement FIT (F comme Fatigue, I comme Indentation (poinçonnement), T comme Température) est un classement **performantiel** des revêtements d'étanchéité de toitures de partie courante, constitués d'une ou plusieurs couches assemblées pour assurer la fonction étanchéité (tableau 1).

Ce classement, basé sur les principaux critères cités ci-dessus, ne se substitue pas aux Avis techniques, mais les complète dans le but d'aider les maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre à **choisir des systèmes d'étanchéité adaptés** aux sollicitations auxquelles ils seront soumis.

Il ne s'applique pas actuellement aux revêtements fixés mécaniquement. Établi pour des utilisations en France métropolitaine, il peut par extension s'appliquer aux pays européens dont les conditions climatiques sont reconnues comme analogues.

Ce classement, qui ne comporte que 3 paramètres, ne suffit pas pour tout connaître sur le revêtement considéré. Les fiches techniques des fabricants indiquent les classements FIT.

Nous verrons dans l'article [C 3 556] quelles sont les exigences minimales en fonction des supports et des travaux à réaliser.

## 4.4 Caractéristiques de mise en œuvre

Les caractéristiques les plus importantes sont (figure 6) :

— le mode de fixation du revêtement d'étanchéité sur le support (indépendance, fixation mécanique, soudure en plein, collage...) ;

— les températures de mise en œuvre pour les asphaltes, le point de fusion des asphaltes ;

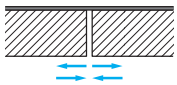
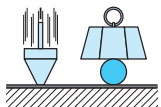
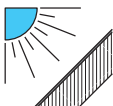
— les températures de soudure pour toutes les chapes soudées et également pour les membranes d'étanchéité assemblées par soudure ;

— les masses au mètre carré des divers matériaux d'étanchéité et leurs épaisseurs ;

— les conditions de réalisation des joints entre feuilles (soudure à chaud, utilisation d'un adhésif, réactivation au solvant...).



Tableau 1 – Classement FIT des revêtements d'étanchéité

Schéma de l'essai	Mise en œuvre et caractéristiques (1)
<b>Classement F de résistance à la fatigue</b>	
	L'essai conventionnel, conforme aux « Directives générales UEAtc », consiste à soumettre un revêtement d'étanchéité, adhérent à un support fissuré, à des cycles de variation de largeur de fissure. Il caractérise l'endurance du revêtement d'étanchéité aux mouvements alternés d'un support, y compris à basse température (jusqu'à -20 °C), et après vieillissement. Selon le degré d'endurance, la lettre F du classement est affectée d'un indice croissant de 1 à 5 (F1 à F5) : (1 = minimum, 5 = maximum) (cf. § 4.1.5).
<b>Classement I de résistance à l'indentation (poinçonnement)</b>	
	Le revêtement d'étanchéité est soumis à 2 séries d'essais : • poinçonnement statique (bille) (cf. norme P 84-352) • poinçonnement dynamique (poinçon) (cf. norme P 84-353) La combinaison des résultats de ces 2 essais permet d'affecter la lettre I du classement d'un indice croissant de 1 à 5 (I1 à I5).
<b>Classement T de tenue à la température (résistance au fluage)</b>	
	L'essai conventionnel consiste à soumettre le revêtement d'étanchéité, adhérent à un support incliné à 45°, à une forte chaleur (jusqu'à +90 °C), et à mesurer son glissement (ou son absence de glissement) sous l'effet de la chaleur. Selon la tenue du revêtement d'étanchéité, la lettre T du classement sera affectée d'un indice croissant de 1 à 4 (T1 à T4).

(1) UEAtc : Union européenne pour l'agrément technique dans la construction.

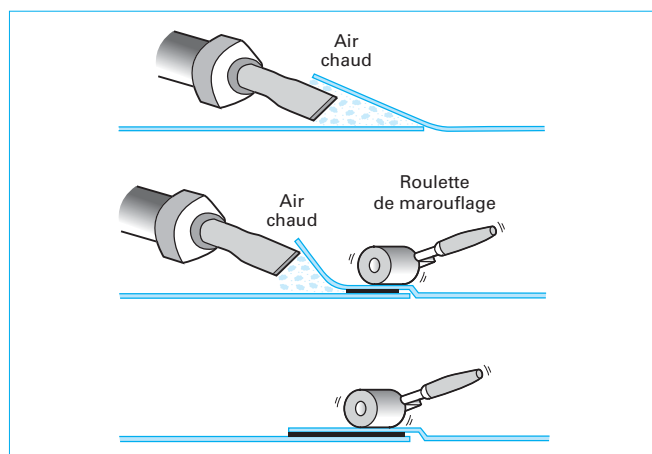


Figure 6 – Exemple de mise en œuvre de membranes d'étanchéité

## 5. Procédés et produits d'étanchéité

### 5.1 Matériaux d'étanchéité coulés ou en masse

#### 5.1.1 Asphalte

##### 5.1.1.1 Asphalte naturel

L'asphalte est le plus souvent un produit naturel. C'est une roche sédimentaire, généralement calcaire, imprégnée de bitume naturel natif, que l'on trouve dans certaines régions du globe.

La norme NF B 13001 spécifie que :

- la teneur minimale en bitume est de 6 % de la masse de la roche d'asphalte, riche en asphaltène ;
- la teneur en  $\text{CO}_3\text{Ca}$  est de 90 % au minimum.

L'asphalte naturel présente une excellente résistance au vieillissement : certaines étanchéités de toitures-terrasses ont ainsi résisté au vieillissement plus de 40 ans.

##### 5.1.1.2 Asphalte coulé

L'asphalte sert de matière première pour la préparation de produits d'étanchéité à base d'asphalte :

- asphalte coulé ;
- asphalte sablé (généralement sablé en surface).

##### ■ Définition

L'asphalte coulé est le plus traditionnel et le plus anciennement connu des matériaux d'étanchéité en France et dans plusieurs pays européens (Suisse, Grande-Bretagne, Espagne, République fédérale d'Allemagne) dans les domaines du Bâtiment (toitures-terrasses).

La norme NF EN 12970 définit les asphaltes comme un terme générique qui englobe l'ensemble des produits constitués par un mélange :

- d'un mastic (liant bitumineux et poudre d'asphalte naturel ou fines) ;
- d'un squelette minéral (granulats 0/6, 6/10, 10/14, en proportion variable).

Ces produits, parfaitement pleins, sont appliqués par coulage à chaud, sans nécessité de compactage.

L'asphalte peut être aussi synthétique ; il est obtenu en mélangeant un liant bitumineux (résidus de distillation pétroliers) avec une poudre d'asphalte naturel et des granulats minéraux (fillers calcaires ou autres).



### ■ Constituants des asphaltes coulés pour étanchéité

Les différents constituants, variables dans leur dosage suivant les types d'asphaltes considérés sont : l'asphalte naturel, le bitume d'ajout, les fines et les granulats.

