

# Fenêtres et portes extérieures bois

## Remplissages. Profils d'étanchéité

par **Marcel DENANCÉ**

*Ingénieur ESB, Expert Menuiserie - Panneaux au Centre technique du bois  
et de l'ameublement*

<b>1. Remplissages</b>	C 3 613 - 2
1.1 Éléments opaques	— 2
1.1.1 Fonctions	— 2
1.1.2 Composition	— 2
1.1.3 Mise en œuvre	— 2
1.2 Éléments transparents	— 4
1.2.1 Verres simples	— 5
1.2.2 Verres feuilletés	— 5
1.2.3 Verres isolants	— 5
1.3 Mise en œuvre du vitrage	— 6
1.3.1 Calage	— 6
1.3.2 Drainage des feuillures à verre	— 7
1.3.3 Dimensionnement de la feuillure à verre	— 7
1.3.4 Calfeutrement. Pose du vitrage	— 9
<b>2. Profils d'étanchéité</b>	— 10
2.1 Profils d'étanchéité ouvrant-dormant	— 11
2.1.1 Généralités	— 11
2.1.2 Pouvoir de compensation	— 11
2.1.3 Réaction à la déformation	— 11
2.1.4 Stabilité linéaire	— 12
2.1.5 Qualification des profils	— 12
2.1.6 Spécifications	— 13
2.2 Profils de liaison fixe	— 13

**F**enêtres et portes extérieures participent au clos du bâtiment. Elles le font grâce à leurs parois et à leur liaison entre ouvrant et dormant.

Les parois assurent, si elles sont opaques, une intimité complète ou, si elles sont transparentes (vitrages), une intimité partielle. Ces parois ont besoin d'un châssis pour les supporter, elles en constituent les éléments de remplissage. Les performances de clos (résistance au vent, thermique, acoustique) sont d'autant meilleures que le remplissage est choisi de manière adaptée au besoin et qu'il est mis en œuvre de manière appropriée.

La liaison ouvrant-dormant a vu ses performances de clos fortement améliorées par la mise en œuvre de profils d'étanchéité. Le bon comportement dans l'ouvrage dépend des performances des profils d'étanchéité et de leur pérennité. Il convient donc de les évaluer.

La rubrique « Fenêtres et portes extérieures » se compose des articles suivants :

- Fonctions de base et terminologie [C 3 610] ;
- Conceptions des profils de la liaison ouvrant-dormant [C 3 611] ;
- Techniques d'assemblage [C 3 612] ;
- Remplissages. Profils d'étanchéité [C 3 613] ;
- Mise en œuvre [C 3 614] ;
- Rôle thermique. Choix du bois [C 3 615] ;
- Stabilité des portes extérieures et portes-fenêtres [C 3 616].

# 1. Remplissages

Il s'agit d'éléments mis en œuvre dans les cadres soit en rainure (lors du cadrage), soit en feuillure comme un vitrage (technique recommandée), après cadrage du châssis (sauf éléments mis en œuvre en tiroir).

On distingue les éléments **opaques** et les éléments **transparents**.

## 1.1 Éléments opaques

Ils sont mis en œuvre soit dans des parties fixes des dormants, soit dans les soubassements des portes-fenêtres (exceptionnellement, ils occultent complètement les vantaux).

### 1.1.1 Fonctions

Ils en assurent essentiellement deux :

- isolation (mise en œuvre d'âmes en mousse pouvant conduire à une résistance thermique comparable à celle d'un mur) ;
- sécurité contre la chute des personnes pour les allèges de panneaux menuisés montés dans les niveaux au-dessus du rez-de-chaussée et pour lesquelles une protection par garde-corps n'est pas prévue (la résistance à une énergie d'impact de 900 J avec un corps de choc mou de 50 kg est alors prescrite et l'ossature doit être plus rigide c'est-à-dire présenter une flèche de 1/300 au plus, sous une pression  $p_3$  au plus égale à 1200 Pa).

### 1.1.2 Composition

La composition de ces éléments peut être très diverse :

- Éléments de remplissage sous avis technique ou non, composés le plus souvent ainsi :
  - parois en matériaux divers (fibrociment, métal, stratifiés haute densité, contreplaqué...) ;
  - âme isolante (mousse de polyuréthane, de polystyrène, de PVC...).
- Éléments de remplissage traditionnels typiquement composés ainsi :
  - paroi extérieure de contreplaqué NF-CTBX ou de stratifié haute densité ;
  - lame d'air ventilée d'au moins 10 mm ;
  - isolant ;
  - paroi intérieure en contreplaqué.
- Éléments de remplissage monoblocs :
  - mousse de PVC avec peau ;
  - contreplaqué NF-CTBX ;
  - bois massif.

#### Remarques :

- Les panneaux de particules à liant organique ou MDF, même résistant à l'humidité (panneau de particules CTB-H ou panneau CTB-RH) sont inaptes à cet emploi. Ces deux types de panneau sont aptes à une classe de service 2 alors que la fenêtre est en classe 3. Par contre, les panneaux de particules à liant ciment le sont (aptes à une classe de service 4).
- Pour les portes-fenêtres bois, le soubassement peut être composé de lames de bois massif empilées. En cas de panneau monobloc en bois massif, la largeur ne doit pas dépasser, compte tenu du retrait (et du tuilage induit), 200 mm. De plus, il faut choisir des bois débités sur quartier afin d'éliminer le tuilage que le retrait apporte sur un débit sur dosse (tuilage qui tend à désolidariser la fixation des parcloches).
- En cas de finition transparente (part essentielle du marché), les panneaux de contreplaqués ne doivent pas être à collage phénolique du fait du risque de taches par migration de soude. Des panneaux à collage mélamine sont alors recommandés. Ils doivent être, sinon NF-CTBX, de collage de classe 3 selon la norme NF EN 314.
- La recherche d'une meilleure isolation thermique des soubassements peut s'avérer contradictoire avec la performance acoustique (indice d'affaiblissement de 33 dB et plus). La solution passe alors par l'insertion, dans la

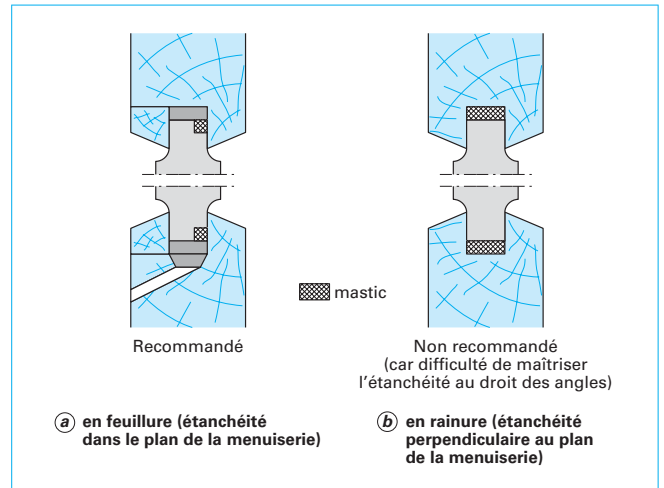


Figure 1 – Mise en œuvre d'éléments de remplissage opaques

composition du panneau isolant, d'une ou de deux plaques métalliques (alors d'épaisseurs inégales) visant à donner au panneau une masse surfacique équivalente à celle du verre isolant.

### 1.1.3 Mise en œuvre

Les deux méthodes les plus fiables (du point de vue de l'étanchéité à l'eau) sont incontestablement :

- la pose selon les **règles prévues pour les vitrages** (voir figure 1) : cette technique est explicitée dans le § 1.3 ;
- le système à **double paroi** avec lame d'air ventilée et drainée (§ 1.1.3.2).

Toutefois, le système de **lames empilées** garde les faveurs d'un certain nombre de fabricants (§ 1.1.3.1).

#### 1.1.3.1 Système de lames empilées (figure 2)

Dans la technique de lames massives empilées (assemblage à rainure et languette), il convient de prévoir une « échelle » de calfeutrement **continue** ainsi constituée :

- un « montant » de mastic au droit de chaque rive verticale ;
- des « barreaux » de mastic au droit de chaque joint horizontal.

En cas de rainures et languettes multiples, il faut disposer le système de calfeutrement dans le couple rainure-languette situé le plus à l'extérieur.

Le dimensionnement du **calfeutrement** doit se faire selon les règles suivantes :

- « **montants** » de mastic : section correspondant à la largeur de rainure sur 2 à 3 mm d'épaisseur ;
- « **barreaux** » de mastic : section correspondant à la largeur de rainure sur une épaisseur  $j$  (mm) donnée selon la règle suivante :

$$j = 0,3 \times \frac{L}{\left(1 + \frac{1}{N}\right) \times C} \times (t_{\text{fab}} - t_{\text{site}})$$

- |      |          |   |
|------|----------|---|
| avec | $L$ (mm) | largeur d'une lame de soubassement (supposées toutes égales),   |
|      | $t$ (%)  | teneur en eau du bois des lames ( <b>fab</b> , <b>site</b> : respectivement indice pour humidité du bois en fabrication et sur site), |
|      | $N$      | nombre de lames intermédiaires, traverse basse et traverse sous vitrage exclues,  |
|      | $C$ (%)  | capacité d'élongation en service du mastic.   |

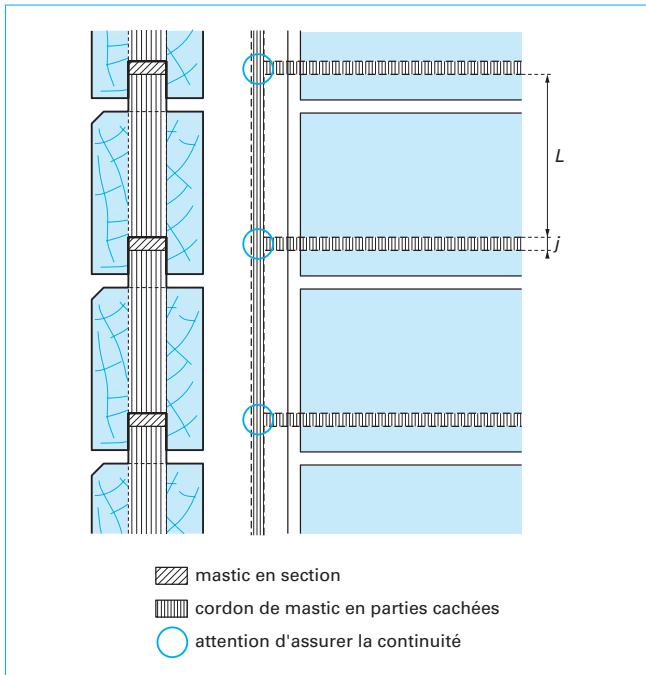


Figure 2 – Calfeutrement d'un soubassement à lames empilées

**Remarque :** un profilé en **caoutchouc expansé** à cellules fermées peut aussi être utilisé pour cette fonction. Pour la détermination de l'encombrement, la formule ci-dessus est alors utilisable aux conditions suivantes :

- $C$  (%) représente l'écart entre la compression minimale pour assurer l'étanchéité et la compression maximale (compatible avec la conservation de l'intégrité des cellules) ;
- l'encombrement en épaisseur  $e$  (mm) se détermine à partir de  $j$  selon la formule ci-dessous :

$$e = 100 \times \frac{j}{C}$$

Par ailleurs, on peut améliorer la conception de ce type de soubassement en travaillant sur la géométrie des profils horizontaux : sur la face extérieure, il faut créer un arrêt d'eau : larmier plus jeu de décrochage de la goutte d'eau afin de limiter, voire de supprimer, les infiltrations au droit du joint horizontal. On peut compléter par la mise en œuvre d'un drainage vertical (par l'intermédiaire d'une rainure au droit des arasements des traverses) (voir figure 3).

