

# Comportement mécanique des peintures sur toile:

## Evaluation de la stabilité mécanique aux variations d'humidité et de température.

**ALAIN ROCHE**

*Conservateur-restaurateur, Ingénieur*  
Paris - FRANCIA

### Abstract

L'incidence des variations d'humidité et de température sur la conservation des oeuvres d'art et notamment des peintures sur toile et sur papier est importante. Partout nous voyons des oeuvres présentant des états d'altération très différents.

Pour en évaluer l'impact nous devons faire appel à la notion de stabilité mécanique. Cette notion, étroitement liée aux propriétés des peintures, permet d'évaluer leur réactivité aux variations climatiques. Nous présentons dans cette étude le comportement de plusieurs types de peinture ; peintures à la colle et à l'huile sur toile et sur papier.

Nous avons également intégré le comportement de la toile et du papier seuls et encollés. L'ensemble de ces données expérimentales nous donne des courbes représentatives de chaque comportement pour des variations d'humidité allant de 15 à 95%HR. Ces courbes nous permettent de calculer la valeur moyenne de tension entre plusieurs valeurs d'humidité relative. Nous constatons que la sensibilité des peintures à l'humidité dépend de la position de l'écart de HR.

### Introduction

Les peintures sont des objets composites complexes qui interagissent avec leur environnement. Si les conditions de conservation sont mal maîtrisées ou si la technique du peintre est incorrecte, l'oeuvre va se dégrader rapidement. Nous allons essayer de comprendre au cours de cet article les raisons qui entraînent ces phénomènes.

Les peintures, de par leur constitution, n'ont pas la même sensibilité à l'humidité et aux températures. On peut classer les matériaux constitutifs des peintures deux catégories: les matériaux hydrophiles, les matériaux hydrophobes.

La sensibilité à l'humidité et à la température dépend de la structure des matériaux et du rapport qui existe entre la quantité de matériaux hydrophiles et hydrophobes. Par ailleurs cette sensibilité évolue avec le temps. Les matériaux constitutifs d'une peinture sont toutes des substances polymériques organiques naturelles ou synthétiques. Ces polymères sont plus ou moins sensibles à l'oxydation, l'hydrolyse et la photo-oxydation.

Le résultat de cette dégradation chimique introduit des modifications chimiques des substances qui entraînent des modifications de leurs propriétés physico-chimique et mécanique.

### Propriétés physiques

Dans les matériaux hydrophiles de la peinture, l'eau contenue dans l'atmosphère environnante s'adsorbe en surface et diffuse à l'intérieur en provoquant une augmentation du volume que l'on appelle le gonflement. Inversement l'évaporation de l'eau provoque un retrait. Chaque matériau hydrophile est affecté d'un coefficient de gonflement ( $\gamma$ ).

$$\gamma = \frac{\Delta l}{l} \cdot \frac{1}{\Delta HR(\%)}$$

L'amplitude du gonflement ou du retrait dépend des affinités qui existent entre les molécules d'eau et les macromolécules des constituants de la peinture et de l'humidité relative de son proche environnement. Chaque constituant de la peinture a un comportement différent vis à vis de l'eau. Par ailleurs l'absorption préférentielle de l'eau dans les parties amorphes d'un polymère comme le collagène ou dans des substances ioniques, provoque une modification de sa structure qui en affaiblissant les interactions entre les chaînes modifie l'ensemble des propriétés mécaniques.

L'élévation de la température d'un solide, d'un liquide ou d'un gaz provoque également une augmentation du volume que l'on appelle dilatation. Inversement une diminution de la température se manifeste par une contraction. Ce phénomène apparaît lorsqu'un apport d'énergie extérieure entraîne une augmentation du volume libre entre chaque macromolécule dans le cas d'un polymère ou mouvement micro-brownien à l'échelle

moléculaire. Tous les matériaux sont donc caractérisés par un coefficient de dilatation thermique ( $\alpha$ ) qui permet de quantifier le phénomène :

$$\alpha_l = \frac{1}{l} \left( \frac{\Delta l}{\Delta T} \right)$$

Ces variations de volume au sein de la matière provoquées par les gonflements/retraits ou les dilatations/rétractions sont à l'origine de sollicitations qui s'expriment sous forme de contraintes.

Les propriétés mécaniques des matériaux sont liées à la mobilité des molécules dans le solide. Bien que l'eau et la chaleur agissent de manière très différente, leur action est semblable. L'eau en s'introduisant dans le polymère facilite le déplacement des macromolécules en servant de "lubrifiant". Par contre, l'apport d'énergie par la chaleur (réchauffement du corps) est responsable d'une agitation plus grande des molécules et d'une plus grande mobilité. Dans les deux cas on observe une variation de volume (gonflement, dilatation) et une perte de rigidité (augmentation de l'élasticité).

En ce qui concerne les matériaux de la peinture, dans la plupart des cas les effets de dilatation ou de contraction sont toujours moins importants que les effets provoqués par le gonflement ou le retrait. Les propriétés des matériaux, intimement liées à la cohésion des molécules et à l'adhésion des matériaux entre eux, sont donc fortement conditionnées par les facteurs climatiques humidité et température.

### Elasticité d'une peinture

Sous l'action d'un effort un solide se déforme. L'élasticité correspond à sa capacité de déformation réversible sous l'effet d'une force, d'une charge ou d'une contrainte. Le coefficient  $E$  qui relie la contrainte et la déformation dans une relation linéaire s'appelle le module d'élasticité ou d'Young :

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

L'essai de traction d'une peinture composée d'une toile de lin, d'une préparation à la colle et blanc de Meudon et d'un film de peinture à l'huile nous donne un ensemble de données particulièrement intéressant. La courbe intégrale fig.(1) présente 3 parties très distinctes.



