

# CHÂSSIS À TENSION AUTORÉGULÉE, DE LA THÉORIE À LA PRATIQUE <sup>1</sup>

---

**Alain ROCHE**, ingénieur, conservateur-restaurateur de peinture, spécialisé dans les traitements des supports  
Laboratoire d'Analyse et de Recherche pour la Conservation et la Restauration des Oeuvres d'Art (LARCROA)  
a.roche@larcroa.fr

## INTRODUCTION

Un tableau est aux yeux du public un objet esthétique qui s'apparente à un tout. Ce même tableau, aux yeux des professionnels de la conservation, s'identifie à une entité qui du point de vue esthétique forme un ensemble homogène, mais du point de vue physique est constitué d'un assemblage complexe d'éléments hétérogènes.

Ces deux points de vue, intimement imbriqués, créent la nature même de l'œuvre. Quand la structure du tableau ne joue plus son rôle, l'esthétique s'altère.

Depuis plusieurs siècles, un bon nombre d'artistes ont réalisé des tableaux sur des toiles apprêtées, tendues sur un cadre en bois fixe et rigide. Seuls le temps et les apports de la science ont permis aux artistes de faire évoluer cette technique en choisissant de nouveaux matériaux. Ces peintures présentent, à quelques variantes près, deux niveaux de structure :

- *un support* constitué d'un châssis et d'une toile encollée ;
- *une couche picturale* composée d'une préparation et de couches de couleurs.

La fabrication d'une peinture sur toile atteste bien que le châssis est un élément constitutif du tableau, une partie intégrale de l'œuvre, qui a une valeur historique.

C'est une vérité qui mérite bien d'être démontrée, car autrefois, dans les ateliers de rentoilage<sup>2</sup>, il était d'usage de changer les châssis et de les mettre au rebut, quel que soit leur état. Si l'histoire matérielle du tableau est racontée, c'est le plus souvent au revers de la peinture, sur le châssis. Elle s'inscrit dans le temps, grâce à la présence d'étiquettes, d'inscriptions, de cachets de cire, de tampons, etc. qui s'ajoutent au fur et à mesure et qui marquent les étapes de la vie de l'œuvre.

Dans les années 1950, les responsables de collections et les services de restauration de musées ont pris conscience de l'intérêt que représentent ces informations. On a commencé à les conserver et les documenter. Les châssis, au lieu d'être mis au rebut, ont fait l'objet de restaurations, de consolidations, de transformations en vue d'être conservés comme témoin d'authenticité et d'être réutilisés comme élément d'origine de la structure.

■ Fig 1

*La Villa Médici.* Achille Bénéville, 1869.  
Musée Vivienel, Compiègne.  
Détail de craquelures mécaniques.  
©Alain Roche.



## UN ÉTAT DE CONSERVATION DES TABLEAUX INQUIÉTANT

En travaillant plus de 30 ans dans les ateliers de restauration institutionnels, les œuvres qui m'ont été confiées, présentaient pour la plupart d'entre elles de graves problèmes structuraux. Ils allaient des pertes de cohésion de la matière picturale, qui se manifestaient par des craquelures et réseaux de craquelures, aux pertes d'adhésion avec des soulèvements et disparition de la matière picturale. À ce stade, ces altérations révèlent un état de dégradation des peintures très avancé (Fig. 1).

A priori, ce phénomène peut s'expliquer par l'impact du temps sur l'œuvre et par conséquent son vieillissement temporel. Mais qu'en est-il des peintures modernes et récentes comme celle de Karel Appel ? Cette œuvre présente déjà, comme tant d'autres, des traces profondes de dégradations mécaniques, dites prématurées (Fig. 2).



■ Fig 2

*Crying Crab.* Karel Appel, 1954.  
Stedelijk Museum, Amsterdam.  
Détail de craquelures mécaniques prématurées.  
© Alain Roche.

Pourquoi ces dégradations structurelles apparaissent-elles si rapidement ?

De nombreuses études<sup>3</sup> ont mis en évidence l'impact des conditions climatiques sur la conservation des œuvres. Elles se manifestent, en ce qui concerne les peintures sur toile, par des variations de tensions provoquées par les fluctuations d'humidité et de température de l'environnement<sup>4</sup>. À plus ou moins long terme, ces variations de tension sont responsables d'une fatigue<sup>5</sup> mécanique qui se traduit par une dégradation des peintures.

Pour limiter les effets des variations de tensions, dès la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, certains peintres, puis des restaurateurs ont intuitivement proposé de tendre les peintures sur des châssis à tension autorégulée<sup>6</sup>. Ce sont des châssis qui se déforment dans le plan du tableau sous l'effet des tensions. De nombreux prototypes construits empiriquement ont été mis au point, en vue de traitements spécifiques. Peu de publications ont été éditées sur ces châssis et à ma connaissance aucune approche théorique et expérimentale n'a démontré l'efficacité de ces systèmes de régulation.

## Rappel théorique

Pour répondre à ces questions il faut se rappeler, d'une part que les peintures renferment des matériaux hydrophiles sensibles à l'eau et hydrophobes sensibles aux températures et d'autre part qu'elles sont soumises, comme tous les matériaux, à des lois qui décrivent leurs comportements mécaniques.

