

Fenêtres en PVC

par **Olivier BEDIOT**

*Ingénieur de l'École nationale supérieure de chimie de Rennes
Responsable du développement des applications du PVC dans le Bâtiment
Spécialiste des formulations PVC au Laboratoire de Solvay Benvic France SAS,
Chevigny-Saint-Sauveur*

et **Hubert LAGIER**

Chef de la Division Baies et Vitrages du CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment)

1. PVC rigide pour la fabrication des fenêtres	C 3 622v2 - 3
1.1 Composition vinylique : définition générale.....	— 3
1.2 Compositions vinyliques pour fenêtres : objectifs à atteindre.....	— 3
1.3 Réalisation des objectifs : choix des polymères et additifs.....	— 6
1.4 Fabrication des compositions vinyliques.....	— 8
1.5 Autres caractéristiques du PVC rigide intéressantes	— 8
2. Conception d'un système de fenêtre PVC	— 9
2.1 Contenu d'un système.....	— 9
2.2 Performances et caractéristiques attendues.....	— 10
2.3 Principe de conception : lignes directrices	— 18
2.4 Autres critères de choix pour bâtir un système	— 21
3. Extrusion des profilés pour menuiserie	— 22
3.1 Généralités. Produits à extruder	— 22
3.2 Outillages d'extrusion.....	— 23
3.3 Contrôle de fabrication	— 24
4. Fabrication des menuiseries	— 25
4.1 Étapes de fabrication	— 25
4.2 Informatisation du processus	— 26
4.3 Contrôles.....	— 26
5. Fenêtre PVC : normalisation et qualité	— 27
5.1 Documents normatifs généraux	— 27
5.2 Évaluation de la qualité : avis technique, marques de qualité.....	— 27
5.3 Situation au niveau de l'Europe : marquage CE.....	— 29
6. PVC et la couleur dans le domaine des fenêtres.....	— 29
6.1 Solutions techniques	— 29
6.2 Écueils à éviter	— 30
Pour en savoir plus	Doc. C 3 622v2

L'utilisation des menuiseries PVC (polychlorure de vinyle) à une échelle significative est apparue en France dans les années 1970. Elle ne concernait alors que des implantations géographiques limitées, dans l'Ouest notamment.

Pendant une dizaine d'années, elle a stagné au niveau de 1 % environ du marché des menuiseries posées, tous matériaux confondus.

Le début des années 1980 marque le véritable point de départ d'un essor rapide et continu de la fenêtre en PVC, essentiellement dans le domaine de la

rénovation des immeubles d'habitation collective. On apprécie vite dans ce secteur un rapport qualité/prix très favorable. On estimait, en 1990, à 30 % la part du marché attribuée au PVC. En 2006, on estimait que sur un total 12,4 millions de fenêtres installées, 8 millions étaient en PVC, ce qui correspondait à 64,7 % du marché.

Aujourd'hui, le PVC est l'acteur incontournable du marché de la fenêtre. Il s'impose désormais dans tous les secteurs de la construction qu'il s'agisse de travaux neufs et de réhabilitation pour la maison individuelle ou les logements collectifs.

Chaque « modèle » ou « marque » de fenêtres en PVC commercialisé nécessite l'étude et la mise au point préalable d'un système. Durant cette phase, on doit en particulier concevoir l'ensemble des profilés, qui, associés judicieusement, permet de réaliser les fenêtres répondant à tous les impératifs techniques et commerciaux. La forme de chaque profilé est élaborée pour répondre à toutes les fonctions attendues.

La figure 1 souligne les différents paramètres à prendre en compte lors du dessin des profilés inclus dans un système de fenêtre PVC.
Le tableau 1 résume l'organisation de la profession en France.

Tableau 1 – Organisation de la profession en France

Type et nombre d'entreprises concernées	Les intervenants et leur rôle			
	Concepteurs des systèmes de fenêtres conçoivent les constituants des systèmes, en particulier les gammes de profilés	Extrudeurs extrudent les profilés PVC inclus dans les systèmes	Assembleurs ou fabricants assemblent les constituants des systèmes, fabriquent des fenêtres prêtes à la pose	Poseurs ou installateurs mettent en place dans le gros œuvre les fenêtres prêtes à l'emploi
Entreprises entièrement intégrées : ~ 8 entreprises	X	X	X	X
Gammistes : ~ 20 entreprises	X	X		
Réseau des licenciés de gammistes (1) : Plusieurs centaines d'entreprises			X	X
Concepteurs/assembleurs : ~ 14 entreprises	X		X	X
Menuisiers indépendants : Plusieurs milliers d'entreprises				posent des fenêtres achetées : à des fabricants à des négociants en matériaux aux grandes surfaces du bricolage
Particuliers				

(1) Exploitent la licence d'un gammiste.

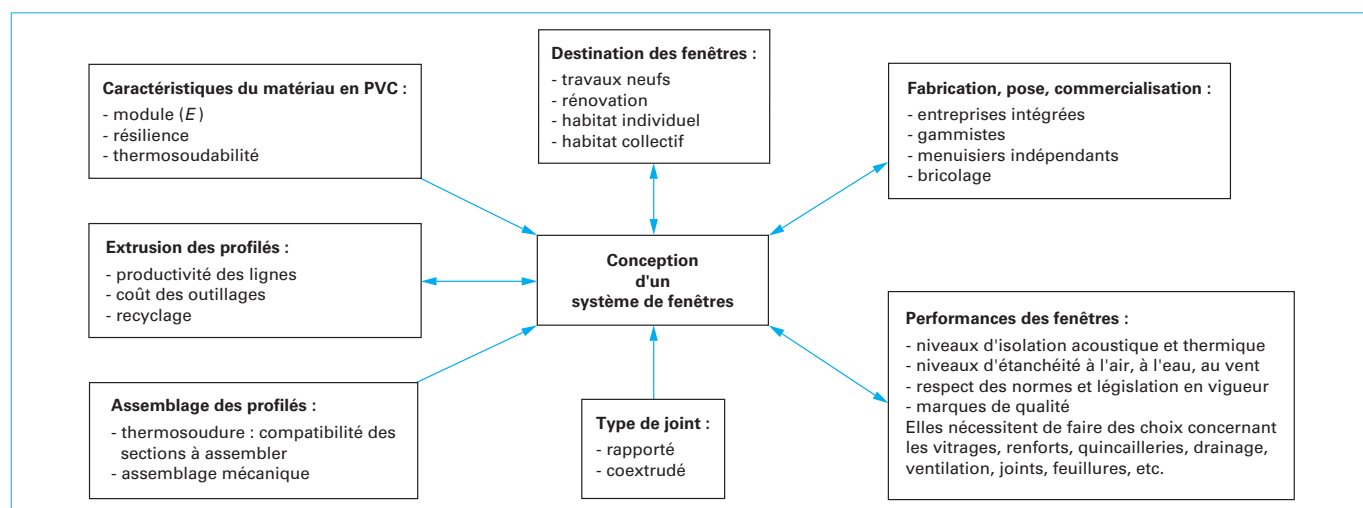


Figure 1 – Paramètres essentiels à considérer lors de la conception d'un système de fenêtres en PVC

1. PVC rigide pour la fabrication des fenêtres

Le choix du matériau PVC s'impose dès la conception du système.

1.1 Composition vinylique : définition générale

À l'état pur, sous forme de poudre blanche, les PVC homo- et copolymères ne sont pas directement utilisables dans les matériels de mise en forme (extrudeuses, calandres, presses d'injection...).

Il est nécessaire de leur adjoindre des additifs dont la nature et la teneur dépendent des caractéristiques des objets finis que l'on doit fabriquer et des types de matériels nécessaires à la fabrication de ces objets.

On peut réaliser en PVC une très grande variété d'objets finis qui peuvent être rigides, semi-rigides, souples, opaques, translucides, transparents, mats, brillants, résistants au feu, aux intempéries, etc.

Pour ce faire, on ajoute aux polymères de PVC purs des stabilisants, lubrifiants, pigments, charges, ignifugeants, d'autres polymères modifiant la résilience ou la thermorésistance, des polymères facilitant la mise en œuvre...

On formule ainsi ce que l'on a pris l'habitude de désigner par « **composition vinylique** » (tableau 2).

Sous le vocable général de PVC se cache en pratique une très grande variété de compositions vinyliques. Une composition vinylique se présente soit sous forme de **poudre**, on parle alors de **dry-blend**, soit sous forme de **granulés**, on parle alors de **compounds**.

1.2 Compositions vinyliques pour fenêtres : objectifs à atteindre

Le PVC retenu est un **PVC rigide**, c'est-à-dire exempt de plastifiants.

Les profils doivent réunir l'ensemble des caractéristiques résumées dans le tableau 3. Ces caractéristiques constituent l'objectif à atteindre par le formulateur d'une composition vinylique destinée à la fabrication de fenêtres.

Tableau 2 – Composition vinylique	
Contenu	Rôle des additifs
Plastifiants	Assouplissent la matière, la rendent flexible, voire élastique
Stabilisants	Protègent la matière des agressions thermiques pendant la mise en œuvre protègent les objets finis contre l'agression des UV
Antioxydants	Protègent les polymères de l'oxydation
Anti-UV	Absorbent les radiations UV nocives
Lubrifiants	Réduisent les frictions pendant la mise en œuvre Facilitent le glissement de la matière fondue sur les outils de mise en œuvre
Polymères modifiants choc	Augmentent la résilience
Polymères thermorésistants	Augmentent la résistance aux déformations à chaud
Polymères <i>processing aid</i>	Facilitent le travail des vis d'extrusion lors de la fusion et de l'homogénéisation de la matière avant sa mise en forme
Charges	Améliorent le prix Augmentent la rigidité Apportent un effet esthétique Améliorent l'extrudabilité
Pigments	Apportent les couleurs Jouent le rôle d'opacifiants aux UV
Ignifugeants	Renforcent l'autoextinguibilité du PVC
Agents gonflants	Réduisent la densité par expansion diminuent le poids des objets finis
Agents antibactériens	Évitent les taches dues au développement des moisissures à la surface des objets finis en PVC plastifié
Fibres de verre	Améliorent la rigidité et la stabilité dimensionnelle des objets finis soumis à des contraintes thermiques, mais rendent les objets fragiles

1.2.1 Durabilité

On peut la définir comme la conservation dans le temps de l'esthétique (couleur, état de surface) et de l'aptitude à l'emploi (manœuvrabilité, étanchéité, résistance mécanique...).

Les causes principales de désordre sont d'origine climatique (rayonnement UV, échauffement solaire, écarts thermiques, grêle). Ainsi définie, la durabilité recherchée peut être supérieure à 30 ans. Dans la pratique, cette durabilité est acquise en France comme dans d'autres pays d'Europe pour les coloris clairs selon les critères de vieillissement artificiel de la norme NF EN 12608, complétés par un vieillissement naturel.

Toutes les normes en vigueur qui imposent des essais de durabilité à long terme sont satisfaites : le tableau 4 résume les modalités et les spécifications retenues pour les essais de durabilité en France.

La norme NF EN 12 608 ne demande que des essais de simulation en laboratoire (vieillissement artificiel).

1.2.2 Résistance mécanique

Il s'agit de l'aptitude des profilés extrudés à subir sans dommage les sollicitations multiples qui interviennent tout au long de la chaîne qui conduit de l'extrusion à la construction des menuiseries, à leur pose et enfin à leur utilisation.

Tableau 3 – Composition vinylique pour fenêtres

Propriété	Objectifs à atteindre
Durabilité	Conservation du coloris et des propriétés mécaniques.
Résistance mécanique	Aptitude à supporter sans défaillance les différentes sollicitations de « chocs pratiques » lors : – des opérations de sciage, fraisage, usinage, perçage, soudage, ébavurage des profilés ; – des opérations de pose des vitrages, des parclores ; – des manipulations diverses lors du stockage et pendant le transport ; – de la pose des fenêtres ; – du fonctionnement des fenêtres. Aptitude à obtenir une bonne résistance des assemblages soudés.
Tenue à la température	Stabilité dimensionnelle aux températures d'utilisation. Limitation des retraits, du fluage sous charge.
Rigidité	Module d'élasticité élevé
Extrudabilité	Optimisation de la rhéologie : viscosité à l'état fondu, vitesse de glissement. Gélification homogène pour obtenir le niveau des propriétés mécaniques requis. Productivité des extrudeuses.

Tableau 4 – Modalités et spécifications pour les essais de vieillissement

Matériau		Modalités des essais de vieillissement		Critères d'évaluation des éprouvettes vieilles et spécifications			
		Vieillissement naturel	Vieillissement artificiel	Résilience en traction (vieillissement naturel)	Résilience Charpy (vieillissement artificiel)	Informations relatives à l'aspect visuel	Évolution de la couleur
		Durée d'exposition d'éprouvettes inclinées à 45° au Sud	Quantité d'énergie transmise à des éprouvettes exposées à une lampe à arc au xénon (1)	Valeur minimale moyenne pour 10 éprouvettes	Variation de la valeur moyenne pour 6 éprouvettes	Modification de l'aspect	Modification de la cotation dans l'échelle des gris
Compositions vinyliques nouvelles non encore qualifiées		2 ans	8 GJ/m²	250 kJ/m² et pas de valeur individuelle inférieure à 120 kJ/m²	Doit être inférieure à 40 %	Pas de fissures, craquelures, cloques	Aucune valeur inférieure au degré 3 de l'échelle des gris (2)
Compositions vinyliques qualifiées subissant des modifications au niveau de certains additifs	sans incidence significative au niveau des caractéristiques d'identification		8 GJ/m²				$ \Delta E^* \leq 5 \quad (3)$
	avec incidence significative au niveau des caractéristiques d'identification	2 ans	8 GJ/m²				$ \Delta b^* \leq 3 \quad (3)$

(1) selon NF EN 513 Méthode 1.

(2) Échelle A02 selon ISO 105.

(3) Dans le cadre du vieillissement artificiel.

Tableau 5 – Test de résistance mécanique des compositions vinyliques pour fenêtres

Description du test	Norme NF EN 12608 classe I (1)	Norme NF EN 12608 classe II (1)
Masse tombante	1 000 g	1 000 g
Hauteur de chute	1 000 mm	1 500 mm
Température de conditionnement des éprouvettes	- 10 °C	- 10 °C
Nombre d'éprouvettes	10	10
Critère de jugement : nombre de ruptures admissibles	Une seule éprouvette rompue fissurée ou perforée	Une seule éprouvette rompue fissurée ou perforée

(1) La norme CEN prévoit une exigence plus sévère dans certaines régions où les conditions climatiques hivernales sont jugées plus rigoureuses qu'en France.

Un premier test permet à la fois de caractériser la composition vinylique et la qualité de l'extrusion. Ce test mesure la résistance d'éprouvettes constituées de tronçons de profilés à la chute d'une masse de 1 kg. Il permet d'apprécier le niveau et l'homogénéité de la gélification et de détecter les imperfections dans la géométrie des profilés. Les modalités et les spécifications concernant ce test, décrit dans la norme NF EN 12608, sont résumées dans le tableau 5.

Un deuxième test (choc Charpy suivant norme ISO 179, méthode 1eA) permet de caractériser l'aptitude à l'usinage des profilés (perçage, fraisage, etc.). Ce test est une mesure de la résilience d'éprouvettes préalablement entaillées et soumises à un choc conventionnel. Plus le niveau de résistance est élevé, plus les risques de propagation de fissures, de rupture fragile, d'éclats, sont limités. Ce niveau dépend du contenu de la composition vinylique et de la qualité de la gélification de la matière pendant l'extrusion.

1.2.3 Résistance à la chaleur, rigidité

La rigidité est liée à la valeur du module d'élasticité E que l'on cherche à obtenir la plus élevée possible.

La norme NF EN 12608 fixe une valeur minimale pour le module E de 2 200 MPa.

La rigidité dépend aussi de la température à laquelle peuvent être soumis en pratique les profilés. Le module E varie avec la température comme indiqué sur la figure 2.

La température mesurée à la surface de profilés en PVC rigide soumis à l'ensoleillement estival par temps calme n'excède pas en France 50 à 55 °C pour les coloris clairs (blancs, blancs cassés, gris clairs, beige...). Elle peut atteindre en revanche 75 à 78 °C pour les coloris sombres ou foncés (brun, acajou, chêne, par exemple).

La norme NF EN 12608 précise la limite de ce qu'il faut entendre par coloris clair. Il s'agit de la gamme des couleurs définies par les caractéristiques L^* , a^* , b^* (selon ISO 7724-3, illuminant D65) suivantes :

$$\begin{aligned} L^* &\geq 82 \\ -2,5 &\leq a^* \leq 5 \\ -5 &\leq b^* \leq 15 \end{aligned}$$

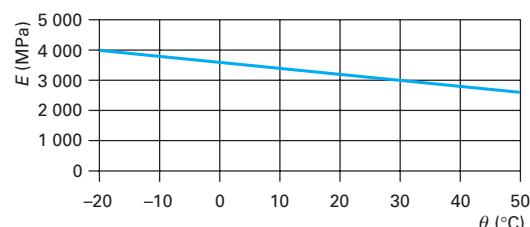


Figure 2 – Évolution du module d'élasticité E du PVC rigide avec la température

L^* , a^* , b^* permettent de caractériser toutes les couleurs dans un espace colorimétrique à trois dimensions. L'axe L^* représente la clarté, a^* est sur un axe vert-rouge, b^* sur un axe bleu-jaune.

Lorsque l'on soumet des éprouvettes de traction, prélevées dans des profilés en PVC rigide, à des contraintes statiques, on peut observer, en fonction du temps, des déformations (allongement) dues au fluage. Les diagrammes de la figure 3 illustrent le phénomène de fluage pour différentes contraintes, températures et durées d'application.

On voit donc que l'on a intérêt à rechercher des compositions vinyliques offrant simultanément un module E et un point Vicat (image conventionnelle de la thermorésistance) les plus élevés possible.

Le **point Vicat** est la température à laquelle une tige métallique d'extrémité plate de 1 mm² de section, chargée d'une masse de 5 kg, pénètre d'une profondeur de 1 mm dans une éprouvette constituée du matériau à expérimenter, soumis à une élévation de température de 50 °C/h.

En pratique, pour les compositions vinyliques utilisées en France et en Europe, la situation est la suivante :

Caractéristique	Spécifications retenues dans NF EN 12608	Valeurs usuelles mesurées sur profilés
Point Vicat (selon ISO 306 méthode B50).....	Supérieur ou égal à 75 °C	80 à 84 °C
Module E en flexion (selon ISO 178).....	Supérieure à 2 200 MPa	2 500 à 3 200 MPa

1.2.4 Extrudabilité

C'est l'aptitude de la composition vinylique, sous forme de granulés ou de poudre, à permettre après fusion d'obtenir toutes les géométries des profilés d'un système. Le procédé de mise en forme utilisé est l'extrusion.

Le formulateur va rechercher un équilibre parfois pointu entre les différents additifs de sa composition vinylique pour atteindre simultanément une fusion complète et homogène de la matière, un écoulement régulier de la masse fondue dans les outils de mise en forme, une productivité optimale des lignes de fabrication.

