

Fenêtres et portes extérieures bois

Techniques d'assemblage

par **Marcel DENANCÉ**

Ingénieur Menuiserie - Panneaux au Centre technique du bois et de l'ameublement

1. Généralités	C 3 612 – 2
2. Estimation des efforts à reprendre par les assemblages d'angle	— 2
2.1 Efforts perpendiculaires	— 2
2.2 Efforts dans le plan	— 3
3. Qualification des assemblages d'angle	— 5
4. Technologie des assemblages d'angle	— 5
4.1 Assemblages collés	— 5
4.2 Assemblages mécaniques	— 7
5. Assemblages de fil	— 11

Une fenêtre – ou une porte extérieure – est constituée d'un agencement de cadres (en général au moins deux en cas de menuiserie à ouvrant(s) et au moins un, en cas de châssis fixe).

Les exigences en matière de résistance mécanique et de durabilité conduisent, en l'état actuel de la technique, à éliminer les produits dérivés du bois qui seraient agglomérés et qui pourraient donc être moulés.

Quand bien même l'évolution du matériau aggloméré à base de bois permettrait d'envisager cette solution, l'extrême diversité dimensionnelle des cadres, qu'impose le marché, la rendrait non viable sur le plan économique (rapport production/investissement).

Ainsi, la fabrication des fenêtres et portes extérieures à base de bois, pour le terme prévisible, consistera toujours à usiner des profilés linéaires puis à assembler ces derniers.

La rubrique « Fenêtres et portes extérieures » se compose de plusieurs articles :

- C 3 610 - *Fonctions de base et terminologie* ;
- C 3 611 - *Conception de la liaison ouvrant-dormant* ;
- C 3 612 - *Techniques d'assemblage* ;
- C 3 613 dans lequel sont traités d'autres aspects (remplissage, profilés d'étanchéité, mise en œuvre, thermique, bois, stabilité).

1. Généralités

Il y a deux types d'assemblages : ceux **d'angle** et ceux **de fil**.

Un assemblage de fil comporte au moins deux pièces dont le fil est parallèle, sinon, il s'agit d'un assemblage d'angle.

Ils assument deux fonctions essentielles : un rôle mécanique et un rôle d'étanchéité.

- Le **rôle mécanique** est évident et va être développé ci-après.

- Le **rôle d'étanchéité** de la fenêtre est évident car elle participe à la fonction « clos » des locaux qu'elle contribue à fermer. Cette fonction est d'ailleurs incorporée dans la réglementation.

Les assemblages constituent des zones de discontinuité dans le plan de la fenêtre et il ne faut pas qu'elles mettent en défaut cette fonction « étanchéité ».

Les règles de l'art, DTU 36.1 et norme NF P 23-305, insistent **fortement sur cette exigence**. Elle est fondée à deux titres : la durée de vie de l'ouvrage et, pour les assemblages dormants, le mode de mise en œuvre dominant en France.

- En ce qui concerne la **durée de vie** de la fenêtre, un assemblage non étanche conduit à l'humidification du bois de bout et crée des conditions favorables au développement des champignons lignivores destructeurs du bois.

- En ce qui concerne la **mise en œuvre**, le mode de pose prévalant conduit à disposer le dormant au nu intérieur du doublage isolant. Il s'ensuit que ses assemblages sont disposés au-dessus de l'isolant donc à l'intérieur par rapport au mur porteur (l'isolation, dans une majorité écrasante de cas, est disposée à l'intérieur, dans le clos). S'ils ne sont pas étanches, l'eau infiltrante tombe dans l'isolant et peut provoquer, en dehors de l'insalubrité, des dégâts importants.

2. Estimation des efforts à reprendre par les assemblages d'angle

Les assemblages d'angle doivent reprendre deux types d'efforts : ceux perpendiculaires au plan du vantail et ceux qui sont situés dans son plan. Ils doivent donc être en mesure de remplir cette fonction.

2.1 Efforts perpendiculaires

Il s'agit de charges liées à la pression du vent, qui concernent donc tous les châssis, qu'ils soient ouvrants ou dormants. Compte tenu de l'excentricité de l'application de la force, ils se traduisent toujours par un **couple de réaction de torsion des assemblages** qui est fonction de la charge du vent et de l'excentricité de la force transmise par rapport à l'axe de la pièce chargée (figure 1).

Dans un assemblage, le niveau du couple induit par une **partie vitrée** vaut, pour chacun des deux assemblages de la pièce de la rive la plus longue :

$$C_{ra} = \left(\frac{p_3}{4} \right) \left(H - \frac{L}{2} \right) L \frac{d}{1000}$$

avec C_{ra} (N · m) couple de réaction de l'assemblage,
 p_3 (Pa) pression de rafale définie par la norme NF EN 12210 (voir [C 3 610, tableau 10]),
 H, L (m) respectivement hauteur et largeur du vantail,

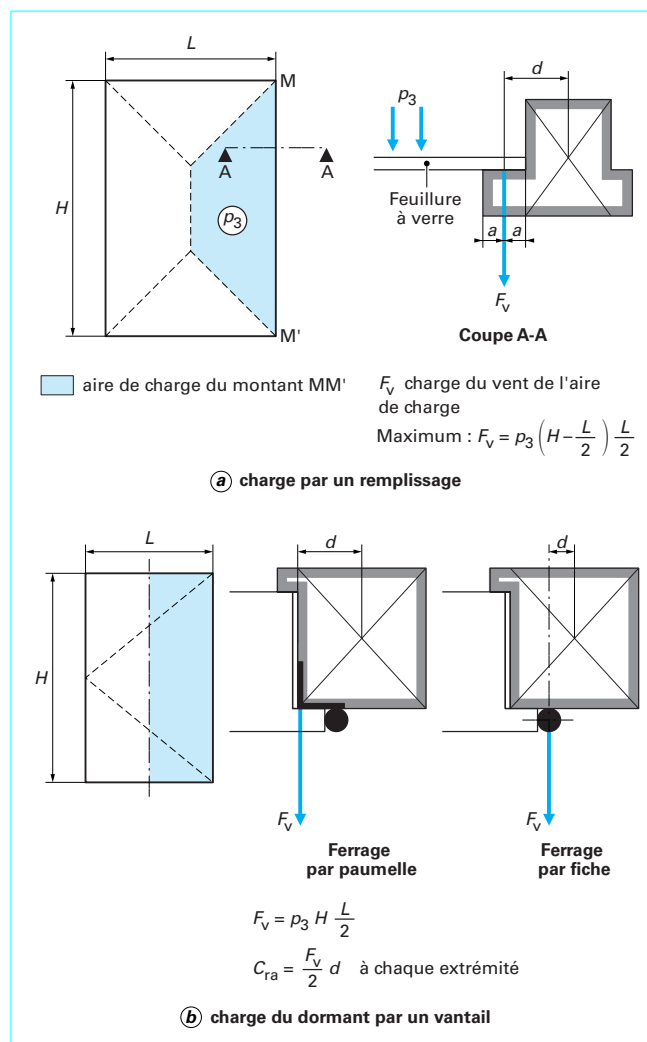


Figure 1 - Torsion induite par la charge du vent. Couple de réaction

d (mm) excentricité de la ligne d'application de la charge du vent dans la feuillure à verre, c'est-à-dire distance entre la ligne d'application de la charge du vent dans la feuillure à verre (soit la mi-hauteur de cette dernière) et la zone centrale de liaison de l'assemblage.

Exemple :

$p_3 = 1\,700$ Pa ; $H = 2,25$ m ; $L = 0,80$ m ; $d = 28$ mm $\Rightarrow C_{ra} = 17,6$ N · m

Nota : pour les **petits côtés**, on utilise la formule ci-dessus dans laquelle on fait $H = 0$ et on change le signe du résultat.

Pour un **dormant**, le couple de réaction de l'assemblage est aussi donné par la formule ci-dessus, dans laquelle on remplace les cotes du vantail par celles du dormant.

Pour les **assemblages les plus sollicités**, on arrive à des niveaux de couple de réaction du même ordre ; toutefois, en cas d'organes de rotation de type fiche, la sollicitation devient moindre car son excentricité par rapport au milieu de la zone de liaison du dormant est moindre (avec des largeurs de dormant courantes, l'excentricité d se situe vers 25 mm pour un ferrage par paumelles mais vers 10 mm avec un ferrage par fiches).

2.2 Efforts dans le plan

Il s'agit du poids propre ainsi que des sollicitations liées à l'usage de la fenêtre dont le cas extrême est représenté par l'essai de charge au nez prévu par la norme NF P 20-501 (figure 10 de [C 3 611]).

Il faut faire une distinction entre le dormant et l'ouvrant.

L'assemblage **dormant** n'est pas soumis à des sollicitations dans le plan dans la mesure où ces charges sont reprises par le support (via un appui continu ou discontinu).

