



# Assemblage et liaison de pièces en composite – L'avantage des adhésifs structuraux

---

Les tendances et les progrès récents en matière de fabrication et de réduction des coûts des matériaux composites ont augmenté leur utilisation dans le marché des transports, le marché industriel et de nombreux autres marchés, en plus de leur utilisation traditionnelle dans le domaine de l'aérospatiale. Propulsés par l'augmentation des réglementations gouvernementales sur les émissions des véhicules, le besoin d'allègement et la demande accrue des consommateurs pour des produits de grand rendement, les matériaux et les pièces en composite font de plus en plus partie des spécifications de conception quotidiennes des ingénieurs. Les composites sont utilisés dans une grande variété d'applications pour réduire le poids, fournir une résistance accrue aux conditions environnementales, améliorer l'esthétique, offrir de meilleures options de conception et augmenter le rapport rigidité/poids.

Les matériaux composites, pour les besoins de ce document, ciblent les composites à matrice polymère et les plastiques renforcés de fibres, qui sont tous deux des composites thermodurcissables et des composites thermoplastiques. Travailler avec ces matériaux composites engendre un défi à l'égard de la façon de joindre les pièces en composite à elles-mêmes et à de multiples matériaux tels que l'acier ou l'aluminium. Ce document traite des caractéristiques et des avantages des adhésifs structuraux pour la liaison de pièces en composite, des avantages des adhésifs par rapport aux attaches mécaniques propres aux matériaux composites, du type d'assemblages et des applications types des matériaux composites, de la manière de choisir l'adhésif approprié pour maximiser votre produit, pièce ou joint, et des essais et du prototypage en vue de la liaison des pièces en composite.

### **Avantages des adhésifs pour la liaison des composites**

Les composites requièrent de nouvelles méthodes de liaison ou d'assemblage (au-delà des méthodes mécaniques et thermiques traditionnelles) pour permettre une optimisation de la conception et du rendement. Heureusement, les progrès en matière d'adhésifs structuraux (tels que les époxydes, les acryliques et les uréthanes) ont permis aux concepteurs de créer des produits répondant aux exigences d'intégrité structurelle sans recourir à l'utilisation d'attaches mécaniques, de rivets ou de soudures. De plus, ces adhésifs structuraux fonctionnent bien avec des substrats multiples, y compris les plastiques, les métaux et les composites, sans sacrifier les propriétés de rendement. Même les plastiques à faible énergie de surface comme l'oléfine thermoplastique (TPO), le polypropylène (PP) et le polyéthylène haute densité (PEHD) qui devaient auparavant être fixés mécaniquement ou thermosoudés, peuvent maintenant être liés avec des adhésifs structuraux spéciaux.

Pour lier des composites ou des matériaux mixtes, des fixations mécaniques (comme des pinces, des vis, etc.) peuvent être utilisées sur pratiquement n'importe quelle surface, mais elles nécessitent des étapes supplémentaires pour mouler ou créer des éléments qui permettront la fixation. Cela peut engendrer des concentrations de contraintes qui peuvent entraîner le fissurage du plastique et des défaillances prématurées. En outre, percer des trous dans les matériaux composites entraînera une réduction de la résistance en raison de l'introduction de discontinuités dans la matrice et les fibres de renforcement. Toutes les méthodes de fixation mécanique se traduiront par un poids accru et une finition esthétique souvent moins attrayante. Le soudage par friction et chaleur constitue une alternative courante pour certains composites. Toutefois, ces techniques de soudage nécessitent beaucoup d'énergie et d'outillage, et sont limitées en ce qui a trait aux géométries et aux combinaisons de substrats qui peuvent être traitées.

En plus de former des liens forts, les adhésifs structuraux peuvent réduire les coûts globaux tout en augmentant la durabilité des produits; de plus, ils sont généralement plus légers que les attaches mécaniques. La durabilité est améliorée parce que les adhésifs distribuent la contrainte sur toute la surface liée, tandis que les attaches mécaniques, les rivets et la soudure par points peuvent créer des concentrations de contraintes engendrant des points faibles à travers les substrats.

De plus, l'utilisation d'adhésifs permet de sceller toute la surface de collage, tout en fournissant un joint très résistant. Un autre point à considérer et une autre avantage énorme d'une liaison au moyen d'un adhésif présente est la facilité avec laquelle l'adhésif permet de combiner différents matériaux, comparativement aux méthodes mécaniques conventionnelles. Par exemple, les adhésifs structuraux préviennent la corrosion galvanique entre les métaux dissemblables. Enfin, l'apparence plus propre des joints liés par rapport aux fixations mécaniques permet d'obtenir des produits plus esthétiques et plus efficaces, sans nécessiter de travaux de finition supplémentaires. Ainsi, la liaison adhésive pourrait être la meilleure option pour lier la prochaine génération de composites et de plastiques d'ingénierie.

### Allègement

L'allègement est une énorme tendance dans de nombreuses industries. La réduction du poids des composants présente de grands avantages, allant d'une conception/un rendement de produit amélioré et d'une diminution du coût pour l'utilisateur final à un impact réduit sur l'environnement. Dans le secteur des transports, la tendance à l'allègement est de la plus haute importance, en partie en raison des nouvelles réglementations gouvernementales et de la pression de l'industrie pour accroître l'efficacité en matière de consommation de carburant. La figure 1 ci-dessous démontre la nette tendance à utiliser une plus grande variété de matériaux différents dans la construction des futurs produits de manière à réduire le poids et à améliorer la fonctionnalité du produit.

