

# COMPORTEMENT D'UNE PEINTURE SUR TOILE TENDUE SUR UN CHASSIS A TENSION CONTINUE.

Par Alain ROCHE.

Alain ROCHE, diplômé de l'Institut Français de Restauration des Œuvres d'Art, ancien pensionnaire de la Villa Médicis à Rome et diplômé du Conservatoire des Arts et Métiers. Restaurateur auprès du service de restauration des Musées Classés et Contrôlés. Enseignant à la Maîtrise de Sciences et Techniques "Conservation et Restauration des Biens Culturels" et à l'école des Beaux Arts d'Avignon "section restauration".

Adresse : 7, rue du Disque 75013 PARIS.

## RESUME

Le but de cette étude est d'analyser le comportement d'une peinture sur toile tendue sur un châssis à tension continue. Elle nous a permis de mettre en évidence le rôle du fluage dans les déformations de la peinture et les relations qui existent entre la rigidité de la peinture et la raideur des ressorts.

## INTRODUCTION.

Dans le cadre du service de restauration des musées de France, nous avons souhaité mener une réflexion suivie d'une étude sur "le comportement des peintures sur toile tendues sur des châssis à tension continue". Cette étude a pu être réalisée grâce à des crédits de recherche du ministère de la culture et à la bienveillance de France DIJOU, chef du service de restauration des musées de France.

Les propriétés mécaniques d'une peinture peuvent être caractérisées par la rigidité. Cette grandeur relie les tensions et les déformations. La sensibilité des constituants de la peinture à l'humidité entraîne une variation de la rigidité. Notons que dans une structure stratifiée c'est le matériau possédant le module d'élasticité longitudinale le plus élevé qui impose son comportement aux autres éléments (1) (2).

Dans les processus d'altération mécanique, la formation de craquelures d'âge est le résultat de la rupture cohésive des films de peinture et de la préparation sous l'action combinée :

- du vieillissement chimique des matériaux qui finissent par perdre leurs propriétés initiales
- de la fatigue mécanique provoquée par les variations de tension engendrées par les conditions de conservation et autres facteurs.
- des défauts de cohésion ou d'adhérence de la couche picturale occasionnés par une mauvaise mise en oeuvre.

Les craquelures s'initient toujours dans les zones les plus contraintes lorsque les forces internes

deviennent supérieures aux forces de cohésion et d'adhésion des différents constituants de la peinture. Ces considérations nous mènent à penser que l'on peut éviter la formation des craquelures en diminuant les contraintes internes aux films de peinture. Comme les tensions sont proportionnelles à la rigidité et aux déformations, il suffit de faire varier l'un ou l'autre de ces deux facteurs.

Le principe des châssis à tension continue est basé sur la possibilité de se déformer dans le plan du tableau sous l'action de la tension de la peinture. Cette déformation limite l'amplitude des contraintes dans les films de la peinture sur toile.

Le but de cette étude est d'examiner le comportement d'une peinture montée sur un châssis à tension continue.

## DISPOSITIF EXPERIMENTAL.

### Préparation de l'éprouvette.

L'éprouvette doit simuler le craquellement d'une couche picturale soumise à des écarts hygrométriques. Pour augmenter la probabilité de rupture de la couche picturale durant le vieillissement, nous avons appliqué une préparation épaisse et exercé lors du montage une tension légèrement supérieure à la moyenne. Ainsi, dans les conditions de vieillissement prévues, la probabilité de craquellement de la couche picturale est importante.

La peinture sur toile est constituée d'une couche d'encollage qui a été appliquée à la brosse, de 5 couches de préparation blanche composée de colle de peau et de carbonate de calcium et enfin de 3 couches de peinture à l'huile qualité beaux-arts en respectant la règle gras sur maigre.

Après un séchage de 6 mois, la peinture sur toile est montée sur un châssis à tension continue STARO équipé d'un dispositif de mesure et installée dans des enceintes climatiques.

