

Colles et adhésifs

Caractéristiques et types

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. Domaines d'utilisation en construction	C 960 - 2
2. Intérêt du collage dans la construction	— 3
3. Choix de la technique de collage	— 5
3.1 Dans quels cas choisir de préférence le collage par rapport à d'autres techniques d'assemblage ?.....	— 5
3.2 Quel adhésif choisir parmi les différentes familles ?.....	— 6
4. Calcul et dimensionnement des surfaces collées	— 6
5. Caractéristiques des colles et adhésifs	— 7
5.1 Mode de prise	— 7
5.2 Préparation des surfaces.....	— 7
5.3 Mise en œuvre	— 10
5.4 Identification et contrôle	— 14
5.5 Caractéristiques mécaniques et physico-chimiques	— 14
5.6 Sécurité d'emploi.....	— 14
5.7 Prix de revient de l'assemblage	— 15
5.8 Autres éléments d'appréciation	— 15
6. Types de colles, adhésifs et mastics utilisés dans la construction	— 15
6.1 Colles <i>Néoprène</i> (ou polychloroprène).....	— 15
6.2 Colles aqueuses	— 16
6.3 Colles en poudre, cellulosiques et amylacées	— 17
6.4 Colles structurales ou semi-structurales à deux composants	— 17
6.5 Ciments-colles, plâtres-colles	— 19
7. Conclusion	— 19
Pour en savoir plus.....	Doc. C 962

Durant les cinquante dernières années, les techniques de collage se sont fortement développées, et cela pour différentes raisons. D'une part, la chimie des polymères a permis de formuler des colles et adhésifs beaucoup plus performants, plus durables, présentant des forces de collage plus élevées et des résultats prévisibles et fiables. Citons à titre d'exemple :

— le développement des colles à base de caoutchouc néoprène ou polychloroprène pendant la Seconde Guerre mondiale qui ont permis des collages puissants et durables par simple contact sous courte durée de pressage ;

— les adhésifs structuraux époxydes, également découverts à la même époque par le Suisse Castan, et qui ont donné, pour la première fois, des collages à haute résistance mécanique (jusqu'à 15 MPa en cisaillement) sur les métaux et ont donc été rapidement et largement utilisés en construction aéronautique puis automobile. Il faut rappeler que ces adhésifs époxydes sont aussi utilisés depuis 1960 pour le collage, avec une durabilité excellente, de voussoirs préfabriqués dans la construction de ponts en béton précontraint où l'on fait appel à la résistance en compression et au cisaillement ;

— puis l'apparition des colles aqueuses, vinyliques pour le bois, acryliques pour les plastiques ;
 — plus récemment, les adhésifs et mastics polyuréthanes aux nombreuses possibilités.

D'autre part, le collage a permis, dans certains cas, de supprimer les assemblages mécaniques, en remplaçant la couture, le vissage, la soudure, le sertissage, l'agrafage, etc. Il a permis aussi, en assemblant les pièces sur toute leur surface ou sur des zones plus grandes, de réduire les contraintes, de concevoir des pièces ou des assemblages différents. Par ailleurs, le collage, facile à automatiser sur les chaînes, a permis de réduire le poste « main-d'œuvre » dans certaines industries et a été largement utilisé pour la préfabrication d'éléments destinés au bâtiment (panneaux sandwichs, portes...).

Dans le bâtiment et les travaux publics, le collage a trouvé des applications importantes et multiples qui représentent les plus gros tonnages de l'industrie des colles, adhésifs et mastics.

Les techniques de collage, demandent une étude détaillée du problème pose, afin de pouvoir sélectionner le collage vis-à-vis des autres techniques d'assemblage, une compréhension des phénomènes physico-chimiques et mécaniques mis en jeu, ainsi qu'une bonne connaissance des différentes caractéristiques des colles et adhésifs permettant de choisir, concevoir, tester et contrôler un assemblage collé.

On distingue ainsi :

— les colles classiques pour coller des revêtements décoratifs, ne nécessitant pas des performances très élevées (par exemple, les colles aqueuses vinyliques et acryliques, les colles Néoprène) ;

— les colles semi-structurales présentant des performances mécaniques élevées (par exemple, les colles et mortiers-colles pour carrelages, les colles pour tuyaux PVC) ;

— les colles structurales à hautes performances qui, seules, permettent d'assembler solidement des pièces ou matériaux en métal, béton, verre, en obtenant une solidité du même ordre de grandeur que la résistance mécanique de ces matériaux (le meilleur exemple est celui des adhésifs époxydes pour béton et métaux).

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. Domaines d'utilisation en construction

Il existe de nombreuses applications du collage en construction que l'on peut classer en plusieurs types, pour une meilleure compréhension de leur mise en œuvre.

■ Les plus anciennes et les plus simples sont les **collages de revêtements décoratifs** : papiers peints, revêtements de sols plastiques, moquettes, placage de stratifiés décoratifs. Dans ces techniques, on colle un revêtement sur **toute sa surface** ; les risques de décollement sont faibles et sans danger pour autrui ; l'exigence de durabilité dans le temps n'est que de 10 ou 20 ans, car ces revêtements sont changés régulièrement. On bénéficie actuellement d'une longue expérience (50 ans) pour de tels collages.

■ Puis sont apparus, il y a 35 ans, les **ciments-colles** (en poudre) et les **colles pour carrelages**, revêtements céramiques et pierres, pour remplacer la pose traditionnelle au ciment.

Le risque ici peut être élevé si l'on pose des carrelages lourds en façade, surtout lorsqu'il s'agira d'immeubles de grande hauteur. De longues mises au point ont été nécessaires. Il a fallu, en outre, grâce à une normalisation européenne, codifier les produits, les méthodes de contrôle et les techniques de pose, afin d'assurer une fiabilité et une durabilité de l'ordre de 20 à 40 ans. Nous étudierons donc en détail ces colles pour carrelages, car elles préfigurent d'autres applications dites structurales, c'est-à-dire où les résistances mécaniques des collages sont du même ordre de grandeur que les matériaux de structure assemblés eux-mêmes. Des variantes des colles en poudre sont également utilisées pour d'autres collages de matériaux de construction (murs et cloisons, scellements).

■ De nombreux éléments de second œuvre sont **préfabriqués**, tels que portes et fenêtres, panneaux extérieurs ou intérieurs, doubles vitrages isolants, cloisons. Ils sont toujours réalisés par collage en usine à partir de divers matériaux : bois, agglomérés, plastiques, verre, plâtre ou ciment, mousses isolantes, etc.

■ Enfin, **divers collages à hautes performances, dits structuraux**, sont apparus depuis 35 ans, tels que le collage d'éléments en béton (par exemple, pour la construction de ponts en béton précontraint, le renforcement des ouvrages en béton armé) et, plus récemment il y a une quinzaine d'années le verre extérieur collé. Ici les performances exigées très élevées (forces de collage, durabilité et fiabilité) ont été rendues possibles grâce à certaines découvertes majeures de la chimie des polymères telles que les résines époxydes (qui permettent aussi de coller des éléments importants d'avions), les polyuréthanes et polysulfures, les mastics silicones, dont la durabilité est très grande et qui présentent une excellente adhérence sur le verre.

■ **Les mastics de jointoiement ou de calfeutrement des joints** sont proches sur le plan physico-chimique des adhésifs, mais servent, eux, à remplir un interstice entre deux éléments de construction, alors que les adhésifs servent à assembler des matériaux entre eux. Le lecteur intéressé se reportera à la référence [1] dans ce traité.

La figure 1 montre un immeuble moderne avec toutes les applications des colles, adhésifs et mastics existant actuellement.

2. Intérêt du collage dans la construction

Le tableau 1 montre que le collage est souvent la meilleure méthode d'assemblage :

- soit sur le plan technique ;
- soit sur le plan économique ;
- parfois aussi sur le plan esthétique (exemple : verre extérieur collé).

Enfin, c'est parfois la seule méthode d'assemblage possible.

Exemple : fixation de matériaux plastiques cellulaires, isolants thermiques et phoniques.

Les colles actuelles ont certaines **limites** (tenue à la chaleur, durabilité) qu'il faut connaître, afin de les utiliser dans leur domaine de possibilités.

Tableau 1 – Intérêt du collage dans la construction

Avantages	Inconvénients ou limites
<ul style="list-style-type: none"> • Seule méthode possible pour la fixation de revêtements en feuilles (revêtements décoratifs, protecteurs, d'étanchéité, etc.) • Seule méthode d'assemblage possible pour les complexes, les panneaux sandwichs et certains composites, les doubles vitrages • Répartition régulière des contraintes (exemples : renfort d'ouvrages en béton par des tôles plaquées, panneaux sandwichs) • Possibilité d'assembler des matériaux de natures complètement différentes (exemple : polystyrène expansé sur matériaux solides structuraux) • Aucun affaiblissement des matériaux assemblés (pas de trous à percer...), l'ensemble collé peut même avoir une résistance mécanique supérieure à la somme de celles des parties assemblées (panneaux sandwichs...) • Surfaces lisses, pièces de bel aspect (exemples : verre extérieur collé, habillages de façades). Fixation invisible • Étanchéité des joints collés • Élasticité des joints collés qui peuvent amortir les vibrations dans certains cas et tolérer les variations dimensionnelles s'ils sont convenablement formulés pour cela. Exemple : collage de matériaux présentant des dilatations différentes (verre/métal)... • Prix de revient généralement plus faible que celui des assemblages traditionnels • Bonne résistance à la corrosion (moyennant un choix adéquat du type de colle) • Rôle de scellement et de rattrapage de dénivellations et de planéité pour certaines colles épaisses et mastics ou mortiers, capables d'être appliqués en forte épaisseur • Contrairement aux fixations métalliques, ne conduit ni la chaleur ni l'électricité • Économise le bois massif, rare et cher, en permettant l'utilisation de pièces de bois de petite section dans le cas de charpentes lamellées-collées, de minces placages, de déchets ou particules de bois agglomérés • Empêche la déformation des revêtements de sols souples, en les plaquant au sol • Ne nécessite pas d'outillage particulier ; applicable manuellement sur chantiers (sauf pour la préfabrication). 	<ul style="list-style-type: none"> • Un bon collage nécessite des surfaces propres, sèches, planes, etc., ce qui n'est pas toujours possible dans le bâtiment • Nécessite du soin de la part des ouvriers, un contrôle de la part de la maîtrise, une conception adaptée de la part des bureaux d'études. Cela nécessite formation, adaptation et connaissance technique du collage • Résistance à la chaleur souvent limitée : selon les types de colles, le ramollissement commence à partir de 60 °C, jusqu'à 200 °C maximum • Résistance au feu médiocre • Faible résistance au fluage à températures élevées • Avec certaines colles ordinaires, la durabilité des collages, lorsqu'ils sont soumis aux intempéries, à l'humidité, à la chaleur, à des cycles thermiques, etc., est parfois limitée à 5, 10 ou 15 ans. (Inversement, les adhésifs époxydes pour travaux publics et les ciments-colles sont de durabilité supérieure à quelques dizaines d'années) • Durée de durcissement parfois longue (pouvant atteindre 10 à 15 h à température ambiante) • Les forces d'arrachement susceptibles d'être obtenues ne sont pas toujours connues de l'utilisateur (toujours une part d'inconnu « Pourquoi ça colle ? ») • Le contrôle des joints collés est parfois difficile • Les assemblages doivent être conçus pour le collage • Les assemblages structuraux, performants, nécessitent un traitement des surfaces.

