

Colles et adhésifs

Applications dans le bâtiment

par **Philippe COGNARD**

Ingénieur de l'École supérieure de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris
Directeur commercial à la société Bostik Findley
Expert près les tribunaux

1. Préfabrication	C 961 - 2
2. Collage des revêtements de sols et de murs	— 4
3. Collage des carrelages et revêtements céramiques	— 4
4. Collage des plastiques	— 6
5. Collage de matériaux divers	— 7
6. Collage des métaux	— 7
7. Collage structural dans les travaux publics	— 9
7.1 Collage de voussoirs de ponts	— 9
7.2 Vitrages extérieurs collés (VEC)	— 10
8. Scellements et ancrages	— 12
Pour en savoir plus	Doc. C 962

Cet article fait suite à l'article précédent [C 960] qui traite des aspects théoriques du collage dans le bâtiment.

En mettant à profit les avantages du collage pour l'assemblage des matériaux, les ingénieurs, techniciens et architectes du bâtiment et des travaux publics ont remplacé les assemblages traditionnels par des assemblages par collage, pour de très nombreuses applications.

Le bâtiment utilise maintenant, depuis 30 ans, des matériaux de construction nouveaux tels les mousse isolantes, les panneaux sandwichs, les stratifiés et agglomérés... qui ont pu être assemblés bien plus facilement par collage. Le design des constructions s'en est également trouvé très amélioré, car le collage permet des formes plus lisses, plus belles... ; les prix de revient ont pu être abaissés. Les mortiers et scellements ont été améliorés sensiblement. Enfin, les joints de colle ont pu créer, dans certains cas, des jonctions souples ou étanches ou isolantes, donc apporter un plus.

Nous étudions ci-dessous un grand nombre d'applications du collage dans la construction et les travaux publics, en indiquant les exigences techniques, les performances et avantages obtenus et les développements futurs prévisibles.

Cet ensemble se compose de deux articles :

[C 960] Colles et adhésifs. Caractéristiques et types ;

[C 961] Colles et adhésifs. Applications dans le bâtiment ;

complétés par une documentation :

[Doc. C 962] Colles et adhésifs. « Pour en savoir plus ».

1. Préfabrication

Depuis 50 ans environ, certains éléments du bâtiment sont préfabriqués en usine afin de faciliter et d'accélérer la construction de l'ensemble. Ils peuvent être ensuite montés et assemblés simplement sur le chantier. La préfabrication peut ainsi concerner tous les éléments de murs, façades, planchers, portes, cloisons et panneaux de toiture (figure 1). Elle permet d'intégrer dans un seul composant les éléments de structure (qui apportent la résistance mécanique), l'isolation thermique et phonique, les aspects décoratifs (finition décorative, carrelages...) et d'autres éléments fonctionnels (étanchéité, branchements, sécurité antipénétration, pattes de fixation...).

Ces éléments sont préfabriqués en série sur chaîne et collés en usine, avec des colles à prise rapides appliquées au rouleau, au pistolet sous pression ou tout autre moyen permettant l'obtention de cadences de productions élevées.

Le pressage peut être effectué sous calandre à rouleaux caoutchoutés ou sous presses à plateaux chauffants ou non, parfois par simple empilement sous charge pendant un temps suffisant pour la prise de la colle.

■ Panneaux sandwichs (figures 1 et 2)

Des panneaux d'allège, de toitures ou des cloisons sont réalisés par collage de parements décoratifs et protecteurs en tôles, verre, fibrociment, plastiques sur des âmes en isolants (polystyrène expansé, mousse de polyuréthane, de PVC, phénolique) et sur des cadres en métal ou en bois qui apportent la rigidité et la protection latérale.

Les colles utilisées sont très diverses : colles *Néoprène* appliquées au pistolet, colles polyuréthanes à deux composants, colles époxydes pour obtenir une très grande résistance à l'eau et aux intempéries...

Des **cloisons** sont réalisées par collages de plaques de plâtre ou de contreplaqué sur des âmes isolantes ou en carton nid-d'abeilles (*Dufaylite*). Elles sont fixées avec des colles vinyliques aqueuses ou des colles urée-formol.

Des **panneaux de doublage** isolants sont réalisés par collage de plaques de plâtre sur des plaques d'isolants thermiques ou phoniques (polystyrène expansé, mousse de polyuréthane, laine de verre), en utilisant en général des colles vinyliques en émulsion (cf. article [C 960]).

Selon les cas, ces panneaux sandwichs doivent résister aux intempéries, apporter étanchéité ou isolation thermique ou phonique, ou doivent contribuer à la résistance mécanique de l'immeuble. Leur constitution et leur collage doivent être calculés en fonction de ces exigences.

■ Portes

Les portes massives en bois sont maintenant remplacées par des sandwichs avec une âme isolante et renforts collés avec placages décoratifs sur les faces extérieures. Les portes extérieures doivent être collées avec des colles résistant à l'eau, de type vinylique à durcisseur ou polyuréthane ; les portes intérieures sont plus simplement collées avec des colles vinyliques ou urée-formol.

Les finitions décoratives à relief en PVC ou placages de bois sont collées avec des colles acryliques ou VAE (éthylène-acétate de vényle), émulsions réactivées et pressées à chaud selon la technique de la presse à membrane ; la colle est appliquée au pistolet sur les parements extérieurs, réactivée à chaud pour que le film de colle atteigne environ 90 °C et devienne collant. Le film de PVC est alors plaqué sur le film de colle à l'aide d'une presse à membrane, sous vide, ce qui correspond donc à une pression de 1 bar sur la feuille de PVC, ce qui suffit à assurer le transfert de l'adhésif sur le PVC en quelques dizaines de secondes.

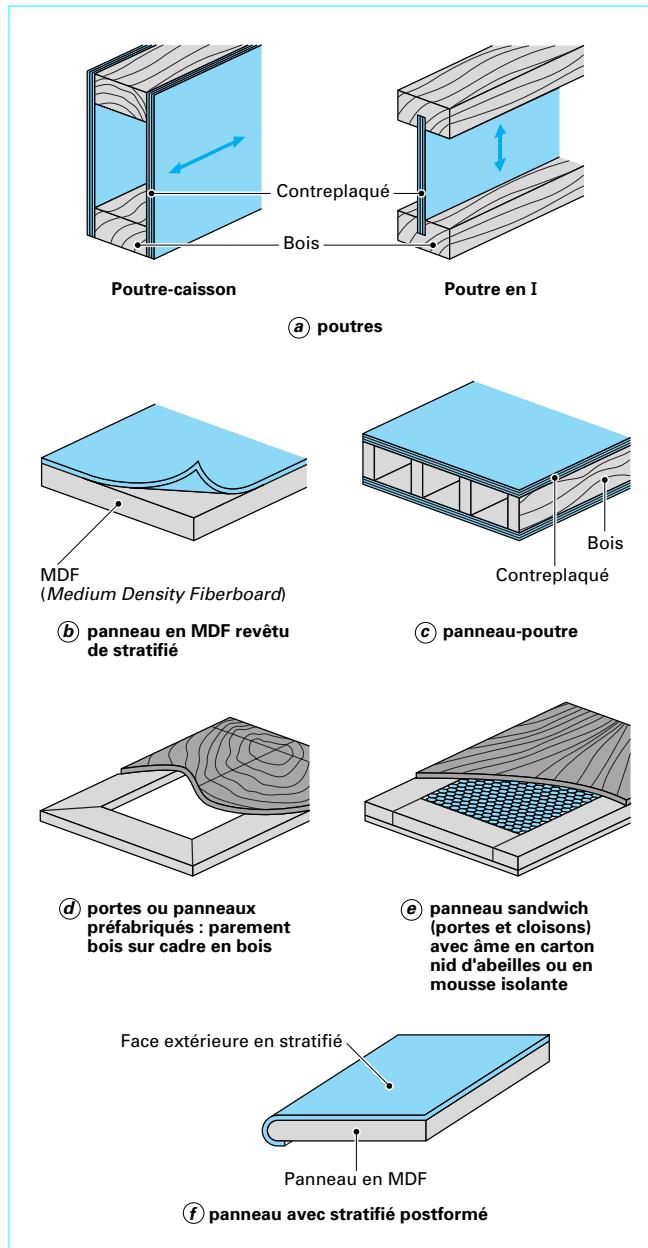


Figure 1 – Quelques exemples des pièces préfabriquées pour le bâtiment

■ Charpentes lamellées-collées

Cette technique permet de réaliser des poutres de grande portée (plusieurs dizaines de mètres) uniquement limitée par les possibilités de transport, droites ou galbées, par collage de planches de bois bien calibrées entre elles (figure 3).