### Dispositif de mesure.

Pour analyser le comportement d'une peinture montée sur un châssis à tension continue, nous avons mis au point, en modifiant un châssis STARO, un dispositif de mesure permettant de suivre les variations de tension et de dimension de la peinture. La transformation des équerres en capteurs de force permet de mesurer les tensions alors que les variations

(1) Some aspects of the mechanical behavior of fabric - supported paintings. M.F. MECKLENBURG. 1982.

(2) The stiffness of lining fabric: Theoretical and practical considerations. G.A. HEDLEY ICCOM 1981.



dimensionnelles de la peinture sont suivies par des capteurs de déplacement fixés sur un chevalet métallique, l'ensemble constitue un bloc solide.

Ce dispositif est relié à un système d'acquisition de données comportant, un ordinateur HP 85 A, un scanner HP 3495 A, un voltmètre HP 3455 A. Il permet de piloter et d'enregistrer les mesures en fonction du temps et de l'humidité. Il a été réalisé par Monsieur LEPAPE du BUREAU VERITAS, figure 1.

Ce système d'acquisition nous permet de prendre des mesures toutes les deux heures en continu. Les enregistrements des données ont été faits pendant les 2000 premières heures du vieillissement programmé. A chaque mesure, on a la valeur des efforts et des déplacements aux quatre angles, l'humidité relative, la température, soit un total de 16 informations enregistrées dans un fichier, numéroté, minuté, daté.

l'une des enceintes climatiques des services de restauration de la DMF.

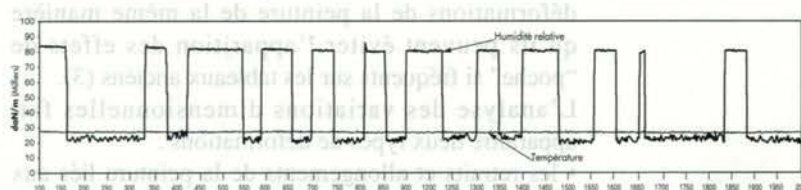


Figure 2 : variations de l'humidité relative pendant les 2000 premières heures du vieillissement hygrométrique.

### ANALYSE DES VARIATIONS DE DIMENSIONS, DE TENSIONS ET DE RIGIDITES DE LA PEINTURE SUR TOILE.

Le dispositif expérimental nous a permis d'obtenir un certain nombre d'informations sur le comportement dimensionnel et les variations de tension de la peinture sur toile lorsqu'elle est soumise au vieillissement hygrométrique.

#### Variations dimensionnelles.

##### 1) En fonction de l'humidité.

Les variations dimensionnelles de la peinture ont été enregistrées pendant les 2000 heures du vieillissement hygrométrique et tracées sur les graphes de la figure 3.

Ces valeurs oscillent en fonction de l'humidité. On observe un retrait de la peinture à faible humidité relative et un allongement à forte humidité. Les variations dimensionnelles en trame et en chaîne sont légèrement décalées car pour obtenir une tension égale dans les deux sens sur le châssis, la déformation en chaîne est plus importante.

La moyenne des écarts entre les valeurs des déformations maximum et minimum de chaque palier nous donne des valeurs proches: 2,35 mm en trame et 2,36 mm en chaîne soit 0,23%. Le comportement isotropique des déformations de la peinture est lié aux matériaux de la couche picturale qui imposent leur comportement par rapport à la toile.

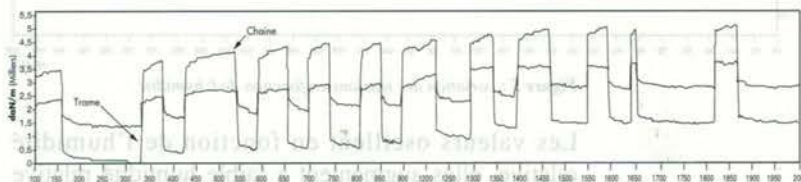


Figure 3 : variations des déformations de la peinture en fonction de l'humidité.