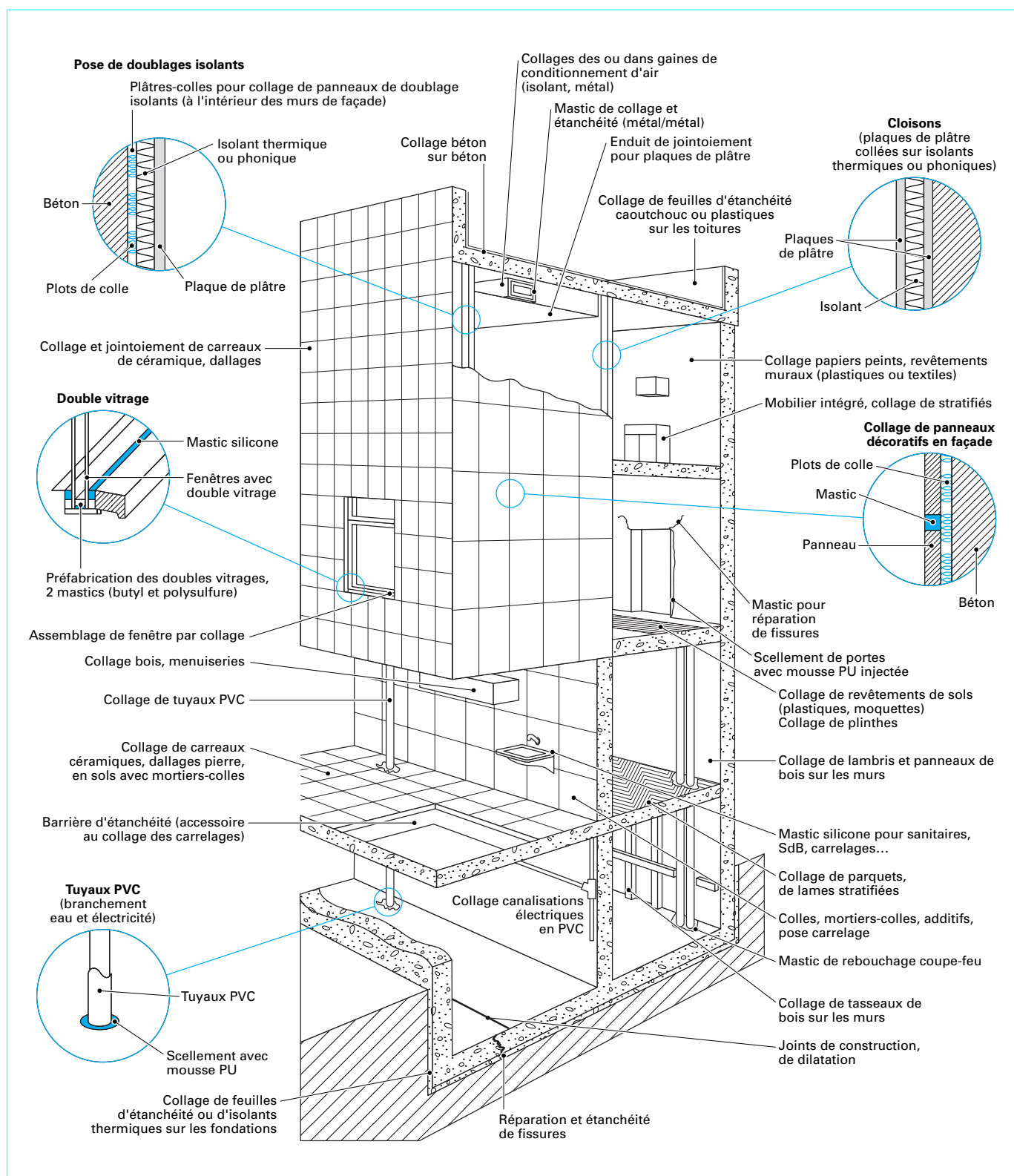


Figure 1 – Travaux de collage dans la construction

Ces limites reculent régulièrement avec l'évolution de la technique et des produits chimiques.

Il ne manque pas de colles adaptées aux différents matériaux et aux différents problèmes d'assemblage. Ce qui manque le plus, c'est la connaissance des techniques de collage et de ses règles ainsi que des performances réalisables, objet de cet article.

3. Choix de la technique de collage

3.1 Dans quels cas choisir de préférence le collage par rapport à d'autres techniques d'assemblage ?

Selon le tableau 1, le collage présente des avantages décisifs dans les cas suivants.

■ Répartition régulière des contraintes, rigidité et homogénéité du joint

Les liaisons par collage sont, à épaisseurs de matériaux égales, beaucoup plus rigides que les assemblages classiques par vis, rivets, boulons (figure 2).

La colle forme un joint sur toute la surface, alors que les assemblages mécaniques, discontinus, donnent des concentrations de tensions internes et une répartition irrégulière de la rigidité.

La répartition uniforme des charges et des contraintes permet une plus grande résistance et rigidité de l'assemblage, ce qui, à son tour, permet d'utiliser des matériaux plus minces ou plus légers. Dans le cas de constructions que l'on cherche à alléger telles que plates-formes flottantes, immeubles de très grande hauteur, constructions modulaires, temporaires, métalliques, passerelles et ponts, le collage peut être une méthode intéressante.

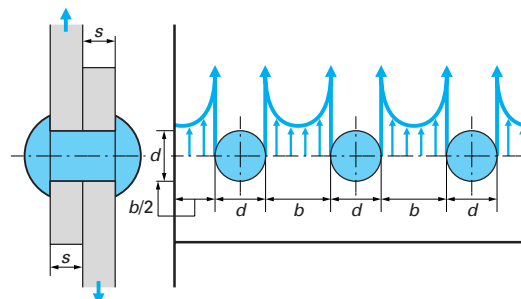
■ Surfaces lisses, pièces de bel aspect, design plus libre

Le collage permet d'obtenir des surfaces plus lisses, en éliminant les fixations mécaniques visibles (vis, rivets, boulons qui font saillie). Il permet aussi la liberté des formes, des jonctions simples et invisibles, donc un design architectural bien plus créatif et esthétique...

Exemple : verre extérieur collé permettant la construction d'immeubles superbes avec des façades en verre totalement lisses et continues (figure 3).

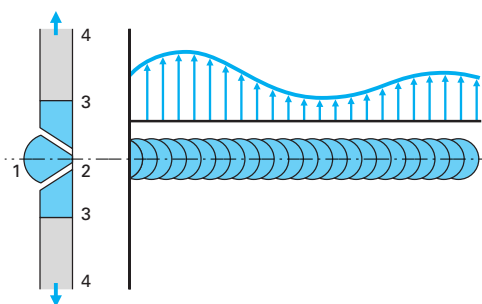
■ Possibilité d'assembler des matériaux très différents (nature, épaisseur, dilatation...)

C'est un avantage très intéressant en construction où il existe de très nombreux matériaux : béton, plâtre, métaux, plastiques, verre, stratifiés, bois, agglomérés, qui ont des comportements très différents, sont difficiles à marier entre eux, présentant des coefficients de dilatation différents, ce qui n'autorise pas une liaison rigide : des mastics souples tels les silicones ou les adhésifs élastomères permettent alors une jonction permanente mais tolèrent de légers mouvements relatifs. Ainsi, on peut assembler les doubles vitrages verre sur métal, les panneaux sandwichs constitués de parements métalliques ou de fibrociment sur âme isolante en mousse plastique, les revêtements en feuilles plus ou moins



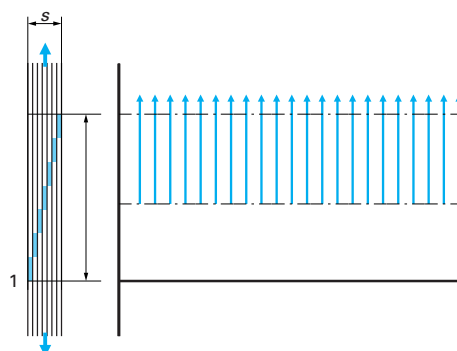
Rivetage : pointes de contrainte à la périphérie des rivets
 b intervalle des trous de rivure
 d diamètre des trous de rivure
 s épaisseur de la tôle

(a) assemblage à rivets



Soudage : répartition irrégulière des contraintes, due à la superposition des tensions de soudage
 1 cordon de soudure
 2 zone de surchauffe
 3 zone d'affaiblissement thermique
 4 zone non affectée par le soudage

(b) assemblage par soudage



Collage (joint en biseau) : répartition uniforme des contraintes
 1 joint de colle
 s épaisseur de la tôle

(c) assemblage par collage (joint en biseau)

Figure 2 – Répartition des contraintes

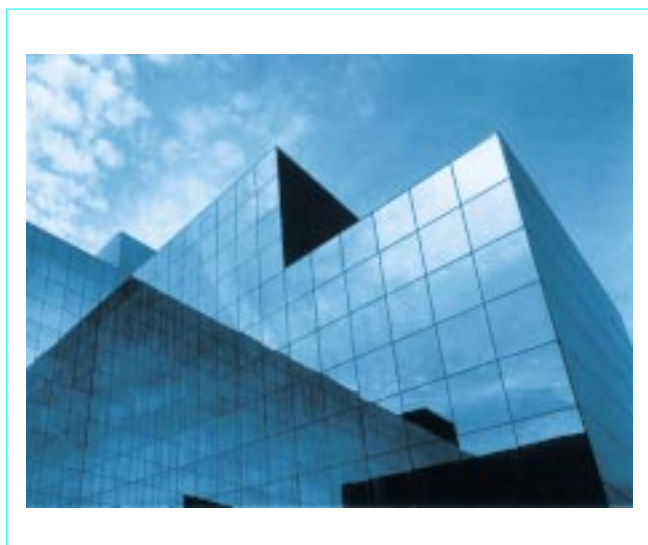


Figure 3 – Façade en verre extérieur collé (photo : *Revue Architecture*)

minces sur d'autres matériaux massifs... Par contre, ce collage présente des inconvénients ou limites (cf. tableau 1) : les assemblages collés doivent être spécialement conçus, préparés et contrôlés, les surfaces doivent être soigneusement préparées..., pour assurer la fiabilité et la durabilité nécessaires.

On peut, bien sûr, associer collage et assemblage mécanique, par exemple serticollé, collé-cloué... en additionnant les possibilités des deux techniques et en fiabilisant l'assemblage collé par une fixation complémentaire légère.

On peut enfin réaliser des assemblages tubulaires collés, des encastrement.

Dans les scellements au mortier-ciment + sable, on utilise aussi des additifs divers en émulsion ou poudres, pour améliorer l'adhérence, la plasticité, la résistance à la fissuration, contrôler la rhéologie de la pâte au moment de son application (viscosité)...

3.2 Quel adhésif choisir parmi les différentes familles ?

Le choix d'un adhésif dépend de nombreux paramètres (15 à 20 en général) parmi lesquels les principaux sont :

- la compatibilité avec les nombreux matériaux à coller (cf. § 7) ;
- les performances de l'adhésif et les exigences pour l'assemblage, la résistance mécanique, la tenue à l'eau, à l'environnement... ;
- le mode de mise en œuvre (manuel sur chantier ou avec un équipement spécial dans le cas de préfabrication en usine), le mode de prise et sa durée (cf. § 5) ;
- la conformité à des normes et règlements (cf. § 5.8 et [Doc. C 962]) ;
- la sécurité, la durabilité ;
- le prix de revient et les aspects économiques.

Il n'y a pas de colle universelle. Au contraire, il y a un ou plusieurs types de colles pour chaque matériau, chaque problème de collage, ce qui explique que l'on a besoin de quelques dizaines de colles et adhésifs différents pour coller tous les matériaux en construction, comme nous le montrerons au paragraphe 6.

Le choix de l'adhésif est toujours un choix multicritère et le cahier des charges de tout problème de collage doit en préciser toutes les exigences.

4. Calcul et dimensionnement des surfaces collées

L'exigence maîtresse du collage est de faire travailler les assemblages collés en cisaillement, en répartissant les efforts sur de larges surfaces.

■ Cas des collages de revêtements

Les revêtements sont collés sur toute leur surface, les exigences mécaniques sont donc modestes, et il suffit en général d'une colle classique (émulsion acrylique ou vinylique ou colle contact *Néoprène*) pour obtenir un collage suffisamment durable, de l'ordre de 8 à 20 ans, de tenue supérieure à celle des revêtements qui s'usent et doivent être renouvelés.

Il suffira de protéger les solutions de continuité, telles que les joints, afin d'éviter le pelage ou une dégradation par l'eau ou par d'autres agents pouvant y pénétrer.

■ Collages structuraux ou semi-structuraux

● Géométrie et conception des joints

Les adhésifs sont en général des polymères organiques de caractéristiques mécaniques limitées (forces d'arrachement de quelques dizaines de mégapascals). La surface collée doit donc être la plus grande possible, afin que les efforts admissibles soient les plus élevés possible. Il faut donc éviter toute concentration locale des efforts mécaniques dans un joint de collage.

La figure 4 montre les différents types de sollicitations mécaniques des joints collés. Le clivage, le pelage, la traction pure sur une faible surface collée, sont à éviter, car il y a une concentration trop importante des efforts sur des petites surfaces.

Remarque : les contraintes en cisaillement et en fluage sont les mêmes, à savoir une force parallèle aux pièces, mais :

- dans le fluage, la force est donnée (en général modérée, très inférieure à la force de rupture) et on mesure le temps de glissement ;
- dans le cisaillement, on mesure la force de rupture.