#### ● Asphalte naturel

Ce matériau de base, dont le rôle est fondamental, a été défini au paragraphe 5.1.1.1.

#### ● Bitume d'ajout

Le pourcentage de bitume naturel résultant de l'introduction de poudre d'asphalte naturel est complété par un apport de bitume de pétrole (et éventuellement de bitume naturel) pour l'obtention de teneurs finales en bitume, dont le maximum est de 23 % (asphaltes purs étanchéité).

#### ● Fines (encore appelées fillers)

Dans les formulations d'asphaltes coulés pour travaux d'étanchéité, les fines ne sont tolérées que pour certains types de compositions (certains asphaltes pour étanchéité d'ouvrages d'art et protections d'étanchéité sur toitures-terrasses, cf. norme NF EN 12970).

Les fines sont obtenues par le broyage de roches sédimentaires généralement calcaires. (Les fines d'origine autre que calcaire sont réservées à la fabrication des asphaltes antiacides.)

Les fines entrant dans la composition des asphaltes coulés sont constituées par un agrégat fin dont 100 % des éléments passent au tamis de 80 µm.

Les fines aptes à la réalisation des asphaltes coulés satisfont aux conditions suivantes :

- masse volumique :  $\geq 2,6 \text{ kg/m}^3$  ;
- pourcentage de vides Rigden : 32 à 38 % ;
- volume apparent dans le toluène : 10 à 20.

#### ● Granulats : sables et gravillons

Les granulats entrant dans la composition des asphaltes coulés sont toujours définis par le rapport  $d/D$  de deux seuils granulaires où  $d$  et  $D$  sont respectivement la plus petite et la plus grande dimension des grains.

Pour les fabrications d'asphaltes coulés dont  $D \geq 6 \text{ mm}$ , les granulats sont obligatoirement approvisionnés en au moins deux fractions :

- **sables** : les sables peuvent être classés en deux catégories :
  - sable fin : de 0,08 à 0,2 mm,
  - sable gros : de 0,2 à 2 mm.

Ils proviennent soit de dépôts naturels, soit du concassage de roche.

- **gravillons** : la granularité de ces agrégats s'étale en général de 2 à 10 mm.

Le choix s'opère parmi les gravillons de roche dure, propre et de bonne forme, tels les porphyres et les diorites.

Les gravillons concassés de calcaire dur ou de quartz sont imposés pour certaines formules, notamment celles relatives aux couches de protection où l'on recherche à la fois leur dureté et une bonne adhésivité du bitume.

Les agrégats de lit de rivière, tels que silicocalcaires ou mignonnette, conviennent parfaitement pour les matériaux de protection d'étanchéité.

### 5.1.1.3 Divers types d'asphaltes pour étanchéité

Les asphaltes utilisés pour les revêtements d'étanchéité sont :

- l'asphalte pur étanchéité ;
- l'asphalte sablé étanchéité (cf. § 5.1.1.2) ;
- l'asphalte gravillonné étanchéité.

Ils sont définis dans la norme NF EN 12970.

- **Asphalte pur étanchéité**

L'asphalte pur étanchéité est obtenu par mélange à chaud de poudre d'asphalte naturel avec du bitume naturel, du bitume issu de la distillation du pétrole ou un mélange des deux.

Dans les deux cas, la teneur en bitume pur (soluble dans le sulfure de carbone) doit être au minimum de 16 % en masse du produit à l'application.

Selon la destination de l'étanchéité à réaliser (toitures-terrasses, terrasses-jardins, terrasses-parkings, cuvelages, ouvrages d'art), il est possible d'agir sur la résistance au poinçonnement du produit fini.

On distingue trois types principaux d'asphalte pur.

- **Asphalte pur étanchéité**, principalement utilisé pour l'imperméabilisation des toitures-terrasses de bâtiments (complexe type 5 mm + 15 mm).

*Formule type (en masse) :*

- poudre d'asphalte naturel 86 % ;
- bitume 40/50 d'ajout 14 %.

- **Asphalte pur spécial étanchéité**, utilisé pour l'étanchéité de terrasses-parkings et ouvrages d'art (complexe type 5 mm + 15 mm + 20 mm).

*Formule type :*

- poudre d'asphalte 87 % ;
- bitume 40/50 12 % ;
- adjuvant (copolymère) 1 %.

- **Asphalte pur caoutchouc**, utilisé surtout pour l'étanchéité des ouvrages d'art.

*Formule type :*

- poudre d'asphalte 86,4 % ;
- bitume 40/50 13 % ;
- poudre de caoutchouc (non vulcanisé) 0,6 %.

**Nota :** l'expression « complexe - type 5 mm + 15 mm + 20 mm », par exemple, indique les épaisseurs des diverses couches appliquées successivement dans certains systèmes.

### ■ Asphalte sablé étanchéité

L'asphalte sablé étanchéité constitue un élément des complexes d'étanchéité, en assurant protection de la première couche en asphalte pur (figure 7).

L'asphalte sablé étanchéité est un mélange d'asphalte pur, de sables ou de gravillons, ou un mélange des deux.

*Formule type :*

- poudre d'asphalte naturel  $> 50 \%$  ;
- bitume  $> 11 \%$  ;
- sable  $\approx 35 \%$ .

### ■ Asphalte gravillonné étanchéité

Employé pour les revêtements de protection des complexes d'étanchéité des terrasses-parkings et terrasses-jardins, il est fabriqué avec les mêmes constituants que l'asphalte sablé étanchéité.

Le pourcentage et la dimension des gravillons varient suivant l'épaisseur et la nature des revêtements à réaliser, leur plus grande dimension ne devant pas être supérieure à la moitié de l'épaisseur du revêtement.

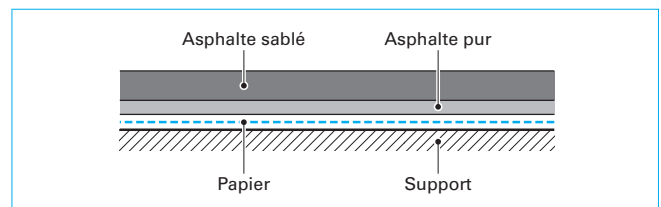


Figure 7 – Système traditionnel pour toiture-terrasse, à base d'asphalte



#### 5.1.1.4 Principe et champ d'application des revêtements à base d'asphalte en étanchéité

Alors que d'autres revêtements présentent une limite d'élasticité beaucoup plus élevée et peuvent donc subir des déformations dans leur domaine élastique, ces mêmes déformations ou efforts, même faibles, s'opèrent, dans le cas de revêtements à base d'asphalte, dans le domaine plastique (déformations visqueuses).

Cette propriété entraîne des avantages :

- disparition des cicatrices (plis, craquelures, etc.) causées au revêtement par le mouvement du support, par le simple écoulement lent ;
- disparition des contraintes après un mouvement.

Mais elle entraîne aussi des inconvénients (cf. figure 5).