##### 2) En fonction du temps, à température et humidité relative constantes.

Les courbes de la figure 4 caractérisent le fluage de la peinture. Les déformations enregistrées sont quasiment identiques en chaîne et en trame (comportement isotropique) et se stabilisent au bout d'environ 1400 heures de vieillissement hygrométrique. L'allongement de la peinture dû au fluage ne

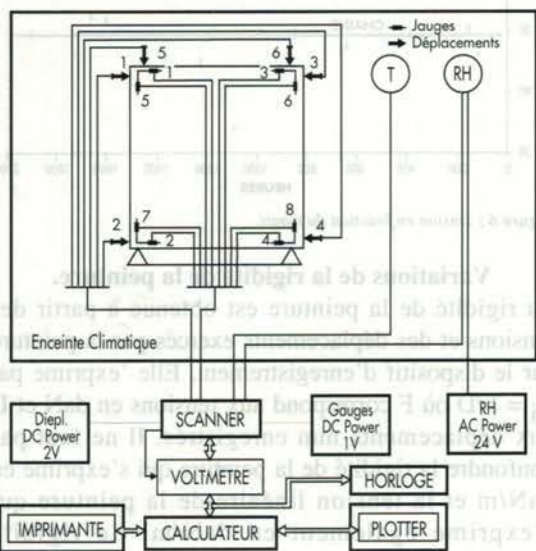


Figure 1 : dispositif de mesure.

#### Viellissement hygrométrique.

Pendant les 6 mois de séchage dans des conditions normales d'atelier (21°C +/- 2°C et 60% +/- 4% HR) la peinture acquiert ses propriétés optimales.

Afin d'observer le comportement de la peinture tendue sur le châssis à tension continue équipé, nous lui avons fait subir un vieillissement hygrométrique de 167 jours.

Ce vieillissement est créé par l'alternance à température constante de 25°C +/- 2°C, de paliers d'un climat sec 23% HR et d'un climat humide 82% HR, durant toute la période expérimentale. D'une manière globale, les durées du climat sec et humide sont respectivement de 88 et 79 jours. Le graphe de la figure 2 représente le profil des variations enregistrées pendant les 2000 premières heures.

Bien que ce vieillissement hygrométrique ne prenne pas en compte tous les paramètres inhérents au vieillissement naturel, il simule d'une manière satisfaisante le vieillissement mécanique dû aux sollicitations hygrométriques. Il a été exécuté dans



se manifeste pas par une détension de celle-ci. Les châssis Staromatic sont capables d'absorber les déformations de la peinture de la même manière qu'ils peuvent éviter l'apparition des effets de "poche" si fréquents sur les tableaux anciens (3). L'analyse des variations dimensionnelles fait apparaître deux types de déformations :

- les retraits et allongements de la peinture liés aux variations hygrométriques.
  - l'allongement de la peinture dû au fluage.
- Les retraits et allongements sont des déformations réversibles alors que le fluage est irréversible et tend vers une valeur constante.

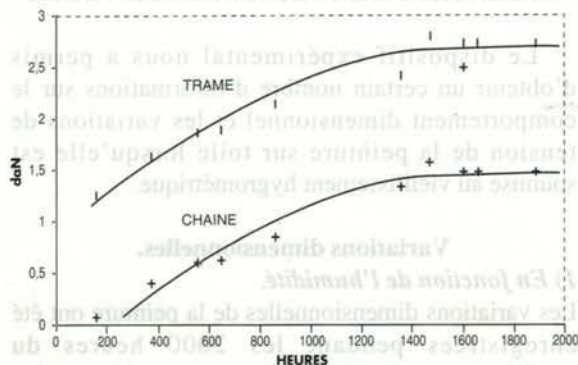


Figure 4 : déformation de la peinture en fonction du temps.

**Variations des tensions dans la peinture.**

**1) En fonction de l'humidité.**

Les efforts de tension appliqués au début du vieillissement sont de 30 daN en chaîne comme en trame. Ils ont été volontairement surestimés de manière à mettre en évidence le comportement d'une peinture tendue sur ce type de châssis.

Les variations de la tension exercée par la peinture durant le vieillissement hygrométrique ont été enregistrées pendant 2000 heures et tracées sur les graphes de la figure 5.

