

Chapitre 7

LES ASSEMBLAGES SPÉCIAUX ET LE COLLAGE

1. Le boulonnage	116
1.1 La visserie classique	117
1.2 Les inserts	118
2. Les rivets mécaniques	118
2.1 Les boulons à sertir	119
2.2 Les rivets aveugles	119
2.3 Les écrous à sertir	119
2.4 Les rivets à répétition	121
2.5 Les rivets autopoinceurs	121
2.6 Les critères de choix des rivets	121
2.7 Remarque	121
3. Le collage	122
3.1 Les avantages du collage	122
3.2 La conception de l'assemblage collé	122
3.3 Le choix de l'adhésif	123
3.4 La préparation de surface	124
3.5 La fabrication industrielle	124
3.6 La réparation des joints collés	124
3.7 La durabilité des joints collés	124
3.8 Remarque	125
4. Les joints de transition	126
4.1 La constitution d'un joint de transition	126
4.2 Les propriétés des joints de transition	126
4.3 Les conditions de mise en œuvre	126

7. LES ASSEMBLAGES

LE SOUDAGE à l'arc est le mode d'assemblage le plus utilisé dans la chaudronnerie de l'aluminium en général et de la construction navale en particulier.

Toutefois, il existe d'autres modes d'assemblages qui lui sont complémentaires, tels que le boulonnage, le rivetage et le collage. Étant appliqués sans apport de chaleur, ils ont, sur le soudage, l'avantage de ne pas modifier les caractéristiques mécaniques du métal et de ne pas introduire de déformations.

Ils s'imposent dès qu'il s'agit d'assemblages hétérogènes, par exemple : acier sur aluminium (ou l'inverse), polymères (ou composites) sur aluminium. C'est le cas

de la plupart des équipements internes d'un navire, tels que le système propulsif, les auxiliaires, les tuyauteries, les vaigrages, les huisseries, etc.

Depuis le début des années 1970, la liaison par soudage de structures en alliage d'aluminium sur des structures en acier est facilitée par l'emploi de joints de transition aluminium-acier. Le cas le plus courant est celui des superstructures en alliage d'aluminium de navires dont la coque est en acier.

On traitera successivement :

- de la visserie et de la boulonnerie,
- du rivetage (rivets mécaniques),
- du collage,
- des joints de transition.

1. | LE BOULONNAGE

Contrairement au soudage, le boulonnage est un assemblage qui est démontable. Il est beaucoup utilisé dans les liaisons hétérogènes, acier-aluminium, par exemple. Ce mode d'assemblage est donc très répandu dans les liaisons entre la structure du navire et bon nombre d'équipements : moteurs, auxiliaires, canalisations, conduits de ventilation, etc.

FELICITA WEST



SPÉCIAUX ET LE COLLAGE

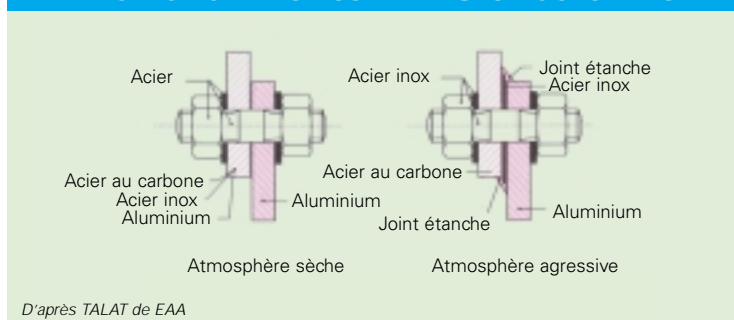
1.1 | La visserie classique

Le choix de la visserie dépend de considérations d'ordre mécanique, résultant du calcul de charge sur l'assemblage. Compte tenu de l'ambiance marine, on utilise de plus en plus de boulonnerie en acier inoxydable. Elle a l'avantage de ne pas rouiller, donc de préserver l'aspect d'origine.

Quand l'assemblage est soumis à de fortes variations de température, il faut ménager des rondelles qui amortissent les différences de dilatation entre aciers et alliages d'aluminium.

Il faut aussi tenir compte du risque de corrosion galvanique de l'aluminium au contact de la visserie quand celle-ci est en acier ordinaire, galvanisé ou inoxydable. Compte tenu de ce qui est exposé au chapitre 10 sur le risque de corrosion galvanique, deux cas de figure sont à considérer :

PROTECTION DES ASSEMBLAGES BOULONNÉS



D'après TALAT de EAA

Figure 100

■ l'assemblage est immergé (en permanence ou d'une manière intermittente) dans l'eau de mer. Il n'est pas possible d'utiliser une visserie en acier ordinaire ou en acier inoxydable sans protéger les contacts :

- par isolement entre la visserie et la structure en aluminium (figure 100),
- par protection cathodique, s'ils sont sur les œuvres vives (1).

Pour éviter ce risque de corrosion galvanique, on peut également employer de la visserie en alliage d'aluminium anodisé 15 µm et colmaté au bichromate en 7075 T73

ou en 6108 T8 dont les caractéristiques mécaniques sont indiquées dans le tableau 58, p. 118. À diamètre égal, la visserie en alliage d'aluminium apporte un allègement de 50 % par rapport à la visserie en acier,

■ l'assemblage est émergé : dans les zones non mouillées, ou simplement humides, on utilise très fréquemment de la visserie en acier inoxydable ou en acier zingué.