● Modes d'assemblage

Les schémas de la figure 5 recensent un certain nombre de formes géométriques des joints et indiquent celles qu'il faut éviter ou même proscrire, ainsi que la manière d'augmenter fortement les surfaces de collage et de mieux répartir les contraintes.

● Calcul et dimensionnement des joints

Depuis trente ans, de nombreux auteurs (Volkersen, Debye et Houwinck, Goland et Reissner) ont mené des études expérimentales et théoriques afin de calculer et d'optimiser les divers types de joints collés.

Pour cela, il existe diverses méthodes de calcul par éléments finis et les logiciels correspondants.

Ces méthodes ne seront pas étudiées ici. Nous renvoyons le lecteur aux nombreux ouvrages techniques et scientifiques qui en traitent et qui sont recensés en [Doc. C 962].

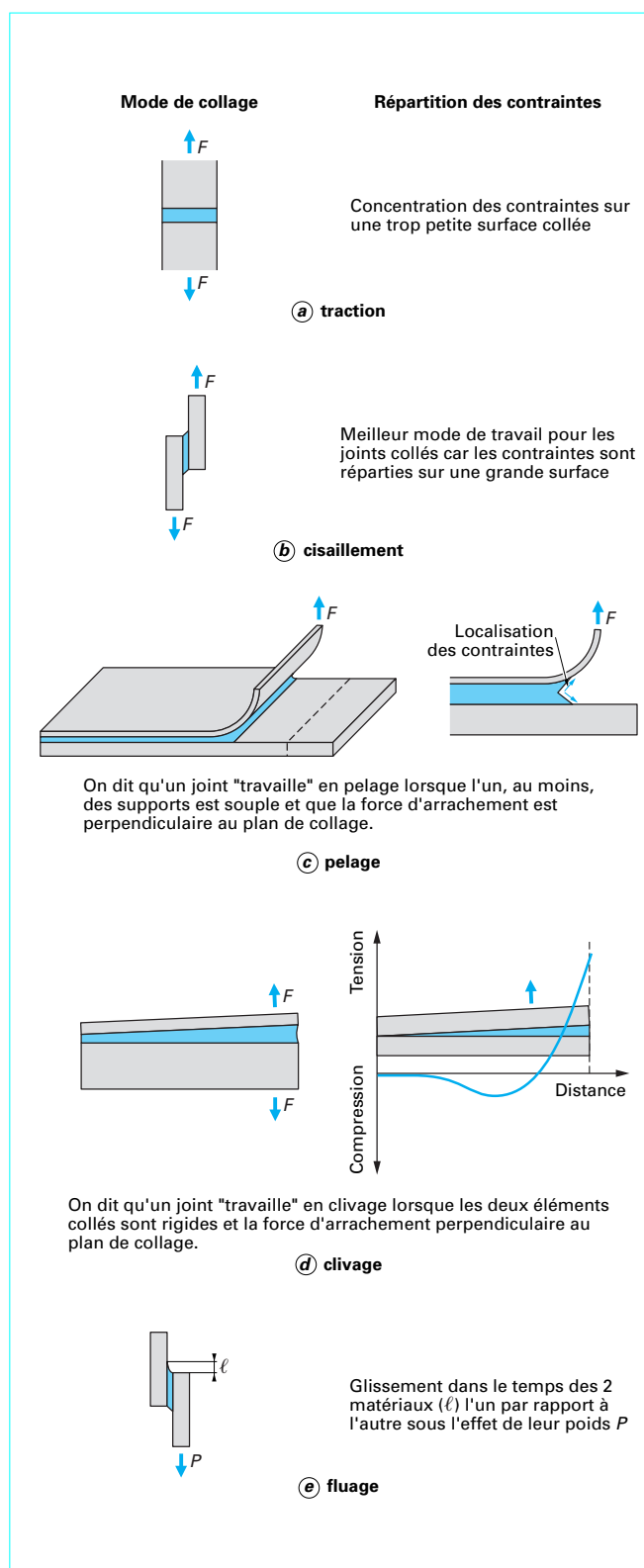


Figure 4 – Divers modes de sollicitations mécaniques des collages

5. Caractéristiques des colles et adhésifs

5.1 Mode de prise

Dans tous les cas, un adhésif ou une colle est un produit :

— qui est, **au départ, pâteux ou liquide**, ce qui lui permet d'être étalé sur les matériaux à assembler. L'adhésif doit alors s'accrocher sur ces matériaux (phénomène de l'*adhésion* (figure 6), nécessitant de *mouiller* correctement les supports) ;

— **puis, qui durcit** à un moment donné, afin d'assurer une liaison solide, mécaniquement résistante entre les deux matériaux (phénomène de la *prise* de la colle, ou *durcissement*, ou *séchage*, selon le cas). On dit que la colle développe sa **cohésion**.

Le mode de prise des colles et adhésifs dépend de leur nature chimique et physique. Plusieurs systèmes peuvent être utilisés pour obtenir la prise des colles et adhésifs :

- absorption et évaporation du liquide porteur (solvants ou eau) ;
- chaleur ;
- réactions chimiques diverses ;
- polymérisation ou condensation chimique ;
- refroidissement d'un adhésif préalablement fondu à chaud.

Les dix modes de prise utilisables dans l'état actuel de la technique sont recensés dans le tableau 2.

5.2 Préparation des surfaces

Pour obtenir un bon collage, durable et fiable, il est toujours nécessaire de préparer convenablement les surfaces à coller, afin de les rendre :

- propres, car un adhésif adhère mal sur une surface polluée, ainsi que saines et solides, car il faut que l'adhésif vienne en contact avec une surface solide du matériau à coller ;
- planes ou présentant le profil adéquat pour un bon ancrage de l'adhésif et pour une bonne répartition des efforts ;
- capables d'une absorption convenant au mode de prise de la colle, ce qui nécessite éventuellement un traitement de surface ;
- sèches, car la plupart des adhésifs ne tolèrent pas l'humidité dans les supports.

Nettoyage des surfaces

● **Le béton** doit être soigneusement nettoyé, pour le débarrasser de toutes parties friables, poussiéreuses, mal adhérentes, de toute pollution telle que huiles de décoffrage, traces de peinture... Pour cela, il existe diverses méthodes : brossage à la brosse métallique, brûlage superficiel à la lance thermique, grenaillage, balayage suivi d'une aspiration des poussières et des parties friables...

● **Les métaux et plastiques** doivent être nettoyés aux solvants ou décapés selon les cas. Sur les métaux, la rouille doit évidemment être éliminée par brossage ou grenaillage, l'acier sera éventuellement revêtu d'un primaire antirouille (par exemple un époxyde).

● **Le verre** doit être soigneusement nettoyé au solvant ou avec de l'eau additionnée de tensioactifs et rincé soigneusement à l'eau pure ; pour les collages structuraux, il doit recevoir un primaire d'accrochage spécial (silanes, par exemple) recommandé par le fabricant d'adhésif.

Planéité des surfaces

Les parties à coller devront avoir une planéité convenant au type de colle utilisé (cf. § 5.3.5) :

- les bois doivent être rabotés pour être plans ;

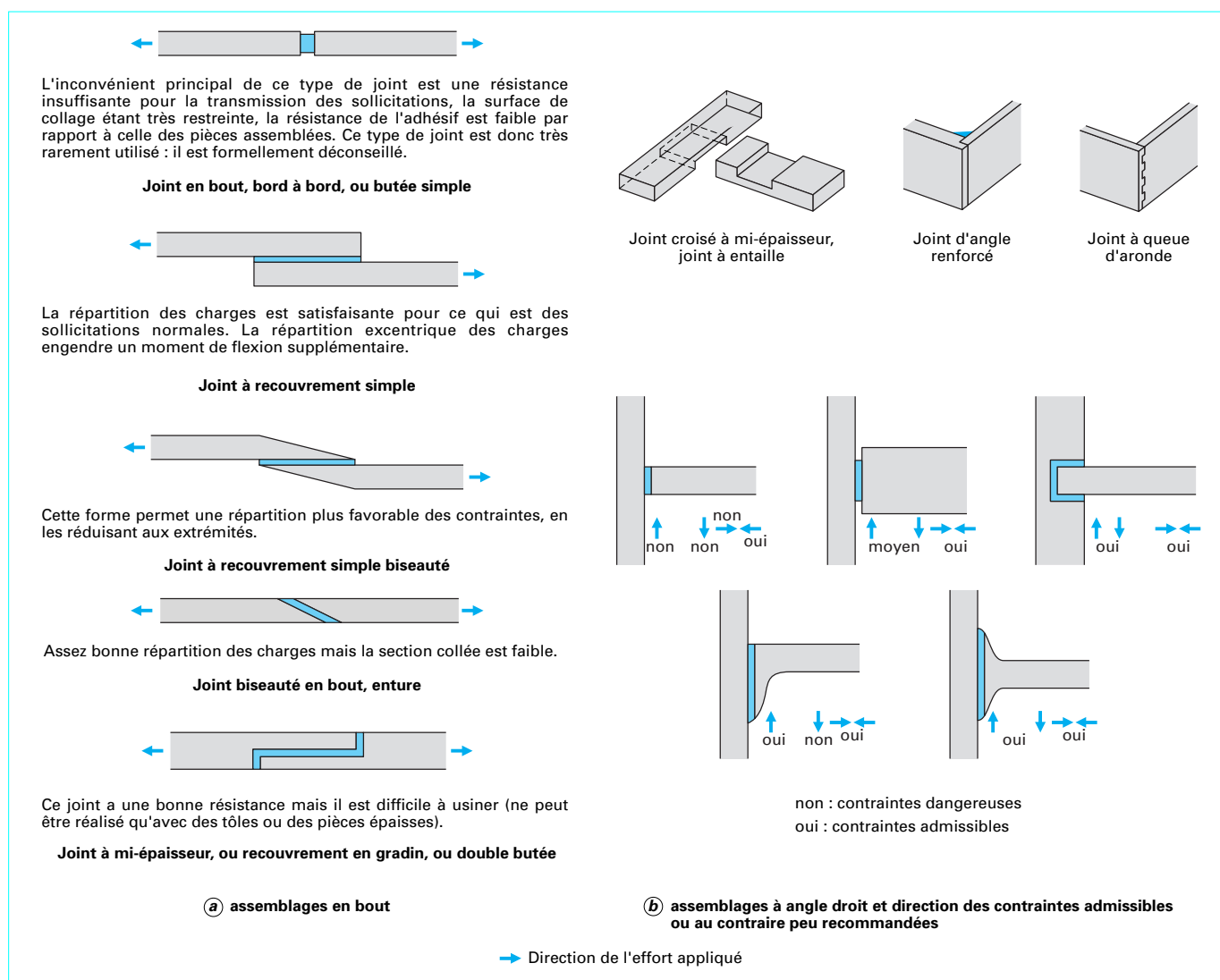


Figure 5 – Modes d'assemblage les plus courants

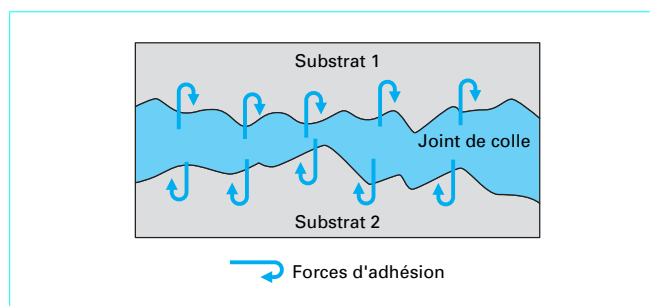


Figure 6 – Schématisation de la prise d'un adhésif ou d'une colle

- les bétons doivent être suffisamment plans ou présenter des surfaces dites conjuguées ; les sols en béton reçoivent en général un enduit de lissage avant le collage des revêtements de sol ;
- les métaux doivent être dressés et plans.

Il faut se rappeler que la plupart des colles ne fonctionnent qu'avec des joints minces, de quelques dixièmes de millimètre d'épaisseur maximum en général. Seules les colles époxydes chargées et les mortiers-colles tolèrent des joints de colle plus épais, de l'ordre de un à plusieurs millimètres, selon les cas.

■ Traitement des surfaces

- Avec certains adhésifs qui nécessitent un accrochage mécanique, les surfaces trop lisses doivent être poncées et dépolies, afin que la colle s'ancre dans le matériau.
- Avec certains matériaux lisses, inertes, non absorbants, et avec certaines colles, il convient d'appliquer un primaire d'accrochage fluide et très adhérent pour augmenter l'adhérence de l'adhésif, d'un mortier-colle ou d'un mastic d'étanchéité.