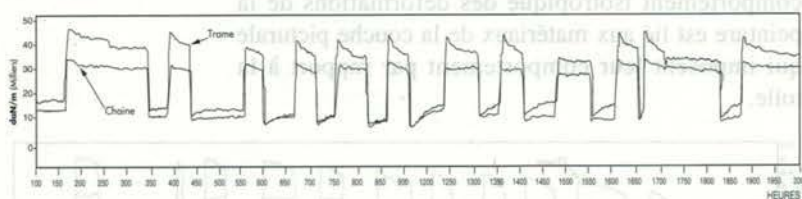


Figure 5 : variation des tensions en fonction de l'humidité.

Les valeurs oscillent en fonction de l'humidité relative, elles augmentent à faible humidité relative et diminuent à forte humidité.

L'amplitude des tensions en trame et en chaîne est différente. La moyenne des écarts entre les tensions maximum et minimum de chaque palier nous donne des valeurs distinctes: 31,45 daN en trame et 24,35 daN en chaîne.

En sens chaîne, nous observons un glissement des valeurs maximales et minimales de tensions par rapport à la tension initiale de l'éprouvette sur le châssis équipé. Nous pouvons supposer que ce phénomène, dû à la déformation initiale de la toile

durant la fabrication de l'éprouvette, correspond à un écoulement plastique de la préparation au moment du passage de 82% à 23%.

**2) En fonction du temps, à température et humidité relative constantes.**

Dans la figure 6, la dispersion des points est probablement liée à la déformation de craquelures. Les tensions oscillent autour d'une valeur constante que l'on obtient par régression linéaire.

L'analyse des déformations et tensions nous amène à étudier les variations de la rigidité de la peinture durant ce vieillissement hygrométrique.

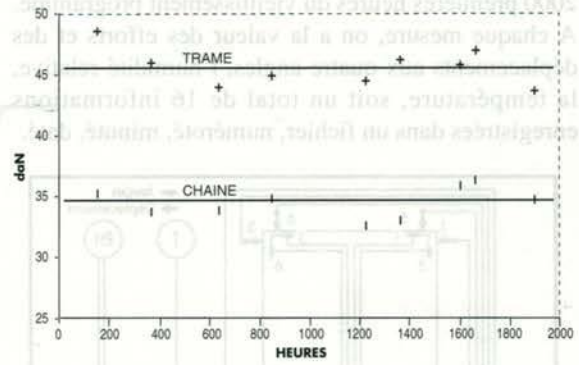


Figure 6 : tension en fonction du temps.

**Variations de la rigidité de la peinture.**

La rigidité de la peinture est obtenue à partir des tensions et des déplacements exercés par la peinture sur le dispositif d'enregistrement. Elle s'exprime par  $R_i = F/D$  où F correspond aux tensions en daN et D aux déplacements mm enregistrés. Il ne faut pas confondre la rigidité de la peinture qui s'exprime en daN/m et la tension linéaire de la peinture qui s'exprime également en daN/m. La rigidité caractérise comme le module d'élasticité longitudinale, l'élasticité plane de la peinture, c'est-à-dire sa capacité de se déformer dans le plan. La tension linéaire représente la force par mètre linéaire qui est exercée sur la peinture, elle est plus importante en sens trame et elle dépend de l'humidité.

**1) En fonction de l'humidité.**

Les variations de cette rigidité ont été calculées et tracées sur les graphes de la figure 7, durant les 2000 heures de vieillissement hygrométrique enregistrées.

La rigidité de la peinture varie en fonction de l'hygrométrie. Elle s'élève lorsque l'humidité baisse et inversement. L'allure des courbes en trame et en chaîne est différente. Les écarts entre les maximums et les minimums évoluent beaucoup plus rapidement en trame qu'en chaîne.

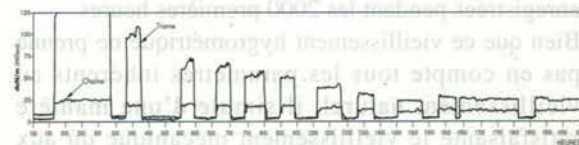


Figure 7 : variation de la rigidité de la peinture en fonction de l'humidité.

(3) The prediction of stress relaxation and incident instability in lining canvas. G. RONCA ICCOM Zagreb 1978.



