

# CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES D'ASSEMBLAGES ALUMINIUM/ALUMINIUM ET ALUMINIUM/ACIER UTILISÉS POUR L'ALLÈGEMENT DES CARROSSERIES AUTOMOBILES\*

(KOSUGE HARAGA (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.)\*\*

**Toutes les solutions possibles pour les liaisons mixtes acier-aluminium ne sont pas équivalentes.**

**Le rivetage, associé ou non au collage, donne les meilleurs résultats.**

**Le clinchage impose une augmentation des épaisseurs pour une tenue mécanique équivalente à celles des assemblages homogènes.**

## 1/INTRODUCTION

L'acier est le principal matériau utilisé pour les caisses de véhicules automobiles et le soudage par résistance par points est le procédé d'assemblage le plus généralement employé. Au cours de ces dernières années, l'allègement des caisses a été rendu nécessaire pour réduire la consommation de carburant. Le remplacement de l'acier par l'aluminium a été envisagé en tant que méthode d'allègement possible. Toutefois, de nombreuses difficultés ont été rencontrées pour la réalisation d'assemblages aluminium/aluminium ou aluminium/acier par soudage conventionnel par résistance par points. Il était donc très important d'effectuer des travaux d'étude sur de nouvelles techniques d'assemblage.

En premier lieu, quelques documents [1-6] décrivant des méthodes d'assemblage aluminium/aluminium ou aluminium/acier ont été analysés et une étude de marché a été entreprise. Ultérieurement, la répétabilité des opérations d'assemblage, la possibilité d'automatisation, ainsi que les caractéristiques des assemblages et les coûts de réalisation ont fait l'objet d'études. Par la suite, quatre procédés ont été sélectionnés afin d'être explorés plus avant : le rivetage auto-poinçonneur, le clinchage, une variante hybride de collage et de rivetage auto-poinçonneur et une variante hybride de collage et de clinchage.

Les caractéristiques mécaniques (résistance au cisaillement, résistance à la traction, résistance à la fatigue) d'assemblages aluminium/aluminium ou aluminium/acier réalisés suivant les quatre méthodes sélectionnées ont été comparées avec celles d'assemblages conventionnels par résistance par points ou d'assemblages par résistance et collés.

## 2/PROGRAMME D'ESSAI

### 2/1 MÉTHODES D'ESSAI

Les procédés suivants ont été utilisés pour la réalisation des assemblages d'essai : (1) la méthode de rivetage Henrob (Japan Driveit Co. Ltd.) pour le rivetage auto-poinçonneur, (2) la méthode de clinchage Tox (Rix Co. Ltd.) pour le clinchage, (3) une variante hybride de collage et de rivetage Henrob (collage - Henrob) et (4) une variante hybride de collage et de clinchage Tox (collage - Tox). Ces procédés ont été employés pour la réalisation d'assemblages aluminium/aluminium ou aluminium/acier. Des assemblages aluminium/aluminium ou acier/acier réalisés (5) par soudage par résistance par points et (6) par résistance et collage ont également été soumis à des essais. Des assemblages collés (7) ont également été préparés afin de permettre la comparaison des procédés hybrides avec le collage structurel seul. La figure 1 illustre de manière schématique le procédé de rivetage Henrob [1]. La figure 2 illustre de manière schématique le procédé de clinchage Tox [6].

Les caractéristiques mécaniques ont été déterminées à l'aide d'essais statiques de traction-cisaillement et de traction sur joints éprouvettes en croix, ainsi que d'essais de fatigue en traction-cisaillement.

Les assemblages ont été réalisés sur des tôles d'aluminium (A5182-0) et d'acier non allié (SPCC) d'épaisseurs 1,6 mm et 0,8 mm. La zone de recouvrement était de 25 x 25 mm pour les éprouvettes de traction-cisaillement comme pour les éprouvettes de

\* Traduction de l'article paru dans « Welding in the World », n° 4/2000, pages 23 à 27.

\*\* Centre de R&D des technologies avancées, Département des matériaux et des éco-matériaux.