Le **vantail** peut être plus ou moins sollicité selon son mode d'ouverture :

- tous les vantaux qui sont liés au dormant par leur traverse basse ne subissent aucune contrainte de poids (si les cales d'assise du vitrage sont bien placées au droit des organes de liaison au dormant). La seule sollicitation qu'ils aient à subir est celle de la charge d'essai dans le plan ;

- tous les vantaux qui sont liés au dormant par leur traverse haute doivent reprendre, par l'intermédiaire de cette dernière, le poids propre du châssis ; si la section des profilés est suffisamment rigide, les assemblages n'ont pas à reprendre d'effet de couple lié au poids ; il en est de même des châssis basculants ;

- tous les châssis ferrés sur une seule de leurs rives verticales, en sus du poids propre doivent aussi reprendre les effets de couple lié à l'excentricité du centre de gravité du vantail par rapport à l'axe de rotation.

C'est donc **ce dernier cas, le plus critique, que nous allons traiter** de manière plus détaillée.

Deux types de sollicitations sont à noter :

- celles liées directement à la charge ;
- celles liées à son excentricité.

■ Sollicitations liées à la charge

L'assemblage bas est le plus contraint puisqu'il doit reprendre :

- le poids propre du remplissage (et des trois autres pièces du châssis qu'il constitue) ;
- une composante de la charge au nez.

D'après la figure 10 de [C 3 611], la **cale d'assise basse** doit reprendre une charge R_b telle que :

$$R_b = \frac{F_n + P}{1 - k}$$

avec F_n (N) charge au nez normalisée (NF P 20-501),
 P (N) poids du remplissage,
 k rapport de la distance de la cale d'assise à la rive la plus proche par rapport à la largeur du vantail de fond de feuillure à fond de feuillure.

Typiquement, pour un **vantail de porte fenêtre** de 0,8 m de large, cette valeur tourne autour de 900 N (dont 300 de charge permanente).

Nota : pour un vantail de ce format mais d'indice d'affaiblissement acoustique du bruit routier de 35 dB(A), voir [C 3 610, tableau 13], il faut ajouter une charge **permanente** supplémentaire de 230 N.

Cette charge est reprise directement par l'assemblage **bas côté ferré**.

Au niveau de la **cale haute** la réaction est la suivante :

$$|R_h| = \frac{F_n + kP_v}{1 - k}$$

- Pour un assemblage de type **enfournement** (figure 2 a), ces efforts seront compensés par une réaction de cisaillement des plans de collage liant tenon et enfournement (ou mortaise).

- Il en sera de même avec un assemblage par **tourillons** (figure 2 b) mais la réaction de cisaillement sera fournie par la sec-

tion des tourillons eux-mêmes (car les montants sont filants, sinon les tourillons travailleraient en traction, ce qui serait défavorable).

- Pour un assemblage mécanique à **montants filants** (figure 2 c), la réaction est de cisaillement dans les deux zones, de part et d'autre de la vis, comprises entre cette dernière et l'arasement du montant.

Nota : toutefois, dans la pratique en poussant l'essai de charge au nez bien au-delà de ce que prévoient les normes, la rupture se manifesterait probablement sous la forme d'un fendage du bois au droit de l'axe de la vis, entre arasement et trou de vis.

- Pour un assemblage mécanique à **traverses filantes** (figure 2 d) (technique non utilisée à ce jour), la réaction serait une traction de la vis (mettant à son tour en compression le bois serré sous la tête de vis).

- Pour un assemblage **collé sur onglet**, la réaction est du type traction.

■ Sollicitations liées à l'excentricité du centre de gravité du vantail

Sous l'action des charges verticales (soit poids propre, soit charge au nez conventionnelle ou non), on peut distinguer deux situations différentes :

- les cales d'assise ne sont pas en butée ;
- les cales d'assise sont en butée.

- Tant que **les cales hautes ne sont pas en butée**, les quatre assemblages sont soumis à un **couple** dont la valeur, s'ils sont équilibrés, est de :

$$C_r = \frac{kP_v \times L}{4}$$

avec C_r (N · m) couple de réaction dans le plan des assemblages,
 k position relative de la cale d'assise par rapport à la largeur du vantail en fond de feuillure,
 P_v (N) poids du vantail,
 L (m) largeur du vantail.

Nota :

- Comme le poids du vantail est proportionnel à sa largeur, C_r est donc fonction du carré de la largeur du vantail.

- Ce couple n'intègre pas la charge verticale de l'essai de charge au nez qui introduit un supplément de couple. Lors de l'application de cette charge verticale normalisée F_n (= 500 N selon la norme NF P 20-501), C_r augmente selon la formule ci-dessous :

$$C_r = C_{rn} = \frac{(F_n + kP_v) \times L}{4}$$

La déformation (chute de nez) que prend le vantail est fonction de la rigidité des assemblages (ainsi que du couple à reprendre).

- Quand **les cales d'assise sont en butée**, c'est le remplissage qui reprend la partie des efforts au-dessus de ceux qui provoquent la mise en butée des cales.

La rigidité des assemblages peut se mesurer expérimentalement (voir § 3).

Pour un couple donné C_0 , on obtient une déformation angulaire θ_0 donnée, pour un assemblage. En supposant une relation linéaire, le couple C de réaction d'un assemblage est lié à la déformation angulaire θ par :

$$C = C_0 \times \frac{\theta}{\theta_0}$$

avec θ en rad et C en N · m.

Des formules précédentes de chute de nez et de couple exercé par le poids du remplissage, on déduit le **jeu absorbé** au niveau de la cale haute (voir figure 3) :

$$\Delta J = \frac{1\,000}{4} P_v k L \frac{\theta_0}{C_0} \frac{1}{\frac{1}{H} + \frac{1}{L}}$$

avec H et L en m et ΔJ en mm, les autres paramètres ayant été définis précédemment.

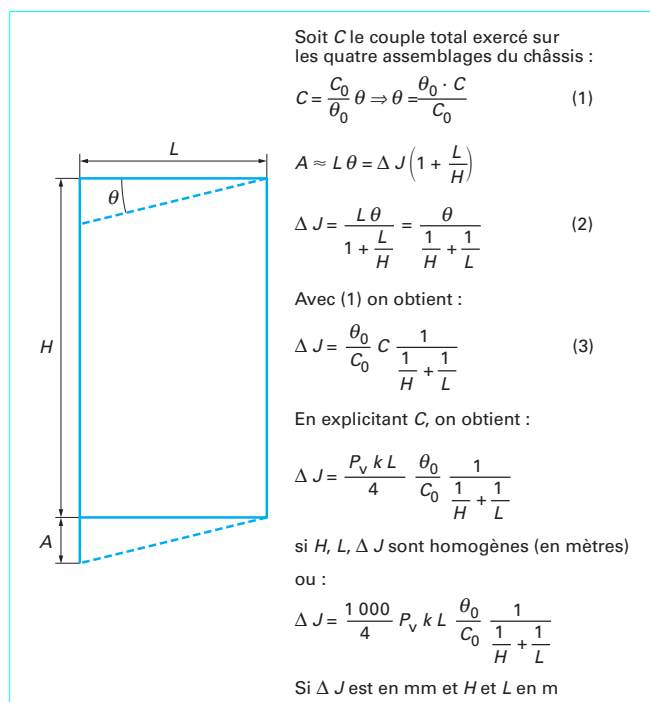
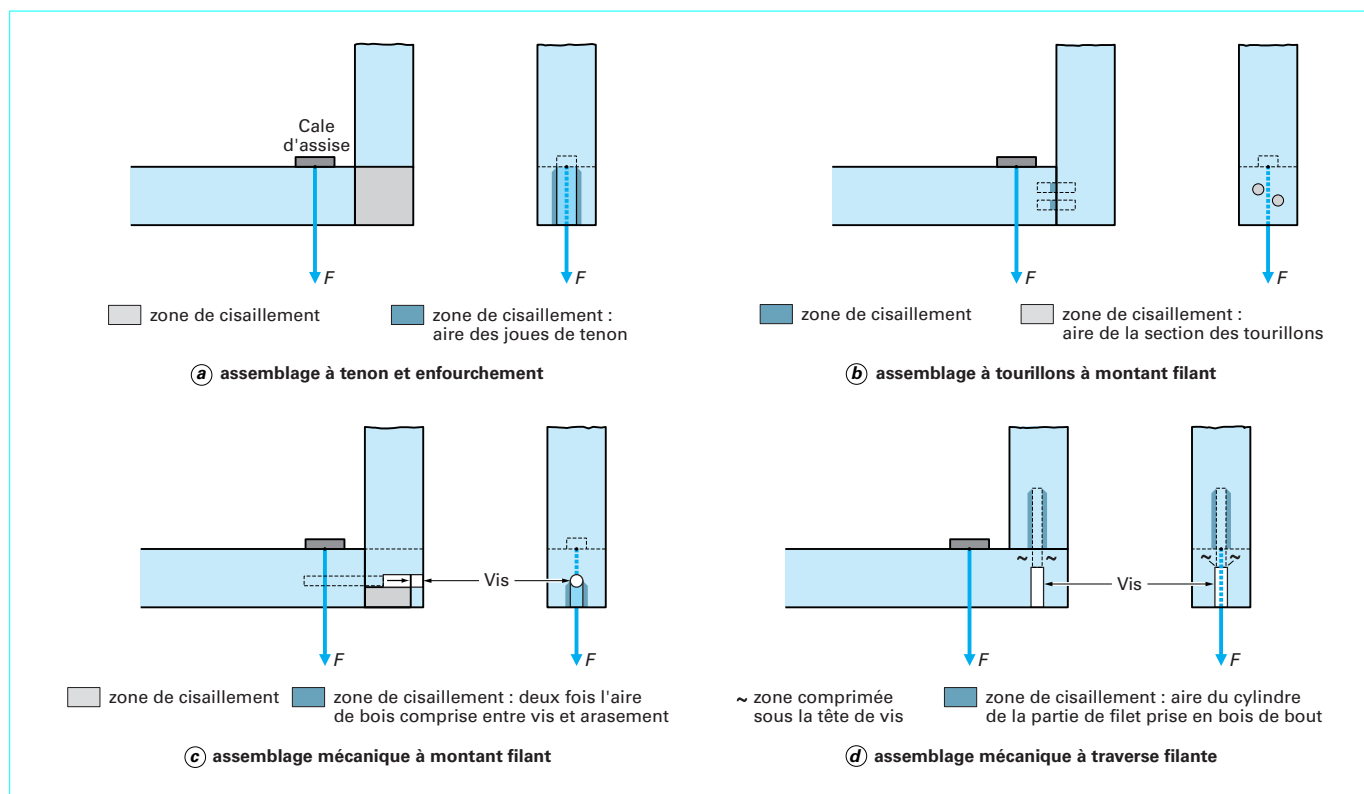