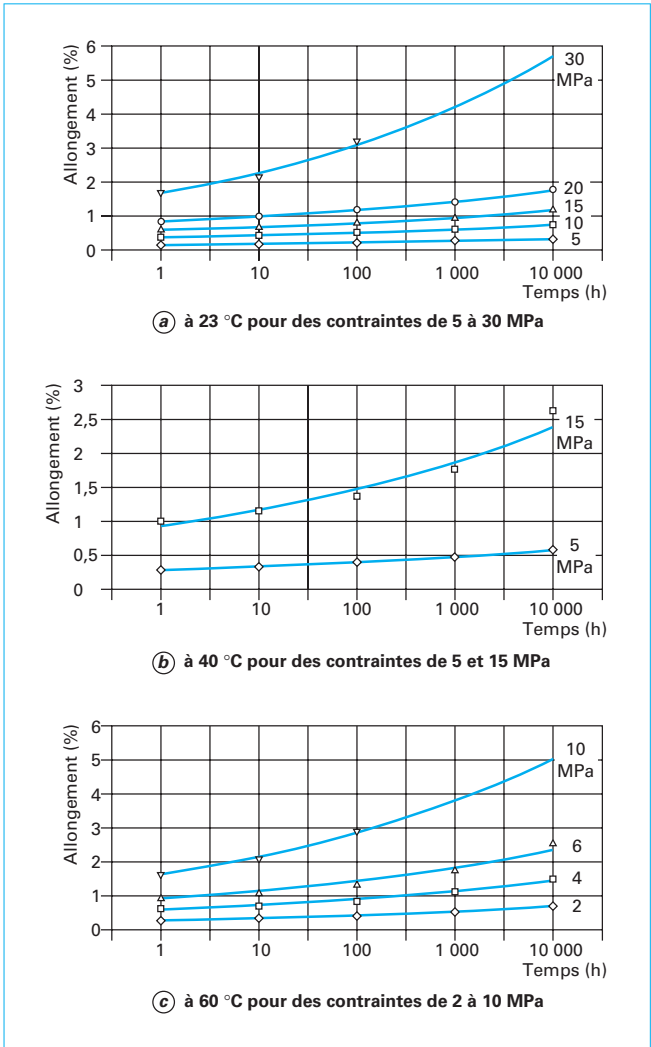


Figure 3 – Diagrammes de fluage en traction du PVC rigide

Des mesures rhéologiques telles que celles de viscosité à l'état fondu, de vitesse de glissement de la masse fondue sur métal, de vitesse de fusion (ou gélification), sont pratiquées sur une petite extrudeuse de laboratoire (extrusiomètre). Elles aident le formulateur dans sa démarche pour choisir la nature et la qualité des additifs.

1.3 Réalisation des objectifs : choix des polymères et additifs

1.3.1 Polymères

Pour atteindre le niveau des propriétés mécaniques requis (résilience, rigidité, résistance au fluage, aptitude à l'usinage) et aussi pour répondre aux contraintes de l'extrusion, deux voies s'offrent au formulateur :

– soit utiliser un homopolymère de PVC pur à haute masse moléculaire (K-Wert) dont la structure des grains autorise une fusion (gélification) satisfaisante. Certains PVC de K-Wert 71 à 73 fabriqués par le procédé en émulsion possèdent cette structure ;

La masse moléculaire est usuellement exprimée en nombre K (K-Wert) ou en indice de viscosité (IV), grandeurs calculées à partir de mesures de viscosité d'une solution de PVC (voir également [2]).

– soit utiliser un homopolymère de PVC pur fabriqué par le procédé en suspension ou en masse, de masse moléculaire moyenne (K-Wert moyen 64 à 68) qui ne peut à lui seul permettre d'atteindre l'objectif. Il faut lui adjoindre un **polymère modifiant choc** ayant une bonne durabilité. Les polymères EVA (polyéthylène acétate de vinyle), les PBA (polyacrylates de butyle), les CPE (polyéthylènes chlorés) possèdent les propriétés requises. On qualifie usuellement ces polymères modifiants d'**agents renforçants**. Ils agissent comme des microbilles d'élastomères dispersées régulièrement dans la matrice du PVC et sont capables d'absorber, par déformations, l'énergie de choc et d'éviter ou de limiter la propagation des fissures. Actuellement, les polymères acryliques sont les plus utilisés. On les rencontre à l'état pur ou greffés sur le polychlorure de vinyle.

En pratique, le formulateur réalise un compromis. Il choisit le type et le K-Wert du PVC ou du mélange de PVC, ainsi que le type et la teneur en polymère modifiant. Il réalise et optimise des combinaisons, des mélanges.

La norme NF EN 12608, s'appuyant sur un test de résilience en flexion sur barreau entaillé (résilience Charpy) représentatif de l'aptitude à la propagation des fissures dans les matériaux plastiques, précise les deux niveaux minima, au choix du concepteur.

Niveau de résilience Charpy selon ISO 179, méthode 1eA	
PVC pur ou additionné de quelques % de polymères modifiants choc	PVC additionné de polymères modifiants choc (5 à 10 % en masse)
≥ 10 kJ/m²	≥ 20 kJ/m²

1.3.2 Lubrifiants

D'une façon générale, la lubrification des compositions vinyliques est nécessaire pour éviter les phénomènes de friction trop importante des grains de polymères sur eux-mêmes lors du processus de fusion (gélification), mais aussi et surtout, pour éviter à la matière fondue portée à des températures de 185 à 195 °C d'adhérer au métal des matériels d'extrusion (vis, cylindres, outillages).

L'équilibre à rechercher entre la limitation des frictions dues au cisaillement mécanique de la matière, l'absence de collage au métal chaud, le maintien d'une progression régulière de la matière dans les extrudeuses (absence de patinage) est souvent pointu. Le formulateur doit par ailleurs imaginer au laboratoire ce qui se passe à l'échelle des lignes de fabrication industrielles.

On utilise le plus souvent des dérivés solides ou liquides de la chimie des corps gras d'origine animale ou végétale ainsi que certains polymères de faible masse moléculaire.

On distingue :

- les lubrifiants internes, compatibles avec le PVC, dont le rôle spécifique est de réduire les frictions intergrains ; ils peuvent réduire la viscosité de la masse fondue. Ils ont l'inconvénient d'agir défavorablement sur le point Vicat ;
- les lubrifiants externes, qui sont peu (ou pas) compatibles avec le PVC. En quantité réduite, ils agissent favorablement sur le glissement de la matière fondue sur les métaux chauds. Ils ont

l'inconvénient de limiter le cisaillement mécanique nécessaire à la gélification et peuvent exsuder, créer des dépôts du fait de leur incompatibilité avec les polymères ;

– les lubrifiants à effet mixte et les stabilisants (cf. ci-après) qui ont un effet lubrifiant.

Tout cela explique que le formulateur utilise non pas un seul, mais un **mélange de lubrifiants**. On parle couramment du système lubrifiant d'une formule PVC.

Exemples de lubrifiants utilisés

Internes : ester gras d'acide dicarboxylique.

Externes : éthylène bistéaramide, polyéthylène de faible masse moléculaire, cire de polyéthylène.

Mixtes : acide stéarique, hydroxystéarique, ester d'acide montanique.

Stabilisants à effet lubrifiant : stéarate de plomb, de calcium, de zinc.

1.3.3 Stabilisants

Leur rôle est de protéger les chaînes macromoléculaires de PVC contre les agressions de la chaleur pendant la phase de mise en forme des profilés et du rayonnement lumineux (notamment par le biais de ses rayons UV) pendant la période de vie des fenêtres.

Les stabilisants du PVC sont très nombreux. Le choix doit tenir compte de l'efficacité, du prix, de l'incidence sur le point Vicat, de la compatibilité avec le reste de la formule.

L'efficacité propre de chaque stabilisant est souvent renforcée par effet de synergie ; on utilise une combinaison de stabilisants. On parle ici aussi de « système » stabilisant.

Exemples de systèmes stabilisants

Stabilisation au plomb : phosphite dibasique de plomb + stéarate dibasique de plomb + stéarate neutre de plomb associé au stéarate de calcium.

Stabilisation au calcium-zinc : béhénate de calcium + octoate de zinc + β -dicétone + alkylarylphosphite + ditriméthylolpropane + complexe d'aluminium.

Stabilisation à l'étain : ce type de stabilisation est surtout utilisé aux États-Unis.

Pour des motifs toxicologiques liés à l'usage des substances pouvant contenir des métaux lourds, on expérimente et développe actuellement au niveau industriel en Europe la **stabilisation calcium-zinc**.

1.3.4 Pigments

Les pigments ou colorants sont utilisés pour simultanément obtenir une teinte ou une couleur déterminée, opacifier la matière pour la protéger contre l'action des rayonnements lumineux.

La chimie minérale et la chimie organique offrent une très grande variété de colorants pour matières plastiques.

Pour choisir, on s'intéresse à la dispersibilité, à la force colorante, au pouvoir couvrant, à la stabilité thermique, aux propriétés d'absorption-réflexion des ondes lumineuses, à la compatibilité avec les autres additifs de la formule, au prix.

Les pigments jouent un rôle capital dans la recherche d'une bonne durabilité.

Le **dioxyde de titane**, base de tous les coloris clairs, revêt une importance primordiale. Pour les objets exposés aux intempéries,

on choisit impérativement les **types rutile enrobés**, offrant une protection maximale du point de vue photochimique.

La dose d'utilisation influence considérablement la résistance au vieillissement lumineux. Les doses minimales d'emploi exprimées en kg pour 100 kg de PVC pur (pcr), vont de 3 à 4 pcr pour les climats du Nord de l'Europe (pays scandinaves : Allemagne, Hollande) à 6 à 7 pcr pour les climats du Sud de l'Europe (Sud de l'Espagne, Portugal). Les formules adaptées aux climats de la France contiennent 4 à 5 pcr de dioxyde de titane.

Les pigments de nuance donnant les tons clairs pastels diffusés industriellement sont sélectionnés avec le plus grand soin. Cette sélection, qui vaut d'ailleurs pour tous les additifs d'une formule, est un travail de longue haleine et est basée sur une expérimentation de longue durée en sites naturels représentatifs des principaux climats. On lui associe des simulations en laboratoire qui permettent surtout d'accélérer la présélection des additifs.

Le problème posé par les coloris vifs tels que jaune, rouge, vert, bleu... intermédiaires entre les tons pastels et les teintes sombres, est abordé au paragraphe 6.

1.3.5 Charges

Les charges sont des composés minéraux ajoutés aux matières plastiques soit pour diminuer le coût des formulations, soit pour apporter des caractéristiques particulières telles que la résistance aux chocs, la rigidité, l'aspect de surface (brillance, matité...), le glissement de la matière à l'état fondu sur le métal.

Dans le cas des formules pour extrusion de profilés de fenêtres, les charges sont un additif noble, un additif à part entière. Il s'agit de **carbonates de calcium** de fine granulométrie obtenus par voie chimique ou broyés après extraction de gisements naturels. On les incorpore à raison de 5 à 10 pcr.

1.3.6 Processing aid

Ces polymères additionnés à faible dose (0,5 à 1 %) facilitent la fusion du PVC et des autres additifs. Ils confèrent une certaine étirabilité, une élasticité à la masse fondue avant sa mise en forme finale.

Il s'agit de polymères à très longues chaînes, compatibles avec les PVC. Ce sont des copolymères de méthacrylate de méthyle, d'acrylate de butyle et d'éthyle.

1.3.7 Exemples de compositions massiques vinyliques destinées à l'extrusion de profilés de fenêtres

• Exemple 1 : formule stabilisée aux sels de plomb

PVC K-Wert 70 à 71	100	
PVC K-Wert 64 à 68		100
Copolymère CPE, EVA, PBA	0	4 à 7
<i>Processing aid</i>	0,5 à 1	
Phosphite dibasique de plomb	2 à 4	
Stéarate dibasique de plomb	1 à 1,6	
Stéarate neutre de plomb	0,4 à 0,8	
Stéarate de calcium	0,3 à 0,5	
Acide stéarique	0,2 à 0,4	
Ester d'acide gras	0,4 à 0,8	
Cire de polyéthylène	0,05 à 0,15	
Carbonate de calcium	5 à 10	
Dioxyde de titane rutile	4 à 7	

• Exemple 2 : formule stabilisée aux sels de Ca et Zn

PVC K-Wert 64 à 68	100
Copolymère (CPE, EVA, PBA)	4 à 7
Processing aid	0,5 à 1
Béhénate de calcium	0,6 à 0,8
Octoate de zinc	0,3 à 0,5
Alkylarylphosphite	0,7 à 0,9
Complexe à base d'aluminium	0,1 à 0,3
β -dicétone	0,1 à 0,3
Ditriméthylolpropane	0,1 à 0,3
Ester de l'acide dicarboxylique	0,4 à 0,6
Ester d'acide gras	0,7 à 0,8
Carbonate de calcium	5 à 10
Dioxyde de titane rutile	4 à 7

Les doses exactes sont ajustées pour tenir compte de la géométrie des profilés, des machines d'extrusion, de leur productivité, du climat...

1.4 Fabrication des compositions vinyliques

L'objectif est d'alimenter les extrudeuses à partir de mélanges poudreux (*dry-blends* ou *premix*) ou de granulés (*compounds*) dans lesquels le PVC et ses additifs sont intimement mélangés et la composition pondérale de la formule scrupuleusement respectée.

1.4.1 Dry-blends

On doit obtenir des poudres sèches, homogènes, fluides.

On réalise par un brassage mécanique énergique un mélange des divers constituants. Il s'agit d'un mélangeage physique, les différents constituants de la formule n'interagissent pratiquement pas entre eux sauf les additifs liquides ou rendus liquides par fusion qui sont absorbés par les grains de PVC. L'opération est réalisée en deux étapes dans un mélangeur à deux étages, en cascade. Le 1^{er} étage est un turbomélangeur dont on peut ajuster ou programmer les cycles de brassage. Pendant la première étape, le PVC et les additifs solides ou liquides sont brassés, ce qui provoque une friction des grains et par suite, une élévation de température de la masse poudreuse qui monte jusqu'à 100 à 120 °C. Pendant la deuxième étape, réalisée sur mélangeur lent refroidi par apport de frigories, la masse homogène est refroidie à une température inférieure à 40 °C.

1.4.2 Compounds

À partir des poudres obtenues dans l'étape de mélangeage précédente, on réalise une opération dite de **compoundage** aboutissant à la transformation des poudres en granulés. On fabrique en somme un demi-produit qui peut permettre de résoudre des problèmes d'extrusion particuliers tels que types d'extrudeuses, empoussièrément des postes de travail lié à la manipulation des poudres...

L'opération est réalisée le plus souvent sur extrudeuse (compoundeuse ou granulatrice). Par apport d'énergie thermique et mécanique, on fait subir à la masse pulvérulente une fusion progressive caractérisée par l'apparition de liaisons entre les molécules des polymères. On parle de **gélification** de la matière. En même temps que se créent ces réseaux tridimensionnels, s'achève la fusion des additifs autres que les minéraux (carbonates de calcium, dioxydes de titane, pigments, etc.). Leur dispersion est également renforcée. Le flux de matière fondue est poussé à travers une grille qui le divise en jons coupés en petits cylindres ou lentilles à la sortie de la grille..

Tableau 6 – Critères d'identification des compositions vinyliques et tolérances

Critère	Méthode d'essai	Tolérance
Température de ramollissement Vicat	ISO 306, méthode B	± 2 °C
Masse volumique	ISO 1183, méthode A	± 0,02 g/cm ³
Coloris	ISO 7724-3, D65	$ \Delta L^* \leq 1,0$ $ \Delta a^* \leq 0,5$ $ \Delta b^* \leq 0,8$ $ \Delta E^* \leq 1,0$
Taux de cendres	ISO 3451-5, méthode A	± 7 %
Temps d'induction de la déshydrochloration	ISO 182, partie 2	± 15 %
Module d'élasticité en flexion	ISO 178	± 10 %

1.4.3 Identification des compositions vinyliques

Les compositions vinyliques utilisées pour l'extrusion des profilés de fenêtres font l'objet d'une homologation dans le cadre de la marque de qualité NF 126 gérée par le CSTB (marque NF-CSTB, voir § 5.2). Elles sont à ce titre repérées par une désignation précise du fabricant.

Elles sont identifiées par des critères, qui permettent, pris ensemble, de vérifier la constance de composition de la formule.

Ces critères et les tolérances par rapport aux valeurs nominales annoncées par le fabricant sont donnés dans le tableau 6, comme défini dans le règlement de la marque NF 126.

1.5 Autres caractéristiques du PVC rigide intéressantes

La plupart de ces caractéristiques sauf celles repérées par une astérisque (*) ne dépendent pas de la formule.

■ Résistance aux agents chimiques

Le PVC rigide est inerte vis-à-vis d'un grand nombre de substances chimiques. Il résiste bien à l'air salin, aux fumées et rejets industriels, aux huiles et graisses.

■ Résistance à la corrosion

Le PVC rigide est imputrescible. Cela a pour conséquence une quasi-absence d'entretien ; celui-ci est limité le plus souvent à un simple lavage à l'eau savonneuse.

■ Stabilité dimensionnelle

Le PVC rigide est insensible à l'eau, on n'observe jamais de gonflement ou de retrait dû à l'eau.

Dans les conditions usuelles d'emploi, sous l'action de l'échauffement solaire, on n'observe pas de retrait significatif (moins de 0,5 % à 80 °C pour le retrait longitudinal d'un profilé libre à ses extrémités). On doit cependant tenir compte, pour la conception des profilés et leur assemblage, d'un coefficient de dilatation thermique linéaire α plus élevé que celui des matériaux utilisés habituellement en menuiserie.

On a pour ce coefficient α exprimé en 10^{-6} K^{-1} les valeurs comparatives suivantes :

– PVC rigide.....	65
– bois (sapin).....	7
– brique.....	5
– pierre (calcaire).....	5
– acier.....	12
– aluminium.....	23
– verre.....	9
– granit.....	8
– ciment (mortier).....	15

■ Conductivité thermique

Grâce à une conductivité thermique λ faible, le PVC rigide est un matériau isolant.

On a pour ce coefficient λ exprimé en $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ les valeurs comparatives suivantes (source : règles Th-U, version 2005) :

– PVC rigide.....	0,17
– bois.....	0,29 à 0,13
– aluminium.....	230
– verre.....	1,00
– acier.....	50
– EPDM.....	0,25
– mastics pour joints (silicone).....	0,50

■ Comportement au feu*

Le PVC rigide pur qui contient environ 56 % de chlore est un matériau ignifuge par lui-même. Il est difficilement inflammable. Les profilés de fenêtre sont classés M1 à M2 au test de l'épi-radateur (selon la méthode décrite dans la norme NF P 92-501).

■ Aptitude au façonnage

Le PVC rigide se prête à toutes les opérations classiques d'usinage, perçage, vissage. Il se colle facilement sur lui-même et sur d'autres matériaux. Par réchauffage vers 120°C , on peut le plier, le cintrer, le former. Par soudage au miroir chauffant, on obtient des assemblages parfaitement étanches.

■ Aptitude à la décoration

Les profilés en PVC rigide sont constitués d'une matière homogène présentant un fini de surface lisse. On peut modifier et enrichir les surfaces par application de peintures ou de films.

■ Mise en forme

La technique de mise en forme par extrusion autorise une grande liberté dans la réalisation des formes... Elle est mise à profit pour la fabrication de profilés de géométries et masses linéiques très variables. Elle permet notamment la fabrication de profilés tubulaires, multichambres. La juxtaposition de plusieurs flux de matière extrudés sur des extrudeuses différentes (coextrusion) permet de réaliser des profilés multimatières. Le cas le plus spectaculaire est la coextrusion de joints de vitrage et d'étanchéité en PVC souple (PVC plastifié) sur les profilés en PVC rigide.