Elle nécessite donc de prendre certaines précautions :

- revêtements posés seulement en indépendance ;
- utilisation seulement sur les pentes faibles ;
- revêtements épais (5 mm + 15 mm), donc assez lourds ;

Ces revêtements conviennent donc :

- pour l'étanchéité des toitures ou surfaces à faible pente ;
- de préférence dans le cas où les mouvements sont lents (supports à forte masse) ;
- pour l'étanchéité dans les Travaux publics (ouvrages d'art...) où le bas prix de l'asphalte permet de l'utiliser en fortes épaisseurs.

L'étanchéité en asphalte coulé s'utilise donc sur les ouvrages suivants :

- ponts en béton armé ou précontraint ;
- ponts à charpente métallique et tablier en béton ;
- ponts métalliques ;
- tranchées couvertes ;
- parkings et ouvrages enterrés.

Nous étudierons certaines de ces applications dans l'article [C 3 556].

À noter qu'il existe aussi des procédés mixtes : chapes préfabriquées + asphalte coulé (avec adhérence totale de la chape).

Les produits d'étanchéité à base d'asphalte se fondent dans des fonderis ou pétrins à 200-250 °C et sont appliqués à chaud sur chantier.

#### 5.1.1.5 Caractéristiques techniques des asphaltes (point de fusion, dureté, indentation)

Elles dépendent essentiellement du bitume qu'ils contiennent et de ses proportions. Comme on l'a vu précédemment, la norme NF EN 12970 définit les différentes qualités d'asphalte, pur et gravillonné ; mais les asphaltes sont également codifiés par le fascicule 10 du Cahier des charges de l'Office des asphaltes, qui distingue les asphaltes pur AP4 et AP3, l'asphalte gravillonné AP3 et l'asphalte monocouche (cf. article [C 3 556]).

### 5.1.2 Bitumes

#### 5.1.2.1 Composition

Les bitumes sont des mélanges, plus ou moins bien définis, d'hydrocarbures de masses molaires élevées, aliphatiques, aromatiques ou naphthéniques. Ils proviennent de la distillation du pétrole.

Les étanchéités à base de bitume sont en général réalisées en colant sur chantier, à l'aide de bitume chaud (appelé enduit d'application à chaud ou EAC), des feuilles préfabriquées en usine comprenant une armature (de carton, de feutre ou de toile de verre) enrobée d'une masse bitumineuse. Ce n'est donc pas simplement une masse d'étanchéité coulée comme dans le cas de l'asphalte utilisée en Travaux publics.

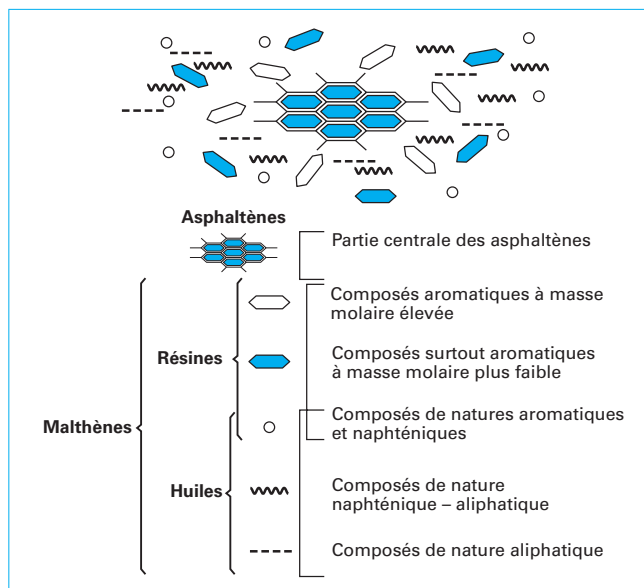


Figure 8 – Constitution physico-chimique des bitumes

L'utilisation, comme solvant sélectif, d'un hydrocarbure léger en grand excès permet de fractionner un bitume en deux parties :

- la partie dissoute (les *malthènes*) a l'aspect d'une huile visqueuse de couleur foncée ;
- la fraction précipitée (les *asphaltènes*) est constituée par des corps de masses molaires très élevées, se présentant sous la forme d'une substance solide et noirâtre (figure 8).

Il n'y a pas de discontinuité entre malthènes et asphaltènes, le fractionnement obtenu dépendant du solvant employé.

Les malthènes se comportent comme un fluide parfaitement visqueux (fluide newtonien). La présence des asphaltènes confère aux bitumes des propriétés caractéristiques de l'état colloïdal.

Les asphaltènes ont tendance à absorber la fraction aromatique la plus lourde des malthènes et forment ainsi des corpuscules complexes (les *micelles*) qui sont en suspension dans une phase continue formée par les malthènes de basse molaire (cf. figure 7).

Si les huiles aromatiques sont en grande quantité, les micelles sont mobiles et le bitume est à l'état « sol ». S'il n'y a pas assez d'aromatiques, les micelles s'agglomèrent et le bitume se trouve à l'état « gel ».

La phase sol correspond à une tendance visqueuse, la phase gel à une tendance élastique. Le même bitume peut passer d'un état sol à un état gel et réciproquement (température, rayonnement). C'est donc un corps élastoplastique qui est très collant, insensible à la plupart des produits chimiques, assez bon isolant et, ce qui est important pour l'étanchéité, insensible à l'eau.

#### 5.1.2.2 Caractéristiques des bitumes

##### ■ Pénétrabilité

La pénétrabilité représente, exprimée en dixièmes de millimètre, l'enfoncement dans un échantillon de bitume, au bout d'un temps de 5 s, d'une aiguille type dont la masse avec son support et, éventuellement, avec une charge additionnelle, est de 100 g.

Elle est en général mesurée à 25 °C selon la norme NF EN 1426.

##### ■ Point de ramollissement

Les bitumes n'ont pas de point franc de fusion, leur consistance décroît progressivement lorsque la température s'élève. On déter-



mine le point de ramollissement par la méthode bille et anneau (NF EN 1427). Une bille d'acier est placée sur un petit disque de bitume contenu dans un anneau de métal. L'ensemble est chauffé à vitesse constante. Le point de ramollissement « bille et anneau » (Tba) est la température à laquelle le poids de la bille imprime à l'échantillon une déformation verticale définie.

Plus un bitume est dur, plus son point de ramollissement est élevé.

#### ■ Ductilité

Cet essai consiste à mesurer l'allongement selon la norme NF EN 13398, à l'instant précis de sa rupture, d'une éprouvette de forme déterminée que l'on étire à une vitesse de 50 mm à la minute, et à une température de 25 °C.

#### ■ Propriétés rhéologiques et mécaniques

On mesure le module d'Young ou module d'élasticité comme indiqué précédemment au paragraphe 4.1.2.