Elle permet également d'économiser le bois en utilisant des planches de dimensions modestes qui sont assemblées entre elles par collage pour obtenir des poutres néanmoins très rigides.

Pour cela, on utilise des colles résorcine-formol qui présentent une grande résistance aux intempéries, aux déformations par

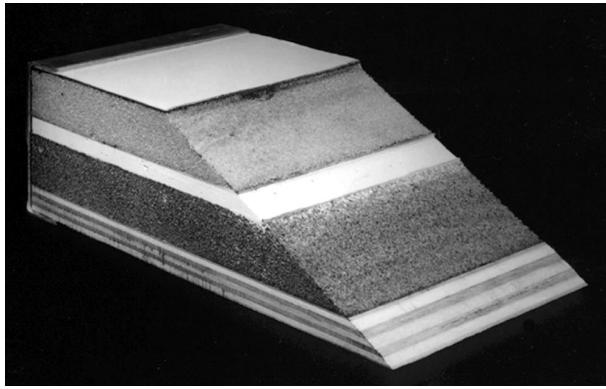


Figure 2 – Panneaux sandwichs constitués de mousse isolante, de parement en contreplaqué, en bois ou en métal (doc. Ciba-Gugy)

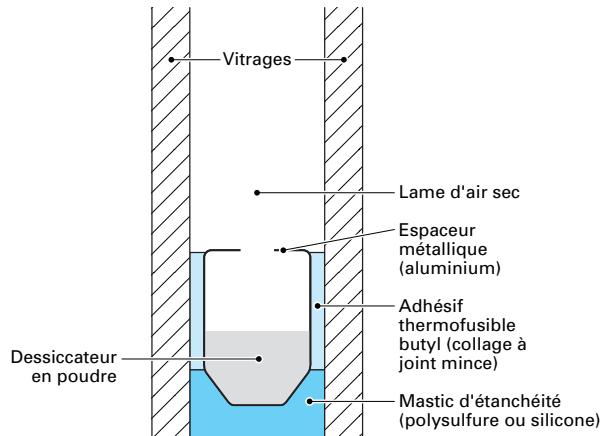


Figure 4 – Double vitrage collé



Figure 3 – Grande charpente lamellée-collée
(Stade olympique, photo Ato-Findley)

fluage, ainsi qu'une longue durabilité et qui contribuent même à la résistance au feu. Ces collages peuvent durer cinquante ans.

On peut également employer des colles spéciales urée-formol ou vinyliques à durcisseur, surtout pour des utilisations en intérieur.

■ Doubles vitrages

Afin d'obtenir des vitrages isolants (thermiques et phoniques), les fabricants ont réalisé depuis 30 ans des doubles vitrages constitués de deux panneaux de verre collés et étanchéifiés sur des espaces en aluminium de 7 à 16 mm de large (figure 4).

Le collage des vitres sur espaces est réalisé le plus souvent avec des adhésifs *hot melts* (fondus à chaud pour l'application) de type *Butyl*; l'étanchéité externe est réalisée par un mastic polysulfure à deux composants ou par du silicone très étanche à l'humidité, car il faut absolument éviter que de l'humidité puisse entrer à l'intérieur du double vitrage et créer une buée permanente. Un absorbeur est néanmoins placé à l'intérieur pour éliminer toute trace d'humidité (tamis moléculaire de la société CECA, par exemple).

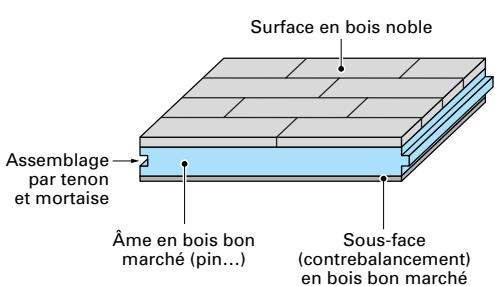


Figure 5 – Parquets stratifiés trois couches

Les mastics de collage sont appliqués au pistolet sous pression, en usine.

Les doubles vitrages sont réalisés aux dimensions des fenêtres qui, souvent sont livrées déjà prééquipées de leurs vitrages. Un mastic d'étanchéité et de collage silicone est alors appliqué entre le double vitrage et le cadre de la fenêtre qui est en général en PVC.

■ Parquets stratifiés

Il s'agit de lames de grandes dimensions (1 m de long, 20 cm de large et 1 à 1,5 cm d'épaisseur), réalisées par collage de trois constituants (figure 5) :

- un parement supérieur en bois de qualité, pour l'aspect décoratif ;
- une âme en lattes de bois léger et bon marché (pin, frêne...) collées entre elles ;
- un contre-parement en bois bon marché avec fibres croisées par rapport aux lames qui constituent l'âme du panneau.

Ces stratifiés sont collés avec des colles urée-formol en poudre qui présentent à la fois une bonne résistance mécanique, une bonne tenue à l'humidité et un faible dégagement de formol après cuisson.

Cette application illustre bien l'économie de bois noble ainsi réalisée (puisque seul le parement supérieur est en bois noble) et l'avantage du point de vue du design.

■ Applications diverses

Planchers d'ordinateurs, salles de bains préfabriquées, triples vitrages antieffraction pour banques et guichets (collés avec des films de butyral polyvinyle...), toutes ces pièces préfabriquées par collage pouvant donner des idées nouvelles de composants préfabriqués et de composites aux techniciens du bâtiment.

Le lecteur pourra imaginer d'assembler entre eux toutes sortes de matériaux décoratifs, structurels, isolants thermiques ou phoniques, protecteurs, conducteurs, souples, rigides ou étanches... pour obtenir toutes les fonctions désirées et réaliser toutes sortes de composants nouveaux, moins chers tout en offrant davantage de fonctions.

2. Collage des revêtements de sols et de murs

Les revêtements décoratifs de sols et de murs constituent le marché le plus important pour les colles en Europe de l'Ouest (cf. [Doc. C 962]).

■ Matériaux à coller

● Revêtements de sols :

- revêtements plastiques homogènes ou multicouches (dalles et lés) ;
- aiguilletés ;
- moquettes ;
- linoléum, caoutchouc ;
- parquets, liège.

● Revêtements muraux :

- revêtements plastiques ;
- revêtements textiles : tissus, tissus sur papier, fils collés sur papier, aiguilletés ;
- papiers peints ;
- liège, isolants, divers.

■ Supports

● En sols :

- béton brut (chapes et dalles) ;
- enduit de lissage de sols ;
- panneaux de particules ;
- anciens supports (anciens parquets, anciens carrelages, anciens revêtements).

● En murs :

- béton brut, plâtre brut ;
- enduit de lissage (base plâtre ou base ciment) ;
- plaques de plâtre, panneaux de particules, contreplaqué ;
- anciens supports (anciennes peintures, anciens revêtements).

■ Réglementation

Il existe un ensemble complet de règles professionnelles concernant :

- la pose des revêtements de sols ;
- la pose des parquets ;
- la préparation des supports.

Ce sont :

- les DTU, les Cahiers des prescriptions techniques et avis techniques du Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) ;

— les normes européennes (EN) concernant la mesure des caractéristiques des colles pour revêtements de sols (cf. [Doc. C 962]).

■ Types de colles

● Revêtements de sols :

- colles émulsions acryliques pour revêtements plastiques, moquettes à envers mousse ;
- colles résine-alcool pour moquettes et aiguilletés ;
- colles émulsions vinyliques pour parquets-mosaïques ;
- colles *Néoprène* pour caoutchouc, plinthes, nez de marche ;
- colles époxydes et polyuréthanes pour caoutchouc.

● Revêtements muraux :

- colles en poudres (cellulosiques, amylacées) pour papiers peints ;
- colles vinyliques aqueuses, colles amylacées et mixtes pour revêtements textiles et revêtements divers à envers papiers ;
- colles acryliques pour revêtements plastiques, liège, plinthes ;
- colles *Néoprène* et colles contact pour liège, panneaux décoratifs ou isolants plus ou moins lourds ;
- mastics *Néoprène* en cartouches pour tasseaux, panneaux lourds et panneaux isolants, lambris et frises, plinthes.

