

## Collage du PMMA : Étude des propriétés adhésives et mécaniques de six adhésifs structuraux

**Alain Roche**

*(Le biographie et les coordonnées d'auteur se trouvent à la fin du présent article.)*

### Résumé

Le poly(méthacrylate de méthyle) [PMMA] est employé dans le domaine de la création artistique et dans le design contemporain. Sans être particulièrement fragiles, les œuvres et les objets en PMMA ne sont pas à l'abri d'accidents. Les objectifs de cette étude sont de comparer l'efficacité de 6 adhésifs structuraux – Altufix P12 (Altuglas), Araldite 2021 (Vantico), Araldite 2020 (Vantico), Araldite Cristal (Bostik), Bostik 206 (Bostik) et Si 1500 (Polytec) – utilisés pour le collage du PMMA, en prenant en compte les sollicitations les plus fréquentes, soit la traction et la flexion.

Les résultats obtenus font apparaître que les forces de rupture en flexion et les contraintes de rupture en traction dépendent de deux paramètres, la masse de colle du joint et le type de rupture (adhésive ou cohésive). Malgré la nature aléatoire apparente du type de rupture, c'est la rupture adhésive qui prédomine et qui répond le mieux au principe de réversibilité. L'analyse et l'interprétation des résultats en prenant en compte tous les paramètres permettent de mettre en évidence l'intérêt que présentent certains adhésifs et d'en écarter d'autres.

### Title and Abstract

#### Adhering PMMA: A Study of Mechanical and Adhesive Properties of Six Structural Adhesives

Poly(methyl methacrylate) (PMMA) is used in contemporary design and to create works of art. Although not particularly fragile, works of art and objects made of PMMA are susceptible to damage. The objective of this study was to compare the effectiveness of six structural adhesives — Altufix P12 (Altuglas), Araldite 2021 (Vantico), Araldite 2020 (Vantico), Araldite Cristal (Bostik), Bostik 206 (Bostik), and Si 1500 (Polytec) — in joining PMMA samples. Effectiveness was assessed by subjecting samples to bending and tensile tests to determine their performance in response to these two common physical stresses.

The results obtained showed that the breaking loads in bending and the breaking tensile stresses depend on two parameters: mass of the adhesive used to form the joint, and the type of fracture — adhesive or cohesive. Although the type of fracture initially appeared to be random, further study revealed that the adhesive fractures predominated (which is fortunate because adhesive fractures are the best type to ensure reversibility). Analysis and interpretation of the results, taking into account all of the parameters, make it possible to highlight the advantages of certain adhesives and the drawbacks of others.

## Introduction

Les progrès sociaux ont poussé les artistes à modifier et à renouveler leurs idées, leurs habitudes et leurs modes de travail. Ils se sont détournés des matériaux traditionnels pour s'orienter vers de nouvelles matières : les plastiques. Parmi les plastiques, les acryliques et plus particulièrement le poly (méthacrylate de méthyle) ou *PMMA* ont été employés dans la réalisation d'œuvres d'art. C'est dans la création artistique que les poly (méthacrylates de méthyle) et d'autres résines synthétiques ont trouvé leurs lettres de noblesse. Le *PMMA* fut utilisé il y a environ une cinquantaine d'année, après la seconde guerre mondiale par des artistes tels que : Domela, Naum Gabo, Noholy Nagy, Vasarely, Jacquet pour ne citer que les plus importants. C'est également un matériau qui a séduit les designers contemporains.

Les poly (méthacrylates de méthyle) font partie des verres organiques. Ces polymères possèdent une transparence comparable au verre minéral, mais ils sont également recherchés pour leur excellente tenue au vieillissement et leur bonne résistance aux agents chimiques, (Williams 1991). Les œuvres en *PMMA*, sans être particulièrement fragiles ne sont pas à l'abri d'un accident qui pourrait entraîner une fissuration ou une cassure du matériau, (Willcocks 2002).

En conservation-restauration la problématique du collage du *PMMA* se situe à la fois au niveau esthétique et mécanique, (Sale 1991). Dans cette étude, seul l'aspect mécanique des collages structuraux a été abordé, en partant du principe que les principales sollicitations qui peuvent s'exercer sur l'objet sont : la flexion, la traction ou les deux combinées.

## Approche expérimentale.

L'étude expérimentale est le fruit d'une réflexion qui débuta lors d'un problème de restauration sur une sculpture polychrome en *PMMA* d'Alain Jacquet « Bulldozer ». Elle avait pour objectif de trouver un adhésif structural capable de coller dans le plan des cassures qui se trouvaient en désaffleure.

### Caractérisation des *PMMA*.

Il existe deux types de plaques de *PMMA*.