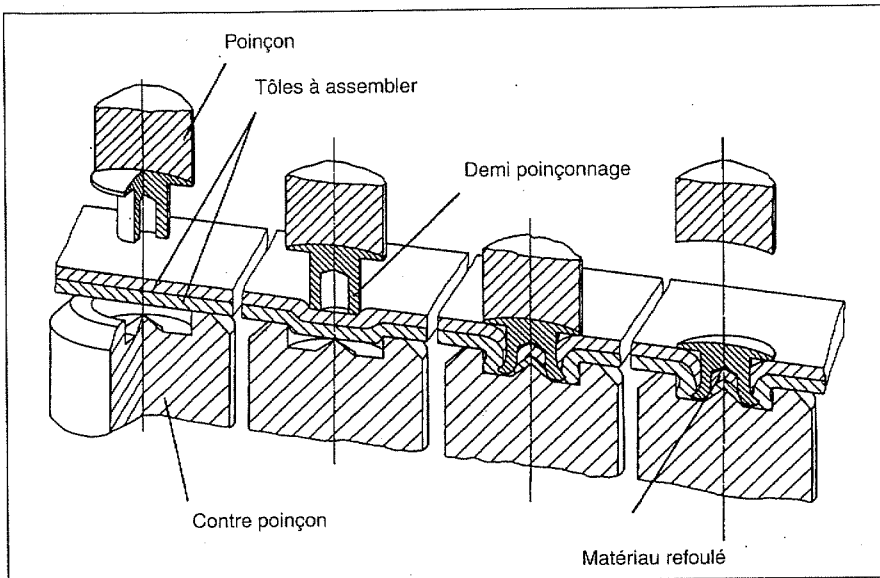


Figure 1 : Schéma illustrant la séquence opératoire des procédés d'assemblage utilisés en rivetage auto-poinçonneur (rivetage Henrob) [1].

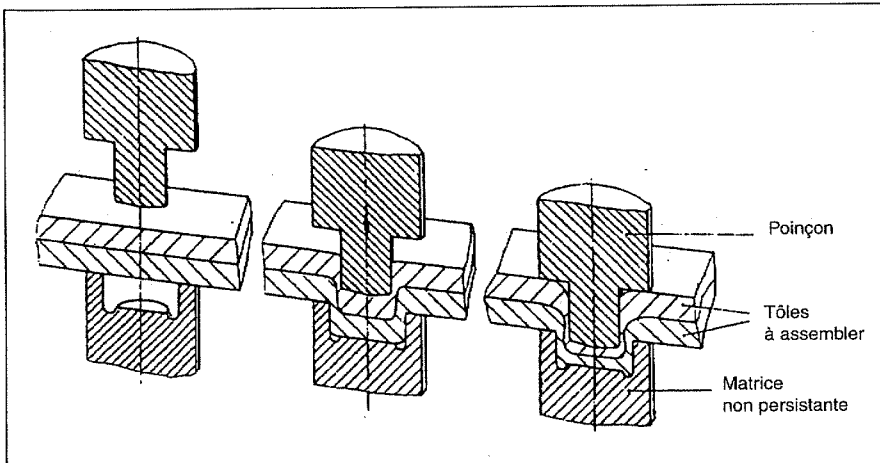


Figure 2 : Schéma illustrant la séquence opératoire des procédés d'assemblage utilisés en clinchage mécanique (clinchage Tox) [6].

traction en croix. Un point unique d'assemblage a été réalisé au centre de la zone de recouvrement par rivetage Henrob, par clinchage Tox et par soudage par résistance. Lorsqu'il a été utilisé, le collage a été effectué sur la totalité de la zone de recouvrement. Dans le cas de l'emploi d'une méthode hybride, un point unique d'assemblage a été réalisé au centre de la zone de recouvrement par rivetage Henrob, par clinchage Tox et par soudage par résistance avant cuisson de la colle.

Dans les conditions recommandées par les fabricants, des rivets Henrob en acier de 5 mm de diamètre et des poinçons de 8 mm de diamètre (pour l'épaisseur 1,6 mm) et de 6 mm de diamètre (pour l'épaisseur 0,8 mm) ont été utilisés. Les rivets Henrob ont été appliqués dans le sens aluminium vers acier. Le clinchage Tox a été pratiqué du côté acier. La colle utilisée était de nuance E-6208

(Sunstar Co. Ltd.) résine époxy mono-composant à cuire, traitement de 20 minutes à 170 °C.

Les valeurs de résistance en traction-cisaillement et en traction en croix ont été mesu-

rées à température ambiante sous une vitesse de déformation de 5 mm/min. La résistance en fatigue a été déterminée à température ambiante avec une fréquence de chargement de 20 Hz.

## 2/2 DIAGRAMME EFFORT-DEFORMATION

La figure 3 illustre les diagrammes effort-déformation des essais de traction-cisaillement et de traction en croix d'assemblages hybrides. Les deux diagrammes montrent tout d'abord l'apparition d'un pic P1 lorsque la couche de colle commence à céder en bordure de la zone de recouvrement. Ensuite, un pic P2 est observé lors de la défaillance du rivet ou du clinchage situé au centre de la zone de recouvrement. Au cours des essais de cisaillement, les valeurs de résistance P1 ont été retenues comme résultats d'essai. Dans le cas des essais de traction, les valeurs de résistance correspondant à P2 ont été retenues comme résultats d'essai. Dans le cas des essais de traction, les valeurs de résistance correspondant à P2 sont toujours supérieures à celles de P1. Les valeurs correspondant à P2 ont donc été retenues comme résultats d'essai.

Dans le cas des assemblages mono-procédé (clinchage Tox, rivetage Henrob, soudage par résistance et collage structurel), seul le pic P1 apparaît dans le cas du collage et seul le pic P2 apparaît pour les autres types d'assemblage.