L'allègement impliquera souvent un changement en matière de conception et des matériaux offrant un nombre croissant d'options plus légères, y compris divers matériaux composites. Les adhésifs structuraux constituent une technologie habilitante pour ces nouvelles conceptions.

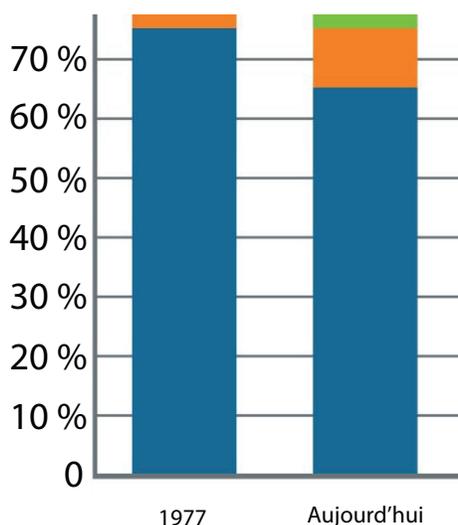


Figure 1. La composition typique d'une automobile – les tendances matérielles (Department of Energy des États-Unis, 2010)

Les substrats en composite sont généralement subdivisés en deux catégories :

a) Les composites thermodurcis : Résines de polyester renforcé de fibres de verre, telles que les mélanges à mouler en feuille (SMC), et les résines époxydes renforcées de fibres de carbone de grand rendement, qui peuvent être définies comme ayant une forme moulée permanente impliquant souvent un processus d'assemblage de matériaux de renforcement et de résines, suivi de l'application de chaleur et de durcissement sous pression dans une presse ou un autoclave.

b) Les composites thermoplastiques : Polyéthylène renforcé de fibres de verre, polypropylène, nylons, etc., qui peuvent être façonnés en pièces relativement complexes en utilisant des techniques de moulage de plastique conventionnelles telles que le moulage par injection à partir d'une matière première sous forme de granulés.

Ces matériaux à base de polymères plus légers sont mieux adaptés à la fabrication et à l'assemblage par liaison adhésive que par les méthodes de fixation mécanique traditionnelles, à la fois du point de vue de l'allègement et du rendement mécanique.

### **Liaison adhésive des composites – Exemples d'applications**

i) La figure 2 montre la liaison de pièces en ABS sur des pare-chocs en polypropylène renforcé de fibres de verre à l'aide de l'Adhésif structural pour plastiques DP8010 Scotch-Weld<sup>MC</sup> 3M<sup>MC</sup> bleu. Il s'agissait de la seule solution qui offrait une bonne adhérence et une liaison structurale permanente sur les deux surfaces sans prétraitement, et avec le résultat esthétique souhaité. L'Adhésif structural pour plastiques DP8010NS Scotch-Weld<sup>MC</sup> 3M<sup>MC</sup> bleu s'est également avéré très durable pour les applications externes.



Figure 2. ABS lié à du polypropylène renforcé de fibres de verre à l'aide de l'Adhésif structural Scotch-Weld<sup>MC</sup> 3M<sup>MC</sup>

ii) Liaison des panneaux de garniture à l'intérieur des véhicules. L'utilisation de composites thermoplastiques plus légers pour la création de grands panneaux intérieurs moulés légers qui fournissent un soutien structurel pour les garnitures intérieures est une tendance établie. La figure 3 montre l'application d'Adhésif structural pour plastiques DP8010NS Scotch-Weld<sup>MC</sup> 3M<sup>MC</sup> bleu sur une pièce de tablier en thermoplastique pour sa liaison sur un cadre en aluminium.

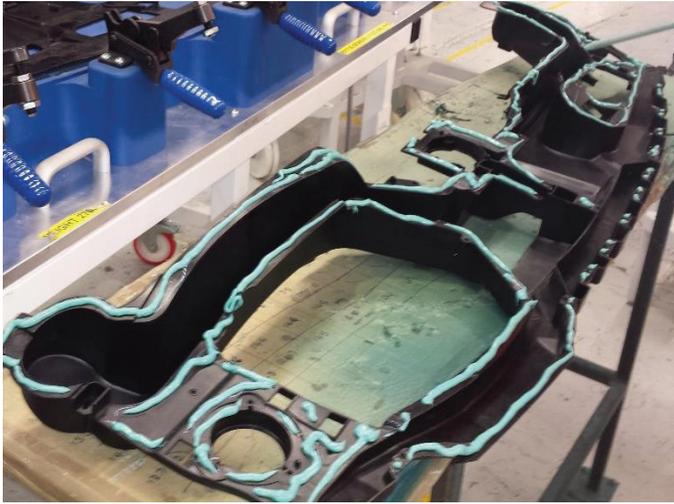


Figure 3. Moulure de tablier en polyoléfine légère renforcée de fibres de verre liée avec l'adhésif structural pour plastiques DP8010NS Scotch-Weld<sup>MC</sup> 3M<sup>MC</sup> bleu à un cadre en aluminium

iii) La fabrication de véhicules spécialisés (autobus commerciaux et autocars, dans le cas présent) peut avoir recours à différents choix de méthodes de liaison. La figure 4 montre un adhésif mastic de polyuréthane de 3M utilisé pour lier un panneau latéral en plastique renforcé de fibre de verre à un cadre en acier revêtu. L'Adhésif mastic 3M<sup>MC</sup> a supporté les charges appliquées sur le panneau pendant l'utilisation et a également permis le mouvement créé par les vibrations et la dilatation thermique différentielle. Cette application présentait une caractéristique intéressante du fait que le client utilisait également une petite quantité de Ruban en mousse acrylique VHB<sup>MC</sup> 3M<sup>MC</sup> en combinaison avec l'adhésif mastic de manière à obtenir un temps de manipulation rapide et accélérer la production.