La loi<sup>7</sup> qui relie la tension ( $t$ ), le module d'élasticité ( $E$ ), l'épaisseur ( $e$ ) considérée comme constante<sup>8</sup> et la déformation relative ( $\epsilon$ ) s'écrit sous la forme suivante :

$$t_{\text{peint.}}(E, \epsilon) = E (HR \text{ ou } T) \cdot e^{ct \cdot e} \cdot \epsilon (HR \text{ ou } T) \quad (1)$$

### Peinture tendue

Lorsque la peinture est tendue sur un châssis standard les montants sont fixes. On peut donc considérer que la déformation relative ( $\epsilon$ ) est constante et l'expression de la tension devient :

$$t_{\text{peint.}}(E) = E (HR \text{ ou } T) \cdot e^{cte} \cdot \epsilon^{cte} \quad (2)$$

La tension est provoquée initialement par l'étirement de la toile. Une fois fixée sur les bords et recouverte de la couche picturale à l'état sec, elle est proportionnelle au module d'élasticité de la peinture. Quand le module d'élasticité change avec l'humidité relative (HR) ou la température (T), les tensions varient. Ces variations de tension vont entraîner dans la peinture une fatigue mécanique qui est responsable des dégradations.<sup>9</sup>

Par ailleurs, en soumettant une peinture à un gradient d'humidité ou de température on obtient une courbe dite « diagramme de sensibilité » à l'humidité ou à la température. Elle s'exprime mathématiquement par une fonction polynomiale<sup>10</sup> du 4<sup>o</sup>:

$$t_{\text{peint.}}(HR \text{ ou } T) = a + b \cdot HR \text{ ou } T + c \cdot HR^2 \text{ ou } T^2 + d \cdot HR^3 \text{ ou } T^3 + e \cdot HR^4 \text{ ou } T^4 \quad (3)$$

Cette expression permet de calculer la valeur de la tension pour chaque valeur d'humidité relative ou de température. Elle peut se simplifier en posant :

$$a = t_{\text{initiale}} \text{ et } \Delta t (HR \text{ ou } T) = b \cdot HR \text{ ou } T + c \cdot HR^2 \text{ ou } T^2 + d \cdot HR^3 \text{ ou } T^3 + e \cdot HR^4 \text{ ou } T^4$$

pour devenir :

$$t_{\text{peint.}}(HR \text{ ou } T) = t_{\text{initiale}} + \Delta t (HR \text{ ou } T) \quad (4)$$

### Peinture libre

Une peinture libre est une peinture qui n'est pas tendue ni suspendue, elle peut subir des déformations. D'après la loi (1) la déformation relative dépendant de l'humidité ou de la température s'écrit :

$$\varepsilon(\text{HR ou T}) = \frac{l_{(0)} - l_{(\text{HR ou T})}}{l_{(0)}} = \frac{\Delta l_{\text{peint}}}{l_0} \quad (5)$$

$l_0$  est la longueur ou largeur initiale de la peinture,  $l_{(\text{HR ou T})}$  est la longueur ou largeur de la peinture soumise à une variation d'humidité ou de température. La variation dimensionnelle d'une peinture libre est :  $\Delta l_{\text{peint}}$ .

Dans ce cas, les contraintes dans une peinture libre sont faibles, ce sont les contraintes originelles, dues à la mise en œuvre de celle-ci. La tension est nulle.

C'est en partant de ce principe, que l'on a introduit dans les châssis, des systèmes élastiques, pour réguler les tensions. Le système élastique  $\Delta_{\text{syst.élast}}$  doit s'adapter aux variations dimensionnelles de la peinture c'est-à-dire :

$$\pm \Delta l_{\text{peint}} = \pm \Delta_{\text{syst.élast}} \quad (6)$$

Si les variations dimensionnelles de la peinture sont compensées par le système élastique on peut écrire :

$$\Delta l_{\text{peint}} = \Delta_{\text{syst.élast}} \text{ donc } \Delta l_{\text{peint}} - \Delta_{\text{syst.élast}} = 0 \quad (7)$$

L'expression de la tension (t) peut s'exprimer en termes de variation :

$$\Delta t_{\text{peint}}(\text{HR ou T}) = \Delta E(\text{HR ou T}) \cdot e^{\text{cte}} \cdot \Delta \varepsilon(\text{HR ou T}) \quad (8)$$

En introduisant le dispositif élastique dans l'équation, elle devient

$$\Delta t_{\text{peint}}(\text{HR ou T}) = \Delta E(\text{HR ou T}) \cdot e^{\text{cte}} \cdot \left( \frac{\Delta l_{\text{peint}} - \Delta_{\text{syst.élast}}}{\Delta l_0} \right) \quad (9)$$

Dans le cas ou

$$\Delta l_{\text{peint}} = \Delta_{\text{syst.élast}} \text{ donc } \Delta t(\text{HR ou T}) = 0$$

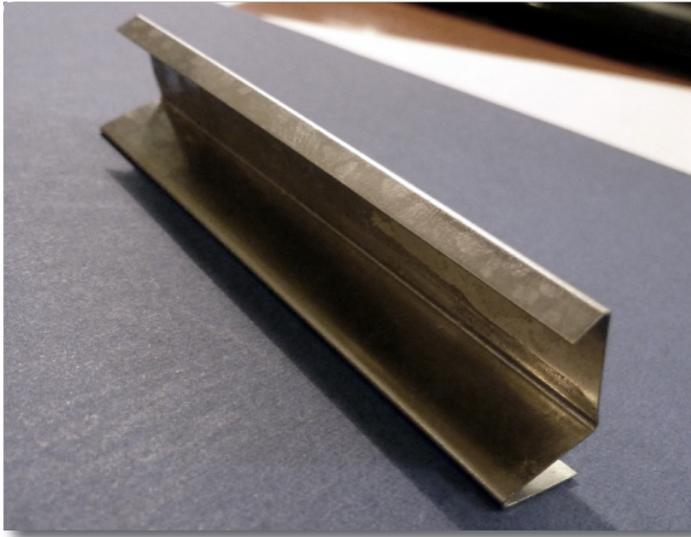
On démontre à partir de l'équation (4)

$$t_{\text{peint}}(\text{HR ou T}) = t_{\text{initiale}} + \Delta t(\text{HR ou T})$$

que tension est égale à la tension initiale et elle est constante :

$$t_{\text{peint}}(\text{HR,T}) = t_{\text{initiale}} = t^{\text{cst}} \quad (10)$$

Cette approche théorique, fondée sur les lois de comportement des peintures, démontre que la tension a une valeur constante égale à la tension initiale, quelle que soit l'humidité relative ou la température. La partie expérimentale qui fait suite a pour objectif de vérifier la fiabilité d'un système élastique basé sur la flexibilité d'une lame métallique spécialement conçue pour s'adapter sur des châssis historiques.