2) En fonction du temps à température et humidité relative constantes.

Les courbes de la figure 8 soulignent les différents comportements en chaîne et en trame des rigidités de l'éprouvette. On observe une chute brutale de la rigidité en trame pendant les 400 premières heures, et une stabilisation de celle-ci vers 1400 heures. L'écart important des rigidités en trame et en chaîne avant le vieillissement est lié au comportement orthotropique de la toile. C'est dans le sens trame que vont se concentrer les tensions les plus importantes, donnant naissance à des contraintes supérieures aux contraintes de rupture de la préparation et du film de peinture. C'est la formation rapide d'un réseau de craquelures perpendiculaire à la trame qui entraînera l'effondrement de la rigidité dans ce sens, réduisant considérablement l'écart entre les deux rigidités au bout d'un certain temps (4). Maintenant, ce qui est intéressant d'analyser c'est le rôle des ressorts qui équipent les châssis à tension continue tel que le châssis STARO.

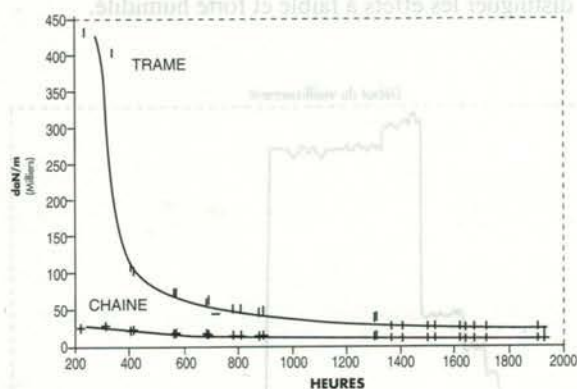


Figure 8 : rigidité en fonction du temps, température et humidité constantes.

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN CHÂSSIS A TENSION CONTINUE.

Ces châssis possèdent des angles mobiles équipés de ressorts qui se déforment sous l'effet des tensions exercées par la peinture. Ils se distinguent des châssis conventionnels par leur déformabilité dans la plan du tableau, figure 9.

Les ressorts des châssis type STARO sont caractérisés par la courbe de la figure 10 (extraite de la documentation distribuée par STARO).

Après le montage de la toile sur le châssis, les forces exercées entre la peinture et les ressorts s'équilibrent. D'après la courbe de la figure 10, la raideur du ressort est fonction de la charge. Contrairement à la rigidité de la peinture, la raideur du ressort est indépendante de l'humidité. Les tensions provoquées par le comportement de la peinture lors des changements d'humidité (23% à 82%), entraîneront des variations de la raideur du ressort. Pendant le vieillissement, la rigidité de la peinture va varier autour des valeurs de la raideur du ressort.