Figure 4. Liaison d'un panneau en plastique renforcé de fibres de verre sur de l'acier à l'aide d'un Adhésif mastic 3M<sup>MC</sup>

iv) Les matériaux composites sont de plus en plus utilisés dans l'exploration pétrolière et les applications sur des bateaux. L'allègement sur les plates-formes de forage permet ultimement d'y extraire et d'y entreposer une plus grande quantité de pétrole. Cela permet également de faciliter le transport et l'installation de l'équipement dans les divers environnements

qui sont difficile d'accès. De nouvelles conceptions de tamis vibrant révolutionnaires et évolutives contenant une quantité significative de composite renforcée de fibres de carbone ont été développées grâce à l'utilisation de l'Adhésif époxyde structural DP490 Scotch-Weld<sup>MC</sup> 3M<sup>MC</sup>, un adhésif renforcé et de grand rendement, comme solution d'assemblage. Ces joints liés (fibre de carbone sur fibre de carbone et acier inoxydable sur fibre de carbone) ont été mis à l'essai sur le terrain et se sont avérés durables, car ils peuvent résister à la charge dynamique (les agitateurs/filtres vibrent plusieurs centaines de fois par minute et génèrent une charge pouvant atteindre 7 g). Ils sont également résistants au mélange de pétrole brut/boue d'hydrocarbure/fragments de roches s'écoulant à une température d'environ 80 à 100 °C.

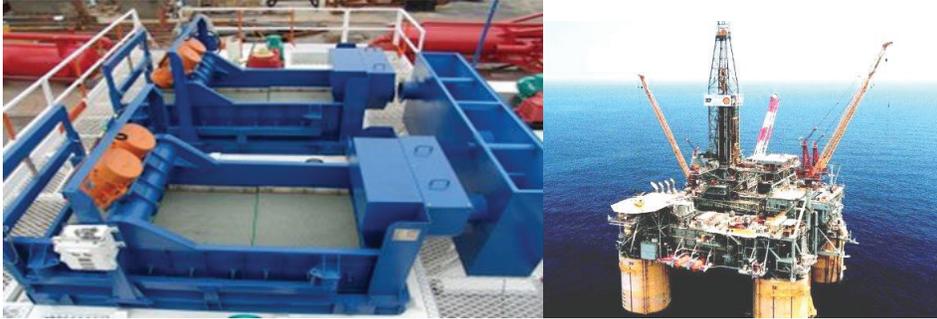


Figure 5. Panneaux composites en fibre de carbone liés à l'acier inoxydable des agitateurs de pétrole légers à l'aide d'un Adhésif époxyde renforcé Scotch-Weld<sup>MC</sup> 3M<sup>MC</sup>.

v) Les composites en mousse syntactique contenant des bulles de verre de 3M sont largement utilisés sur les bateaux pour aider à réduire la densité, augmenter la flottabilité et réduire le poids total. L'Adhésif époxyde 2216 Scotch-Weld<sup>MC</sup> 3M<sup>MC</sup> et l'Adhésif structural pour plastiques DP8010NS Scotch-Weld<sup>MC</sup> 3M<sup>MC</sup> bleu (pour les mousses syntactiques à base de polyoléfinés) se sont avérés durables et fiables, même dans des applications submergées sous l'eau de mer.



Figure 6. Liaison d'un aide à la flottaison en mousse syntactique sur de l'aluminium à l'aide d'un Adhésif époxyde 2216 Scotch-Weld<sup>MC</sup> 3M<sup>MC</sup>

## Maximiser le rendement grâce à la conception des joints et à la sélection de l'adhésif

*L'importance de choisir un adhésif offrant les propriétés physiques appropriées pour la conception souhaitée.*

Plus particulièrement pour les matériaux renforcés de fibres de verre, la durabilité du joint est déterminée par la capacité de l'adhésif à répartir uniformément la charge sur la matrice supérieure du composite afin d'éviter une défaillance prématurée attribuable à l'emplacement des contraintes; par ailleurs, le rendement du joint dépendra du module de rigidité des substrats, ainsi que de celui de l'adhésif. Dans tous les cas, cependant, il est important que les contraintes réelles dans le joint demeurent inférieures à la capacité de l'adhésif, après l'application d'un facteur de sécurité approprié. Puisque le module de rigidité relatif du substrat et de l'adhésif est si critique pour la liaison de matériaux composites, sans oublier l'allongement de l'adhésif (discuté ci-dessous), il est essentiel de prendre en compte certaines propriétés fondamentales de l'adhésif lors du choix d'un ensemble de produits à mettre à l'essai.