### 1.1.3.2 Mise en œuvre avec la technique de double paroi (voir figure 4)

L'arrangement des composants du panneau de remplissage est le suivant :

- paroi extérieure continue ;
- lame d'air intermédiaire ;
- paroi intérieure.

#### ■ Paroi extérieure

Elle est continue mais son étanchéité peut être aléatoire aussi bien en périphérie qu'en partie courante. Elle peut être constituée d'un panneau monobloc comme d'un empilage ou d'une juxtaposition de panneaux élémentaires.

La seule limite à la non-étanchéité des liaisons de cette paroi extérieure est sa durabilité vis-à-vis des champignons. Il faut jouer sur la durabilité (naturelle ou conférée) et sur l'imperméabilisation des bois de bout par l'application d'une finition.

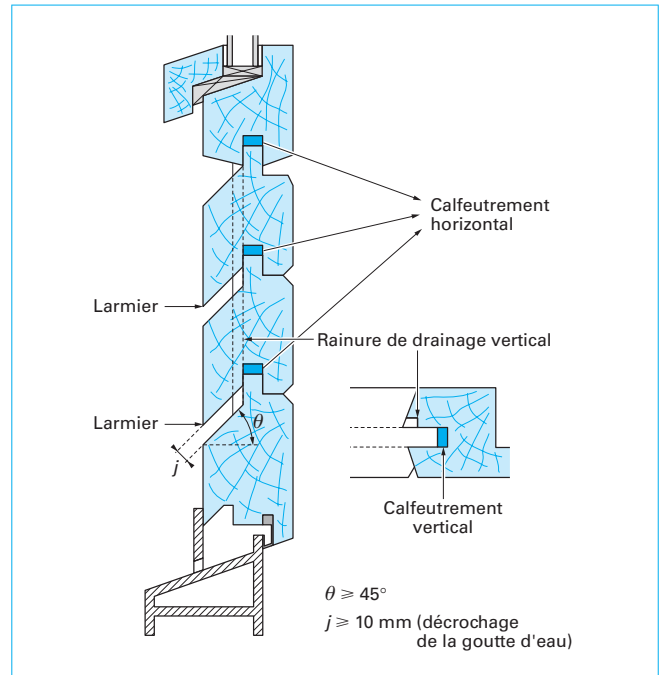
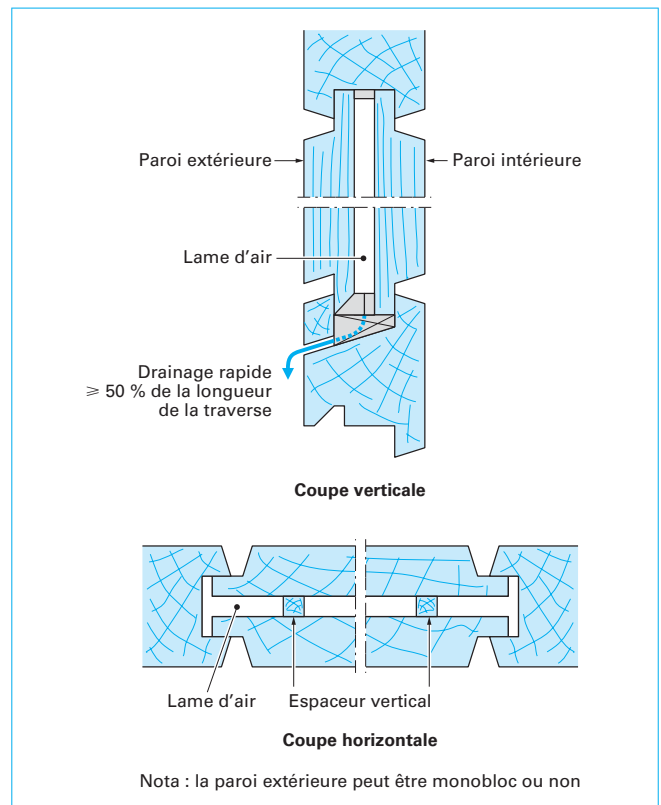
Figure 3 – Soubassement à lames empilées avec dispositif d'arrêt d'eau (étanche pour  $p_{max} = 100$  Pa)

Figure 4 – Soubassement double paroi

### ■ Lame d'air

Son épaisseur doit être de 10 mm au moins et elle doit être aussi continue que possible. Si des discontinuités sont nécessaires (pour la stabilité des parois extérieure et intérieure), il est impératif d'exclure les barres horizontales continues sur la largeur.

La partie inférieure de la lame d'air est fermée par le chant d'une traverse aménagée pour récupérer puis évacuer l'eau recueillie et assurer la ventilation de la lame d'air. Nous conseillons un drainage de type rapide, c'est-à-dire comportant les éléments suivants :

- des orifices dont la longueur représente au moins 60 % de la longueur de la traverse et dont la plus petite dimension est d'au moins 5 mm ;
- des pentes de récupération (d'au moins 15°) canalisant l'eau vers les orifices.

### ■ Paroi intérieure

Elle doit être continue et quasiment étanche à l'air (le joint périphérique doit être de classe A\*4 selon la norme NF P 20-302).

Avec un système ainsi défini, le fonctionnement est le suivant :

- l'eau pénètre au travers ou en périphérie de la paroi extérieure ;
- la barrière étanche à l'air que constitue la paroi intérieure et les orifices de communication de la lame d'air égalisent la pression de cette lame d'air avec la pression de l'air extérieur, il s'ensuit que l'eau qui s'infiltre au droit de la paroi extérieure tombe par gravité sur le chant de la traverse en partie basse qui l'évacue au fur et à mesure.

Les exigences sur le drainage ont une double origine : évacuer l'eau le plus vite possible (sans accumulation) et assurer l'égalisation de pression, garante de l'absence de refoulement, ce qui met la paroi intérieure à l'abri de l'eau.

**Nota** : le système fonctionne comme le joint à deux étages de la liaison ouvrant-dormant.

### ■ Portes extérieures à panneaux multiples

Si, pour une porte-fenêtre, la pose d'un soubassement selon la technique du vitrage est à recommander, pour les portes extérieures à panneaux multiples (portes à « pointes de diamant »), l'adoption de la technique du vitrage est impossible pour des raisons esthétiques. Si la porte est exposée à la pluie, la solution consiste donc à mettre en œuvre le système de la double paroi selon l'arrangement suivant :

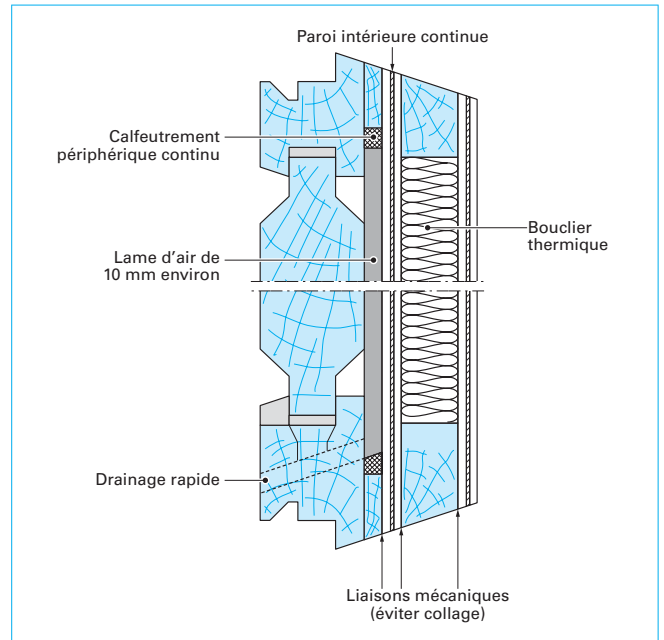
- **Paroi extérieure** constituée du vantail classique multi-panneaux ; sa traverse basse comporte une (des) fente(s) de drainage telle(s) que définie(s) ci-dessus.
- **Lame d'air** fermée en périphérie mais comportant, en partie basse, une pente en continuité avec la (les) fente(s) de drainage.
- **Panneau intérieur** recouvrant toute l'aire du vantail lié de manière étanche à la paroi extérieure. Si l'on recherche une **amélioration de la résistance thermique** du vantail, on intégrera, dans le panneau intérieur, un matériau isolant en plaque dont l'épaisseur sera fonction du niveau de résistance thermique recherché (figure 5).

**Remarque** : la présence de la seule lame d'air apporte une résistance thermique qui s'ajoute à celle du panneau de la paroi intérieure. On peut ainsi concilier une forte résistance thermique et une bonne efficacité en étanchéité à l'eau.

## 1.2 Éléments transparents

Ce sont les **vitrages**. Il sont en général en verre minéral mais ils peuvent comporter des feuilles en matériaux organiques. L'offre est diversifiée selon les usages.

Leur épaisseur peut limiter le classement d'un ouvrage. Nous indiquerons donc des éléments essentiels de calcul développés dans le DTU.