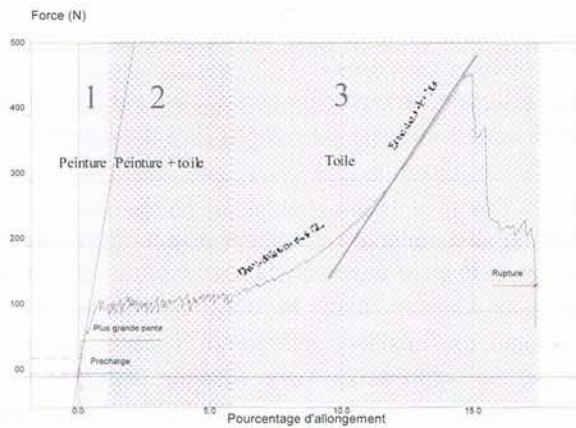


Fig. 1.

La première partie représente le comportement mécanique du film de peinture et de sa préparation. Lorsque la machine exerce une traction, le feuil de peinture et sa préparation plus rigide que la toile est sollicité en premier et impose son comportement. L'élasticité de la peinture est donc exprimée par cette partie de la courbe.

Dans la seconde partie de la courbe, la peinture soumise à une force supérieure à sa résistance se rompt pour laisser place à une craquelure. La toile sur laquelle le film est déposé se trouve à son tour sollicitée. Ayant une résistance à la rupture plus élevée elle se déforme sans se rompre, fig. (2).



Fig. 2.

La dernière partie de la courbe représente le comportement de la toile. Le feuil de peinture s'étant fissuré, fracturé, craquelé sur toute la surface, sa cohésion étant devenue quasiment inexistante la toile se trouve donc à son tour sollicitée. Cette partie de la courbe n'est pas complètement linéaire en raison de la structure de la toile. Dans un premier temps, la partie concave de la courbe correspond à la dé ondulation des fils.

En:  
car  
par  
per

Aux  
Jus  
tout  
cou  
(28  
max

Ce  
la p  
reg

For
Co
% a
Mo
For
Co
Mo
% a

Ensuite la courbe devient linéaire et représente le comportement élastique du fil tendu caractérisé par la pente ou le module d'Young de la toile étirée. La rupture de la toile se fait par défibrillation a environ 464,44 N (187,77 N/cm). Les parties 1 et 2 de la courbe, permettent de caractériser le comportement de la peinture, fig. (3).

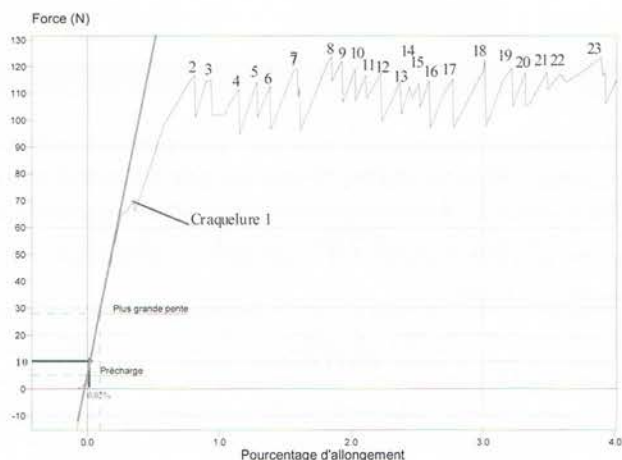


Fig. 3.

Aux conditions expérimentales le module d'Young de la peinture est élevé -1450 MPa-. Jusqu'à 70 N (28 N/cm) le comportement de la peinture est élastique. Dans cette zone toutes les déformations sont réversibles. Ensuite nous trouvons un léger épaulement de la courbe qui doit correspondre à un début de fissuration de la peinture. Entre 70 et 100 N (28N/cm et 40 N/cm) la courbe est linéaire mais elle s'infléchit vers 100 N pour atteindre un maximum à 118 N (47,2 N/cm).

Ce maximum correspond à la première rupture du film de peinture. La force à la rupture de la peinture est égale à la moyenne des pics soit environ 120 N (48 N/cm). Les valeurs sont regroupées dans le tableau suivant:

VITESSE DE TRACTION	10.000 MM/ MIN.
Force maximum de rupture du film de peinture.	464,44 N (187,77 N/ cm)
Contrainte à la force maximum.	21.354 Mpa
% d'allongement à la force maximale.	14.927%
Module de Young de la toile.	218,75 Mpa
Force moyenne de rupture du film de peinture.	120 N (48 N/cm)
Contrainte à la rupture du film de peinture.	16 Mpa
Module de Young du film de peinture.	1450 Mpa
% d'allongement à la rupture du film de peinture.	0,85 %

Quand on parle de stabilité on fait souvent référence à la stabilité chimique des matériaux. Cependant il ne faut jamais oublier que les facteurs climatiques - humidité, température - agissent sur les matériaux. Ces propriétés ne sont pas constantes et nous ne pouvons pas juger les effets de l'humidité et de la température sans l'aide d'une approche analytique.