**Fig 3** ■  
Lame du Système de Tension Auto-Régulée.  
© Alain Roche.

### Principe de fonctionnement des châssis à tension autorégulée S.T.A.R®.

Le Système de Tension Auto-Régulée S.T.A.R® est basé sur l'élasticité d'une lame en acier spécial de 8 cm de long et dimensionnée pour répondre aux sollicitations des peintures (Fig3).

Le déplacement de la lame<sup>11</sup> est défini par

$$\Delta l_{\text{lame}} = \Delta_{\text{peint.}} \cdot C_{\text{lame}} \quad (11)$$

ou

$$C_{\text{lame}} = \left( \frac{4l^3}{e^3} \right) \cdot \frac{1}{E_{\text{lame}}} \quad (12)$$

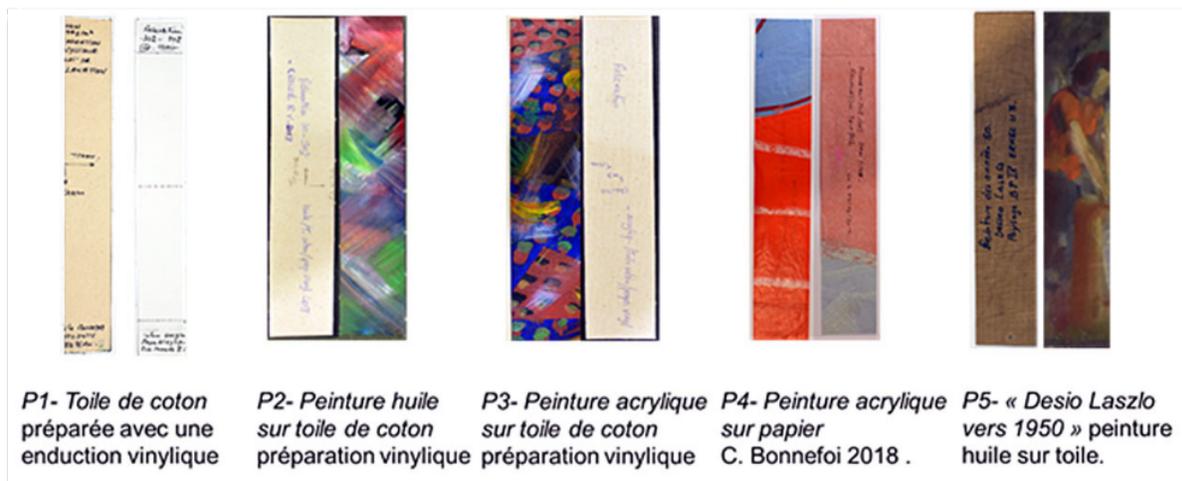
$C_{\text{lame}}$  correspond aux caractéristiques géométriques et mécaniques de la lame.

Cette lame s'adapte sur la plupart des châssis d'origine ou historique moyennant de petites transformations. Elle nécessite la création d'une rainure et d'un chanfrein le long du périmètre extérieur des montants. Les lames sont encastrées dans la rainure. Selon le profil du châssis ou son état de conservation, les lames peuvent être collées. Aux angles, elles doivent être ajustées pour leur permettre de fléchir sans se bloquer (Fig.4).

Enfin, elles sont recouvertes d'un film de téflon pour diminuer les effets de frottement de la toile sur la lame et faciliter son déplacement.

■ **Fig 4**  
Ajustement des lames aux angles.  
© Alain Roche.





**P1- Toile de coton préparée avec une enduction vinylique**

**P2- Peinture huile sur toile de coton préparation vinylique**

**P3- Peinture acrylique sur toile de coton préparation vinylique**

**P4- Peinture acrylique sur papier**  
C. Bonnefoi 2018 .

**P5- « Desio Laszlo vers 1950 » peinture huile sur toile.**

### Approche expérimentale

Pour démontrer l'efficacité de ce système de régulation de S.T.A.R<sup>®</sup>, nous avons effectué une étude sur une toile commerciale préparée et quatre types de peintures représentatives des techniques les plus utilisées par les artistes actuels (Fig.5).

#### Description des échantillons.

**P1- Toile de coton** préparée avec une enduction vinylique commercialisée au Canada et aux États-Unis. Échantillon fourni par Gesplan. La toile Gesplan se caractérise par une armure louisine<sup>12</sup>, une masse surfacique de 400g/m<sup>2</sup>, une contecture de 23 doubles fils/cm en chaîne et 16 fils/cm en trame.

**P2- Peinture huile sur toile Gesplan** - « croisée RBV-2018 ». La toile de coton Gesplan a été recouverte par une série de couches de peinture à l'huile de qualité Beaux-arts Rembrandt<sup>®</sup>.

**P3- Peinture acrylique sur toile Gesplan** « Points-Croix-2018 ». La toile de coton Gesplan a été recouverte d'une série de couches de peinture acrylique Beaux-arts Liquitex<sup>®</sup> et Lascaux<sup>®</sup>.