Ce module varie en fonction de plusieurs paramètres :

- la consistance du bitume ;
- la susceptibilité thermique du bitume ;
- le temps de charge pour lequel se fait la détermination du module d'élasticité ;
- la température à laquelle se fait la détermination du module.

Ces quatre grandeurs ont été associées dans les trois paramètres suivants :

- la différence entre la température à laquelle sont évalués le module d'élasticité et la température de ramollissement, « bille et anneau » du bitume ;
- l'indice de pénétrabilité du bitume ;
- la durée d'application de l'effort.

#### ■ Tension superficielle

La tension superficielle varie assez peu avec la variété de bitume considéré. En pratique, les valeurs moyennes sont les suivantes :

- à 25 °C : 33 dyne/cm ;
- à 100 °C : 29 dyne/cm ;
- à 150 °C : 26 dyne/cm.

**Nota** : on rappelle qu'une dyne =  $10^{-5}$  N.

La tension superficielle joue sur l'étalement et le mouillage des supports par le bitume.

#### ■ Point Frass

Il caractérise la fragilité aux basses températures.

#### 5.1.2.3 Provenances

##### ■ Bitumes naturels

Le monde recèle les gisements les plus divers, dont une grande partie est sans doute encore inconnue.

Le principal bitume naturel couramment utilisé, en particulier en France et en Europe (Grande-Bretagne, République fédérale d'Allemagne, Suisse), est le bitume naturel de Trinidad.

Extrait d'un gisement situé dans l'île de Trinidad (Antilles) et commercialisé après traitement sous le nom de *Trinidad* épuré, ce bitume est connu pour la remarquable constance de ses composants et pour sa propriété de conférer aux matériaux bitumineux une très bonne tenue dans le temps et une résistance accrue à la fissuration aux basses températures. Ses caractéristiques principales sont :

- solubilité dans le sulfure de carbone : 55 % ;
- pénétration à 25 °C : 2 ;
- point de ramollissement *bille et anneau* : 95 °C.

Les bitumes naturels ne sont guère utilisés en étanchéité.

#### ■ Bitumes de pétroles

Les bitumes sont fabriqués industriellement à partir des pétroles bruts d'où l'on extrait, au préalable, les fractions les plus légères. De la partie restante, constituée par des huiles visqueuses, on sépare un bitume de la dureté désirée. Certaines qualités sont fabriquées par :

- **oxydation** plus ou moins poussée d'une base bien choisie ; cette opération, qui s'effectue dans une installation spéciale où l'on insuffle de l'air à travers la masse de bitume chauffée à 260 °C environ, a pour effet de relever le point de ramollissement et de diminuer la sensibilité à la chaleur ;

- **désasphaltage** de certaines bases lourdes en traitant le distillat au moyen d'un solvant sélectif (phénol ou propane) ; on obtient ainsi des bitumes plus durs.

Pour la réalisation des asphaltes et des chapes d'étanchéité, on utilise généralement les bitumes de pénétration 40/50, 80/100, 180/220.

Les bitumes soufflés ou oxydés constituaient auparavant la base des matériaux d'étanchéité préfabriqués (multicouches ou monocouches), mais ils sont maintenant remplacés par les **bitumes modifiés** (par adjonction d'élastomères ou autres) qui sont plus souples, élastiques, et présentent un bien meilleur vieillissement.

#### 5.1.2.4 Mise en œuvre

La mise en œuvre des produits bitumineux est réalisée par collage à l'EAC (enduit d'application à chaud, base bitumineuse) ou bien par soudure à la flamme dans le cas des bitumes modifiés (cf. article [C 3 556]).

L'intérêt des bitumes, comme de l'asphalte, est leur faible coût au kilogramme ou en volume, ce qui leur permet d'être appliqués en fortes épaisseurs pour garnir d'éventuels défauts de surface des maçonneries : désaffleurements, supports non plans, comme c'est le cas par exemple en Travaux publics.

## 5.2 Revêtements multicouches à base de bitumes oxydés (matériaux traditionnels normalisés)

### 5.2.1 Principe

Le composant déformable de la membrane étanche de ce type de revêtement est constitué de **bitume oxydé**.

Ce produit présente un allongement à la limite d'élasticité se situant entre 0,2 et 1 %. Il provoque donc le classement des revêtements qui l'utilisent dans la deuxième famille (de 0,2 à 2 %, cf. § 4.1.6).

Ces revêtements, ou les matériaux qui les composent, doivent donc être conçus pour que, dans les conditions de service, les déformations qu'ils subissent soient toujours inférieures à la limite d'élasticité. Passé cette limite, les déformations deviennent irréversibles, et ils ne peuvent retrouver, comme le ferait l'asphalte, leur forme primitive par fluage.

Pour concevoir les revêtements de ce type, on applique les données exposées au § 4.1.5 :  $x \leq K(MA/\varphi)$ .

Pour admettre **une fissure x la plus grande possible**, il faut :

- **MA** grand ; pour cela on placera une armature (ou plusieurs), dans le revêtement ; la valeur de **M** sera conférée au revêtement par la somme des valeurs de **M** des armatures qui le composent (en première approximation) ; les matériaux se différencient donc entre eux par les armatures qu'ils contiennent ;
- $\varphi$ , représentant la force de liaison du revêtement sur son support, le plus faible possible ; les matériaux peuvent présenter sur



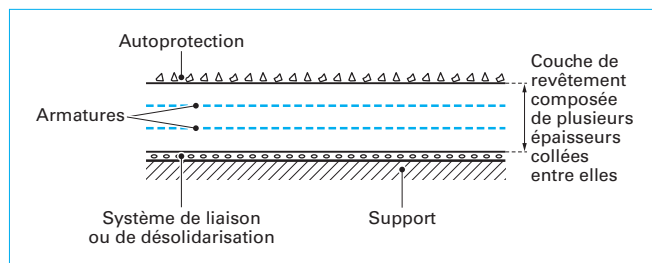


Figure 9 – Divers constituants d'un revêtement d'étanchéité multicouche

l'une de leurs faces un système destiné à améliorer le glissement de la première couche (dispositifs antiadhérents) ;

— enfin, les propriétés des matériaux employés doivent se conserver après vieillissement et, pour cela, les revêtements en place doivent être protégés ; cette protection peut être *rapportée*, après coup, sur chantier ; lorsqu'elle est préfabriquée, elle est portée par le matériau en surface du revêtement : celui-ci est alors dit *autoprotégé*.

La figure 9 présente ces divers constituants.

## 5.2.2 Description des matériaux

Les matériaux existants sont classés en deux catégories :

- les feutres bitumés ;
- les chapes de bitume armé.

Ils sont désignés dans chaque famille par la **masse du rouleau**.

Les feutres bitumés doivent être conformes aux normes suivantes :

NF P 84-302 Feutres bitumés à armature en carton feutre (CF), type 36 S au moins.