Figure 3 – Calcul du jeu absorbé (cales en butée)

Exemple : rigidité de l'assemblage : couple C_0 de 100 N · m pour obtenir une ouverture angulaire θ_0 de 1° (soit $\pi/180$ rad)

avec $L = 0,7$ m ; $H = 1,4$ m ; $k = 0,10$; $P_v = 200$ N, on a :

$$\Delta J = 0,29 \text{ mm}$$

Si le jeu résiduel de montage entre la cale haute et le chant du remplissage est inférieur à cette valeur, il y aura mise en butée instantanée (dès que le châssis est mis à la verticale et gondé) et le remplissage reprendra une partie de l'effort.

Si le jeu résiduel est supérieur à la valeur qui vient d'être calculée, les quatre assemblages seront sous contrainte. Toutefois, à terme, sous l'effet du fluage engendré par la charge permanente du poids propre, il y aura mise en butée sur la cale haute.

La portion de couple qui dépasse cette valeur est absorbée par les cales d'assise qui se déforment par compression.

Nota : l'exemple choisi correspond à un assemblage collé (donc rigide), avec un assemblage mécanique, la rigidité ne vaut qu'environ le quart de celle de l'exemple ci-dessus. Il s'ensuit, qu'une fenêtre ferrée sur ses rives verticales, avec assemblages mécaniques, aura toujours sa cale d'assise haute en compression et le vitrage sera donc sous contrainte.

Par ailleurs, le couple repris par les assemblages se traduit aussi pour les vis par une **composante « arrachement »** dont la valeur est la suivante :

$$F_i = C_r \frac{d_i}{\sum_{i=1}^n d_i^2}$$

avec F_i (N) réaction exercée par la vis i ,

C_r (N · m) couple repris par l'assemblage (pour atteindre la butée sur le remplissage),

d_i (m) distance de la vis i au point de rotation de l'assemblage,
 n nombre de vis dans l'assemblage.

Pour un assemblage monovis (cas le plus courant), la formule se réduit à :

$$F = \frac{C_r}{d}$$

Nota :

- Dans un cadre, les assemblages situés sur une des diagonales travaillent en compression sur cette dernière et en traction sur l'autre.
- Sur la diagonale travaillant en compression, les distances d_i des vis s'apprécient à partir de l'arête de clair de vitrage ; sur la diagonale travaillant en traction, les distances se mesurent à partir de l'arête externe de la pièce arasée.
- En assemblage de menuiserie non à coupe d'onglet, l'une des pièces, en vue de face, « file » devant l'autre ; on l'appelle la pièce filante. Pour les assemblages mécaniques, nous appelons l'autre pièce, la pièce « arasée ». Actuellement, sur les vantaux, **les montants sont filants** ; sur les dormants, les traverses sont généralement filantes.
- La partie de couple situé au delà de la valeur de mise en butée, est reprise par le remplissage et l'assemblage et se traduit par les réactions sur les cales d'assise R_b et R_h .

3. Qualification des assemblages d'angle

■ Elle se fait au moyen d'**essais mécaniques**. Elle concerne en premier lieu les assemblages des vantaux ferrés sur une de leurs rives verticales. Trois types de propriétés sont actuellement estimées :

- le couple pour obtenir 1° de variation angulaire autour de la position nominale de 90° ;
- la déformation résiduelle à l'issue de cette mesure ;
- le couple de rupture.

La méthode est la suivante :

L'échantillonnage comporte dix châssis de vantaux. Ils sont découpés sensiblement au milieu de leurs quatre côtés et marqués.

Après conditionnement à 20 °C et 65 % d'humidité relative, ils sont répartis en quatre lots de dix éprouvettes :

- les assemblages bas ferrés ;
- les assemblages hauts de battement ;
- les assemblages hauts ferrés ;
- les assemblages bas de battement.

Les deux premiers, qui tendent à s'ouvrir en service sont soumis à un essai de traction ; les seconds qui tendent à se fermer en service, sont testés en compression. Ceci vaut pour les trois propriétés citées plus haut.

Ensuite pour chacune des propriétés, on calcule :

- la moyenne globale ;
- l'écart type intrasérie ;
- l'écart type intrasérie résultant des quatre séries testées.

On dérive ensuite la valeur caractéristique (indiquée k dans le tableau 1) de chacune de ces propriétés.

● **Couple pour 1°**

Il donne une estimation de la rigidité de l'assemblage (terme $R = C_0/\theta_0$) soit :

$$R = (180/\pi)C_0$$

avec R en $N \cdot m/rad$,

$$\theta_0 = 1^\circ = 1 \text{ rad} \times (180/\pi)^\circ$$

● **Déformation résiduelle**

Sur chaque éprouvette, après un temps de repos donné, on mesure la déformation résiduelle que l'on apporte à la déformation appliquée (1°).

C'est un facteur indicateur de l'élasticité de l'assemblage.

Tableau 1 – Propriétés de base pour trois familles d'assemblages

Assemblages	Propriété		
	Déformation résiduelle relative D_{rk} (%)	Couple pour 1° $C_{1^\circ k}$ (N · m)	Couple maximal C_{rk} (N · m)
Traditionnels collés	≤ 25	≥ 80	≥ 100
Collés avec insert	≤ 35	≥ 40	≥ 100
Mécaniques	≤ 35	≥ 15	≥ 90

(1) L'indice k indique que les valeurs doivent être satisfaites dans 95 % des cas dans la technologie soumise à l'essai.

Nota : si $D_{rk} = 0$, l'assemblage a alors un comportement parfaitement élastique (cas idéal), a contrario, si $D_{rk} = 100$, l'assemblage n'a aucune élasticité et montre un comportement purement plastique (technique inacceptable).

● **Couple maximal**

On mesure le couple maximal nécessaire pour atteindre la rupture.

■ **Spécifications**

Elles ont été intégrées à la marque de qualité *NF Nouvelle fenêtre bois*. Elles sont consignées dans le tableau 1 pour trois familles techniques d'assemblages.

Ces trois propriétés de base devraient être complétées par l'évaluation de la résistance à une charge verticale et ce pour les deux assemblages supportant les cales d'assise (assemblage bas ferré et assemblage haut de battement). La charge de rupture serait à relier aux réactions calculées ci-dessus R_h pour l'assemblage haut de battement et surtout R_b pour l'assemblage bas ferré (§ 2.2).

Cette charge verticale correspond à l'effort tranchant appliqué sur la traverse.

Nota : pour les assemblages à montants filants vissés, la réaction à cet effort tranchant est donnée par le cisaillement (ou le fendage) du bois compris entre la vis et l'arasement.

4. Technologie des assemblages d'angle

Deux grandes familles d'assemblages existent : les assemblages **collés** qui sont devenus traditionnels et les assemblages **mécaniques** qui étaient traditionnels et d'ailleurs ont disparu sous leur forme originelle.