(1) Cf. chapitre 11.

FELICITA WEST



En dépit de la différence de potentiel entre les aciers et les alliages d'aluminium, il n'y a pratiquement pas de risque de corrosion galvanique de l'aluminium et de ses alliages, tout au plus une attaque très superficielle et limitée au contact.

L'expérience montre que les vis en acier ordinaire (ou en acier inoxydable) vissées dans l'aluminium sont souvent difficiles – voire impossibles – à desserrer quand de l'humidité a pu s'infiltrer dans le filetage. C'est parce qu'il y a eu une corrosion galvanique de l'aluminium, très superficielle, mais suffisante pour que l'alumine formée bloque très fortement la vis en acier.

Pour éviter cela, la solution la plus simple consiste à graisser (avec une graisse consistante) l'alésage et la vis de manière à créer un milieu hydrophobe empêchant toute pénétration d'humidité.

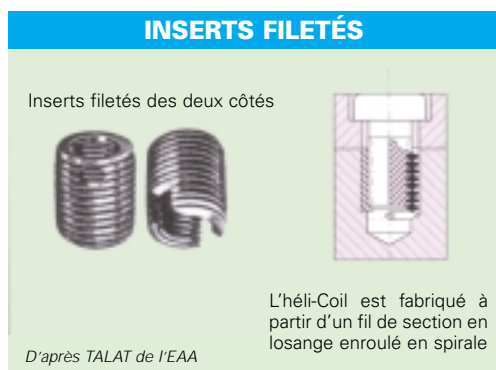


Figure 101

1.2 | Les inserts

L'expérience montre que les taraudages dans l'aluminium résistent mal à de fréquents démontages. La solution consiste à introduire dans la pièce en alliage d'aluminium des inserts filetés en acier (figure 101). Dans ce cas, il faut aussi éviter la pénétration d'humidité dans l'alésage qui aurait l'effet décrit ci-dessus.

2. | LES RIVETS MÉCANIQUES

D'abord développé dans la construction aéronautique, le rivetage mécanique connaît maintenant un très large développement dans de nombreuses industries : électronique, électroménager, automobile, etc.

Dans la construction navale, ce mode d'assemblage est utilisé pour la fixation de supports de tuyauteries, de faux plafonds, d'habillage de locaux (salons, couloirs, etc.), de mobilier.

Les fabricants de ce type de rivets proposent maintenant des systèmes très fiables, adaptables à beaucoup de cas de figure. La pose des rivets mécaniques ne nécessite pas une main-d'œuvre qualifiée.

Le rivetage mécanique présente plusieurs avantages :

- rapidité de pose : la pose des rivets mécaniques peut être très rapide grâce à l'utilisation d'outils pneumatiques ou hydrauliques. La cadence dépend de la nature et de la configuration des assemblages à réaliser,
- facilité de contrôle : le contrôle de la qualité d'un assemblage est simplifié par le fait que l'effort de serrage est toujours assuré et optimal puisqu'il est inférieur à l'effort nécessaire à la rupture de la tige du rivet,

■ esthétique et étanchéité : il est possible d'améliorer l'esthétique de l'assemblage en clippant un capuchon en plastique sur la tête de certains modèles de rivets. Cela contribue par ailleurs à améliorer l'étanchéité de l'assemblage à l'air, à la poussière et aux eaux de ruissellement,

■ possibilité d'assemblages hétérogènes : aluminium-acier, aluminium-polymère, aluminium-composite, etc.

Les rivets mécaniques appartiennent à deux familles :

- les boulons à sertir (ou rivets de structure), appelés ainsi parce qu'ils réalisent la même liaison qu'un boulon classique. Par contre, ils sont indéboulonnables. L'accès doit être possible sur les deux faces de l'assemblage,
- les rivets aveugles, utilisés quand l'accès n'est possible que sur une face de l'assemblage. Ils sont également indéboulonnables.

Le serrage des éléments à assembler est réalisé :

- soit par la mise en tension de la tige lors du sertissage d'une bague sur la tige elle-même,
- soit par la mise en compression du corps du rivet par l'intermédiaire de la tête de la tige pour former une « contre-tête » du côté opposé à l'entrée du rivet.

Ces opérations sont réalisées soit avec des pinces manuelles, soit avec des pistolets pneumatiques ou hydrauliques, généralement proposés par les fabricants de rivets.

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DE LA VISSERIE EN ALLIAGE D'ALUMINIUM			
Alliage	R _m (MPa)	R _{p0,2} (MPa)	A %
6108 T6	300	260	8
7075 T73	550	470	10
Acier E24	410	240	24
Acier inoxydable	660	300	54

Tableau 58

Ces rivets étant indéboulonnables, ce qui assure la sécurité de la liaison, la réparation de ces assemblages est plus compliquée.

Sur de tels assemblages, les réparations sont plutôt rares du fait des performances mécaniques de ces rivets. De plus, ce mode d'assemblage est choisi pour son caractère permanent et définitif.

Si toutefois une réparation s'impose, il faut alors éliminer les rivets existants par un moyen mécanique (extraction de la tête sur des boulons à sertir, arrachage avec une pince, etc.). Le remplacement des rivets nécessite de repercer des trous de fixation d'un diamètre légèrement plus grand.

2.1 | Les boulons à sertir

Le serrage est toujours assuré par sertissage d'une bague sur la tige du rivet (figure 102).