NF P 84-313 Feutres bitumés à armature en voile de verre à haute résistance (36 S VV-HR)

NF P 84-315 Feutres bitumés à double armature en polyester et voile de verre (36 S PY-VV)

### 5.2.2.1 Feutres et chapes

■ Les **feutres** existent en qualités 27, 36 et 45.

Ces chiffres représentent la masse du rouleau de 20 m<sup>2</sup>, compte non tenu du *sablage* et du mandrin.

Seuls les feutres 36 sont couramment prescrits par les règlements.

Les chiffres caractéristiques ci-dessus sont en général suivis de la lettre S (36 S) pour les distinguer des feutres I qui ne sont plus employés en étanchéité.

■ Les **chapes** existent en qualité : 30, 40 et 50.

Ces chiffres représentent la masse d'un rouleau de 10 m<sup>2</sup>, compte non tenu du *sablage*, de l'autoprotection et du mandrin.

La chape 40 est la plus couramment utilisée.

■ Les **feutres et les chapes** peuvent être livrés avec, sur une face, soit un système antiadhérent, soit une autoprotection.

Les chapes sont appelées « bitumes armés » dans le DTU 43-1.

### 5.2.2.2 Armatures

■ **Armatures des feutres**

● **Feutres cellulosiques**

Le feutre cellulosique ne peut être utilisé tel quel pour servir d'armature au bitume oxydé, il doit au préalable être imprégné

(NF P 84-302). On utilise, pour cette imprégnation, un bitume de qualité 80/100.

La masse de feutre brut doit être de :

- pour le feutre 36 S : 400 g/m<sup>2</sup> ;
- pour le feutre 27 S : 300 g/m<sup>2</sup> ;
- pour le feutre 45 S : 450 g/m<sup>2</sup>.

● **Feutres de verre**

Les feutres de verre de 50 et 60 g/m<sup>2</sup> n'existent qu'en qualité 36 (NF P 84-307) et (NF P 84-313).

● **Feutres avec voile de verre haute résistance**

■ **Armatures des chapes ou de bitumes armés**

Ces produits doivent être conformes aux normes en vigueur.

● **Chape souple de bitume armé à armature en toile de jute (TJ) ou tissu de verre (TV) (NF P 84-301)**

On utilise :

- de la toile de jute de 280 g/m<sup>2</sup> pour les chapes 40 et 50 ou de la toile de 235 g/m<sup>2</sup> pour une chape 30 ;
- du tissu de verre de 50 g/m<sup>2</sup> (NF P 84-303).

● **Chape à double armature**

On utilise :

- soit un tissu de verre renforcé de 280 g/m<sup>2</sup> doublé d'un voile de verre de 50 g/m<sup>2</sup> pour les chapes à haute résistance (50 TV-VV-HR) (NF P 84-312) ;
- soit un tissu de verre de 52 g/m<sup>2</sup> doublé d'un voile de verre pour les chapes 40 TV-VV (NF P 84-311).

● **Chape souple de bitume armé à armature en voile de verre de 95 g/m<sup>2</sup> (40 VV) (NF P 84-314)**

● **Chape souple de bitume armé à armature en tissu de verre autoprotégé par feuille métallique thermostable (TV-th) (NF P 84-316)**

● **Chape à double armature polyester et voile de verre (NF 84-315)**

Pour plus de précision, on se reportera aux DTU 43-1, 2, 3 et 4 et aux différentes normes citées en [Doc. C 3 557].

### 5.2.2.3 Dispositifs antiadhérents

La face inférieure des matériaux en feuille (feutres ou bitumes armés) peut comporter un dispositif destiné à éviter l'adhérence du revêtement sur son support lorsque celui-ci doit être posé en indépendance.

Les systèmes admis sont :

- les granules de liège ou minéraux, collés en usine à la surface de la feuille destinée à être posée en première couche ;
- le papier kraft crêpé collé comme ci-avant ;
- ou bien une feuille d'aluminium.

On peut également, ou en association, utiliser des systèmes autonomes dans le même but :

- le feutre de verre 100 g/m<sup>2</sup> ;
- ou bien un papier spécial.

Ces *écrans* sont placés sur le support avant la pose de la première couche.

#### Exemple : feutre bitumé sous-façé perforé

Le feutre bitumé type 36 S VV-HR, conforme à la norme NF P 84-313, peut se présenter sous la forme « perforée ». Les perforations sont circulaires et régulièrement réparties. La face, en contact avec le support, est surfaçée par une couche de granules de liège.

En l'attente d'une normalisation, les caractéristiques actuelles sont les suivantes :

- dimensions des granules de liège : 1 à 4 mm ;
- diamètre des perforations : 40 mm ± 1 mm ;
- nombre de perforations au m<sup>2</sup> : 120 environ.



### 5.2.2.4 Dispositifs de protection de surface

Ce peut être :

- une protection rapportée après la pose ; dans ce cas, la dernière couche du revêtement ne comprend aucune protection ;
- une autoprotection, portée par le matériau lui-même, qui sera placée en couche de surface telle que :

- **granulés minéraux :**

- ardoise broyée 0,5 kg/m<sup>2</sup>,
- granulés minéraux, éventuellement teintés : 0,8 à 1,2 kg/m<sup>2</sup> ;

- **feuilles de métal :**

- aluminium épaisseur 0,08 mm,
- cuivre recuit, épaisseur 0,08 mm,
- acier inoxydable, épaisseur 0,05 mm.

Des **matériaux accessoires** peuvent aussi être utilisés :

- une **impression bitumineuse** à froid ou EIF (enduit d'imprégnation à froid) : dissolution ou émulsion de bitume ;
- un **enduit d'application à chaud** ou EAC : bitume oxydé de qualité 85/25, 90/40 ou 100/40 ; depuis la généralisation de l'emploi des supports isolants, on utilise la qualité 100/40 ou 110/30.

### 5.2.2.5 Matériaux les plus couramment utilisés dans les règlements français (DTU 43)

- **Produits accessoires :**

- EIF dissolution à froid de bitume ;
- EAC bitume oxydé, au moins 100/40 ;
- écran antiadhérence par voile de verre ou papier spécial.

- **Feutres :**

- 36 S VV-HR (NF P 84-313) ;
- carton feutre CF (40 CF).

- **Chapes :**

- chape 40 TV noire (NF P 84-303) ;
- chape 40 TV autoprotégée par métal (NF P 84-303) ;
- chape feutre 40 VV autoprotégée par granulé minéral.

- **Chapes renforcées :**

- chape 50 TV-VV-HR (tissu 280 g).

- **Matériaux pour relevés, chéneaux, caniveaux :**

- bitume armé 50 TV ; chape souple de bitume armé à armature en tissu de verre (TV), conforme à la norme NF P 84-303, en épaisseur minimale de 3,5 mm pour les produits avec film thermofusible, 3,7 mm pour les produits avec grésage ;
- bitume armé 50 TV-VV-HR ; chape souple de bitume armé à haute résistance, à double armature en tissu de verre et voile de verre (TV-VV-HR), en épaisseur minimale de 3,5 mm pour les produits avec film thermofusible, 3,7 mm pour les produits avec grésage ;
- bitume armé 50 TV-th ; chape souple de bitume armé à armature en tissu de verre, autoprotégé par feuille métallique thermostable (TV-th) conforme à la norme NF P 84-316, en épaisseur minimale de 3,5 mm pour les produits avec film thermofusible, 3,7 mm pour les produits avec grésage.