Les fabricants de colles et de revêtements indiquent les colles adaptées aux revêtements à coller.

■ Techniques concurrentes

En Europe continentale, la seule technique utilisée pour la pose des revêtements de sols est le collage, en général sur toute la surface. Par contre, en Grande-Bretagne les moquettes sont le plus souvent tendues sur des bandes d'ancre (smoothedges) qui comprennent des rangées de clous sur la face supérieure. Ces bandes sont fixées sur le sol en béton, en général par collage ou vissage, à la périphérie des pièces.

■ Revêtements de sols antidérapants

On peut rendre antidérapant un sol en béton ou des marches en les revêtant d'une couche de résine époxyde à deux composants (1 à 2 mm d'épaisseur) sur laquelle on saupoudre immédiatement des grains de sable ou de corindon de 0,6 à 1,3 mm de diamètre.

3. Collage des carrelages et revêtements céramiques

Les divers types de revêtements céramiques sont :

- les **grès cérame fins vitrifiés, émaillés ou non**, ingélifs, totalement non poreux, qui ont une excellente résistance chimique et de bonnes tolérances dimensionnelles ;
- les **grès vitrifiés étirés (émaillés ou non)**, qui ont des caractéristiques comparables aux précédents, mais avec des tolérances dimensionnelles moins bonnes ;
- les **carreaux de terre cuite**, poreux et qui absorbent jusqu'à 10 à 15 % d'eau ;
- le **marbre**, les dallages de pierres diverses ;
- les **pâtes de verre** ;
- les **faïences**, poreuses et qui absorbent jusqu'à 10 % d'eau ; elles sont utilisées uniquement en revêtement mural.

■ Types de colles

● Ciments-colles et mortiers-colles

À base de ciment, charges et adjuvants spéciaux, on distingue :

- les *ciments-colles caséinés* : ils permettent la pose sur plâtre, mais sont sensibles à l'eau ;
- les *mortiers-colles non caséinés* :

- mortiers-colles courants pour la pose en couches minces (épaisseur 1 à 4 mm) de revêtements de petits ou moyens formats (5 × 5 cm, jusqu'à 10 × 15 cm),
- mortiers-colles épais pour la pose en couches minces ou moyennes (épaisseur 2 à 8 mm) de carreaux de moyens et grands formats (20 × 20 cm, 20 × 30 cm et 40 × 40 cm),
- mortiers-colles spéciaux pour la pose en forte épaisseur (3 à 10 mm) de grands carreaux lourds, en sols uniquement.

● **Adhésifs en pâte prêts à l'emploi, encore appelés adhésifs sans ciment.**

À base d'émulsions (acryliques, etc.), de charges et d'adjuvants, ils adhèrent sur de nombreux supports : ciment, plâtre, plaques de plâtre cartonnées, et même sur bois, supports anciens, fibrociment.

Ils sont plus sensibles à l'eau que les mortiers-colles, ce qui limite leur emploi aux murs intérieurs dans les locaux secs ou moyennement humides.

On distingue les adhésifs sans ciment courants (1 à 3 mm d'épaisseur) et épais (1 à 5 mm) en simple ou double encollage.

● **Mortiers-colles à liants mixtes**

Plus souples que les mortiers-colles, ils conviennent sur des supports présentant des variations dimensionnelles. Ils sont généralement à base de poudre et de résine liquide.

● **Colles et produits de jointoientement** en pâte, à base de résines époxydes ou polyuréthanes.

Ils sont utilisés pour la pose de carrelages devant résister aux produits chimiques.

● **Mastics de jointoientement** pour sanitaires (évier, lavabos, baignoires).

Ils sont généralement à base de silicones.

■ **Caractéristiques des colles pour carrelages**

Les avantages et les limites d'emploi des principales colles sont donnés dans le tableau 1.

■ **Mortiers de joints**

Il existe quatre types de mortiers :

- les mortiers de joints en poudre classiques ;
- les mortiers de joints en poudre, mais souples (compatibles avec les mortiers-colles souples) ;
- les mastics plastiques ou élastomères souples pour joints de dilatation, d'étanchéité et de fractionnement ;
- les mortiers de joints époxydes résistants aux produits chimiques.

■ **Choix et mise en œuvre**

Les colles pour revêtements céramiques de murs et de sols sont indiquées dans les tableaux 2, 3 et 4.

Tableau 1 – Avantages et limites d'emploi des principales colles pour céramiques

Type de colle	Avantages	Limites d'emploi
Mortier-colle courant	Emploi facile Insensible à l'eau 1 à 4 mm d'épaisseur	Assez rigide Adhérence limitée Pose en couche mince
Mortier-colle épais ou spécial	Emploi facile, peu onéreux Insensible à l'eau Adapté aux grands carreaux ou carreaux lourds, notamment en sols intérieurs ou extérieurs 2 à 8 mm d'épaisseur	Assez rigide (supporte mal les variations dimensionnelles support/revêtement)
Adhésif en pâte courant	Emploi très facile et sûr Polyvalence des supports admissibles en mur intérieur Flexible Bonne adhérence à sec	Limité aux petits et moyens carreaux Sensible à l'eau Fluide (glissement des carreaux lourds) Ne convient pas pour le collage en sol, ni en extérieur
Adhésif en pâte épais	Mêmes avantages que ci-dessus Permet la pose de grands carreaux en limitant le fluage	Sensible à l'eau (exclut l'emploi au sol ou à l'extérieur)
Mortier-colle courant ou épais à liant mixte incorporé	Adhérence élevée sur divers supports (bonne polyvalence vis-à-vis des supports carreaux, expositions admissibles) Convient sur sols et murs, intérieurs et extérieurs Flexible (supporte les déformations)	Légère sensibilité à l'eau Emploi délicat (pour les produits bicomposants avec mélange sur chantier)
Colle spéciale époxyde (résine + durcisseur)	Adhérence élevée sur tous supports Inertie chimique, grande durabilité Convient pour collage de carrelages nouveaux sur carrelages anciens Résistance mécanique Etanchéité Stabilité dimensionnelle (pas de retrait)	Emploi délicat (mélange sur chantier des composants) Prix beaucoup plus élevé que les mortiers-colles
Colle polyuréthane (résine + durcisseur)	Adhérence élevée Etanchéité Stabilité dimensionnelle Souplesse (grande déformabilité)	Emploi délicat (mélange sur chantier des composants)

Tableau 2 – Colles pour revêtements céramiques de murs extérieurs		
Surface des carreaux	Support béton (1)	Support enduit ciment (1)
Jusqu'à 100 cm ² (5 × 5, 10 × 10...) Simple encollage	MC à liant mixte	MC courant MC épais MC à liant mixte
De 100 à 300 cm ² (10 × 20, 11 × 24...) Double encollage	MC à liant mixte	MC courant MC épais MC spécial MC à liant mixte
De 300 à 900 cm ² (20 × 30, 30 × 30...) Double encollage	MC à liant mixte	MC épais MC spécial MC à liant mixte

(1) MC : mortier-colle.

Tableau 3 – Colles pour revêtements céramiques de sols intérieurs		
Surface des carreaux	Supports	
	Chape rapportée, enduit de lissage (sur dalle béton ou préfabriquée) (1)	Dalle béton surfacée, chape incorporée (1)
Jusqu'à 100 cm ² (5 × 10, 7,5 × 7, 10 × 10...) Simple encollage	MC courant MC épais MC à liant mixte	MC courant MC épais MC à liant mixte
De 100 à 225 cm ² (10 × 20, 15 × 15...) Simple encollage	MC courant MC épais MC à liant mixte MC spécial	MC épais MC à liant mixte MC spécial
De 225 à 900 cm ² (20 × 30, 30 × 30...) Double encollage	MC épais MC à liant mixte MC spécial	MC épais MC à liant mixte MC spécial
De 900 à 1 600 cm ² (20 × 30, 30 × 30...) Double encollage	MC spécial MC à liant mixte	MC spécial

(1) MC : mortier-colle.