La pose d'un boulon à sertir se fait en plusieurs étapes :

- la tige est introduite d'un côté dans l'orifice spécialement ménagé dans les pièces à assembler et la bague de sertissage positionnée de l'autre côté,
- le nez de l'outil est inséré dans la tige du rivet,
- la traction exercée par l'outil a pour effet de plaquer les pièces l'une contre l'autre, de sertir la bague sur les gorges de la tige et d'introduire une précontrainte permanente,
- la tige est rompue par traction au-dessus de la bague.

Il n'y a pas de jeu entre les éléments à assembler parce que, avant le sertissage de la bague, une forte pression axiale est exercée sur l'assemblage. Il en résulte également une excellente étanchéité.

Ces rivets ont une bonne résistance au cisaillement et aux vibrations. Ils sont proposés en acier ou en alliage d'aluminium 7075 et 6061. Pour les applications marines, les rivets en 7075 doivent être livrés avec une protection par anodisation d'au moins 15 µm, suivie d'un colmatage au bichromate.

2.2 | Les rivets aveugles

Encore appelés « rivets à rupture de tige », ils sont utilisés pour des assemblages dont l'accès n'est possible que d'un seul côté. Le serrage est assuré par la mise en compression du corps du rivet à l'aide d'une tige qui sera rompue, verrouillée ou non au niveau de la tête (figure 103). Lorsque la tige est verrouillée, ils sont appelés « rivets de structure ».

Ils peuvent supporter des sollicitations mécaniques importantes et sont insensibles aux vibrations.

Ces rivets sont proposés en acier ou en alliage d'aluminium 7075. Pour les applications marines, les rivets en 7075 doivent être livrés avec une protection anodisation d'au moins 15 µm, suivie d'un colmatage au bichromate.

2.3 | Les écrous à sertir

Encore appelés « écrous noyés » ou « écrous à sertir », il s'agit d'écrous taraudés rapportés « en aveugle » sur leur support, en général une tôle ou un profilé.

Le sertissage est réalisé par traction sur une tige filetée vissée dans l'écrou à sertir. La partie lisse comprimée se déforme en bourrelet, assurant ainsi un bon serrage des éléments à assembler (figure 104). Les têtes peuvent être plates ou fraisées.

Ces écrous présentent un grand intérêt en ce sens qu'ils font fonction d'écrous noyés, facilitant ainsi la fixation par vissage dans des structures de faible épaisseur, des cloisons par exemple.

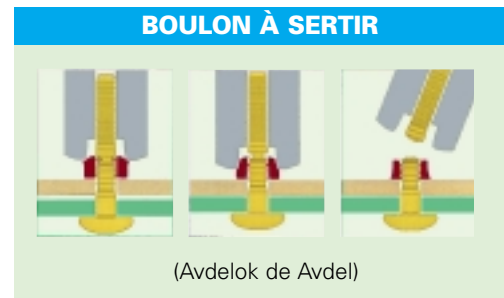


Figure 102

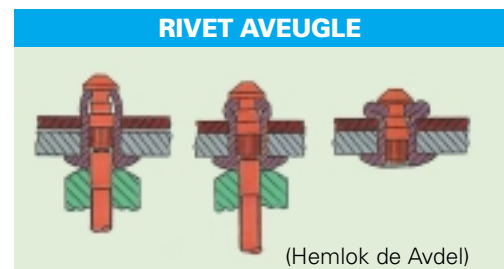


Figure 103

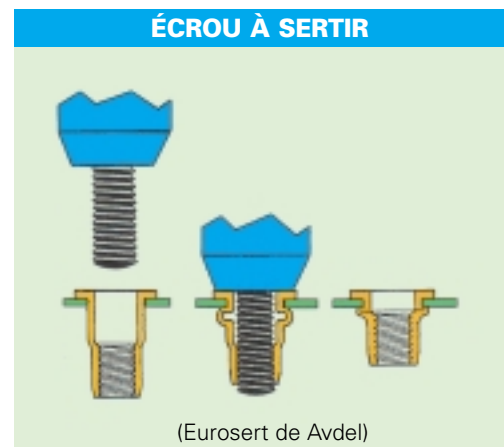


Figure 104

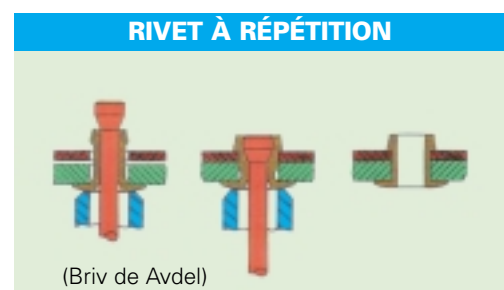


Figure 105

GUIDE DE CHOIX

VOUS SOUHAITEZ

Fixer 2 pièces sans percement d'un trou. Accès des 2 côtés.

Fixer 2 pièces après percement d'un trou. Pas d'accès des 2 côtés.

Fixer 2 pièces après percement d'un trou. Accès des 2 côtés. Résistance très élevée.

Réaliser un taraudage sur pièce d'épaisseur fine pour pouvoir poser une vis par la suite.