Les plaques coulées, obtenues à partir d'un sirop de méthacrylate de méthyle coulé dans un moule et polymérisé par chauffage en présence de peroxyde de benzoyle. Le *PMMA* coulé se présente comme un polymère de haute masse molaire,  $1 \text{ à } 4 \cdot 10^6 \text{ g.mol}^{-1}$ .

Les plaques extrudées s'obtiennent par l'extrusion à chaud du *PMMA* fondu au travers d'une filière spéciale et refroidi brutalement. Ce *PMMA* de masse molaire plus faible  $2 \text{ à } 10 \cdot 10^5 \text{ g.mol}^{-1}$  est caractérisé par une forte orientation de ses macromolécules et une importante concentration de contraintes, (Quis 1987).

Ces deux produits se distinguent par des propriétés mécaniques différentes et une sensibilité à la microfissuration (crazing) moins prononcée pour le *PMMA* coulé. Les artistes ont utilisé

indifféremment ces deux types de *PMMA* qui se nomment Altuglas, Perspex, Plexiglas, Oroglas, Lucite.

### **Caractérisation des Adhésifs.**

Le choix de l'adhésif dépend de la nature du substrat. Il est également lié au principe de réversibilité qui s'impose dans le domaine de la conservation-restauration, (Roche 2003). La sélection des adhésifs a été faite à partir de plusieurs sources d'informations :

- une enquête auprès des restaurateurs.
- des contacts avec des professionnels du façonnage du *PMMA*.
- le dépouillement de la bibliographie existante, (Down 2001).

Les six adhésifs suivants ont été retenus.

Altufix P12 : C'est une colle acrylique visqueuse à base de méthacrylate de méthyle (*MMA*), conçue pour le collage du *PMMA* coulé. C'est une colle à 3 composants:

- - Une solution de 36% *PMMA* dans un mélange de *MMA* et de chlorure de méthylène,
- - Un catalyseur ou initiateur de réaction, additif B,
- - Un agent d'accrochage à base d'acide méthacrylique, additif D,

La polymérisation de l'Altufix P12 s'accompagne d'un retrait volumique d'environ 15%.

Araldite 2021 : Elle contient du *MMA* qui se polymérise en présence du durcisseur 2021/B à part égale. Sa consistance est pâteuse. La polymérisation de l'Araldite 2021 s'accompagne d'un retrait volumique d'environ 13%. Cette colle a une Tg de 65°C, elle se trouve dans un état vitreux à température ambiante. Sa température d'utilisation peut s'élever jusqu'à 110°C.

Araldite 2020 : C'est une colle époxy fluide à 2 composants. Elle durcit avec l'addition d'un tiers de durcisseur. Cette colle a une Tg de 40°C, elle se trouve dans un état vitreux à température ambiante. Sa température d'utilisation peut monter jusqu'à 80°C.

Araldite Cristal : C'est une colle époxy, pâteuse et transparente à 2 composants. Elle durcit avec un mélange à part égale de durcisseur. L'épaisseur du joint doit être comprise entre 0,05 et 0,10 mm pour que l'adhésif ait une résistance optimale au cisaillement.

Bostik 206 : Cette colle est à base de cyanoacrylate fluide et transparente. Le temps de séchage est rapide et permet une manipulation immédiate. Son retrait est faible.

Polytec Si 1500 : C'est une colle à base de cyanoacrylate d'éthyle. Elle est visqueuse et transparente. Son durcissement est complet en 8 heures. Elle ne présente pas de retrait important au séchage.

Ces polymères sont des adhésifs structuraux ou des adhésifs à mise en oeuvre chimique (Skeist 1976). Leur durcissement, dû à une réticulation, est obtenu par polymérisation. Les polymères qui réticulent par polycondensation sont des adhésifs à prise lente comme les Araldites 2020 et Cristal. Par contre les adhésifs à prise rapide sont réticulés par une polymérisation radicalaire,

c'est le cas de l'Altufix P12 et de l'Araldite 2021. Les cyanoacrylates comme la Bostik 206 et le Polytec Si 1500 réticulent presque instantanément par une polymérisation radicalaire ionique.

### **Essais mécaniques.**

L'essai de flexion défini par la norme internationale (NF EN ISO 178 2011) est utilisé pour évaluer la résistance en flexion d'un matériau plastique. Il peut être exploité, dans le cadre de cette étude, pour mettre en évidence la rupture en flexion d'un collage de *PMMA*. Dans un joint de bout soumis à une flexion, une partie est soumise à une compression alors que l'autre est sollicitée en traction. La force maximale s'exerce à la base du joint de colle. C'est généralement à ce niveau que la rupture adhésive ou cohésive se manifeste. Cette force s'exprime en  $\text{N.cm}^{-1}$ , c'est une force linéaire qui se développe sur la longueur du joint.