Tableau 4 – Colles pour revêtements céramiques de murs intérieurs							
Surface des carreaux	Locaux humides (cuisines, douches... de collectivités) (1)		Locaux secs ou moyennement humides (halls, cuisines, salles de bains, etc.) (1)				
	Support enduit ciment enduit bâtarde	Support béton	Support enduit ciment enduit bâtarde	Support béton	Support plaque de plâtre	Support plâtre	Support bois
Jusqu'à 450 cm ² (20 × 20, 15 × 30...) Simple encollage	MC courant MC épais MC à liant mixte	MC à liant mixte	Adhésif courant Adhésif épais MC courant MC épais MC à liant mixte Ciment-colle caséiné	Adhésif courant Adhésif épais MC à liant mixte Ciment-colle caséiné	Adhésif courant Adhésif épais MC courant MC épais MC à liant mixte Ciment-colle caséiné	Adhésif courant Adhésif épais Ciment-colle caséiné	Adhésif courant (2) Adhésif épais
De 450 à 600 cm ² (20 × 25, 20 × 30...) Double encollage	MC courant MC épais MC à liant mixte	MC à liant mixte	Adhésif épais MC courant MC épais MC spécial MC à liant mixte	Adhésif épais MC à liant mixte		Adhésif épais (3)	
De 600 à 1 200 cm ² (30 × 30, 30 × 40...) Double encollage	MC épais MC à liant mixte	MC à liant mixte	MC spécial MC à liant mixte	MC à liant mixte			
De 1 200 à 1 600 cm ² Double encollage	MC à liant mixte	MC à liant mixte	MC spécial MC à liant mixte	MC à liant mixte			

(1) MC : mortier-colle.
(2) Après application d'un primaire étanche.
(3) Limité à 450 cm² sur enduit plâtre traditionnel.

4. Collage des plastiques

Outre les revêtements de sols, murs ou toitures collés, sur divers supports, beaucoup d'autres pièces en plastiques sont utilisées dans le bâtiment, dans la plupart des cas, on peut maintenant les assembler par collage.

Collage des tuyaux en PVC pour l'adduction d'eau ou l'évacuation des eaux usées

Les tuyaux de grand diamètre pour l'adduction d'eau sous pression (de quelques bars) sont le plus souvent assemblés par brides et raccords divers, car pour les coller il faudrait des pièces avec des tolérances de jeu très précises, les types de colles exis-

tantes (colles solvantées à extrait sec faible) ne permettant pas le rattrapage de jeux supérieurs à 1 ou 2/10 mm.

Les tuyaux de diamètre inférieur ou égal à 50 mm sont en général collés avec trois types de colles à base de PVC en milieu solvanté :

- colles résistant à la pression (10, voire 16 bar) pour l'adduction d'eau sous pression ;
- colles ordinaires pour l'évacuation des eaux usées, sans pression ;
- colles pour tuyaux en C-PVC résistant à la chaleur (pour véhiculer de l'eau chaude à 80 °C, par exemple) ; la colle doit elle-même résister à 80-90 °C.

■ Collage d'autres pièces en PVC, ABS, acryliques

Les mêmes colles ou des colles solvantées similaires permettent de coller des gouttières, regards, lanterneaux en PVC ou autres matières plastiques rigides.

■ Collage du polyéthylène ou du polypropylène

Ces matériaux sont pratiquement incollables, car ce sont des plastiques dits inertes chimiquement, sur lesquels rien n'agit. Les meilleures colles et les meilleurs traitements de surface ne donnent que des forces d'arrachement très faibles et non durables.

■ Plastiques renforcés (polyester renforcé de fibres de verre en particulier).

Ils peuvent être collés avec des adhésifs polyuréthanes ou époxydes, par exemple, pour réaliser des bâtiments modulaires, des salles de bain préfabriquées livrées en kits, des panneaux sandwichs, etc.

5. Collage de matériaux divers

■ Collage du bois et des panneaux à base de bois

Le bois et les panneaux agglomérés à base de fibres ou copeaux de bois [MDF (*Medium Density Fiberboard*), panneaux de particules...] sont des matériaux de construction fréquemment employés dans le bâtiment, surtout dans les pays nordiques et aux États-Unis.

Les techniques d'agglomération et de collage sont très développées et éprouvées. Nous ne les étudierons pas ici car cela demanderait de trop longs développements. Nous nous bornerons à citer quelques applications importantes.

- **Agglomération de fibres ou de copeaux de bois, ou de feuilles de bois déroulé (contreplaqué)** par des résines urée-formol ou par des résines phénoliques pour obtenir une bonne résistance à l'eau ou au feu.

- **Panneaux-sandwichs** avec parements en bois ou contreplaqué, cadres en bois, âmes isolantes en mousse plastiques ou laine de verre. Ils peuvent être collés avec des colles urée-formol thermodurcissables, des colles Néoprène pistolables, des colles polyuréthanes, selon les exigences de tenue à la chaleur aux intempéries, en extérieur...

- **Technique collé-cloué**

C'est une astucieuse combinaison du collage avec le clouage traditionnel, lancée aux États-Unis il y a 30 ans et qui malheureusement n'a pas eu d'échos en Europe. On a remarqué que les planchers en panneaux de particules cloués ou vissés sur lambourdes ou solives de bois bougeaient et grincraient lors de la marche. On a pensé alors à mieux solidariser l'ensemble en déposant un cordon de mastic Néoprène de collage sur les solives avant de positionner les panneaux et de les fixer avec deux fois moins de clous ou de vis, ce qui augmente la vitesse de pose (figure 6). Après



Figure 6 – Collage de panneaux de plancher avec colle mastic en cartouche

quelques heures de séchage du mastic, on obtient un ensemble monolithique, solide, qui fait moins de bruit lors de la marche. En collant une moquette par-dessus, on obtient un plancher très confortable, beau et isolant phonique parfait.

■ Collage du caoutchouc

- **Sous forme de revêtement mince**, le caoutchouc, peut être collé sur les sols en béton ou autres et ainsi que sur les toitures avec des colles Néoprène de contact, des colles polyuréthanes à deux composants (solvantées ou sans solvants), lorsque l'on exige une très bonne résistance à l'eau et aux intempéries.

- **Sous forme de blocs**, le caoutchouc peut servir d'amortisseur de vibrations ou pour désolidariser de leur fondation des ouvrages en béton en construction parasismique. Il peut alors être collé de façon très durable avec des colles spéciales à base de caoutchouc Néoprène, de polyuréthane ou d'acryliques spéciaux à deux composants...

- Le **caoutchouc silicone**, très durable, peut être coulé ou collé sur le béton avec un mastic silicone.

- Pour obtenir les meilleures adhésions, **on traitera le caoutchouc avant collage avec des primaires spéciaux ou avec un produit chlorant**.

6. Collage des métaux

Dans le bâtiment et les travaux publics, les métaux ne sont guère collés, car on trouve plus simple et plus fiable de les assembler de façon traditionnelle par vis, boulons, soudure.

Cependant quelques applications existent.

■ Renforcement d'ouvrages en béton dégradés ou fissurés, par collage sur le béton de tôles d'acier avec des adhésifs époxydes.

- **Procédé L'Hermite**

Cette technique a été pratiquée avec succès en France depuis 1965 pour renforcer des structures en béton armé ou les zones de fonctionnement en béton armé des poutres précontraintes en collant des tôles de 3 à 5 mm d'épaisseur sur le dessous ou sur les âmes des poutres.

On augmente ainsi la résistance à la flexion et à l'effort tranchant de l'ouvrage.

Les calculs peuvent être faits comme pour le calcul d'ouvrages en béton renforcé :

- calcul des contraintes existantes dues au poids mort de l'ouvrage et aux charges permanentes ;
- calcul des nouvelles contraintes qui agiront sur l'ouvrage renforcé par les tôles ;
- addition algébrique des contraintes et vérification que les contraintes totales dans le béton et dans les renforts sont acceptables ;
- calcul des contraintes de cisaillement dans les diverses couches d'adhésif et vérification qu'elles sont supportables, avec un coefficient de sécurité.

Mise en œuvre : les plaques de renfort doivent recouvrir au moins 80 % de la portée, des boulons peuvent être rajoutés à quelques endroits par sécurité.

Les meilleurs adhésifs actuellement sont des époxydes avec durcisseurs polyamines, qui offrent de bonnes performances mécaniques (résistance au cisaillement de 10 à 20 N/mm²) et une bonne tenue à l'eau et à l'humidité ; ils durcissent à température ambiante. La mise en œuvre du procédé nécessite de maintenir une pression de l'ordre de 400 à 500 kg/m² de surface collée jusqu'à polymérisation complète. Ce qui pénalise ce procédé est la nécessité d'étayer et d'utiliser des serre-joints.