Tableau 2 – Caractéristiques des colles et adhésifs. Modes de prise

Types de colles	Modes de prise	Paramètres de prise	Exemples
Colles à l'eau (émulsions, solutions aqueuses)	Évaporation de l'eau avant assemblage Absorption de l'eau par les substrats poreux	Épaisseur du joint de colle Degré d'absorption des substrats Température et humidité Liaison entre l'eau et les polymères de base	Émulsions acryliques, vinyliques, colles végétales Colles en poudre pour papiers peints, à dissoudre dans l'eau
Colles et mastics en solution	Absorption par les substrats et évaporation des solvants	Taux d'évaporation des solvants Ventilation et température Absorption	Colles pour tuyaux PVC Colles résine-alcool pour moquettes Mastics <i>Néoprène</i> et SBR pour panneaux, isolants, tasseaux
Colles contact (double encollage)	Préséchage des solvants puis prise immédiate par contact	Ceux des colles en solution Temps ouvert. Temps de gommage. Pression	<i>Néoprène</i> (double encollage)
Colles et mastics (2 composants)	Réaction chimique entre les deux composants (à température ambiante ou à chaud)	Réactivité des deux composants Température et durée Proportions du mélange	Époxydes, polyuréthanes, thiokols
Colles thermodurcissables (1 ou 2 composants)	Réaction chimique de polymérisation ou de condensation accélérée par la chaleur et/ou par un durcisseur	Réactivité Température et durée Éventuellement, addition d'un catalyseur Proportions du mélange	Urée-formol Résorcine-formol
Adhésifs thermofusibles (encore appelés <i>Hot melts</i>)	Refroidissement de la colle, préalablement fondue (150 à 200 °C)	Vitesse de refroidissement Pente de la courbe de viscosité $v = f(t)$ Température d'application Épaisseur du joint de colle	Hot melts EVA (éthylène-acétate de vinyle) Polyamides Pas utilisés dans le bâtiment
Monomères polymérisables	Monomère liquide qui polymérise très rapidement : — soit sous l'action de catalyseurs basiques (cas des cyanoacrylates) ; — soit en l'absence d'oxygène (cas des anaérobies)	Épaisseur du joint pH, température et humidité (pour les cyanoacrylates) Présence d'ions métalliques ; absence d'oxygène (pour les colles anaérobies)	Cyanoacrylates Colles anaérobies (pas encore utilisés dans le bâtiment) Acryliques deux composants
Colles et mastics polymérisant sous l'action de l'humidité	Réaction chimique entre l'humidité (ambiante ou des matériaux) et l'adhésif contenant des terminaisons isocyanates ou autres	Réactivité des isocyanates Seuils minimaux d'humidité de l'air et des substrats Température	Polyuréthanes (un composant), silicones
Autoadhésifs ou adhésifs sensibles à la pression	Enduction collante de façon permanente	Adhésivité de la formule Pression exercée	Rubans adhésifs (une ou deux faces) Revêtements autoadhésifs
Colles et liants minéraux (bases ciment et plâtre)	Durcissement sous l'action de l'eau de gâchage	Réactivité de la formule Température	Plâtres-colles Ciments-colles, mortiers-colles

● Sur les matériaux très poreux et très absorbants, on appliquera également un primaire ou première couche d'accrochage qu'on laissera sécher avant d'appliquer la couche suivante d'adhésif (figure 7). Ce primaire pénétrera dans le support et en colmatra sa porosité excessive, de façon qu'il reste suffisamment d'adhésif pour garnir le joint de collage.

● Pour le collage structural, les métaux doivent recevoir un traitement de surface chimique afin d'obtenir des valeurs d'adhérence élevées ; divers traitements sont possibles : sulfochromique, anodisation, phosphatation (cf. bibliographie en [Doc. C 962]).

■ Mesure du taux d'humidité

Certaines colles ne supportent pas une humidité constante (par exemple, les colles vinyliques). Pour certains collages, on prendra donc soin de mesurer le taux d'humidité dans les supports et on

n'effectuera le collage que lorsque les matériaux auront atteint le taux d'humidité requis par le fabricant d'adhésif.

En général, le béton ne doit pas contenir plus de 3 % d'humidité pour les colles classiques, mais certains adhésifs peuvent s'accommoder d'une teneur en humidité supérieure (pour les époxydes, 5 à 6 % d'humidité par exemple). L'humidité contenue dans les bétons, les plâtres, le bois et les autres matériaux de construction se mesure très facilement sur chantier avec un hygromètre à pointes (figure 8) ou avec une bombe à carbure de calcium.

La surface des métaux, des plastiques, du verre, matériaux totalement imperméables, doit être totalement sèche, sinon l'humidité s'interposerait entre les matériaux et la colle et détruirait la qualité du collage.



Figure 7 – Application d'un primaire d'accrochage



Figure 8 – Mesure de l'humidité des bétons

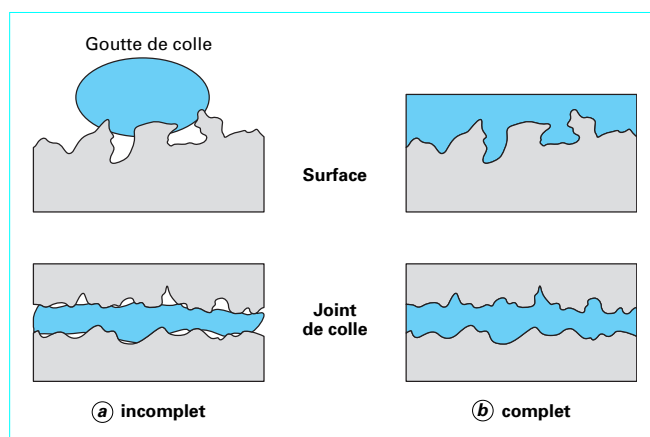


Figure 9 – Mouillage des surfaces par l'adhésif

Par temps froid et humide il convient donc d'arrêter totalement la pose sur chantiers. Les fabricants de colles recommandent en général de ne poser que lorsque la température est comprise entre 12 et 30 °C et l'humidité ambiante entre 30 et 75 % (cf. § 5.3).

■ Mouillage des surfaces à coller

L'adhésif doit pénétrer dans les moindres aspérités de surface des matériaux à coller, car sinon les forces de collage seraient beaucoup trop faibles. La figure 9 montre l'importance d'un bon mouillage des surfaces et de la pénétration de l'adhésif.

5.3 Mise en œuvre

5.3.1 Température de travail

La température minimale des matériaux à assembler, de la colle, du chantier ou de l'atelier dépend des colles utilisées.

■ Pour les **colles vinyliques** (colles blanches), elle ne doit pas être inférieure au **point de craie**.

Point de craie : température au-dessous de laquelle il n'y a plus formation d'un film continu de colle.

Cette température est de 2 à 10 °C pour une colle vinylique classique. On doit donc travailler à une température supérieure à 15 °C.

■ Pour les **colles Néoprène**, elle ne doit pas être inférieure au **point de rosée**.

Point de rosée : s'il fait froid et humide, lorsque les solvants s'évaporent, cela provoque un abaissement de la température à la surface du film adhésif sur laquelle peut se former une condensation d'humidité nuisible. On peut la détecter de la façon suivante : normalement, lorsqu'un film de colle *Néoprène* sèche, il devient brillant. Au contraire, s'il y a cette condensation d'humidité, il se forme un voile mat à la surface du film. Dans ce cas, les deux films d'adhésifs ne se souderont pas entre eux, car l'interposition de cette fine pellicule d'humidité les en empêchera. La seule solution consiste alors à chauffer l'atelier où l'on travaille afin de se trouver dans une ambiance plus sèche et à une température d'au moins 15 °C.

5.3.2 Proportion du mélange

Elle ne concerne que les colles à deux composants ou les poudres que l'on gâche à l'eau.

Se reporter aux notices techniques car il importe de respecter au mieux les dosages prescrits par le fournisseur.

Notons que le mélange des deux composants peut être réalisé avec une perceuse équipée d'un fouet (figure 10).

5.3.3 Matériel et mode d'application

■ La **colle doit d'abord être étalée**, sur les matériaux à assembler, avec un outil adéquat (figure 11) :

— spatule lisse ou dentelée pour calibrer l'épaisseur de colle, raclette ;



Figure 10 – Mélange des deux composants d'une colle

- pinceau, rouleau, pistolet pour cartouches manuelles ;
- gant, pour les surfaces à contours variables ;
- éventuellement, si l'on dispose d'énergie sur le chantier pistolet automatique ou autre système mécanisé.

Sur les chantiers du bâtiment, l'application est presque exclusivement manuelle, mais il sera souhaitable, dans le futur, de la mécaniser. En préfabrication l'application est automatisée.

■ L'encollage peut se faire :

— soit **sur une seule des surfaces à assembler**, et, dans ce cas, on encolle généralement le support pour des raisons de commodité, sauf pour le papier peint où l'on pose le papier préalablement encollé sur le support (mur ou plafond). C'est ce que l'on appelle le **simple encollage**.

Les colles émulsions vinyliques et acryliques, les colles résine-alcool s'utilisent en simple encollage : on applique le revêtement sur la colle alors que le film de colle est encore plus ou moins humide (le solvant ou l'eau ne sont pas encore complètement évaporés ; ils finiront de sécher par absorption par le support ou en traversant le revêtement) ;

— soit **sur les deux faces à assembler** : support et revêtement ; c'est le **double encollage**.

Seules, les colles *Néoprène* sont utilisées en double encollage, d'où leur nom de *colles contact* : quand le solvant est presque évaporé, les deux films adhèrent fortement l'un à l'autre par simple contact. Il en résulte que l'on ne peut plus ajuster les matériaux, alors que cela est possible avec les colles à simple encollage.

L'encollage est le plus souvent réalisé avec une spatule dentelée pour les revêtements de sols. Les colles murales sont fréquemment appliquées au rouleau de peintre.

Les mastics sont, en général, appliqués au pistolet ou à la pompe à main, à partir de cartouches. L'application au pistolet (type pistolet à peinture) sous pression est possible pour certaines colles très fluides comme certaines colles *Néoprène*.

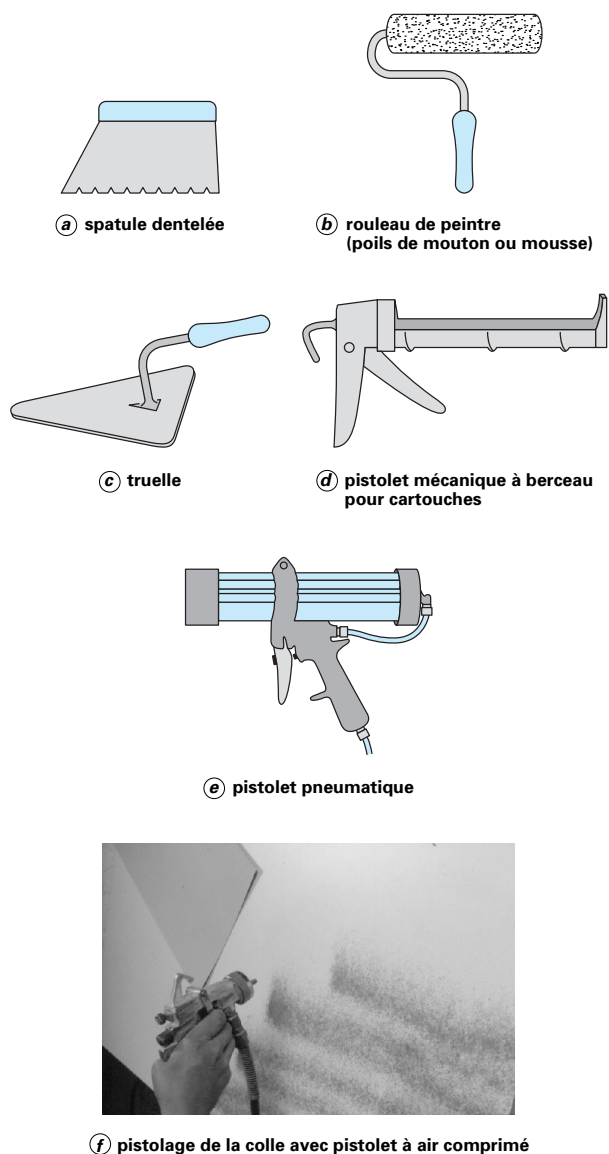


Figure 11 – Outils pour application des colles, des adhésifs et des mastics

5.3.4 Viscosité

La viscosité (ou fluidité) de la colle doit être adaptée au mode d'encollage, à l'outillage disponible, à la quantité de colle que l'on désire appliquer par mètre carré de surface, au risque de coulures (application sur surfaces verticales).