4.1 Assemblages collés

Un usinage mâle-femelle est réalisé à chaque bout de pièce et les aires qui s'interpénètrent sont préalablement encollées.

Les colles employées, compte tenu des conditions d'exposition, doivent résister à l'humidité et sont donc du type D4. Toutefois, si la conception de la menuiserie fait la preuve de sa salubrité (humidité ne dépassant pas 20 % dans les liaisons les plus critiques que sont les assemblages ou la feuillure à verre), des colles de type D3 pourraient être employées.

Nota : les spécifications des colles en fonction de la classe de service (liée à l'humidification du bois) fait l'objet de la norme NF EN 204.

En pratique, les colles mise en œuvre le plus couramment sont :

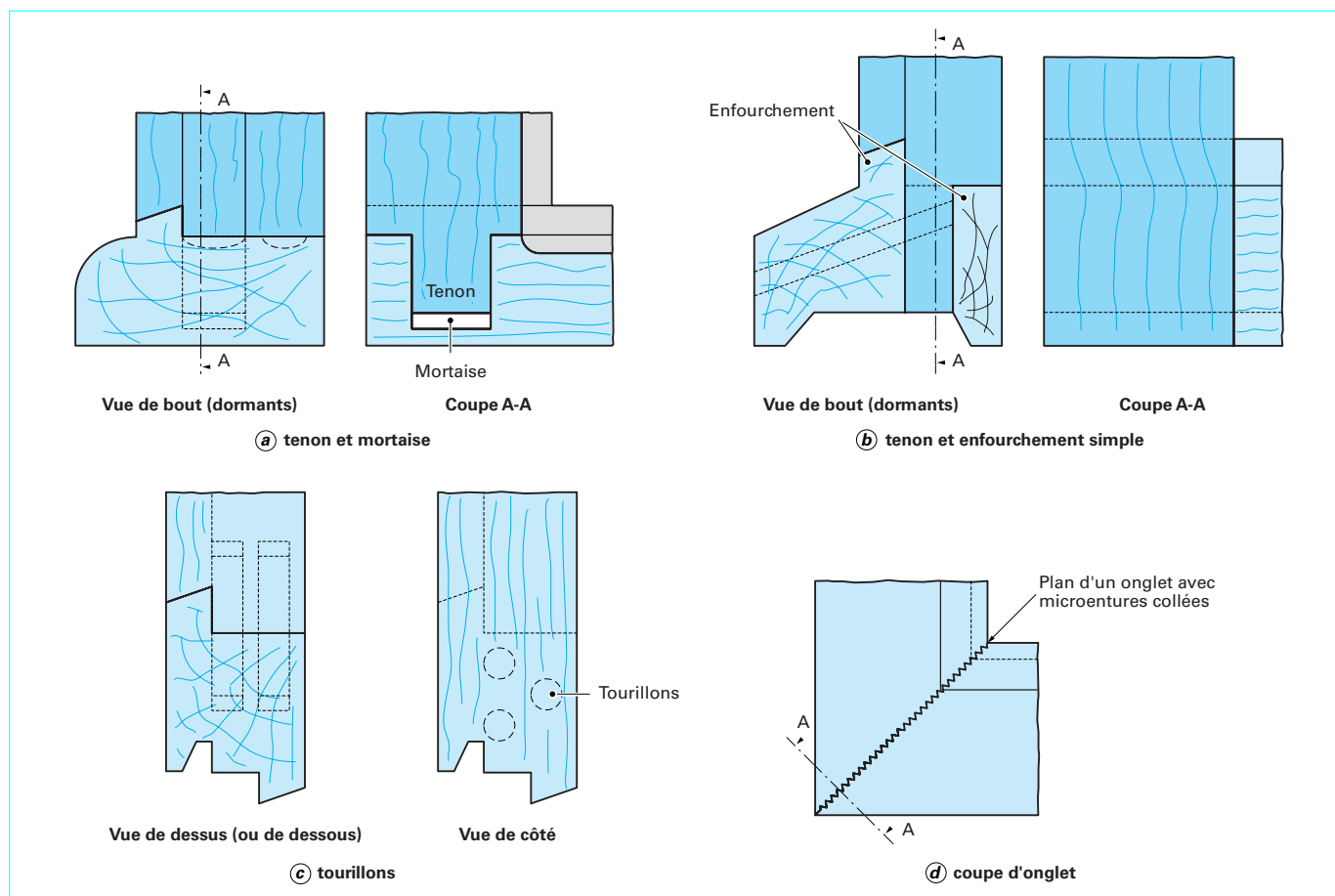


Figure 4 – Assemblages mâle-femelle

- les vinyliques avec durcisseur (ce dernier peut être incorporé) ;
- les urées-formol pour joint épais ;
- les colles polyuréthane ;
- les mastics.

Nota : ce dernier cas concerne les seuls dormants ; en effet, compte tenu de leur fixation dans le mur, leurs assemblages ne sont pas travaillants ; ils ne doivent alors assurer que la fonction étanchéité.

Pour plus de sécurité, il convient de pratiquer le double encollage, c'est-à-dire à la fois les parties mâles et les parties femelles. En effet, si l'on considère la mise en œuvre, la qualité du collage dépend du bon mouillage des surfaces à encoller par le mélange collant.

Les usinages mâle-femelle pratiqués sont les suivants :

- tenon et mortaise (traditionnel) : figure 4 a ;
- tenon et enfourchement (simple ou multiple) : figure 4 b ;
- tourillons (en bois durable) : figure 4 c ;
- à microentures sur onglet (rarissime) : figure 4 d.

■ Ces assemblages, lorsqu'ils sont bien ajustés et encollés, donnent les meilleures **performances mécaniques** sur les trois caractéristiques mesurées évoquées ci-dessus. En ce qui concerne les assemblages dormants, lorsqu'ils sont simplement mastiqués, la résistance mécanique est très faible par rapport aux exigences définies dans le tableau 1.

■ En ce qui concerne la **fonction étanchéité**, la performance est plus aléatoire et il convient de distinguer les dormants des vantaux.

● L'étanchéité des **assemblages dormants** classiques (à tenon et enfourchement ou mortaise) calfeutrés par masticage, présente un

niveau d'aléa incompatible avec les modes de pose prévalant en France. En effet, tout calfeutrement ne fonctionne (capacité à encaisser des micromouvements) qu'en proportion de son épaisseur : si l'épaisseur est localement nulle, il ne peut rien compenser. C'est pourquoi quelques industriels ont proposé des assemblages dormants avec réservation pour le mastic à la pompe qui est mis en place soit avant assemblage, soit après, par extrusion dans des orifices et usinages complexes. L'objectif est de **calfeutrer trois zones critiques** (voir figure 5 a et b) :

- l'arasement extérieur ;
- le fond d'enfourchement ;
- l'arasement intérieur ;
- à un degré moindre, les joues de l'enfourchement.

S'il n'y a pas de réservation, la mise en butée provoque le reflux du mastic et, localement, il ne reste donc aucun agent de calfeutrement et le moindre mouvement relatif du montant par rapport à la pièce d'appui met l'étanchéité de l'assemblage en cause.

S'il y a réservation, le problème technique est d'assurer la mise en butée avant le reflux total du mastic de la zone mastiquée (masticage avant cadrage). La zone des deux plans de l'enfourchement reste toujours critique (planéité locale, rugosité, élimination partielle, voire totale, lors de la mise en place des deux pièces...). Dans le cas du masticage post-cadrage, la difficulté est d'assurer le remplissage correct des réservations prévues car l'opération se fait à l'aveugle (sans autre possibilité de contrôle que par un test de type aquarium).