La courbe contrainte-déformation est essentielle pour comprendre les propriétés physiques de l'adhésif et la manière dont il réagit aux contraintes. En général, lorsqu'une charge est appliquée, le polymère (adhésif) réagit initialement élastiquement et la contrainte augmente à un taux constant. À un certain point, le squelette polymérique ne pourra plus supporter la contrainte appliquée et commencera à se déformer plastiquement (déformation permanente). Selon la capacité de déformation des polymères, celui-ci s'allongera jusqu'à sa rupture. La surface sous la courbe représente l'énergie absorbée par le polymère pendant ce processus. Plus cette surface est grande, plus il faut d'énergie pour que l'échantillon adhésif se brise.

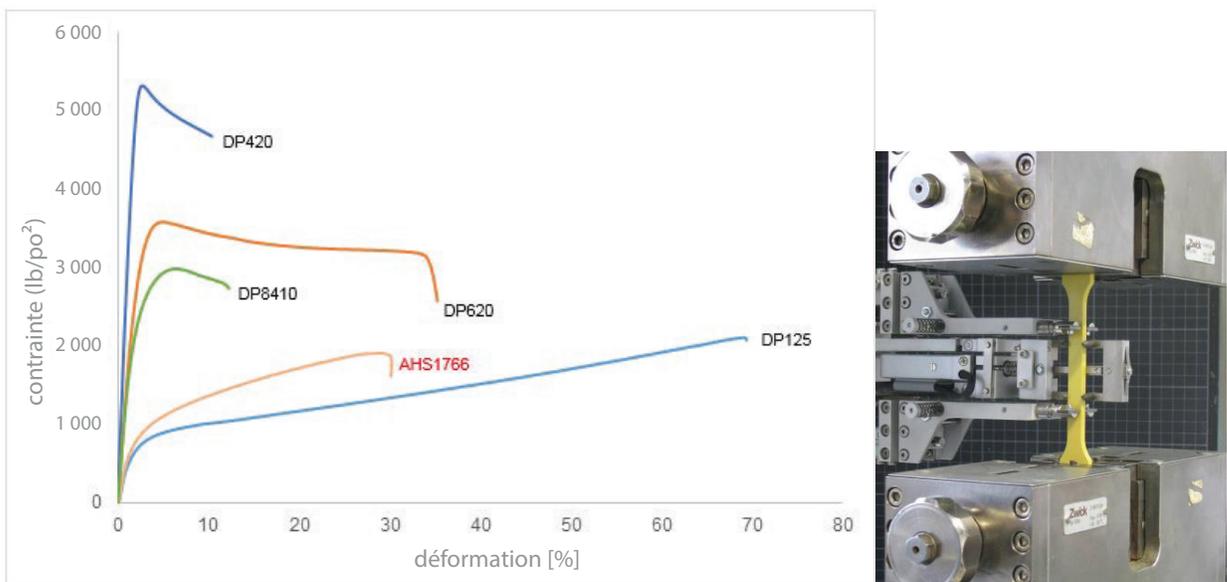
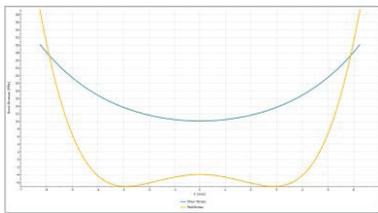


Figure 7 : L'image ci-dessus montre quelques courbes contrainte-déformation d'une sélection d'adhésifs. Pour obtenir ces données, la charge est appliquée à un spécimen en forme d'haltère, comme indiqué sur le côté droit. Les courbes représentent les différentes familles d'adhésifs. Époxyde renforcé (DP420), polyuréthane renforcé (DP620), méthacrylate (DP8410), uréthane souple (DP6330NS) et époxyde souple (DP125)

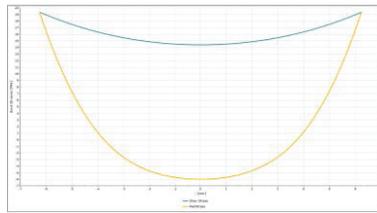
La valeur de cisaillement en chevauchement est un deuxième point de données dont il faut tenir compte. Cette valeur représente l'adhérence de l'adhésif à la surface du substrat combinée à la force de cohésion de l'adhésif sous forme de polymère durci. L'adhérence dépend de la compatibilité chimique entre l'adhésif et le substrat qui permet à l'adhésif de mouiller complètement la surface du substrat et de créer une liaison chimique avec celui-ci.

Un principe général serait d'équilibrer la capacité de mouiller la surface d'un substrat pour générer une adhérence suffisante (mis à l'essai par cisaillement en chevauchement) avec la force de cohésion requise pour garantir une conception adéquate (en regard des courbes contrainte-déformation). Alors que le premier critère est fortement lié à la nature chimique de l'adhésif non durci, le deuxième dépend de la nature et de la composition de l'adhésif durci.

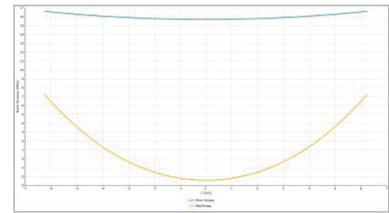
Toutefois, le cisaillement par chevauchement dépend également du module de rigidité, ainsi que de l'adhérence aux substrats.