L'essai de traction déterminé par la norme internationale (NF EN ISO 527 1996) sert généralement à caractériser la résistance à la rupture d'un matériau plastique. Il peut être employé, dans le cas d'un collage à joint de bout, pour mesurer sa résistance à la rupture (Trotignon et al. 1996). L'éprouvette de *PMMA* collé est tirée par les mâchoires de l'appareil jusqu'à la rupture. Le déplacement de la traverse exerce une force uniforme sur l'échantillon, dans l'axe longitudinal de l'éprouvette. La rupture s'exprime en  $\text{N.mm}^{-2}$  ou en MPa.

Ces deux essais sont en mesure de caractériser la résistance d'un collage de *PMMA* à joint de bout à partir d'un lot d'éprouvettes pour chaque adhésif.

### **Fabrication des éprouvettes.**

Une plaque *PMMA* coulé de Plexiglas GS de 5 mm d'épaisseur est découpée en une plaquette de 20 mm x 70 mm. Elle est ensuite recoupée à la scie en deux parties égales qui seront recollées par un adhésif. L'éprouvette est donc constituée de deux parties ; *a* (20mm x 35mm x 5 mm) et *b* (20mm x 35mm x 5mm). Les parties *a* et *b* de l'éprouvette sont assemblées par un joint de colle en suivant une procédure stricte qui nous conduit à une bonne reproductibilité du collage, c'est à dire des joints réguliers et des éprouvettes soigneusement dimensionnées. La quantité d'adhésif est déterminée en pesant les parties *a* et *b* avant et après collage (Figure 1).

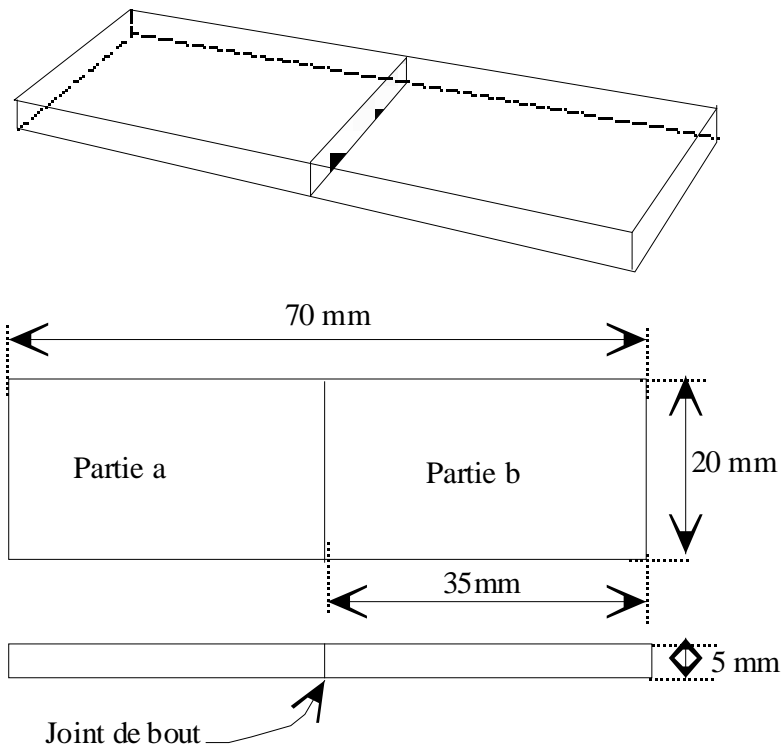


Figure 1 : Dimensionnage des éprouvettes

## Résultats

### Forces et contraintes moyennes de ruptures

Les valeurs moyennes expérimentales des forces de rupture en flexion et des contraintes de rupture en traction et leurs écarts types sont regroupés (Tableau 1).

Tableau 1 : Forces moyennes de flexion et écart type, contraintes moyennes de traction et écart type

Adhésifs	Flexion		Traction	
	Force moy rupture. (N/cm)	Ecart type	Contrainte moy. rupture MPa	Ecart type
Araldite 2021	60,47	19,67	5,28	1,00
Altufix P12	30,59	10,20	4,20	1,25
Araldite 2020	34,51	10,18	2,18	1,06
Araldite Cristal	16,09	7,65	1,64	0,52
Bostik 206	51,46	15,54	3,73	1,20
Polytec Si 1500	57,39	10,11	7,06	2,59

Le calcul des écarts type de chaque lot d'éprouvettes permet d'obtenir une représentation de la dispersion des points expérimentaux. Elle est très importante pour des adhésifs tels que Araldite 2021 et Bostik 206 et relativement faible pour Araldite Cristal. Ces observations nous ont conduit à vérifier l'influence de la masse de colle et du type de rupture du joint des différents collages. On est également amené à se demander, si les valeurs moyennes de rupture en flexion et en traction sont suffisamment représentatives pour les prendre comme référence dans une application de collage.