Des tenues mécaniques élevées et une tige verrouillée

non

Rapidité de pose, automatisation de la pose

Une résistance à la poussée

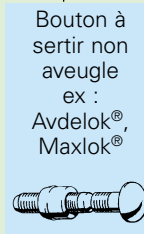
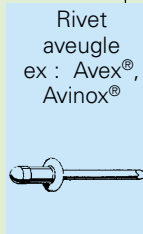
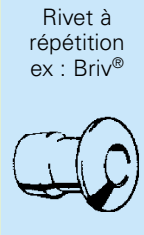
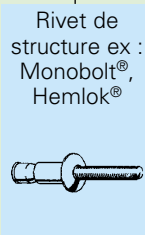
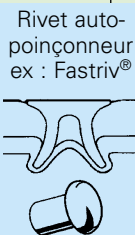
oui

oui

non

oui

non



D'après Avdel

2.4 | Les rivets à répétition

Ainsi appelés parce que leur fixation, en aveugle, par expansion radiale du fût est faite par une tige réutilisable par laquelle ils sont introduits, à partir d'un chargeur (figure 119).

Ces rivets ont une résistance mécanique moyenne et ne sont utilisés que pour des assemblages très peu sollicités. Ils peuvent être posés en rivetage automatique à alimentation en continu.

2.5 | Les rivets autopoinçonneurs

C'est un mode d'assemblage mixte associant rivetage et clinchage, nécessitant un accès des deux côtés (figure 106).

Il peut être automatisé. Il se fait sans perçage préalable des tôles à assembler. La liaison n'est pas débouchante, ce qui garantit l'étanchéité.

2.6 | Les critères de choix des rivets

Le choix du type de rivets dépend de plusieurs critères (figure 107) :

- accessibilité par 1 ou 2 côtés,
- perçage préalable,
- intensité de la contrainte sur la liaison, etc.

2.7 | Remarque

Quand on utilise des rivets mécaniques en acier ordinaire ou en acier inoxydable, il est nécessaire de protéger la zone de contact si celle-ci est en immersion permanente (ou intermittente) dans l'eau (ou l'eau de mer).

Pour éviter tout risque de corrosion galvanique de l'aluminium, on peut utiliser un enduit, qui est déposé à l'interface des produits à assembler et également sur les rivets afin d'éviter des infiltrations le long de leur tige.

Les enduits doivent remplir certaines conditions :

- être neutres vis-à-vis des alliages d'aluminium,
- avoir une épaisseur aussi faible que possible, pour réduire au minimum l'effet néfaste du joint sur la résistance de l'assemblage,
- avoir une bonne faculté d'écrasement autour de la tige du rivet pour permettre un contact intime des tôles.



Figure 106

TUYÈRE D'HYDROJET



3. | LE COLLAGE

Le collage industriel a connu un important développement depuis 1960, d'abord dans l'aéronautique avec les structures en nid d'abeille. Dans l'automobile, le collage des pare-brise sur la caisse a débuté en 1963 pour se généraliser depuis à tous les modèles d'automobile. Toutes les grandes industries – automobile, électroménager, bureautique, électronique, etc. – utilisent maintenant le collage comme mode d'assemblage ^[1].

En construction navale, les applications du collage structural sont encore limitées et concernent principalement les assemblages hétérogènes de l'aluminium avec le verre et avec les composites ^[2]. C'est ainsi que les vitrages de NGV construits en Australie sont collés, ce qui a pour effet d'augmenter la rigidité des superstructures en alliage d'aluminium ^[3]. Le collage des planchers constitués de tôles relief en aluminium dans la salle des machines simplifie la mise en place et réduit la transmission des vibrations.

Le collage est très utilisé dans les bateaux de plaisance : pont en teck sur le roof, qu'il soit en polymère ou en aluminium, fixation de certains éléments de l'accastillage (cadènes, winch, guindeaux, etc.).

Les recherches technologiques en cours visent à augmenter significativement la part du collage dans l'assemblage des structures en construction navale, en particulier sur les assemblages homogènes aluminium-aluminium et hétérogènes aluminium-acier et aluminium-composites ^[4].

3.1 | Les avantages du collage

Compte tenu des avantages qu'il présente, notamment grâce aux simplifications de montage qu'il est en mesure d'apporter, le collage va se développer dans la construction navale.

En effet, par rapport aux autres techniques d'assemblage, il permet :

- l'assemblage de matériaux différents : aluminium sur acier, aluminium sur matériaux composites, etc. Étant isolants, les adhésifs évitent la corrosion galvanique de l'aluminium au contact des autres métaux de l'assemblage,
- la compensation des différences de dilatation dans le cas d'assemblages hétérogènes,
- l'assemblage des alliages d'aluminium à durcissement structural des familles 2000 et 7000, non soudables à l'arc (2),
- une meilleure répartition des contraintes (liaison continue),
- l'amortissement des vibrations, d'autant plus que le joint est épais,
- l'étanchéité des assemblages,
- l'assemblage de sous-ensembles à un état de finition avancé (peinture, décorations diverses, etc.) qui ne serait pas possible avec le soudage, dont le chauffage aurait pour effet de dégrader les finitions,
- la tolérance plus large des assemblages collés par rapport aux autres modes d'assemblages.

Le remplacement du soudage par du collage évite le chauffage, par conséquent la zone affectée thermiquement. Le collage a donc pour effet de conserver les caractéristiques mécaniques initiales de l'aluminium.

(2) Sous réserve, bien évidemment, d'être protégés spécialement pour être utilisés en milieu marin. La cuisson de l'adhésif (à une température inférieure à 200 °C, pendant quelques minutes) n'affecte pas leurs caractéristiques mécaniques.