## 3/RÉSULTATS ET ANALYSE

### 3/1 RÉSISTANCE STATIQUE

#### 3.1.1 Résistance des assemblages mono-procédé

La figure 4 illustre les valeurs de résistance des assemblages mono-point aluminium/aluminium en 1,6 mm d'épaisseur. La figure 4 indique que le classement des valeurs de résistance au cisaillement est le suivant : collage > soudage par résistance ≥ rivetage Henrob > clinchage Tox. La figure 4 montre

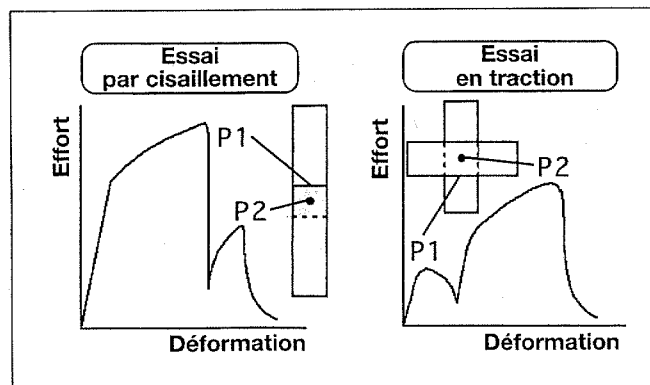


Figure 3 : Diagrammes effort-déformation correspondant aux essais de traction-cisaillement et aux essais de traction en croix sur assemblages hybrides (collage-clinchage Tox, collage-rivetage Henrob, soudo-collage).

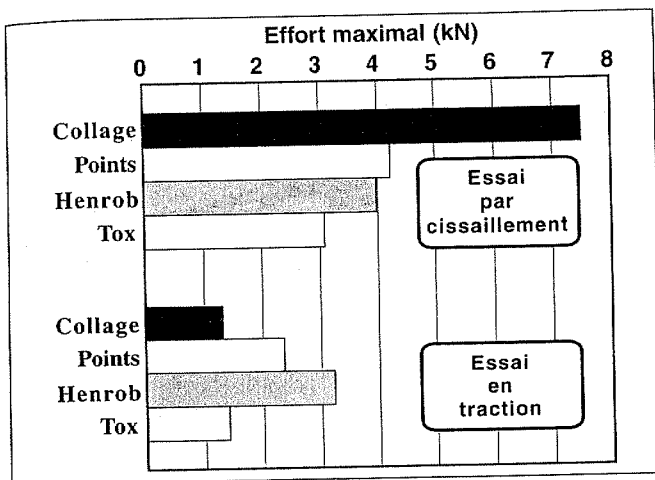


Figure 4 : Résistance des assemblages mono-procédé (clinchage Tox, rivetage Henrob, soudage par résistance par points, collage structural) aluminium/aluminium d'épaisseur 1,6 mm.

par ailleurs que le classement des valeurs de résistance en traction est le suivant : rivetage Henrob > soudage par résistance > clinchage Tox > collage.

Le classement des procédés d'assemblage par collage, soudage par résistance, rivetage Henrob s'inverse entre le cisaillement et la traction, et le clinchage Tox s'avère le moins résistant dans les deux cas. La faible résistance des assemblages collés sollicités en traction peut être attribuée à un effet de pelage.

### 3.1.2 Résistance des assemblages hybrides

La figure 5 illustre les caractéristiques mécaniques des assemblages hybrides aluminium/aluminium en épaisseur 1,6 mm par rapport à celles des assemblages mono-procédé. On constate que, lors de l'essai de cisaillement, la résistance des assemblages hybrides est supérieure à celle des assem-

blages mono-procédé pour atteindre un niveau quasiment identique à celui de la résistance des assemblages collés. Par conséquent, il est possible d'affirmer que la résistance des assemblages hybrides dépend de la résistance de la liaison collée. Pour permettre au lecteur de faire lui-même la comparaison, les valeurs de résistance des points de soudure par résistance, des rivets Henrob et des clinchages Tox sur assemblages hybrides sont indiquées par des repères  $\diamond$  sur la figure 5. Dans le cas des essais de traction, les valeurs de résistance des assemblages hybrides sont pratiquement égales à celles obtenues sur assemblages mono-procédé. Ce résultat semble découler du fait que la résistance des assemblages collés est la plus faible des assemblages mono-procédé. Les repères  $\circ$  de la figure 5 matérialisent les valeurs de résistance des parties collées des assemblages hybrides.