Elle se mesure en pascals · secondes ($\text{Pa} \cdot \text{s}$), à l'aide d'un viscosimètre Brookfield, selon la norme NF T 76-102 (cf. [Doc. C 962]).

Les colles les plus fluides peuvent avoir des viscosités inférieures à $1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$.

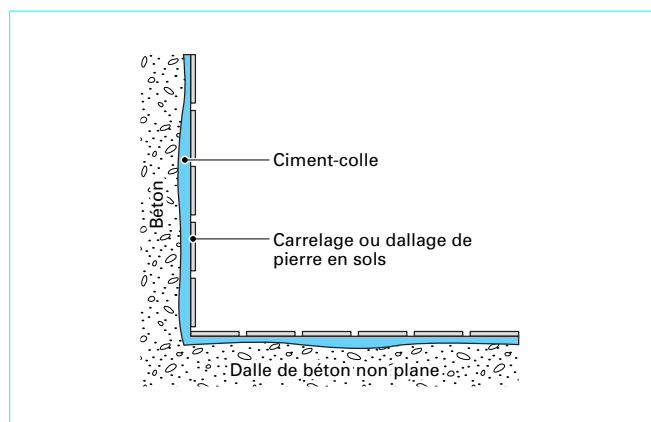


Figure 12 – Rattrapage des dénivellations des planchers et des murs dans le collage de carrelages

Les colles chantiers les plus épaisses ont des viscosités de 20 à 100 Pa · s.

Les mastics ont des viscosités comprises entre 150 et 1 000 Pa · s.

Rhéologie : certaines colles peuvent être thixotropes (elles se fluidifient lorsqu'on les brasse).

5.3.5 Épaisseur minimale-maximale

Si les deux surfaces à assembler sont parfaitement planes, on peut se limiter en général, pour des applications en bâtiment, à une épaisseur de colle de l'ordre de 2/10 mm (correspondant à 200 g/m² pour une colle de densité 1).

Si les deux surfaces sont rugueuses, il faut remplir le joint entre ces surfaces, ce qui peut nécessiter des épaisseurs de colles beaucoup plus importantes (figure 12).

Certaines colles peuvent faire leur prise en forte épaisseur ; c'est le cas :

— des colles sans solvants et sans eau, qui font leur prise par réaction chimique :

- colles à deux composants (époxydes, polyuréthanes),
- certaines colles thermodurcissables (urée-formol spéciales pour joints épais) ;

— des mortiers-colles et des plâtres-colles.

D'autres colles ne peuvent faire leur prise convenablement qu'en fine épaisseur (de quelques centièmes à quelques dixièmes de millimètre). C'est le cas des colles aqueuses et des colles solvantées, car il faut que l'eau ou les solvants puissent « quitter » le joint de colle suffisamment rapidement.

5.3.6 Durée de vie en pot ou durée pratique d'utilisation

Cette notion ne concerne que les colles à deux composants, les ciments-colles et les plâtres-colles.

La **vie en pot** (ou pot-life) est la durée pendant laquelle la colle peut être mise en œuvre, à partir du moment où les deux composants ont été mélangés. Au fur et à mesure que la réaction chimique entre les deux composants avance, ces colles épaississent, ne peuvent plus accrocher sur les matériaux ni être étalées, et deviennent inutilisables au bout d'un certain temps.

La **durée pratique d'utilisation (DPU)** varie uniquement avec la température et la réactivité des composants.

Exemple : pour un adhésif époxyde à deux composants, la DPU est de 1 h environ, pour une durée de prise de quelques heures (cf. § 5.3.10).

5.3.7 Consommation ou grammage

C'est la quantité de colle que l'on étale sur une surface donnée ; on la mesure en grammes par mètre carré (g/m²).

Pour obtenir un bon collage, il faut mettre assez de colle mais pas trop :

— **si l'on ne met pas assez de colle**, la force de collage est insuffisante, car il n'y a pas assez de contact entre colle et matériaux. Si les matériaux sont poreux et la colle fluide, elle risque d'être absorbée par le support ou le revêtement, laissant alors une couche insuffisante pour assurer un bon collage ;

— inversement, **si le film de colle est trop épais**, les solvants ou l'eau de la colle pourront rester enfermés à l'intérieur et mettront longtemps à partir. Le film de colle restera donc mou pendant un certain temps, d'où le risque de glissement.

Pour la plupart des colles pour revêtements, la consommation est comprise entre 150 et 600 g/m² (ce qui correspond à des épaisseurs de joints de 1/10 à 4/10 mm).

Pour le collage de carrelages où il est nécessaire de rattraper des dénivellations, la consommation peut atteindre plusieurs kilogrammes par mètre carré (cf. figure 12 et § 5.3.5).

5.3.8 Temps de gommage et temps ouvert

■ Le **temps de gommage TG** ne concerne que les colles qui font leur prise par séchage (colles solvantées et colles aqueuses).

C'est l'intervalle de temps que l'on doit laisser s'écouler entre le moment où l'on étale la colle sur le matériau et le moment où l'on procède à l'assemblage.

Pendant ce temps, les solvants ou l'eau commencent à s'évaporer (totalement s'il s'agit d'une colle *Néoprène*, ou en partie s'il s'agit d'une colle simple encollage).

La colle épaissit et acquiert ainsi son pouvoir collant et une *cohésion* suffisante pour que l'on puisse assembler, sans crainte de voir le matériau se détacher du joint (figure 13).

Le temps de gommage est raccourci par la chaleur.

Entre un chantier très froid en hiver et un chantier très chaud en été dans le Sud de la France, on peut constater des temps de gommage qui varient de 4 à 1.

■ Le **temps ouvert TO** (figure 13) est le temps qui s'écoule entre le moment où la colle a été étalée et celui où elle a perdu son pouvoir collant parce qu'elle a commencé à sécher, à polymériser, à s'épaissir ou à former une peau de surface nuisible (selon les types de colles).

La chaleur ainsi que la porosité et l'absorption du support raccourcissent le temps ouvert. Dans le bâtiment, selon les types de colles, le temps ouvert peut varier de 5 min à 1 h.

5.3.9 Adhérence immédiate ou tack

C'est la propriété de maintenir, dès leur assemblage, les matériaux ensemble, de façon suffisamment forte pour qu'ils ne glissent pas, ne se déplacent pas l'un par rapport à l'autre et ne s'écartent pas, cela afin que le film de colle reste continu et immobile pendant la prise de la colle.

L'adhérence immédiate dépend de plusieurs facteurs :

— de la **formulation et de la nature des constituants de base** : par exemple, les colles acryliques en émulsion ont un *tack* plus élevé

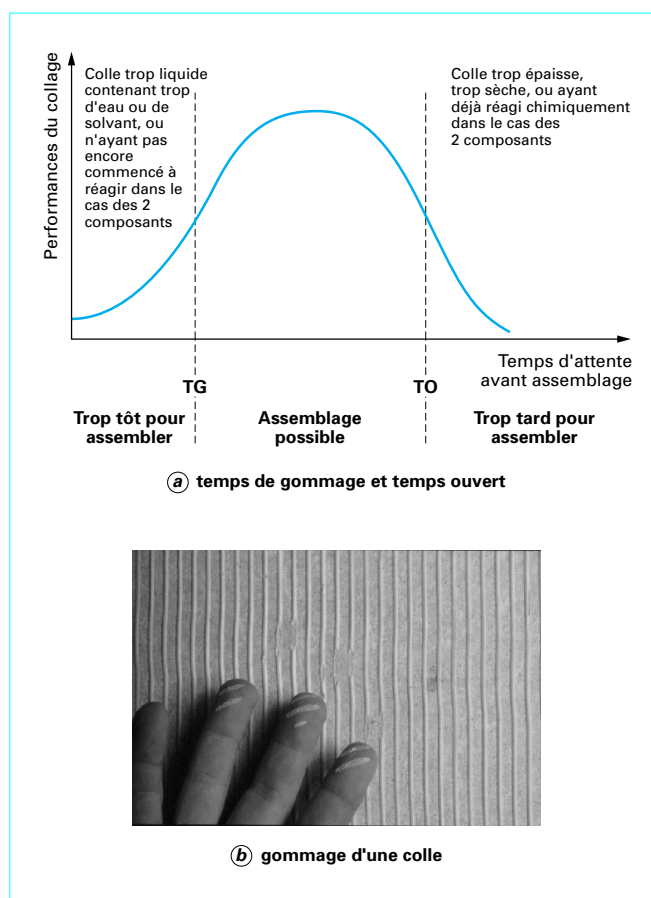


Figure 13 – Temps de gommage (TG) et temps ouvert (TO)

que les colles vinyliques aqueuses ; les colles solvantées ont plus de *tack* que les colles aqueuses ;

— de la **viscosité et de la rhéologie** : les mastics, plus consistants, ont une adhérence immédiate, supérieure aux colles fluides.

5.3.10 Vitesse et durée de prise

La colle n'a fait sa prise et n'a acquis toutes ses propriétés (mécaniques, physiques, chimiques) que lorsqu'elle est parvenue à l'état solide, selon les modes de prises indiqués au tableau 2.

Comme on l'a vu dans ce tableau, la vitesse et la durée de prise dépendent, des critères suivants.

■ **Formulation et constituants de base** (nature chimique, liquide porteur)

Selon les formules et les conditions de mise en œuvre, les colles peuvent faire leur prise :

- immédiatement, pour une colle contact (*Néoprène*) ;
- en quelques secondes, pour une colle thermofusible ou une colle cyanoacrylate ;
- en quelques minutes, pour une colle solvantée ;
- en quelques heures, pour une colle aqueuse, une colle époxyde à deux composants ;
- en 12 à 24 heures, pour un mastic en forte épaisseur (silicone, polyuréthane) ou pour un ciment-colle.

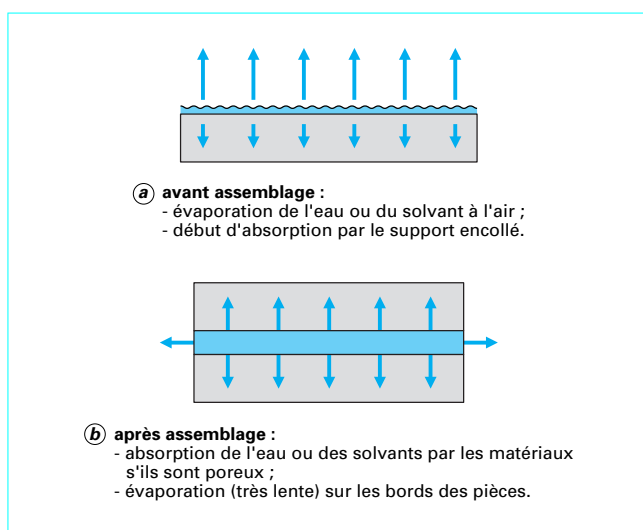


Figure 14 – Prise d'une colle aqueuse ou solvantée

■ **Perméabilité des matériaux à coller** (dans le cas des colles solvantées ou des colles aqueuses)

Le choix de la colle à utiliser pour poser un revêtement sur un support donné devra tenir compte de la perméabilité du support et de celle du revêtement (figure 14) :

- *revêtement perméable sur support perméable* : pas de problème, le solvant ou l'eau pourra s'évaporer des deux côtés ;
- *revêtement perméable sur support imperméable* : le reste de solvant ou d'eau pourra s'évaporer au travers du revêtement ;
- *revêtement imperméable sur support perméable* : le reste de solvant ou d'eau pourra être absorbé par le support ;
- *revêtement et support imperméables* : il faut alors, soit des colles à 100 % de matières sèches (époxydes, polyuréthanes), soit que le solvant (ou l'eau) de la colle soient complètement évaporés avant d'assembler les matériaux, sinon la colle ne parviendra jamais à faire sa prise et les solvants ou l'eau enfermés entre les deux matériaux provoqueront des décollements.

C'est pourquoi, dans ce dernier cas, on utilise généralement, soit des colles à 100 % d'extrait sec, soit des colles contact *Néoprène*, avec lesquelles l'assemblage ne se fait qu'après séchage complet des solvants.