Il en résulte deux conséquences :
■ la réduction des épaisseurs des éléments, ce qui contribue à augmenter le gain de poids sur les sous-ensembles collés,
■ la suppression des déformations, donc un gain de temps.

3.2 | La conception de l'assemblage collé

Pour réussir un bon collage, il faut :

- connaître les conditions d'utilisation des assemblages (cahier des charges précisant en particulier l'environnement),
- penser au collage dès la conception,
- préparer soigneusement les surfaces,
- choisir l'adhésif adapté aux conditions de service,
- pratiquer des essais destructifs avant le début de la réalisation pour valider les choix et pendant la fabrication, si un contrôle non destructif n'est pas envisageable pour des raisons de coût, par exemple,
- soigner la fabrication et l'automatiser le plus possible.

Il existe quatre modes de sollicitation d'un joint collé (figure 108) :

- le cisaillement,
- la traction,
- le clivage,
- le pelage.

Les joints collés résistent mal au pelage et au clivage. Il faut donc les faire travailler, de préférence, en cisaillement et en traction.

On choisira un recouvrement à géométrie plane ou un emmanchement suffisant des joints. Il faut tenir compte de l'influence des matériaux et de l'épaisseur de l'adhésif.

Pour compenser la faiblesse des caractéristiques mécaniques du joint collé, la surface de celui-ci doit être aussi étendue que possible dans les configurations habituelles (figure 109).

Le lecteur trouvera dans les ouvrages spécialisés les règles de conception des assemblages collés ⁽³⁾. L'Eurocode 9 traite au chapitre 6-8 des « Liaisons fixées par adhésif » des assemblages collés (3).

(3) Eurocode 9. Conception et dimensionnement des structures en aluminium. Partie 1 -1. Règles générales et règles pour le bâtiment.

3.3 | Le choix de l'adhésif

Les adhésifs sont généralement classés par familles chimiques. Cependant, à l'intérieur d'une même famille, les propriétés, en particulier mécaniques, varient très largement d'un produit à l'autre.

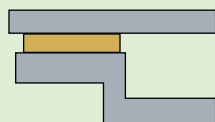
Les adhésifs qui polymérisent à froid sont plus particulièrement adaptés à la construction navale à cause des surfaces importantes susceptibles d'être collées.

CONFIGURATIONS DE JOINTS COLLÉS



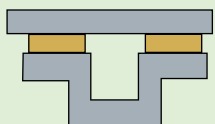
Recouvrement simple

Configuration généralement utilisée pour assembler des matériaux minces, du fait de sa facilité de mise en œuvre et de sa bonne résistance



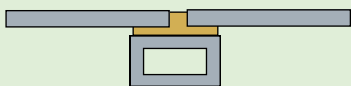
Section en Z

Permet de rigidifier des pièces de grandes dimensions



Section trapézoïdale

Permet de rigidifier et d'assembler des matériaux composites



Joint à épissure

Il est souvent utilisé quand la surface doit rester lisse, sans préparation particulière



Section en U

Souvent utilisée pour accroître la zone de collage et réduire les forces de pelage



Joint en bordure

Utilisé pour produire une surface affleurante lors de l'assemblage de deux matériaux différents, par exemple du verre et un châssis

D'après Sika Industry

Figure 109

MODES DE SOLlicitATION DES JOINTS COLLÉS

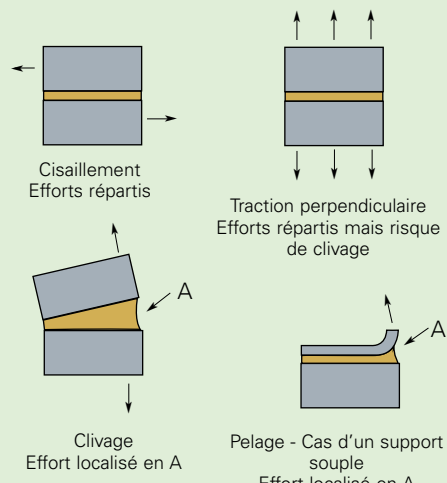


Figure 108

Dans cette catégorie, il faut signaler plus spécialement :

- les polyuréthanes monocomposants, particulièrement adaptés aux applications marines (étanchéité) et dont certaines formulations en font des adhésifs semi-structuraux. Ils sont utilisés notamment pour le collage du pont des bateaux de plaisance. Les joints peuvent avoir une épaisseur de plusieurs millimètres,
- les polyuréthanes bicomposants, convenant en particulier pour la réalisation de panneaux sandwich. Ils nécessitent un primaire d'accrochage et polymérisent en quelques jours à la température ambiante. L'épaisseur du joint dépasse parfois le millimètre. Ils sont peu onéreux,
- les époxy bicomposants, particulièrement recommandés pour les collages structuraux. Ils polymérisent en quelques heures à la température ambiante. Le joint collé optimal a une épaisseur de 0,1 à 0,2 mm,
- les acryliques modifiés, qui polymérisent en quelques minutes. Ils connaissent un fort développement malgré leur coût élevé.

D'autres familles peuvent être également envisagées, telles que :

- les colles anaérobies pour le freinage de la visserie,
- les silicones monocomposants pour résoudre les problèmes d'étanchéité,
- les époxy monocomposants dans le cas d'assemblages particulièrement sollicités et susceptibles d'être étuvés.