**P4- Peinture acrylique sur papier.** C'est un fragment d'une peinture de Christian Bonnefoi<sup>13</sup> de 2018 récupéré dans son atelier. Cette technique est très représentative des techniques utilisées par l'artiste ces dernières années. Il applique une peinture à base de Plextol<sup>®</sup> B 500 pigmenté sur un papier très fin, appelé aussi papier de soie.

■ Fig 5

Échantillons de peintures.

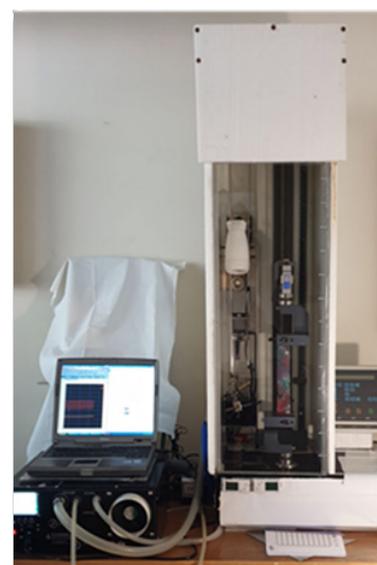
© Alain Roche.

**P5- « Desio Laszlo vers 1950 »** peinture huile sur toile historique. Cette peinture est composée d'une fine toile de lin ou de chanvre oxydée, d'une préparation blanche à base de sulfate de calcium et de baryum et plusieurs couches de peinture à l'huile dont un blanc de zinc, des oxydes de fer, du rouge de cadmium. Le médium de ces pigments est une huile siccativ.

Cette étude se déroule en 2 étapes.

#### Première série d'essais.

Les 5 peintures sont fixées entre les attaches de la Machine de Tests Universels (UTM), équipée d'une enceinte climatique, alimentée en air humide et sec par un générateur Mini One programmable permettant de générer des cycles d'humidité à température constante<sup>14</sup> (Fig.6).



■ Fig 6

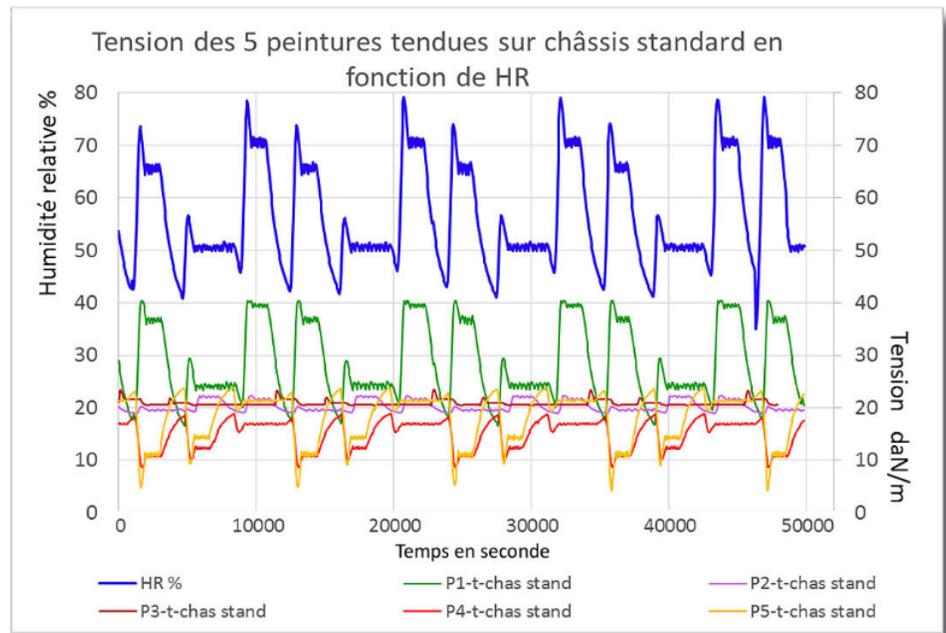
Dispositif expérimental

essai 1.

© Alain Roche.

■ Fig 7

Essais 1.  
Variation de tension des  
5 peintures soumises  
à des cycles d'humidité.



Les échantillons de peinture sont soumis à des essais de relaxation<sup>15</sup> associés aux cycles d'humidité sur 12 h selon le programme suivant :

50% - 70% HR durée 30 minutes  
70% - 30% HR durée 30 minutes  
30% - 65% HR durée 30 minutes  
65% - 25% HR durée 30 minutes  
25% - 50% HR durée 60 minutes

En leur imposant une déformation constante, les éprouvettes de peinture se trouvent tendues comme sur des châssis fixes standard. Ce dispositif, piloté par un ordinateur, permet de suivre les variations de tension et de les enregistrer en fonction du temps et des cycles d'hygrométrie qui ont été programmés. Les résultats sont représentés par les 5 courbes des peintures de la *Figure 7*.

La courbe bleue représente les cycles d'humidité relative. Les autres courbes, assignées aux peintures, répondent à la loi du comportement mécanique de l'équation (1) et aux équations des fonctions polynomiales (3) de ces peintures. Pour chaque type de peinture, on peut faire les remarques suivantes pour l'écart maximum  $\Delta HR = 44\%$  :

P1 (vert) toile de coton apprêtée – Gesplan, l'écart de tension est de  $\Delta t = 27,5$  daN/m et correspond à une forte sensibilité à l'humidité de cette toile. La tension augmente lorsque l'humidité augmente. La toile de coton impose son comportement par rapport à l'enduction.