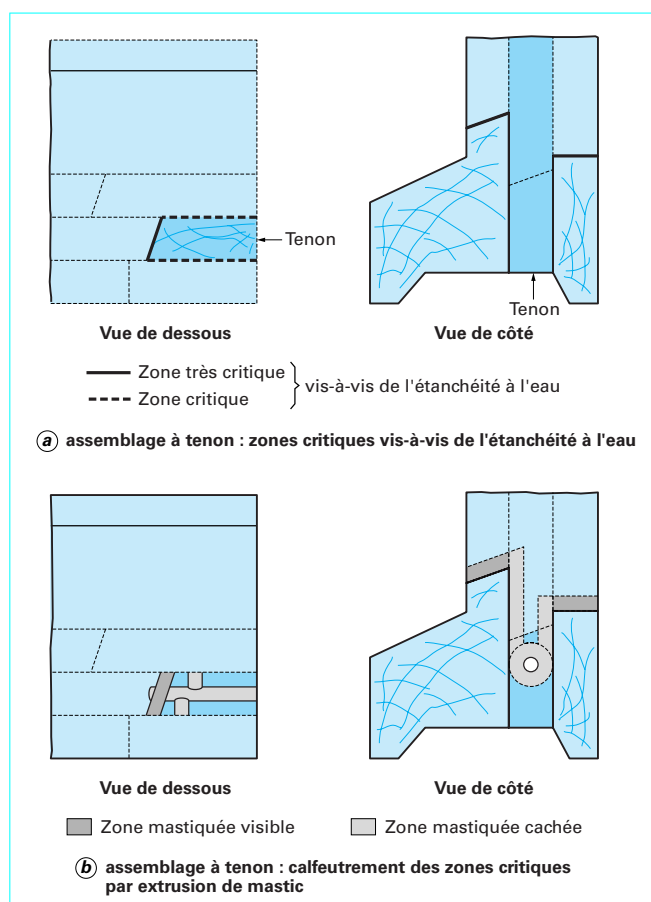


Figure 5 – Zones d'assemblage à étanchéité critique. Calfoutrement

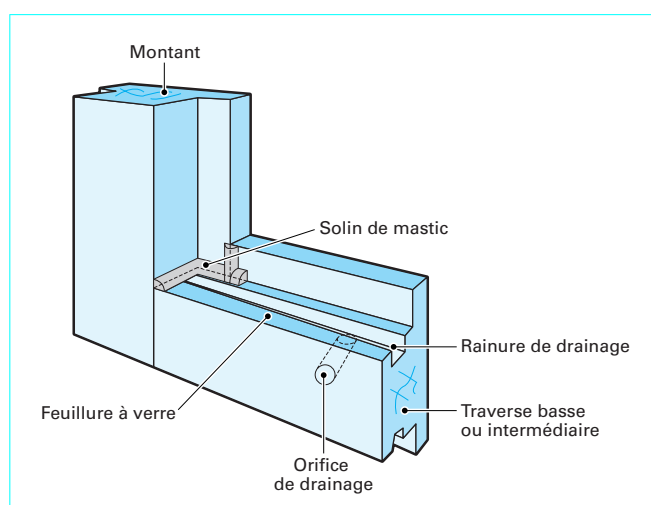


Figure 6 – Étanchéité des assemblages d'angles des vantaux : mise en œuvre d'un solin d'appoint

● En ce qui concerne les **vantaux**, l'étanchéité est moins critique car le calage d'assise du verre (si les vantaux sont vitrés en atelier, ce qui est le cas dominant maintenant) bloque les micromouvements cités plus hauts. Pour avoir une étanchéité fiable, en sus du collage à refus (avec excès de colle), il suffit d'extruder un solin de mastic dans le fond de la feuillure basse (voir figure 6). Le collage seul n'est pas en mesure d'assurer la fiabilité requise. Des tentatives d'amélioration de la performance des colles sur ce point ont échoué à ce jour (colles légèrement expansives).

Remarque : on doit signaler que l'assemblage avec entures sur coupe d'onglet peut présenter en service des comportements qu'on ne rencontre pas sur les autres types d'assemblages. En effet, un assemblage menuisé classique et non travaillant, donc **collé de manière approximative**, se comporte ainsi sous l'action des variations d'humidité, par rapport au moment de l'usinage (voir figure 7 a, b, c) :

- en cas de perte d'humidité : ouverture de l'onglet dans l'angle rentrant (figure 7 b1) ;
- en cas de reprise d'humidité : ouverture de l'onglet dans l'angle saillant (figure 7 b2).

Si l'assemblage est **bien collé**, l'ouverture de l'angle n'est pas possible et la variation de largeur induit une flexion circulaire dont la courbure est de type :

- en cas retrait : « as de carreau » (figure 7 c1) ;
- en cas de reprise d'humidité : « barrique » (figure 7 c2).

Selon la figure 7 c (cintrage en cas de collage rigide), la flèche f (mm) prise par un côté soumis à une variation de largeur vaut, en cas de châssis carré :

$$f = Lr\Delta H/4$$

avec	L (mm)	portée du côté du châssis,
	r	coefficient de retrait transversal du bois (typiquement 3/1 000 par % d'humidité),
	ΔH (%)	variation d'humidité par rapport au moment de la fabrication.

Exemple : pour un côté de 2 m de portée, une variation de 5 % de la teneur en eau du bois, par rapport à l'usinage des onglets, conduit à une flèche de 7,5 mm.

Lorsqu'elle est en forme de barrique, cette flèche se traduit, pour la garniture d'étanchéité du vitrage, par son cisaillement ou par son glissement selon qu'elle est adhésive ou réactive (profilé de caoutchouc).

4.2 Assemblages mécaniques

Il en existe deux types, les traditionnels et les modernes.

4.2.1 Assemblages traditionnels des vantaux

Il s'agit d'assemblages traditionnels à tenons et mortaises montés à sec (hormis une éventuelle impression de peinture ou, parfois, de minium au plomb) dont le maintien mécanique était renforcé par des équerrres métalliques entaillées et vissées sur la face intérieure aux quatre angles du châssis, en parement.

Le comportement mécanique de ces assemblages était satisfaisant puisque, dans les règles de vitrerie (DTU 39), il n'était pas prévu de calage d'assise des vitrages (moins de 0,60 m de largeur et masse de moins de 8 kg).

Nota : il convient de signaler que le vitrage correspondant à ce type de conception était un verre étiré de 2 mm d'épaisseur seulement (contre $2 \times 4 = 8$ mm actuellement).

On peut même ajouter que la largeur courante de ces fenêtres était également moindre (le couple déformant varie avec le carré de la largeur des vantaux à la française ou à l'anglaise).

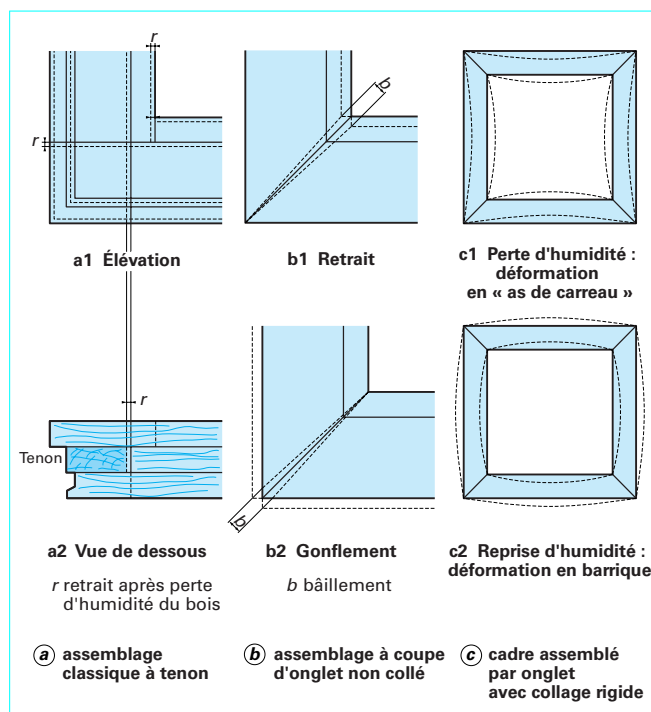


Figure 7 – Manifestations du retrait. Variations dimensionnelles du bois

Ces assemblages n'étaient pas étanches. Toutefois, la position excentrée vers l'extérieur du vitrage (feuillure à verre d'une profondeur, d'environ 10 mm), le montage de ce dernier à bain de mastic étanchait l'assemblage et limitait le risque d'infiltration (au moins tant que le mastic à l'huile de lin gardait une certaine souplesse).

Avec les vitrages isolants et la feuillure à verre profonde qu'ils impliquent ainsi que l'absence de bain de mastic, cette technique est dépassée.

4.2.2 Assemblages modernes

4.2.2.1 Généralités

Le contexte qui a conduit à leur mise au point est le suivant :

- non-fiabilité de l'étanchéité à l'eau des assemblages traditionnels ;
- prise de l'habitude, après guerre, de mise en œuvre des dormants dans le clos (puisqu'à fleur avec le nu intérieur du mur fini) et donc étanchéité impérative selon la réglementation en vigueur (décret 69-596 de juin 1969) ;
- apparition de nouvelles techniques de finition requérant la finition sur pièce donc avant assemblage (ce qui interdit de fait le collage car la résistance en cisaillement d'une peinture sur le bois n'est guère que de l'ordre du dixième de celle de la colle) ;
- en cas de préservation par trempage à compléter par une impression lasure, peinture ou vernis, même problème d'affaiblissement de la résistance que précédemment ;
- recherche de traitements fongicides allégés pour le bois (soit pour rechercher une pollution moindre, soit pour permettre l'usage de bois très difficiles à imprégner et non durables tels que le sapin ou l'épicéa).