On peut aussi par coextrusion utiliser en sous-couches non exposées aux intempéries, des matières issues du recyclage (cf. ci-après « Aptitude au recyclage ») et réaliser les parements intérieurs et extérieurs des fenêtres en matériaux colorés.

■ Densité*

Le PVC rigide est un matériau léger. La masse volumique des profilés de fenêtre en PVC varie entre 1,46 et $1,52 \text{ kg}/\text{dm}^3$.

■ Aptitude au recyclage

Le caractère thermoplastique du PVC rigide lui confère une aptitude à la mise en forme réversible. Cette propriété, jointe à une solide protection stabilisante et lubrifiante apportée par la formula-

tion, fait du PVC rigide utilisé pour les fenêtres un matériau parfaitement adapté au recyclage.

La norme NF EN 12 608 prévoit les modalités du recyclage en distinguant les différents cas possibles suivants :

- les chutes nobles provenant de l'extrusion et de la fabrication des fenêtres ;
- les profilés provenant de fenêtres en service et récupérées à la suite de travaux de démolition ou de rénovation ;
- les profilés provenant de chutes nobles ou d'objets en service récupérés, appartenant à d'autres domaines que celui de la fenêtre (fermetures, canalisations...).

Les chutes, profilés appartenant à ces différentes familles, sont débarrassés de tous corps étrangers et subissent un broyage. On les réextrude soit en mélange à des *dry-blends* ou granulés vierges, soit à l'état pur.

2. Conception d'un système de fenêtre PVC

Le concepteur d'un système doit tenir compte d'un nombre important de contraintes plus ou moins contradictoires. Il va devoir faire des choix, réaliser des compromis.

2.1 Contenu d'un système

Un système de menuiserie adapté aux besoins actuels du marché français comprend des fenêtres et portes-fenêtres à frappe : à la française, oscillo-battantes et à soufflet à 1, 2, 3, parfois 4 vantaux, ou coulissantes (tableau 7).

Il est destiné aux travaux neufs, mais aussi aux travaux de rénovation, particulièrement avec la conservation des dormants existants.

En 2006, le marché neuf pour le PVC représentait 29 %, la rénovation 71 %.

Pour chacun de ces modes de pose, des profilés de dormants spécifiques sont développés afin de faciliter la mise en œuvre et diminuer les risques de pathologie.

Le système de menuiserie PVC permet l'adaptation de fermetures, telles que les jalousies, les persiennes, les volets roulants, avec leurs coffres. Ces fermetures sont assemblées avec leurs coffres, directement en usine sur la menuiserie afin de livrer et poser un seul produit industriel : le **bloc Baie**. Cette activité représente 29 % du marché de la menuiserie PVC en 2006.

Le système prévoit toutes les pièces et profilés complémentaires nécessaires à la fabrication et à la mise en œuvre des menuiseries : embouts de battement, assemblage mécanique, profilés d'étanchéité, habillages intérieurs et extérieurs, renforts métalliques, quincaillerie...

Tableau 7 – Répartition des fenêtres PVC par type d'ouverture en France
(Source Batim, 2006)

À la française	56 %
Fixes	5 %
Oscillo-battante	22 %
Coulissante	12 %
Soufflet ou abattante	2 %
Autres : italiennes, guillottes...	3 %

Tableau 8 – Exigences de bases pour une menuiserie			
Exigences	Symbole	Classification et spécifications	Essais ou calcul
Perméabilité à l’air	A*	NF EN 1026	NF EN 12207
Étanchéité à l’eau	E*	NF EN 1027	NF EN 12208
Résistance au vent	V*	NF EN 12210	NF EN 12211
Isolation thermique	Uw		NF EN ISO 10077-1 et -2
Facteur solaire	Sw		NF EN 13363-1 NF EN 13363-2 NF EN 410
Résistance des dispositifs de sécurité		NF EN 14351-1	NF EN 14351-1 NF P 20-501
Effort de manœuvre		NF EN 13115	NF EN 12046-1
Résistance aux fausses manœuvres		NF P 20-302 NF EN 13-15	NF P 20-501 NF EN 14608 NF EN 14609
Résistance à l’ouverture fermeture		NF EN 13115 NF P 20-302 NF EN 12-400	NF EN 1191 NF P 20-501
L’astérisque désigne une performance obtenue et exprimée selon les normes européennes en application depuis 2001.			

2.2 Performances et caractéristiques attendues

Le système doit permettre de satisfaire aux exigences de base pour une menuiserie, telle que décrites dans la norme : NF EN 14 351-1 (tableau 8).

2.2.1 Perméabilité à l’air A*

Cette caractéristique est symbolisée par la lettre A*.

La **perméabilité à l’air** d’une fenêtre caractérise le volume d’air qui traverse une fenêtre en fonction de l’écart de pression entre la face extérieure et la face intérieure.

La caractérisation est effectuée en pression et en dépression, sauf pour les fenêtres dont la performance à l’air s’améliore avec l’augmentation de pression (cas des fenêtres à la française en dépression par exemple).

Le débit de fuite se mesure jusqu’à 600 Pa : par paliers de 50 Pa, jusqu’à 300 Pa, et au-delà, par palier de 150 Pa (450 et 600).

Pour le **classement**, c’est-à-dire l’utilisation du débit de fuite global mesuré lors de l’essai, la norme NF EN 1026 prévoit de ramener le débit de fuite de la menuiserie à sa surface hors tout (hors recouvrement éventuellement présent sur les dormants) et également au linéaire de jonction des ouvrants (entre eux ou avec des dormants). Le classement de la menuiserie est déterminé à partir du classement obtenu selon ces deux critères : débit de fuite ramené à la surface et débit de fuite ramené au linéaire de jonction des ouvrants.

Le débit de fuite de référence est donné pour une pression de 100 Pa. Les fuites maximales pour chaque classe aux différents paliers de pression sont déterminées à partir de la relation suivante (en m³/h) :

Q = Q100 (P / 100)2/3

avec Q100 (m³/h) débit de fuite global à 100 Pa,
P (Pa) pression considérée.

Tableau 9 – Limites pour chaque classe de perméabilité			
Norme NF EN 12 207			
Classes	Débit surfacique Hors tout sous 100 Pa (m³/(h · m²))	Débit linéique sous 100 Pa (m³/(h · m))	Pression maximale d’essai (Pa)
A*1	50	12,50	150
A*2	27	6,75	300
A*3	9	2,25	600
A*4	3	0,75	600

Cette relation caractérise des fuites induites par des déformations sous forme de fente.

D’autres types de déformations peuvent se produire (verrouillage ou renforts insuffisants, par exemple). Elles sont mises en évidence par la forme des courbes obtenues qui ne suivent pas les formes induites par la relation ci-avant.

Les limites pour chaque classe sont données dans le tableau 9.

À partir des deux classements : selon le linéaire et selon la surface, une règle permet de déterminer le classement final de la menuiserie. Son fonctionnement est illustré par le tableau suivant.

Débit linéique	Débit surfacique	Menuiserie
A*4	A*4	A*4
A*3	A*4	A*4
A*2	A*4	A*3
A*1	A*4	Non classée

C’est-à-dire :

- **même classe**, c’est le classement de la menuiserie ;
- **une classe d’écart**, le classement de la menuiserie est le meilleur des deux classements ;

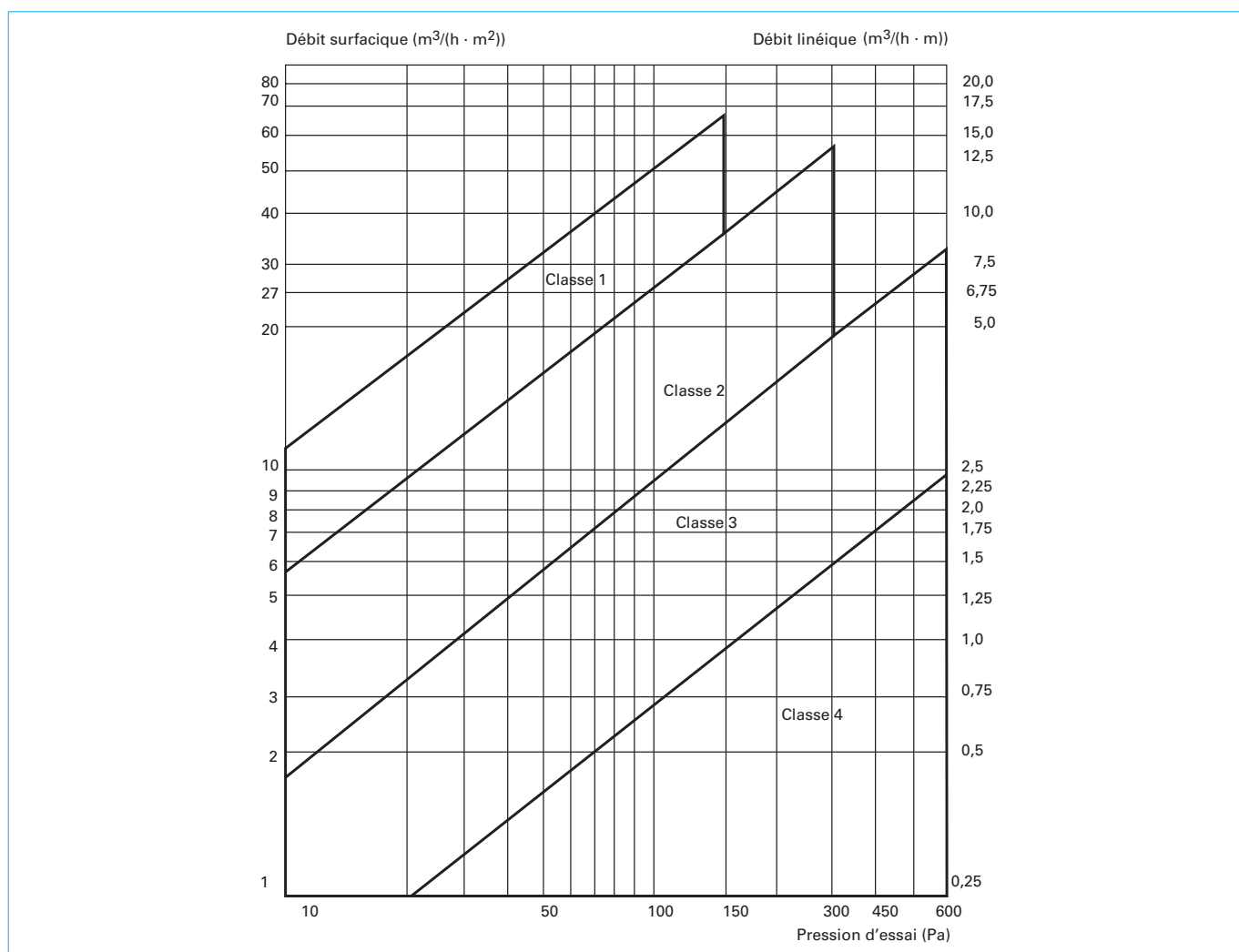


Figure 4 – Classement de la perméabilité à l'air

– **deux classes d'écart**, le classement de la menuiserie est le classement moyen ;

– **trois classes d'écart**, la menuiserie est non classée.

Le résultat de la perméabilité à l'air d'une fenêtre est exprimé selon le graphique de la figure 4. En abscisse est représentée la pression d'essai (en Pa) et en ordonnées à gauche, le débit surfacique (en $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$) et à droite, le débit linéique (en $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m})$).

2.2.2 Étanchéité à l'eau E*

L'essai d'**étanchéité à l'eau** des fenêtres consiste à appliquer un arrosage constant de la face externe de la menuiserie associé à une pression d'air croissante selon les mêmes paliers que l'essai de perméabilité à l'air.

L'observation des éventuelles fuites est visuelle. La classification est obtenue par rapport à la pression sous laquelle la fenêtre reste étanche.

L'arrosage est effectué par des rampes à buses à jet conique (angle de 120°) avec débit de 2 L/min. La norme prévoit deux possibilités d'orientation pour ces buses qui déterminent deux méthodes (figure 5) :

– la **méthode A** est préconisée pour les menuiseries dont la mise en œuvre implique une exposition totale aux intempéries, en particulier, la traverse haute ;

– la **méthode B**, quant à elle, est réservée aux produits partiellement protégés des intempéries. La méthode B est très proche de l'ancienne méthode française avec toutefois une pression d'air maximale limitée à 300 Pa.

Le classement est déterminé selon le tableau 10. Il comprend plus de 16 possibilités.

2.2.3 Résistance au vent V*

La résistance au vent est caractérisée par la capacité d'une fenêtre à limiter sa déformation et à résister aux bourrasques courantes et extrêmes.

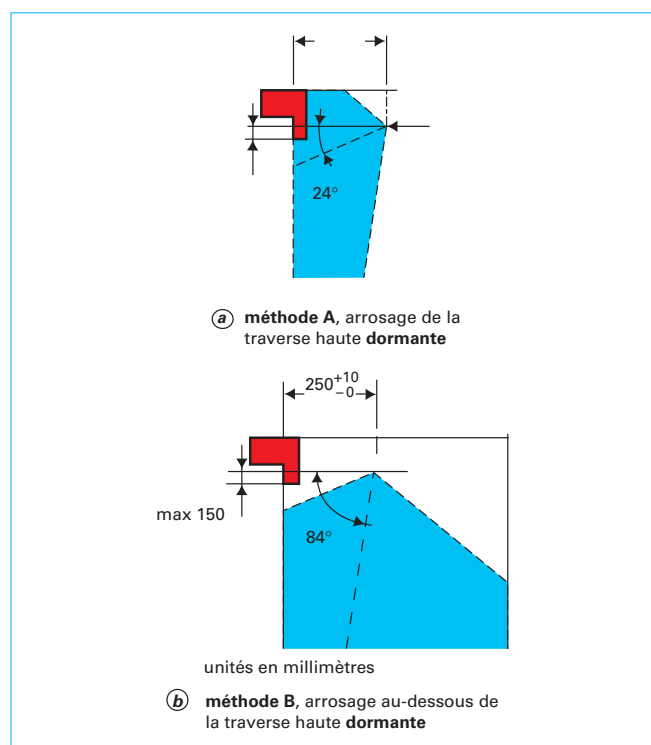


Figure 5 – Méthodes d'arrosage pour l'étanchéité à l'eau

Tableau 10 – Classement d'étanchéité à l'eau

Pression d'essai P_{\max} (Pa)	Classification		Temps d'essai
	Méthode A	Méthode B	
0	E*1A	E*1B	Arrosage pendant 15 min
50	E*2A	E*2B	Idem classe 1 + 5 min
100	E*3A	E*3B	Idem classe 2 + 5 min
150	E*4A	E*4B	Idem classe 3 + 5 min
200	E*5A	E*5B	Idem classe 4 + 5 min
250	E*6A	E*6B	Idem classe 5 + 5 min
300	E*7A	E*7B	Idem classe 6 + 5 min
450	E*8A		Idem classe 7 + 5 min
600	E*9A		Idem classe 8 + 5 min
> 600	E*xxx		Au-dessus de 600 Pa par pas de 150 Pa, paliers de 5 min

La norme détermine trois types de pressions qui caractérisent des modes de comportements au vent à évaluer.

- $P1$: pression de **déformation** des fenêtres ;
- $P2$: pression de **pulsation** ;
- $P3$: pression de **sécurité** (ancienne pression brusque des normes françaises).

Les pressions $P1$ et $P3$ sont liées par la relation :

$$P3 = 1,5 P1$$

où l'on retrouve le coefficient de sécurité de 1,5.

Et, on a

$$P2 = 0,5 P1$$

En effet, l'essai consiste à faire des pulsations de $-P2$ à $+P2$; l'amplitude totale correspond en fait à $P1$ ($2 \times P2$).

La séquence de l'essai au vent est explicitée dans le schéma de la figure 6.

La détermination des classements s'effectue à partir de classes de pression de 1 à 5 :

Classe	$P1$ (Pa)	$P2$ (Pa)	$P3$ (Pa)
1	400	200	600
2	800	400	1 200
3	1 200	600	1 800
4	1 600	800	2 400
5	2 000	1 000	3 000

Les critères de classement sont :

– après $P1$ et $P2$, la menuiserie ne doit pas présenter de défauts visibles, demeurer en état de fonctionnement et sa perméabilité à l'air doit demeurer inférieure à 20 % de la perméabilité maximale admissible pour la classe obtenue précédemment et cela à chaque palier de pression ;

– après $P3$, le corps d'épreuve doit rester fermé ; les fissurations, gauchissement ou cintrages sont admis, mais on ne doit pas observer de projections côté intérieur.

Le classement définitif s'exprime en fonction de la classe de déformation relative normale A, B ou C de la façon suivante.

Classe de pression	Flèche relative normale		
	A < 1/150	B < 1/200	C < 1/300
1	V*A1	V*B1	V*C1
2	V*A2	V*B2	V*C2
3	V*A3	V*B3	V*C3
4	V*A4	V*B4	V*C4
5	V*A5	V*B5	V*C5

La détermination des performances des menuiseries selon ce nouveau référentiel est possible depuis le 1^{er} janvier 2001. L'utilisation de ces classements est codifiée dans le « **mémento FD P 20-201 (DTU 36.1/37.1)**. Choix des fenêtres et portes extérieures en fonction de leur exposition » depuis sa publication en décembre 2001.

2.2.4 Utilisation des performances A*, E*, V*

Le choix des performances nécessaires en fonction de l'exposition des fenêtres permet d'optimiser la qualité des produits. Le mode de choix est explicité pour la France dans le **mémento FD P 20-201**.

Ce document est fondamental pour les **menuisiers** car il fixe les performances minimales des produits, c'est-à-dire la configuration des technologies à mettre en place pour satisfaire ses exigences.

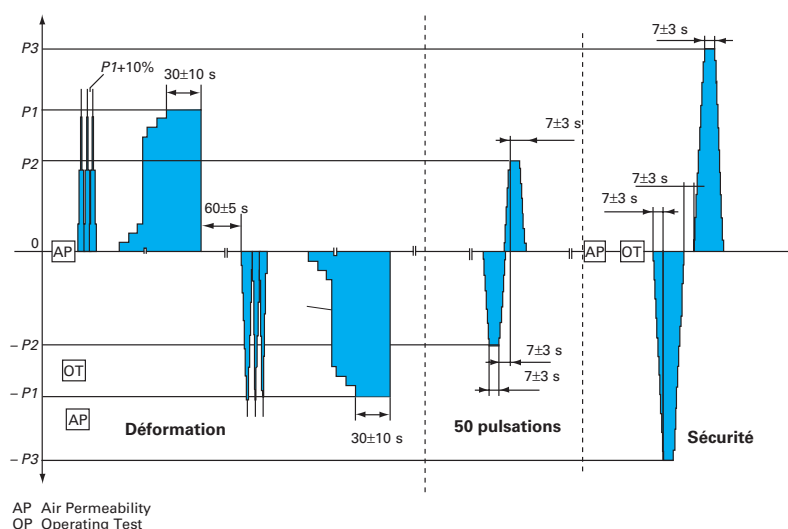


Figure 6 – Essai au vent

Ce document est également fondamental pour les **maîtres d'œuvre** et les **maîtres d'ouvrage** car il leur permet d'effectuer le choix du classement le plus adapté et éviter en cela de prescrire des produits trop chers, car, avec des performances inutiles pour les conditions d'expositions, ce qui est d'autant plus important que le mode de classification européen est complexe. Il est de ce fait nécessaire de disposer d'un guide clair. Ce choix se fait à partir de trois critères.