P2, P3 (violet, marron) huile et acrylique sur toile de coton apprêtée - Gesplan – l'écart des tensions sont respectivement de  $\Delta t = 3,31$  daN/m et  $\Delta t = 2,97$  daN/m. Ces deux peintures ont une faible réactivité à l'humidité, leurs tensions diminuent lorsque l'humidité relative augmente. Ce sont les couches picturales huile et acrylique qui imposent leur comportement, puisqu'elles modifient profondément le comportement de la toile Gesplan.

P4 (rouge) la peinture de Christian Bonnefoi est une technique sur papier (matière fortement hydrophile) – l'écart de tension  $\Delta t = 10,39$  daN/m atteste que la technique est relativement sensible à l'humidité. Sa tension décroît lorsque l'humidité augmente.

P5 (jaune) la peinture à l'huile sur toile de lin encollée « année 50 » - l'écart de tension  $\Delta t = 19,73$  daN/m révèle une peinture très sensible à l'humidité. Elle subit une forte chute de tension quand l'humidité s'élève. Comme la toile oxydée est assez peu réactive, ce sont les matières protéiniques de l'encollage et de la préparation qui imposent leurs comportements.

Ces résultats permettent une classification des peintures en fonction de leurs sensibilités à l'humidité croissantes  $P2 \leq P3 < P4 < P5 < P1$

■ Fig 8

Dispositif expérimental  
essai 2.  
© Alain Roche.



Deuxième série d'essais

Dans cette nouvelle étape, le dispositif expérimental comprend un accessoire complémentaire. Il est constitué par 2 sections de châssis S.T.A.R® sur lesquelles les peintures sont agrafées. Ces sections sont fixées entre les mors de la machine de tests par l'intermédiaire d'emprises. Sur ce dispositif expérimental, la peinture se trouve tendue et agrafée, dans les mêmes conditions que sur un châssis équipé du système S.T.A.R®<sup>16</sup>.

Le même essai de relaxation est programmé sur ce dispositif pour suivre les variations de tension en fonction du temps et des cycles d'hygrométrie (Fig.8).

Les résultats sont présentés sur le graphe de la Figure 9.

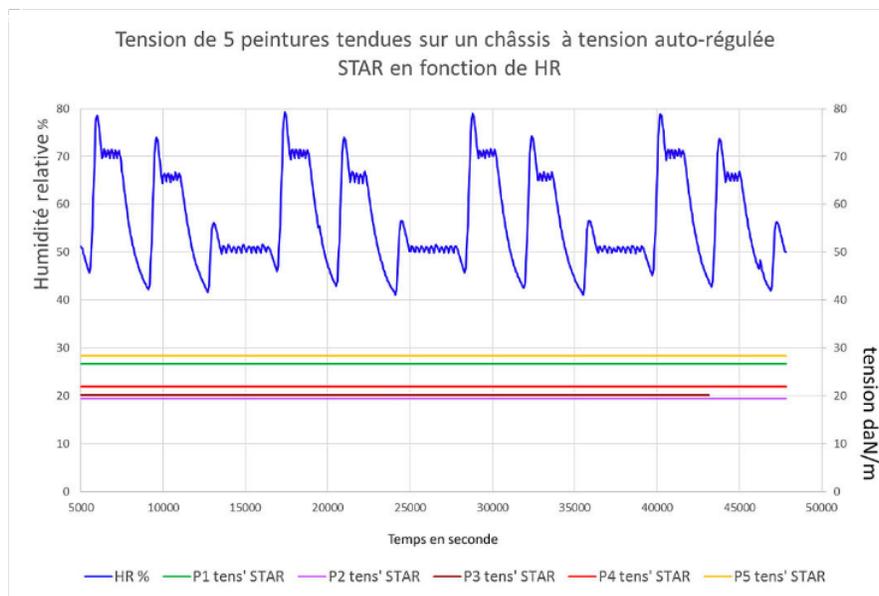
Ce dispositif intègre le système de régulation de tension S.T.A.R®. Les cycles programmés d'humidité relative (courbe bleue) ne provoquent pas de variation de tension dans les peintures. Ce comportement illustre parfaitement bien la capacité de ce système à réguler les tensions de manière à ce qu'elles soient constantes. Ces résultats sont confirmés par l'approche théorique vue précédemment.

Dans cet essai, les tensions des différentes peintures sont : P1 ( $t = 26,6$  daN/m), P2 ( $t = 19,5$  daN/m), P3 ( $t = 20,2$  daN/m), P4 ( $t = 21,9$  daN/m) et P5 ( $t = 28,3$  daN/m). Selon l'équation (10) ces tensions correspondent aux tensions initiales, restées constantes.

Pour la variation de l'humidité de  $\Delta HR = 44,2$  % nous constatons que les écarts de tension pour les peintures P3, P4 sont nuls, P1, P2, les écarts sont de 0,001 daN/m et P5, la peinture des années 1950, a le plus grand écart avec 0,002 daN/m. Dans tous les cas de figure, ces variations de tension sont négligeables.

■ Fig 9

Essais 2.  
Tensions constantes des  
5 peintures soumises  
à des cycles d'humidité.



## DISCUSSION

L'approche théorique nous a permis de démontrer qu'en introduisant un système élastique entre la peinture et le châssis fixe, on était en mesure de réguler les tensions de manière à ce qu'elles soient constantes et égales à la tension initiale, quelles que soient les variations d'humidité ou de température.

Le dispositif de l'essai 2 démontre que la lame du système S.T.A.R® est bien en synchronie avec les différentes peintures testées et répond à l'équation (10) de l'approche théorique. Dans le cas où  $\Delta t(HR) = 0$ , la tension constante est égale la tension initiale. L'essai 2 montre également que ce système élastique s'est adapté aux différents types de peintures – toile de coton apprêtée, techniques à l'huile et à l'acrylique sur cette toile, une technique acrylique d'artiste sur papier et une peinture historique des années cinquante.