Le module en flexion de l'adhésif doit être compris entre 2 000 et 10 000 N/mm², la résistance au cisaillement de 12 N/mm² minimum, la résistance à la fatigue doit être telle que les collages acier/acier et béton/béton résistent à 1 million de cycles entre 0,4 et 4 N/mm².

● Procédé Freyssinet

Un nouveau procédé de renforcement mis au point par Freyssinet International remplace les tôles par un tissu sec de fibres de carbone (TFC) présentant une contrainte de rupture 4 à 6 fois supérieure à celle des aciers du procédé L'Hermite, ce qui permet d'employer une faible épaisseur (0,8 mm). La souplesse du tissu lui permet donc de s'appliquer sur des surfaces quelconques planes, courbes ou même angulaires.

La mise en œuvre est très facile. La résine de collage utilisée assure à la fois l'imprégnation du tissu et son collage sur le béton préalablement sablé puis revêtu d'un primaire.

À l'inverse des tôles d'acier, le TFC ne nécessite aucune pression de contact pendant le durcissement de la résine, ni aucune protection ultérieure contre la corrosion [2].

■ Collage de raidisseurs en acier sur acier inox pour la fabrication de portes d'ascenseur ou de portes extérieures

Grâce à cette technique, on obtient des surfaces lisses, dont le poli, la planéité et la brillance seront impeccables, car on a supprimé les points de soudure. On utilise ici des colles époxyde-polysulfure, par exemple, qui sont moins rigides que les époxydes classiques.

■ Collage de poignées métalliques sur verre

■ Collage d'huisseries métalliques de fenêtres

Il s'agit de coller des équerres en aluminium pour assembler les profilés d'aluminium anodisés des quatre côtés d'une fenêtre : ce collage a été réalisé avec des adhésifs époxydes renforcés, qui assurent des résistances mécaniques très élevées et une durabilité de plusieurs dizaines d'années.

■ Collage de raidisseurs (omégas emboutis) sur panneaux de façades en aluminium

Le collage a été choisi pour obtenir un bel aspect de surface en éliminant la soudure. La colle utilisée est une colle acrylique structurale à deux composants, et on applique l'activateur sur les tôles tandis que l'adhésif est déposé sur les omégas. Lors de l'assemblage sous pression, les deux constituants réagissent rapidement entre eux (figure 7a) en quelques minutes.

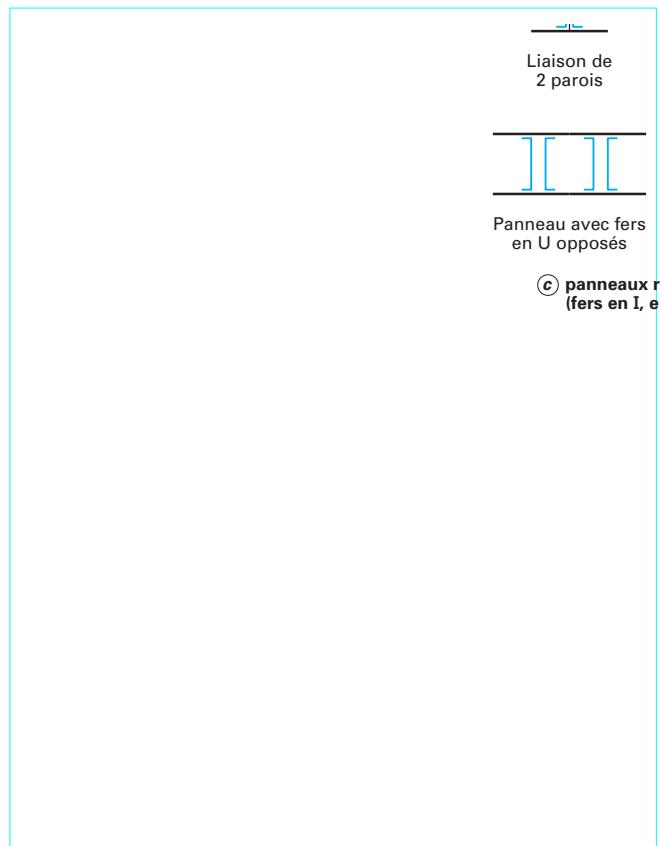


Figure 7 – Fabrication de panneaux métalliques et de raidisseurs

■ Fabrication de panneaux métalliques par collage de profilés ou de tôles ondulées sur tôles

La figure 7b et c montre des pièces ainsi collées que nous avons imaginées. On obtiendrait ainsi des panneaux très rigides mais aussi très légers.

■ Assemblage de tubes

Un type d'assemblage particulièrement important est celui des tubes, pour la plupart destinés au transport des fluides. Ces tubes sont soumis à des efforts complexes à l'endroit des jonctions collées : cisaillement, compression, flexion et tension. Il est possible de renforcer les performances mécaniques de la jonction avec des colliers de serrage ou des brides de jonction, d'une façon générale pour tous les collages de symétrie axiale (figure 8).

Les raccords de tubes, avec ou sans manchon, se prêtent facilement au collage. En outre, les joints doivent être étanches et insensibles à l'action dissolvante ou agressive, chimiquement, des fluides transportés.

Bien entendu, pour la jonction des tubes, les tolérances d'usage sur les diamètres sont importantes à considérer.

■ Collage de tuyauteries de gaz métalliques

L'assemblage de tubes par collage a été expérimenté au Gaz de France dès 1955. Depuis cette époque, le gaz est distribué à Lamagistère (Tarn-et-Garonne) dans des tubes en alliage d'aluminium assemblés à l'aide d'une résine époxyde, à deux composants, polymérisant à chaud. À Périgueux, cette technique fut utilisée pour réaliser la traversée de l'Isle par canalisation aérienne.

Ces premières expérimentations ayant donné des résultats techniques encourageants et, l'industrie des colles étant en continue

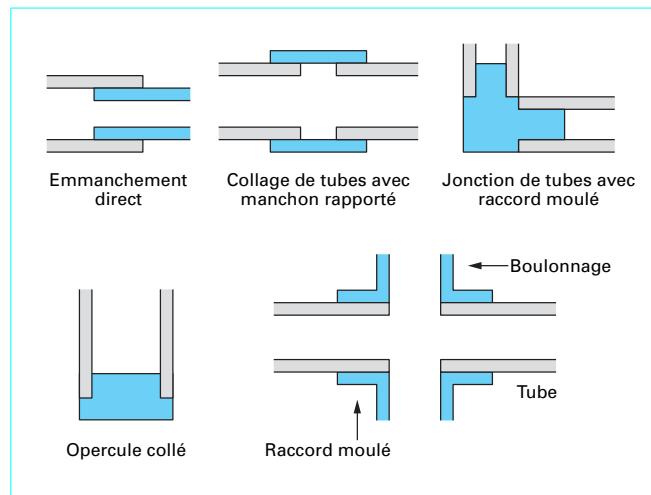


Figure 8 – Jonction de tubes

évolution, Gaz de France a décidé de développer et d'améliorer cette technique et de définir une mise en œuvre de l'assemblage pouvant être appliquée avec fiabilité sur chantiers. Les critères retenus pour l'assemblage sont les suivants :

- étanchéité sous une pression de 5 bar, pendant 50 ans ;
 - résistance mécanique au moins équivalente à celle du tube ;
 - facilité de mise en œuvre.
- La première partie de l'étude a consisté à **rechercher des colles structurales** à un seul composant polymérisant soit à froid (colles anaérobiques), soit à chaud (résines époxydes). Des essais mécaniques ont été effectués sur des assemblages réalisés avec plusieurs colles. Les résultats obtenus ont permis de sélectionner des adhésifs époxydes à un composant, polymérisant à chaud. Les caractéristiques mécaniques optimales de l'assemblage ont été déterminées pour chaque type de colle en définissant :

- le jeu diamétral ;
- la longueur d'emboîtement ;
- la préparation des surfaces encollées ;
- les contraintes auxquelles sont soumis les assemblages (contraintes mécaniques, pression des gaz).