### Masse de colle dans le joint

La différence de masse de colle est inhérente aux modalités de fabrication artisanale des joints dans le domaine de la conservation-restauration. Dans le cadre de cette étude même si le mode de fabrication des éprouvettes a respecté une procédure rigoureuse, des écarts de masse sont apparus. Du point de vue expérimental, les valeurs de rupture en flexion ou en traction en fonction de la masse de colle donnent, pour chaque adhésif un nuage de points, où aucune tendance particulière ne se dégage.

Toutefois pour faire apparaître le rôle de la masse d'adhésif sur le comportement en flexion et en traction des collages, on peut étudier les relations qui existent entre les variations de force de rupture en flexion ( $\Delta F$ ), de contrainte à la rupture en traction ( $\Delta \sigma$ ) par rapport aux variations de masse ( $\Delta M$ ) pour chaque adhésif. Pour illustrer ces paramètres, l'Araldite 2021 est présenté comme exemple (Figure 2).

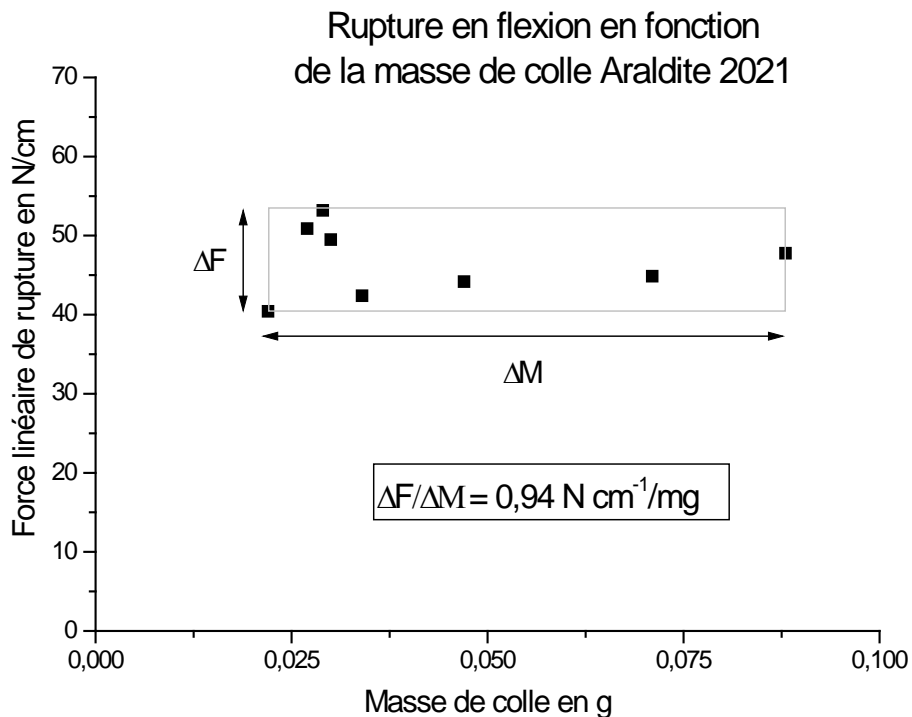


Figure 2 : Force de rupture en flexion en fonction de la masse de colle

Les valeurs de  $\Delta F/\Delta M$  et  $\Delta\sigma/\Delta M$  calculées pour chaque adhésif sont regroupées (Tableau 2).

Tableau 2 : Valeurs des rapports de variations de forces et de contraintes par la variation de masse.

Adhésifs	Flexion			Traction		
	$DF$ N.cm <sup>-1</sup>	$DM$ mg	$\frac{\Delta F}{\Delta M}$ (N.cm <sup>-1</sup> .mg <sup>-1</sup> )	$D_s$ MPa	$DM$ mg	$\frac{\Delta \sigma}{\Delta M}$ (MPa. mg <sup>-1</sup> )
Araldite 2021	61,75	66	0,94	3,26	56	0,058
Altufix P 12	35,48	33	1,075	3,665	30	0,122
Araldite 2020	36,27	28	1,295	3,749	26	0,144
Araldite Cristal	23,72	36	0,66	1,524	36	0,042
Bostik 206	37,07	9	4,20	2,730	18	0,152
Polytec Si 1500	36,04	35	1,03	6,03	40	0.151

Si la valeur de ce rapport est élevée, les forces et les contraintes de rupture sont dépendantes des variations de masse. Autrement dit, la résistance de la colle est sensible à l'épaisseur de son joint. Par exemple pour de petites variations de quantité de Bostik 206, les forces et les contraintes de rupture varient beaucoup et il est difficile de prédire le comportement à la rupture de cette colle. Inversement si le rapport est faible comme c'est le cas pour Araldite 2021 le comportement à la rupture est plus cohérent et prévisible. Pour certains adhésifs les comportements en flexion et en traction se différencient.