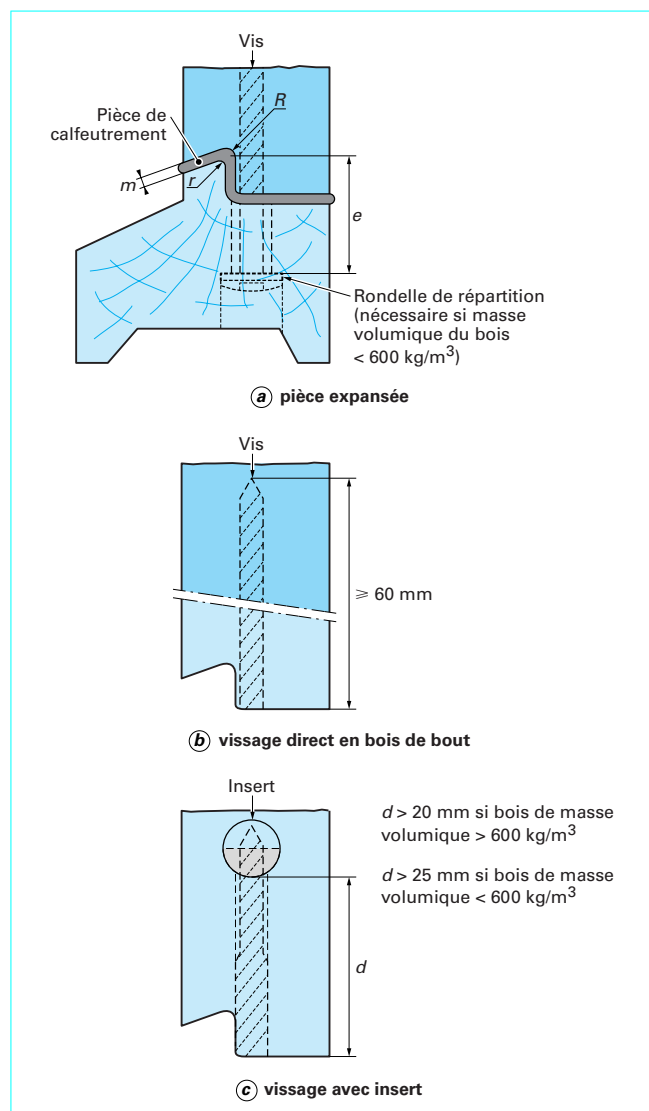


Figure 8 – Assemblages mécaniques sur dormant

4.2.2.2 Règles communes de conception

Pour les ouvrants comme pour les dormants, la recherche d'une étanchéité fiable, y compris dans le temps, a conduit à prendre en considération les deux fonctions de l'assemblage : la fonction **mécanique** et la fonction **étanchéité**.

Le concept de faire assurer ces deux fonctions par des organes différents permet de les optimiser, ce qui est impossible avec un collage en ce qui concerne l'étanchéité. On en arrive ainsi :

- à la mise en œuvre d'un **calfeutrement** continu dans toute la zone de l'assemblage susceptible d'être humidifiée, d'une épaisseur donnée (fonction des variations dimensionnelles) (figure 8 a) ;
- au serrage des deux pièces par un **moyen mécanique** : **vissage**, soit directement dans le bois de bout (figure 8 b) soit par l'intermédiaire d'un insert (figure 8 c).

Les points majeurs de la conception sont les suivants :

■ Type de calfeutrement

En pratique il s'agit, pour des raisons de facilité de mise en œuvre, de pièces d'étanchéité :

- soit tirées de matériaux en feuilles expansés, à cellules fermées (à base de silicone) ou ouvertes, mais imprégnées de bitume ou de mastic butylique (Compriband par exemple) ; pour faciliter la mise en œuvre de ces pièces d'étanchéité, une face est rendue adhésive ;
- moulées aux formes de l'assemblage ; elles sont en caoutchouc élastomère thermoplastique actuellement, mais d'autres matériaux, par exemple à base de silicone, pourraient avantageusement être candidats.

■ Détermination du pouvoir de compensation du calfeutrement (voir figure 8 a)

● Profilés expansés

Plus un calfeutrement est épais, plus il peut absorber des déformations importantes.

Pour les profilés, l'étanchéité n'est assurée que si une compression minimale est assurée. Le plus souvent, pour les produits à cellules fermées, le fabricant demande une compression représentant au moins 20 % de l'épaisseur nominale du profilé (75 % pour les mousses imprégnées). La compression ne doit pas non plus dépasser une certaine valeur (40 à 50 % pour les produits à cellules fermées et 90 % pour les produits à cellules ouvertes). Ainsi, chaque produit a sa plage d'efficacité au prorata de son épaisseur.

Par ailleurs, le bois étant un matériau présentant, dans le sens travers du fil, des variations dimensionnelles, à raison d'environ 3/1 000 par variation de 1 % de son taux d'humidité, on évalue, en fonction de la géométrie de la liaison et de la variation prévisible du taux d'humidité ΔH , la variation de largeur de bois Δe de la liaison.

Soit e l'épaisseur de bois comprise entre la sous-face de la tête de vis et le bout de la pièce dans laquelle la vis est fixée, la variation d'épaisseur de bois Δe est donnée par :

$$\Delta e = re\Delta H$$

avec r coefficient de retrait du bois par % de variation d'humidité, égal à environ 3/1 000.

Exemple : $e = 20$ mm $\Delta H = 5$ % (bois usiné à 15 % mais se stabilisant en œuvre à 10 % in situ)

$$\Rightarrow \Delta e = 0,3 \text{ mm}$$

Si l'on a mis en œuvre un profilé de 3 mm d'épaisseur, pour lequel une compression de 20 % au moins est nécessaire (soit 0,6 mm en absolu) pour assurer l'étanchéité à l'eau, il faut ajouter une compression supplémentaire de 0,3 mm (pour compenser ce possible retrait futur de 0,3 mm), soit une compression totale de 0,9 mm (30 % en relatif).

Nota : cet exemple, qui ne prend en compte que les seules variations dimensionnelles liées à l'état de l'air, fait abstraction d'un reprise d'eau dans une traverse basse (en cas de drainage insuffisant, il faut que la conception de l'ouvrage évite cette situation).

D'une manière plus générale, l'épaisseur nominale d'un calfeutrement m (en mm) se détermine selon la formule suivante :

$$m > 200 \times \frac{re\Delta H}{t_M - t_m}$$

avec r coefficient de retrait du bois par % de variation d'humidité,
 e (mm) épaisseur de bois comprise entre la tête de vis et l'arasement contre la pièce filante (voir figure 8 a),
 ΔH (%) variation du taux d'humidité du bois (supposée équilibrée en reprise ou perte),
 t_M, t_m (%) taux de compression de ce calfeutrement respectivement maximal et minimal.

● Cas des pièces moulées en caoutchouc massif (figure 9 b)

La dureté des caoutchoucs employés, de l'ordre de 50 Shore A, est trop élevée pour assurer les compensations nécessaires (compte tenu des surfaces à serrer et de la rigidité de la matière) ; le niveau de réaction requis pour assurer l'étanchéité pourrait conduire à la rupture de l'assemblage.

Ces pièces comportent donc des dispositifs permettant la déformation avec moins d'efforts de caractère permanent au droit des fixations des assemblages. Il s'agit de nervures faisant les périmètres des deux faces de la pièce et ayant une section triangulaire entre 5 et 30/10 mm de base. D'autres solutions peuvent être envisagées telles que expansion localisée sur toute la périphérie de la pièce moulée ou déformation locale par la réalisation de **nervures** par déformation dans l'épaisseur de la pièce moulée (et non par ajout de matière).

Idéalement, la compression devrait être telle que les nervures soient « effacées » par la compression profil-contreprofil. Sauf conception particulière, c'est improbable.

Dans le cas présent, la hauteur h_n de chacune des N nervures est donnée par la relation suivante :

$$h_n = \frac{200rd(H_s - H_f)}{N(t_M - t_m)}$$

avec r coefficient de retrait du bois par % de variation d'humidité,
 d (mm) largeur de bois soumise à variation dimensionnelle,
 H_s (%) taux d'humidité du bois à saturation (25 à 30 %),
 H_f (%) taux d'humidité minimal du bois en fabrication,
 t_M, t_m (%) respectivement taux de compression maximal et minimal des nervures,
 N nombre de faces nervurées dans la direction de l'effort de compression (2×2 au droit de la rainure à vitrage, 2 au droit du fond de rainure).

Pour illustrer cette formule, nous donnons deux exemples réalistes quant aux dimensions des pièces, l'un pour le calfeutrement au droit des deux joues de rainure, l'autre pour le fond de feuillure. Toutefois, ils sont pessimistes quant à la reprise d'eau ; il supposent un drainage localement insuffisant et une protection limitée à la seule impression.