### Effets de l'humidité relative

Les effets de l'humidité relative n'interviennent que sur les matériaux hydrophiles de la peinture et plus spécifiquement dans les parties amorphes des polymères semi-cristallins. Un changement d'humidité entraîne des variations dimensionnelles, (gonflement ou retrait) que nous pouvons exprimer en HR introduisant le coefficient de gonflement  $\gamma$  et la variation d'humidité  $\Delta HR$  par la relation suivante :

$$\varepsilon(HR) = -\frac{\gamma\Delta HR}{1 + \gamma\Delta HR}$$

Pour certains matériaux constitutifs des peintures, le module d'élasticité en fonction de l'humidité est linéaire dans certaines limites définies:

$$E(HR) = -mHR + n$$

En introduisant dans l'expression de la contrainte les termes en fonction de  $\Delta HR$  et de  $\gamma$  et nous obtenons:

$$\sigma(HR) = E(HR)\varepsilon(HR)$$

### Effets de la température

Les effets de la température sur le comportement mécanique des matériaux sont semblables à ceux de l'humidité relative toute proportion gardée. En introduisant le coefficient de dilatation thermique  $\alpha$ , et la variation de température  $\Delta T$ , l'expression de la contrainte devient :

$$\varepsilon(T) = -\frac{\alpha\Delta T}{1 + \alpha\Delta T} \quad \varepsilon(T) = -\frac{\alpha\Delta T}{1 + \alpha\Delta T} \quad \text{pour } HR_0 < HR < HR_1$$

$$\sigma(T) = E(T)\varepsilon(T)$$

Donc l'amplitude des variations dimensionnelles d'un polymère dépend directement des coefficients de gonflement et de dilatation (linéaire). Si le solide est libre de tout mouvement, les variations dimensionnelles pourront s'exercer librement.

Si par contre le solide est solidaire d'un système: tension d'une peinture sur un cadre indéformable- adhésion de deux couches de peinture - les variations dimensionnelles ne peuvent plus s'exprimer complètement. Nous allons examiner maintenant le cas du comportement sur toile tendue sur un châssis fixe.

#### Comportement des peintures sur un cadre fixe

On considère la tension d'une membrane sur un cadre fixe, fig.4.

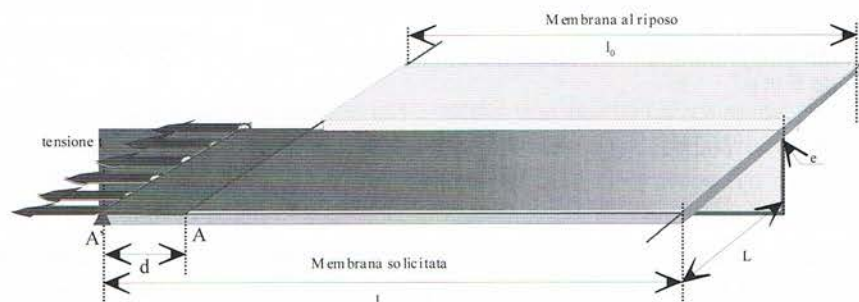


Fig. 4.



Pour une tension ( $t$ ) la membrane s'allonge d'une valeur ( $d$ ).  $A$  est un point fixe. La longueur ( $l_0$ ) est la longueur initiale,  $l$  est la longueur après tension. On peut donc écrire:

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100$$

Comme ( $l$ ) et ( $l_0$ ) sont fixes, alors la déformation relative ( $e$ ) est donc une constante. La contrainte s'écrit alors:

$$\sigma(HR, T) = E(HR, T) \cdot \varepsilon^{cte}$$

Elle est directement proportionnelle à  $E(HR, T)$ . Nous allons établir une relation entre la tension et le module d'élasticité en partant des relations suivantes:

$F = tL$ $S = eL$ $\sigma = \frac{F}{S}$	<p>F : Force N  t : Tension N/cm  L : Longueur cm  S : Surface de la section de la membrane cm.  E : Epaisseur de la membrane cm.  []: Contrainte. Mpa</p>
--	--

On obtient l'expression suivante de la tension:

Elle dépend de  $E$  et  $e$ .

$$t(HR, T) = E(HR, T) \cdot e(HR, T) \cdot \varepsilon^{cte}$$

Dans cette relation nous avons introduit l'épaisseur de la pellicule de la peinture qui est une fonction de l'humidité et de la température. Cette variation d'épaisseur est caractérisée par un coefficient de gonflement ou de dilatation et par conséquent on doit pouvoir utiliser une expression semblable à  $\varepsilon(HR)$ .

$$e(HR, T) = - \frac{(\gamma, \alpha) \Delta(HR, T)}{1 + (\gamma, \alpha) \Delta(HR, T)}$$



Pour évaluer l'impact de cette variation sur la tension, nous avons calculé le changement d'épaisseur pour une peinture qui a :  $\gamma = 0,000025$ , une épaisseur  $e = 0,8$  mm, sujette à une variation d'humidité :  $\Delta HR = 30\%$ . Les calculs démontrent que les changements d'épaisseur en fonction de l'humidité sont très faibles, la variation d'épaisseur est de  $0,000750$  mm ( $e=0,8$  mm  $\pm$   $0,000375$ ). Dans une première approximation on peut considérer que la variation d'épaisseur est négligeable ce qui signifierait que le produit ( $e \cdot \varepsilon$ ) est constant. L'expression de la tension en fonction de HR devient :

$$t(HR, T) = E(HR, T) \cdot Cte$$

Les variations de tension d'une peinture soumise à une variation d'humidité ou de température ne dépendent à priori *que du module d'élasticité*. Par conséquent chaque type de peinture aura un comportement spécifique vis-à-vis de l'humidité ou de la température. Un des moyens pour les différencier est l'évaluation de la stabilité mécanique.