**Figure 5 – Principe du vantail (ou soubassement) à double paroi avec bouclier thermique**

Pour les vitrages en verre minéral pris en feuillure sur leurs quatre côtés, on utilise l'une des deux formules suivantes :

$$L/\ell \leq 3 \quad \Rightarrow \quad e = \varepsilon k_r (S k_e p_3 / 72)^{1/2}$$

$$L/\ell > 3 \quad \Rightarrow \quad e = \varepsilon k_r \ell k_e p_3^{1/2} / 4,9$$

avec  $L$  et  $\ell$  (m) respectivement la grande et la petite dimension hors tout du verre,

$S$  (m<sup>2</sup>) surface du verre,

$e$  (mm) épaisseur du verre simple ou du cumul des feuilles de verres s'il s'agit d'un verre isolant,

$\varepsilon$  facteur d'équivalence égal à 1 pour les verres monolithiques plans et à 1,5 pour les verres isolants courants (glaces d'épaisseur égales) ; pour les verres à feuilles multiples, voir la remarque,

$k_r$  facteur dépendant du type de châssis (1 pour les verres sur vantaux, 0,9 pour un verre sur dormant et 0,8 pour vitrine de plus de 5 m<sup>2</sup> au rez-de-chaussée),

$k_e$  facteur qui vaut 1 si la fenêtre n'est pas à plus de 28 m, ou au-delà de 28 m si l'élancement de la façade ne dépasse pas 2. Si l'élancement de la façade est supérieur à 2,  $k_e$  vaut 1,5 jusqu'à 50 m et 2,2 entre 50 et 100 m,

$p_3$  (Pa) pression de rafale donnée par le DTU 36.1-37.1 (voir [C 3 610, tableau 10]).

**Remarque** : en cas de **verre à feuilles multiples** (verre isolant double ou triple vitrage, verre feuilleté), le facteur d'équivalence  $\varepsilon$  est donné par :

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} e_i}{\left( \sum_{i=1}^{i=n} e_i^3 \right)^{1/3}}$$

**Tableau 1 – Indice d'affaiblissement acoustique du bruit routier d'un verre simple**

Épaisseur (mm)	3	4	5	6	8	10	12	15	19
$R_{A, tr}$ (dB)	24	27	28	29	30	31	32	33	34

Dans les faits, le collage introduit accroît la rigidité de la liaison et le terme  $\varepsilon$  est donc plus favorable que ne le montre ce calcul. Cette formule est utile en cas de verre à glaces multiples ou hétérogènes en épaisseur.

### 1.2.1 Verres simples

Il s'agit soit de vitres (dont l'épaisseur est inférieure à 4 mm et qui sont de plus en plus rares) soit de glaces (épaisseur 4 mm et plus) trempées ou non.

Leur résistance thermique est très faible puisqu'elle se réduit à la résistance thermique de surface, soit  $0,17 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$ .

Leur performance acoustique s'améliore avec l'épaisseur comme le montre le tableau 1 de l'**indice d'affaiblissement acoustique** du bruit de route  $R_{A, tr}$  (verre Planilux Saint-Gobain Glass, mémento 2000) :

### 1.2.2 Verres feuilletés

Ces verres sont utilisés :

- pour assurer la protection contre les chutes des personnes ;
- pour assurer un rôle d'anti-effraction (chocs, projectiles...) ;
- pour leur performance acoustique ;
- pour leur potentiel de bonne résistance au feu.

Ils sont constitués d'un certain nombre de feuilles de verre liées entre elles par une résine spécifique choisie en fonction de la performance recherchée pour le verre (film de Butyral par exemple pour verre résistant aux chocs, matériau moussant pour verre résistant au feu...).

### 1.2.3 Verres isolants

#### 1.2.3.1 Fonction thermique

Le verre, en tant que matériau, présente les caractéristiques thermiques suivantes :

- résistance thermique faible [coefficient de conductivité thermique  $\lambda = 1 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{K)}$ ] ; toutefois, en réalisant des vitrages multiples enserrant de l'air ou d'autres gaz, on peut améliorer la résistance thermique ;
- capacité à transmettre l'énergie lumineuse mesurée par le facteur solaire  $g$  (mesuré selon la norme EN 410) :  $g$  va de 85 % pour un verre clair à moins de 20 % pour un verre de contrôle solaire (pour locaux tertiaires sans occultation solaire de type fermeture).

**Définition** : le facteur solaire est le rapport entre le flux d'énergie entrant dans le local et le flux d'énergie incidente. Le flux d'énergie entrant dans le local comporte un flux direct et un flux secondaire de réémission. Son évaluation se fait selon la norme EN 410.

Par l'application de couches faiblement émissives, on modifie aussi les propriétés de réflexion du verre et on peut aussi de cette façon améliorer la performance thermique du vitrage.

On peut donc dire que la performance thermique du vitrage tourne autour de cette dualité :

- il participe à la résistance thermique de la paroi au *prorata* de sa propre résistance thermique ;
- il apporte de l'énergie gratuite dans les locaux qu'il clôt, au *prorata* de son facteur solaire.

Ainsi, selon la saison, la situation n'est pas de même nature.

**Nota** : cette problématique fait l'objet du paragraphe 1 de l'article [C 3 615].

#### 1.2.3.2 Fonction acoustique

##### ■ Rappel sommaire sur les mesures

Les essais se font selon la norme NF EN ISO 140-3 dans les fréquences comprises entre 100 et 3 150 Hz ; cet intervalle est partagé soit en octave (double de la fréquence précédente, par exemple intervalle 100-200 Hz), soit en tiers d'octave.

**Nota** : le hertz (Hz) correspond à une vibration par seconde.

On ne mesure pas le bruit par une valeur absolue mais en comparant la pression acoustique à une pression acoustique de référence de  $2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ . On obtient ainsi des niveaux. Comme le rapport entre les grandeurs mesurées en pratique et la grandeur de référence est très élevé, on prend le logarithme du rapport de ces deux grandeurs :

$$L = 20 \lg (p/p_0)$$

$L$ , le niveau acoustique, est exprimé en décibels (dB).

La méthode de mesure est définie dans la norme NF EN ISO 140-3 : pour chaque tiers d'octave, on procède à la mesure du niveau acoustique dans la pièce d'émission et dans la pièce de réception, séparées par la fenêtre. On calcule ensuite la différence de niveaux tiers d'octave par tiers d'octave.

La méthode d'évaluation de l'indice global d'affaiblissement est définie dans la norme NF EN ISO 717-1 : on compare, par bandes de tiers d'octave, les performances obtenues à une courbe de référence et on obtient ainsi un indice d'affaiblissement acoustique  $R_w$  (EN ISO 717-1). Pour les fenêtres, destinées par nature à faire écran au bruit du trafic, on corrige  $R_w$  par un facteur  $C_{tr}$  pour tenir compte du spectre des bruits routiers (ce facteur est toujours négatif).

Le résultat peut être annoncé de deux manières :

- soit sous la forme  $R_w (C ; C_{tr})$  ; par exemple :  $R_w (C ; C_{tr}) = 30 (0 ; -5)$  ;
- soit sous la forme  $R_{A, tr} = R_w + C_{tr}$  pour une fenêtre extérieure ; par exemple :  $R_{A, tr} = 30 - 5 = 25 \text{ dB}$  ;
- soit sous la forme  $R_{A, C} = R_w + C$  pour une fenêtre intérieure ; par exemple  $R_{A, C} = 30 + 0 = 30$  ; avec  $C$  facteur prenant en compte le spectre de bruit rose.

**Remarque** : l'essai d'une fenêtre met en évidence, à une fréquence donnée, une perte de performance notable, souvent de 10 à 15 dB. C'est la **fréquence de résonance**.

La recherche technique consiste donc à l'abaisser en dessous de 100 Hz de façon à ne bénéficier que de l'effet double paroi.

##### ■ Rappel réglementaire

La réglementation (arrêté du 30 juin 1999) précise que l'isolement acoustique standardisé pondéré des pièces principales et des cuisines contre les bruits extérieurs doit être d'au moins 30 dB. Les fenêtres doivent donc concourir, avec les parties opaques de la façade, à l'obtention de cette valeur minimale.

Pour des niveaux de bruit extérieur plus élevés (rue fréquentée par exemple), il faut se reporter à la classification des sites auprès des Directions départementales de l'équipement (DDE). L'isolement de la façade est donné en fonction du niveau moyen de bruit extérieur.

Le tableau 2 définit les classes d'isolement requises et l'indice d'affaiblissement acoustique correspondant pour des fenêtres certifiées Acotherm.

Pour les fenêtres ne bénéficiant pas du label Acotherm, la valeur requise pour  $R_{A, tr}$  est supérieure de 2 dB et correspond à l'exigence d'isolement prévu pour la façade.



**Tableau 2 – Classes d'isolement et indices d'affaiblissement acoustique**

Exigence d'isolement (dB)	$R_{A, tr}$ mini Acotherm (dB)	Classe Acotherm
30	28	AC1
35	33	AC2
38	36	AC3
42	40	AC4

### ■ Le vitrage et l'acoustique

Le vitrage simple répond à la loi de masse régissant les parois simples, selon laquelle la performance acoustique s'améliore avec la croissance de la masse et donc de l'épaisseur.

#### Exemples :

Ainsi, pour un verre simple de 6 mm, l'indice d'affaiblissement  $R_{A, tr}$  est de 29 dB ; pour un verre de 10 mm,  $R_{A, tr} = 31$  dB.

Pour un verre isolant 4/n/4 (\*) intégré dans une fenêtre en bois, la fréquence de résonance se situe vers 200 Hz et l'indice  $R_{A, tr}$  se situe vers 27-28 dB.

(\*) 4 désigne l'épaisseur nominale de chacune des feuilles de verre (en mm) et n l'épaisseur de la lame d'air également en mm.

● Pour atteindre un indice d'affaiblissement acoustique de **33 dB** correspondant au seuil de la classe acoustique AC2 du label Acotherm, il faut faire appel à un vitrage asymétrique, par exemple une glace de 4 mm et une glace de 10 mm ; on diminue ainsi les chutes de performance au niveau de la fréquence critique (de résonance) tout en accroissant la performance en basse fréquence.

**Remarque :** dans la conception actuelle des fenêtres avec vitrage pris en feuillure, l'épaisseur du verre étant limitée par l'espace disponible dans la feuillure à verre, l'épaississement des feuilles de verre conduit à la réduction correspondante de la lame d'air et donc à un amoindrissement de la performance thermique.