Dans chacune de ces familles, il existe des adhésifs spécialement conçus pour le milieu marin.

3.4 | La préparation de surface

Cette opération est cruciale : la qualité et la pérennité du joint collé en dépendent ^[6].

Dans le cas d'aménagements intérieurs, deux exemples de gamme sont indiqués ci-après :

- premier exemple :
 - dégraissage chimique basique ou acide (de préférence), ou aux solvants organiques non chlorés tel l'Evopred de la société SID (4),
 - conversion chimique phosphorique ou sans chromates,
 - application d'un primaire, époxy notamment ;
- second exemple :
 - dégraissage (comme ci-dessus),
 - application d'un wash-primer.

Le délai d'attente entre la préparation de surface et le collage doit être aussi court que possible. Il peut être de quelques jours, si le stockage est effectué dans un local propre et sec.

Il existe également des tôles pré-revêtues, comportant une face laquée au recto et revêtues au verso d'un primaire époxy spécial pour le collage. Ces tôles conviennent particulièrement bien pour la fabrication de panneaux de type sandwich.

3.5 | La fabrication industrielle

Le collage doit être fait si possible dans un local ventilé, à l'abri des poussières.

Il est impératif de travailler avec soin et méthode :

- en portant des gants blancs et des lunettes de protection,
- en respectant strictement les consignes du fabricant d'adhésif, dont les conditions de stockage (durée et température).

Les contrôles adéquats seront faits à chaque stade de la fabrication : mélanges résine-durcisseur, durée et pression d'accostage des pièces pendant la polymérisation, température de polymérisation, etc.

Sur des éprouvettes normalisées seront effectués des essais destructifs (5) :

- de traction-cisaillement avec vieillissement au cataplasme humide,
 - ou de pelage,
- pour surveiller les éventuelles dérives.

3.6 | La réparation des joints collés

Quand des structures sont appelées à durer plusieurs décennies, il est possible qu'elles doivent à un moment donné être réparées, soit pour cause d'avarie, soit pour une modification.

Si les joints réalisés avec des colles rigides appliquées sous forme de film sont très difficiles à démonter, les joints de colles souples suffisamment épais sont faciles à réparer ou à remplacer, pourvu que le joint ait au moins 2 mm d'épaisseur. Dans ces conditions, il est facile de démonter le joint, sans endommager le support, avec un fil métallique ou avec des couteaux vibrants.

Il n'est pas toujours nécessaire d'éliminer les traces de l'ancienne colle. Traitée par un « activateur » adéquat dont le rôle est d'améliorer l'adhésion du substrat, celle-ci constitue un excellent substrat pour la colle fraîche de même nature.

3.7 | La durabilité des joints collés

La durabilité des joints collés dépend de plusieurs paramètres, dont :

- la chimie des adhésifs,
- le traitement de surface de l'aluminium,
- les conditions de service : les contraintes, la température, l'humidité relative, etc.

Le vieillissement des joints collés peut se traduire par :

- une diminution des caractéristiques mécaniques,
- le fluage sous contrainte.

La diminution de leurs caractéristiques mécaniques est due soit à la transformation de la surface du métal (modification de la couche d'oxyde de l'aluminium), soit aux modifications des propriétés de l'adhésif (plastification, hydrolyse, etc.).

L'eau est le principal agent de dégradation des joints collés en agissant sur l'adhésif lui-même ou en provoquant une corrosion superficielle du métal (6).

Bien que l'antériorité du collage en construction navale dépasse maintenant 15 ans, la connaissance du vieillissement des joints collés est encore fragmentaire.

(4) SID : Société Industrielle de Diffusion F38140 Izeaux.

(5) Suivant norme EN 1465. Détermination de la résistance au cisaillement d'assemblages rigide-rigide, collés à recouvrement simple.

(6) Ce qui explique l'importance du traitement de surface de l'aluminium, qui a pour but de renforcer les propriétés du film d'oxyde naturel.

L'expérience de plus de 12 ans maintenant en milieu marin montre que les époxy bicomposants présentent une très bonne tenue, sous réserve d'une conception et d'une préparation de surface correctes des joints.

Dans le tableau 59 sont indiqués quelques résultats de fluage obtenus sur éprouvettes normalisées (suivant norme AFNOR NF T 76-107 sauf pour l'épaisseur) en 5754 et chargées à 25 % de leur charge de rupture à l'origine, exposées en milieu marin.

Sur des alliages des familles 5000 et 6000, la tenue en fatigue des joints collés avec des adhésifs époxy monocomposants sur des échantillons ayant subi un dégraissage alcalin et huilés ensuite est supérieure aux assemblages clinchés ou soudés par points (figure 110).

Comme tous les polymères, les joints collés sont sensibles à l'action des ultraviolets (UV) qui dégradent leurs propriétés mécaniques. Dans le cas du collage de vitrage, il est indispensable de protéger la zone collée par un bandeau opaque de dimension adéquate (figure 111).

3.8 Remarque

À bord des navires, les assemblages collés doivent satisfaire aux règles (qui dépendent de la classe du navire) concernant la tenue au feu [7].

Les adhésifs étant des composés organiques, ils pourraient constituer une « charge d'incendie » du fait de leur nature organique. Toutefois, la quantité très faible d'adhésif réduit ce risque.