### Types de ruptures des joints de bout

Un joint peut se rompre en faisant apparaître sur son faciès deux types de rupture :

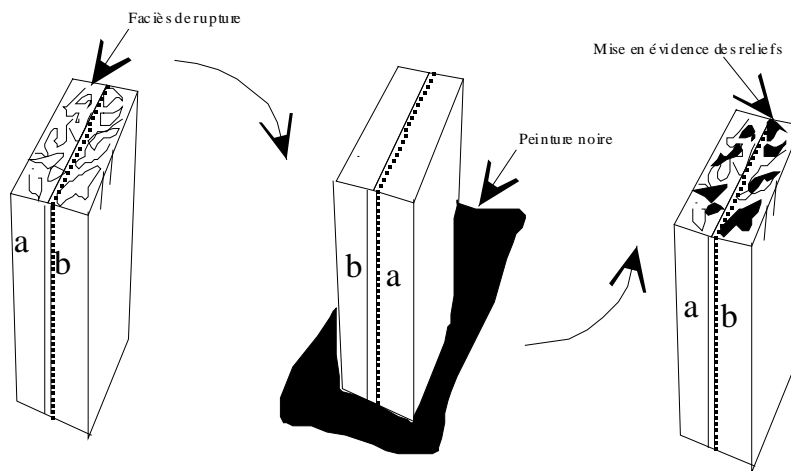
- rupture adhésive (A),
- rupture cohésive (C).

La rupture est adhésive lorsqu'elle s'effectue entre le *PMMA* et l'adhésif. Elle est cohésive quand elle se produit à l'intérieur de la couche d'adhésif.

La dispersion des points expérimentaux observée en flexion et en traction est très probablement une des conséquences de l'aspect aléatoire des ruptures adhésives et cohésives. L'étude des ruptures peut donc nous apporter des informations utiles sur les caractéristiques du collage.

Pour mettre en évidence le faciès de rupture de chaque éprouvette, on presse les deux faces rompues sur une surface dure, enduite d'encre noire à la manière d'un tampon. L'encre se dépose sur les parties proéminentes du relief. Ensuite les deux faciès de rupture mis côte à côte sont photographiés avec un appareil photographique numérique. A l'aide d'un logiciel d'imagerie scientifique (Cyberview.v2) l'image de l'un des faciès est rendue semi transparente et elle est ensuite retournée de manière à se superposer à l'autre faciès. Les gris obtenus sont traités pour obtenir des surfaces uniformes blanches, noires et grises (Figure 3).

### Mise en évidence des faciès de rupture d'une éprouvette



### Analyse des images numérisées de chaque éprouvette

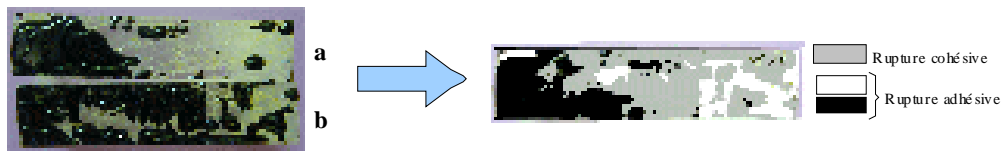


Figure 3 : Evaluation en pourcentage des ruptures adhésives et cohésives

Les surfaces noires et blanches correspondent aux ruptures adhésives ( $A$ ) et les surfaces grises aux ruptures cohésives ( $C$ ). Il convient ensuite d'évaluer la surface de chaque type de rupture en pourcentage. Le noir et le blanc sont confondus et l'image binarisée apparaît en noir et en gris. Le logiciel calcule le nombre de pixels des surfaces noires et grises et fait le ratio en pourcentage par rapport à la surface totale ( $T$ ). Nous avons alors :

- $(A/T) \times 100$  : correspond au % de ruptures adhésives (perte d'adhérence)
- $(C/T) \times 100$  : correspond au % de ruptures cohésives (perte de cohésion).
- $(A\%/C\%)$  : correspond au rapport de ruptures adhésives et de ruptures cohésives.

Les valeurs des rapports  $(A\%/C\%)$  nous informent sur l'aspect quantitatif des ruptures adhésives et cohésives et  $M_m$  sur la quantité de chaque adhésif ou l'épaisseur du joint. Ces valeurs sont regroupées (Tableau 3).



Tableau 3 : Rapport des pourcentages de ruptures adhésives et cohésives, masse moyenne.