Exemples

• Joues de rainure :

$$r = 3/1\,000 ; d = 30 \text{ mm} ; H_s = 25 \% ; H_f = 10 \% ; t_m = 20 \% ; t_M = 60 \% ; N = 4$$

$$\Rightarrow h_n = 1,7 \text{ mm}$$

• Fond de feuillure :

$$r = 3/1\,000 ; d = 34 \text{ mm} ; H_s = 25 \% ; H_f = 10 \% ; t_m = 20 \% ; t_M = 60 \% ; N = 2$$

$$\Rightarrow h_n = 3,8 \text{ mm}$$

Comme, dans la pratique, la hauteur de nervure est identique sur toutes les faces de la pièce, la compensation apparaît nettement insuffisante pour le fond de feuillure. Pour compenser ce manque de capacité, on peut faire appel à un moyen purement mécanique de type ressort. Le moyen le plus commode est de faire appel à des **rondelles tronconiques élastiques** (voir figure 9 a, b, c) qui se caractérisent par :

- leur pouvoir de compensation ;
- leur réaction.

De plus, elles peuvent être combinées de manières différentes : soit en parallèle, soit en opposition, soit en combinant les deux. Dans le premier cas, la réaction est proportionnelle au nombre de rondelles empilées, dans le second, c'est le pouvoir de compensation qui l'est.

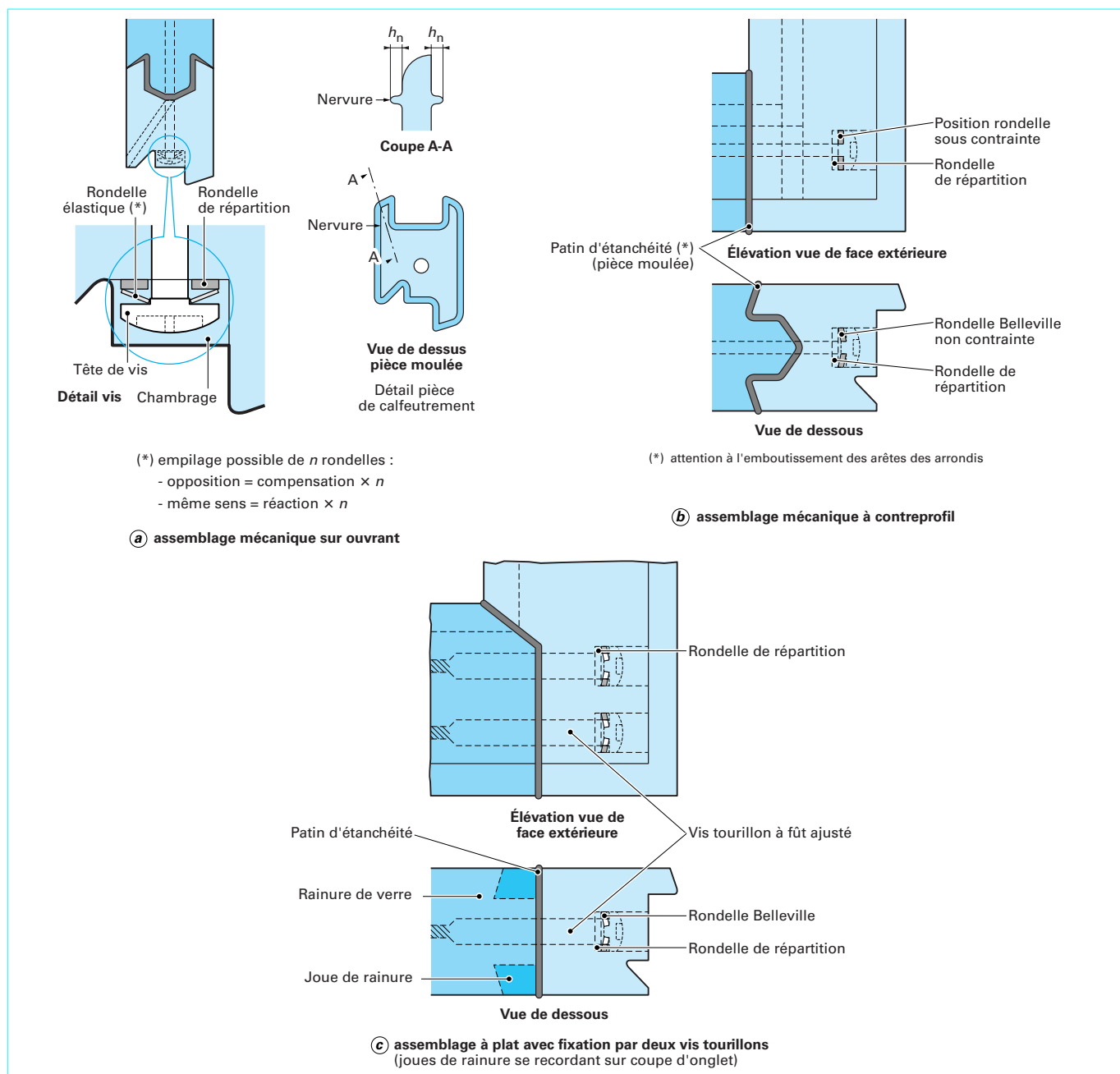


Figure 9 – Assemblages mécaniques sur ouvrant. Cas des pièces moulées en caoutchouc

Tableau 2 – Contraintes admissibles de quelques essences en compression de flanc (1)

Essence	Fraké	Méranti	Lauan	Pin	Palapi	Chêne	Niangon	Movingui	Moabi
Contrainte (MPa ou N/mm ²)	8,5	7,9	3,5	6,2	7,0	8,2	10,2	10,3	14,5

(1) À défaut d'information, on peut obtenir une estimation sûre de la contrainte admissible avec l'aide de la formule suivante :

$$C_{cf} = 15 \left(\frac{M_v}{1\,000} \right)^2 \text{ avec } M_v \text{ masse volumique en kg/m}^3.$$

Le niveau d'effort dégagé et la faible résistance relative du bois en compression de fil rend impérative la mise en œuvre d'une rondelle de répartition entre l'assise de la rondelle élastique et le bois, sinon le bord de la rondelle tend à s'encastrer dans le bois et réduit réaction et pouvoir de compensation au prorata de l'enfoncement. Le phénomène est d'autant plus marqué que le bois est de faible masse volumique.

Le tableau 2 donne les contraintes admissibles de quelques essences en compression de flanc (en MPa ou N/mm²).

■ Géométrie des aires en contact

Deux paramètres sont à prendre en considération :

- l'efficacité de l'étanchéité ;
- la rigidité en torsion.

• **L'efficacité de l'étanchéité** requiert des **angles arrondis** afin que la garniture vienne bien épouser les fonds d'angles rentrants (voir figure 8 a).

Le rayon de courbure R de l'angle rentrant vaut :

$$R = r + m$$

avec r rayon de courbure de l'angle saillant,
 m épaisseur du calfeutrement en œuvre (après compression).

• Pour la reprise des charges dues au vent, les assemblages doivent présenter une **rigidité en torsion suffisante**. On y parvient si :
 — l'assemblage est du type à contreprofil avec gorge (figure 9 a, b) ;
 — l'assemblage a une forme simple et se fait par une fixation double ajustée (sans jeu) (figure 9 c).

■ Vissage

Il a pour fonction d'assurer la **rigidité diagonale du châssis**. Deux techniques existent :

• **Vissage dans un insert** mis en place dans la pièce venant en butée sur la pièce filante : la vis est :

- soit du type métal et l'insert comporte un alésage fileté au pas de la vis ; la forme de cet insert est à adapter pour une mise en œuvre plus facile ;
- soit en matériau de synthèse et le filet obtenu par roulage (de type VBA).

Dans les deux cas, la facilité de mise en œuvre conduit à recommander une adaptation des formes du couple vis-insert (insert à entrée d'alésage avec cône d'engagement associée à une vis à point conique).

• **Vissage directement dans le bois de bout** de la pièce venant en butée sur la pièce filante. La tenue de vis en bois de bout pouvant être critique, il convient de respecter les règles suivantes :

- prise de filet dans le bois de bout d'environ 60 mm (figure 8 b) ;
- filet très saillant (près de 2 mm par rapport au fond de filet), obtenu le plus souvent par roulage ; le diamètre de la vis doit être de 6 mm au moins.

Nota : pour les vantaux maintenant le vitrage en rainure, le démontage du châssis doit être possible tout en conservant au mieux les caractéristiques initiales du vissage. Dans le cadre de la marque NF *Nouvelle fenêtre bois*, une procédure d'essais spécifique a été développée. L'exigence est double : une perte de résistance à l'arrachement de moins de 20 % et une résistance résiduelle au moins égale à la résistance initiale d'une vis prise de 60 mm dans du pin sylvestre.

Pour les **dormants**, qui, une fois installés, n'ont pas à être démontés, le vissage direct est la solution la plus simple.

Par ailleurs, quelle que soit la technique de vissage, il importe de prévoir une bonne répartition de la contrainte de serrage sous la tête de vis (par une rondelle de section appropriée tenant compte de la résistance du bois en compression de flanc), en particulier si cette résistance est insuffisante (moins de 10 N/mm²). La mise en œuvre de vis à tête élargie ou de rondelle d'aire adaptée à la résistance du bois permet de résoudre le problème (par exemple, vis de modèle Totem de la société VBR).