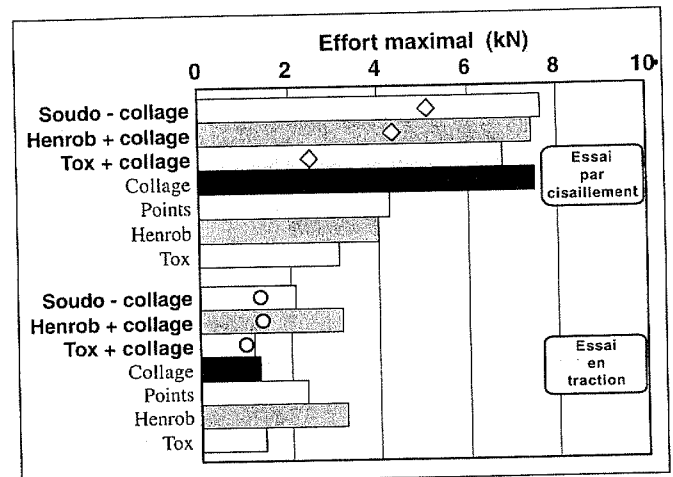


Figure 5 : Résistance des assemblages hybrides aluminium/aluminium d'épaisseur 1,6 mm.

### 3.1.3 Influence des matériaux constitutifs

La figure 6 montre le rapport entre les valeurs de résistance aluminium/acier et aluminium/aluminium. Dans le cas du cisaillement, il n'existe qu'un faible écart entre les assemblages aluminium/aluminium et aluminium/acier. Dans le cas des essais en traction, la résistance des assemblages aluminium/acier apparaît légèrement supérieure à celles des assemblages aluminium/aluminium. Sans qu'il soit possible de l'affirmer avec certitude, il semble toutefois que la résistance des assemblages dépende de la résistance de l'aluminium.

### 3.1.4 Influence de l'épaisseur des matériaux assemblés

Les figures 7 et 8 illustrent l'effet de l'épaisseur des pièces assemblées sur la résistance au cisaillement et la résistance en traction. Les valeurs de résistance des

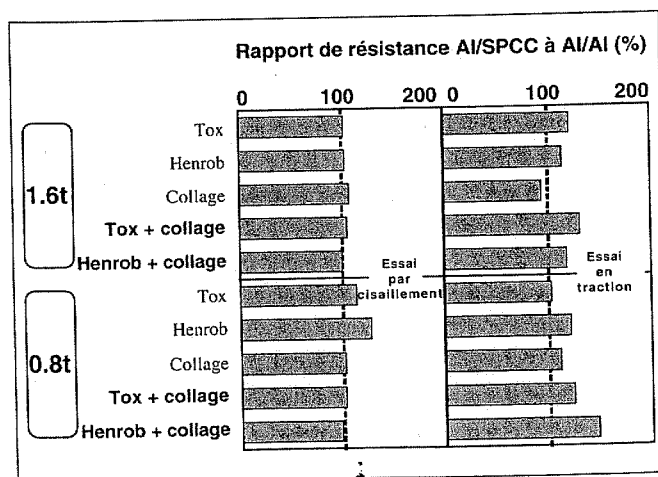


Figure 6 : Rapport des valeurs de résistance mécanique aluminium/aluminium et aluminium/acier.

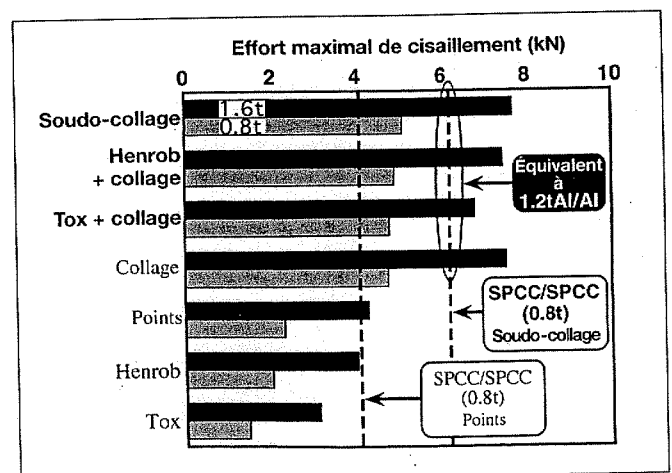


Figure 7 : Influence de l'épaisseur des pièces assemblées sur la résistance au cisaillement (aluminium/aluminium).

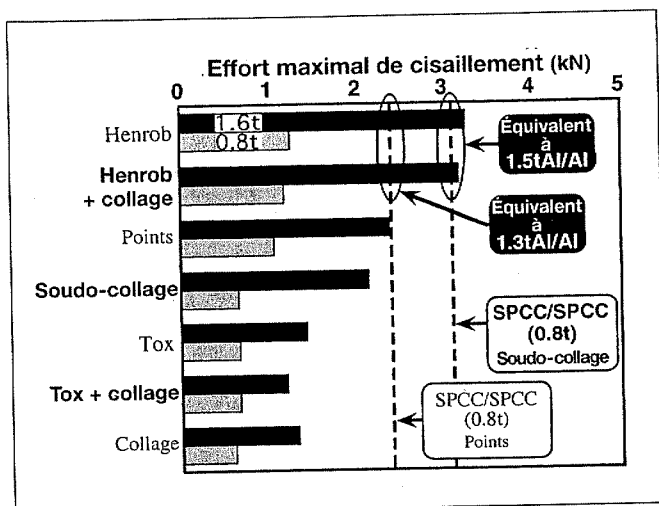


Figure 8 : Influence de l'épaisseur des pièces assemblées sur la résistance en traction (aluminium/aluminium).