Les essais de cette étude soulignent aussi l'importance de la validité du système élastique utilisé et la difficulté de trouver un dispositif élastique qui assure le rôle qu'on lui demande de jouer. La lame métallique du système S.T.A.R®, brevetée en 1993, a été conçue et dimensionnée de manière à absorber au mieux les variations de tension, quelles que soient les peintures. Est-ce que les systèmes élastiques utilisant des ressorts commerciaux à spirales, en traction ou en compression sont susceptibles de jouer correctement leur rôle ? Cette interrogation reste à démontrer.

Cette étude met aussi en évidence l'impact des fluctuations de l'humidité sur les variations de tensions à l'intérieur d'une peinture tendue sur un châssis standard. L'amplitude de ces variations dépend de la sensibilité des peintures à l'humidité ou à la température. Elles sont responsables à plus ou moins long terme d'une fatigue mécanique qui est généralement à l'origine d'importants risques de dégradation mécanique comme nous avons pu le constater dans les peintures de Karel Appel et bien d'autres.

Les variations de tensions d'une peinture tendue sur un châssis à tension auto-régulée, sont absorbées par le système élastique ce qui réduit fortement la fatigue mécanique et les risques de dégradation. On assure ainsi, avec ce dispositif, le ralentissement du vieillissement mécanique des œuvres. Cette spécificité des châssis à tension autorégulée a été prise en compte dans des propositions de restauration et de conservation d'œuvres majeures, tel que le Triptyque *Bleu I, Bleu II, Bleu III* de Miro évoqué ci-dessous.



■ Fig 10

*Bleu I, Bleu II, Bleu III.* Miró, 1961. Triptyque.  
Musée National d'Art Moderne, Paris.  
© Alain Roche.

### Triptyque de MIRO *Bleu I, Bleu II, Bleu III.*

Ce triptyque de MIRO<sup>17</sup>, peint en 1961, est une œuvre majeure acquise par le MNAM entre 1984 et 1993 (Fig. 10).

Avant d'entrer dans les collections du Centre Pompidou, les peintures ont été conservées roulées et deux d'entre elles ont subi un dégât des eaux dans les années soixante-dix. Suite à ces dégâts, les peintures ont été entoilées avec des méthodes différentes et montées sur des châssis neufs. En rentoilant ces trois peintures, les restaurateurs ont modifié leurs comportements mécanique et physique, en les contraignant pendant près de quarante ans.

L'état de présentation de ces 3 œuvres n'était pas satisfaisant. Les toiles de rentoilage se décollaient et formaient des cloques et des poches. Les surfaces picturales étaient encrassées et les retouches devenues visibles, altéraient leur aspect esthétique. Le triptyque nécessitait une restauration fondamentale à la fois du support et de la couche picturale. Elle a été effectuée entre 2009 à 2012 avec Véronique Sorano-Stedman, chef de service, responsable de l'atelier de restauration et restauratrice de la couche picturale<sup>18</sup>.

Le retrait des toiles d'entoilage a pu se faire progressivement en arrachant des lanières de toile de 5 cm de large. Des essais avaient été effectués au préalable, pour déterminer le sens d'arrachage le plus facile, en vue de limiter les forces de pelage (Fig. 11).

Pour l'élimination de la colle de type « néoprène », à la suite d'une série de tests, nous avons opté pour un dégagement mécanique à l'aide d'un appareil électrique de type Dremel®, muni d'un mandrin où l'on peut fixer différentes fraises de prothésiste dentaire. Le dégagement de la colle s'est fait graduellement, en suivant un carroyage de manière à opérer régulièrement (Fig. 12).

Les désentoilages des peintures *Bleu I, II et Bleu III* ont permis de retrouver les véritables signatures de MIRO et d'autres inscriptions historiques (Fig. 13).



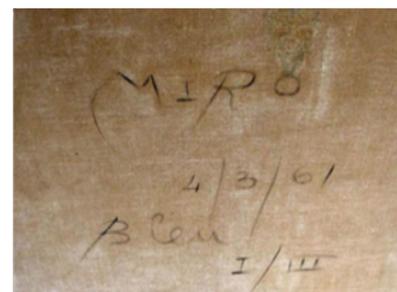
■ Fig 11

Désentoilage des toiles du triptyque de Miró *Bleu I, II, III.*  
© Alain Roche.



■ Fig 12

Élimination de la colle des toiles du triptyque de Miró *Bleu I, II, III.*  
© Alain Roche.



■ Fig 13

Réapparition de la signature « MIRO », de la date « 4/3/61 » et du titre : *Bleu I/III.*  
© Alain Roche.

■ **Fig 14**  
 Mise en place du système S.T.A.R® sur un des châssis du triptyque – création d’une rainure.  
 © Alain Roche.



L’opération de désentoilage d’une peinture est une intervention lourde. Elle est susceptible de provoquer un déséquilibre des forces internes, que la matière picturale va devoir résorber. Tous ces changements vont se manifester à l’intérieur de la peinture retendue sur un châssis conventionnel, par un rééquilibrage des forces dans le temps, pouvant se traduire, à la suite de variations de tension, par des altérations mécaniques de type perte de cohésion (fissures, craquelures) ou perte d’adhérence (soulèvements, écaillages). Le désentoilage a rendu les peintures plus sensibles aux variations d’humidité et de température et plus vulnérables aux altérations mécaniques. Pour prévenir tous risques d’une évolution de la matière picturale vers une dégradation mécanique, nous avons proposé de les tendre sur leur châssis historique équipé du système S.T.A.R® et d’une protection au revers. Les châssis en bois, renforcés de traverses, sur lesquels les peintures du triptyque étaient tendues, ne sont pas d’origine. Néanmoins, les toiles ont été tendues dessus pendant plus de quarante ans, sur cinquante ans d’existence. Pendant cette période, les châssis ont été historiés par la présence d’inscriptions manuscrites et d’étiquettes collées sur les montants et les traverses. En état satisfaisant, nous avons décidé de les conserver au regard de ce qu’ils représentent.