■ **Température** (ambiante ou des matériaux)

Pour les colles qui font leur prise par réaction chimique, la vitesse de prise double, approximativement, tous les 10 °C. Une température trop basse ralentit la vitesse de prise.

L'évaporation de l'eau ou des solvants est également accélérée par la chaleur.

■ **Humidité**

Elle peut intervenir dans la prise de certaines colles.

■ **Épaisseur du joint**

L'épaisseur du joint, donc la quantité de colle nécessaire pour remplir ce joint ont aussi une influence sur la vitesse et la durée de prise.

■ **Prise partielle et prise complète**

● La **première prise, ou prise partielle**, est celle qui permet aux pièces de rester attachées ensemble de façon suffisamment solide pour pouvoir être manipulables ou subir d'éventuelles transformations : découpe, perçage, etc., ou, dans le cas d'un chantier, pour pouvoir ouvrir les locaux au trafic.

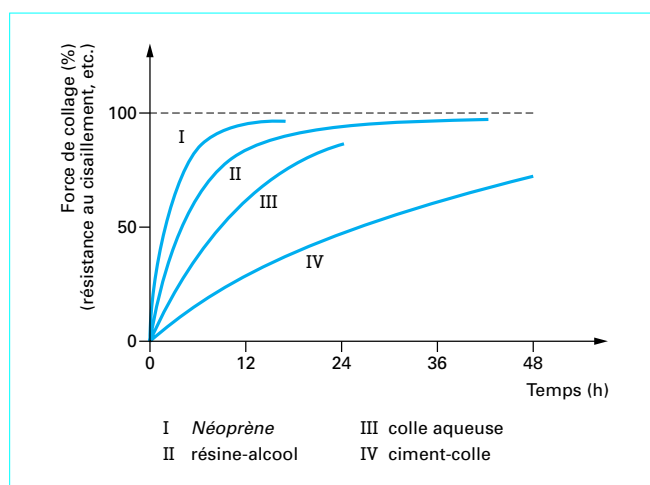


Figure 15 – Progression de la force de collage pendant le temps de prise

À ce niveau de prise, on n'a atteint que 10 à 50 % de la force ultime de collage (figure 15).

● La **prise complète, ou définitive**, correspond à l'obtention de 90 à 100 % de la force totale du collage.

5.4 Identification et contrôle

Ces caractéristiques sont mesurées au laboratoire et servent surtout pour établir des spécifications ou pour le contrôle des produits. Ce sont les suivantes :

- extrait sec (teneur en matières actives : polymères de base, résines, charges, adjuvants) ; c'est l'extrait sec qui donne le joint de colle ;
- viscosité (exprimée en mPa · s) (cf. § 5.3.4) ;
- densité ;
- taux de cendres (pourcentage de matières solides restant après combustion d'un échantillon à 900 °C) ;
- couleur, transparence ;
- réactivité chimique (vitesse de réaction entre les deux composants).

5.5 Caractéristiques mécaniques et physico-chimiques

5.5.1 Caractéristiques mécaniques

Ce sont :

- la **résistance à la traction et au cisaillement** ;
- la **résistance au fluage** : le fluage est le glissement progressif des pièces collées l'une par rapport à l'autre. Il peut se mesurer en millimètres de déplacement par minute ou par heure, en précisant en outre la force appliquée (qui est souvent le simple poids de l'un des matériaux) et la température de l'essai ;
- la **résistance au pelage** : on mesure la force nécessaire pour séparer les deux matériaux collés. Cette résistance s'exprime en kilogrammes par centimètre de large ;
- le **module d'élasticité** (pour les mastics et les colles structurales) ;
- l'**allongement à la rupture** (pour les mastics d'étanchéité) ;
- la **dureté**.

Exemple : nous pouvons indiquer les valeurs suivantes.

■ **Pour les colles hautes performances** (colles structurales)

● **époxydes** :

- résistance au cisaillement : 10 à 20 MPa ;
- force de pelage : 1 à 5 kgf/cm de large (10 à 50 N/cm)

● **polyuréthanes** :

- résistance au cisaillement : 3 à 10 MPa ;
- force de pelage : plusieurs kgf/cm de large (plusieurs dizaines de neutrons par centimètre de large).

■ **Pour les colles pour revêtements souples** (sols, murs) :

- résistance au pelage : 0,5 à 2 kgf/cm de large (5 à 20 N/cm) ;
- résistance au cisaillement : 2 à 4 MPa.

■ **Pour les mortiers-colles** (base ciment) :

- résistance à la traction : 0,5 à 2 MPa.

5.5.2 Caractéristiques physico-chimiques, de performances et de durabilité

■ Il s'agit ici de déterminer la **résistance des collages à toutes sortes d'agents susceptibles de les dégrader** tels que des agents physiques (chaleur, vieillissement) ou chimiques (eau, acides, bases, solvants, huiles).

On détermine donc :

- la **résistance à l'eau et à l'humidité** ;
- la **résistance à la chaleur, au fluage** ;
- la **tenue aux variations de température** (cycles gel-dégel, etc.) ;
- la **résistance aux huiles et plastifiants** ;
- la **résistance aux produits chimiques** (acides, bases, solvants, autres) ;
- la **résistance aux moisissures, aux bactéries** ;
- la **tenue au vieillissement** (naturel, artificiel) ;

et l'on procède à des **tests spécifiques à certaines industries** (brouillard salin, résistance aux chocs, à la fatigue, *tack* à la bille pour les autoadhésifs, etc.).

■ En général, on mesure les résistances mécaniques (cisaillement, traction, pelage, etc.) avant et après avoir soumis les éprouvettes à ces agents physico-chimiques et l'on note le pourcentage de chute de la résistance mécanique.

Pour les colles structurales, on peut aussi mesurer la résistance à la fatigue en soumettant les pièces collées à des cycles de sollicitations mécaniques alternées pendant un grand nombre de cycles (par exemple, 10^6 cycles).

■ La **durabilité**, exprimée en années, dépend de l'ensemble des sollicitations mécaniques, chimiques et physiques auxquelles est soumis le collage.

5.6 Sécurité d'emploi

Les colles, comme les produits chimiques qu'elles contiennent, peuvent présenter, dans certains cas limités, des inconvénients pour la santé ou des risques d'emploi en raison :

- soit de l'inflammabilité de certains constituants (solvants) ;
- soit des risques de dermatoses allergiques (cas des résines époxydes et des durcisseurs aminés) ;
- soit de la nocivité de certains constituants (toluène, méthanol, *n*-hexane, formol, par exemple).

Les utilisateurs et distributeurs sont avertis de ces dangers par les fabricants, au moyen de fiches techniques, de fiches de données de sécurité, de prescriptions indiquées sur les emballages (étiquetage de danger).

Diverses règles ou législations nationales, européennes ou internationales concernent l'emploi des solvants ; les utilisations (sur chantier, en usine) ; le transport (terrestre, maritime, aérien - codes RID, ADR, ONU...) ; l'étiquetage et le stockage.

5.7 Prix de revient de l'assemblage

Pour déterminer le prix de revient d'une opération de collage, il est nécessaire de tenir compte de tous les éléments suivants :

- prix de la colle (au kilogramme, au litre au mètre carré ou à la pièce) ;
- coût de la préparation ;
- coût de l'application ;
- consommation ;
- coût de la main-d'œuvre [préparation des supports, application de la colle, durcissement de la colle (pressage, etc.)] ;
- coûts annexes (contrôle, durcissement, pertes, stockage des pièces avant expédition, etc.).

Le prix de la colle n'est donc qu'une partie du coût total, et il ne suffit pas pour apprécier le coût de l'opération d'assemblage.

5.8 Autres éléments d'appréciation

- Avis techniques éventuels du CSTB, procès-verbaux de laboratoires officiels (CEBTP, CSTB en France, et laboratoires européens).
- Conditionnement.
- Durées de stockage et de conservation.
- Renseignements particuliers indiqués dans les notices techniques des fabricants.

De tout ce que nous avons vu précédemment, il s'ensuit que la qualité d'un collage dépendra de toute une série de facteurs que nous avons regroupé dans le tableau 3.

6. Types de colles, adhésifs et mastics utilisés dans la construction

6.1 Colles Néoprène (ou polychloroprène)

Ce sont des colles à base de caoutchouc *Néoprène*, en milieu solvanté, avec de 18 à 28 % d'extraits secs, des viscosités variant de 300 mPa · s à 8 000 mPa · s, très inflammables avant séchage en raison de la forte teneur en solvants.

Mise en œuvre

Elles sont toujours utilisées par la méthode de collage par contact.

Mise en place

L'adhésif est appliqué sur chacun des deux matériaux à assembler (double encollage), au pinceau, à la raclette ou au pistolet sous pression.

Consommation

Elle est d'environ 130 à 160 g/m² de chaque côté, selon la rugosité et l'absorption des matériaux.

Tableau 3 – Facteurs déterminant la qualité et la solidité des collages

Conception du joint
Forme du joint, facteur de forme Épaisseur du film de colle
Caractéristiques mécaniques et physiques des substrats
Propriétés mécaniques (résistance mécanique, déformabilité...) Absorption, porosité Coefficient de dilatation thermique Aspect de surface, rugosité Propreté de surface Propriétés physico-chimiques de la surface
Primaire d'accrochage, préparation de surface
Nature chimique Propriétés d'adhérence et mécaniques Compatibilité avec les matériaux et la colle
Caractéristiques de l'adhésif
Viscosité, rhéologie Composition chimique Adhérence spécifique sur les matériaux considérés Mode de prise, réactivité chimique, durée de vie en pot Propriétés mécaniques, résistance au fluage, souplesse du film... Propriétés physico-chimiques (mouillage, formation du film...) Résistance à l'eau et aux autres agents de dégradation (produits chimiques, huiles...) Résistance à la chaleur Durabilité
Conditions de mise en œuvre
Température d'application, température des matériaux Humidité ambiante, humidité des matériaux Dosage des colles à 2 constituants Quantité de colle appliquée Temps de gommage, temps ouvert Conditions de prise : température, pression et durée Temps d'attente avant mise en service des collages
Tensions internes
Coefficients de dilatation des matériaux et de l'adhésif Retrait lors du durcissement Nature des matériaux et de l'adhésif Charges appliquées
Conditions en service
Charges appliquées Autres sollicitations externes Humidité, température de service Cycles de sollicitations, fatigue Contacts avec produits chimiques, huiles, produits de nettoyage

● Temps de gommage

Il faut laisser s'évaporer les solvants à l'air pendant environ 10 min (pour une température ambiante de 20 °C) avant d'assembler les pièces. Au bout de ce temps, les films d'adhésif sont assez secs au toucher mais, quand on assemble alors les deux matériaux, on constate que les deux films de colle se soudent littéralement entre eux par simple contact pendant quelques secondes sous pression de 3 à 5 bar minimum.

● Temps ouvert

Il est possible d'attendre 30 à 60 min selon les formules avant d'assembler les deux matériaux encollés.

● Assemblage et pressage

L'alignement des pièces avant assemblage doit être effectué avec grand soin car, dès que les deux films de colle viennent en contact, ils se collent entre eux ; si l'on sépare alors les deux pièces jointes, on romprait le film de colle et il serait nécessaire de réencoller les pièces et de laisser à nouveau gommer les films de colle avant de réassembler.

Un pressage de quelques secondes sous quelques bars est ensuite nécessaire. Il peut être réalisé par divers moyens : cale de bois + marteau, rouleau pressé fortement sur les surfaces planes, calandre à rouleaux motorisés, presse à plateaux.

● Vitesse de prise

Dès le pressage, on obtient des collages très puissants résistant à plusieurs kg/cm² en traction. C'est là l'avantage principal des colles *Néoprène* qui donnent une prise immédiate. On atteint 80 % de la force ultime de collage au bout de 12 à 24 h et 100 % au bout de quelques jours, à savoir 20 kg/cm² (2 MPa).

■ Utilisations

Les adhésifs *Néoprène* sont utilisés dans le bâtiment pour leur collage immédiat, pour coller :

- des dalles plastiques sur béton, enduits de lissage, plâtre ou plaques de plâtre ;
- des stratifiés décoratifs sur bois, panneaux de particules ou MDF (*medium density fiber board* ou agglomérés de fibres ligneuses) ;
- des mousses plastiques isolantes (sauf le polystyrène expansé qui serait attaqué et dissous immédiatement par les solvants des colles *Néoprène*) sur fibrociment, béton, métaux...
- des revêtements en caoutchouc.