■ **Critère 1 : la zone.** Le mémento compte 5 zones (figure 7). À chacune des zones correspond une vitesse de vent de référence. Pour les départements sur plusieurs zones, le document donne la répartition par cantons.

■ **Critère 2 : la situation de la construction dans son environnement.** Les 4 situations retenues sont :

- **a :** à l'intérieur des grands centres urbains (zone urbaine où les bâtiments occupent au moins 15 % de la surface et ont une hauteur moyenne supérieure à 15 m) ;
- **b :** dans les villes petites et moyennes ou à la périphérie des grands centres urbains ; dans les zones industrielles ; dans les zones forestières ;
- **c :** en rase campagne ;
- **d :** en bord de lacs ou plans d'eau pouvant être parcourus par le vent sur une distance d'au moins 5 km, ou en bord de mer, lorsque la construction étudiée est à une distance du rivage supérieure à 20 fois la hauteur de cette construction.

■ **Critère 3 : la hauteur de la partie haute de la menuiserie par rapport au sol (H).** Les classes de hauteur sont définies :

- moins de 6 m ;
- entre 6 et 18 m ;
- entre 18 et 28 m ;
- entre 28 et 50 m ;
- entre 50 et 100 m.

Les constructions dont les menuiseries sont situées à plus de 100 m du sol doivent faire l'objet d'études spécifiques.

Lorsque la construction est située au bord d'une dénivellation de pente moyenne supérieure à 1 (angle supérieur à 45°), la prise en compte de la hauteur se fait selon les cas illustrés sur la figure 8.

Le mémento FD P 20-201 introduit également la notion d'**ouvrage partiellement protégé** de la pluie. Pour ces ouvrages, la

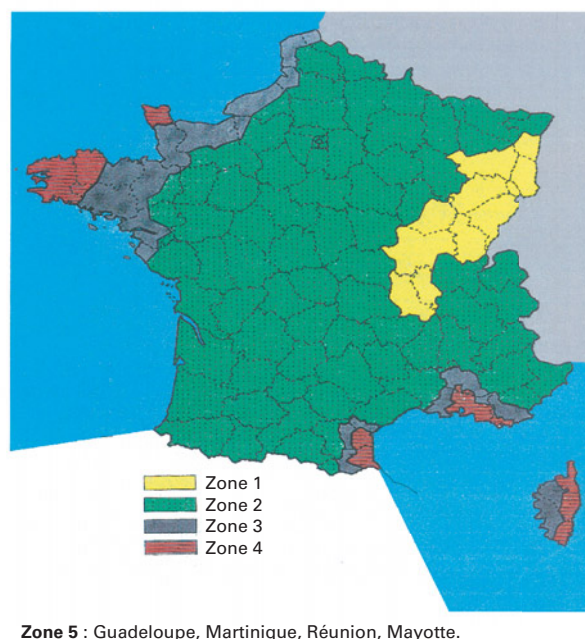


Figure 7 – Cartes des zones de vent

mise en œuvre de produits avec des performances d'étanchéité à l'eau établies en **méthode B** est possible. La position du joint d'ouvrant supérieur ou du joint de remplissage supérieur pour les parties fixes par rapport à l'extrémité la plus extérieure de la baie ou de tout dispositif de protection doit correspondre aux critères ci-après :

- être à une distance L d'au moins 0,15 m ;
- respecter un facteur de protection L/C égal ou supérieur à 3 ; avec L pour Linteau, C pour Cochonnet (figure 9).

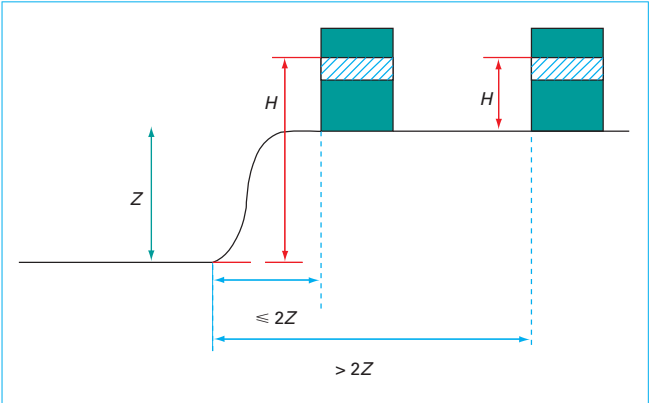


Figure 8 – Hauteur *H* pour des constructions situées près d’une dénivellation

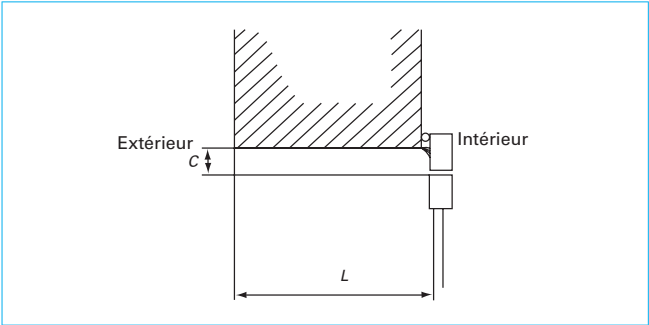


Figure 9 – Dimensions

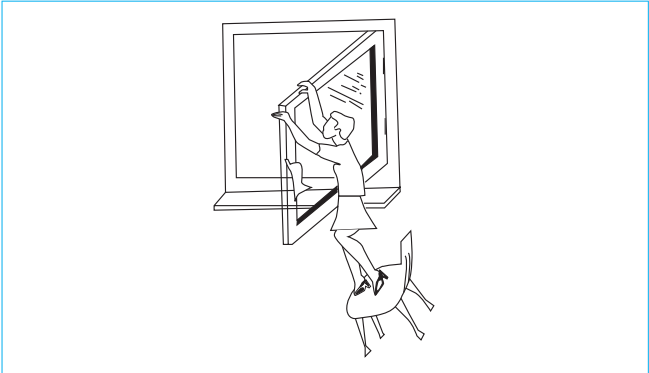


Figure 10 – Contreventement du vantail pour une ouverture à axe vertical

Le tableau 11 donne les performances A*, E*, V* minimales requises.

2.2.5 Caractéristiques mécaniques

Sollicitation de la vie quotidienne d’une fenêtre, la caractérisation mécanique est fondamentale pour la conception d’une menuiserie ou d’un système de menuiserie. Ces caractérisations s’appliquent aux fenêtres et portes-fenêtres ; elles ne s’appliquent que partiellement aux portes extérieures pour lesquelles il existe d’autres normes.

■ Contreventement du vantail (charge dans le plan du vantail)

Les efforts sont appliqués sur le bord du cadre menuisé dans un angle ; la direction est parallèle au plan du vantail ; le sens est fonction du mode d’ouverture de la menuiserie :

- pour une ouverture à axe vertical (à la française), l’effort sera dirigé verticalement : cet essai est identique à notre ancien essai de charge au nez. Il caractérise une sollicitation exceptionnelle dû à un utilisateur qui s’accrocherait partiellement à un vantail en position ouverte, lors d’une opération de nettoyage par exemple (figures 10, et 11a) ;
- pour les ouvertures à axe horizontal (soufflet) ; l’effort est dirigé horizontalement sur le côté libre (figure 11b) ;
- pour les ouvertures coulissantes, l’effort est également dirigé horizontalement en partie haute du vantail après l’avoir immobilisé en partie basse.

L’essai est satisfaisant s’il n’y a pas de rupture ou de chute du vantail et si la menuiserie se referme correctement, avec conservation de la classe d’effort de manœuvre.

■ Torsion statique (charge perpendiculaire au plan du vantail)

La charge est dirigée perpendiculairement au plan du vantail et est appliquée sur un angle libre. L’angle libre opposé est immobilisé (figure 12).

Cet essai est sans objet pour les menuiseries coulissantes.

L’essai est satisfaisant s’il n’y a pas de rupture et si la menuiserie se referme correctement avec conservation de la classe d’effort de manœuvre.

■ Classement en fonction des charges appliquées

Il doit être considéré en fonction du contreventement et de la torsion statique.

	Classe 0	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Contreventement	–	200 N	400 N	600 N	800 N
Torsion statique	–	200 N	250 N	300 N	350 N

Exemple : pour être de classe 2, une menuiserie doit satisfaire l’exigence de contreventement à 400 N **et** l’exigence de torsion statique à 250 N.

■ Ouverture et fermeture répétée (endurance mécanique)

Cet essai caractérise la durée de vie effective d’un produit. Il permet une évaluation globale de l’ensemble des constituants en situation réelle. Il peut également mettre en évidence des défaillances ou des manques au niveau de la fabrication des menuiseries. C’est à la fois un essai de validation de la conception et de vérification de la qualité de fabrication. Le cycle de l’essai est un cycle complet d’ouverture/fermeture d’un vantail le plus proche possible d’un mouvement réel, y compris déverrouillage et verrouillage de la quincaillerie.

Les séquences d’un cycle sont les suivantes (cas d’une ouverture à la française) :

- déverrouillage des galets ;
- ouverture à 90° ;
- fermeture ;
- verrouillage des galets.

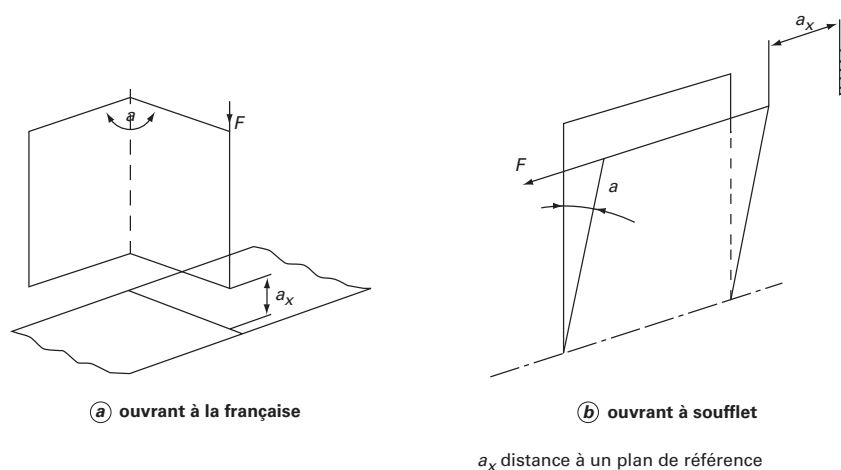
L’automate applique le mouvement sur la poignée ou directement sur le carré de manœuvre de la crémona. La vitesse est donnée pour le chant fermant (cas d’une rotation) sur lequel est fixé le dispositif de manœuvre, ou sur le vantail pour les déplacements par translation. Elle est de :

- 0,5 m/s ± 0,05 pour un vantail avec une masse inférieure ou égale à 400 kg ;
- 0,2 m/s ± 0,02 pour un vantail avec une masse supérieure à 400 kg.

Tableau 11 – Performances A*, E* et V* minimales requises

Zone	Situation	Hauteur H (m) de la fenêtre au-dessus du sol				
		$H \leq 6$	$6 < H \leq 18$	$18 < H \leq 28$	$28 < H \leq 50$	$50 < H \leq 100$
1	a	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*4 V*A2
	b	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*5 V*A2
	c	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*5 V*A2	A*2 E*5 V*A2	A*3 E*6 V*A3
	d	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*5 V*A2	A*2 E*5 V*A2	A*3 E*6 V*A3	A*3 E*6 V*A3
2	a	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*4 V*A2
	b	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*5 V*A2
	c	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*5 V*A2	A*2 E*5 V*A2	A*3 E*6 V*A3	A*3 E*7 V*A3
	d	A*2 E*5 V*A2	A*2 E*5 V*A2	A*3 E*6 V*A3	A*3 E*6 V*A3	A*3 E*7 V*A3
3	a	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*5 V*A2
	b	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*5 V*A2	A*3 E*6 V*A3
	c	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*5 V*A2	A*3 E*6 V*A3	A*3 E*7 V*A3	A*3 E*7 V*A3
	d (1)	A*2 E*5 V*A2	A*3 E*6 V*A3	A*3 E*7 V*A3	A*3 E*7 V*A3	A*3 E*8 V*A4
4	a	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*5 V*A2	A*2 E*5 V*A2
	b	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*5 V*A2	A*2 E*5 V*A2	A*3 E*6 V*A3
	c	A*2 E*5 V*A2	A*3 E*6 V*A3	A*3 E*7 V*A3	A*3 E*7 V*A3	A*3 E*8 V*A4
	d (1)	A*3 E*6 V*A3	A*3 E*7 V*A3	A*3 E*7 V*A3	A*3 E*8 V*A4	A*3 E*8 V*A4
5	a	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*5 V*A2	A*3 E*7 V*A3
	b	A*2 E*4 V*A2	A*2 E*4 V*A2	A*3 E*6 V*A3	A*3 E*7 V*A3	A*3 E*8 V*A4
	c	A*2 E*4 V*A3	A*3 E*4 V*A3	A*3 E*8 V*A4	A*3 E*8 V*A4	A*3 E*8 V*A5
	d	A*2 E*4 V*A3	A*3 E*4 V*A4	A*3 E*8 V*A4	A*3 E*8 V*A5	A*3 E*9 V*A5

(1) Sur le littoral méditerranéen, hors Corse, les fenêtres en situation d des zones 3 et 4 sont considérées comme en situation c.

**Figure 11 – Exemples d'essais de contreventement**

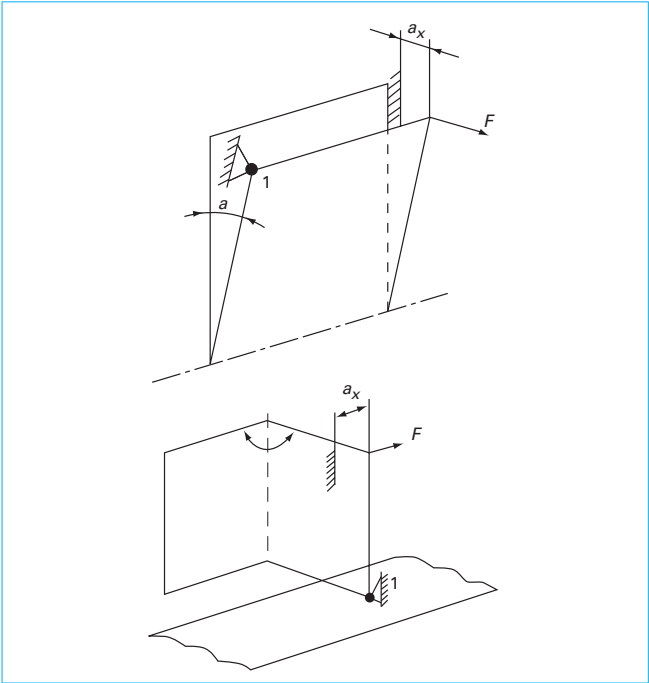


Figure 12 – Essais de torsion statique

Le nombre de cycles à effectuer est fixé dans la norme NF EN 12-400.

Classe	Nombre de cycles	Utilisation
0		
1	5 000	Faible
2	10 000	Modérée
3	20 000	Forte

Dans le cas d’une menuiserie avec plusieurs types d’ouvertures : oscillo-battant par exemple, le nombre de cycles est effectué sur chacun des modes d’ouverture. En effet, il n’est pas possible de présager de l’utilisation qui sera faite de la menuiserie. Les deux modes d’ouverture doivent être capables de satisfaire l’exigence séparément.

■ Efforts de manœuvre

La norme NF EN 12046-1 prévoit la mesure de l’effort nécessaire au déverrouillage ou au verrouillage qu’il soit effectué par l’intermédiaire d’une poignée ou avec un doigt. Cet effort est exprimé soit en force, soit en couple.

La norme prévoit également la mesure de l’effort nécessaire au mouvement du vantail qu’il soit en rotation ou en translation.

Élément		Classe 0	Classe 1	Classe 2
Vantail			100 N	30 N
Quincaillerie Poignée	Manœuvrée à la main		100 N ou 10 N · m	30 N ou 5 N · m
	Manœuvrée au doigt		50 N ou 5 N · m	20 N ou 2 N · m

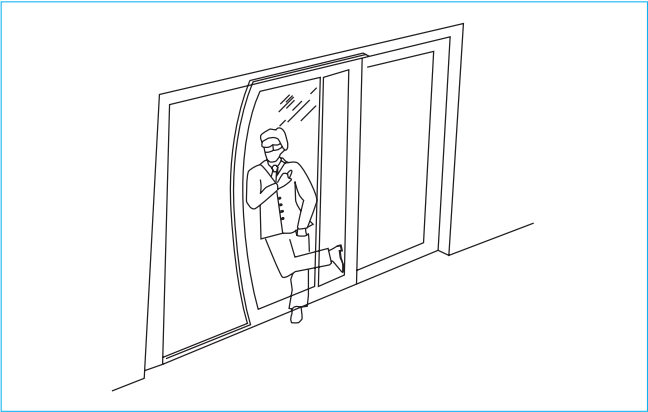


Figure 13 – Essai de voilement

■ Capacité de résistance des dispositifs de sécurités

L’exigence est prévue dans la norme fenêtre NF EN 14351-1. Les dispositifs de sécurité tels que les limiteurs d’ouverture, les crochets de retenue et les dispositifs de nettoyage doivent pouvoir maintenir en place le vantail sous un effort de 350 N pendant 60 s selon la configuration la plus sévère en termes de point d’application, de direction et de sens pour l’effort.

■ Torsion axiale

L’essai est réalisé uniquement pour les menuiseries à déplacement par translation : coulissants et guillotines.

Il permet, entre autres, de dimensionner la section des montants latéraux de coulissants. Cet essai caractérise la capacité d’un profilé à résister à une torsion dans son axe. Cette torsion est créée lors de la manœuvre du vantail par la poignée (bras de levier). L’effort est appliqué sur l’organe de manœuvre pendant 60 s dans le sens de l’ouverture puis dans le sens de la fermeture. Il est parallèle au plan de la menuiserie qui est immobilisée en partie courante.

Sous un effort de 200 N, il ne doit pas y avoir de rupture et le déplacement doit être inférieur à 2 mm.

■ Voilement (coulissants uniquement) (figure 13)

Sur montant latéral d’ouvrant dégagé de sa position de fermeture, l’essai prévoit d’appliquer :

- au milieu du montant, perpendiculairement au plan du vantail un effort de 250 N qui ne doit pas provoquer de flèche supérieure au 1/200 de la portée du montant ;
- sur l’organe de manœuvre, de la même manière 400 N ; le critère est identique.

■ Vérification des dispositifs de sécurité

En fonction du mode d’ouverture, la vérification à effectuer concerne les dispositifs destinés à maintenir le vantail en place. L’exemple le plus courant concerne les vantaux ouvrants à soufflets en position ouverte. Cet essai s’applique à l’ouverture soufflet des oscillo-battantes.

L’essai se déroule en deux phases :

- on laisse tomber sans vitesse initiale, le vantail en chute libre jusque sur ses butées ; cette manœuvre est réalisée 10 fois ;
- avec le vantail en position ouverte, un effort de 500 N est appliqué au milieu de la traverse libre, perpendiculairement au plan de vantail et vers le bas.

Le résultat est satisfaisant s’il n’y a pas de détérioration et si l’ouvrant se ferme normalement.

Cet essai s’applique également sur les menuiseries oscillo-coulissantes pour caractériser le mouvement soufflet de ce mode d’ouverture.