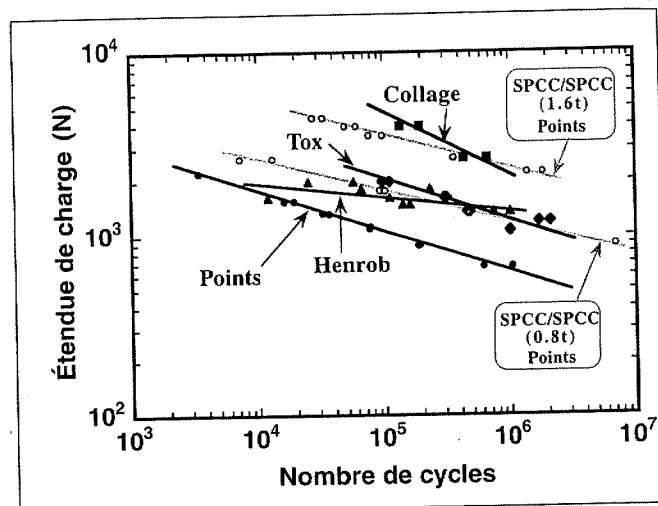


Figure 9 : Résistance à la fatigue d'assemblages mono-procédé aluminium/aluminium d'épaisseur 1,6 mm comparée à celle d'assemblages soudés par résistance par points acier/acier.

assemblages acier/acier soudés par points et soudés-collés de tôles de 0,8 mm d'épaisseur sont également représentées sur les figures 7 et 8. Ils démontrent que les effets liés à l'épaisseur des matériaux sont très importants, aussi bien sur la résistance au cisaillement que sur la résistance en traction. La figure 7 montre que, sur des assemblages aluminium/aluminium, la combinaison du collage avec le soudage par point, le rivetage Henrob et le clinchage Tox permettra d'obtenir des valeurs de résistance supérieures à celles obtenues sur assemblages par points acier/acier d'épaisseur 0,8 mm. Lorsque le collage est combiné à ces procédés sur des assemblages aluminium/aluminium d'environ 1,2 mm d'épaisseur, on obtient des valeurs de résistance égales à celles obtenues sur assemblages collés acier/acier en épaisseur 0,8 mm. En outre, les assemblages aluminium/aluminium soudés par point et par rivetage Henrob d'épaisseur 1,6 mm peuvent atteindre un niveau de résistance identique à celui des assemblages acier/acier d'épaisseur 0,8 mm soudés par résistance. La figure montre qu'il est possible d'obtenir la même résistance par rivetage Henrob sur assemblages aluminium/aluminium d'épaisseur 1,3 mm que dans le cas d'assemblages acier/acier d'épaisseur 0,8 mm soudés par résistance. Il est possible d'obtenir le niveau de résistance des assemblages soudés-collés acier/acier d'épaisseur 0,8 mm avec des assemblages par rivetage Henrob aluminium/aluminium en épaisseur d'environ 1,5 mm.

## 3/2 RÉSISTANCE À LA FATIGUE

### 3.2.1 Résistance à la fatigue des assemblages mono-procédé

La figure 9 permet la comparaison des valeurs de résistance en fatigue des assem-

blages mono-procédé (aluminium/aluminium d'épaisseur 1,6 mm) avec celles d'assemblages par points sur assemblages acier/acier (en épaisseurs 1,6 mm et 0,8 mm). Les valeurs de résistance en fatigue des assemblages mono-procédé aluminium/aluminium d'épaisseur 1,6 mm peuvent être classées de la manière suivante : collage > rivetage Henrob  $\approx$  clinchage Tox > soudage par résistance.

La résistance à la fatigue des assemblages collés aluminium/aluminium d'épaisseur 1,6 mm est pratiquement identique à celle des assemblages acier/acier d'épaisseur 1,6 mm soudés par points. La résistance à la fatigue des assemblages aluminium/aluminium d'épaisseur 1,6 mm par rivetage Henrob ou par clinchage Tox est pratiquement identique à celle des assemblages acier/acier d'épaisseur 0,8 mm soudés par points. Toutefois, les assemblages aluminium/aluminium d'épaisseur 1,6 mm soudés par points sont

moins résistants que les assemblages acier/acier d'épaisseur 0,8 mm.