#### EVALUATION DE LA STABILITE MECANIQUE AUX VARIATIONS D'HUMIDITE

Cette notion de stabilité mécanique aux variations d'humidité mérite d'être développée car elle permet de mieux comprendre les mécanismes de dégradation. L'évaluation de la stabilité mécanique d'un matériau aux variations hygrométriques est basée avant tout sur une approche expérimentale. La procédure consiste à mesurer la réponse du ou des matériaux, considéré comme une membrane tendue, à une variation d'humidité. Du point de vue expérimental, le suivi des tensions du matériau, soumis à une variation progressive d'humidité allant de 10% HR à 95% HR est possible sur une machine de traction ou sur un cadre Extensiométrique.

Cette procédure expérimentale permet d'obtenir une courbe de référence,  $t(HR)$  spécifique aux matériaux étudiés. Quelque soit la peinture étudiée nous allons obtenir une courbe qui, dans la plupart des cas, est non linéaire et que l'on peut diviser au niveau des points d'inflexion. De cette courbe nous allons pouvoir extraire de nombreuses informations sur la sensibilité des matériaux constitutifs à l'humidité et de leur rôle.

La courbe expérimentale  $t(HR)$ , issue de l'étude d'une peinture sur papier, fig.(5).

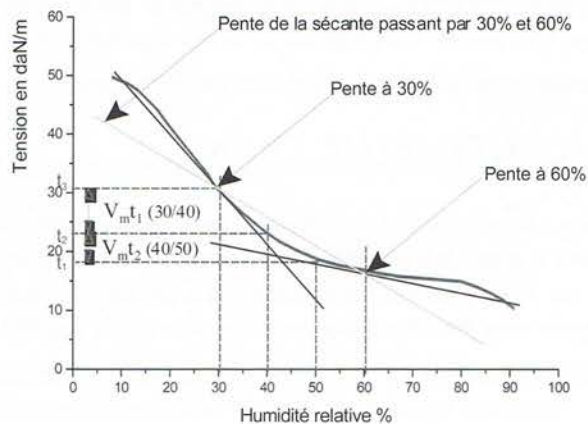


Fig. 5.

Permet évaluer la variation moyenne de tension ( $V_m t$ ) pour un écart d'humidité connu et une position de l'écart défini. La  $V_m t$  correspond à la différence des tensions engendrées par la peinture pour une variation d'humidité relative déterminées.

$$V_m t = t_2(HR_2) - t_1(HR_1)$$

Sur cette courbe, pour un même écart de 10% de HR situé entre 40% et 50% et entre 30% et 40% de HR, les valeurs moyennes de tension sont différentes. Ce qui signifie qu'un même matériau a une sensibilité à l'humidité qui dépend du degré de l'humidité. Si on associe à chaque point de la courbe une pente, nous voyons que celle-ci varie. La pente représente la sensibilité du matériau en un point. Alors que la  $V_m t$  caractérise la sensibilité du matériau pour une variation d'humidité. Autrement dit, plus la pente de la tangente est prononcée ou plus l'amplitude de la  $V_m t$  est élevée, plus la sensibilité du matériau est importante, fig.(6).

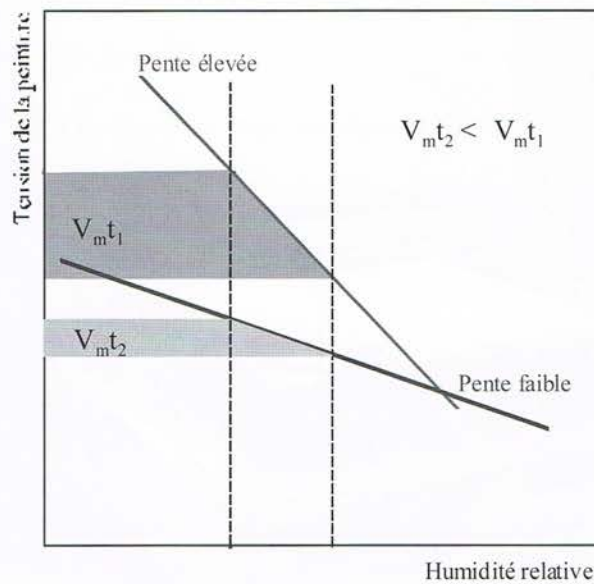


Fig. 6.

La forme des courbes de sensibilité à l'humidité obtenues expérimentalement dépendent des matériaux qui composent la peinture. Chaque point d'inflexion correspond à un changement de comportement mécanique généré par l'un des constituants inclus dans la technique.

Pour des modèles simples ne dépassant pas deux composants, il est aisé d'attribuer la participation de chaque élément à différents degrés d'humidité. En contre partie, pour des assemblages plus complexes l'interprétation n'est pas toujours facile même si elle s'inscrit toujours dans leurs propriétés physico-chimiques et mécaniques

#### DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le cadre extensiométrique a été conçu spécialement dans le but d'étudier le comportement mécanique biaxial des peintures et de leurs éléments constitutifs sous différentes conditions expérimentales. fig.(7).





Fig. 7.

Cet appareil est composé d'un cadre métallique carré équipé de 8 capteurs, aux angles avec une peinture tendue dessus. Il est relié à un amplificateur et un système informatique d'acquisition et de traitement des données. Ce cadre est introduit dans sa chambre climatique qui peut être conditionnée 10 à 95 % HR.