2.2.6 Caractéristiques thermiques

■ Le coefficient de transmission thermique U_w peut être calculé selon la formule suivante :

$$U_w = \frac{U_g A_g + U_f A_f + \Psi_g I_g}{A_g + A_f}$$

avec U_w ($W/(m^2 \cdot K)$) coefficient de transmission surfacique de fenêtre nue,

U_g ($W/(m^2 \cdot K)$) coefficient surfacique en partie centrale du vitrage (sa valeur est déterminée selon les règles Th-U),

U_f ($W/(m^2 \cdot K)$) coefficient surfacique moyen des profilés formant la menuiserie calculé selon la formule suivante :

$$U_f = \frac{\sum U_{fi} A_{fi}}{A_f}$$

U_{fi} coefficient surfacique du montant ou traverse i ,

A_{fi} aire projetée du montant ou traverse i , la largeur des montants en partie courante est supposée se prolonger sur toute la hauteur de la fenêtre,

A_g (m^2) plus petite des aires visibles du vitrage, vues des deux côtés de la fenêtre, (on ne tient pas compte des débordements des joints),

A_f (m^2) plus grande surface projetée de la menuiserie prise sans recouvrement, incluant la surface de la pièce d'appui éventuelle, vue des deux côtés de la fenêtre,

I_g (m) plus grande somme des périmètres visibles du vitrage, vus des deux côtés de la fenêtre,

Ψ_g ($W/(m \cdot K)$) coefficient linéique dû à l'effet thermique combiné de l'intercalaire du vitrage et du profilé.

■ Le facteur solaire caractérise la part de l'énergie solaire qui pénètre dans un local par les fenêtres. C'est le rapport entre l'énergie transmise et l'énergie incidente. Il est au plus égal à 1. Pour bénéficier au maximum des apports solaires, il doit être le plus proche possible de 1.

Le facteur solaire de la fenêtre avec ou sans protection solaire est calculé selon la formule suivante :

$$S_w = \frac{S_g A_g + S_f A_f}{A_g + A_f} F$$

avec S_g facteur solaire du vitrage (avec ou sans protection solaire) déterminé selon les règles Th-S,

S_f facteur solaire moyen des profilés formant la menuiserie, calculé selon la formule suivante :

$$S_f = \frac{\alpha U_f}{h_e}$$

α coefficient d'absorption de la menuiserie pris égal à 0,4 (cas d'une couleur claire),

h_e coefficient d'échanges superficiels, pris égal à $25 W/(m^2 \cdot K)$,

U_f ($W/(m^2 \cdot K)$) coefficient surfacique moyen de la menuiserie,

A_g (m^2) surface de vitrage la plus petite vue des deux côtés, intérieur et extérieur,

A_f (m^2) surface de la menuiserie la plus grande vue des deux côtés, intérieur et extérieur,

F facteur multiplicatif permettant de prendre en compte les conditions de mise en œuvre :
– pour une fenêtre au nu intérieur, $F = 0,9$,
– pour une fenêtre au nu extérieur, $F = 1$.

■ La certification ACOTHERM caractérise les propriétés thermiques et acoustiques d'une fenêtre. Pour la partie thermique, les classes sont décrites dans le tableau ci-après :

Classe ACOTHERM	Coefficient de transmission thermique U_w ($W/(m^2 \cdot K)$)
Th6	$2,6 \geq U_w > 2,2$
Th7	$2,2 \geq U_w > 2,0$
Th8	$2,0 \geq U_w > 1,8$
Th9	$1,8 \geq U_w > 1,6$
Th10	$1,6 \geq U_w > 1,4$
Th11	$U_w \leq 1,4$

2.2.7 Caractéristiques acoustiques

L'affaiblissement acoustique des fenêtres $Rw + Ctr$ est déterminé par essais selon la norme EN ISO 140-3.

La certification ACOTHERM permet le classement des menuiseries selon le tableau ci-après :

Classe ACOTHERM	Affaiblissement acoustique $Rw + Ctr$
Ac1	≥ 28 dB
Ac2	≥ 33 dB
Ac3	≥ 36 dB
Ac4	≥ 40 dB

Rw : indice d'affaiblissement acoustique en dB (selon NF EN ISO 717-1).
 Ctr : terme d'adaptation pour le bruit routier de dB (selon NF EN ISO 717-1).

2.2.8 Adaptation au marché

Le système de menuiserie doit être adapté aux techniques de production artisanales ou automatisées.

La mise en œuvre d'un tel système peut nécessiter jusqu'à 30 profilés principaux tels que ouvrants, dormants, battements, meneaux, traverses et autant de profilés complémentaires tels que parcloles, fourrures d'épaisseur, pièces d'appui, jet d'eau, couvre-joint, lames de soubassement, petit bois, habillages divers, etc.

Un fabricant de menuiserie exploite souvent plusieurs systèmes adaptés à chaque marché. Les profilés principaux constituent l'ossature fixe de la menuiserie (châssis dormants) et les parties mobiles (vantaux ou châssis ouvrants).

Aux profilés PVC définis précédemment viennent s'ajouter un certain nombre de composants tels que :

- les profilés métalliques : seuils en aluminium pour handicapés, renforts en acier galvanisé, classés Z 225, Z 275 selon NF A 36-321, protections des traverses basses en aluminium ;
- la quincaillerie, les ferrages, en acier zingué, acier bichromaté, la visserie en acier inoxydable ;

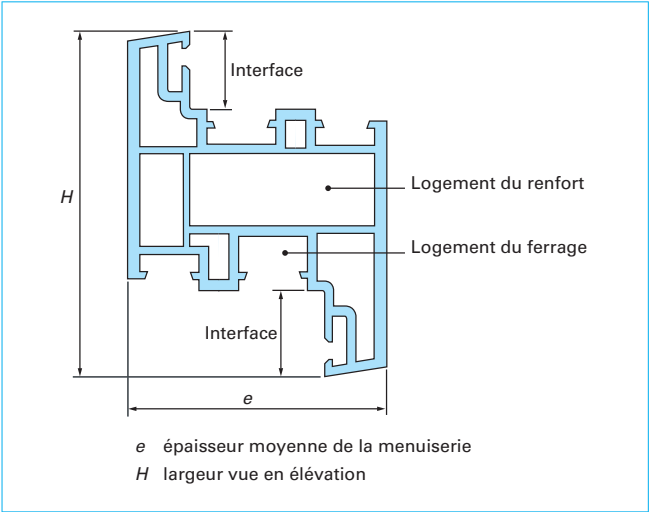


Figure 14 – Largeur et épaisseur d’une menuiserie

- les profilés complémentaires d’étanchéité pour joints de vitrage et de frappe en élastomère (EPT, EPDM), PVC plastifié, caoutchouc thermoplastique, silicone, conformes aux normes NF P 85-301 et NF P 85-411 ;
- les embouts ou bouchons de dormants, battement (en PVC rigide, polychloroprène, polypropylène, ABS...), cales et supports de cales de vitrage en PVC rigide, polyamide ;
- les vitrages simples ou isolants.

2.3 Principe de conception : lignes directrices

Le concepteur du système procède en général à une définition méthodique et successive des profilés principaux et secondaires, des interfaces entre profilés, entre vitrages et profilés, entre profilés et gros œuvre, selon le schéma de la figure 14. Il est amené à se poser et à traiter les principaux problèmes techniques décrits ci-après.

2.3.1 Largeur et épaisseur de la menuiserie

Le schéma de la figure 14 explicite les termes d’épaisseur et de largeur (on dit aussi hauteur).

Les épaisseurs rencontrées oscillent entre 50 et 65 mm, mais le compromis le plus répandu est proche de 60 mm pour des raisons d’esthétique, de poids, d’encombrement, de prix et pour permettre le logement des renforts. Récemment, des gammes en 70 mm voire 75 mm sont apparues sur le marché. Elles permettent un positionnement commercial sur le haut de gamme ainsi que de meilleures performances thermiques.

L’importance donnée à la surface vitrée utile (clair de baie) limite aussi la largeur.

2.3.2 Nombre de chambres des profilés

Le volume à occuper peut être cloisonné en suivant différentes voies illustrées sur les schémas de principe de la figure 15 qui tiennent compte :

- des possibilités de rigidification offertes par l’introduction de raidisseurs ou renforts métalliques (profilé A) ;
- de la résistance mécanique des vissages dans les parois (profilé C) ;

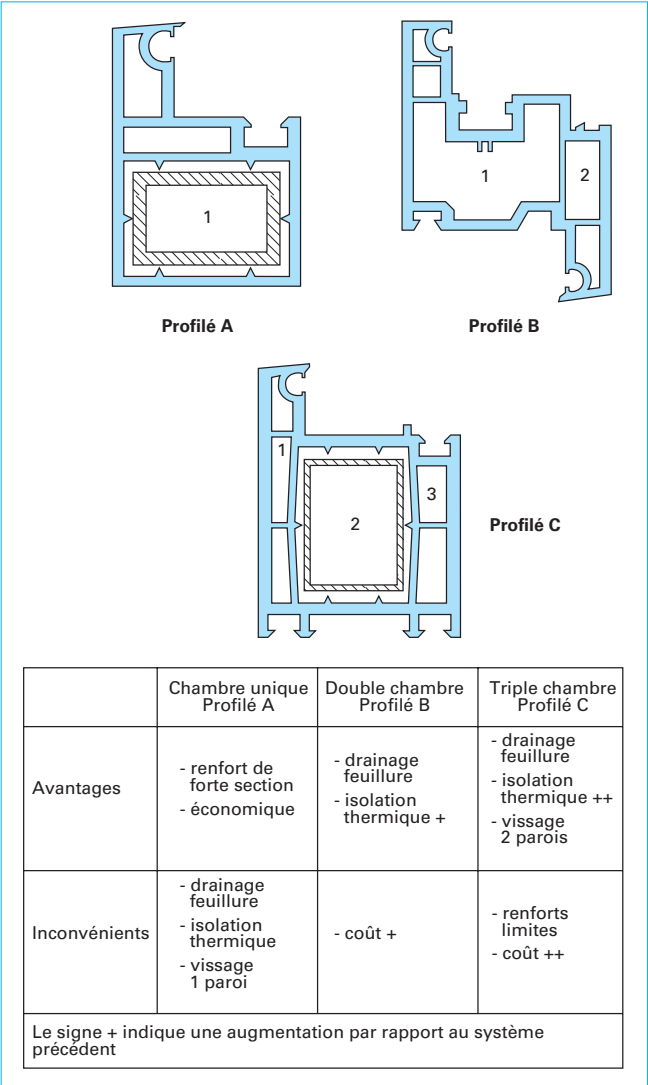


Figure 15 – Nombre de chambres d’un profilé

– du gain en isolation thermique procuré par la présence des lames d’air (profilés B et C) ;

– de la nécessité de drainer les eaux des feuillures sans mouiller les renforts métalliques (corrosion) (profilés B et C).

Pour des raisons essentiellement thermiques, les profilés principaux monochambre n’existent plus sur le marché, mis à part pour certains meneaux où il est nécessaire de pouvoir introduire un renfort de forte inertie.

2.3.3 Résistance à la déformation des profilés

À partir d’une certaine hauteur, les menuiseries PVC nécessitent la mise en place dans les chambres des profilés de renforts en acier. Le nombre de renforts, la forme, l’épaisseur et l’inertie sont déterminés selon les conditions d’exposition de la fenêtre. Une approche par calcul peut être utile avant de lancer des essais tels que ceux décrits au paragraphe 2.2.3.

Dans le cas d'une porte-fenêtre à la française à un vantail (figure 16), le calcul simplifié de la flèche du meneau est le suivant (avec $L_1 > H$) :

$$f = \frac{5 H^2}{48 E I_x} p \left(\frac{2 H^3}{3} + L_2 H^2 \right)$$

avec p (N/m²) pression du vent,
 H (m) hauteur du meneau,
 L_2 (m) largeur du vantail ouvrant,
 E (N/m²) module d'Young du matériau,
 I_x (m⁴) moment d'inertie du profilé meneau (axe xx').

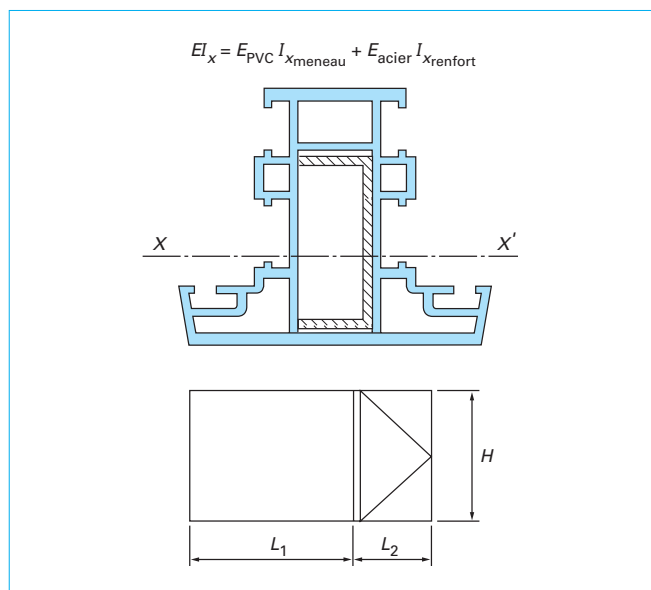


Figure 16 – Porte-fenêtre à la française à un vantail

À partir du moment d'inertie minimal exigé pour le renfort, on peut déduire sa forme, ses dimensions et celles de la chambre qui doit le recevoir.

2.3.4 Résistance des vissages

Les résultats d'essai de traction sont donnés dans le tableau 12.

L'expérience montre qu'en traction, la **résistance à l'arrachement des vis et des paumelles ne dépend que de l'épaisseur cumulée du PVC** et non de la position des parois. En flexion, il vaut mieux visser les paumelles dans des parois suffisamment écartées pour éviter le fluage (figure 17).

Tableau 12 – Essais de traction sur les vissages

Caractéristiques	Matière			
	Composition vinylique n° 1		Composition vinylique n° 2	
Contrainte de traction au seuil d'écoulement (MPa)	45		39	
Module d'élasticité E (MPa)	3 100		2 500	
Point Vicat (°C)	82		78	
Températures d'essai (°C)	23	40	23	40
Effort d'arrachement d'une vis Δ 4 mm par traction dans l'axe à la vitesse de 5 mm/min (épaisseur de paroi : 2,8 à 2,9 mm) (N)	915	738	765	605
Effort d'arrachement d'une vis Δ 4 mm par traction en cisaillement à la vitesse de 5 mm/min (épaisseur de paroi : 2,6 à 2,7 mm) (N)	1 219	1 027	973	795

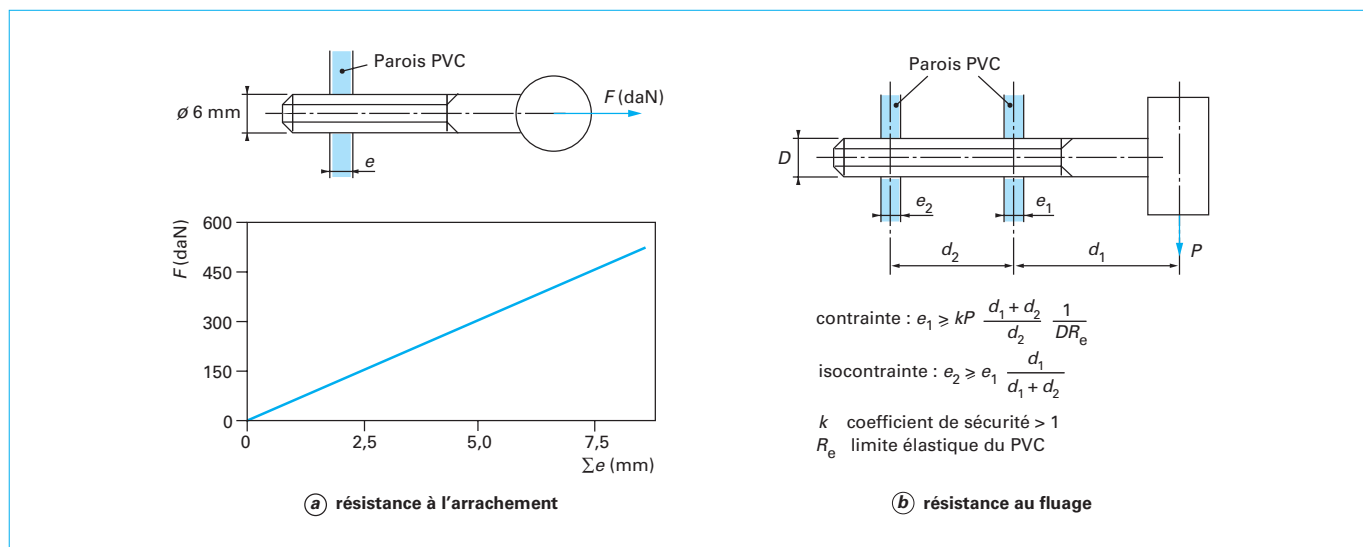


Figure 17 – Résistance des vissages

2.3.5 Étanchéité à l'eau

L'étanchéité à l'eau d'une menuiserie est assurée par un système dit à deux étages : l'eau peut rentrer dans certaines parties des profilés qui sont organisés pour assurer l'évacuation vers l'extérieur.

Pour fonctionner, ce principe nécessite :

- un **drainage des eaux**, (figure 18) qui permet l'évacuation vers l'extérieur ; le cheminement de l'eau ne doit absolument pas passer dans des chambres destinées au renforcement ;
- une garde à l'eau dans les feuillures (hauteur minimale 2 mm) qui évite l'écoulement de l'eau vers l'intérieur du logement et permet une zone tampon avant écoulement par le drainage ;
- un équilibrage entre la pression extérieure et la pression dans la chambre entre ouvrant et dormant afin d'assurer un écoulement des eaux de drainage. Cet équilibrage peut être assuré par des usinages effectués en partie haute ou par le retrait partiel (ou total) du profilé d'étanchéité côté extérieur en partie haute.

Les orifices de drainage de l'eau doivent avoir une dimension minimale supérieure ou égale à 5 mm ou une section supérieure à 50 mm² : soit, en pratique, des trous oblongs (lumières) de 5 × 10 mm ou des trous ronds de diamètre 8 mm (figure 19).

2.3.6 Épaisseur minimale des parois

La prise en compte de tous les paramètres techniques et économiques a abouti à une règle qui fait jurisprudence pour l'attribution des avis techniques de système.

Cette règle, schématisée sur la figure 20, est décrite dans le règlement de la marque de qualité NF CSTB (voir § 5.2) et reprise dans la classe B d'épaisseur de la norme NF EN 12608.

2.3.7 Étanchéité à l'air

Ces performances sont conditionnées par l'ensemble de la conception, et par le positionnement des profilés d'étanchéité du système.