Adhésifs	Flexion		Traction	
	(A%/C%)	$M_m$ en g	(A%/C%)	$M_m$ en g
Araldite 2021	53/47 = 1,11	0,0430		
Altufix P12	76/24 = 3,17	0,0412	63/37 = 1,73	0,0390
Araldite 2020	52/48 = 1,07	0,0339	56/44 = 1,25	0,0369
Araldite cristal	60/40 = 1,52	0,0425	72/28 = 2,60	0,0418
Bostik 206	50/50 = 1,00	0,0310	37/63 = 0,59	0,0321
Polytec Si 1500	51/49 = 1,04	0,0418	46/54 = 0,86	0,0325

L'examen des faciès de rupture des différents collages en flexion et en traction nous a conduit à vérifier s'il existe une relation entre les quantités de colle déposées et l'apparition préférentielle d'un type de rupture en considérant deux types de joints :

1. Joint épais : Masse moyenne de colle  $M_m \approx 0,042$  g
2. Joint fin : Masse moyenne de colle  $M_m \approx 0,034$  g.

En flexion, les ruptures adhésives prédominent dans les joints de colle les plus épais et particulièrement pour l'Altufix P12. Pour les joints fins, les pourcentages de ruptures adhésives et cohésives sont du même ordre de grandeur comme en témoigne la répartition des ruptures dans les collages avec Bostik 206, Araldite 2020.

En traction, l'épaisseur des joints est assez uniforme pour les 6 adhésifs. Malgré cela le type de rupture pour chaque adhésif est différent. L'Altufix P12 présente de nouveau un important pourcentage de ruptures adhésives alors que Bostik 206 se distingue par une quantité de ruptures cohésives plus élevée que les ruptures adhésives.

La comparaison des valeurs moyennes des pourcentages de rupture fait apparaître que le pourcentage de rupture adhésive varie de 37% à 76% et le pourcentage de rupture cohésive de 24 à 63% (Figure 4).

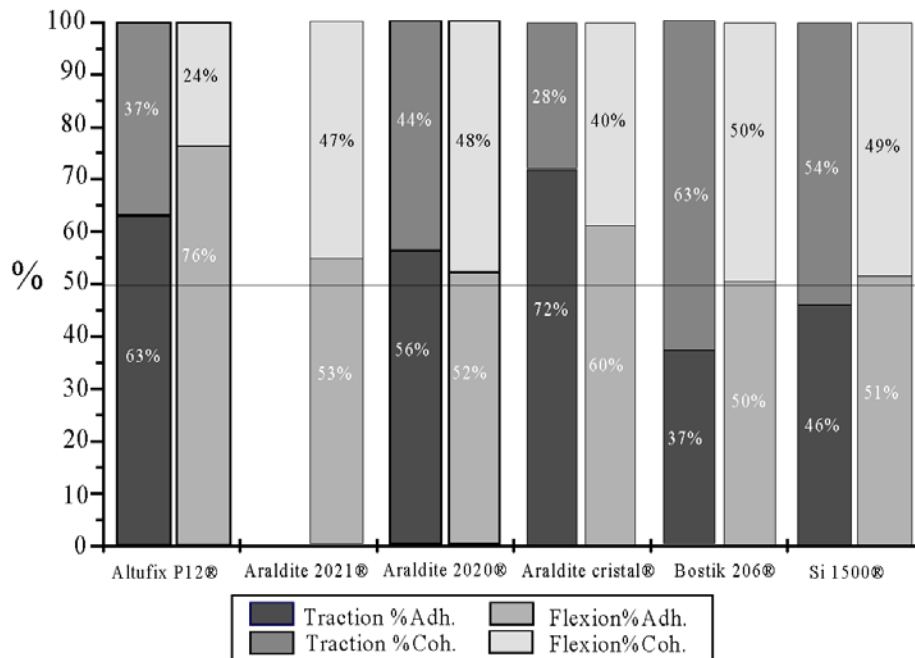


Figure 4 : Valeurs moyennes des pourcentages de rupture.

Globalement c'est la rupture adhésive qui prédomine, sauf dans le cas des deux adhésifs à base de cyanoacrylate lorsqu'ils sont sollicités en traction. La répartition des ruptures adhésives et cohésives est relativement homogène sauf pour Altufix P 12 et Araldite Cristal. En principe, c'est la rupture adhésive qui répond le mieux au principe de réversibilité dans le domaine de la conservation-restauration, dans le sens où les résidus d'adhésif s'éliminent plus facilement des surfaces de *PMMA*.

## Interprétation des résultats.

L'interprétation des résultats a pour objet de mettre en valeur, parmi les six adhésifs structuraux choisis, les propriétés mécaniques les plus adaptées au collage du *PMMA* en prenant en compte les différents paramètres étudiés. Notre attention a été retenue par certaines propriétés de collage qui ont permis de classer ces adhésifs par ordre d'intérêts.