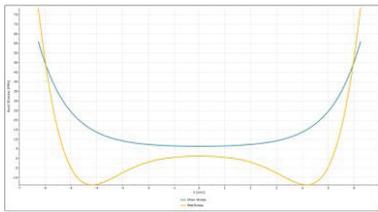
Adhésif avec un module de rigidité de 2,000 MPa sur l'aluminium



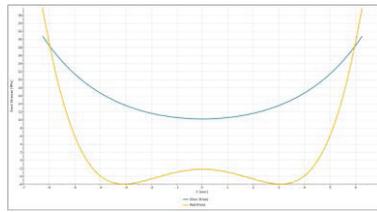
Adhésif avec un module de rigidité de 400 MPa sur l'aluminium



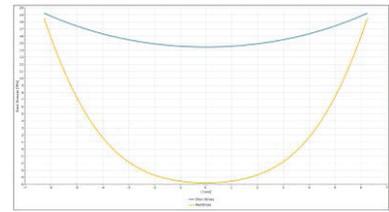
Adhésif avec un module de rigidité de 70 MPa sur l'aluminium



Adhésif avec un module de rigidité de 2,000 MPa sur les composites



Adhésif avec un module de rigidité de 400 MPa sur les composites



Adhésif avec un module de rigidité de 70 MPa sur les composites

Figure 8 : Calculs analytiques des contraintes à l'intérieur d'un joint adhésif en fonction du module de rigidité des substrats et de l'adhésif.

Les images ci-dessus (figure 8) montrent des courbes de cisaillement (bleu) et de pelage (jaune) calculées en fonction de la longueur d'un échantillon unique de cisaillement en chevauchement sur de l'aluminium (images supérieures) et sur un composite renforcé de fibres de verre (images inférieures). L'aluminium a un module de rigidité d'environ 70 MPa et le composite (polyester renforcé de fibres de verre) a un module de rigidité d'environ 10 MPa. La charge appliquée pour ce calcul est de 200 N par mm de longueur de liaison. L'épaisseur de l'adhésif est de 0,3 mm et l'épaisseur du substrat est de 2 mm. On peut facilement estimer avec les calculs analytiques que pour l'aluminium, un adhésif très rigide (éthylène-propylène haute résistance, 2,000 MPa) constitue un bon choix, alors que le même adhésif produit presque le double des forces sur le matériau composite. Cela pourrait être catastrophique pour le joint, car la matrice supérieure du composite risque de présenter une défaillance et provoquer une rupture prématurée. Un adhésif avec un module de rigidité d'environ 400 MPa donne une situation comparable sur le joint de composite (image centrale, composite). La même tendance peut être observée avec l'adhésif ayant un module de rigidité de 400 MPa sur de l'aluminium et l'adhésif ayant un module de rigidité de 70 MPa sur un composite. L'utilisation de ces adhésifs dans de tels cas minimiserait les forces de pelage aux extrémités du joint et entraînerait un cas de charge focalisée sur le cisaillement, ce qui se traduirait par un plan de collage beaucoup plus durable.

Ainsi, pour un joint robuste, la force de cohésion (résistance interne de l'adhésif) doit être suffisamment élevée pour garantir la résistance structurelle du joint, mais l'adhésif doit également présenter une rigidité qui convient au matériau du substrat.

Choisir le bon adhésif pour le polyester renforcé de fibres de verre

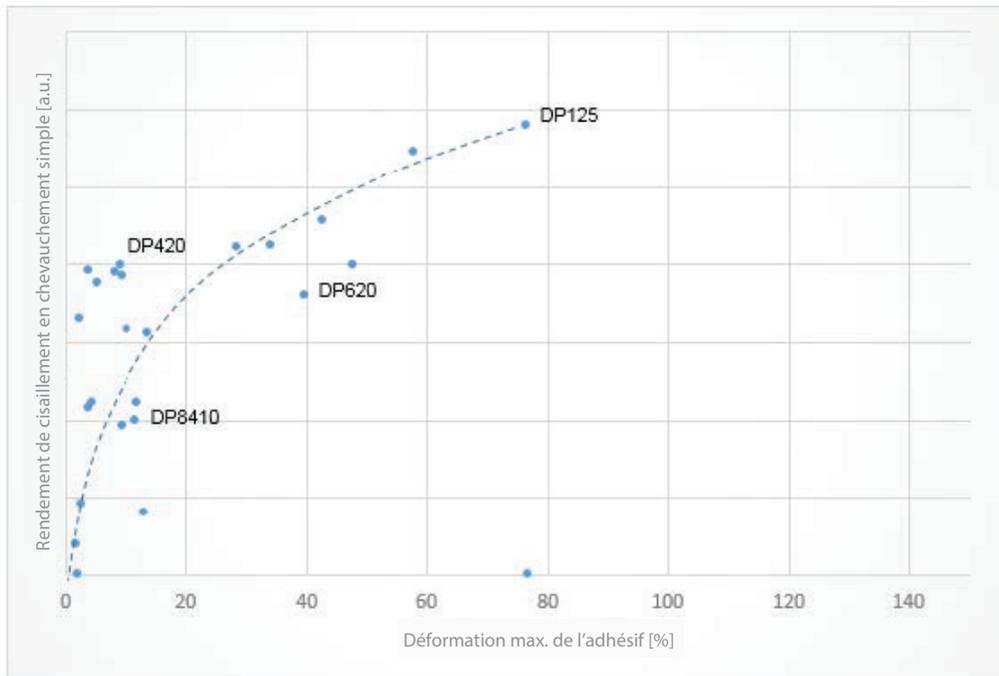


Figure 9 : L'image ci-dessus montre les rendements maximaux de cisaillement en chevauchement possible d'une sélection d'adhésifs sur des substrats en polyester renforcé de fibres de verre abrasés.