● Pour obtenir un indice d'affaiblissement acoustique de **36 dB**, seuil de la classe AC3 du label Acotherm, il faut faire appel à des verres isolants feuilletés faisant appel à des résines aussi peu rigides que possible. L'indice  $R_{A, tr}$  du vitrage doit être d'au moins 37 dB (par exemple, vitrage de composition 10/12/44.1 (\*) pour le SGG Climailit Silence de Saint-Gobain-Vitragé).

(\*) 10 correspond à l'épaisseur du verre, 12 à l'épaisseur de la couche d'air et 44.1 à la composition du verre feuilleté.

● Pour des niveaux de performance **plus élevés**, il faut faire appel à la double fenêtre avec lame d'air d'au moins 15 cm entre les deux vitrages (un de 4 mm au moins et un de 8 ou 10 mm).

## 1.3 Mise en œuvre du vitrage

Pour les travaux de chantier, le document de référence est le DTU 39. Ce document est en cours de révision.

Pour les vitrages en usine des fenêtres en bois, le document de référence est la norme expérimentale XP P 23-310. Il est possible qu'à terme elle réintègre sa norme d'origine, la norme NF P 23-305.

Évoquons les points essentiels de la mise en œuvre du vitrage.

### 1.3.1 Calage

Le verre transmet ses charges au châssis *via* un calage.

#### 1.3.1.1 Charges normales au plan du châssis (vent)

Pour les produits de calfeutrement mous et le restant après la mise en œuvre, un **calage latéral** doit être mis en œuvre (cale ponctuelle pour les mastics traditionnels à l'huile de lin ou oléoplastiques, cale continue sous la forme d'un fond de joint pour les mastics obturateurs sur fond de joint).

Sous l'action de la charge du vent, le calfeutrement ou le fond de joint doit être en mesure de supporter une contrainte d'au moins 30 kPa.

Dans un calage continu, la **contrainte** est donnée par l'une des deux formules suivantes :

$$L/\ell \leq 3 \Rightarrow \eta = \frac{L \ell p_3}{3pa}$$

$$L/\ell > 3 \Rightarrow \eta = \frac{\ell p_3}{4a}$$

avec  $\eta$  (kPa) contrainte exercée sur la cale,  
 $L$  (m) grande dimension du vitrage,  
 $\ell$  (m) petite dimension du vitrage (dans le plan),  
 $p_3$  (Pa) pression de sécurité,  
 $p$  (m) demi-périmètre du vitrage,  
 $a$  (mm) prise du calage sur les bords du vitrage.

La **prise conventionnelle**  $a$  pour la cale est de :

- 8 mm pour une bande préformée ;
- 4 mm pour un obturateur élastique (maximum 6 mm) ;
- 10 mm pour un profilé en caoutchouc expansé ;
- 6, 8, 10 mm pour un fond de joint pour les hauteurs de feuillure respectivement de 16, 20, 25 mm.

Selon le calcul ci-dessus,  $a$  peut être majoré ou minoré (sauf l'obturateur élastique qui doit être compris en 4 et 6 mm).

En ce qui concerne la **contrainte admissible** voici quelques valeurs :

- bande préformée et fond de joint : 30 kPa ;
- obturateur élastique : 100 kPa ;
- bois : 1 500 kPa.

#### 1.3.1.2 Poids propre

Il est transmis au châssis par l'intermédiaire des **cales d'assise**. Leur bonne disposition est primordiale.

■ Pour les **châssis coulissants**, il importe que le poids du verre soit transféré au droit des trolleys afin d'éviter la flexion du profilé de la traverse basse.

■ Pour les **ouvrants pivotant autour de leur rive verticale**, le calage est encore plus critique : la conception même de l'ouvrant crée un porte-à-faux par rapport à l'axe de la rive ; il importe donc que le calage du verre le réduise le plus possible.

Selon les règles de l'art, la cale d'assise basse doit être située à 1/10 de la portée du verre. Si le verre est ainsi calé, le couple induit représente le poids du verre multiplié par le 1/10 de la largeur.

Si le calage est inversé, le couple induit représente le poids du verre multiplié par les 9/10 de la largeur, donc 9 fois plus élevé. Un calage aussi défectueux conduit nécessairement à une chute de nez et un frottement du nez du vantail sur le fond de feuillure du dormant.

**Remarque :** le couple induit par le poids propre du verre et le dépôt de son point d'application varie, *in fine*, avec le carré de la largeur (car la masse du verre croît aussi en proportion de la largeur). **Les châssis larges sont donc rapidement pénalisants.**

En l'absence de calage ou en présence de jeu résiduel dans la liaison verre-châssis, la chute de nez maximale  $c_{n\max}$  (mm) est donnée par la relation suivante :

$$c_{n\max} = 2 [J_t + (L/H) J_m]$$

avec  $J_t$  (mm) jeu entre le verre et une traverse (égaux à chaque extrémité),  
 $J_m$  (mm) jeu entre le verre et un montant (égaux de chaque côté),  
 $L, H$  (m) respectivement la largeur et la hauteur du verre.

La rigidité propre des assemblages d'angle n'est pas en mesure, sur le long terme, de reprendre un tel couple.

La cale d'assise ne doit pas reprendre que le seul poids propre, elle doit aussi être en mesure de reprendre la charge induite par l'essai conventionnel de charge au nez spécifique à ce type d'ouvrant. Pour ces ouvrants pivotant autour de leur rive verticale, la charge reprise par la cale est donnée par la formule suivante (voir [C 3 612, § 2.2]) :

$$R_a = g \left( M_v + \frac{M_n}{1-k} \right)$$

avec  $g$  (m · s<sup>-2</sup>) accélération due à la pesanteur,  
 $M_v$  (kg) masse du verre,  
 $M_n$  (kg) masse normalisée pour l'essai de charge au nez,  
 $k$  rapport de la distance de la cale d'assise à la rive la plus proche sur la largeur du vantail de fond de feuillure à fond de feuillure.

**Nota** : le calage est supposé conforme ( $k \approx 1/10$ ) .

La contrainte exercée sur la cale  $\eta_a$  (en kPa) est donnée par :

$$\eta_a = 1\,000 \frac{R_a}{\ell e_v}$$

avec  $\ell$  (mm) longueur de la cale,  
 $e_v$  (mm) épaisseur cumulée de verre en appui effectif sur la cale et dont la charge est transmise au châssis (l'intercalaire d'un vitrage isolant est à exclure).

### 1.3.2 Drainage des feuillures à verre

Pour les verres isolants, le drainage est obligatoire. Par traverse n'excédant pas 1 m, deux orifices de 50 mm<sup>2</sup> de section minimale sont à prévoir (leur plus petite dimension étant au moins égale à 5 mm). Au-delà de 1 m, un orifice supplémentaire par tranche de 0,50 m est à prévoir.

De plus, pour les menuiseries bois, cette évacuation est associée à une rainure de section minimale de 6 mm par 6 mm située à au moins 4 mm du plan vertical de la feuillure.

Pour ces dernières, un drainage, dit rapide, permet une meilleure salubrité dans la feuillure à verre, tant pour le bois que pour le verre (assèchement au moins 3 fois plus rapide que pour une feuillure classique).

Ses caractéristiques sont les suivantes :

- évacuations dont la longueur cumulée représente au moins 60 % de la portée du verre ;
- dimension minimale des évacuations 5 mm ;
- pente(s) dans la feuillure ramenant l'eau vers les évacuations ;
- protection des orifices par un dispositif mécanique (recouvrement du dormant, rejet d'eau...).

Associée à une protection filmogène de 40 µm au moins, la technique dispense de la mise en œuvre d'une barrière extérieure de calfeutrement.

**Remarque** : la norme XP P 23-310 prévoit une méthode d'essai permettant de vérifier l'équivalence d'un système de drainage proposé avec le drainage rapide de référence tel que défini ci-dessus.

La méthode combine arrosage (8 heures) et séchage (16 heures) pendant 35 jours et comporte le suivi de la teneur en eau des traverses basses. On suit l'évolution de l'humidité dans un lot de 10 traverses basses à 5 mm du fond de la feuillure et on compare l'humidité moyenne du système proposé à la moyenne du système de référence ; le système proposé est exclu si sa moyenne est significativement plus élevée.

### 1.3.3 Dimensionnement de la feuillure à verre

Il peut s'agir d'une feuillure au sens strict ou d'une rainure (vitrage mis en place en portefeuille ou en tiroir). Pour un comportement satisfaisant en œuvre, des exigences dimensionnelles sont définies dans la norme XP P 23-310. Elles peuvent être satisfaites soit en appliquant des règles de moyens soit en faisant appel à des méthodes d'essais ou de calcul.

#### 1.3.3.1 Règles de moyens

Elles sont consignées dans les tableaux 3, 4, 5.

**Tableau 3 – Hauteurs de feuillure (mm) en fonction des dimensions du vitrage et de sa nature**

Nature du vitrage	Épaisseur nominale $e$ (mm)	Hauteurs (mm) pour un demi-périmètre $p$ du vitrage (m)		
		$p \leq 3$ (1)	$3 < p \leq 5$	$5 < p \leq 7$
Vitrage simple	$e \leq 15$	12	16	20
	$e > 15$	16	16	20
Vitrage isolant (2)	$e \leq 20$	16	20	20
	$e > 20$	20	20	25
Vitrage participant à la sécurité contre la chute des personnes		20	20	25

- (1)  $p$  est limité à 2,5 m si le plus grand côté dépasse 2 m.  
(2) Voir aussi le tableau 4 des prises en feuillure.

**Tableau 4 – Hauteurs de feuillure en fonction du type de prise et du type du vitrage**

Prise	Type de vitrage	Hauteurs (mm) pour un demi-périmètre $p$ du vitrage (m)		
		$p \leq 3$ (1)	$3 < p \leq 5$	$5 < p \leq 7$
En châssis $P_c$ (2)	Verres simples	12	16	20
	Verres isolants et autres	16	16	20
	Verres sécurité contre la chute des personnes	15	20	20
En feuillure $P_f$ (3)	Verres isolants	S	S	S

- (1)  $p$  est limité à 2,5 m si le plus grand côté dépasse 2 m.  
(2) La prise minimale en châssis  $P_c$  doit être assurée même si  $S < P_c$  avec  $S$  largeur du joint de scellement mesurée sur la face du vitrage.  
(3)  $P_f = P_c + R_j$  avec  $R_j$  recouvrement du bord du vitrage par la saillie éventuelle de son profilé d'étanchéité ; sa valeur ne peut dépasser 3 mm.  
La prise en feuillure ne peut être considérée que si le vitrage ne participe pas à la sécurité contre la chute des personnes.