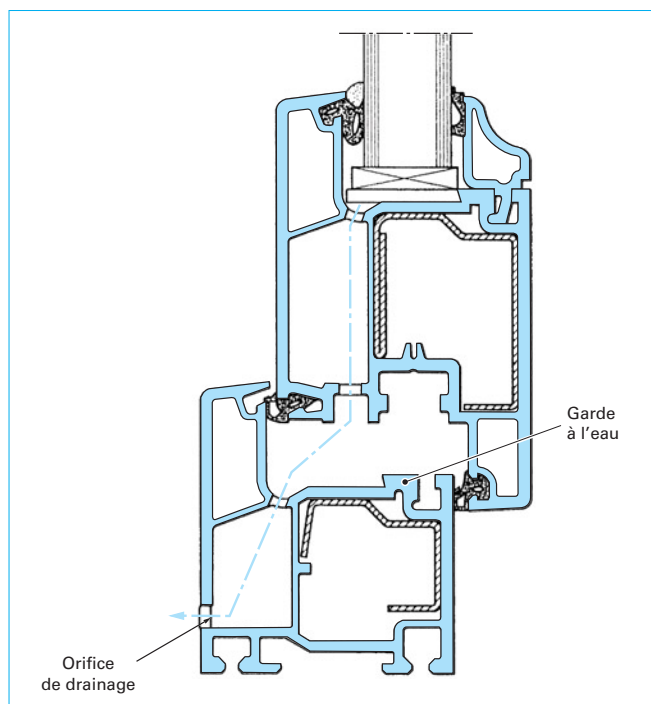


Figure 18 – Profilé multichambre : évacuation des eaux

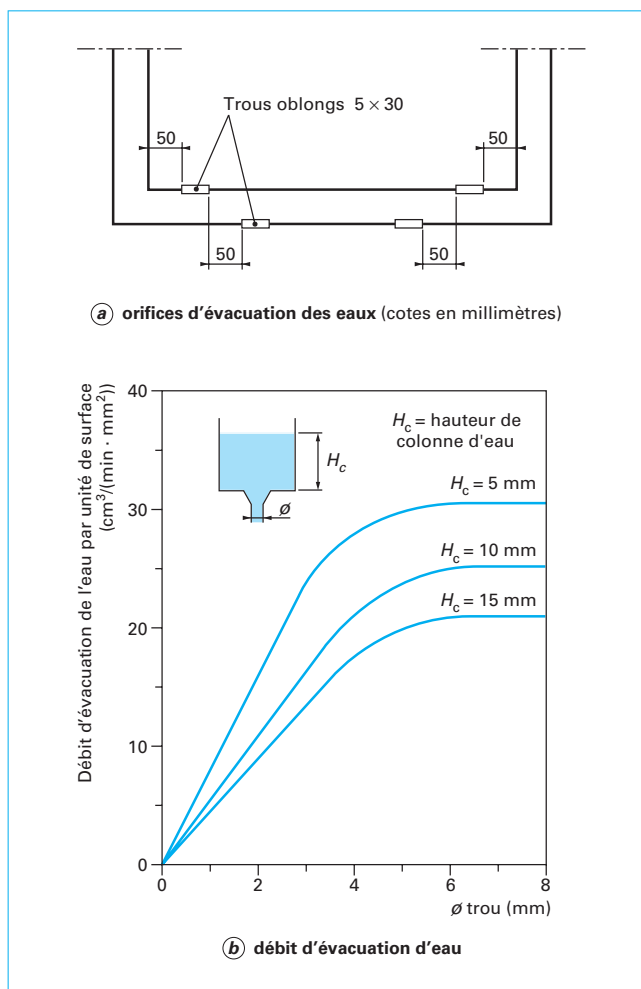


Figure 19 – Dimensionnement des orifices d'évacuation des eaux

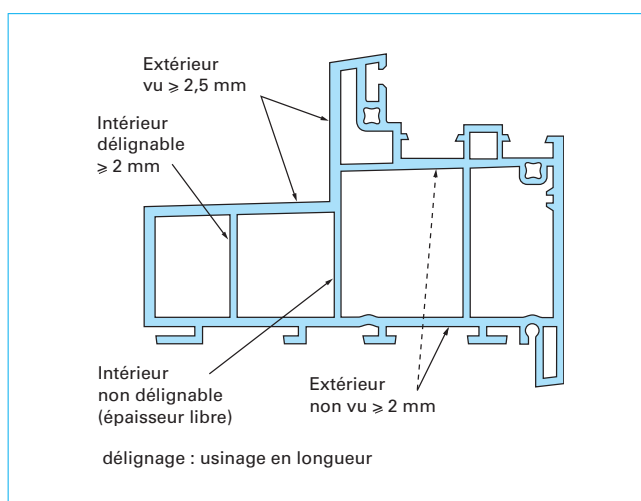


Figure 20 – Épaisseurs des parois des profilés de menuiserie en PVC : règle en vigueur

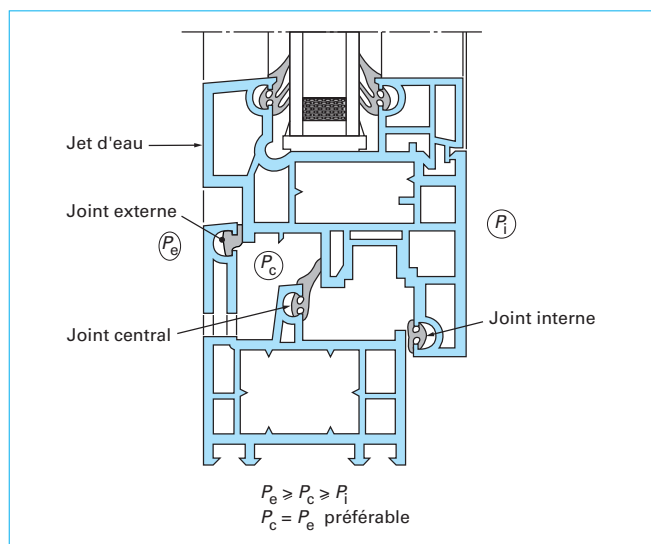


Figure 21 – Exemples d'étanchéité à l'air entre ouvrant et dormant

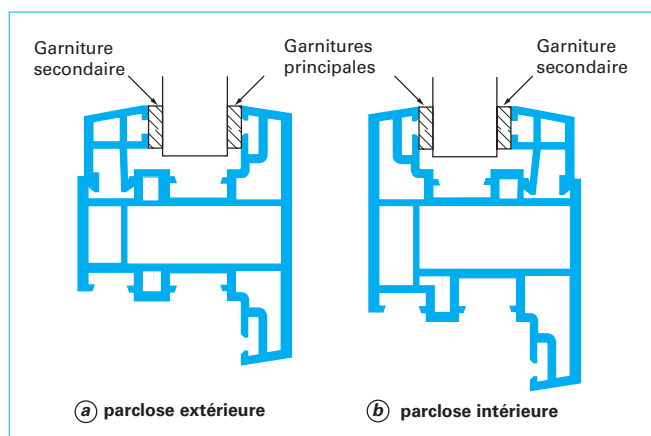


Figure 22 – Parcloses

Un plan d'étanchéité continu est réalisé par des profilés placés :

- soit en partie centrale des profilés ; on parle alors de joint central (figure 21) ;
- soit côté intérieur, le plus courant actuellement ; on parle alors de frappe intérieure.

Ce plan réalise l'étanchéité à l'air, l'eau en principe ne doit pas l'atteindre. L'étanchéité à l'eau est assurée par le triptyque : drainage, garde à l'eau et équilibrage de pression, (cf § 2.3.5).

2.3.8 Choix des parcloses

La parclosure est un élément qui permet l'accès au vitrage, donc son remplacement éventuel (figure 22).

On peut positionner la parclosure côté intérieur ou côté extérieur de la menuiserie. La garniture d'étanchéité secondaire est le plus souvent en PVC plastifié coextrudé sur la parclosure.

Dans tous les cas de figure, une parclosure doit être facilement cliquable tout en résistant aux sollicitations du vent. L'expérience ou le calcul permettent de dimensionner correctement les parcloses.

2.3.9 Assemblages des profilés

Deux techniques existent.

• **Assemblage mécanique** : il présente en général une bonne résistance à la déformation. Toutefois, de légères distorsions ne peuvent être exclues. De plus, l'étanchéité au niveau des plans de jonction doit être soignée.

• **Assemblage au miroir chauffant** : c'est la technique la plus répandue (figure 23) et la plus performante car elle assure une étanchéité absolue. Pratiquée pour les angles et les traverses, elle exige une compatibilité des sections à assembler. La résistance mécanique des assemblages soudés dépend de la conception des profilés (épaisseur, inertie, forme au niveau du point de sollicitation maximale).

La norme NF EN 12 608 fixe une valeur minimale pour la résistance des assemblages soudés.

2.4 Autres critères de choix pour bâtir un système

■ Adaptation aux modes de construction

Le concepteur doit résoudre les problèmes suivants, que nous énumérons seulement :

- assurer les liaisons dormant-maçonnerie sur le plan étanchéité et fixation au gros œuvre ;
- compenser l'épaisseur de l'isolation (isolant + parement intérieur) ;
- raccorder la menuiserie aux rejets d'eau maçonnés en partie basse ;
- prévoir, par habillage, la finition extérieure et intérieure de la menuiserie ;
- prévoir la liaison avec les fermetures.

■ Motivations technico-économiques

Les quelques exemples suivants illustrent de telles motivations :

- la recherche d'une polyvalence de la gamme vis-à-vis de la variété des quincailleries rencontrées ;
- l'optimisation du nombre des profilés principaux permettant de couvrir le maximum de cas rencontrés en pratique au niveau de la fabrication des fenêtres (équilibre entre coût des profilés et coût des fenêtres à poser) ;
- l'adaptation du système au niveau d'automatisation de la fabrication des fenêtres ;
- l'optimisation de la géométrie des profilés (équilibre entre nombre de fonctions à remplir et coût d'extrusion des profilés).

Exemples des décisions à prendre pour répondre à un cahier des charges

Cas d'un dormant pour gamme de complexes isolants de plusieurs épaisseurs (figure 24).

Deux possibilités sont offertes au constructeur :

- la **solution A** (dormant + fourrure recoupable ou délignable) est plus souple ; elle n'exige que deux profilés ;
- la **solution B** (gamme de dormants d'épaisseur croissante non recoupables) est plus économique, car il n'y a pas de recoupe, pas de perte de matière, pas d'assemblage. Elle nécessite un investissement plus important au niveau de l'équipement d'extrusion des profilés.

Cas de parcloses pour gamme de vitrages isolants (figure 25).

- La **solution A** (parcloses avec lèvres souples coextrudées) évite la pose du joint et est donc plus économique.
- La **solution B** (parcloses avec joints rapportés en élastomère, ou PVC plastifié) est plus souple et ne nécessite qu'un seul profilé de parclosure.

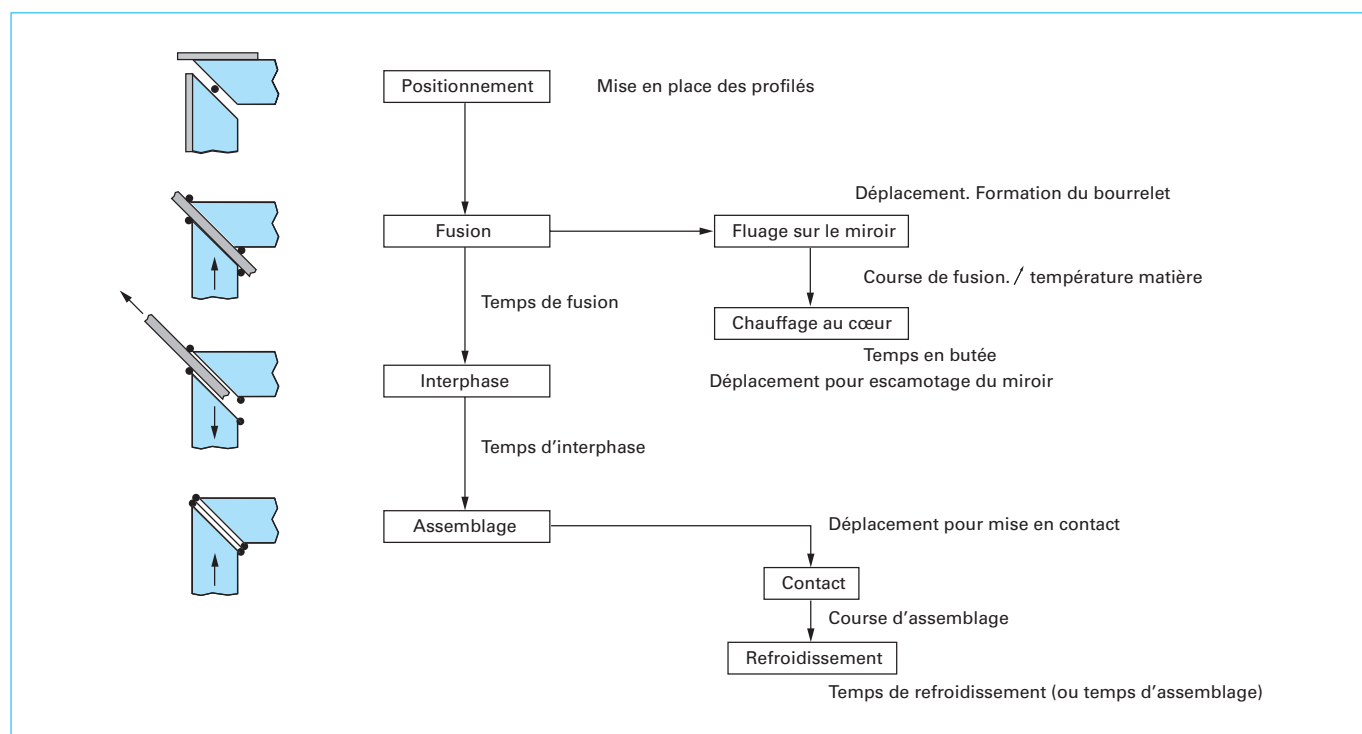


Figure 23 – Assemblage au miroir chauffant : principe de fonctionnement

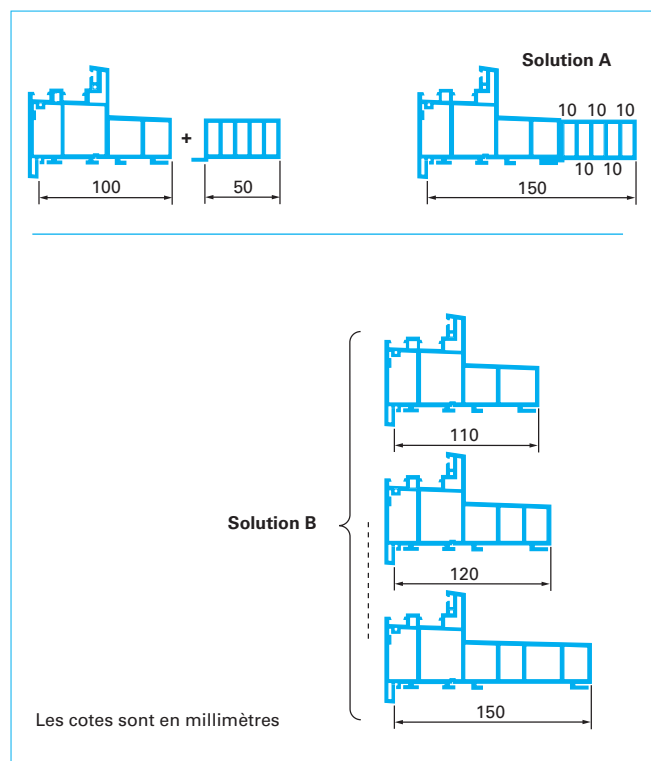


Figure 24 – Dormant pour gamme de complexes isolants de plusieurs épaisseurs

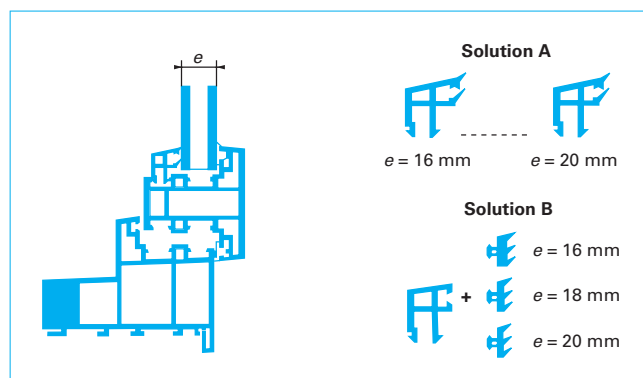


Figure 25 – Parcloses pour gamme de vitrages isolants

3. Extrusion des profilés pour menuiserie

3.1 Généralités. Produits à extruder

La gamme des profilés contenus dans un système offre une grande variété de géométries pouvant couvrir une gamme de masses linéiques allant de quelques dizaines de grammes/mètre à plusieurs kilogrammes/mètre.

Ajoutons à cela que l'on rencontre classiquement les lèvres souples d'étanchéité (simple ou multiple) coextrudées sur dormants, ouvrants et parcloses.

De même, le souci de diversification des couleurs amène certains fabricants à coextruder, sur les faces d'aspect des profilés principaux, des couches colorées de quelques dixièmes de millimètre en PMMA (polyméthacrylate de méthyle).

Le fabricant peut être amené aussi à produire des lames de sous-bassement ou des panneaux d'allège en PVC cloisonné ou en PVC expansé avec peaux compactes.

Enfin, la pratique toujours croissante du recyclage de profilés neufs ou usagés pousse les concepteurs de systèmes à prévoir la coextrusion de couches externes en matériau vierge destinées à envelopper partiellement ou totalement des sous-couches réalisées à base de matières recyclables.

En résumé, la masse linéique des profilés, la répartition des épaisseurs des parois, les dimensions, l'importance des surfaces visibles, la productivité recherchée, l'importance des opérations effectuées en ligne pour enrichir l'esthétique (coloris) ou compléter une fonctionnalité (joints) sont autant de points de repères permettant de guider l'extrudeur dans le choix de ses équipements.

3.2 Outillages d'extrusion

3.2.1 Définition et description

Sous la dénomination **outillages d'extrusion**, on désigne l'ensemble des pièces mécaniques spécialement conçues pour l'obtention d'un profilé déterminé. Cet ensemble comprend :

- la **tête porte-filière** ou pièce de raccordement à l'extrudeuse, généralement commune à plusieurs profilés, fixée au bout du fourreau et dont le rôle est de canaliser le flux de matière qui alimente la filière ;
- la **filière** proprement dite, conçue spécialement pour chaque type de profilé ;
- le ou les **calibreurs-refroidisseurs** ou conformateurs, spécialement conçus pour chaque type de profilé.

Dans la pratique courante, on désigne par outillage l'ensemble filière + calibreurs.

Les outillages pour profilés en PVC rigide sont fabriqués par des spécialistes. Un nombre restreint de firmes européennes ont acquis dans ce domaine une grande compétence basée sur des années d'expérience. On trouve parfois cette compétence chez certains extrudeurs qui se sont dotés des moyens techniques et ont pu acquérir un véritable savoir-faire.

Le procédé le plus ancien et encore le plus répandu pour construire une filière est basé sur le principe schématisé sur la figure 26. La filière comprend trois zones :

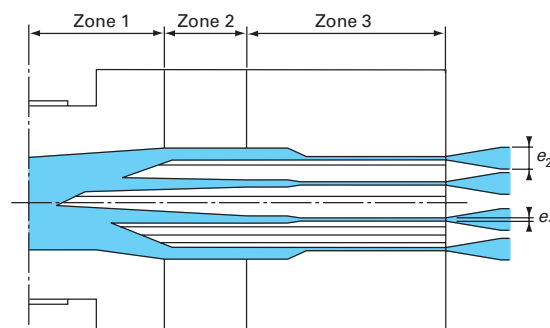
- la zone d'alimentation, la plus souvent conique ;
- la zone de répartition et de mise en forme pyramidale ;
- la zone de sortie et d'équilibrage parallélipédique.

Dans les deux premières zones, on évite les changements de pente trop brutaux des pièces métalliques (20 à 30° au maximum). Au-delà, on risque des perturbations d'écoulement, des tourbillons. La 3^e zone est caractérisée par sa longueur appelée longueur du parallèle de la filière. On parle du parallèle de filière.