## 5.3 Revêtements à base d'associations bitumes-polymères

Ces matériaux, apparus à partir de 1975, plus performants que ceux que nous avons étudiés précédemment, tendent à les remplacer plus ou moins complètement.

Ils sont à base de bitumes modifiés par adjonction de caoutchouc SBS le plus souvent et, dans quelques cas rares, par adjonction de polypropylène atactique ou de copolymères d'oléfin.

Ces revêtements, plus récents, ne sont pas normalisés. Ils font l'objet d'avis techniques du CSTB, auxquels on se reportera pour plus de précisions.

### 5.3.1 Revêtements à base de bitume modifié par le polypropylène atactique ou des copolymères d'oléfin

Les revêtements obtenus à partir des produits de cette 3<sup>e</sup> famille (cf. § 4.1.6) rappellent, par leur conception, ceux de la 2<sup>e</sup> famille (multicou-ches), mais ils sont plus souples. À noter certaines différences.

■ Ils présentent, eux aussi, une **armature**, mais le choix de celle-ci diffère. En effet, pour armer un corps déformable, dont l'allongement à la limite d'élasticité est de 2 à 20 %, il faut utiliser une armature présentant au moins cette élasticité. Certaines armatures réduisent cette élasticité.

L'armature de verre ne convient plus et est placée dans le matériau dans le seul but d'en diminuer les dilatations. Elle doit être faible pour céder lors des déformations. On utilise des voiles à faible résistance.

Le rôle véritable d'armature est alors apporté par des renforts à base de polyesters en non tissé, tissu ou feuille.

■ Les matériaux à base d'APP-bitume **ne se collent pas au bitume fondu**. Par contre ils se soudent très bien. Ils sont donc fixés par soudure (en général au chalumeau).

■ Le liant des mélanges APP-bitumes présente une **forte valeur de la contrainte à la limite d'élasticité**  $\sigma_e$  en fonction de l'allongement  $A$  (cf. § 4.1.5) :

- bitume oxydé :  $A = 0,5 \%$  ;  $\sigma_e = 25 \text{ g/cm}^2$  à 20 °C ;
- APP-bitume :  $A = 4 \%$  ;  $\sigma_e = 2 800 \text{ g/cm}^2$  à 20 °C.

Le rôle de l'armature, qui est d'augmenter  $M$ , est donc moins grand pour ce type de matériaux puisque le liant apporte une plus grande collaboration.

■ L'allongement à la limite d'élasticité de ce type de produit étant plus élevé que celui des bitumes, les revêtements s'accommodent d'une pose en adhérence.

■ Ces matériaux à base d'APP-bitume **sont remplacés, en France** depuis 10 ans, **par des revêtements bitumes-SBS** plus performants. Cependant ils sont encore utilisés très largement dans d'autres pays européens.

### 5.3.2 Revêtements à base de bitume modifié par des élastomères SBS (styrène-butadiène séquencé)

- **Principe**

Les membranes déformables à base de mélanges de bitume et de styrène-butadiène séquencés (SBS) sont classées dans la quatrième famille avec les membranes élastomères et les produits présentant une forte valeur de l'allongement à la limite d'élasticité, qui est ici de 10 à 50 % selon les compositions de ces revêtements.

Le polymère SBS se caractérise par le fait que les deux monomères styrène et butadiène, au lieu d'être répartis dans la molécule polymérisée sans loi particulière (dans ce cas on aurait affaire à un polymère *statistique*) sont groupés par *blocs* : bloc de polystyrène, bloc de polybutadiène. Les blocs B apportent l'élasticité, les blocs S constituent les points de liaison entre les chaînes.

Ces deux éléments ont donc chacun leur rôle.

Le bitume ajouté à ce réseau élastique en remplit les mailles :

- les composants de nature non cyclique servent de plastifiant aux « ressorts » de B ;



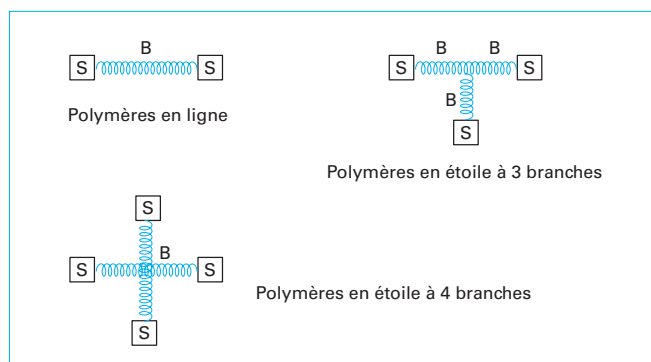


Figure 10 – Rôle des copolymères SBS

— les composants aromatiques et les asphaltènes du bitume gonflent et plastifient les parties S.

Le choix d'une composition de bitume est donc de première importance.

Les polymères SBS sont utilisés dans les matériaux d'étanchéité en trois variétés (figure 10).

Ces trois variétés présentent la propriété commune de « fournir » une *limite d'élasticité*. En effet les blocs S se rassemblent, fixant ainsi les ressorts par leur extrémité. Le produit ne peut plus fluer sans rompre ces *liaisons*.

#### ■ Différents types de revêtements

On distingue 2 types de revêtements :

— les revêtements à faible teneur en élastomère SBS qui se comportent comme des bitumes améliorés.

**Exemple :** *Sopralène* de Soprema.

Ces revêtements sont cependant fortement armés ;

— les revêtements à forte teneur en élastomère SBS employés le plus souvent en 2 couches.

**Exemple :** *Hyrène* de Axter, *Paradiène* de Siplast, *Meps* de Meple (liste non exhaustive).

Nous fournissons en [Doc. C 3 557], à titre d'exemple unique, les caractéristiques de deux revêtements du commerce : *Hyrène TS* et *Parastar*. De nombreux autres fournisseurs et produits sont indiqués en [Doc. C 3 557] « Pour en savoir plus » et dans le comparatif [Comp. C 3 558].

Ces revêtements souples d'étanchéité constituent maintenant plus de la moitié des étanchéités de toitures-terrasses.

Leur mise en œuvre, que nous étudierons dans l'article suivant [C 3 556], peut se faire soit par collage avec un EAC ou EIF, soit avec un écran d'indépendance, soit encore avec un système adhérent.

Les joints et découpes sont soudés au chalumeau. Ils sont proposés sur le marché français par plusieurs sociétés : Axter, Meple, Siplast, Smac Acieroid, Soprema (cf. [Doc. C 3 557]).