**Polytec. Si 1500** (cyanoacrylate). Il présente une excellente résistance en flexion et en traction. Ses propriétés de collage vis-à-vis du *PMMA* sont remarquables du point de vue mécanique. La faible dispersion des points expérimentaux et la valeur du rapport  $\Delta F/\Delta M$  attestent d'un comportement à la rupture de cet adhésif cohérent et fiable. Du point de vue de la réversibilité, les traces d'adhésif sur le *PMMA* liées aux ruptures cohésives présente un léger inconvénient.

**Araldite 2021** (à base de méthacrylate de méthyle). C'est également un produit qui présente une très bonne résistance en flexion et en traction. Ses propriétés de collage du *PMMA* sont intéressantes. En flexion elle présente la meilleure résistance à la rupture par rapport aux cinq autres adhésifs. Toutefois l'importance de la valeur de l'écart type diminue sa fiabilité du point de vue du comportement à la rupture.

En traction, la fiabilité de son comportement à la rupture est confirmée par les valeurs des écarts type et du rapport  $\Delta\sigma/\Delta M$ .

**Altufix P12** (à base de méthacrylate de méthyle). En flexion ses propriétés ne sont pas suffisamment élevées pour le considérer comme un produit de haute fiabilité du point de vue mécanique. En traction cet adhésif possède une résistance suffisamment bonne pour assurer un collage correct. Les faibles valeurs de l'écart type et de  $\Delta\sigma/\Delta M$  attestent que son comportement à la rupture est fiable. Du point de vue réversibilité cet adhésif est intéressant car son taux de rupture adhésive est important.

**Bostik 206** (cyanoacrylate). Sa bonne résistance de collage en flexion le place au niveau d'un produit relativement intéressant. Néanmoins, les valeurs élevées de l'écart type et  $\Delta F/\Delta M$  discréditent la fiabilité du comportement à la rupture en flexion de cet adhésif.

En traction cet adhésif a une résistance plus faible qui dépend étroitement de la masse de colle et du type de ruptures, comme l'attestent les valeurs de l'écart type de  $\Delta\sigma/\Delta M$ .

**Araldite 2020** (époxy). Les résistances en traction et en flexion de cet adhésif sont faibles et ne présentent pas d'intérêt particulier du point mécanique.

**Araldite Cristal** (époxy). Des adhésifs étudiés c'est celui qui a les propriétés mécaniques les moins bonnes. A priori cet adhésif ne convient pas pour le collage des *PMMA*.

## Conclusion

Cette recherche se limite à l'étude des critères mécaniques du collage du *PMMA* avec six adhésifs structuraux de natures chimiques différentes. En mettant en évidence l'influence de la masse de colle associée aux deux types de ruptures, on souligne l'importance de leurs contributions dans les mécanismes de décollement. Elle se traduit dans les essais par une dispersion des valeurs de mesures pour un même lot d'éprouvettes. L'utilisation de l'écart type et des rapports  $\Delta F/\Delta M$  et  $\Delta\sigma/\Delta M$  nous ont servi dans l'analyse des résultats à différencier les propriétés des adhésifs en introduisant un critère de fiabilité.

En conservation-restauration les bonnes conditions de collage ne sont pas toujours faciles à obtenir car c'est l'objet à restaurer qui impose son protocole de mise en oeuvre. C'est donc un des facteurs majeurs responsables des défauts de collage. Dans le cas de la sculpture en *PMMA* thermoformé de Jacquet, il a fallu beaucoup d'imagination et de talent pour trouver une solution qui permette tout en remettant les éléments rompus dans le plan, introduire la quantité juste nécessaire de colle et les maintenir jusqu'au durcissement de l'adhésif.

## Références

Down, J. L. «Review of CCI research on epoxy resin adhesive for glass conservation» *Reviews in Conservation, IIC*, n°2, 2001, p. 39-45.

Down, J.L. «A literature review of cyanoacrylate adhesives » *Reviews in conservation*, n°2, 2001, IIC, p. 35-38.

Don Sale, «An Evaluation of eleven adhesives for repairing poly (methyl methacrylate) objets and sculptures» *Sauvegarder le XX siècle: La conservation des matériaux modernes*, Institut canadien de la conservation, 1991, p. 325-338.

NF EN ISO 178. « Plastiques – détermination des propriétés en flexion. » Indice de classement - T51-001, 2011.

NF EN ISO 527-1. « Plastiques : détermination des propriétés de traction. ». Indice de classement - T51-034-1, 1996.

NF EN ISO 527-2. « Plastiques : Conditions d'essais des plastiques pour moulage et extrusion ». Indice de classement- T51-034-2, 1996.