**Tableau 5 – Dimensions (mm) des joues de feuillure ou de parcloses et d'assise de parclosse en fonction de la hauteur de feuillure ou de parclosse (1)**

Hauteur de feuillure ( $h_f$ ) ou de parclosse ( $h_p$ ) (mm)	Épaisseur de joue de feuillure ( $e_f$ ) ou de parclosse ( $e_p$ ) (mm)	Assise de parclosse ( $a_p$ ) (mm)
12	13	10
16	13	10
20	15	12
25	20	17

(1) Il s'agit de **valeurs minimales** ; ces cotes sont susceptibles d'être non respectées par le retrait du bois en œuvre. La cote nominale doit donc intégrer :

- la tolérance d'usinage (environ 1/10 mm) ;
- la tolérance liée à un retrait soit environ 3/100 de la valeur des cotes ci-dessus.

En pratique, pour respecter les valeurs minimales du tableau, il faut ajouter au moins 5/10 mm.

Pour les parcloses en applique, l'épaisseur minimale de la partie recouvrant le châssis doit être de 12 mm.

### 1.3.3.2 Méthodes de calcul ou d'essais

#### ■ Hauteur de feuillure

En ce qui concerne les vitrages isolants, les hauteurs de feuillure du tableau 3 ont été déterminées au début des années 1970. Depuis, la technique de fabrication de ces vitrages a changé. La hauteur du joint de scellement a nettement diminué ; or la justification d'une spécification sur la hauteur de feuillure pour un verre isolant est la protection solaire de l'intercalaire. La règle minimale est que le système de calfeutrement du verre isolant soit au plus affleurant avec l'arête de joue de feuillure (ou de parclosse). La hauteur du scellement diminuant, on peut donc envisager, pour les vitrages n'assurant pas une fonction de sécurité contre la chute des personnes, une réduction de la hauteur de la joue de feuillure ou, dans une feuillure d'une hauteur donnée, y mettre un vitrage isolant plus épais.

D'autres améliorations de fabrication vont dans le même sens :

- plus grande précision dans la découpe et l'assemblage des panneaux de verre dans la confection du vitrage isolant ;
- plus grande précision des machines à bois (tenonneuses notamment).

La hauteur de feuillure se calcule avec les équations suivantes (les paramètres sont en mm).

#### ● Détermination de la hauteur minimale $h_{\min i}$

$$h_{\min i} = a + J_f + J_{\text{tol}}$$

avec  $a$  prise en feuillure,

$J_f$  jeu fonctionnel,

$J_{\text{tol}}$  cumul des tolérances liées au vitrage et au cadre

Par ailleurs :

$$J_f \geq J_t$$

Le **jeu fonctionnel** est donné par le tableau 6.

Le **cumul des tolérances**  $J_t$  est donné par :

$$J_t = (dV^2 + dA^2)^{1/2}$$

**Tableau 6 – Valeurs du jeu fonctionnel en fonction du demi-périmètre de vitrage (1)**

$p$ (m)	$p \leq 3$ (1)	$3 < p \leq 5$	$5 < p \leq 7$
$J_{fr}$ ..... (mm) (côté de référence)	3 (2)	4	5
$J_{fo}$ ..... (mm) (autres côtés)	2	3	4

(1)  $p$  est limité à 2,5 m si le plus grand côté dépasse 2 m.

(2)  $J_{fr}$  est nul en l'absence de calage (verres simples et petits vitrages isolants).

(3) Le jeu fonctionnel peut être supérieur aux valeurs du tableau lorsqu'un mode particulier de mise en œuvre du vitrage l'exige (par exemple extrusion de résine liquide en feuillure ouverte, au droit du chant, afin de calfeutrer une rainure usinée sur la face de la rainure).

Dans cette équation :

•  $dV$  est la variation dimensionnelle du couple châssis-verre donnée par :

$$dV = k C (\delta_v d\theta_{sv} - \delta_b d\theta_{sb} + r_\ell dt_s)$$

avec  $k$  facteur de répartition des tolérances (1 en vertical,  $1/2$  en horizontal car répartition),

$C$  (mm) cote du vitrage dans une direction considérée,

$\delta_v$  coefficient de dilatation du verre (environ  $9 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ),

$\delta_b$  coefficient de dilatation du bois (environ  $4 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ),

$d\theta_{sv}$  variation de température du vitrage entre la fabrication et la situation en œuvre,

$d\theta_{sb}$  variation de température du châssis entre la fabrication et la situation en œuvre,

$r_\ell$  coefficient de rétractibilité linéique du bois de fil (environ  $10^{-4}\%$  de variation d'humidité),

$dt_s$  variation du taux d'humidité du bois entre la fabrication et la situation en œuvre.

**Nota** : les rives du châssis sont supposées rectilignes car l'incidence des courbures éventuelles du châssis [soit sans contrainte (déformation initiale) soit sous charge (vent ou hygrothermique)] ne sont pas ici prises en compte.

•  $dA$  est le cumul des tolérances sur les composants de la liaison donné par :

$$dA = (du_t^2 + dC_v^2 + dcal^2)^{1/2}$$

avec  $du_t$  tolérance sur la cote des arasements [elle intègre : la tolérance liée à la dilatation du dispositif de mesure des longueurs (atelier non conditionné), l'erreur de parallaxe faite par l'opérateur, la tolérance d'usure d'outil]. Elle est fournie par la norme NF P 23-305 ( $\pm 2$  mm) ou indiquée par le menuisier,

$dC_v$  tolérance sur l'arasement du vitrage (intègre la tolérance de découpe des feuilles verre ainsi que la tolérance d'assemblages des feuilles en cas de verre isolant (sauf calibrage non pratiqué actuellement). Elle est soit spécifiée par les normes, soit définie contractuellement entre le fournisseur et son client. Elle est de l'ordre de  $\pm 2$  mm,

$dcal$  tolérance sur l'épaisseur de la cale d'assise (environ 1/10 mm).

**Nota** :  $dA$  suppose ici aussi que les pièces du cadre sont rectilignes.



### ● Détermination de la hauteur nominale $h_{nom}$

$$h_{nom} = h_{mini} + [du_m^2 + (h_{mini} r_t dt_s)^2]^{1/2}$$

avec  $du_m$  tolérance d'usinage (moulurage) sur la hauteur de feuillure (peut être < 1/10 mm),

$r_t$  coefficient de rétractibilité transversale du bois (environ 3/1 000),

$dt_s$  variation du taux d'humidité du bois entre fabrication et situation en œuvre (cf. ci-dessus).

### ■ Épaisseur de joue de feuillure et assise de parclosé

#### ● Épaisseur de joue de feuillure

En cas de non-conformité dimensionnelle, le menuisier a la possibilité de valider l'épaisseur d'une joue de feuillure par un **essai mécanique**. L'essai consiste à exercer, par l'intermédiaire d'une barre de pression située à une distance  $J_f$  du fond de la feuillure, une charge perpendiculaire au plan de la feuillure jusqu'à la rupture de la joue de feuillure ; on rapporte la force maximale ayant conduit à la rupture à la longueur de l'éprouvette (0,10 m) pour obtenir la **résistance linéique** (N/m). L'essai est fait sur 30 éprouvettes de l'essence prévue par le menuisier ainsi que sur 30 éprouvettes en Western Red Cedar strictement conformes aux spécifications dimensionnelles prévues dans le tableau des épaisseurs de joues de feuillure (cote minimale accrue des tolérances d'usinage et de retrait).

On détermine ensuite la **valeur caractéristique**  $R_k$  (N/m) de chacun de ces deux lots :

$$R_k = R_m - 1,70 \sigma_R$$

avec  $R_m$  (N/m) valeur moyenne des résultats d'une série,

$\sigma_R$  (N/m) écart-type des résultats d'une série.

**Remarque** : comme les résultats sont fortement dépendants de la masse volumique de l'essence proposée par le menuisier, on calcule aussi la masse volumique du bois utilisé.

Pour des feuillures de 16 mm de haut et d'épaisseur minimale de 13 mm, la valeur de résistance à 5 % d'exclusion est de 7 500 N/m.

#### ● Assise de parclosé

La valeur de 10 mm est également un minimum. La valeur nominale, compte tenu des tolérances d'affleure des assemblages (environ 5/10) et d'épaisseur des vitrages (5 à 10/10 mm selon les techniques) conduit à une valeur nominale d'au moins 11 mm.

Si l'assise de parclosé est trop faible, la tenue de la parclosé risque aussi de l'être car :

— la fixation se trouve trop près de la face du châssis et risque d'éclater ;

— la fixation (par clouage) risque même de déboucher hors du fond de feuillure !

Comme la tenue dépend fortement de la résistance mécanique de l'essence mise en œuvre pour la fabrication de la fenêtre, on peut valider un système dont les cotes sont non conformes par la voie d'essai.

Comme il s'agit presque toujours d'une fixation discontinue, on adopte un **essai** sur un échantillon de corps d'épreuve de grande nature que l'on soumet à la pression de sécurité  $p_3$  dont le sens de pression tend à charger le périmètre de parclosé (dépression si la parclosé est extérieure, le contraire si la parclosé est à l'intérieur) selon NF EN 12211.

L'échantillon est de six châssis, ayant si possible la plus grande dimension prévue pour la commercialisation.

L'essai est poussé jusqu'à la rupture de la liaison parclosé-châssis.

À partir des résultats des six châssis, on calcule l'écart-type puis la **valeur caractéristique**  $p_{ke}$  de la pression de rupture :

$$p_{ke} = p_m - 2,02 \sigma_p$$

avec  $p_m$  valeur moyenne des résultats,

$\sigma_p$  écart-type des pressions de rupture des six châssis.

**Remarque** : si l'essai n'a pas été fait avec la plus grande dimension de châssis, on extrapole par la formule suivante :

$$p_{kg} = p_{ke} \times \frac{\frac{1}{H_g} + \frac{1}{L_g}}{\frac{1}{H_e} + \frac{1}{L_e}}$$

avec  $H$  et  $L$  (m) respectivement hauteur et largeur du vitrage,

$e$  indice pour la série essayée,

$g$  indice pour la plus grande dimension commercialisée.

**Nota** : la formule suppose que les bords du verre sont infiniment rigides.

L'exigence pour  $p_{kg}$  est la suivante :

$$p_{kg} \geq 1,5 p_{3r}$$

avec  $p_{3r}$  pression  $p_3$  de la classe de résistance requise par le menuisier.