Autre mode de conception des filières

La matière chemine à travers un jeu de plaques dans chacune desquelles est usinée une ébauche de plus en plus précise de la géométrie finale à obtenir. Cette dernière est donnée par la dernière plaque.

Cette technique permet de construire des filières plus robustes, plus aisées à équilibrer, mais elle nécessite un réusinage complet des plaques après usure ou en cas d'incident.



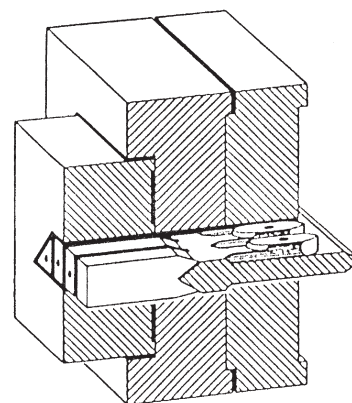
$$\text{Taux de gonflement} : \frac{e_2 - e_1}{e_1}$$

Zone 1 : alimentation

Zone 2 : répartition et mise en forme

Zone 3 : équilibrage des flux de matière (zone de parallèle)

(a) principe



(b) coupe schématique

Figure 26 – Filière d'extrusion pour profilés

3.2.2 Équilibrage d'une filière

Il consiste à répartir les flux de matière en sortie de filière de telle manière que la vitesse linéaire soit identique en tous points. Cette opération peut s'avérer délicate dans le cas de profilés tubulaires asymétriques avec monoparois, avec des épaisseurs différentes ou de profilés de grande largeur. L'équilibrage nécessite des essais d'extrusion et des retouches successives (au minimum 5, parfois jusqu'à 20).

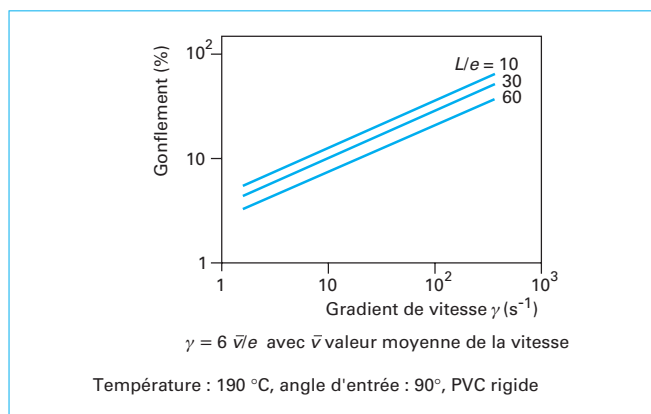


Figure 27 – Évolution du taux de gonflement avec le gradient de vitesse

L'équilibrage tient compte du gonflement de la matière en sortie de filière. Ce gonflement naît d'un relâchement des contraintes de déformation subies localement dans la filière. Ces déformations sont d'autant plus grandes que le débit et donc le gradient de vitesse sont plus élevés (figure 27).

De plus, pour une vitesse donnée, le gonflement dépend de la matière extrudée, de la longueur du parallèle de filière L et de l'épaisseur de l'entrefer e . Concernant la matière extrudée, on peut dire que les PVC de grande masse moléculaire peu ou pas modifiés donnent moins de gonflement que les PVC de masse moléculaire moyenne davantage modifiés.

L'allongement du parallèle de filière réduit le gonflement mais sa longueur est limitée par les pressions maximales admissibles dans les extrudeuses et la déformation des poinçons métalliques.

On recherche donc un compromis en s'efforçant en premier lieu de choisir la géométrie du profilé (nombre, position, épaisseur des cloisons...) la plus favorable. En pratique, on a intérêt à équilibrer une filière avec la matière qui sera utilisée ultérieurement et le débit linéaire prévu.

Les filières pour profilés en PVC rigide sont réalisées en acier inoxydable résistant à l'usure.

Évolution vers une conception assistée par ordinateur

Cette technique existe ; des logiciels ont été développés (par exemple, Mold flow, cf. [Doc. C 3 622v2]) en Europe et aux États-Unis, mais ils restent encore peu utilisés. La conception et l'équilibrage des filières continuent à faire appel à l'expérience, au savoir-faire, voire à l'empirisme.

3.2.3 Calibrage et refroidissement des profilés

Nota : on se reportera aux dossiers [AM 3 650] et [AM 3 651] *Extrusion*

Les profilés se refroidissent par contact en glissant sur les faces refroidies des calibreurs. Dans le cas des profilés principaux (tubulaires), le contact est amélioré par plaquage des parois chaudes et déformables sous l'effet du vide. De multiples options sont fournies par les constructeurs quant au nombre et à la longueur des calibreurs. Le ou les calibreurs sont habituellement suivis de bacs à eau où les profilés sont immergés et soumis à des rampes à eau pulvérisée. Ces bacs peuvent contenir aussi des plaques de calibrage destinées à fixer la géométrie extérieure des profilés pendant le refroidissement.

Point à surveiller

Le calibrage-refroidissement fixe la géométrie finale des profilés. Il faut veiller à obtenir un refroidissement homogène et constant dans le temps de toutes les parois, sinon on s'expose à des déformations ultérieures telles que gauchissement, vrillage des barres, manque d'équerrage, manque de planéité des faces, retrait exagéré.

La qualité de l'eau de refroidissement, sa température, son débit, de même que celle du vide sont déterminantes.

3.3 Contrôle de fabrication

Le contrôle de fabrication des profilés revêt deux aspects :

- s'assurer que les profilés fabriqués ont une géométrie conforme à celle fixée par le concepteur du système ;
- s'assurer que l'extrusion est correcte, en particulier que le niveau de gélification de la matière choisie est suffisant pour atteindre les caractéristiques mécaniques prévues par le concepteur et le formulateur.

Le contrôle résulte aussi des exigences des organismes d'agréments techniques. Le contrôle de fabrication des profilés s'effectue exclusivement dans l'usine d'extrusion.

On distingue deux types de contrôle :

- l'un effectué sur chaque ligne d'extrusion ;
- l'autre effectué en laboratoire.

3.3.1 Contrôles effectués sur la ligne d'extrusion

On contrôle à intervalles réguliers les paramètres suivants :

- aspect ;
- marquage de traçabilité ;
- masse linéique ;
- coloris (avec un colorimètre) ;
- rectitude des barres ;
- vrillage ;
- planéité de faces principales ;
- parallélisme et équerrage des faces principales ;
- cotes d'épaisseur des parois ;
- cotes fonctionnelles.

En plus des relevés de cotes et épaisseurs, on effectue des essais pratiques de pose des joints, clipage de parcloches, pose des clames, engagement des renforts métalliques.

Les contrôles de planéité, parallélisme, engagement des renforts, ne concernent que les profilés principaux, les autres concernant tous les profilés.

3.3.2 Contrôles en laboratoire

Les contrôles sont pratiqués sur des échantillons prélevés sur les lignes d'extrusion selon une procédure bien définie :

- pour les contrôles journaliers, les prélèvements se font, par exemple, deux fois par jour, le matin et le soir, sur tous les profilés en cours de fabrication ;
- pour les contrôles hebdomadaires ou mensuels, les prélèvements ont lieu en cours de campagne de fabrication.

3.3.2.1 Contrôles journaliers

Sur chaque prélèvement, on procède aux essais suivants qui constituent le minimum indispensable.

Aspect : on pratique le contrôle d'aspect sur tous les échantillons journaliers.

Coloris : mesure, avec un colorimètre, des coordonnées L^* , a^* , b^* (méthode ISO 7724). L'écart maximal admissible pour

l'ensemble des profilés selon la norme NF EN 12608 de la gamme est de :

$$|\Delta L^*| \leq 1; |\Delta a^*| \leq 0,5; |\Delta b^*| \leq 0,8; \\ |\Delta E^*| \leq 1$$

Les tolérances doivent être plus petites pour les profilés devant s'assembler entre eux.

Masse linéique : on pèse les profilés sur une balance à 1 g près. L'écart maximal admis est de 5 % par rapport à la masse nominale du profilé déterminé par la moyenne des masses enregistrées.

Retrait : on mesure la diminution de la distance entre repères tracés sur les différentes faces de tronçons de profilés après un séjour d'1 h en étuve ventilée portée à 100 °C (méthode NF EN 479). La moyenne des retraits obtenue sur trois éprouvettes doit être inférieure à 2 %. Cet essai peut révéler un déséquilibre de la filière, des contraintes anormales dues au calibre, une usure des outillages ou un changement de la matière extrudée.

Comportement à la chaleur : un essai de 1/2 h en étuve à 150 °C (méthode NF EN 478), permet de contrôler l'absence de bulles et de tensions excessives engendrées par les calibreurs.

Résistance aux chocs : cet essai est effectué par chute d'une masse de 1 kg à -10 °C sur les profilés principaux (méthode NF EN 477). Cet essai simple dans son principe intègre les différents paramètres qui influent sur la qualité des profilés fabriqués, à savoir :

- la géométrie des profilés : position et épaisseur des parois, congés de raccordement ;
- l'extrusion : le degré de malaxage de la matière, son homogénéité, la présence de porosités, de bulles, de corps étrangers, la soudure des flux au passage de la filière, etc., ce qui constitue un moyen relativement rapide de juger globalement la fabrication en cours par rapport à des témoins.

La méthode d'essai recommandée est celle décrite au paragraphe 1.2. (tableau 5).

3.3.2.2 Autres contrôles pratiqués en laboratoire

La liste ci-après concerne les essais qui sont effectués à l'initiative de l'extrudeur ou à la demande d'organismes de contrôle. Ils ne sont effectués qu'une fois par semaine ou toutes les deux semaines, certains mensuellement seulement.

Identification de la matière :

- masse volumique ;
- taux de cendres ;
- point Vicat ;
- temps d'induction de la déshydrochloruration (DHC).

Ces quatre essais permettent de vérifier la constance de la matière utilisée.

Gélification : on peut vérifier le niveau de gélification des profilés extrudés selon trois méthodes :

- mesure de la pression d'extrusion dans un viscosimètre avec filière courte et à basse température (145 °C). Cette méthode nécessite une petite quantité de profilés broyés. Pour une matière donnée, on peut comparer les niveaux obtenus d'un jour à l'autre, d'une machine à l'autre, d'un profilé à l'autre ;
- mesure des caractéristiques en traction et notamment de l'allongement à la rupture à chaud (100 °C par exemple) ;
- comportement dans un solvant (acétone, par exemple) : l'apparition rapide de déchirures, délaminage, ondulations sur les profilés immergés dans l'acétone anhydre est l'indice soit d'une mauvaise gélification de la matière, soit d'un déséquilibre de la filière, soit de tensions créées par le refroidissement (serrage dans les calibreurs). Pour un profilé principal, on admet qu'il est bon si on ne décèle rien avant 3 h.

Résistance aux chocs : mesure de l'énergie de rupture moyenne des profilés par la méthode dite de « l'escalier » (chute de masse donnée de hauteurs successives croissantes).

Registre de contrôles et marquage des profilés

Tout ce qui concerne l'autocontrôle réalisé pour suivre une fabrication de profilés doit être soigneusement enregistré et consigné dans des **fiches** ou des **registres**. C'est le seul moyen de ne pas perdre le fruit d'une expérimentation précieuse et de montrer le sérieux de l'entreprise aux organismes chargés du suivi de l'autocontrôle. Un contrôle sérieux associé à un traitement efficace des non-conformités est le meilleur moyen de faire progresser la qualité, la productivité et d'éviter des déboires sérieux en aval.

Dans l'optique de ce qui vient d'être dit, le **marquage de traçabilité** des profilés sur la ligne d'extrusion permet d'intervenir efficacement en cas de difficulté. Ce marquage de traçabilité, obligatoire dans le cadre de la marque de qualité NF Profilés de fenêtres en PVC, doit être suivi avec une grande rigueur.

4. Fabrication des menuiseries

4.1 Étapes de fabrication

Elles sont schématisées sur la figure 28.

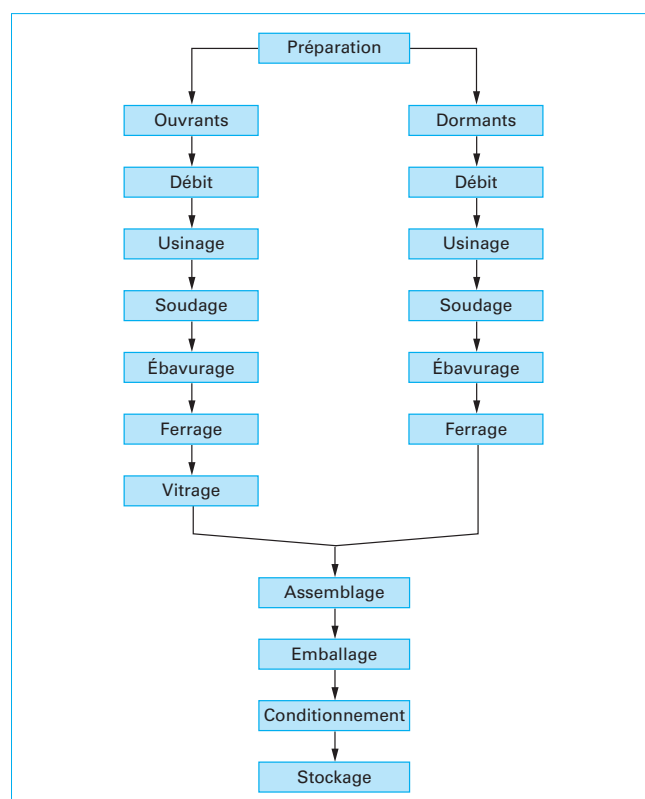


Figure 28 – Étapes de fabrication d'une menuiserie PVC

Stockage des profilés : le local doit être à la température des postes de fabrication, au minimum 14 °C. Les profilés, après contrôles de conformité, sont disposés horizontalement de préférence sur support continu, à défaut, sur des supports ponctuels espacés selon la dimension et la rigidité pour éviter des déformations permanentes.

Coupes, ou tronçonnage, ou débit : ce travail est un poste de haute précision ; les coupes doivent être exactes selon les angles définis pour la menuiserie fabriquée. L'optimisation des chutes peut être assurée par commande informatisée.

Drainage : les rainures de drainage pour l'évacuation d'eau sont réalisées par des fraiseuses préréglées effectuant simultanément les perçages des entrées et sorties d'eau.

Usinage pour les quincailleries : les usinages à réaliser pour la pose des quincailleries et des grilles de ventilation sont effectués par des machines spécifiques. Comme pour le drainage, ce poste peut être réalisé en temps masqué par des machines multifonctionnelles.

Tronçonnage en V : le soudage en V des traverses et meneaux nécessite l'entaillage en V du profilé recevant la traverse ou le meneau. On utilise des tronçonneuses spécifiques.

Assemblage mécanique : si le système prévoit l'assemblage mécanique des traverses et meneaux, il est nécessaire de réaliser, à l'aide d'une machine spécifique, un contre-profilage des meneaux.

Renforcement : les renforts internes sont incorporés avant assemblage. Après mise en place, ils ne doivent pas « flotter » dans la chambre du profil.

Assemblage soudé ou thermosoudé : ce poste de travail est spécifique à la menuiserie PVC. La soudure permet d'obtenir une étanchéité absolue en comparaison avec celle obtenue avec d'autres matériaux. Il existe une large gamme de soudeuses, depuis les soudeuses monotêtes constituant le minimum d'équipement d'un atelier jusqu'aux soudeuses multitêtes pouvant réaliser, en même temps que la soudure des angles, celle de la traverse.

Ébavurage des angles soudés : la soudure génère un bourrelet, ou cordon de soudure, que l'on doit éliminer tant pour des raisons techniques qu'esthétiques. L'opération peut être manuelle, semi-automatique, ou robotisée.

Ferrage, quincaillerie : la fixation des accessoires et équipements (organes de manœuvre, de verrouillage, de mouvement) doit se faire de façon durable et indesserrable en usage normal). La pose des fiches peut être automatisée.

Joints : plusieurs techniques de pose sont utilisées :

- pose sur cadre déjà soudé ;
- pose en sortie d'extrusion, cas des joints bidurété en PVC plastifié ou caoutchouc thermoplastique ; l'ensemble est tronçonné et soudé ;
- coextrusion sur parclose ou profilés principaux.

Les deux dernières permettent de réduire de manière appréciable le temps de fabrication d'une fenêtre.

Vitrage : les menuiseries placées sur des cadreuses orientables sont calées et vitrées. À de rares exceptions, les vitrages sont fournis prêts à l'emploi par les fabricants de vitrage. Le vitrage est réalisé en usine, quelquefois sur chantier.

Montage des menuiseries : les ouvrants sont généralement montés dans les dormants en fin de fabrication de la menuiserie. À ce stade sont vérifiés les dimensions des ouvrages, le respect des jeux prévus à la conception, le fonctionnement normal de la fenêtre.

Cas particuliers : à côté des chaînes de montage des fenêtres de type standard est en général associé un atelier plus artisanal équipé et organisé pour les fabrications spéciales telles que :

- les formes trapézoïdales ;

- les formes cintrées (les profilés sont mis en forme à chaud, à l'aide de gabarits) ;
- la pose de « petits bois rapportés » ;
- l'ensemble menuisés.

Emballages : des calages de maintien sont disposés entre ouvrants et dormants. Les menuiseries sont fréquemment conditionnées sous films rétractables qui assurent une bonne protection lors du transport et de l'attente sur chantier.

4.2 Informatisation du processus

Selon la taille et la technicité des entreprises, on trouve une informatisation plus ou moins élaborée des différents secteurs de fabrication :

- préparation du travail : calculs dimensionnels, calculs des renforts, devis ;
- gestion des approvisionnements : profilés, quincailleries, vitrages ;
- gestion de la fabrication : fiches de débits, fiches de fabrication, optimisation des coupes, stocks, main-d'œuvre, coûts, factures, expéditions.

4.3 Contrôles

■ Contrôles de réception

Profilés PVC : aspect général, couleur, dimensions, marquage.

Profilés pour l'étanchéité : dimensions, aspect, marquage.

Vitrages : dimensions (largeur, hauteur, épaisseur), aspect des rives, marquage.

Quincaillerie : conformité au bon de commande.

Renforts métalliques : nature du métal, dimensions.

■ Exemples de contrôles sur les chaînes de fabrication

Coupe : aspect, exactitude, vérification de l'affûtage des scies.

Soudage : pour chaque poste de soudage, on vérifie chaque jour la température des miroirs chauffants et l'état des toiles antiadhérentes qui les protègent.

Le bon réglage des soudeuses est vérifié par un essai destiné à éprouver la résistance mécanique des assemblages soudés soit en traction, soit en compression (figure 29).

En France, on utilise surtout l'essai en traction.

La norme NF EN 12 608 prévoit des valeurs minimales pour ces contraintes.

À partir de l'effort nécessaire pour rompre l'assemblage, on calcule une contrainte de rupture que l'on peut comparer à une valeur moyenne établie et connue pour chaque géométrie de profilé.

■ Contrôle des menuiseries terminées

Les contrôles sont effectués sur une fenêtre prélevée en fin de chaîne de fabrication et concernent notamment :

- l'équerrage et l'étanchéité des assemblages mécaniques ;
- les jeux entre ouvrants et dormants ;
- la mise en place des joints, leur raccordement aux angles ;
- le calage des vitrages ;
- le nombre et le positionnement des orifices d'évacuation des eaux ;
- la mise en place de la quincaillerie ;
- le fonctionnement : ouverture-fermeture ;
- l'aspect général ;
- le marquage.