■ Avantages :

- mise en œuvre facile sur chantier, sans besoin de matériel compliqué ;
- prise immédiate par simple pressage ;
- adhérence sur des matériaux très variés :
 - tous métaux (tôle d'acier, aluminium métaux, bruts, anodisés, galvanisés...),
 - nombreuses matières plastiques [PVC, stratifiés, mousses plastiques (PU, phénoliques)],
 - élastomères divers (caoutchouc SBR, *Néoprène*...) ;
- souplesse du joint de colle ;
- bonne résistance entre - 50 °C et + 110 °C (130 °C par addition de durcisseur isocyanate) ;
- bonne résistance au pelage (10 à 20 kg par cm de large soit 100 à 200 N/cm) et à l'arrachement ;
- assez bonne résistance au vieillissement (20 ans en intérieur, mais seulement quelques années en extérieur, car les adhésifs *Néoprène* résistent moyennement à l'eau et à l'humidité).

■ Inconvénients :

- tenue moyenne à l'humidité ;
- inflammabilité très grande des solvants ;
- certains solvants peuvent être gênants à la longue pour la santé ;
- double encollage nécessaire.

6.2 Colles aqueuses

6.2.1 Colles acryliques en émulsion

■ Mise en œuvre

Ce sont des colles aqueuses, à base d'émulsions acryliques, qui sont utilisées en simple encollage ; l'un au moins des deux matériaux doit être absorbant afin que la colle puisse faire sa prise par absorption de l'eau contenue dans la colle. Cependant, avant d'assembler les deux matériaux, on laisse « gommer » la colle à l'air, entre 10 et 30 min selon les cas, les formules et la température ambiante, afin qu'elle devienne plus épaisse et collante et qu'elle développe son *tack* ou pouvoir collant.

Ces colles sont en général appliquées avec une spatule dentelée, la profondeur des dents permettant de doser la quantité de colle appliquée, qui varie selon la planéité des matériaux à coller (250 à 350 g/m² pour le collage de revêtements de sols plastiques ou les moquettes, 1 à 1,6 kg/m² pour le collage de carrelages à envers plus ou moins lisses sur murs plus ou moins plans).

On assemble alors et on presse un court instant, uniquement pour assurer un bon contact entre le film de colle et l'autre matériau. La colle acrylique fera ensuite sa prise en quelques heures par absorption de son eau par le support (le plus souvent, il s'agit de béton ou d'un enduit de ciment ou de plâtre), mais on n'atteint 100 % de la force finale d'arrachement qu'au bout de 24 à 48 h.

■ Utilisations

Ces colles acryliques sont utilisées pour coller :

- les revêtements de sols plastiques (PVC, linoléum), les moquettes ;
- les carrelages et céramiques sur les murs ;
- les feuilles de PVC sur panneaux de particules ou MDF, dans la fabrication de portes et cloisons.

■ Avantages et inconvénients

Elles sont simples d'emploi, adhèrent sur de nombreux matériaux, sont ininflammables, donnent des collages qui peuvent durer des années voire des dizaines d'années, avec des résistances mécaniques à l'arrachement moyennes (résistance au pelage de quelques kg/cm de large, résistance à la traction de l'ordre de 10 kg/cm² soit 1 MPa).

Elles présentent une meilleure tenue à l'eau que les colles vinyliques aqueuses, et résistent aux plastifiants contenus dans les revêtements de sols en PVC, ainsi qu'à l'alcalinité des ciments.

Remarque : d'autres formules acryliques en émulsion présentent, après séchage complet en étuve, un collant superficiel permanent, elles sont dites autoadhésives et utilisées pour fabriquer des rubans et étiquettes.

6.2.2 Colles vinyliques en émulsion

■ Mise en œuvre

Ce sont les classiques colles blanches, à l'eau, utilisées pour le collage du bois et de divers matériaux absorbants ou fibreux.

Elles sont appliquées sur une seule des deux pièces, on laisse gommer quelques minutes, puis l'on assemble et l'on maintient sous presse quelques minutes en général pour que la colle fasse une prise suffisante pour maintenir les pièces ensemble.

Dans le cas de la préfabrication, on peut presser à chaud entre 60 et 80 °C pour accélérer la prise et la rendre compatible avec une fabrication en série.



Figure 16 – Collage des parquets avec une colle vinylique aqueuse
(photo Ato Findley)

■ Utilisation

Dans le bâtiment, ces colles sont utilisées pour :

- le collage de bois sur bois, béton, ciment, en particulier pour le collage de lames de parquet sur sols en béton (figure 16) ;
- le jointolement des lames de parquets lamifiés entre elles ;
- la préfabrication de cloisons, panneaux de doublage, fenêtres, portes (avec des colles vinyliques spéciales résistant à l'eau).

■ Avantages et inconvénients

Les colles vinyliques peuvent donner des résistances mécaniques élevées de l'ordre de quelques dizaines de kg/cm^2 en traction pour des collages bois/bois. Elles ont une résistance à l'eau moyenne (classement D2 selon la norme EN 204 qui exige au moins 5 N/mm^2 après 3 h d'immersion dans de l'eau froide à 20°C). Mais certaines formulations ont un classement D3 (elles résistent à un cycle qui comprend 7 jours de séchage à l'ambiante suivi de 2 cycles de chacun : 7 jours à l'ambiante + 4 jours d'immersion dans l'eau à 20°C , puis un séchage de 7 jours à l'ambiante), la résistance mécanique doit être de 2 N/mm^2 minimum à l'état humide et de 6 N/mm^2 après reséchage. Ces colles D3 sont utilisées pour la fabrication de portes extérieures, de fenêtres et de meubles de cuisine.

6.3 Colles en poudre, cellulosiques et amylicées

Ces colles sont des poudres que l'on dissout dans l'eau pour préparer la colle en pâte. Elles sont utilisées uniquement pour le collage des papiers peints. En général, on dissout un paquet de 150 g de colle cellulosique ou de 250 g de colle amidon dans 6 à 7 L d'eau. Après 15 min, le mélange est prêt à l'emploi ; on l'étale sur l'envers du papier peint, puis on laisse l'eau détrempier le papier, ce qui provoque son allongement de quelques pour-cent au bout de 5 à 10 min. Après la pose bord à bord du papier encollé sur le

mur et séchage, les quelques bulles d'air emprisonnées disparaîtront et le rétrécissement du papier assurera une tension et une planéité parfaite du revêtement.

L'eau de la colle doit sécher et l'on ne peut donc poser que sur un support suffisamment absorbant tel que plâtre ou enduit. La colle fait donc sa prise en quelques heures par absorption de son eau par le support.

6.4 Colles structurales ou semi-structurales à deux composants

6.4.1 Colles époxydes à deux composants

■ Mise en œuvre

Les adhésifs époxydes utilisés dans la construction sont toujours des adhésifs à deux composants durcissant à froid, c'est-à-dire à température ambiante.

Après mélange des deux composants, une réaction chimique commence lentement, ce qui donne une durée d'utilisation du mélange (DPU) limitée à 30 min ou 1 h, après quoi la colle devient épaisse et ne peut plus être utilisée.

Les adhésifs époxydes sont appliqués sur une seule des surfaces en général, puis on assemble les deux pièces sous une légère pression dite *pression d'accostage* de l'ordre de 400 à 500 kg/m^2 , c'est-à-dire juste assez transférer correctement la colle sur l'autre pièce et chasser l'excédent éventuel.

Puis la réaction chimique entre les deux composants se poursuit et le durcissement complet (ou réticulation) se produit en 15 à 24 h. L'adhésif développe alors une adhérence de quelque 100 à 200 kg/cm^2 (10 à 20 MPa), dite structurale parce que la colle est aussi solide que les matériaux qu'elle sert à assembler, tels que le béton, les pierres ou les métaux.

■ Avantages

Les adhésifs époxydes sont les plus performants des adhésifs. Ils ont également une résistance à l'eau élevée, une longue durabilité (voussoirs de ponts en béton collés depuis 40 ans), une excellente résistance au fluage, une résistance à la chaleur jusqu'à 120°C . Le choix des deux composants permet en outre d'ajuster les propriétés aux exigences du problème à résoudre.

■ Différents types de durcisseurs

Nous ne parlerons ici que des colles époxydes à deux composants durcissant à froid, qui conviennent donc pour le bâtiment et les travaux publics.

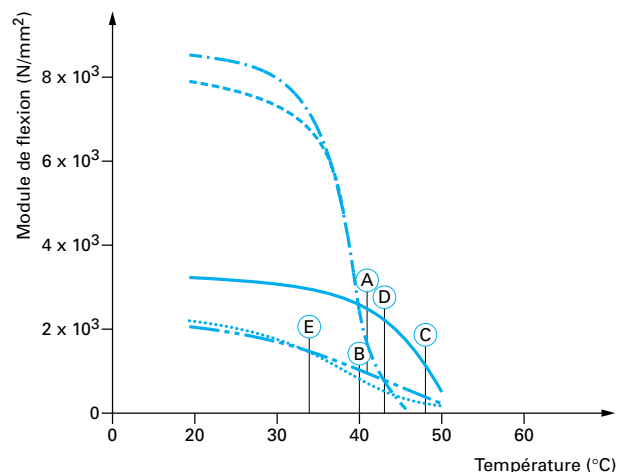
● **Amines aliphatiques** : ce sont les durcisseurs les plus utilisés à froid. Ils donnent des joints rigides, résistant aux produits chimiques, à l'eau et aux solvants. Ils sont utilisés dans des rapports durcisseur/résine époxyde de 6 à 20 %.

● **Amines cycloaliphatiques** : elles permettent un durcissement à basse température et en climat humide, ont les mêmes résistances mécaniques et chimiques que les amines aliphatiques, et sont souvent utilisées pour les mastics de collage dans les travaux publics.

● **Polyamides** : utilisés dans des rapports durcisseur/résine plus importants que pour les amines, ils donnent des joints plus flexibles, mais leurs résistances mécaniques et chimiques sont moins bonnes.

■ Additifs

● **Charges minérales** : une quantité assez importante de charges minérales (sable ou silice) est ajoutée en général pour réduire le coût du produit, permettre de remplir des joints épais, contrôler la viscosité afin que le produit ne coule pas sur support mural, réduire le coefficient de dilatation thermique, entre autres propriétés.

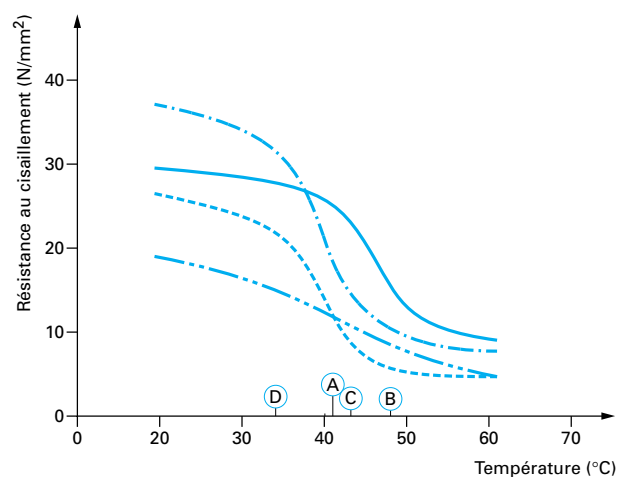


- A — 2 composants époxyde-polyamine aliphatique
 B — 2 composants époxyde-polyamide
 C — 2 composants époxyde-polyamine aromatique
 D — 2 composants époxyde-polyamine aliphatique
 E — 2 composants époxyde-polysulfure

○ Température de fléchissement sous charge

A et D présentent deux types de durcisseurs différents

① variation du module de flexion en fonction de la température



- A — 2 composants époxyde-polyamine aliphatique
 B — 2 composants époxyde-polyamine aromatique
 C — 2 composants époxyde-polyamine aliphatique
 D — 2 composants époxyde-polysulfure

○ Température de fléchissement sous charge

A et C présentent deux types de durcisseurs différents

② variation de la résistance au cisaillement en fonction de la température

Figure 17 – Variation des performances mécaniques en fonction de la température

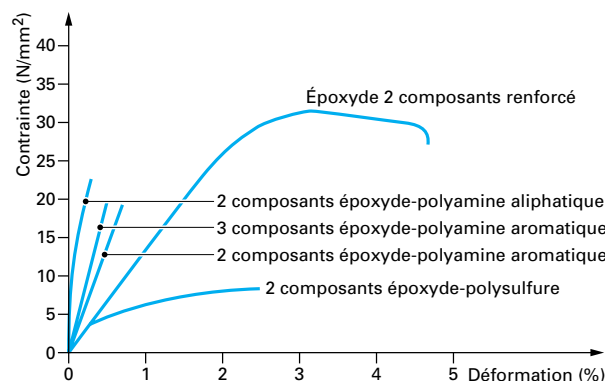


Figure 18 – Courbes des déformations en fonction des contraintes pour différents types d'adhésifs époxydes

● **Agents flexibilisants et agents renforçants** : les adhésifs époxydes ordinaires sont durs et parfois cassants et résistent mal au clivage ou au pelage ; grâce à l'addition d'agents renforçants, on élimine ces problèmes.