### 3.2.2 Résistance à la fatigue des assemblages hybrides

La figure 10 illustre les valeurs de résistance à la fatigue des assemblages hybrides comparées à celles des assemblages mono-procédé. Elle montre clairement que la résistance à la fatigue des assemblages hybrides est bien supérieure à celle obtenue avec les assemblages mono-procédé. Dans les trois cas de procédés hybrides, les valeurs de résistance à la fatigue sont identiques et égales à celles correspondant au collage structural. Cette constatation explique pourquoi la résistance à la fatigue des assemblages hybrides est tributaire du collage.

La figure 11 permet la comparaison des valeurs de résistance à la fatigue des assemblages hybrides aluminium/aluminium d'épaisseur 1,6 mm avec celles obtenues

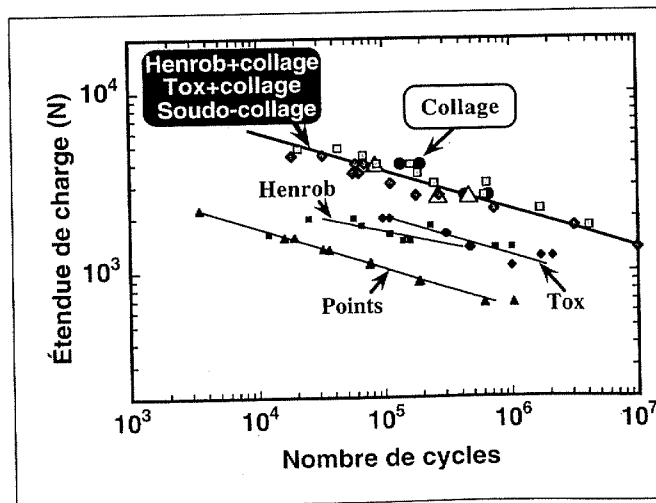


Figure 10 : Résistance à la fatigue d'assemblages hybrides aluminium/aluminium d'épaisseur 1,6 mm comparée à celle d'assemblages mono-procédé.

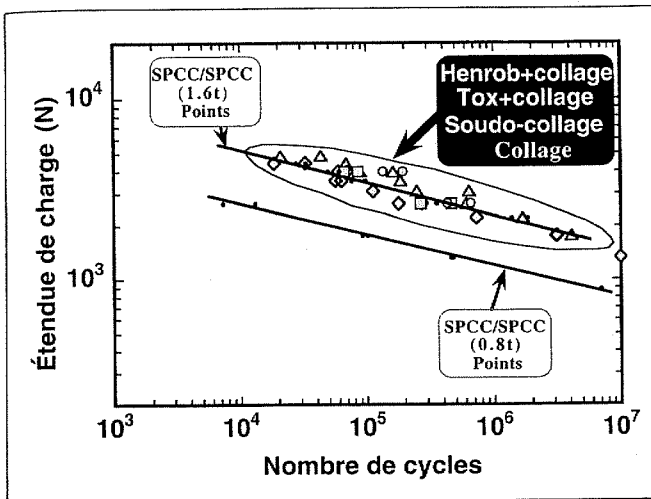


Figure 11 : Comparaison des valeurs de résistance à la fatigue d'assemblages hybrides et d'assemblages collés aluminium/aluminium d'épaisseur 1,6 mm avec les valeurs de résistance à la fatigue d'assemblages acier/acier soudés par résistance par points.

blages acier/acier d'épaisseur 1,6 mm soudés par points.

### 3.2.4 Comparaison des limites de fatigue à $10^6$ cycles

La figure 13 illustre les valeurs de la limite de fatigue à  $10^6$  cycles pour chacun des assemblages. A titre de comparaison, les limites de fatigue d'assemblages acier/acier soudés par résistance par points d'épaisseurs 1,6 mm et 0,8 mm ont été portées sur la figure 13. D'après ces résultats, on peut constater que des assemblages par collage-rievtage Henrob aluminium/aluminium d'épaisseur 1,2 mm permettront d'atteindre la même valeur de limite de fatigue que celle d'assemblages par résistance par points acier/acier d'épaisseur 1,6 mm, ou bien également que la résistance à la fatigue d'assemblages par rivetage Henrob aluminium/aluminium d'épaisseur 0,8 mm est comparable à celle d'assemblages acier/acier par résistance par points acier/acier d'épaisseur 0,8 mm.

sur assemblages par points acier/acier. On constate ainsi que la résistance à la fatigue des assemblages aluminium/aluminium d'épaisseur 1,6 mm collés ou hybrides est égale à celle des assemblages acier/acier d'épaisseur 1,6 mm soudés par points.