L'expérience montre qu'il est possible de satisfaire aux règles de sécurité incendie avec le collage assisté par rivetage (ou par soudage par points) pour qu'il conserve une tenue mécanique lors d'une élévation de température. Par ailleurs, l'intégrité des structures est assurée par une isolation adéquate, conformément aux règles de sécurité incendie à bord des navires.

(7) Essais de fatigue réalisés en 1995 dans le cadre du projet européen Brite 5656.

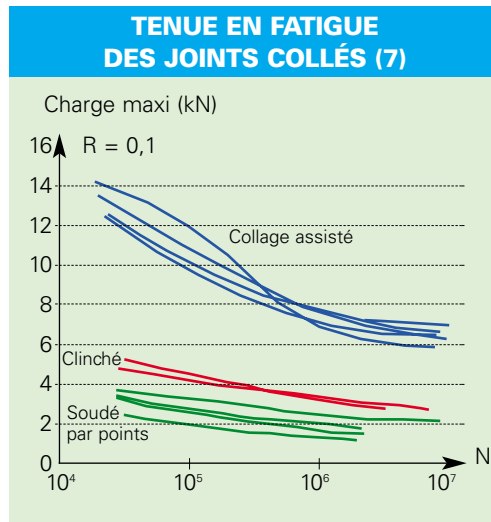


Figure 110

PROTECTION DES JOINTS COLLÉS AUX UV

Recommandations minimales pour la protection du joint contre les rayons ultraviolets

d = épaisseur de la fenêtre

O = recouvrement

$$O = d \sqrt{1/(n_{12}^2 - 1)}$$

n_{12} = indice de réfraction du panneau de verre

Règle Sika
 $O = 2 \times d$
 Exemple : si d = 8 mm, le recouvrement doit au moins être égal à 16 mm

1 Protection UV
 2 Sikaflex®-296 ou Sikaflex®-165
 3 Fenêtre

D'après Sika Industry

Figure 111

FLUAGE DES JOINTS COLLÉS SUR 5754			
Adhésif	Préparation de surface	Charge initiale (daN)	Durée de vie en milieu marin
Époxy monocomposant	MEK + Scotch Brite + MEK	147	62 jours
	Anodisation phosphorique	161	3 éprouvettes NR à 12,5 ans 2 éprouvettes NR à 8,5 ans
Époxy bicomposant souple	Anodisation phosphorique	258	1 éprouvette NR à 12,5 ans 4 éprouvettes NR à 7 ans
Époxy monocomposant souple	Anodisation phosphorique	210	3 éprouvettes NR à 12,5 ans 2 éprouvettes NR à 2,5 ans
Acrylique renforcé	MEK + Scotch Brite + MEK	230	220 jours
	Anodisation phosphorique	183	1 éprouvette NR à 12,5 ans 3 éprouvettes NR à 2,5 ans

MEK : dégraissage à la méthyléthylcétone.

NR : éprouvettes non rompues après XX jours.

Tableau 59

JOINT DE TRANSITION TRICLAD

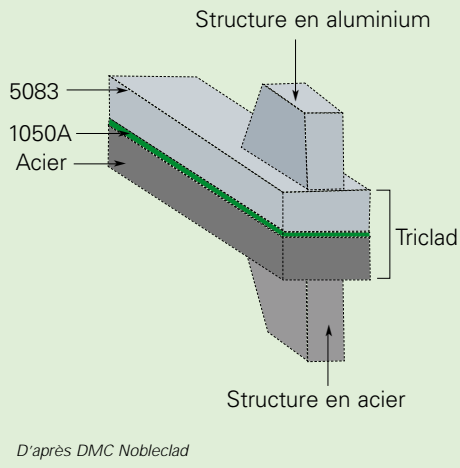


Figure 112

SOUDURE BOUT À BOUT DU TRICLAD

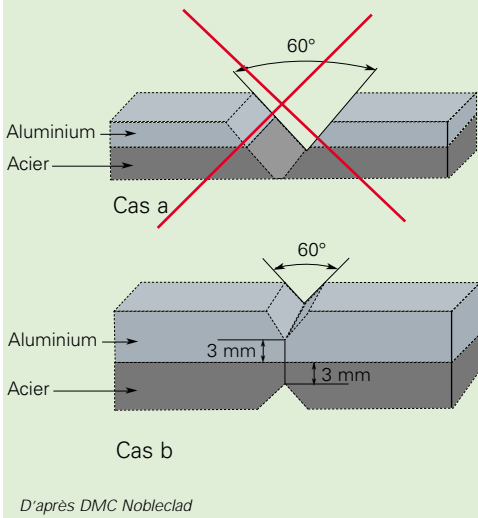


Figure 113

SOUDURES EN TRAVERS ET EN ANGLE DU TRICLAD

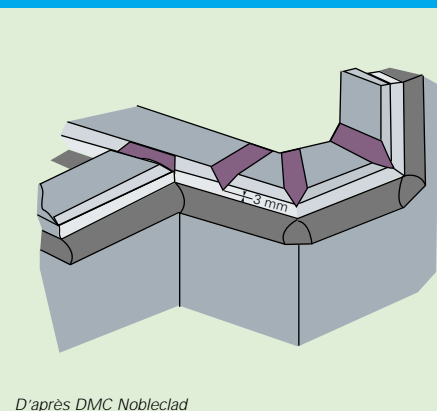


Figure 114

4. LES JOINTS DE TRANSITION

Apparu au début des années 1970, le joint de transition est une barre bimétallique qui permet d'assembler par soudage à l'arc des métaux et alliages différents, en particulier ceux qui ne peuvent pas être soudés entre eux par un procédé classique (8).