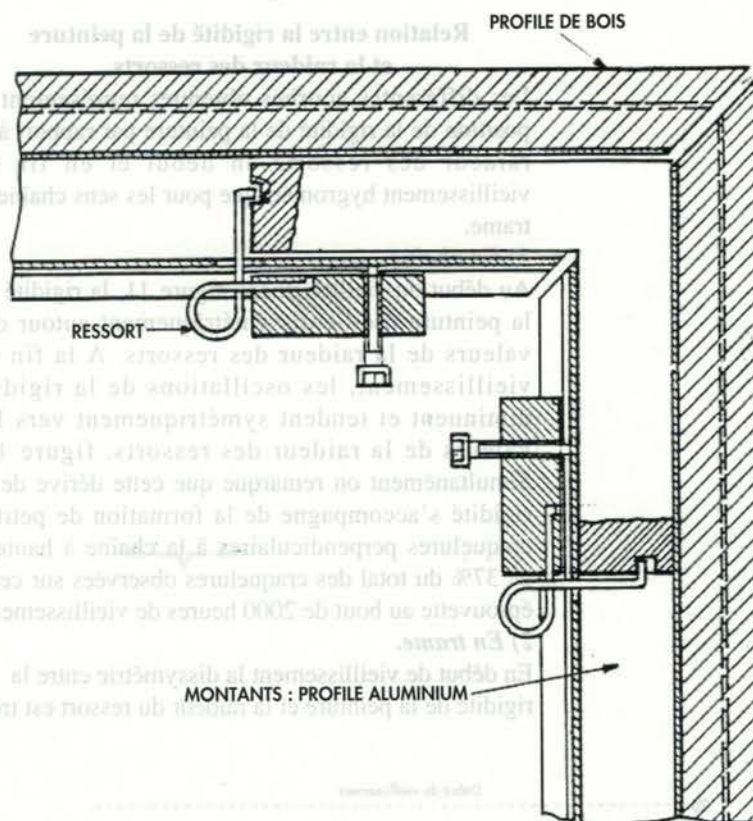


Figure 9 : angle mobile d'un châssis STARO.

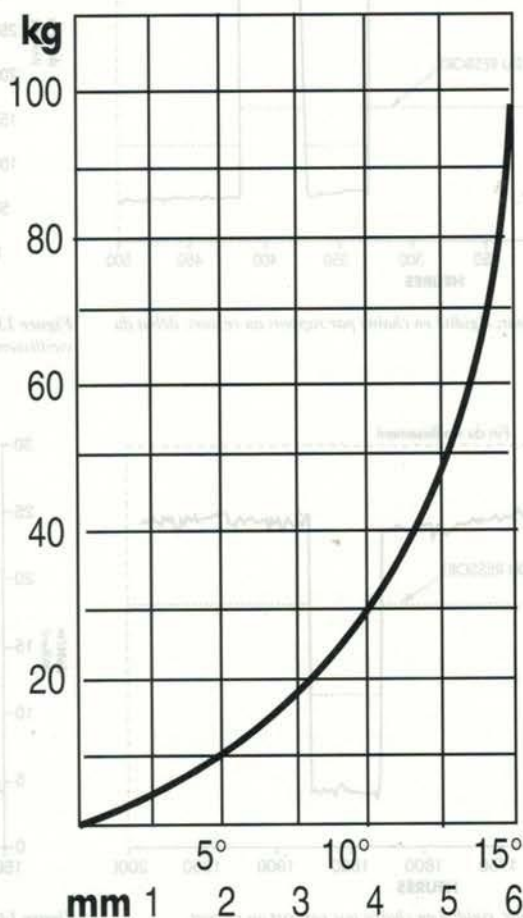


Figure 10 : courbe caractéristique de la raideur du ressort.

(4) An evaluation of the preparation of canvas painting using in stress measurements. G.A. BERGER, W.H. RUSSEL, Studies in conservation 33,4,1988.

(5) Investigation into the reaction of plastic materials to environmental changes. Part.1 The mechanics of the decay of paint films. G.A. BERGER, W.H. RUSSEL, Studies in conservation 1984.



### Relation entre la rigidité de la peinture et la raideur des ressorts.

Les différentes courbes obtenues représentent la position de la rigidité de la peinture par rapport à la raideur des ressorts en début et en fin de vieillissement hygrométrique pour les sens chaîne et trame.

#### 1) En chaîne.

Au début du vieillissement, figure 11, la rigidité de la peinture oscille dissymétriquement autour des valeurs de la raideur des ressorts. A la fin du vieillissement, les oscillations de la rigidité diminuent et tendent symétriquement vers les valeurs de la raideur des ressorts, figure 12. Simultanément on remarque que cette dérive de la rigidité s'accompagne de la formation de petites craquelures perpendiculaires à la chaîne à hauteur de 37% du total des craquelures observées sur cette éprouvette au bout de 2000 heures de vieillissement.

#### 2) En trame.

En début de vieillissement la dissymétrie entre la rigidité de la peinture et la raideur du ressort est très

marquée, figure 13. Au cours du vieillissement les oscillations de la rigidité diminuent rapidement et tendent vers la raideur des ressorts, figure 14. Comme précédemment, cette dérive de la rigidité de la peinture est suivie par la formation de craquelures perpendiculaires à la trame à hauteur de 50% du total des craquelures observées sur cette éprouvette (notons que 13% des craquelures n'ont pas d'orientation privilégiées).