### 3.2.3 Influence de l'épaisseur et des matériaux assemblés

La figure 12 fournit une comparaison des valeurs de résistance à la fatigue du rivetage Henrob avec celles obtenues par collage-rievtage Henrob (figurées en gris) sur assemblages aluminium/aluminium d'épaisseurs 1,6 mm et 0,8 mm et aluminium/acier d'épaisseur 1,6 mm. En comparant les valeurs sur assemblages aluminium/aluminium d'épaisseurs 1,6 mm et 0,8 mm, on constate que l'influence de l'épaisseur du matériau est très importante dans le cas du rivetage Henrob. Entre les assemblages aluminium/aluminium d'épaisseur 1,6 mm et les assemblages acier/acier d'épaisseur 1,6 mm,

l'écart est beaucoup moins important, les valeurs pour les assemblages aluminium/acier étant légèrement plus élevées. La résistance à la fatigue des assemblages mono-procédé semble dépendre de la résistance de l'aluminium, qui est inférieure à celle de l'acier. D'un autre côté, dans le cas de la combinaison de collage-rievtage Henrob, les valeurs de résistance à la fatigue des assemblages aluminium/aluminium d'épaisseurs 1,6 mm et 0,8 mm et acier/acier d'épaisseur 0,8 mm sont pratiquement identiques, ce qui indique qu'il n'existe aucune influence de la part du matériau et de l'épaisseur. L'utilisation d'une colle pour établir une liaison sur une surface donnée est supposée permettre la répartition de la contrainte sur toute cette surface. D'après les figures 11 et 12, il est également possible d'affirmer que la résistance à la fatigue des assemblages aluminium/aluminium d'épaisseur 0,8 mm par collage-rievtage Henrob et par collage seul est égale à celle obtenue pour des assem-

### 3/3 ÉQUIVALENCE DES ASSEMBLAGES ALUMINIUM/ALUMINIUM

Le tableau 1 indique quelle épaisseur doit avoir une tôle d'aluminium pour permettre d'atteindre un niveau de résistance équivalent à celui d'un assemblage acier/acier d'épaisseur 0,8 mm réalisé par soudage par résistance par point ou par collage. Le tableau montre également que la résistance des assemblages par rivetage Henrob aluminium/aluminium d'épaisseur 1,6 mm et des assemblages par collage-rievtage Henrob aluminium/aluminium d'épaisseur 1,3 mm est égale à celle d'assemblages par résistance par points acier/acier d'épaisseur 0,8 mm. Le tableau montre encore que la

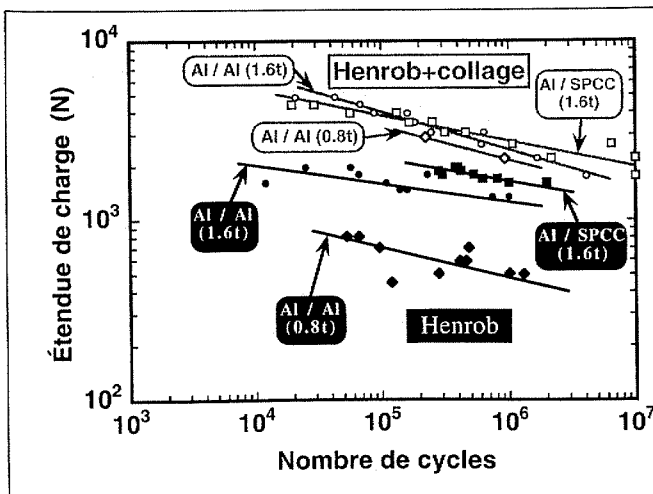


Figure 12 : Influence de l'épaisseur des pièces assemblées et des différents matériaux sur la résistance à la fatigue.

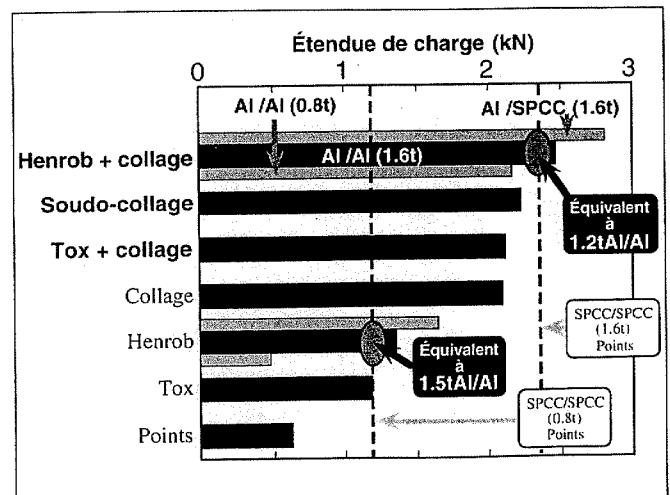


Figure 13 : Limites de fatigue à  $10^6$  cycles.