La figure 11 montre un de ces types de revêtements bitume-élastomère renforcé par une grille de verre.

## 5.4 Revêtements monocouches minces et synthétiques ou membranes d'étanchéité

C'est la famille la plus récente, apparue à partir de 1975.

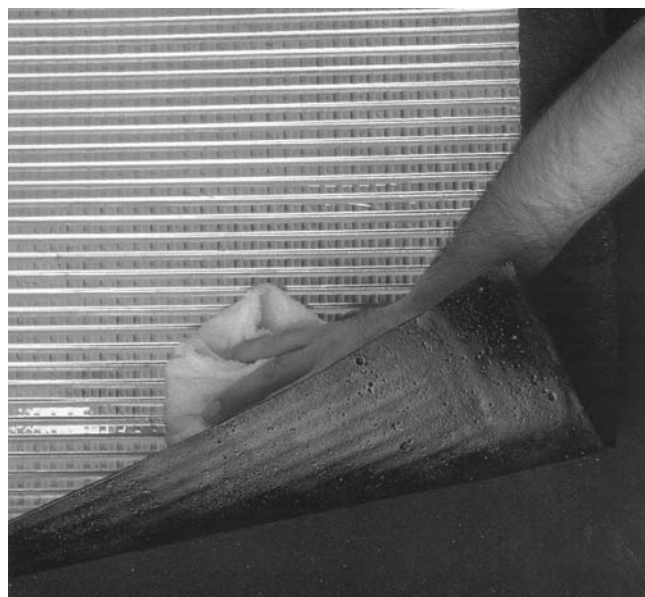


Figure 11 – Revêtement d'étanchéité à base de bitume élastomère SBS renforcé par une grille de verre

### 5.4.1 Composition

Ces membranes minces sont de 2 types.

#### ■ Feuilles de polymères thermoplastiques

Ce sont surtout des feuilles de PVC, mais aussi de polyéthylène chloré, de polyisobutène et autres copolymères.

● **Les membranes en PVC plastifié (PVC-P)** sont le plus souvent armées avec un voile ou un tissu de verre ou une grille en polyester pour assurer une bonne stabilité dimensionnelle.

(Les membranes sans armatures ni sous-faces ne peuvent pas être utilisées pour constituer le revêtement d'étanchéité, ni en parties courantes ni en relevés ; elles ne sont employées que pour l'habillage des points particuliers.)

Elles offrent un allongement assez élevé, une très bonne souplesse à froid et une bonne durabilité.

Ces feuilles calandrées sont mises en œuvre par soudure à l'air chaud ou au solvant, ou bien peuvent être collées sur toute leur surface dans le cas de toitures en pente ou si l'on s'attend à des dépressions importantes dues au vent.

Quelques fabricants peu nombreux les commercialisent sur le marché français : Alkor, Sarnafil et Sika-Trocal.

#### ● Autres plastomères utilisés

Ce sont :

- les polyéthylènes chlorés (CPE), par exemple *Alkorflex* ;
- les copolymères éthylène-bitume (ECB) compatibles avec le bitume et collés à l'EAC (seul fournisseur HT Troplast AG Allemagne).

Ces 2 dernières familles sont très peu utilisées.

Ces membranes thermoplastiques sont uniquement utilisées :

- en toitures en pente où elles doivent alors être collées sur toute leur surface ;
- en Travaux publics pour les ouvrages enterrés (cuvelages, tunnels) et les bassins et réservoirs de stockage ou de retenue, mais que nous n'étudions pas dans cet article (cf. référence [3]).



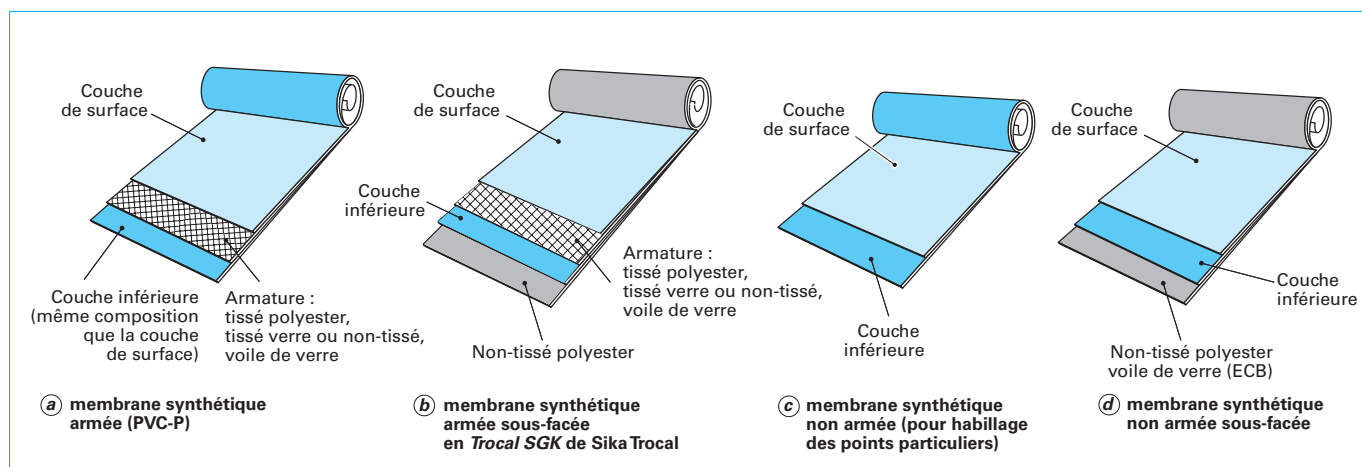


Figure 12 – Divers types de membranes synthétiques

### ■ Feuilles d'élastomères de diverses natures chimiques

Elles sont :

- soit vulcanisées en usine comme l'EPDM (éthylène-propylène-diène-monomère), le caoutchouc butyl ;
- soit non vulcanisées comme le polyéthylène chlorosulfoné (marque *Hypalon* de Du Pont), le polyisobutène, le caoutchouc butadiène-acrylonitrile (NBP), etc.

● **Les polyisobutènes** se présentent en rouleaux d'épaisseurs comprises entre 1 et 2 mm.

Leur résistance à la rupture atteint 40 bar pour un allongement à la rupture de l'ordre de 300 à 400 %.

La limite d'élasticité est de 20 à 25 bar pour un allongement de 25 %.

Ils entrent donc dans la 4<sup>e</sup> famille du paragraphe 4.1.6.

Ils ont un domaine plastique important et offrent une excellente résistance au vieillissement. Ils peuvent donc être posés soit en indépendance sous protection, soit en adhérence ou semi-adhérence, comme nous le verrons dans l'article [C 3 556] dédié aux principales applications.

● **L'EPDM** est une molécule totalement saturée ; il est vulcanisé en usine, sa résistance aux intempéries, à l'eau et à l'ozone est pratiquement illimitée.