En ce qui concerne la figure 9 ci-dessus, l'adhésif offrant le meilleur rendement de cette série est l'Adhésif époxyde DP125 Scotch-Weld<sup>MC</sup> 3M<sup>MC</sup>. Il a un module de rigidité d'environ 60 MPa à température ordinaire, ce qui est considérablement inférieur à celui de la plupart des adhésifs époxydes. L'importante leçon à retenir ici est que l'adhésif le plus rigide (module de rigidité plus élevé) n'est pas toujours le meilleur choix, particulièrement lorsqu'il s'agit de matériaux autres que des métaux.

Lors de la liaison de pièces en composite, il est également important de décider quel mode de défaillance du joint est souhaitable. Dans de nombreux cas, et particulièrement pour les composites thermoplastiques, il est souhaitable de générer un joint lié qui tolère une charge supérieure à celle des substrats. Dans ces cas, le joint présente une défaillance en raison de la rupture du substrat. Il s'agit d'un bon moyen de s'assurer que l'adhésif est le composant supérieur et que la conception de l'assemblage est conservatrice. Cependant, dans les cas où les pièces en composite sont extrêmement coûteuses, par exemple les pièces en époxydes renforcées de fibres de carbone à haute résistance, il importe que, même si le joint présente une défaillance, que cette défaillance se produise selon un mode de rupture cohésive à l'intérieur de la couche d'adhésif. Une telle rupture peut permettre la réutilisation des pièces après l'inspection et la remise en service requises.

Il existe trois grandes familles d'adhésifs structuraux : Les acrylates (méthacrylate de méthyle), les polyuréthanes (PU) et les époxydes (EP). Au sein de toutes les familles d'adhésifs, les produits peuvent différer de manière significative en ce qui concerne la vitesse de durcissement, la résistance finale et l'allongement possible. Puisque la composition chimique et

les propriétés physiques générales de chacune de ces familles diffèrent, elles présentent toutes certaines propriétés souhaitables pour certains types de substrats ou scénarios de charge. Mais le choix entre ces trois familles d'adhésifs et parmi les produits qu'elles contiennent constitue le grand défi lorsque l'on recherche le bon adhésif pour une application.

Pour être en mesure de fournir une aide substantielle aux clients pendant la phase de conception d'une application, 3M dispose d'une gamme privilégiée de matériaux composites sélectionnés qui permet d'établir une ligne directrice utile pour la sélection des adhésifs. Les données nécessaires relatives aux propriétés physiques et thermiques de ces produits sont disponibles, ainsi que les résistances au cisaillement.

### Mise à l'essai et prototypage au sein de vos conceptions

Application avec un composite – Besoins en matière de liaison	Propriétés de l'adhésif	Adhésif structural Scotch-Weld <sup>MC</sup> 3M <sup>MC</sup> ou Adhésif mastic 3M <sup>MC</sup>
Liaison générale de matériaux composites	Uréthane	Adhésif à l'uréthane pour composite et matériaux multiples DP6330NS Scotch-Weld <sup>MC</sup> 3M <sup>MC</sup>
Liaison générale de matériaux composites	Époxyde à deux composants	Adhésif époxyde DP125 Scotch-Weld <sup>MC</sup> 3M <sup>MC</sup> , gris
Haute résistance et durabilité	Époxydes renforcés	Adhésif époxyde DP420 Scotch-Weld <sup>MC</sup> 3M <sup>MC</sup> , noir
Liaisons solides offrant une certaine souplesse	Époxydes souples	Adhésif époxyde DP190 Scotch-Weld <sup>MC</sup> 3M <sup>MC</sup> , gris
Liaisons souples	Adhésifs uréthanes souples	Adhésif à l'uréthane DP620NS Scotch-Weld <sup>MC</sup> 3M <sup>MC</sup> , noir
Liaisons résistantes et durables sur le plastique et les métaux	Acryliques	Adhésif acrylique DP8410NS Scotch-Weld <sup>MC</sup> 3M <sup>MC</sup> , vert
Polyoléfine – faible énergie de surface	Acryliques à faible énergie de surface	Adhésif structural pour plastiques DP8010 Scotch-Weld <sup>MC</sup> 3M <sup>MC</sup> , bleu
Scellement et liaison – Stratification de grandes pièces	Adhésif et scellant	Adhésif mastic 760 UV 3M <sup>MC</sup> , blanc

Figure 10. Exemple de gamme de produits couvrant l'éventail des besoins en matière de liaison de matériaux composites

Une fois que quelques adhésifs appropriés ont été sélectionnés en fonction de leur affinité générale avec le comportement contrainte-déformation sur divers types de composites, un essai approprié d'un adhésif pour une application particulière est de la plus haute importance.

Un essai à la fois facile à réaliser et très utile pour déterminer l'adhérence et la puissance d'adhérence à certains substrats composites consiste à vérifier la résistance au cisaillement en chevauchement. Cet essai simple à préparer et à réaliser est utile pour comparer le rendement des divers adhésifs, substrats ou méthodes de préparation des surfaces. Les résultats sont toutefois spécifiques à des catégories particulières de composites; il est donc important d'utiliser le matériau spécifié dans la conception pour les essais. Parmi les autres essais qui sont importants, on retrouve les essais de résistance au pelage et de

résistance aux chocs. Ces essais dépendent grandement non seulement des propriétés des adhésifs, mais aussi des propriétés des substrats et de la géométrie des joints. Par conséquent, les données publiées ne sont pertinentes que si elles représentent exactement les mêmes conditions d'essais, et peuvent donc, encore une fois, être utilisées pour fournir une comparaison relative du rendement entre les adhésifs utilisés sur un substrat et une géométrie en particulier.