Petronio, M. « Properties, Testing, Specification and design of adhesives » *Handbook of Adhesives*, edited by Irving Skeist, second edition, 1976, p. 92-114

Quis, P « Chimie des liants réactifs de méthacrylate dans les matériaux de construction. » *Rohm Spektrum* 35, 1987, p. 54-56.

Roche, A « Approche du principe de réversibilité des doublages des peintures sur toile ». *Studies in Conservation* 48, 2003, p. 83-94.

Skeist I. (sous la direction de). *Handbook of adhesives*. Van Nostrand Reinhold Compagny Inc. 1976.

Trotignon, J.P, Verdu, J, Dobraczynski, A, Piperaud, M, « Précis de Matière Plastiques, structures-propriétés, mise en œuvre, normalisation ». AFNOR- NATHAN, 1996.

Willcococks, S. "Transparent Tubes by William Turnbull: The degradation of a polymethyl methacrylate sculpture" *ICOM committee for Conservation*, Vol. II, 2002, p. 935-939.

Williams, R.Scott « Composition implications of plastics artifacts: A survey of additives and their effects on the longevity of plastics. *Sauvegarder le XX siècle: La conservation des matériaux modernes*, Institut canadien de la conservation, 1991, p. 135-153.

## Matériels et fournisseurs

Altufix P12 : Altumax SA «Le Mercury» 1 rue Croix des Maheux F-95031 Cergy Pontoise Cedex, France.  
<http://www.altumax.com>.

Araldite 2021, Araldite 2020 : Vantico SAS 13 rue Paul Dautier. F-78140 Vélizy Villacoublay Cedex, France.  
[www.vantico.com/adhesives](http://www.vantico.com/adhesives).

Araldite Cristal, Bostik 206 : Bostik France. 16-32, rue Henri Régnault. 92902. Paris La Défense. France.  
<http://www.bostik.fr>.

Polytec Si 1500 : Polytec PI. 30 rue Delizy 93694 Pantin Cedex, France. <http://www.polytec.fr>

Plexiglas GS : Evonik Rohmax France, Port du Rhin 67630 Lauterbourg BP 79. <http://www.rohmax.com>

## Biographies et coordonnées des auteurs

**Alain Roche** est diplômé de l'Institut français de restauration des œuvres d'art (IFROA) et ingénieur au Conservatoire national des arts et métiers (CNAM). Il a fait une résidence à la villa Médicis, à Rome, de 1982 à 1984. Il travaille depuis plus de 22 ans comme conservateur-restaurateur pour le Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France, pour les Monuments historiques, et d'autres institutions françaises. Il enseigne depuis 17 ans la physique et la physicochimie appliquée à la conservation-restauration aux étudiants inscrits au programme de maîtrise en conservation et restauration des biens culturels, à l'Université Paris 1 et à l'Institut national du patrimoine (INP). Il est le fondateur d'un laboratoire d'analyse et de recherche pour la conservation et la restauration des œuvres d'art (LARCROA), où il réalise une partie de ses recherches. Il est l'auteur d'une vingtaine d'articles sur la recherche en conservation-restauration et a publié deux livres dont l'un porte sur le « comportement mécanique des peintures sur toile : dégradation et prévention », publié aux éditions du CNRS. En 2007, la ministre de la Culture du gouvernement français le nomme Chevalier des arts et des lettres.

*Coordonnées :*

LARCROA  
9 rue d'Alésia  
75014 Paris, France  
Tél. : 00 33 + (0)1.45.65.36.91  
Courriel : [a.rocche@larcroa.fr](mailto:a.rocche@larcroa.fr)

## Author Biographies and Contact Information

**Alain Roche** is a graduate of the Institut français de restauration des œuvres d'art (IFROA) and an engineer at the Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM). He was a boarder at the Villa Médici in Rome from 1982 to 1984, and has worked as a conservator for more than 22 years for various French institutions such as the Centre de recherche de restauration des musées de France and Monument historique. For the past 17 years, he has taught physics and physical chemistry as it applies to conservation for the Master's program in Conservation Treatment of Cultural Property at the Université Paris 1 and the Institut national du patrimoine (INP) in Paris. He is the founder of a research and analysis laboratory for the conservation of works of art (LARCROA), where he developed some of his research. He has authored 20 articles on conservation research and two books, including one published by the Centre national de la recherche scientifique (CNRS) that looks at degradation and prevention of the mechanical behaviours of canvas paintings. He was named the Chevalier des arts et des lettres in 2007 by France's Minister of Culture.

*Contact Information:*

LARCROA  
9 rue d'Alésia  
75014 Paris, France  
Tel.: 00 33 + (0)1.45.65.36.91  
E-mail: [a.rocche@larcroa.fr](mailto:a.rocche@larcroa.fr)