#### Interprétation des résultats.

La sensibilité de la peinture à l'humidité est responsable des variations de sa rigidité, c'est-à-dire de ses propriétés élastiques pour de petites déformations et viscoélastiques pour des déformations plus importantes.

Lorsque la peinture est tendue sur un châssis à tension continue déformable, ce changement de rigidité se manifeste par des variations de dimensions et de tensions de la peinture.

Dans le cycle de vieillissement effectué il faut distinguer les effets à faible et forte humidité.

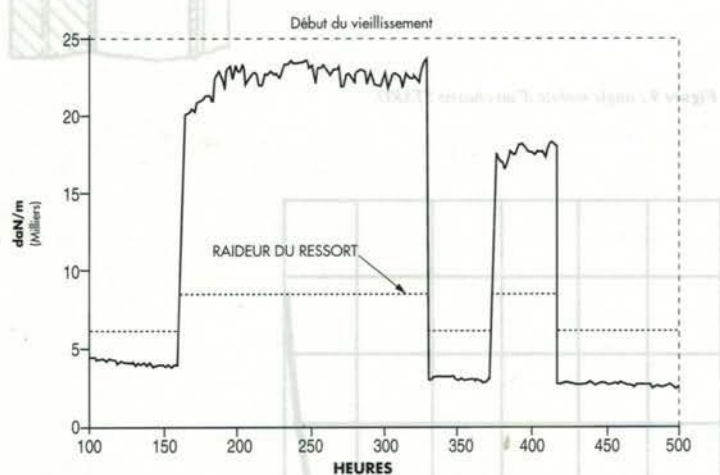


Figure 11 : relation rigidité et raideur, rigidité en chaîne par rapport au ressort, début du vieillissement.

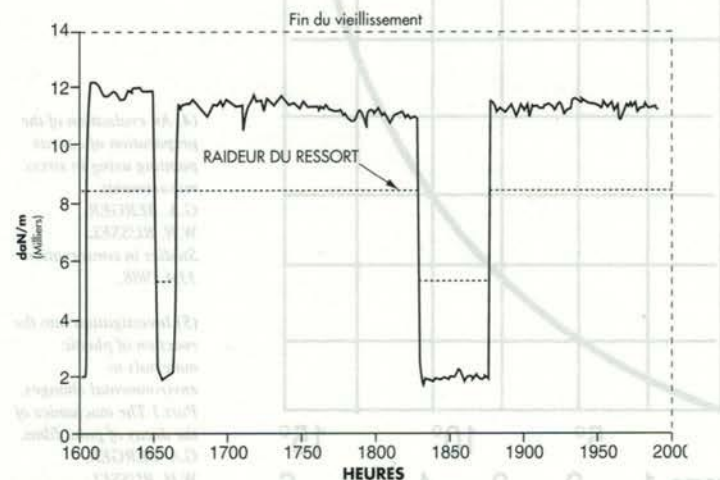


Figure 12 : relation rigidité et raideur, rigidité en chaîne par rapport au ressort, fin du vieillissement.

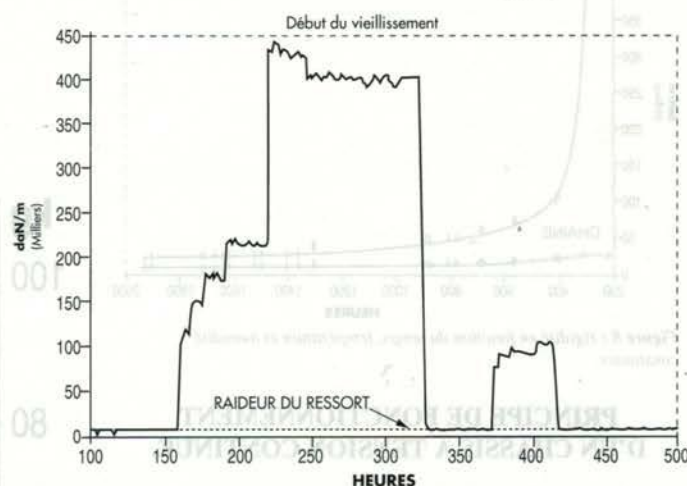


Figure 13 : relation rigidité et raideur, rigidité en trame par rapport au ressort, début du vieillissement.