Maintenant examinons un certain nombre de courbes issues de l'étude de peinture de technique différentes.

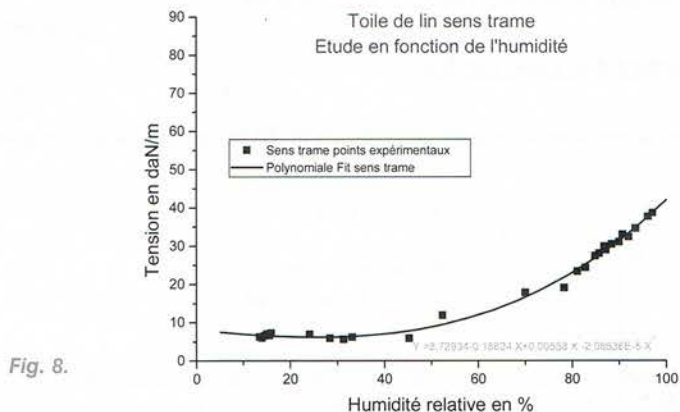
#### COMPORTEMENT DE DIFFERENTES TECHNIQUES PICTURALES SUR CADRE FIXE

Les huit techniques picturales retenues pour notre étude se sont limitées aux peintures à l'huile et à la colle sur toile et papier. Ce sont des techniques traditionnelles qui regroupent une bonne partie des matériaux classiques. L'étude a été faite sur une série d'éprouvettes

conçues à cet effet. Les caractéristiques de chaque éprouvettes sont reportées dans l'annexe.

### La toile

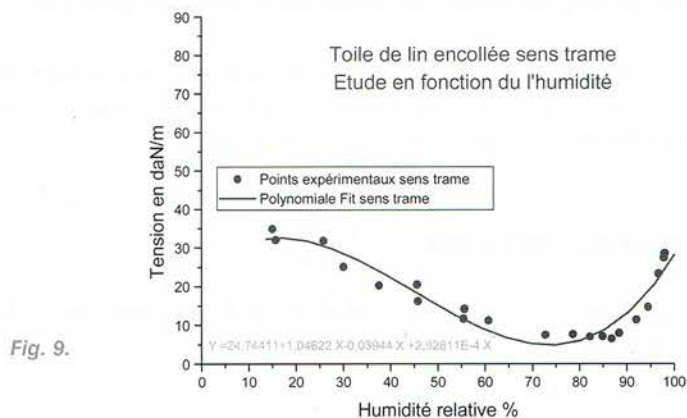
Notre intérêt s'est porté avant tout à une toile de lin non décatie, fig. (8)



Tendue sur un châssis fixe sa tension augmente lorsque l'humidité relative augmente croît. Ce phénomène bien connu actuellement est dû au gonflement des fils et à la structure de la toile. La réactivité de la toile dépend de ses caractéristiques: la nature et le traitement des fibres, la masse surfacique, l'armure, la contecture, l'embuvage, le titrage des fils. Cette toile est réactive à partir de 45% HR.

### Toile encollée

Son comportement change lorsqu'elle est encollée, fig.(9).



De 10 à 20% de HR la tension se maintient à environ 30 daN/m. Ce n'est qu'à partir de 25% que la tension amorce une diminution régulière (quasiment linéaire) jusqu'à 55% HR. Ensuite la tension atteint un minimum vers 70%. A cette humidité la colle se trouve dans un état de relaxation quasiment total. Ensuite la toile qui a tendance à se tendre à forte humidité impose son comportement à la colle. La toile encollée se retend.

La superposition des deux comportements se manifeste par des changements de pente de la courbe et la présence d'un point d'inflexion. La réactivité de cette toile présente deux zones situées entre 30 et 60 % et 85 et 90%.

### **Peinture à la colle sur toile**

Pour la peinture à la colle sur toile, le profil de la courbe est conservé, fig.(10).

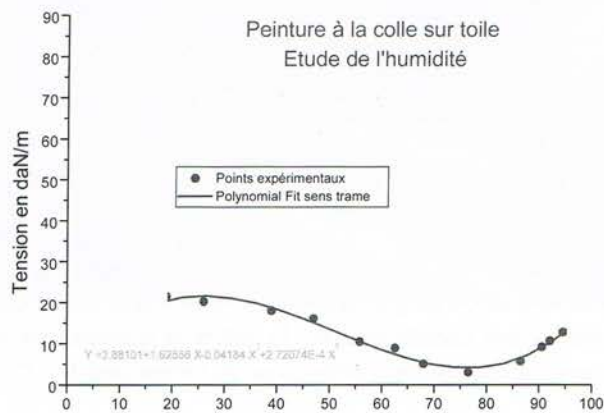


Fig. 10.

Toute fois les inflexions de la courbe sont moins accentuées ce qui s'expliquent par la présence des pigments peu sensibles à l'eau qui amortit les effets de l'humidité. La réactivité de cette peinture se situe entre 40 et 60% et 80 et 90%

Dans ces deux exemples de comportement nous avons les influences respectives de la colle à faible humidité et de la toile à forte humidité. Par ailleurs la partie linéaire entre 30 et 60% HR répond à l'équation:  $E(HR) = -mHR + n$

### **Peinture à l'huile sur toile**

L'application d'un feuil de peinture à l'huile va modifier le comportement de la toile encollée, fig.(11).



partir de 25%  
à 55% HR.  
ive dans un  
dre à forte  
de pente de  
sente deux

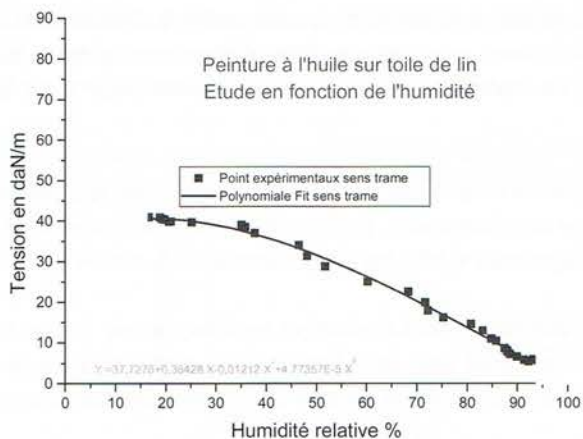


Fig. 11.