• Des **assemblages** ont été ensuite **réalisés en laboratoire**, et leur tenue dans le temps vérifiée à l'aide des essais suivants :

- action prolongée de la température (8 mois à 60 °C et 100 °C) ;
- chocs thermiques (0 °C, 100 °C) ;
- cycles thermiques (-20 °C, +85 °C) ;
- vieillissement accéléré en immersion dans l'eau (20 °C et 60 °C) ;
- vieillissement naturel dans l'atmosphère (exposition sur des toitures).

D'autres essais ont été effectués en soumettant les assemblages aux divers constituants du gaz.

À la suite de cette étude, il a été possible d'homologuer un produit à un seul composant à base d'adhésif époxyde, chargé en poudre d'aluminium, et polymérisant à chaud en 15 min à 150 °C.

• Pour **mettre en œuvre cette résine**, Gaz de France a réalisé un dispositif assurant la polymérisation parfaitement contrôlée et fiable. Le matériel, facile d'emploi sur chantier, possède un système de régulation de la température qui reproduit les conditions atmosphériques.

L'appareil de polymérisation comprend :

- un four métallique cylindrique muni d'un thermocouple en contact avec la surface à l'extérieur de l'emboîture femelle de l'assemblage ;
- un générateur d'air chaud ;
- un dispositif de régulation.

Après les résultats satisfaisants obtenus en laboratoire et au cours des chantiers expérimentaux, il a été décidé que cette technique de collage serait appliquée aux réseaux en façades et aux conduites montantes extérieures pour l'alimentation de chaufferies en terrasse.

Depuis 1974, elle a été utilisée pour réaliser plusieurs milliers d'alimentations de gaz en France puis dans d'autres pays.

7. Collage structural dans les travaux publics

7.1 Collage de voussoirs de ponts

Le collage a commencé à être utilisé, dans les travaux publics à partir de 1960 et l'application la plus spectaculaire a été le collage d'éléments préfabriqués en béton ou voussoirs pour la construction de ponts en béton précontraint.

Cette technique a permis de construire des ponts de grandes portées, avec des éléments relativement courts, donc pouvant être transportés et manipulés plus facilement (50 à 130 t).

En 1963, le premier pont ainsi réalisé fut celui de Choisy-le-Roi, en coulant chaque voussoir contre le précédent dont la face adjacente avait été revêtue d'un produit de démoulage. De cette façon, on obtenait un joint très mince de 1 à 3 mm entre les deux voussoirs, réalisé par application au gant avec un adhésif époxyde à deux composants durcissant à température ambiante, alors qu'auparavant il fallait remplir un joint plus large (de l'ordre de 2 à 3 cm) avec un mortier de ciment car les faces des voussoirs avaient des tolérances pratiquement nulles.

De plus, le temps d'attente avant la précontrainte a été réduit, passant de deux jours à quelques minutes et, permettant ainsi d'accélérer la construction.

L'adhésif époxyde n'a d'abord été utilisé que comme un produit de jointoientement empêchant l'eau de pénétrer jusqu'aux câbles de précontrainte, et il n'était pas censé résister aux forces de cisaillement verticales. En effet, la création de cannelures sur la face des joints permettait d'éviter tout glissement en répartissant les contraintes de cisaillement. Mais, de plus en plus, ces adhésifs époxydes pour béton sont devenus de véritables adhésifs structuraux qui transmettent les efforts de compression, de cisaillement et même, dans certains cas, de traction, à condition qu'ils restent inférieurs à la contrainte de rupture en traction du béton.

Différents incidents dus à un dosage incorrect du mélange résine-durcisseur, conduisant à une polymérisation tardive ou imparfaite de la colle époxyde, ont amené les fournisseurs à conditionner les deux constituants dans des pots prédosés, ouverts seulement au moment du mélange. De cette manière, les erreurs de dosage ont disparu, supprimant tout risque de défaut de prise.

La figure 9 montre l'assemblage de tels éléments préfabriqués en béton.

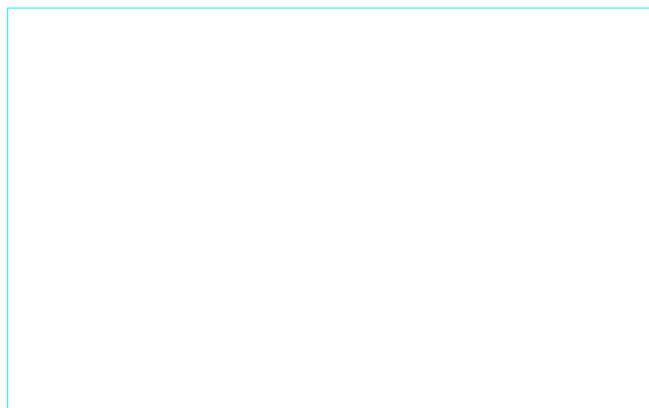


Figure 9 – Assemblage de voussoirs de pont préfabriqués

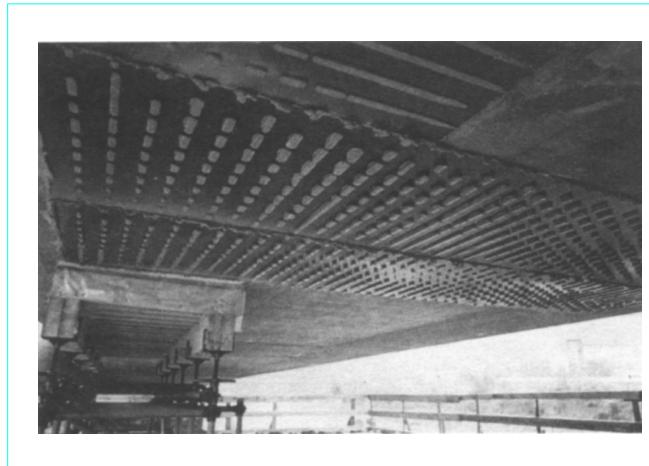


Figure 10 – Renforcement du viaduc de Terre noire par tôles collées perforées (Brevet Freyssinet)

Exigences pour ces adhésifs

1 – Les caractéristiques de mise en œuvre doivent être compatibles avec la mise en œuvre en extérieur sur chantier ; en particulier la pâte ne doit pas couler sur les surfaces verticales, le temps ouvert doit être suffisamment long, mais le durcissement doit se faire en moins de 24 h à des températures supérieures à 10 °C, pour permettre l'avancement normal des travaux.

2 – Un certain nombre de performances mécaniques doivent être obtenues :

- adhérence sur le béton ;
- résistances à la compression, à la traction et au cisaillement, modules adaptés, résistance au fluege ;
- résistance à l'eau et à la chaleur (jusqu'à 60-80 °C selon les pays et climats).

Autres utilisations

Ces colles sont aussi utilisées lors du renforcement d'ouvrages en béton par collage de plaques de tôles (figure 10).