Avec un joint de transition adapté aux liaisons aluminium-acier, il est donc possible de réaliser par soudage MIG (ou TIG) des assemblages de structures en alliage d'aluminium sur de l'acier, par exemple les superstructures du pont d'un navire, d'une plate-forme offshore, etc.

4.1 La constitution d'un joint de transition

Le joint de transition « TRICLAD » est fait d'une partie en acier et d'une partie en aluminium (constituée de deux couches superposées, une en 1050 au contact de l'acier, et l'autre en 5083, en partie supérieure) (figure 112). La liaison entre les trois couches est réalisée par l'explosion contrôlée d'une charge d'explosif. C'est un placage par explosion.

Contrairement aux complexes à jonction bimétalliques aluminium-acier réalisés par co-laminage à chaud, on n'observe aucun intermétallique dans la zone de liaison entre l'aluminium et l'acier du TRICLAD.

Le refroidissement très rapide, de l'ordre de la microseconde, après l'explosion évite la formation de ces intermétalliques qui affecteraient la qualité de la liaison entre l'aluminium et l'acier. On considère que la « micro-fusion » s'effectue dans la zone de liaison entre les deux métaux sur une épaisseur de 10 à 50 μm .

4.2 Les propriétés des joints de transition

L'épaisseur des composants des joints de transition standard, calculée pour ne pas dépasser 300 °C dans l'interface aluminium-acier (dans des conditions normales de soudage), est indiquée dans le tableau 60.

Les propriétés mécaniques du TRICLAD sont indiquées dans le tableau 61. Sur éprouvettes tirées dans le sens perpendiculaire au plan de jonction aluminium-acier, la striction a toujours lieu dans la partie aluminium, au-delà de la zone de liaison entre les deux métaux.

4.3 Les conditions de mise en œuvre

La largeur des joints de transition doit être 4 fois celle de l'épaisseur des tôles soudées en 5083. La largeur des produits standard est de 25 mm, ce qui permet de souder des tôles jusqu'à 6 mm d'épaisseur.

Sous peine de détérioration irréversible de la jonction, la mise en œuvre des joints de transition doit respecter des règles strictes, notamment :

- limiter la température à l'interface de la jonction à 300 °C des deux métaux pour éviter la formation des intermétalliques entre l'aluminium et l'acier. En pratique, il est recommandé de faire un essai dans les conditions de soudage habituelles en contrôlant la température de l'interface à l'aide d'un crayon thermosensible ou d'un thermocouple,

(8) Pour des raisons d'ordre métallurgique : la fusion des métaux provoque la formation de composés intermétalliques qui fragilisent le cordon de soudure.

ÉPAISSEUR DES JOINTS DE TRANSITION TRICLAD

Type de joint	Épaisseur (mm)					
	5083	1050A	3003	Acier	Titane	Acier Inox
5083/1050A/Acier	6	9		25		
3003/Titane/Acier inoxydable			10-12		1,50	20

Tableau 60

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES JOINTS DE TRANSITION TRICLAD

	5083/1050A/Acier		3003/Titane/Acier inoxydable	
	Garantie (*)	Typique (**)	Garantie (*)	Typique (**)
Rm (MPa)	75	120 - 160	100	170 - 190
Résistance au cisaillement (***)	55	90 - 130		240

(*) Suivant norme MIL -J-24445A. (**) Valeurs moyennes DMC Nobelclad. (***) À l'interface acier.

Tableau 61

■ ménager des chanfreins dans chacun des métaux pour les raccordements en bout à bout (figure 113a) de façon à ne *jamais traverser l'interface* (figure 113b) sous peine de détérioration du joint,

■ ménager des chanfreins dans la barre en cas de jonctions perpendiculaires, comme indiqué sur la figure 114),

■ ne jamais souder sur la face latérale du joint de transition, sous peine de détérioration irrémédiable.

Références bibliographiques

[1] *Le collage industriel*, MICHEL RACHLINE, Sika Industry, Editions Viloeco, 2001.

[2] « Blending aluminium and composites », DOUG WOODYEAR, *Speed at Sea*, vol. 2, 1996.

[3] « Elastic adhesives used in the construction of high speed ferries », A. VAN GEELEN, Sika Australia Pty Ltd, *13th Fast Ferry International Conference*, February 1997, Singapore.

[4] « Research investigates bonding techniques » PAUL HYNDY, *Speed at Sea*, February 2001, p 47.

[5] « Elastic bonding. The basic principles of adhesive technology and a guide to its cost effective use in industry », Sika Industry, 1998, Verlag Modern Industrie ISBN 3-478-98203-3.

[6] « Adhésive bonding of aluminium for marine applications », G. E. JUDD, A. MADISSON, *Conference Ausmarine '96*, pp. 129-136.

[7] « Structural adhesive bonding of aluminium in marine applications », JAN R. WEITZENÖCK & BRIAN HYMAN, Andreas T. ECHTERMEYER, Det Norske Veritas, *The Third International Forum on Aluminium Ships*, Haugesund, Norway, May 1998.

VEDETTE RAPIDE OGIA





AUSSIE RULES