Cette modification dépend de l'épaisseur de la couche et de son âge. Pour un film mince l'influence du comportement de la toile peut continuer à s'exercer. Dans le cas de la courbe ci-jointe, nous avons une peinture qui a plus de 10 ans de vieillissement naturel et une épaisseur de 0,8mm. L'influence du comportement de la toile a disparu. A 20% la tension est d'environ 40 daN/m et elle diminue assez peu jusqu'à 35%. De 50% à 90% environ la tension diminue plus rapidement et cette partie de la courbe est quasiment linéaire. La réactivité la plus élevée de cette peinture est située entre 50% et 80%.

Le craquellement de la matière picturale a induit une modification du comportement de la peinture vis à vis de l'humidité, fig.(12).

ent par la  
midité. La

ctives de la  
entre 30 et

de la toile

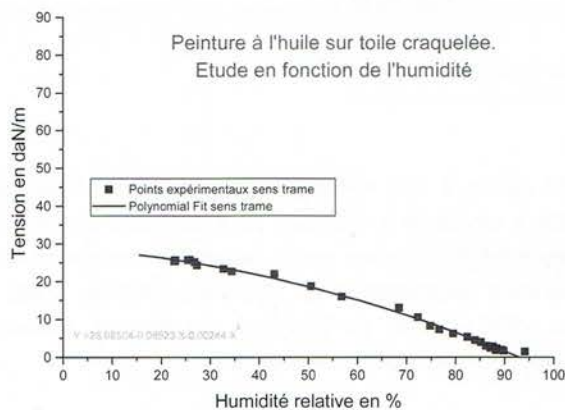


Fig. 12.

Chaque craquelure correspond à une perte de cohésion du film et globalement le module d'élasticité de la peinture est moins important ce qui se traduit à faible humidité par une tension moins élevée. Par rapport à la peinture non craquelée le changement de pente est plus faible et un point d'inflexion se situe vers 50%. Cette peinture est légèrement plus réactive entre 50 et 90%. La réactivité des peintures craquelées dépend de la densité de craquelures.

Dans ces deux cas de peintures à l'huile nous voyons que c'est la colle et le feuil de peinture qui imposent leur comportement. Notons également qu'entre 50 et 80% HR la courbe devient linéaire et le module  $E(HR)$  est proportionnel au % de HR.

Les techniques picturales sur papier sont également représentatives. On les trouve à tous les niveaux de la création. Le papier peut-être utilisé seul ou renforcé. Nous ne verrons que le premier cas. Contrairement à la toile la tension du papier diminue lorsque l'humidité augmente, fig.(13).

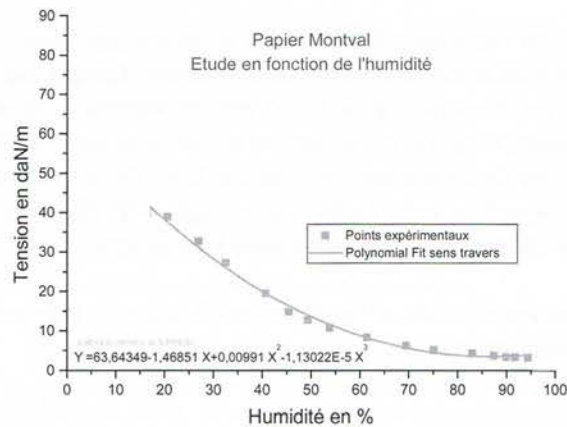


Fig. 13.

La tension est d'environ 40 daN/m à 10% HR. Elle chute relativement vite jusqu'à 60%. A partir de cette humidité elle a tendance à diminuer pour atteindre un minimum aux plus fortes humidités. On explique ce phénomène par la nature hydrophile de la cellulose. La teneur en eau de la cellulose augmente avec l'humidité relative. L'eau adsorbé en s'insérant dans les fibres joue un rôle de lubrifiant. Le module d'élasticité diminue entraînant par la même occasion la diminution de la tension

### Peinture à la colle sur papier

L'application d'un feuil de peinture à la colle protéinique sur papier est responsable d'une série de modifications du comportement, fig.(14).

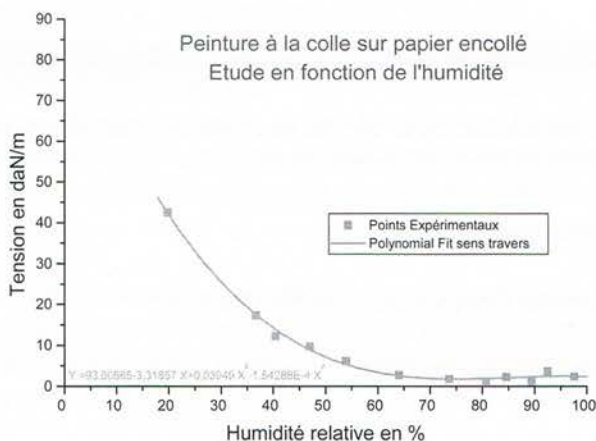


Fig. 14.