### 1.3.4 Calfeutrement. Pose du vitrage

Les verres isolants étant, de loin, les plus utilisés, nous ne citerons que les calfeuttements concernant ce type de volume verrier.

Les mastics oléoplastiques et, *a fortiori*, à l'huile de lin étant interdits pour les verres isolants, le calfeutrement avec le châssis ne peut se faire qu'avec les techniques suivantes :

- mastic élastique ou plastique première catégorie ;
- bandes préformées en butylpolyisobutylène ;
- profilés élastomères.

La typologie peut s'établir en fonction de la **nature du calfeutrement**. En règle générale, le calfeutrement du vitrage met en œuvre deux barrières :

- une principale contre la joue de feuillure ;
- une secondaire contre la parclosé.

**Remarque** : moyennant une feuillure avec une protection adéquate et avec un drainage rapide, seule la barrière principale peut subsister.

#### 1.3.4.1 Mastic à l'huile de lin

Il ne peut être envisagé que pour des verres simples (rénovation).

Il se met en œuvre ainsi :

- contremastic de 3 mm entre verre et joue de feuillure ;
- solin de 9 mm de base au moins et hauteur de 12 mm correspondant à celle de la feuillure.

**Remarques** :

- La feuillure à verre doit avoir reçu, au préalable, au moins une impression peinture ou vernis. Le but de cette protection est de limiter les migrations d'huile du mastic, lesquelles tendent à réduire son efficacité en étanchéité.

- Le calibrage de l'épaisseur du contremastic se fait à l'aide de cales latérales.

- La fixation du verre se fait par des pointes de vitrier.

#### 1.3.4.2 Mastic oléoplastique

Il peut être mis en œuvre avec solin et contremastic (comme le mastic à l'huile de lin) mais son utilisation traditionnelle se fait sous la forme de bain de mastic complet. Le mode opératoire doit veiller à assurer la continuité du calfeutrement, y compris en fond de feuillure.

**Remarques :**

- La feuillure à verre ainsi que la joue de parclosse exposée au mastic doit avoir reçu, au préalable, au moins une impression peinture ou vernis.
- Le calibrage de l'épaisseur des deux joints de mastic se fait à l'aide de cales latérales.
- La fixation du verre se fait par des parcloses clouées ou, plus rarement, vissées.

**1.3.4.3 Mastic élastique ou plastique première catégorie****■ Pose sur chantier avec fond de joint**

La section minimale du mastic, dit alors obturateur, est de 4 mm sur 4 mm.

Pour assurer un contact franc du mastic sur la face du verre et sur la joue de feuillure (ou de parclosse), on met en œuvre, la feuillure étant ouverte, un fond de joint. Ce dernier assure également le fait que le cordon de mastic ne travaille qu'en traction-compression sur ses deux faces.

**Remarques :**

- Le fond de joint assure le calibrage en épaisseur.
- Le fond de feuillure doit avoir reçu au moins une protection de type 1 selon XP P 23-310 (soit entre 10 et 20 µm d'épaisseur de finition).
- La fixation se fait par des parcloses clouées ou, plus rarement, vissées.
- L'extrusion du mastic n'intervient qu'une fois le fond de joint et les parcloses fixées, l'extrusion se fait donc en feuillure fermée.

**■ Pose en feuillure ouverte**

Les grandes lignes du mode opératoire sont les suivantes :

- extrusion d'un cordon de mastic d'au moins 4 mm dans une rainure ou une feuillure usinée dans la joue de feuillure et dont la profondeur est 2 mm au moins ;
- mise en place du verre ;
- calage du verre en assise ;
- mise en place de la parclosse (avec ou sans calfeutrement).

**Remarques :**

- La protection de la feuillure doit être de type 1 si deux barrières de calfeutrement sont présentes et de type 3 (plus de 40 µm d'épaisseur) si le calfeutrement du vitrage est constitué d'une seule barrière (contre la joue de feuillure) ; pour la feuillure basse, la présence d'une seule barrière n'est acceptable que si le verre ne dépasse pas 20 mm d'épaisseur.
- La fixation se fait par parcloses clouées (ou vissées).
- Si la rainure (ou feuillure) usinée sur la joue de feuillure n'est usinée que sur le cadre (par défonçage), il faut obturer le passage de la rainure (feuillure) dans l'assemblage pour rétablir l'étanchéité de ce dernier.
- Le calfeutrement éventuellement associé sera, le plus souvent, un profilé de caoutchouc expansé.

**■ Cas particulier de la mise en œuvre en feuillure semi-ouverte**

Il s'agit d'un cas où le matériau de calfeutrement est une résine liquide à polymérisation rapide.

Le mode opératoire de mise en œuvre est le suivant :

- pose du châssis à plat ;
- insertion du verre en feuillure avec mise en jeux ;
- extrusion de la résine liquide au droit du jeu périphérique du vitrage (en pratique au moins 5 mm) ;
- pose des cales d'assise ;
- pose des parcloses.

La polymérisation intervient en quelques dizaines de seconde (résine à deux composants).

**1.3.4.4 Bandes préformées**

La mise en œuvre se fait en feuillure ouverte. L'étanchéité est assurée moyennant un taux d'écrasement minimal (10 %), le taux moyen dépendant des diverses tolérances des assemblages. Pour une bande de 3 mm d'épaisseur nominale (8 à 10 mm de large), l'épaisseur résiduelle moyenne se situe au-dessous de 2,5 mm.

La compression requise est assurée par un système de presse. Comme le produit est de nature plastique, la fixation de la parclosse peut être postérieure au pressage.

Les moyens de compression requis font que cette technique ne peut être mise en œuvre qu'en usine exclusivement.

**Remarque :** la préparation du fond de feuillure est similaire à celle de la feuillure à verre calfeutrée selon la technique de l'obturateur sur fond de joint.

**1.3.4.5 Profilés élastomères**

Le choix du calfeutrement de la feuillure à verre par des profilés en élastomère (en caoutchouc vulcanisé ou en caoutchouc thermo-plastique) implique, pour les fenêtres en bois, que la feuillure à verre soit à drainage rapide. Ce système de calfeutrement assurant l'étanchéité par réaction mécanique (car elle est supérieure aux forces de capillarité), la raison conduisant à prescrire un drainage rapide est que cette réaction diminue dans le temps, et donc l'étanchéité devient moins efficace.

Les causes de cette diminution de la réaction sont les suivantes :

- variations dimensionnelles (augmentation de la largeur de feuillure basse consécutivement aux reprises d'eau) et donc réduction corrélative du taux de compression et donc de la réaction induite ;
- phénomène de fatigue, similaire au fluage, qui conduit, à taux de déformation inchangé, à une réduction progressive de la réaction.

Dans les deux cas, la réduction de cette réaction sera à terme telle que la réaction résiduelle ne sera plus en mesure d'assurer la réaction requise pour vaincre les forces capillaires et donc d'arrêter l'eau.

**Remarque :** il convient d'ajouter à ces deux facteurs le **risque de discontinuité aux angles**.

L'infiltration d'eau dans la feuillure étant inévitable à terme, il convient donc que **l'eau infiltrante s'évacue le plus rapidement possible**. Cela est nécessaire à la fois pour le bois qui pourrait être attaqué par des champignons (qui ne peuvent se développer que si le bois est à plus de 20 % d'humidité), et pour le vitrage isolant du fait d'une forte humidité relative de l'air occlus dans la feuillure pendant une longue période (risque d'embuage).

**■ Profilés mis en œuvre en feuillure ouverte**

Il s'agit essentiellement, pour les menuiseries bois, de profilés en caoutchouc expansé.

Sauf système de clippage (menuiseries mixtes) de la parclosse, la technique est similaire à la précédente mais la fixation des parcloses, comme le profilé de calfeutrement est élastique, doit être faite avec le profilé sous la contrainte de compression prévue en service.

**■ Profilés mis en œuvre en feuillure fermée**

Il s'agit de profilés emmanchés à force lorsque le verre est en place dans la rainure (vitrage dit portefeuille ou pose en tiroir). Elle est typique des systèmes à assemblage mécanique et vitrage en rainure.

## 2. Profilés d'étanchéité

Les profilés d'étanchéité sont mis en œuvre dans deux types de liaisons :

- ouvrant-dormant ;
- mise en œuvre des remplissages ;
- assemblages (alors nécessairement de type mécanique).

Dans tous les cas, le mode de travail est le même : établir un contact mécanique entre les deux éléments de la liaison dans la plus large plage possible de mouvements. La caractéristique mesurant cette capacité est le **pouvoir de compensation**.

D'autre part, le contrôle de l'étanchéité suppose l'exercice d'une certaine réaction mécanique entre le profilé et les supports, au droit des zones de contact.

## 2.1 Profilés d'étanchéité ouvrant-dormant

**Nota** : dans la terminologie utilisée par les fabricants de profilés, ils sont aussi appelés **profilés pour utilisation dynamique**.

Les profilés d'étanchéité de la liaison ouvrant-dormant jouent un rôle critique dans les performances de la fenêtre. En effet, leur mise en œuvre a permis de :

- diviser la perméabilité à l'air dans un rapport compris entre 10 et 50 (par rapport aux fenêtres sans joint) ;
- relever le seuil de limite d'étanchéité à l'eau dans un rapport d'au moins 6 pour les ouvrants à frappe.

Ces chiffres parlent donc d'eux-mêmes.

### 2.1.1 Généralités

Fonctionnellement parlant, ce type de profilé comporte :

- une partie fixatrice qui le lie à la fenêtre (sur l'ouvrant ou le dormant) ;
- une partie active qui assure la compensation de la variation de jeu entre l'ouvrant et le dormant.

● Les caractéristiques de base de la **partie fixatrice** sont les suivantes :

- capacité à compenser les tolérances de la rainure de maintien (mode de fixation le plus courant) tout en assurant un bon maintien de la partie active ;
- facilité de démontage pour remplacement ultérieur sans dégradation du support menuisé (rainure pour le mode de fixation le plus courant).

**Remarque** : cette capacité de compensation et cette limitation de l'effort de démontage peuvent être caractérisées de la même manière que les caractéristiques correspondantes de la partie active.

● Les caractéristiques fonctionnelles de base de la **partie active** sont les suivantes :

- le pouvoir de compensation ;
- la réaction à la déformation ;
- la stabilité linéaire.