Pour transformer ces châssis traditionnels en bois, en châssis à tension autorégulée, le choix s’est porté vers le système de régulation de tension S.T.A.R® pour plusieurs raisons. Il se présente comme un élément indépendant qui s’adapte sur la plupart des châssis. Il est le fruit de plusieurs années de recherche et d’essais au sein du LARCROA. Il a été breveté, testé et il a fait l’objet de plusieurs publications<sup>19</sup>. La transformation du châssis est simple. Elle s’effectue en trois étapes :

1. Création d’une rainure et d’un chanfrein le long du périmètre extérieur des montants (Fig. 14).
2. Encastrement et ajustement aux angles des lames (Fig. 15).
3. Recouvrement par un film de téflon (Fig. 16).

Cette opération de restauration du support et de l’aménagement du système S.T.A.R® sur les châssis se sont déroulés dans l’atelier de restauration du Centre Pompidou à Paris.



■ **Fig 15**  
 Mise en place du système S.T.A.R® sur un des châssis du triptyque – encastrement des lames.  
 © Alain Roche.



■ **Fig 16**  
 Mise en place du système S.T.A.R® sur un des châssis du triptyque – recouvrement de téflon.  
 © Alain Roche.

### Retour d'expérience en 2022

En 10 ans, le triptyque a fait l'objet d'expositions et de prêts. Il est actuellement exposé dans une des salles du MNAM. Le 10 mai 2022, un examen sur place a pu être fait avec Véronique Stedman. Nous avons pu constater que l'état de conservation du triptyque était tout à fait satisfaisant du point de vue :

- de la planéité (pas de déformation dans les angles),
- de la surface (pas d'apparition de craquelures ni de soulèvements),
- de la tension (les lames exercent toujours leur rôle de régulation de tension).

### CONCLUSION

Depuis 1984 le monde de la recherche, en conservation-restauration des supports de peintures, a peu évolué. J'ai été témoin dans les années quatre-vingt de quelques apports techniques et théoriques venant d'Angleterre, des États-Unis, des Pays-Bas et d'Italie. Nous les avons exploités timidement sous la surveillance d'un service de restauration anxieux et inquiet. Dans les années quatre-vingt-dix, les recherches sur le comportement mécanique des peintures sont plus avancées. Elles ont révélé l'importance de l'impact du climat sur la dégradation mécanique des œuvres peintes tendues sur châssis. Elles mettent en cause la sensibilité aux conditions climatiques et la vulnérabilité des peintures. Le début des années 2000 a cautionné les nouvelles techniques de restauration déjà pratiquées. Par exemple, pour consolider et stabiliser une peinture dégradée qui doit être prêtée, il est devenu courant de l'imprégner d'une résine synthétique et de lui contrecoller un renfort. Certes, cette technique de doublage est efficace, mais tellement interventionniste qu'on pourrait penser que certains responsables de la conservation s'engagent dans des opérations de valorisation des œuvres sans tenir compte de leur intégrité. Les interventions minimalistes développées en Italie à cette même époque ont également des limites, mais elles respectent l'intégrité des œuvres. Les préventionnistes en conservation ont préconisé au début des années deux mille dix des conditions de conservation tellement énergivores qu'elles ne peuvent plus être d'actualité dans les années deux mille vingt.

Actuellement, nous avons la possibilité, en adaptant un système d'autorégulation des tensions tel que S.T.A.R<sup>®</sup>, de conserver les châssis d'origine, tout en limitant le vieillissement mécanique des peintures. Évidemment, la transformation du châssis et la tension de la peinture sont des interventions qui ne peuvent-être faites que par un restaurateur spécialisé et cette opération a un coût.

Quand on anticipe sur la conservation préventive des œuvres peintes modernes et contemporaines, le montage des peintures sur cette catégorie de châssis, quand cela est possible bien entendu, est une solution qui nous est offerte pour résoudre un grand nombre de problèmes. Ce dispositif ralentit le vieillissement mécanique, assure une meilleure conservation des œuvres peintes, quelles que soient les conditions climatiques. C'est un remède à la conservation des œuvres, mais aussi à une gestion climatique moins contraignante.

Si ce type de mesure préventive n'a pas été adoptée en France, c'est probablement pour plusieurs raisons : la méconnaissance du principe de fonctionnement et des avantages de cette intervention, le manque de communication entre la restauration pratique et la conservation préventive. Elles ont rendu les restaurateurs du support et les institutions qui les encadrent perplexes vis-à-vis de l'efficacité de ces châssis. Néanmoins, l'opportunité de publier permet de présenter et de diffuser des innovations qui peuvent enrichir la pratique de la restauration et améliorer la conservation des œuvres fragiles.

## Notes

1- Cet article est issu de la communication présentée lors de la journée d'étude de la SFIC du groupe peinture « Les strates de l'histoire : conserver, adapter ou supprimer les traces historiques de la restauration ? » le 17 juin 2022 à Paris, amphithéâtre Palissy, C2RMF.

2- Rostain 1981.

3- Michalski 1993. Ehhardt, Tumosa, Mecklenburg 2007.

4- Roche 2016. Roche, Soldano 2018.