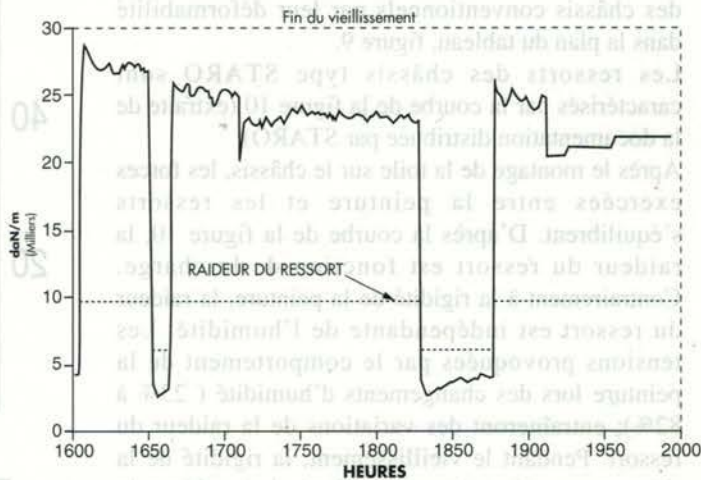


Figure 14 : relation rigidité et raideur, rigidité en trame par rapport au ressort, fin du vieillissement.



**A faible humidité.**

La rigidité de la préparation est supérieure à la raideur du ressort. La tension provoque une pression sur les ressorts et permet le retrait de la peinture. A l'intérieur de la couche picturale, le film de peinture se trouve en compression et une contrainte de cisaillement se développe à l'interface entre la peinture et la préparation. Si le retrait est trop important, la compression ou le cisaillement risquent d'engendrer une perte de cohésion du film de peinture ou un clivage entre le film de peinture et la préparation (6) (7).

**A forte humidité.**

La rigidité de la peinture devient inférieure à la raideur du ressort. Dans ce cas c'est le ressort qui impose son comportement. La pression qu'il exerce provoquera une extension de la peinture. Une extension trop importante pourrait entraîner une rupture de la couche picturale.

**CONCLUSION.**

L'analyse des données nous a permis d'examiner la relation qui existe entre la peinture et son châssis. L'efficacité du châssis à tension continue dépend du choix des ressorts qui équipent les angles, il faut que leur raideur soit en phase avec la rigidité de la peinture. Dans ces conditions, le montage des peintures sur des châssis à tension continue devient une mesure de conservation préventive.

**REMERCIEMENTS.**

Je remercie le Service de Restauration des Musées de France pour sa collaboration et Monsieur André LEPAPE du BUREAU VERITAS pour ses prestations.

**LISTE FOURNITURES ET EQUIPEMENTS.**

Toile : LIBECO, Tielstraat, 98, B 8860 Meulebeke, Belgique.

Châssis à tension continue STAROMATIQUE : STAROTECH. AG, CH 8306 Brüttisellen, Suisse.

Équipement châssis : BUREAU VERITAS CRD, 58 bis, rue Paul Vaillant Couturier, 92209 Levallois Perret, France.

(6) The moisture softening of paint films and its implications for the treatment of fabric supported paintings, G.A. HEDLEY, M. ODLYHA, Journées sur la conservation-restauration des biens culturels PARIS 1989.

(7) New method for treating water damage flaking, G. HEDLEY, C. VILLIER, ICCOM Dresde 1990.



# Leonard

## pinceaux d'art - fine art brushes

Articles de haute qualité pour la peinture Aquarelle, Huile et Acrylique élaborés spécialement pour :  
**Artistes, Illustrateurs, Décorateurs, Restaurateurs, Doreurs...**

Plusieurs valisettes spécifiques selon les techniques sont également disponibles.

Demander le descriptif en couleur à votre détaillant ou directement au fabricant :

**BULLIER S.A. - B.P. 127 - 22001 ST-BRIEUC CEDEX - Tél. 96 94 31 10 - Fax : 96 94 69 04**