Comme le montre la figure 11 ci-dessous, de nombreux adhésifs adhèrent très bien aux résines renforcées de fibres de verre abrasées (par exemple, le polyester renforcé de fibres de verre ou l'époxyde renforcé de fibres de carbone, etc.), et atteignent la résistance structurale (plus de 6 894,76 kPa [1 000 psi]). Cependant, certains composites sont très difficiles à lier et nécessitent des adhésifs spéciaux. Par exemple, l'Adhésif structural pour plastiques DP8010 Scotch-Weld<sup>MC</sup> 3M<sup>MC</sup> bleu est formulé de manière unique pour former une liaison structurale sur les plastiques à faible énergie de surface (par exemple, le polypropylène, le polyéthylène ou les polyoléfines), et ce, souvent sans qu'il soit nécessaire de prétraiter la surface. Il s'agit d'adhésifs à deux composants qui sont exempts de solvants et qui durcissent à température ambiante; ceux-ci sont offerts en cartouches jumelées ou en vrac, pour les applications sur de grandes surfaces.

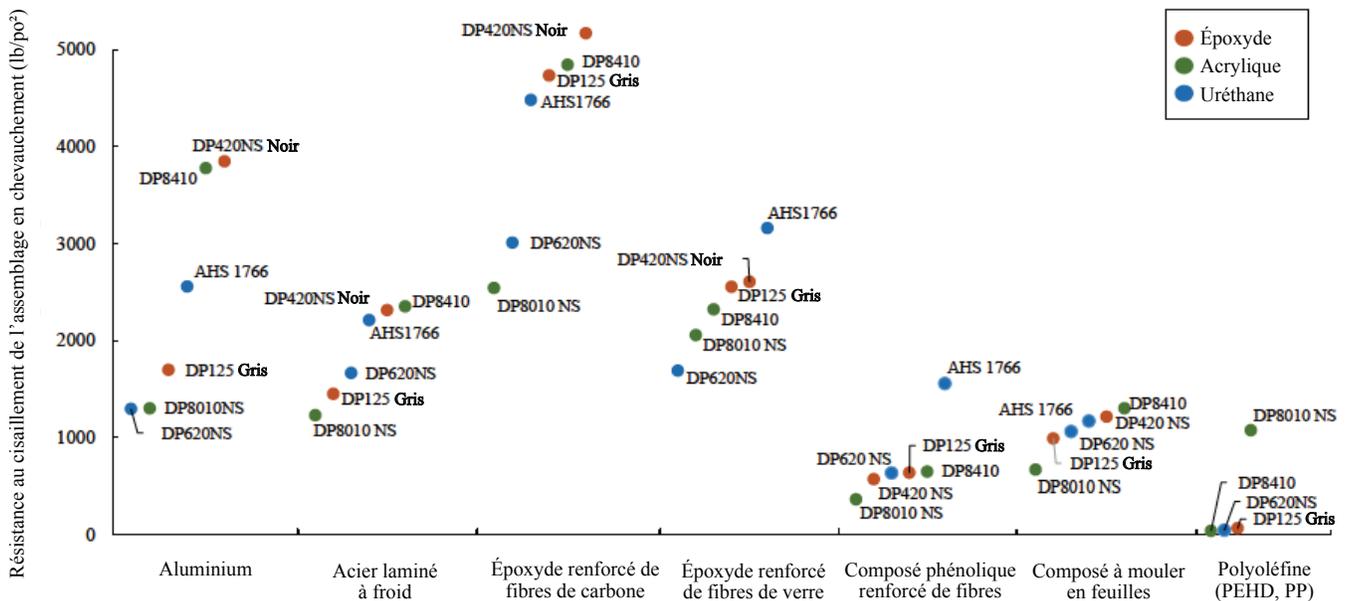


Figure 11 : Les substrats déterminent les choix d'adhésifs possibles et offrent également une capacité de liaison variable. Ceci reflète les différences en matière d'énergie de surface et de composition chimique des substrats. La chimie et le module de rigidité de l'adhésif peuvent également affecter la résistance mesurée du joint dans ce type d'essai normalisé. Comme décrit ci-dessus, l'adhérence au substrat est un critère clé; sans une adhérence robuste engendrant une rupture cohésive, il est impossible d'élaborer une conception en fonction des propriétés mécaniques du substrat et de l'adhésif. En raison de la grande variété de compositions particulières des composites, l'ingénieur concepteur doit soumettre le produit à lier spécifique à des essais et vérifier les exigences en matière de préparation des surfaces nécessaires avant de procéder à la sélection finale de l'adhésif. Il est important de collaborer avec un fournisseur d'adhésifs comme 3M qui peut non seulement fournir des données sur les propriétés des matériaux, mais aussi aider à effectuer les essais de sélection de manière à garantir un choix robuste.