### 2.1.2 Pouvoir de compensation

On appelle pouvoir de compensation **nominal**  $C_n$  l'écart de position, par rapport à un plan de référence, de la partie active entre la position de déformation maximale  $P_1$  et la position de repos  $P_0$  :

$$C_n = P_0 - P_1$$

$P_0$ ,  $P_1$  et  $C_n$  sont exprimés en millimètres.

**Nota** : selon la traduction de l'anglais, cette caractéristique peut aussi être connue sous l'appellation de **plage de travail**.

La position  $P_1$  est une caractéristique propre à chaque profilé, elle est donnée par le fabricant.

### 2.1.3 Réaction à la déformation

Si le pouvoir de compensation est suffisant, c'est elle qui permet le contrôle de la perméabilité à l'air (en effet, le contrôle de la perméabilité à l'air suppose l'existence d'une fuite résiduelle que la méthode d'essais NF EN 1026 se propose précisément de mesurer. En effet, une étanchéité absolue impliquerait une force de contact entre ouvrant et dormant incompatible avec d'une part des efforts de manœuvre d'un niveau acceptable et, d'autre part la rigidité des profilés).

### ■ Définition

La déformation de la partie active du profilé de la position  $P_0$  à la position  $P_1$  suppose, pour une longueur donnée, l'exercice d'une certaine force. Elle s'exprime selon la formule ci-dessous :

$$R_\ell = F/L$$

avec  $R_\ell$  (N/m) réaction linéique à cette force,

$F$  (N) force nécessaire pour déformer le profilé de la position de repos ( $P_0$  à l'état initial,  $P_2$  après déformation) à la position de travail  $P_1$ ,

$L$  (m) longueur de profilé.

### ■ Considérations générales sur la valeur de cette réaction

La valeur de la réaction linéique dépend, pour l'essentiel, de la forme et de la nature du matériau constituant la partie active.

Les produits ayant les plus faibles réactions linéiques sont les profilés dont la partie active est une languette travaillant par articulation-flexion (en général montés à mi-épaisseur de dormant).

Les produits présentant les plus fortes réactions linéiques sont ceux dont la partie active travaille en compression :

- soit à languette à forme de demi-ancre ;
- soit tubulaire avec les multiples variantes possibles (sachant que certains tubes présentent un ou deux plis d'articulation visant à réduire l'effort de déformation) ; l'épaisseur de paroi du tube est déterminante pour le résultat de la réaction ;
- soit de forme massive (profilés en matière expansée à cellules fermées à peau intégrée ou à cellules ouvertes sous gaine).

Pour les produits compacts, la matière joue aussi un rôle primordial et le facteur qualificatif, de ce point de vue, est la dureté DIDC (encore connue sous le nom de Shore). Pour la partie active, la valeur de dureté se situe vers 50 Shore A.

Pour les produits expansés, le taux d'expansion est déterminant (il peut s'évaluer par le rapport entre la masse volumique apparente de la partie active et la masse volumique de la matière ayant servi à l'expansion). À dureté égale de la matière compacte, plus l'expansion est forte, plus la réaction se réduit.

Dans la pratique, les valeurs de réaction linéique des profilés proposés s'étalent de moins de 15 N/m à plus de 500 N/m.

La valeur de la réaction linéique conditionne celle des efforts de manœuvre des vantaux.

### ■ Relation entre réaction linéique et effort de manœuvre

Selon les futures normes européennes, les limites suivantes sont fixées aux efforts de manœuvre :

- 100 N au plus pour une force exercée à la main sur la poignée du vantail ;
- 10 N · m au plus pour les couples également exercés à la main.

**Nota** : un système de classes est prévu. Un jeu de valeurs est également prévu pour les organes manœuvrés à la main.

Par ailleurs, les dimensions dans le plan de la menuiserie et les caractéristiques de la quincaillerie de verrouillage jouent aussi sur l'effort à exercer sur la poignée. Entre les divers paramètres, on peut, pour les fenêtres à frappe, établir le lien suivant :

$$R_\ell = \frac{F + \theta \times \tan \alpha (1 - \mu) \frac{T_m - T_\mu}{(t/1\,000)}}{k(H + L)}$$

avec  $R_\ell$  (N/m) réaction linéique,

$F$  (N) force de poussée-traction exercée sur la poignée,

$\theta$  (rad) angle de rotation de la poignée,

$\alpha$  (rad) angle du plan d'engagement de la gâche par rapport à la normale du vantail,

$\mu$	coefficient de frottement des quincailleries (sans dimension),
$t$ (mm)	course de la tringle,
$T_m$ (N · m)	couple exercé sur la poignée,
$T_\mu$ (N · m)	couple de frottement interne du boîtier de crémonne,
$k$	rapport entre la longueur de la pièce se déplaçant radialement (traverse pour un ouvrant à la française, montant pour un châssis pivotant) et la distance de la poignée à l'axe de rotation ( $k = 1$ pour les pivotants sur rive, $k = 2$ pour un basculant et $k$ compris entre 1 et 2 pour un châssis à pivot décentré),
$H$ (m)	hauteur des ouvrants,
$L$ (m)	largeur d'ouvrant (de la baie d'ouvrants en cas de fenêtre à deux vantaux).

Dans cette formule, adoptons les valeurs de couple et de force de manœuvre de la marque NF-Nouvelle Fenêtre Bois et les données suivantes les plus courantes :

$$F = 50 \text{ N} ; T_m = 5 \text{ N} \cdot \text{m} (*)$$

$$\theta = \pi/2 \text{ le plus souvent (crémone quart de tour),}$$

$$\alpha = 45^\circ \text{ le plus souvent (tan } \alpha = 1),$$

$$\mu : \text{voisin de } 0,2,$$

$$t = 18 \text{ mm (mais cette cote tend à se réduire à environ 14 mm diminuant ainsi la rigidité admissible),}$$

$$T_\mu : \text{dépend de la conception et de la réalisation du mécanisme, on admet 0 ici, cas idéal.}$$

(\*) ces valeurs d'efforts (exercés à la main) correspondent à la moitié des valeurs plafonds de la future norme européenne pour les manœuvres à la main (100 N pour les forces de manœuvre et 10 N · m pour les couples).

On en déduit l'exigence suivante :

$$R_\ell \leq \frac{400}{H+L}$$

Pour une porte-fenêtre balcon de dimensions courantes (2,25 m × 1,40 m), il ne faut donc pas dépasser une réaction linéique  $R_\ell$  de 110 N/m pour le profilé ou l'ensemble des profilés entre l'ouvrant et le dormant.

Une fenêtre étant astreinte à participer au clos du bâtiment, il faut donc que ces deux caractéristiques restent aussi stables que possible dans le temps de vie prévu pour ces profilés complémentaires.

#### ■ Cas particulier des menuiseries à serrure à pêne dormant

La fermeture se fait alors sur le mode dynamique et l'évaluation des efforts passe par la mesure du travail du profilé d'étanchéité sur le périmètre du vantail portant la serrure.

Le travail que développe le profilé autour du vantail est donné par :

$$W_v = R_\ell C (H + L)$$

avec $W_v$ (J)	travail de déformation,
$R_\ell$ (N/m)	réaction linéique du profilé d'étanchéité,
$C$ (m)	déformation subie par le profilé,
$H, L$ (m)	respectivement hauteur et largeur du vantail.

**Remarque :** la formule suppose la **linéarité entre réaction et déformation**.

Pour assurer la fermeture du vantail, il faut lui fournir ce travail  $W_v$ .

#### ● Essai

Il consiste à faire tomber une masse d'une certaine hauteur.

Le travail moteur doit être au moins égal au travail résistant  $W_v$  fourni par le profilé, on a donc la relation suivante :

$$M = \frac{(H + L) R_\ell C}{gh}$$

avec $M$ (kg)	masse,
$g$ (m/s <sup>2</sup> )	accélération due à la pesanteur,
$h$ (m)	hauteur de chute de la masse (pour les vantaux à frappe, $h = 0,2$ m (NF EN 12 246-2)).

**Remarque :** la formule ne tient pas compte des frottements, la valeur ainsi déterminée est donc un minimum.

#### Exemple :

$$H + L = 3 \text{ m} ; R_\ell = 100 \text{ N/m} ;$$

$$C = 4 \times 10^{-3} \text{ m} ; g \approx 10 \text{ m/s}^2 ; h = 0,2 \text{ m.} \Rightarrow M = 0,6 \text{ kg}$$

La masse trouvée est faible ; comme le profilé utilisé pour ce calcul est dans le haut de la fourchette prévue pour une manœuvre à la poignée par couple et poussée (100 N/m), le mode de fermeture dynamique est beaucoup plus tolérant quant à la réaction linéique des profilés d'étanchéité ouvrants-dormants.

#### ● Vitesse à appliquer au vantail (cas pratique)

Au droit du battement, la vitesse du vantail (m/s) doit être de :

$$V_{\text{bat}} = 2 \times \sqrt{\frac{2 R_\ell C (H + L)}{M_v}}$$

avec  $M_v$  (kg) masse du vantail.

### 2.1.4 Stabilité linéaire

Cette fonction est tellement évidente qu'on l'omet souvent. Pourtant, pour que la perméabilité à l'air soit contrôlée, il faut que tout le périmètre de la liaison ouvrant-dormant soit calfeutré. Cette exigence de continuité physique de la barrière suppose que la longueur des profilés reste stable dans le temps.

### 2.1.5 Qualification des profilés

Formellement, un profilé d'étanchéité, dans la mesure où il est démontable (voir fonction de la partie fixation), doit assurer une garantie biennale au plus. Dans la pratique, la durée de vie est au moins décennale. Il faut donc viser un très bon comportement dans le temps par des essais de qualification (et un système de contrôle) appropriés.

#### ■ Généralités

On expose le profilé à des épreuves conventionnelles, climatiques, physiques ou chimiques.

Les épreuves se font :

- soit avec déformation de la partie active du profilé à la limite prévue par le fabricant ;
- soit sans déformation.

Le contrôle de l'influence des épreuves se fait par la mesure des caractéristiques fonctionnelles que sont :

- le pouvoir de compensation ;
- la réaction linéique ;
- la stabilité linéaire.

Par commodité et pour l'information qu'elle peut donner, on inclut la stabilité de la masse.