Procédé d'assemblage acier/acier d'épaisseur 0,8 mm	Procédé d'assemblage aluminium/aluminium	Epaisseur équivalente d'aluminium		
		Résistance au cisaillement	Résistance en traction	Résistance à la fatigue
Points	Henrob + collage	< 0,8 mm	1,3 mm	< 0,8 mm
	Tox + collage	< 0,8 mm	> 1,6 mm	< 1,6 mm
	Henrob	1,6 mm	1,3 mm	1,5 mm
	Tox	> 1,6 mm	> 1,6 mm	1,6 mm
Soudo-collage	Henrob + collage	1,2 mm	1,5 mm	1,2 mm
	Tox + collage	1,2 mm	> 1,6 mm	> 1,6 mm
	Henrob	> 1,6 mm	1,5 mm	> 1,6 mm
	Tox	> 1,6 mm	> 1,6 mm	> 1,6 mm

Tableau 1 : Epaisseur de la tôle d'aluminium équivalente à une tôle d'acier d'épaisseur 0,8 mm.

résistance des assemblages par collage-rivetage Henrob aluminium/aluminium d'épaisseur 1,5 mm est égale à celle des assemblages soudés-collés acier/acier d'épaisseur 0,8 mm.

## 4/CONCLUSIONS

Les résultats obtenus sont les suivants :

1. Les caractéristiques mécaniques des assemblages aluminium/acier sont pratiquement équivalentes à celles des assemblages aluminium/aluminium.
2. Les valeurs de résistance d'assemblages par rivetage Henrob aluminium/aluminium d'épaisseur 1,6 mm et celles d'assemblages par collage-rivetage Henrob aluminium/aluminium d'épaisseur 1,3 mm sont équivalentes

à celles obtenues sur assemblages soudés par résistance par points acier/acier d'épaisseur 0,8 mm, et les valeurs sur assemblages par collage-rivetage Henrob aluminium/aluminium d'épaisseur 1,5 mm sont équivalentes à celles des assemblages soudés-collés acier/acier d'épaisseur 0,8 mm.

3. Les caractéristiques mécaniques des assemblages par clinchage Tox et collage-clinchage Tox aluminium/aluminium d'épaisseur 1,6 mm sont moins élevées que celles d'assemblages acier/acier d'épaisseur 0,8 mm soudés par résistance par points.

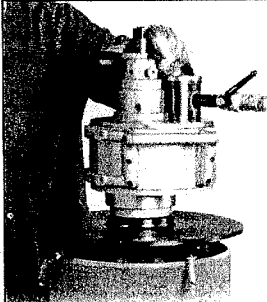
## 5/REMERCIEMENTS

Le présent article est une synthèse des travaux de recherche conduits par un comité

technique de l'Association japonaise des Ingénieurs de l'Automobile, présidé par Masao Fujimoto, sur l'optimisation des processus de fabrication permettant la réduction du poids des caisses de véhicules automobiles. L'auteur tient à exprimer ses remerciements à MM. Toshiyuki Kanesaka (Isuzu Motors Ltd.), Akira Mabushi (Fuji Heavy Industries), Atsushi Kanasaki (Japan Automobile Research Institute), Naoki Takayama (Sumitomo Metal Industries Ltd.) et Shinihiroo Takahashi (Kobe Steel Ltd.), qui lui ont apporté le soutien de travaux expérimentaux tout au long de l'étude.

## 6/RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Budde L., Lappe W., Boldt M. VDI Ber., No. 883, 333 (1991).
- [2] Budde L., Lappe W., Bander Bleche Rohre, Vol. 32, No. 5, 94 (1991).
- [3] Budde L., Lappe W., Liebrecht F., Suse D., Blech Rohre Profile, Vol. 39, No. 4, 310 (1992).
- [4] Gugisch K., Alum. Ind., Vol. 12, No. 6, 23 (1993).
- [5] Liebig H.P., Mutschler J. Bander Bleche Rohre, Vol. 34, No. 4, 46 (1993).
- [6] Kohstall T., Budde L., Blech Rohre Profile, Vol. 41, No. 2, 107 (1994).

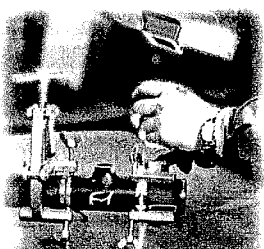


**COUPE  
CHANFREINAGE**

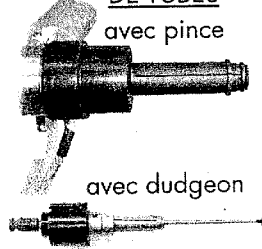
**ÉQUIPEMENTS POUR  
LA SOUDURE**

**TROUWAY  
& CAUVIN**

**POSITIONNEMENT  
avec clamps**




**ACCOSTAGE  
DE TUBES  
avec pince**

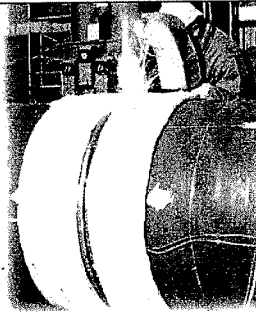


**avec dudgeon**

**DIVISION T.E.M.**  
Tél. : 02 35 25 61 80  
Fax : 02 35 25 36 66

**EXPANSION  
HYDRAULIQUE  
DE TUBES**





**PRÉCHAUFFAGE  
TRAITEMENT  
THERMIQUE**