Il présente une grande résistance à la traction et au poinçonnement et un allongement à la rupture atteignant 400 %. Il peut être mis en œuvre soit par lestage, soit par collage en plein ou encore par ancrage mécanique.

Les seuls fournisseurs actuels de membranes EPDM sont Firestone (importé des USA), Giscosa (Espagne).

● **Le caoutchouc butyl** se présente également en rouleaux d'une feuille homogène, d'épaisseur comprise entre 1 et 1,5 mm, de largeur 1 à 2 m, ou en nappes plus grandes préfabriquées en usine.

Après vulcanisation, il ne présente aucune liaison chimique libre et est donc très résistant au vieillissement.

Il peut être posé suivant deux techniques : indépendance monocouche lestée ou posé en adhérence par collage sur toute sa surface (le monocouche est alors apparent).

Nous étudierons les techniques de pose au paragraphe 5.4.3.

Les membranes à base d'élastomères vulcanisés sont infusibles et ne peuvent donc pas être soudées. Elles doivent donc être assemblées et fixées sur le support soit par un adhésif soit par des fixations mécaniques.

Ces membranes synthétiques sont constituées de feuilles préfabriquées souples, réalisées à base de « hauts polymères » de synthèse, auxquelles peuvent être incorporés un certain nombre d'adjuvants tels que plastifiants, stabilisants, pigments..., ainsi que des armatures de renfort.

### 5.4.2 Différentes méthodes de production et armatures

Ces membranes sont obtenues par les quatre modes de fabrication suivants (selon nature chimique) [4] :

- calandrage (par exemple pour le PVC) ;
- enduction ;
- calandrage et vulcanisation (par exemple pour l'EPDM) ;
- extrusion.

Elles peuvent être **non armées** ou **armées** (dans ce dernier cas, elles sont associées à une armature qui peut être minérale ou synthétique, tissée ou non).

Elles sont livrées sous forme de rouleaux de largeurs et longueurs différentes selon les fabricants. Leur épaisseur nominale est la plupart du temps comprise entre 1,2 et 3 mm, et leur masse est donc beaucoup plus faible que pour les chapes à base de bitume que nous avons étudiées précédemment.

La figure 12 montre la constitution des divers types de membranes synthétiques.

### 5.4.3 Propriétés et techniques de pose

Toutes ces membranes thermoplastiques ou élastomères sont plus onéreuses que les matériaux d'étanchéité cités dans les paragraphes précédents et, de plus, doivent être collées sur toute leur surface le plus souvent, ou soigneusement jointoyées entre feuilles par soudure ou collage (cf. tableau 2 des techniques de pose).

Elles sont donc plutôt utilisées, en raison de leur excellente résistance chimique, pour des bassins de rétention (antipollution – décharges contrôlées, réservoirs chimiques), mais aussi pour des toitures en pente.

Étant monocouches, ces membranes ne peuvent garantir une étanchéité parfaite que si les assemblages des joints sont totalement fiables et solides : il faut donc une main-d'œuvre très qualifiée et respecter les systèmes d'assemblages préconisés par les fabricants et les Avis techniques (cf. figure 7).



**Tableau 2 – Techniques de pose des membranes/ assemblages**

Types de produits	Thermosoudure	Solvant
PVC plastifié	oui	oui
CPE (polyéthylène chloré)	oui	oui
PIB (polyisobutène)	non	oui
ECB (copolymère éthylène-bitume)	oui	non
EPDM (éthylène-propylène-diène-monomère)	non	oui

#### 5.4.4 Fournisseurs. Avis techniques

Ces diverses feuilles d'étanchéité sont fabriquées par compoundage des divers constituants, puis calandrage à chaud, enduction ou extrusion et proposées par diverses sociétés telles que Alkor, Sika Trocal et Sarnafil pour le PVC, Giscosa (Espagne) et Firestone pour l'EPDM.

Elles font l'objet d'Avis techniques du CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment) puisqu'il s'agit de matériaux non traditionnels et les membranes PVC font l'objet d'un nouveau cahier des prescriptions techniques fin 2004.

#### 5.4.5 Caractéristiques techniques

Leurs caractéristiques techniques dépendent évidemment de la nature du matériau de base, qui peut être :

- soit plastique, donc avec une déformabilité limitée (10 à 20 %) mais beaucoup plus grande que les produits bitumineux, une très bonne souplesse et élasticité à froid, une parfaite étanchéité à l'eau, une bonne durabilité (de l'ordre de 20 ans au moins en exposition aux intempéries) ;

- soit élastomère, donc avec une déformabilité beaucoup plus grande, une excellente reprise élastique après allongement, permettant de bien ponter les fissures du gros œuvre, une durabilité encore meilleure que les plastiques, une excellente résistance à l'eau et aux produits chimiques, mais aussi un prix plus élevé.

Pour connaître leurs performances mécaniques, physiques et chimiques, les lecteurs devront se reporter aux fiches techniques des

fabricants et aux Avis techniques qui sont émis par le CSTB ou l'UEAtc puisque ces membranes, très diverses en compositions et performances, ne sont pas normalisées mais font l'objet d'Avis techniques uniquement.

Nous donnerons quelques exemples de caractéristiques dans l'article [C 3 556], à titre indicatif uniquement, pour voir comment elles se comportent par rapport aux revêtements bitume-élastomère.

## 6. Généralités sur les techniques de pose pour tous revêtements

Nous n'entrerons pas ici dans les détails, car les techniques de pose dépendent essentiellement de la nature physique (à chaud ou à froid) et chimique (bitumineux, bitume modifié, membranes plastomères ou élastomères) et nous en avons déjà dit quelques mots dans les paragraphes précédents.

Nous listerons simplement ci-dessous les principaux points à examiner pour la pose :

- l'étanchéité doit-elle adhérer sur toute la surface du support (exemple toitures inclinées) ou simplement en quelques points (cas général des toitures terrasses) ? (pose adhérente ou pose en indépendance ou semi-indépendance ?)
- comment et où sont réalisées les fixations (mécaniques...) ?
- y a-t-il un pare-vapeur et comment est-il réalisé ?
- comment est mise en œuvre l'isolation thermique (isolation sous étanchéité ou isolation inversée) ?
- comment sont réalisés les joints entre les lés ou bandes pour les matériaux préfabriqués (soudure, collage) ?
- comment sont réalisés les relevés et les points singuliers (descentes d'eaux pluviales et joints de dilatation) ?
- l'étanchéité est-elle apparente ou bien protégée, et éventuellement lestée, circulaire, etc. ?
- comment est réalisée la protection ?
- cas particulier des réfections de l'étanchéité (sur ancien support, ancienne étanchéité) ?

Ces divers points seront étudiés dans l'article [C 3 556] « Applications » et sont toujours précisés de façon très détaillée dans les Avis techniques, auxquels nous renvoyons nos lecteurs, dans les règles professionnelles et dans les DTU (cf. [Doc. C 3 557]).