**Remarque :** l'esprit de ce mode d'évaluation du profilé à partir de ses caractéristiques fonctionnelles et qui est orienté utilisateur, s'écarte de la méthode traditionnelle. Cette dernière correspond à l'esprit de contrôle en cours de fabrication (avec, par exemple, confection d'éprouvettes conventionnelles en

forme de parallélépipèdes, d'haltères...), mais ses résultats peuvent être corrélés, au cas par cas, à ceux obtenus sur des profilés.

Les normes de profilés élaborées dans le TC 33 ainsi qu'à l'ISO (TC 45) commencent toutefois à prendre en compte cette approche performances sur des produits finis.

### ■ Description sommaire des essais

Dans le cadre de la marque NF-CTB-Nouvelle Fenêtre Bois, les épreuves suivantes sont pratiquées (chacune sur une série de 10 éprouvettes de 100 mm) :

#### ● Sous déformation

La déformation est celle, maximale, prévue en service par le fabricant. La position correspondante de la partie active, par rapport à un plan de référence, est appelée  $P_1$ .

Les épreuves, réalisées indépendamment les unes des autres, sont les suivantes :

- 4 semaines à la température ambiante ;
- 1 semaine dans l'air à  $-25\text{ °C}$  ;
- 1 semaine dans l'air à  $55\text{ °C}$  ( $70\text{ °C}$  pour un profilé qui serait extérieur).

À l'issue de l'épreuve, on relâche la contrainte de déformation et on laisse reposer les éprouvettes pendant un temps donné. À l'issue de ce dernier et toujours par rapport au même plan de référence, on mesure la position  $P_2$  de la partie active.

#### ● Sans déformation

Les épreuves, appliquées indépendamment les unes des autres, sont les suivantes :

- immersion de 30 min dans le white spirit si les fenêtres sont traitées avec un produit biocide en solvant organique (sinon réduite à 1 min) ;
- 1 semaine dans l'air à  $55\text{ °C}$  ( $70\text{ °C}$  si le profilé est extérieur) ;
- 6 semaines à la roue de dégradation artificielle (épreuve combinant humidité, UV et température (environ  $80\text{ °C}$ )).

**Nota** : la roue de dégradation accélérée peut être remplacée par un dispositif équivalent tel que QUV ou Xenotest.

À l'issue de l'épreuve, on mesure :

- la longueur ;
- la masse ;
- la position  $P_2$  de la partie active (par rapport au plan de référence) ;
- la réaction linéique.

### ■ Exploitation des résultats

#### ● Pouvoir de compensation

À partir des positions  $P_0$ ,  $P_1$  et  $P_2$  de la partie active, on calcule :

- la reprise élastique ;
- le facteur de déformation.

#### ● Reprise élastique

Elle traduit, lorsque le profilé a été déformé, la capacité de la partie active à recouvrer la position qu'elle avait avant sa déformation (capacité du profilé dans la position  $P_2$  de se rapprocher de la position de repos  $P_0$ ).

En pratique, pour l'évaluer, on déforme la partie active à la valeur maximale prévue par le fabricant (de façon à obtenir le pouvoir de compensation maximal). Après cette déformation, la partie active prend, par rapport au plan de référence, une position  $P_2$ . Le pouvoir de compensation **résiduel**  $C_r$ , en admettant que la position de travail est inchangée, vaut donc :

$$C_r = P_2 - P_1$$

La reprise élastique  $r$  (%) est le rapport entre ces deux pouvoirs de compensation :

$$r = 100 C_r / C_n$$

Normalement, cette valeur est comprise entre 0 et 100 %. Plus elle est élevée, meilleur est le comportement du profilé.

**Tableau 7 – Spécifications**

Type d'épreuve	Épreuve	Caractéristique	Spécification
Sans contraintes mécaniques	État initial	$R_\ell$	$\leq 110\text{ N/m}$
		$C_i$	$\geq 2,5\text{ mm}$ (1)
	White spirit 30 minutes (2)	$ \Delta R_\ell $	$\leq 30\%$
		$ \Delta L $	$\leq 2\%$
		$ F_d $	$\leq 30\%$
	White spirit 1 minute (3)	$ \Delta R_\ell $	$\leq 10\%$
		$ \Delta L $	$\leq 1\%$
		$ F_d $	$\leq 10\%$
	$55\text{ °C}$ (4)	$ \Delta R_\ell $	$\leq 30\%$
		$ F_d $	$\leq 30\%$
	$70\text{ °C}$ (5)	$ \Delta R_\ell $	$\leq 30\%$
		$ F_d $	$\leq 30\%$
Avec contraintes mécaniques	RDA (42 j) (6)	$ \Delta R_\ell $	$\leq 60\%$
		$ F_d $	$\leq 30\%$
	(20-23) °C (28 j)	$r$	$\geq 60\%$
	$-25\text{ °C}$ (7 j)	$r$	$\geq 60\%$
	$55\text{ °C}$ (7 j)	$r$	$\geq 40\%$
	$70\text{ °C}$ (7 j)	$r$	$\geq 40\%$

$R_\ell$  réaction linéique du profilé

$C_i$  pouvoir de compensation

$L$  longueur du profilé

$F_\alpha$  facteur de déformation

$r$  reprise élastique

(1) Valeur spécifiée mais la valeur recommandée est au moins de 3 mm.

(2) Pour menuiseries préservées en solvant organique.

(3) Pour menuiseries préservées en solvant aqueux ou non traitées.

(4) Pour profilés non à l'extérieur fenêtre fermée.

(5) Pour profilés en barrière extérieure.

(6) Roue de dégradation accélérée à basse température ( $55\text{ °C}$ ) ou QUV.

#### ● Facteur de déformation

Il correspond au complément de la reprise élastique. Il vaut donc :

$$F_d = 100 - C_r$$

Il se calcule pour les expositions sans contrainte : UV, white spirit et température élevée.

**Remarque** : il peut prendre une valeur **négative** (gonflement pour les profilés à partie active massive ou déformation pour les profilés à partie active de type languette).

### 2.1.6 Spécifications

Celles qui s'appliquent actuellement sont consignées dans le tableau 7.

## 2.2 Profilés de liaison fixe

**Nota** : selon la terminologie des fabricants de profilés, ils sont aussi appelés profilés pour utilisation statique.

### ■ Généralités

Il s'agit :

- soit de profilés linéaires (destinés au calfeutrement des remblissages ou des assemblages de fil) ;



— soit de matériaux en feuille ou de pièces moulées (destinés au calfeutrement des assemblages d'angle).

Le mode de fonctionnement est identique à celui des profilés d'ouvrant-dormant. Seuls changent :

- le fluide à calfeutrer puisque l'eau remplace l'air ;
- le niveau d'étanchéité puisque les liaisons fixes ne doivent pas laisser passer l'eau ;
- le fait que la contrainte, si elle peut être variable en intensité, est toujours présente.

Le niveau des forces capillaires est tel que le profilé doit exercer une réaction forte avec les deux supports. Il suppose donc l'existence d'un maintien mécanique solide de la liaison.

Comme le profilé ouvrant-dormant, il comporte :

- une partie fixatrice qui le lie à l'un des supports ;
- une partie active qui assure l'étanchéité.

La partie fixatrice assure, en ce qui concerne sa liaison au support, la fonction étanchéité ainsi que le maintien.

Le maintien repose :

- soit sur une liaison de type mécanique (rainure avec toutes les variantes possibles dont celle à queue d'aronde) ;
- soit sur une liaison collée ;
- soit sur la combinaison des deux.

Les caractéristiques fonctionnelles de base de la partie active sont identiques à celles des profilés pour ouvrant-dormant, c'est-à-dire :

- pouvoir de compensation ;
- réaction à la déformation ;
- stabilité linéaire.

#### ■ Pouvoir de compensation (ou plage de travail)

Il se définit de manière identique à celui des profilés d'étanchéité ouvrant-dormant (§ 2.1.2).

#### ■ Réaction à la déformation

Pour la quasi-totalité des profilés, le mode de travail est la **compression**.

Le niveau de réaction est en général nettement supérieur à celui des profilés ouvrant-dormant. Ainsi, les profilés compacts pour calfeutrement de vitrage ont-ils une réaction linéique, avec la partie active en position de travail maximal ( $P_1$ ), comprise entre 500 et 2 000 N/m.

**Nota** : les profilés compacts sont dits aussi « **massifs** » par opposition aux profilés cellulaires (ou expansés) vulgairement dénommés « **mousses** ».

**Remarque** : il convient de rappeler ici que les profilés à languette pour calfeutrer la liaison ouvrant-dormant peuvent voir **leur réaction située en dessous de 15 N/m**.

La réaction linéique des profilés pour calfeutrement de vitrage doit être comprise entre deux limites :

- réaction suffisante pour assurer l'étanchéité ;
- réaction en deçà du risque de dégradation du système d'étanchéité liant les feuilles de verre isolant.

La première s'évalue par un test d'aquarium visant à déterminer le taux de compression minimal assurant l'étanchéité.

Comme il s'agit de profilé en matière expansée, le taux de compression ne doit pas aller jusqu'à l'éclatement des cellules. La position  $P_1$  résulte donc de ces deux contraintes.

#### ■ Stabilité linéaire

Elle ne concerne que les profilés linéaire de calfeutrement de remplissage ou d'assemblage de fil. Elle est primordiale car elle conditionne la continuité de la barrière d'étanchéité.

#### ■ Qualification

Elle se fait selon la même procédure que pour les profilés destinés aux liaisons ouvrant-dormant.

Toutefois, pour les pièces moulées, la reprise élastique est remplacée par la perte relative de réaction (appelée taux de relaxation par les fabricants de profilés). Ce taux est donc donné par :

$$\tau = 100 \times \left( 1 - \frac{F_r}{F_i} \right)$$

avec  $\tau$  taux de relaxation de la pièce moulée,

$F_r$  réaction résiduelle (après épreuve) de la pièce moulée à la position de travail  $P_1$ ,

$F_i$  réaction initiale de la pièce moulée à la position de travail  $P_1$ .

**Remarque** : sur de telles pièces, la complexité du profilé rend difficile la prise en considération des positions de travail ( $P_1$ ) et de repos ( $P_0$  et  $P_2$ ) ; il faudrait déterminer un grand nombre de points de mesure. Il est donc plus simple de prendre la mesure globale que constitue la mesure de la réaction associée à un taux de compression donné (généralement fixé par une butée intégrée dans l'assemblage) et de suivre l'évolution de cette réaction en fonction des épreuves subies.

Les spécifications correspondant à ces essais se trouvent dans le règlement technique de la marque de qualité NF-Nouvelle Fenêtre Bois.