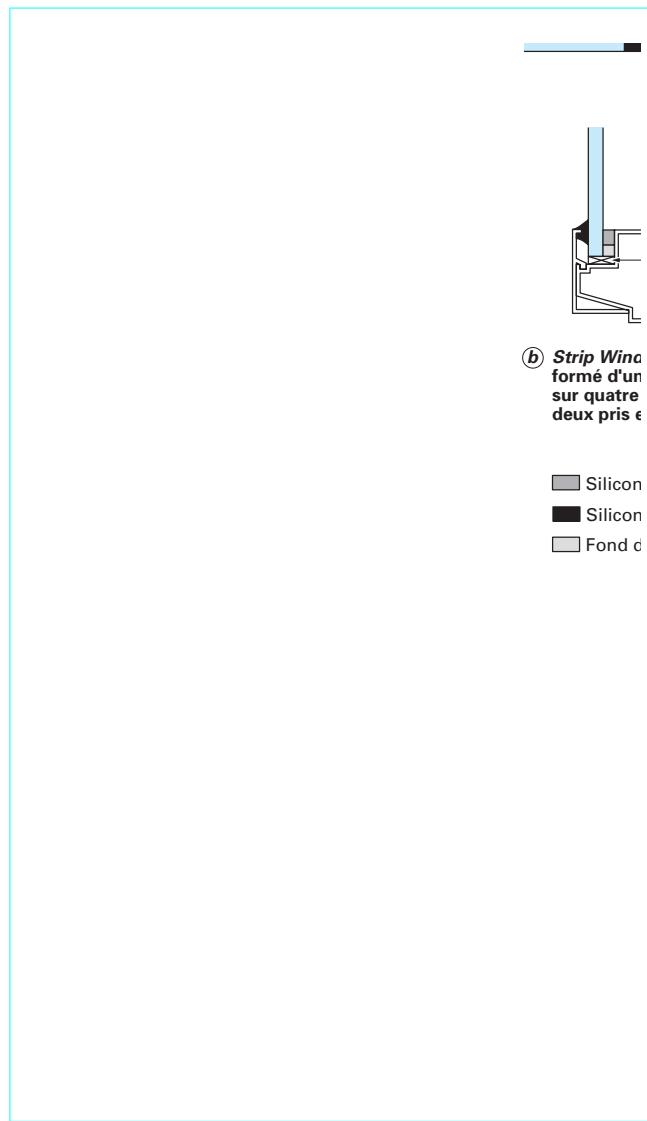


Figure 11 – Divers types d'installations en vitrage extérieur collé

7.2 Vitrages extérieurs collés (VEC)

Cette technique se pratique maintenant depuis 1980 et est donc parfaitement maîtrisée. Cependant, elle demande beaucoup de soins et de rigueur car ici les vitrages sont principalement maintenus par l'adhésif, qui est en général un mastic silicone, et il faut donc assurer la sécurité totale des collages et leur durabilité, même en présence de vent, de pluie et d'autres sollicitations mécaniques et physiques sévères.

La figure 11 montre quelques principaux types d'installations, et la figure 12 définit les produits, mastics et accessoires employés.

Pour assurer la sécurité, les assemblages sont réalisés par pré-fabrication en usine.

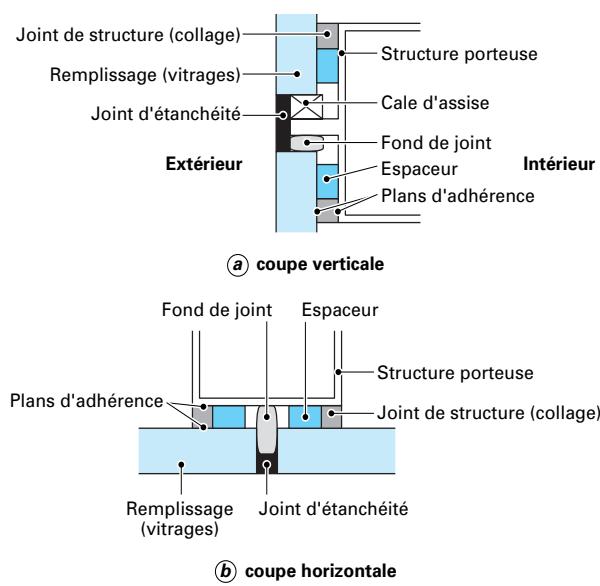


Figure 12 – Techniques d'assemblage des vitrages extérieurs collés

7.2.1 Conception des assemblages

Il faut d'abord calculer toutes les contraintes auxquelles seront soumis les ouvrages collés. On devra tenir compte des contraintes suivantes.

■ Pressions dues au vent

On calculera la résistance à la pression, à la dépression et la résistance du joint d'étanchéité du double vitrage sous les actions additionnées du vent en dépression, de l'échauffement de la lame d'air intérieure du double vitrage et des dilatations différentielles des cadres :

- effets du vent sur les flèches prises par la structure, qui ne doivent pas dépasser les limites admissibles pour les vitrages ;
- effets du vent agissant en dépression sur le joint de structure ; on calculera la section du joint en fonction du taux de travail accepté par rapport à la déformation maximale admise en traction (10 à 15 %).

Au total, les efforts en traction sous l'action du vent en dépression déterminent la hauteur du joint de structure et la hauteur du joint de scellement des doubles vitrages.

■ Poids des vitrages

Le poids des vitrages est soutenu mécaniquement par la structure, par l'intermédiaire d'une cale d'assise, car les mastics de collage, qui sont souples, ne sont pas conçus pour subir des efforts permanents de cisaillement.

■ Mouvements différentiels sur les joints de structure et d'étanchéité

Les mouvements de la structure porteuse, du gros œuvre (tassements, déformations sous charges permanentes...) doivent être absorbés au niveau des liaisons entre l'ossature porteuse et la structure de collage ; ils ne doivent donc pas affecter le joint de structure. Les seuls mouvements admissibles sont ceux qui résultent des dilatations différentes des vitrages et de la structure sur laquelle ils sont collés (figure 13). La résultante des dilatations différentes entraîne une déformation angulaire du mastic de collage et, donc, un cisaillement dans le plan de collage. L'amplitude maximale admissible détermine la profondeur des joints de

structure ainsi que des efforts de traction ou de compression dans le mastic d'étanchéité.

Les allongements maximaux des joints se déterminent à partir :

- des différences de températures maximales atteintes si le raccordement des remplissages est fait dans le cadre ;
- des différences de températures minimales atteintes si le raccordement des remplissages est fait entre cadres (cf. figure 13).

Les raccourcissements maximaux se déterminent à partir :

- des différences de températures minimales atteintes si le raccordement des remplissages est fait dans le cadre ;
- des différences de températures maximales atteintes si le raccordement est fait entre cadres.

On déterminera ensuite la forme et les dimensions du joint et le type de mastic d'étanchéité, en fonction des exigences et, en particulier, des sollicitations prévues.

■ Chocs par les habitants

La fonction garde-corps doit être remplie par une protection adéquate à l'intérieur des locaux.

■ Effet des incendies

Les ouvrages doivent satisfaire aux réglementations incendie, en particulier pour les immeubles de grande hauteur, où elles sont plus contraignantes.

7.2.2 Exigences pour les mastics de structure et d'étanchéité

■ Adhérence sur les divers matériaux

Les mastics doivent avoir une adhérence élevée et durable sur les structures de collage (cadres métalliques nus ou anodisés ou peints) et sur le verre. Il est conseillé de prévoir des primaires d'accrochage préconisés par le fabricant de mastics.

Selon les normes du syndicat français des joints et façades (SNJF), les essais suivants doivent être réalisés :

- adhésivité/cohéSION par traction jusqu'à la rupture, selon la norme NF EN 28 304 ;
- adhésivité/cohéSION en cisaillement ;
- adhésivité/cohéSION par traction jusqu'à la rupture après insolation sous vitrage selon la norme NF P 85-516 modifiée :
 - éprouvettes exposées au rayonnement sous extension de 12,5 %,
 - durée d'exposition de 2 000 heures,
 - détermination de l'adhésivité/cohéSION après chaque période de 500 h après suppression des contraintes ;
- adhésivité/cohéSION par traction jusqu'à la rupture après 7 jours d'immersion dans l'eau selon la norme EN ISO 10 591 ;
- adhésivité/cohéSION par traction jusqu'à la rupture après traitement thermique de 7 jours à 100 °C.

■ Propriétés mécaniques

Les mastics doivent avoir des élongations et modules adaptés.

■ Durabilité

L'adhérence des mastics ne doit pas être diminuée lors de l'exposition à l'environnement climatique. On devra donc vérifier la résistance à l'eau, aux variations de température, d'humidité, en procédant à des cycles en laboratoire, d'une durée et d'une amplitude suffisantes pour assurer la durabilité prévue pour l'ouvrage réel, qui en tout état de cause doit dépasser 30 ans. Les fabricants de mastics silicones pour VEC fournissent les éléments chiffrés concernant l'adhérence, les propriétés mécaniques des joints et leur durabilité.

■ Dimensionnement des joints

Le lecteur se reportera aux normes existantes pour le VEC (SNJF) et CSTB.