4.2.2.3 Cas particuliers des ouvrants (figure 9)

L'assemblage mécanique doit être associé à un drainage rapide des feuillures à verre basses (fentes de drainage d'au moins 5 mm d'épaisseur dont la longueur cumulée représente 60 % de la longueur du verre prise en feuillure basse, cf. ci-après mise en œuvre du verre).

Nota : l'exigence de drainage rapide tient au fait qu'elle évite au bois de la traverse basse de se saturer d'eau à certaines époques de l'année. Cela permet de réduire les exigences en pouvoir de compensation des garnitures d'étanchéité de ces assemblages.

La fonction de résistance à la torsion doit être assurée (comme pour les dormants) :

- soit par l'option d'assemblage à contreprofil (figure 9 b) ;
- soit par l'option d'assemblage à plat associé à des vis tourillons (donc ajustées tant dans la pièce arasée qu'au travers des orifices de la pièce filante) figure 9 c.

Remarque : cas particulier des vantaux pivotant sur une de leurs rives verticales

Le problème particulier à ce type de châssis qu'il convient de résoudre est celui de la stabilité diagonale. On y parvient par les moyens suivants :

- vis sans jeu en périphérie du corps dans la pièce filante de l'assemblage ;
- rondelles tronconiques élastiques dont la compensation est au moins équivalente au retrait prévisible de la pièce filante de l'assemblage et dont la réaction mécanique est, après la manifestation du retrait, au moins égale à l'effort que la fixation doit reprendre (voir, en figure 9 a, partie « Détail vis », le détail de mise en œuvre d'une rondelle élastique) ;
- mise en place d'un dispositif de calage d'assise réglable du verre en tête du vantail permettant de rattraper la chute de nez qui se manifeste concomitamment avec le retrait du bois (voir figures 10 et 11 de [C 3 611]).

Pour le simple poids propre du vantail (sans les charges exceptionnelles telles que celle appliquée lors de l'essai de charge au nez), le couple à reprendre par l'assemblage est :

$$C_r = g d_c M_v / 4$$

avec g accélération due à la pesanteur (9,8 m/s²),
 d_c (m) distance du calage d'assise par rapport à la rive ferrée,
 M_v (kg) masse du vantail.

Nota : effort F à reprendre par un assemblage à vis unique :

$$F = C_r / d$$

avec C_r (N · m) couple à reprendre par l'assemblage,
 d (m) distance de l'axe de la vis à la rive la plus proche de la pièce arasée.

Exemple : $M_v = 40$ kg ; $d_c = 0,08$ m $\Rightarrow C_r = 7,84$ N · m
 Pour une cote $d = 25$ mm, l'effort sur la vis vaut : $F = 314$ N.

5. Assemblages de fil

Il s'agit d'assembler des pièces parallèlement à leur grand axe (jet d'eau, battement rapporté, pièce d'appui en deux parties...).

L'assemblage traditionnel est à **queue-d'aronde** (figure 10 a) (rainure à bords en biais (environ 45°) convergeant au-dessus de la rainure) dans laquelle est enfilée par translation un profil mâle. L'encollage est réalisé préalablement à l'assemblage. Par nature, ce type de liaison n'est pas étanche. Il ne peut donc être réservé que pour des pièces accessoires (jets d'eau par exemple figure 10 a, b), ce d'autant que sa résistance mécanique est faible.

La technique la plus satisfaisante est l'assemblage dit **à embrèvement** (figure 10 **b**) : le profilé rapporté est positionné dans une rainure présente sur le profil principal et fixé par collage et par vissage. Parfois, au collage, un calfeutrement peut être substitué (voir figures 11 **a**, **b** pour le battement).

Remarque

Dans un certain nombre de cas, par une conception judicieuse, on peut se passer d'un tel assemblage :

- jet d'eau : si le dispositif d'arrêt d'eau au droit de la partie basse des vantaux est efficace, le jet d'eau est inutile ;
- pièce d'appui en deux parties (figure 12 **a**, **b**) ; elle peut être monobloc si la saillie n'est pas trop importante (pas plus de 90 mm, cf. figure 12 **c**) ou mieux si elle n'a pas de saillie (pose en avant du rejingot ; voir figure 12 **d** et partie mise en œuvre).

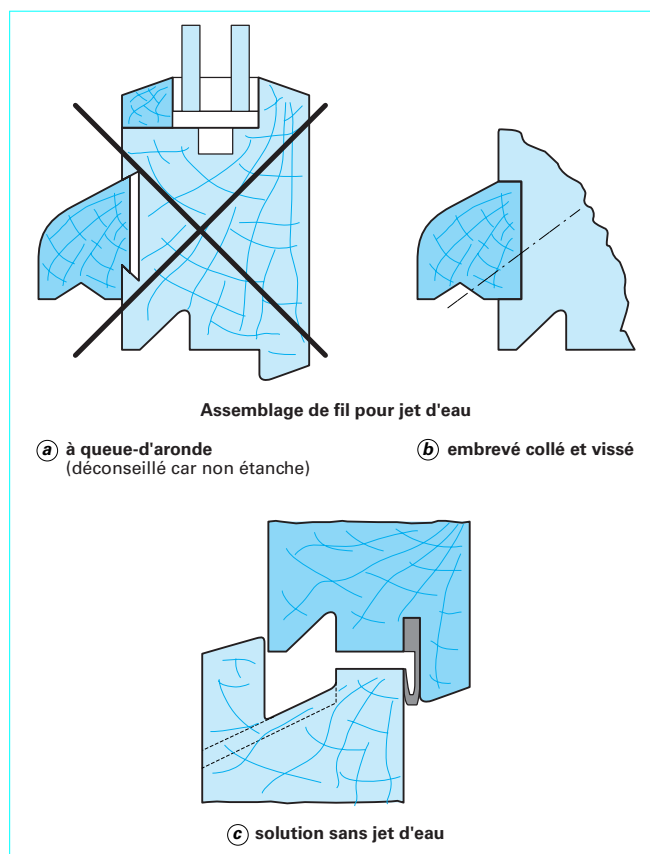


Figure 10 – Assemblage de fil

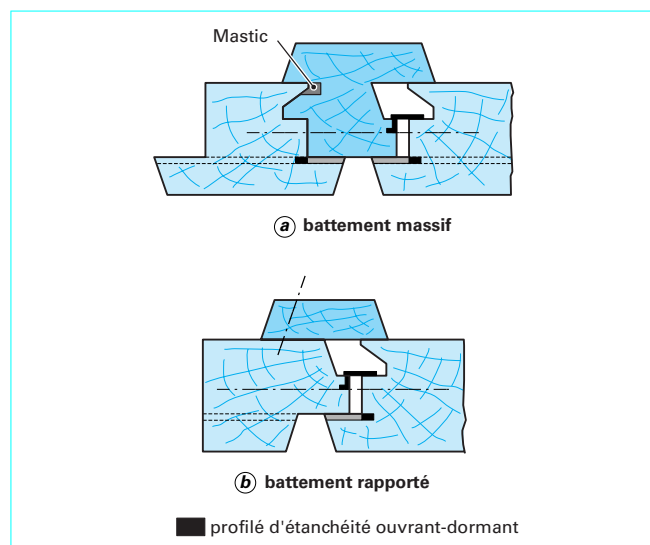


Figure 11 – Divers systèmes de battement

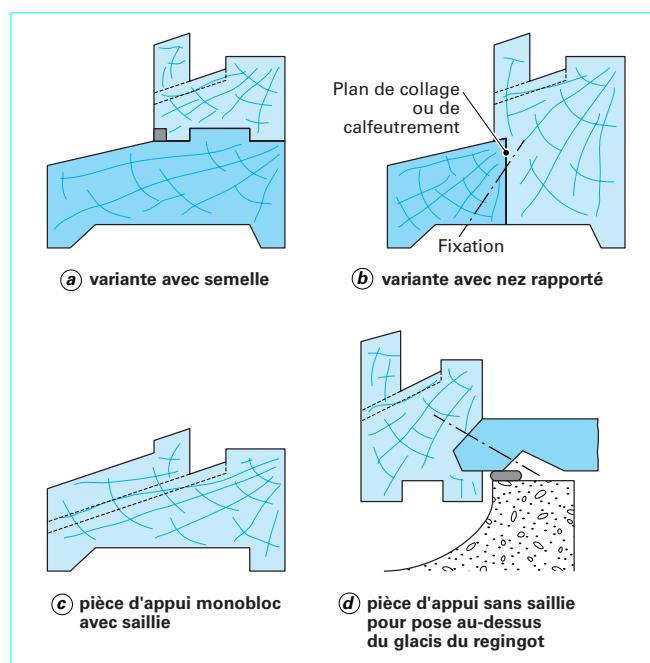


Figure 12 – Pièces d'appui