● **Promoteurs d'adhérence** : ce sont des silanes, qui augmentent l'adhérence sur le verre et sur les métaux.

■ Performances mécaniques et chimiques des époxydes [3]

● Résistance à la chaleur

La courbe de la figure 17 montre que les adhésifs époxydes à deux composants ont des résistances mécaniques très élevées à température ambiante (20 à 30 °C).

Exemple : la résistance au cisaillement est comprise à 20 °C entre 20 et 35 N/mm², selon les divers types de durcisseurs, mais elle chute fortement vers 40 °C, tout en restant cependant de 6 à 11 N/mm² à 60 °C.

Ces résistances au cisaillement suffisent pour des utilisations structurales dans la plupart des pays et climats, mais si l'on voulait résister à des températures plus élevées (de l'ordre de 100 °C), il faudrait avoir recours à des adhésifs époxydes monocomposants, qui ne font leur durcissement qu'à la chaleur, ce qui n'est pas possible en travaux publics.

● Courbes déformation/contraintes (figure 18)

Pour les applications structurales, il est important de connaître cette relation, afin de calculer les efforts admissibles. Il est également utile de connaître le fluage en fonction des charges appliquées et de la température, le module de flexion, le coefficient de Poisson, etc.

6.4.2 Adhésifs polyuréthanes (PU)

■ Principaux produits

La chimie des polyuréthanes est très riche et procure de nombreuses possibilités de réactions chimiques et des constituants variés :

- adhésifs PU sans solvants, à un ou deux composants, ordinaires ou structuraux, rigides ou souples ;
- adhésifs PU solvantés, à basse viscosité, à un ou deux composants, plutôt souples en général ;

- mastics d'étanchéité PU monocomposants, très élastiques ;
- liants d'agglomération (pour revêtements de sols souples, par exemple).

Les adhésifs PU adhèrent sur de très nombreux supports (métaux, caoutchouc, verre, bois, certains plastiques (en particulier le PVC plastifié ou non)...), grâce à divers mécanismes (liaisons hydrogène, liaison covalente...). Ils peuvent adhérer sur le béton, mais la forte alcalinité des ciments leur est nuisible.

C'est pourquoi, seuls certains de ces adhésifs PU sont utilisés dans la construction et les travaux publics. Nous ne mentionnerons donc que les plus utilisés dans l'article [C 961].

■ Colles et mastics polyuréthanes polymérisant sous l'action de l'humidité

Ce sont des polyuréthanes monocomposants qui contiennent des terminaisons isocyanates qui réagissent avec l'humidité de l'air ambiant pour effectuer leur polymérisation. Ces produits doivent donc être conditionnés en emballages totalement étanches à l'air et à l'humidité (cartouches de mastics d'étanchéité, flacons plastiques pour les adhésifs, bombes aérosols pour les mousses PU).

Ils sont en général appliqués par extrusion d'un cordon et peuvent durcir en forte épaisseur (plusieurs millimètres) et donc garnir les joints. Ils sont utilisés comme mastics d'étanchéité et de collage.

Il existe également des mousses PU, livrées en bombes aérosol sous pression de 500 g jusqu'à quelques kilogrammes. Lorsque le produit est éjecté, il réagit avec l'humidité de l'air, ce qui provoque un moussage du polyuréthane et une expansion très importante grâce à des agents gonflants à la pression atmosphérique (avec 1 kg de produit, on peut réaliser 20 litres de mousse), puis le produit durcit pour donner une mousse rigide de densité comprise entre 30 et 50 kg/m³.

Ces mousses PU sont utilisées pour le calfeutrement de joints de portes entre maçonnerie et huisserie ; elles peuvent même sceller complètement les huisseries en bois sur l'ouverture en béton (ou en plâtre ou en briques).

6.5 Ciments-colles. Plâtres-colles

■ Les **ciments-colles** livrés secs, en sacs, sont des mélanges de ciment et de sable contenant quelques pour-cent d'adjuvants spécialement sélectionnés pour leurs propriétés lorsqu'on les mélange avec de l'eau :

- les résines cellulósiques permettent de contrôler la viscosité de la pâte, afin qu'elle ne coule pas en application murale, et agissent comme reteneurs d'eau, c'est-à-dire qu'elles captent l'eau de gâchage et la conservent pendant tout le temps nécessaire à la réaction de durcissement du ciment ;
- les résines vinyliques en poudre, augmentent l'adhérence sur les matériaux (béton, envers des carrelages...) et la résistance à la fissuration et à la plasticité ;
- d'autres additifs apportent des caractéristiques spécifiques (étanchéité, contrôle de la vitesse de prise...).

● Utilisation :

- en collage de carrelages, de revêtements céramiques ou de pierres pour sols et murs (intérieurs ou extérieurs), sur béton plaques de plâtre, maçonneries ;
- en collage et montage de béton cellulaire, briques isolantes, éléments préfabriqués.

● Mise en œuvre

Après application, le poseur de carrelages dispose d'un temps ouvert variable, de 10 à 30 min selon les formules utilisées.

■ Les **plâtres-colles** sont des mélanges secs en poudre de plâtre et de quelques pour-cent d'additifs qui apportent les propriétés suivantes :

- les résines permettent de contrôler la viscosité de la pâte ;
- un additif sert à retarder la prise du plâtre, afin d'avoir le temps de travail nécessaire ;
- des copolymères en poudre augmentent l'adhérence sur les matériaux de construction ;
- d'autres additifs peuvent éventuellement être ajoutés.

● Utilisation :

- en collage et jointoiement de carreaux de plâtre, plaques de plâtre ;
- en scellements et réparation de fissures intérieures ;
- en collage de panneaux de doublage (complexes plaques de plâtre collées sur mousses isolantes).

● Mise en œuvre

Les additifs permettent de régler la durée d'utilisation, de 1 h à quelques heures, et la durée de prise de quelques heures à 12 ou 24 h.

Ces produits s'appliquent avec une truelle sur le sol ou les murs et les matériaux, puis on règle l'épaisseur avec une truelle dentelée (cf. figure 11) dont les dents ont une taille définie et adaptée.

La consommation dépend alors de la planéité des matériaux à assembler ; elle peut varier de 1 à 8 kg/m². Cette consommation élevée s'explique par la nécessité de remplir le joint entre les pièces, avec des pâtes dont la densité est de 1,1 à 1,5 kg/m².

Pour les mortiers et les plâtres-colles de montage, le poseur dispose d'un temps d'ajustabilité de 1 à 2 h pour permettre à l'ouvrier de corriger des défauts éventuels d'alignement.

7. Conclusion

Le tableau 4 recense les principaux matériaux utilisés en bâtiment et travaux publics et indique les colles et adhésifs qui conviennent en principe pour assembler ces matériaux.

Pour chaque couple de matériaux, plusieurs colles sont techniquement possibles, c'est-à-dire qu'elles adhèrent sur ces matériaux dans des conditions normales.

On choisira ensuite entre les diverses possibilités en fonction :

- des performances exigées (forces d'arrachement, tenue à l'eau, à la chaleur, etc.) ;
- du prix ;
- du mode de mise en œuvre ;
- de la sécurité.

Tableau 4 – Choix de la colle en fonction des matériaux à coller (1)

	Bois, MDF, panneaux de particules	Plâtre	Ciment. Béton. Amiante-ciment. Mortier. Briques	Caoutchouc Néoprène Hypalon	Caoutchouc SBR ou naturel	Métaux usuels	Verre	Céramiques Carrelages	Polyéthylène et Polypropylène	Feuilles souples en PVC plastifié	PVC rigide	Mousses isolantes rigides (polyuréthane, divers)	Polystyrène expansé	Polyacétals et Polycarbonates	Stratifiés techniques et décoratifs	Plastiques thermo-durcissables
Bois, MDF, panneaux de particules	1-4-7-8 9-12-17															
Plâtre Plaques de plâtre	1-4-5-7 12-17 22	4-22-23														
Ciment. Béton. Amiante-ciment. Mortier. Briques	4-5-6-7 9-12-17	4-6-22	9-16 17-22 23													
Caoutchouc Néoprène Hypalon	12	12	12	12-11 21												
Caoutchouc SBR ou naturel	10-11 12	10-11 12	11-12	12-21	11-12											
Métaux usuels (acier, alu.)	9-12-16- 17	9-12	9-12 15-16 17-23	12-14	11-12	9-16 17 20-21										
Verre	9-13-15 16-23	9-15 16-23	15-16 23	●	●	9-15 16-17 21-23	9-15 16-17 21-23									
Céramiques Carrelages Pierres	6-9-11 17-23 15	6-10-11 22-23	6-9-22- 23	●	●	9-15 17-23	9-15 16-17 21	9-15 17-23								
Polyéthylène et Polypropylène	6-9-11 13	6-11 13	6-11 13	●	●	9-11 14	●	●	6-11 13-14 17-19							
Feuilles souples en PVC plastifié	5-6-12 14-17 18	5-6-14 17	5-6-14 18	12-14 17	12-14	6-12 14-18 17	●	●	6-13 14-17	6-12 13-14 18						
PVC rigide	12-17 18	12-17 18-23	12-17 18-23	●	●	9-18 23	9-15 17	15-16 17-23	6-12 13-17 18	14 17-18	9-17 18					
Mousses isolantes rigides (polyuréthane, divers)	5-6-7 8-9 12-17	5-6-12 17	6-9-12 17	12-17	11-12	9-12 17	●	●	●	6-12 14	6-9-12 13-17 18-11	7-8-9 11-12 17				
Polystyrène expansé	3-4-5 6-7-8 11-17	2-6-10 11-17-22 4	2-3-4 6-11 17-22	●	11	9-11 17	●	●	5-6-11 17	5-6-17	●	7-8-11 17	3-4-5 6-11			
Polyacétals et polycarbonates	9-12 17	9-12 17	9-15 16-17	●	●	9-17	●	9-17 21-23	●	●	●	9-17	●	9-17 21		
Stratifiés techniques et décoratifs	4-7-8 9-12 17-19	12-17 23	12-23	●	●	9-12 17-23	●	●	●	●	●	4-5-6 7-9 12-17	●	●	8-9	
Plastiques thermo-durcissables	9-12 17	9-12-17	9-16-17	●	●	9-12- 14-17	●	9-17 21	●	●	9-12 17-18	●	8-9-11 16-17	9-17 21	9-21	9-17 21

(1) Les numéros figurant dans ce tableau correspondent aux types de colles suivants :

- Colles animales : de gélatine, caséine
- Colles à base de colophane
- Colles à base d'asphalte et de bitume
- Émulsions poly(acétate de vinyle)
- Émulsions éthylène-acétate de vinyle et copolymères vinyliques
- Acryliques
- Urée-formaldéhyde
- Phénoliques et résorcinés
- Époxydes
- Latex de caoutchouc naturel ou SBR
- Solution à base de caoutchouc naturel, SBR ou régénéré
- Néoprène (ou polychloroprène)
- Caoutchouc de butyle, polyisobutylène et autres caoutchoucs en solution
- Élastomères de polyuréthane
- Silicones
- Polysulfures
- Polyuréthanes à deux composants
- PVC en solution
- Hot melts EVA
- Polyimides, polybenzimidazoles
- Cyanoacrylates, colles anaérobies
- Mortiers-colles, plâtres-colles
- Mastics de collage et d'étanchéité.

Pour chaque couple de matériaux, plusieurs colles sont possibles. On choisira entre les diverses possibilités en fonction des performances exigées, du prix, du mode de mise en œuvre et de la sécurité. On devra aussi effectuer des essais de collage préalablement.

Les zones marquées ● signifient que le collage des deux matériaux concernés ne se fait pas habituellement (pour des raisons pratiques ou techniques).