La présence de colle se manifeste à faible humidité en générant une surtension par rapport au papier seul. Entre 20 et 45% la pente est très accentuée et la sensibilité de la peinture aux variations hygrométriques est importante. Les tensions à fortes humidités sont faibles. La relaxation des contraintes commence vers 65% HR. Entre 45% et 65% la pente de la courbe est très prononcée, cette peinture est très sensible à l'humidité.

### Peinture à l'huile sur papier

L'application d'un feuil de peinture à l'huile sur un papier encollé modifie une fois de plus le comportement de la peinture. Elle atténue la sensibilité à l'humidité, fig.(15).

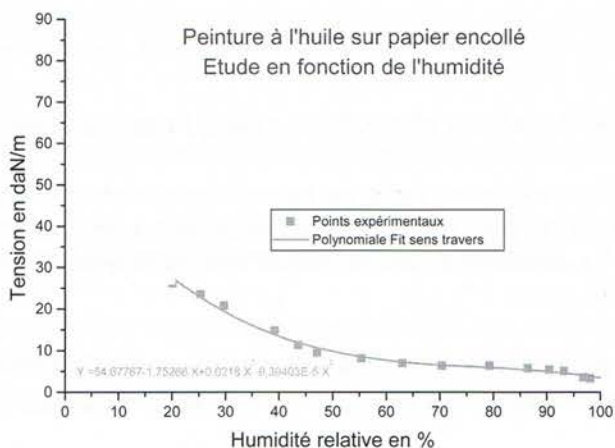


Fig. 15.

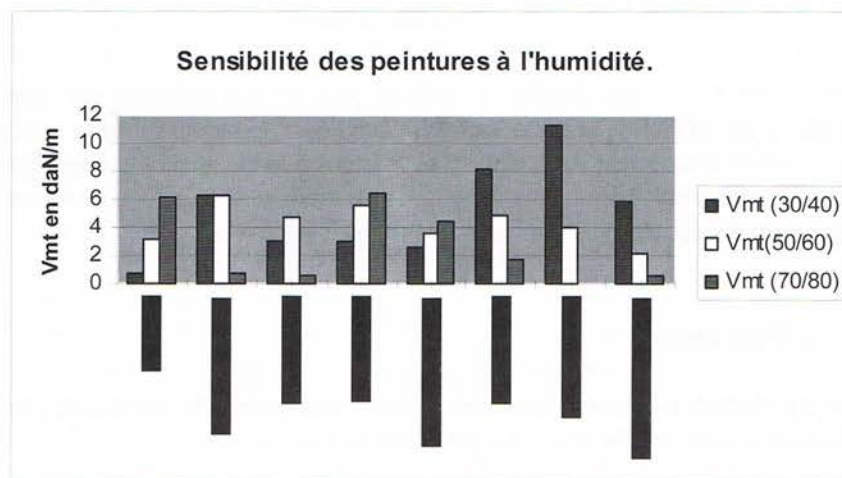


Les tensions à faible humidité sont plus faibles et la réactivité de la peinture tout en étant moins importante se situe entre 20 et 40%. Dans les trois cas de peintures sur papier nous voyons que c'est le papier qui impose le comportement.

### Classification des peintures en fonction de leur sensibilité à l'humidité.

L'étude de ces courbes nous permet de constituer une classification qui prend en compte les différentes conditions de conservation :

- Basse humidité de 30 à 40%.
- Humidité moyenne ou nominale 50 à 60 %.
- Forte humidité 70 à 80 %.



#### COMPORTEMENT DES PEINTURES A FAIBLE HUMIDITE (30/40 HR)

La peinture à la colle sur papier est de loin la plus sensible à l'humidité. Sa  $V_{m,t}$  est de 11,26 daN/m pour un écart de 10% ce qui représente un peu plus 0,12N/cm par % d'humidité relative. La sensibilité à l'eau du papier seul est légèrement inférieure 0,081N/cm par % d'humidité.

La toile de lin encollée et la peinture à l'huile sur papier encollé viennent ensuite avec des valeurs de l'ordre de 0,06 N/cm par % d'humidité. Pour les autres peintures, la sensibilité à

l'humidité est nettement inférieure. C'est la toile de lin seule et la peinture à la cire sur toile qui se trouve quasiment inerte pour cette fourchette d'humidité. Dans ces conditions d'humidité se sont les peintures sur papier les plus sensibles.

#### COMPORTEMENT DES PEINTURES A HUMIDITE MOYENNE (50/60 HR)

La toile encollée reste toujours très réactive, 0,06 N/cm par % HR. La peinture à l'huile sur toile, qui était aux faibles humidités peu sensible, devient dans ces conditions très réactive 0,056N/cm par % HR. La sensibilité de la peinture diminue lorsque la matière picturale se fissure. Le papier seul comme la peinture à la colle sur toile est relativement réactifs, comparés aux autres peintures.

La réactivité de la toile seule commence à se manifester, alors que la réactivité de la peinture à la cire reste pratiquement identique. On observe un changement radical de comportement dans la peinture à la colle sur papier qui passe de 0,11N/cm à 0,039N/cm par % d'HR soit 2,84 fois moins. Les peintures les plus réactives se trouvent peintes sur toile.