## Conception des joints assemblés avec des adhésifs

Le rendement global est dicté par les joints qui sont incorporés à la conception globale. Comme indiqué ci-dessus, pour concevoir efficacement un joint principal ou secondaire, l'ingénieur doit connaître et comprendre plusieurs propriétés clés des matériaux des pièces à assembler et de l'adhésif. Voici une liste de ces propriétés : résistance à la traction, module d'élasticité, allongement à la rupture, résistance au cisaillement de l'assemblage en chevauchement, résistance au pelage, coefficient de dilatation thermique, température de transition vitreuse, etc. Connaître les propriétés thermomécaniques des deux pièces à assembler est tout aussi important que de connaître les propriétés mécaniques. Par exemple, une défaillance prématurée de la liaison peut se produire entre un composite renforcé de fibres de verre et un métal en raison des différences entre les coefficients de dilatation thermique; ces différences peuvent appliquer des charges indésirables sur la liaison adhésive alors il faut donc prendre des mesures d'atténuation si des variations de température sont prévues dans le cadre de l'utilisation finale. En général, les adhésifs fourniront les résistances les plus élevées lorsqu'ils sont chargés en cisaillement, en compression ou en traction; il est donc recommandé que les joints soient conçus pour transférer les charges appliquées en cisaillement et pour minimiser les forces de pelage et de clivage.

Pour la conception de tout joint qui sera assemblé avec un adhésif, il est préférable de travailler avec un fabricant d'adhésifs bien informés. Il est important qu'un fournisseur puisse présenter des données utiles et pertinentes qui permettent de comprendre pleinement les avantages de chaque adhésif choisi pour la conception du joint. Ces données comprendront des renseignements sur les propriétés thermiques et mécaniques des adhésifs, ainsi que leur affinité générale avec des substrats communs. Toutefois, il sera avantageux de procéder à des essais pertinents pour les substrats et les géométries spécifiques avant le prototypage. Le service technique de 3M offre sa vaste expérience pour vous aider à choisir le bon adhésif pour votre application particulière et les substrats que vous avez choisis. Une demande de service technique peut être générée pour que des essais de qualification appropriés soient effectués afin de mieux cerner le meilleur adhésif pour votre application.

## Observations finales

Les composites sont de plus en plus utilisés dans une grande variété d'applications pour réduire le poids, fournir une résistance accrue aux conditions environnementales, améliorer l'esthétique, offrir de meilleures options de conception et augmenter le rapport rigidité/poids. Les adhésifs conviennent particulièrement bien à l'assemblage de composites entre eux et à différents matériaux en raison de leur légèreté inhérente, et de leur capacité à répartir les contraintes, à éliminer les dommages potentiels causés par le perçage et à assembler un nombre presque infini de formes de manière esthétique, exigeant un post-traitement minimal.

Pour maximiser les résultats de la conception avec un adhésif, il est important de bien comprendre les facteurs qui affectent le rendement des adhésifs, de sorte que le bon ensemble d'adhésifs potentiels puisse être rapidement déterminé aux fins des essais et du prototypage subséquents. Travailler avec un fabricant d'adhésifs ayant la capacité de fournir des données et une assistance technique constitue le moyen le plus rentable d'adopter la liaison adhésive des composites.

Renseignements techniques : Les renseignements techniques, les recommandations et les autres énoncés fournis aux présentes sont basés sur des essais et des expériences que 3M juge dignes de confiance, mais dont l'exactitude et l'exhaustivité ne sont pas garanties.

Utilisation du produit : De nombreux facteurs indépendants de la volonté de 3M peuvent affecter l'utilisation et le rendement d'un produit 3M dans le cadre d'une application donnée. Comme l'utilisateur est parfois seul à connaître ces facteurs et à y exercer un quelconque pouvoir, il incombe à l'utilisateur d'établir si le produit 3M convient à l'usage auquel il le destine et à la méthode d'application prévue.

Garantie, limite de recours et dénegation de responsabilité : À moins qu'une garantie additionnelle ne soit spécifiquement énoncée sur l'emballage ou la documentation applicables du produit 3M, 3M garantit que chaque produit 3M est conforme aux spécifications applicables au moment de l'expédition. 3M N'OFFRE AUCUNE AUTRE GARANTIE OU CONDITION EXPLICITE OU IMPLICITE, Y COMPRIS, MAIS SANS S'Y LIMITER, TOUTE GARANTIE OU CONDITION IMPLICITES DE QUALITÉ MARCHANDE OU D'ADAPTATION À UN USAGE PARTICULIER, OU TOUTE GARANTIE OU CONDITION IMPLICITES DÉCOULANT DE LA CONDUITE DES AFFAIRES, DES PRATIQUES COURANTES ET DES USAGES DU COMMERCE. Si le produit 3M n'est pas conforme à cette garantie, le seul et unique recours est, au gré de 3M, d'obtenir le remplacement du produit 3M ou le remboursement de son prix d'achat.

Limite de responsabilité : À moins d'interdiction par la loi, 3M ne saurait être tenue responsable des pertes ou dommages directs, indirects, spéciaux, fortuits ou conséquents découlant de l'utilisation de ce produit 3M, quelle que soit la théorie juridique dont on se prévaut, y compris celles de responsabilité contractuelle, de violation de garantie, de négligence ou de responsabilité stricte.



Division des adhésifs et des rubans industriels de 3M

3M Canada

C.P. 5757

London (Ontario) N6A 4T1

1 800 364-3577

3M.ca/Adhésifsstructuraux

3M, Scotch-Weld et VHB sont des marques de commerce de 3M, utilisées sous licence au Canada.  
© 2018, 3M. Tous droits réservés. 1803-11570 F BA-18-25972