5- Horsin Déon 1851 p. 5 « [...] Si, dans cet état, elle (la peinture) reste exposée dans un lieu dont la température soit soumise aux variations d'une atmosphère alternative humide et sèche, le jeu de toile qui se resserre ou se détend sous l'une ou l'autre de ces influences, fatigue sans cesse la préparation, qui devient de jour en jour moins solide que la peinture qu'elle a reçue [...] ». Intuitivement il parle dès cette époque de fatigue mécanique, responsable de dégradations.

6- L'histoire de ces châssis à tension autorégulée débute en 1875, lorsque J. P. Wright et D. W. Gardner déposent un brevet, pour se poursuivre tout au long du XX<sup>ème</sup> siècle.

7- Cette loi est obtenue en combinant la loi de Hook :  $\sigma = E.e$  avec la contrainte  $\sigma$  définie par  $\sigma = F/S$  ou  $S = L.e$  et la tension  $t = F/L$  donc  $t = \epsilon.e$

Roche 2009, p. 200-201. Roche 2016, p. 67.

8- La variation dimensionnelle de l'épaisseur d'une peinture par rapport à ses dimensions - largeur et longueur - est négligeable. Elle peut être considérée comme constante.

9- Roche 2020, p 15.

10- La fonction polynomiale est une fonction constituée de coefficients réels a, b, c, d et d'une variables (HR) ou (T) élevée au degré 4 dans le cas d'une fonction polynomiale du 4ème degré.

11- Roche 2009, p. 203-204.

12- L'armure louisine est une amure taffetas ou toile où 2 fils de la chaîne sont levés pour un fil de trame. <http://memotextile.free.fr/Unis/lesarmures.htm>.

13- Christian Bonnefoi - Artiste peintre, docteur en histoire de l'art, ancien pensionnaire de la Villa Médicis.

14- Tous les essais ont été faits au LARCROA dans les mêmes conditions.

15- Un essai de relaxation en traction consiste à imposer à un matériau une déformation instantanée constante et à suivre l'évolution de la contrainte dans le temps.

16- La peinture est agrafée sur les montants du châssis, juste en dessous de la lame. La tension de la peinture se fait comme sur un châssis standard à l'aide d'une pince à tendre et d'uneagrafeuse.

17- Chacune des peintures du triptyque mesure environ 270/355 cm.

18- Sorano-Stedman, Roche 2010.

19- Roche 2009. Roche 2013. Roche 2020.

## Bibliographie

CAPRIOTTI Giorgo, IACCARINO IDELSON Antonio. *Tensionamento dei dipinti su tela, La ricerca del valore di tensionamento*. Viterbo : Nardini Editore, 2004.

EHHARDT David, TUMOSA Charles, MECKLENBURG Marion. « Applying science to the question of museum climate. » In : *Conference on Micro Climates in Museum*, Copenhagen, November 19-23, 2007, 11-18. *Museum Microclimates*, T. Padfield & K.Borchrsen : National Museum of Denmark, 2007.

ELBER Wolf. « Fatigue crack closure under cyclic tension ». *Engineering Fracture Mechanics*, 1970, Vol 2, pp.445-476.

HORSIN Déon Simon. *De la conservation et de la restauration des tableaux*. Paris : réédition Gutenberg Reprint. 1851.

MECKLENBURG Marion. *Determining the Acceptable Ranges of Relative Humidity and Temperature in Museum and Galleries*. Washington DC : Smithsonian Museum Conservation Institute. 2007, Part.I, RH.

MICHALSKI Stephan. « Humidity: a discussion of correct/incorrect values » 1993, Triennial Meeting 10<sup>th</sup> ICOM-CC. Washington D.C. ICOM Committee for Conservation, p.624-629.

PLENDERLEITH Harold James, PHILIPPOT Paul. « Climatologie et conservation dans les musées ». *Museum*, 1960, Vol.XIII, n°4, p.203-289.

ROCHE Alain. *Comportement mécanique des peintures. Dégradation et prévention*. Paris : CNRS Éditions, 2003.

ROCHE Alain. Rôle du châssis à tension auto-régulée dans la conservation des peintures sur toile contemporaines. In : *Art d'aujourd'hui patrimoine de demain, conservation et restauration des œuvres contemporaines*, 2009, 13<sup>ème</sup> journée d'étude de la SFIC, Paris, p.200-207.

ROCHE Alain, SORANO-STEDMAN Véronique. Triptyque de Miro Bleus I, II, III – Dérestauration – Restauration – Conservation. In : *Actes du congrès international sur la restauration des peintures sur toile de grand format*. 26-28/10/2010 Université polytechnique de Valence. Valence : Université Polytechnique, 2010, p.309-328.

ROCHE Alain. *La conservation des peintures modernes et contemporaines*. Paris : CNRS Éditions, 2016.

ROCHE Alain, SOLDANO Alexia. « Effect changes environmental condition Mechanical behaviour ». *Studies in conservation*, 2018, Vol 63, n° 51, p.5216-5221.

ROCHE Alain. « Apports des essais mécaniques : Évaluation de la vulnérabilité et des risques de dégradation des peintures ». *CeROArt*, 2020, 12. Disponible sur : <http://journals.openedition.org/ceroart/7003>.

ROCHE Alain. Determination of the endurance limit of a paint layer. In : *Transcending Boundaries: Integrated Approaches to Conservation*. ICOM-CC Triennial Meeting 19<sup>th</sup>, 17-21 May 2021, Beijing Chine, Ed. J. Bridgland International council of Museum, 2021.

ROSTAIN Emile. *Rentoilage et transposition des tableaux*. Puteaux : Edition Erec, 1981.

SILVESTER Genevieve, et al. « A cause of water sensibility in modern oil paint films-Formation of magnesium sulphate. » *Studies in Conservation*, 2014, Vol 59, n°1, p.38-51.

THOMSON Garry. *The museum environment*. London : Butterworths, 1978.