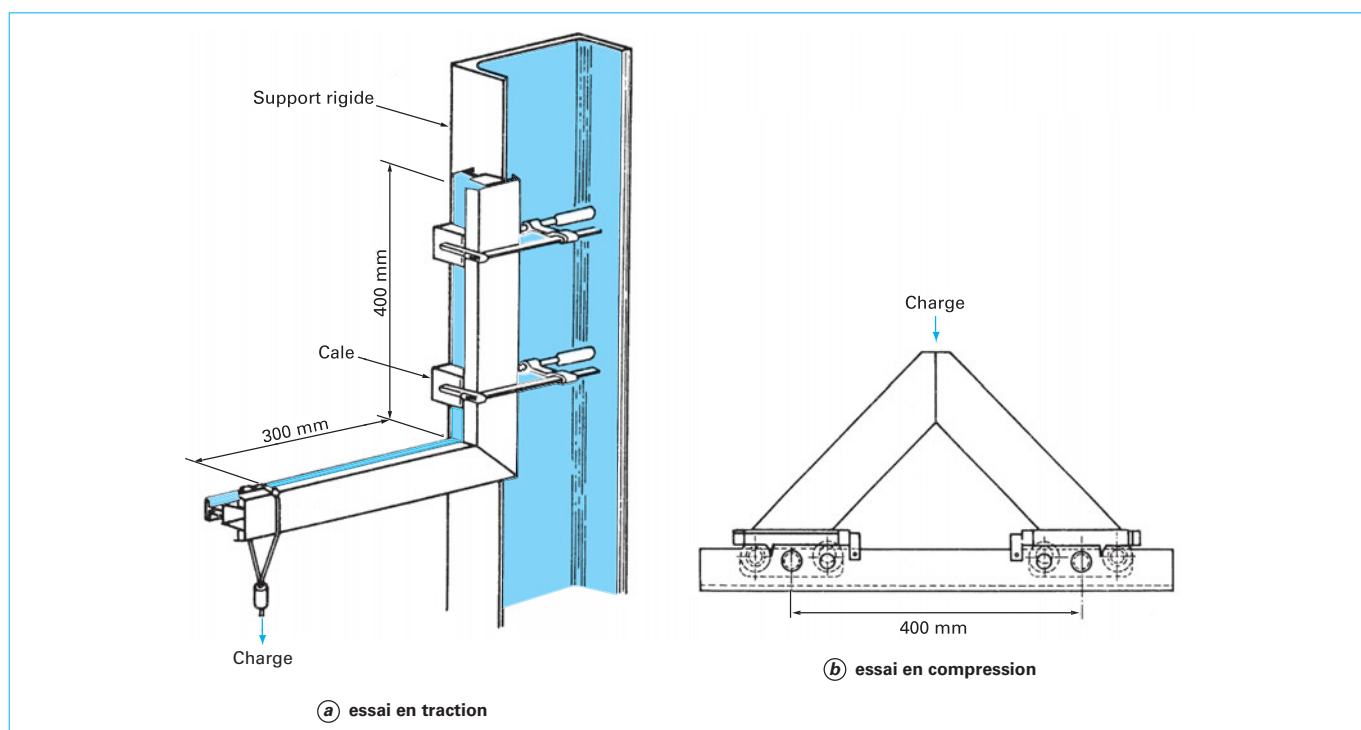


Figure 29 – Essais d'assemblages soudés

■ Contrôle des caractéristiques des fenêtres

Il s'agit essentiellement de vérifier la perméabilité à l'air, l'étanchéité à l'eau, la résistance au vent, selon la norme NF P 20-501. Les essais sont pratiqués dans un caisson, ou banc d'essais A*E*V*, installé de préférence sur le site de production, à une fréquence fonction de la production mensuelle.

La marque de qualité NF certifié CSTB Certified définit les contrôles à effectuer.

5. Fenêtre PVC : normalisation et qualité

5.1 Documents normatifs généraux

Le secteur de la menuiserie PVC comporte un nombre de normes et documents technique considérable. Le document de base est la norme européenne NF EN 14 351-1 « Fenêtres et portes piétonnes, Norme produit : caractéristiques de performances » Juin 2006. Cette norme très générale, renvoie vers l'ensemble des normes applicables à la fenêtre.

Dans le paragraphe 2.2, on a décrit un certain nombre de ces normes.

Ces normes s'appliquent au produit ou à ses constituants. Il faut également pouvoir prendre en compte la mise en œuvre des menuiseries PVC. Seul le cahier n° 3521 de juillet 2005 donne aujourd'hui une vue d'ensemble des possibilités de mise en œuvre des menuiseries PVC. Il sera remplacé par un DTU multimatériaux courant 2009 qui traitera de la mise en œuvre en France des fenêtres.

5.2 Évaluation de la qualité : avis technique, marques de qualité

L'organisation de l'évaluation de la qualité des menuiseries PVC est illustrée par la figure 30. Il faut rappeler que toutes ces procédures sont volontaires : elles ne sont imposées par aucune réglementation.

Chaque étape est validée par une procédure et un marquage permettant d'assurer une traçabilité parfaite de la production antérieure :

- matière : homologation matière rigide ;
- profilé : certification NF profilés PVC ;
- conception de système de menuiserie : avis technique ;
- fabrication des menuiseries : certification NF certifié CSTB Certified et Acotherm.

Les listes de tous ces produits certifiés sont disponibles librement sur le site du CSTB <http://www.cstb.fr/>

■ **L'homologation de matière** est basée essentiellement sur une évaluation poussée de la durabilité du matériau sous les sollicitations climatiques sévères et en particulier le rayonnement ultraviolet et la chaleur. Cette évaluation est opérée dans une enceinte de vieillissement artificiel qui combine le rayonnement solaire et ultraviolet avec la chaleur et l'arrosage régulier. Le temps total d'exposition est de 4 000 h. L'évaluation est basée à la fois sur des critères de tenue de couleur et de conservation des caractéristiques mécaniques.

Ce vieillissement artificiel est complété par une évaluation de la matière sous vieillissement naturel durant deux années sur des deux sites du Sud de la France. Cette confirmation est nécessaire, car certaines matières ont un comportement satisfaisant sous

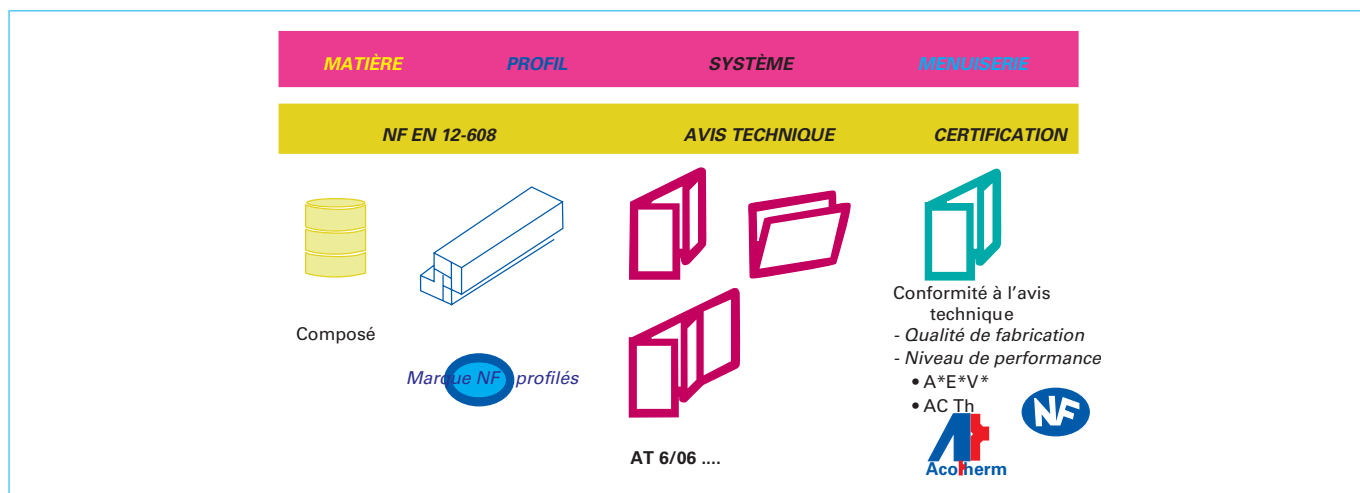


Figure 30 – Organisation de l'évaluation de la qualité

sollicitations artificielles et se révèlent très médiocres après deux années d'exposition naturelle. En matière de durabilité, les sollicitations naturelles constituent le juge de paix.

■ **La certification des profils PVC** qualifie à la fois l'aptitude à l'emploi des profils pour réaliser des profils de fenêtre et leur qualité de fabrication. Cette évaluation passe par les étapes suivantes à partir d'une matière homologuée.

– Il faut que la géométrie et la qualité d'extrusion des profils soient satisfaisantes. Les tolérances sur les dimensions extérieures des profils sont fixées à partir de la forme nominale théorique définie par le concepteur. Les épaisseurs des parois sont déterminées en fonction de la position des parois par rapport au profilé. La classe à 2 mm et 2,5 mm pour les parois externes a été retenue. Le principe est de créer un tubulaire virtuel de 2 mm d'épaisseur sur toute la périphérie du profilé, les parois visibles fenêtre fermée et en œuvre doivent faire 2,5 mm d'épaisseur minimale. Ce choix correspond à la pratique courante en France depuis l'origine de la certification des profils. L'écart de rectitude est une notion nouvelle pour la marque NF. Sur une longueur de 1 m de profilé, l'écart de rectitude ne doit pas être supérieur à 1 mm.

– Le retrait à chaud caractérise la façon dont la matière est introduite dans la filière et la rapidité avec laquelle le refroidissement est effectué en cours d'extrusion. C'est une caractéristique essentielle pour la bonne tenue des menuiseries sous sollicitations différentielles de température. Un retrait faible diminue les déformations permanentes après exposition à de fortes chaleurs induites par l'effet bilame. Il est limité à 2 % de la dimension initiale pour les profils principaux et à 3 % pour les profils accessoires.

– La résistance aux chocs par masse tombante sur profils principaux uniquement caractérise la qualité de fabrication des profils. L'essai est réalisé à une température de -10°C avec une masse de 1 kg tombant de 1 m de hauteur.

– Le comportement après mise en température à 150°C ou gélification remplace le comportement à l'acétone. Il permet de qualifier la qualité des écoulements dans la filière. Il est également important pour les profils coextrudés avec une peau vierge car il permet de vérifier l'absence de délaminage de la couche de matière vierge sur la couche de matière recyclée.

– La soudabilité des profils est également évaluée dans le cadre de cette phase de certification. Seul l'essai par la méthode de flexion par traction est retenu dans le cadre de la marque NF car il correspond à la pratique générale en France. La contrainte

moyenne doit être supérieure à 25 N/mm^2 avec aucune valeur inférieure à 20 N/mm^2 .

La certification des profils se matérialise par l'apposition de la **marque NF** sur chaque profilé.

■ **L'évaluation de la qualité de conception** des systèmes de menuiserie est réalisée dans le cadre de la procédure d'un avis technique. Elle se matérialise par la publication d'un document technique. C'est le cœur de l'évaluation d'une menuiserie. La conformité du système à l'ensemble des contraintes réglementaires et techniques est examinée dans le détail. Un avis d'experts avec vérifications expérimentales est prononcé.

L'instruction permet de vérifier que le système de menuiserie permet de réaliser des menuiseries capables d'obtenir des performances minimales de perméabilité à l'air, étanchéité à l'eau et résistance au vent.

C'est une aptitude à réaliser des menuiseries performantes qui est vérifiée. Cela ne préjuge en rien des performances obtenues lors de la fabrication des fenêtres par les menuisiers, car celle-ci est très fortement dépendante des savoir-faire de chacun, de l'organisation et des outillages disponibles.

■ **La qualité de fabrication, les performances et la conformité** à l'avis technique sont vérifiées dans le cadre de la **certification** des fenêtres que peut demander chaque menuisier.

C'est la certification du produit final qui se matérialise par la marque NF certifié CSTB Certified. La portée de cette certification est double :

- conformité à l'avis technique concernant la gamme dont la menuiserie est issue et conformité à des spécifications complémentaires introduites dans les règles de certification ;
- performances certifiées et marquées sur chaque produit. Cette certification prévoit la mise en place d'un système d'assurance qualité permettant le contrôle de fabrication avec réalisation régulière d'essais A*E*V* sur le produit fini.

Le système d'assurance qualité, les contrôles internes et les niveaux de performances des fenêtres sont régulièrement suivis par le CSTB à raison de deux visites annuelles.

Chaque menuiserie certifiée est marquée dans la feuillure du dormant (figure 31) par le sigle NF suivi d'un code permettant d'assurer la traçabilité et des performances A*E*V*, complété par le marquage ACOTHERM ainsi que le classement.



Figure 31 – Exemple de marquage apposé dans le dormant

ACOTHERM
<p>La certification ACOTHERM certifie les performances acoustiques et thermiques des menuiseries. Cette certification n'a de sens que pour les produits dont l'aptitude à l'emploi, la durabilité et les performances mécaniques ont été par ailleurs parfaitement évaluées dans le cadre d'une certification produit.</p> <p>La certification ACOTHERM, ne peut être attribuée qu'à des unités, pouvant justifier du droit d'usage d'une certification : NF ou NF certifié CSTB Certified.</p> <p>La justification des performances acoustiques est obtenue sur la base d'essais, celles des performances thermiques sont obtenues à partir de calcul.</p> <p>Les classes de la certification ACOTHERM sont données (sur la figure 32).</p>

5.3 Situation au niveau de l'Europe : marquage CE

Le marquage CE sera obligatoire pour les fenêtres à compter du 1^{er} février 2009. C'est un marquage réglementaire qui permet aux produits de circuler librement dans tout l'espace économique européen.

Il est apposé sous la responsabilité du fabricant de fenêtre aux vues :

- d'essais A*E*V* de types réalisés pour le fabricant ou le concepteur du système par un laboratoire notifié ;

- d'une déclaration de conformité effectuée par le fabricant ;
- de la mise en place d'un contrôle production en interne sous la responsabilité du fabricant.

Le marquage s'appuie sur l'annexe Z de la norme NF EN 14-351-1.

6. PVC et couleur dans le domaine des fenêtres

Les teintes claires sont obtenues par pigmentation dans la masse au moment de la fabrication des compositions vinyliques.

La demande d'une diversification pour des couleurs vives telles que jaunes, verts, bleus, rouges, ou des imitations des essences du bois, existe de longue date dans les domaines de la fermeture, des bardages, gouttières, clôtures.

6.1 Solutions techniques

■ Coextrusion de PMMA coloré

Le PMMA est un matériau transparent offrant une très bonne résistance au vieillissement lumineux.

Cette propriété a amené les formulateurs à proposer une coextrusion, sur PVC blanc, des couches superficielles colorées en PMMA dans des épaisseurs comprises généralement entre 0,3 et 0,7 mm. Des gammes de coloris à bonne tenue dans le temps (au moins 10 ans) et répondant aux besoins d'esthétique sont disponibles.

Le problème du PMMA réside dans sa fragilité. À l'état neuf, on mesure des résiliences en traction et en flexion proches de zéro, ce qui signifie qu'il faut prendre des précautions pour manipuler et utiliser les profilés.

■ Décoration par films

Plusieurs voies ont été expérimentées. Celle qui offre les meilleures performances est un film d'épaisseur 250 µm constitué d'une feuille de PVC plastifié pigmenté obtenue par calandrage et doublée, côté extérieur, d'un film acrylique qui le protège contre les ultraviolets.

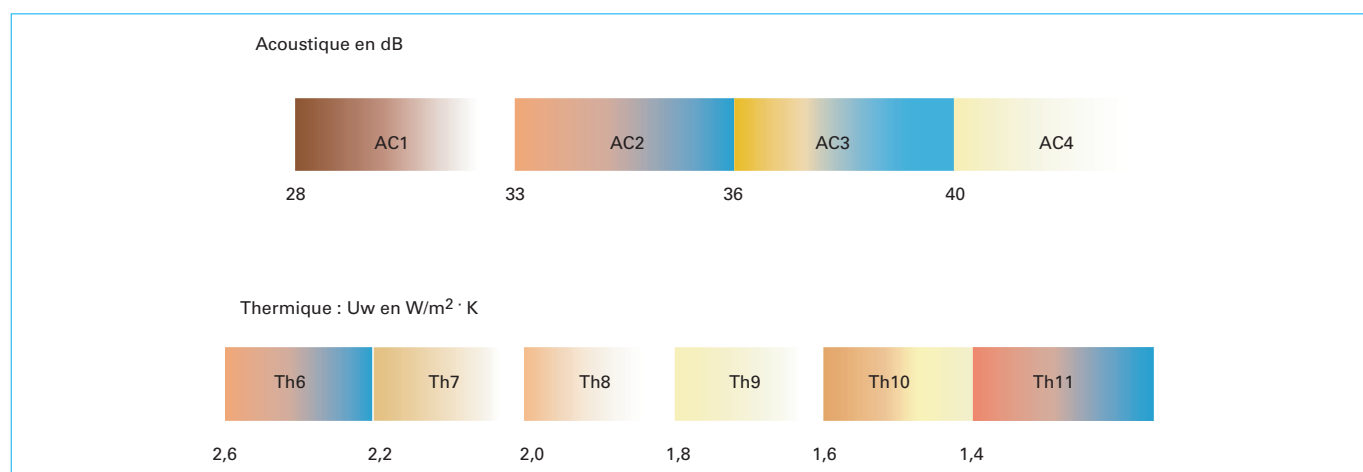


Figure 32 – Classes de certification ACOTHERM

Ces films acryliques colorés sont collés à froid sur les profilés. Un recul de 20 ans est maintenant atteint. Cette technique offre des gammes de coloris étendues.

Un avantage est de pouvoir travailler en reprise hors de l'unité de fabrication des menuiseries. Il n'y a pas nécessité d'outils d'extrusion spécifiques.

■ Parements en aluminium laqué

L'aluminium laqué offre une gamme de coloris vifs (rouge, jaune, orange, bleu, vert) garantis 10 ans.

Certains fabricants de menuiserie utilisent cette possibilité technique en clipant, sur les faces visibles des profilés principaux en PVC, des parements de 15/10 mm.

■ Décoration par peinture

Certains fabricants de peintures ont mis au point des qualités esthétiquement durables et non fragilisantes.

Certaines qualités offertes sont réputées pour leur faible absorption des infrarouges, donc un faible échauffement. Se pose le problème de la maîtrise du procédé de mise en peinture.

Des avis techniques favorables ont été délivrés par le GS6 du CSTB depuis 1996.

6.2 Écueils à éviter

Quelle que soit la technique adoptée, le premier objectif à atteindre est une durabilité satisfaisante des couleurs et l'absence de fragilisation rédhitoire du matériau. Il faut donc opter pour une technologie éprouvée par des expérimentations de longue durée (profilés colorés, exposés 5 ans dans différentes stations offrant des conditions climatiques variées).

La recherche d'un revêtement dur adhérent peut fragiliser le PVC à un degré très élevé.

Le second objectif est de prémunir l'ouvrage (menuiserie en œuvre) contre les effets de l'échauffement dû au rayonnement infrarouge. Il faut maîtriser l'effet des dilatations empêchées et tenir compte du fluage.

La conception des renforts et des organes de verrouillage doit donc être adaptée, de même que les jeux entre ouvrants et dormants et la fixation au gros œuvre.