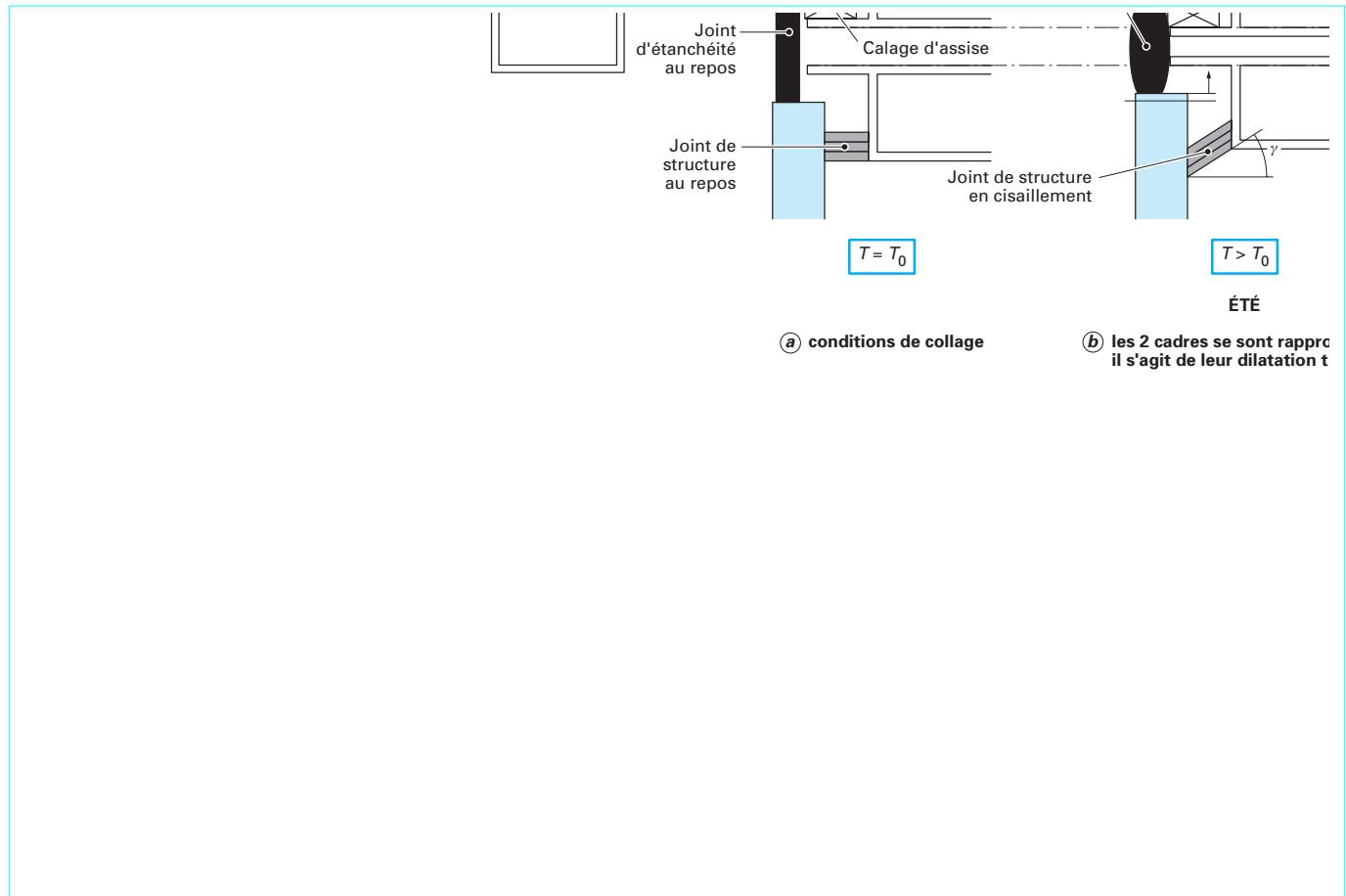


Figure 13 – Effet des dilatations différentielles sur les vitrages extérieurs collés

8. Scellements et ancrages

■ Scellements au mortier de ciment

Traditionnellement, les scellements de pièces métalliques dans le béton ou la pierre étaient réalisés au moyen de mortiers de ciment, et le sont encore. Il faut alors impérativement choisir un ciment très légèrement expansif lors du durcissement afin d'éviter tout descellement du fait d'un retrait éventuel.

Les fournisseurs de ciment indiquent quels sont leurs ciments expansifs pour scellements, tels le ciment Vicat.

Caractéristiques :

- il est recommandé d'additionner au mortier environ 5 % d'une émulsion styrène-butadiène ou vinylique afin d'améliorer l'adhérence sur le béton et sur les pièces métalliques ;
- le mortier doit avoir une consistance épaisse et non coulante afin de ne pas couler ou fluer en parties verticales ;
- l'adhérence sur les supports doit être supérieure à la résistance à la rupture de la pièce scellée ;
- le mortier de scellement doit résister aux intempéries, aux cycles gel-dégel, humidification-séchage ;

— la prise doit être rapide (quelques minutes à 1 h) afin de ne pas nécessiter un étayage prolongé.

■ Scellements aux résines époxydes

Les résines époxydes à deux composants durcissant à froid apportent une adhérence élevée sur les pièces métalliques et sur les matériaux de construction : béton, briques, pierres ; elles ne font pas de retrait lors du durcissement, elles ont une longue durabilité qui se compte en dizaines d'années, et constituent donc le meilleur choix, mais elles sont plus onéreuses que les mortiers de ciment. Cependant, elles sont toujours chargées au sable autour de 70 %, ce qui en limite le coût.

Exemple : de formulation et caractéristiques : mortier époxyde de réparation CM 6030 de la société Hilti.

Ce mortier comprend : résine + durcisseur + sable, le tout prédosé en kit de 38 kg. La DPU (durée pratique d'utilisation) est de 60 min à 20 °C. Il adhère sur tous supports de gros œuvre : béton, ciment, pierre, métaux usuels, même sur support humide non suintant, durcit complètement en 24 h, et donne, après 48 heures, les performances suivantes :

- résistance à la compression : 1 030 bar (100 MPa) ;
- résistance à la flexion : 360 bar (36 MPa).

Consommation : 1,9 kg par litre de mélange.

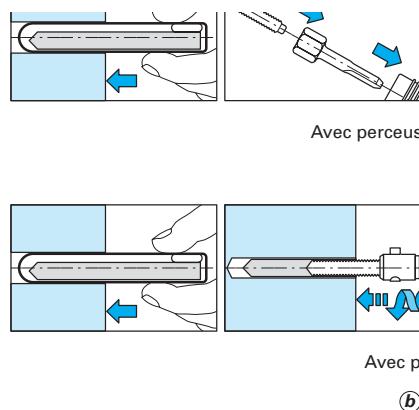


Figure 14 – Scellement chimique époxycrylate (source Hilti)

Scellement chimique époxycrylate

Certaines sociétés (Hilti, Spit...) fournissent des systèmes complets comprenant :

- une ampoule de verre contenant tous les composants : résine, durcisseur, grains de quartz ;
- une tige filetée avec écrou et rondelle pour une fixation mâle ou une douille d'ancre pour une fixation femelle (figure 14).

Lors de la pose de la pièce métallique, les éléments contenus dans l'ampoule se trouvent mélangés et le produit durcit rapidement, en 10 min à 20-25 °C ou en 20 min, entre 10 et 20 °C. Ces chevilles chimiques admettent des charges dynamiques élevées (telles que ancrages de câbles, de machines, rails d'ascenseurs...).

Exemple : pour une tige filetée de 12 mm de diamètre et de 160 mm de longueur, le perçage sera de 14 mm de diamètre et 110 mm de profondeur, ce qui laissera environ 37 mm d'épaisseur maximale à fixer par un écrou sur la tige filetée ; la résistance à l'arrachement sera de 5 000 daN environ et la charge limite de service de 1 440 daN (cahier des charges Socotec).

Scellements par injection

Ce système consiste à injecter un mastic à deux composants époxycrylate contenu dans une bicartouche spéciale, à l'aide d'un pistolet. Les deux composants sont mélangés au moment de l'injection par un système à vis et introduits dans un tamis placé dans le trou. Un élément de fixation métallique est ensuite introduit dans le tamis et donc parfaitement centré. Le scellement durcit en 1 h environ.

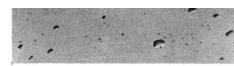
Ce système ingénieux est particulièrement adapté pour la fixation de charges lourdes dans des matériaux pleins ou même creux, car il y a répartition des charges sur une grande surface, comme le montrent les schémas de la figure 15.

Conception des scellements au mortier de ciment ou aux résines époxydés

Afin que les pièces scellées ne puissent pas sortir de leur logement ou de leur trou, il est préférable que ce trou s'élargisse vers l'intérieur (cf. figure 14) et que les forces d'arrachement éventuelles soient réparties sur la plus grande surface possible. Pour cela, les pattes de scellement doivent avoir une forme qui s'élargit à l'intérieur du logement.



Béton, roche



Maçonnerie pleine



Figure 15 – Scellements par injection (source Hilti)