#### COMPORTEMENT DES PEINTURES A FORTE HUMIDITE (70/80 HR)

La peinture à l'huile sur toile et la toile seule sont de loin les plus réactives avec une sensibilité de plus de 0,06N/cm par % HR. La peinture à l'huile sur toile craquelée se trouve par rapport à la peinture non craquelée toujours un peu moins réactive. Dans presque tout les cas de figure dans ces conditions d'humidité la sensibilité diminue. La peinture à la colle sur papier présente une sensibilité très faible.

Ces résultats font émerger une nouvelle caractéristique des peintures; leur réactivité à l'humidité. On distingue:

- Les peintures réactives aux faibles humidités: peintures à la colle et à l'huile sur papier encollé.
- Les peintures réactives aux moyennes humidités: peintures à l'huile et à la colle sur toile.
- Les peintures réactives aux fortes humidité: peintures à l'huile sur toile.
- Notons que les peintures à la cire ont l'avantage d'être très peu réactive quelque soit le pourcentage d'humidité.

## Conclusion

A la lueur de cette classification nous nous rendons compte que le choix d'une plage d'humidité pour conditionnée une salle d'exposition ou de musée n'est pas aussi simple qu'on l'imagine à partir du moment où l'on souhaite exposer des peintures de techniques différentes. Si on doit présenter une peinture à l'huile sur toile et une peinture à la colle sur papier, les conditions nominales d'humidité ne peut pas satisfaire la conservation de ces deux peintures.

A faible humidité on privilégie la conservation de la peinture à l'huile sur toile, à moyenne humidité on favorise la conservation de la peinture sur papier.

## References

1. G. Champetier, H. Rabaté, J.L. Rabaté : "Physique des peintures vernis et pigments". Tome 1 et 2. Edition Dunod, Paris, 1962.
2. J.P. Trotignon, M. Piperaud, J. Verdu, A. Dobraczynsky: " Précis des matières plastiques" AFNOR Nathan, Paris, 1996.
3. G. Delcroix et M.Havel: "Phénomènes physiques et peinture artistique" Edition EREC, Puteaux, 1988.
4. Handbook of adhesives, second edition, edited by Irving Skeist, New York, 1977.
5. C. Brandi: "Théorie de la restauration" 1963; traduit de l'italien par C. Deroche, les Editions du Patrimoine, Paris, 2000.
6. D.François, A.Pineau, A. Zaoui:"Comportement mécanique des matériaux-viscoplasticité, endommagement, mécanique de la rupture, mécanique de contact." Edition Hermès, Paris, 1995.
7. Roche: « Comportement mécanique des peintures sur toile –Dégradation et prévention ». CNRS éditions, Paris 2003
8. G.Capriotti, A. Iaccarino Idelsen : « Tensionamento dei dipinti su tela –La ricerca del valore di tensionamento ». Nardini editore, Provincia di Viterbo 2004.
9. G. Ronca: " The prediction of stress relaxation and incipient instability in lining canvas".
10. Comité de Conservation de l'ICOM, 5ième Réunion Triennale, Zagreb, 1978, (2,11) 1-9.
11. G. Hedley : " Some empirical determination of the strain distribution in stretched canvas " Comité de Conservation de l'ICOM, 5ième Réunion Triennale, Venice, 1975, (11,4) 1-17.
12. G. Hedley: "The stiffness of lining fabric: theoretical and practical considerations." Comité de Conservation de l'ICOM, 6ième Réunion Triennale, Ottawa, 1981, 2-13.



13. G.A. Berger, W.H. Russell: " Changes in resistance of the canvas to deformation and cracking (modulus of elasticity "E") as caused by sizing and lining" Comité de Conservation de l'ICOM, 9ième Réunion Triennale, Desde, 1990, 107-112.
14. G.A. Berger, WH Russell: " The new stress tests on canvas paintings and some of their implication on the preservation of paintings". Comité de Conservation de l'ICOM, 7ième Réunion Triennale, Copenhague, 1984, (2,7) 1-9.
15. G.A. Berger, W.H. Russell: " The behavior of canvas as a structural support for painting: Preliminary report." Science and technology in the service of conservation, IIC, London, 1982, 139,145.
16. G.A. Berger, W.H. Russell: " Investigation into the reaction of plastic materials to environmental changes. Part.1 Mechanics of the decay of paint films." Studies in Conservation, 31, 1986, 49-64.
17. J. Colville, W. Kilpatrick, M. F.Mecklenburg. " A finite element analysis of multi-layered orthotropic membranes with application to oil painting on fabric." Science and Technology in the service of Conservation, IIC, Londres, 1982, 146-150.
18. M.F. Mecklenburg, C.S. Tumosa: " An introduction into the mechanical behavior of paintings under rapid loading conditions."Art in Transit, International conference on the packing and Transportation of Paintings, Londres, 1991, 137-171.
19. M.F. Mecklenburg, C.S. Tumosa: " Mechanical behavior of paintings subjected to changed in temperature and relative humidity." Art in Transit, International conference on the packing and Transportation of Paintings, Londres, 1991, 173-215.
20. S.Michalski:"Painting-their response to Temperature, Relative Humidity, Shock and Vibration."Art in Transit, International conference on the packing and Transportation of Paintings, Londres, 1991, 223-247.
21. N.J. Abbott, F. Khoury, L. Barish: " The mechanisme of fabric shrinkage: The rôle of fibre swelling." J. of the Textile Institut, 1963, 111-127.
22. M. Odhyha, G. Foster, M. Scharff: " Non-invasive evaluation of moisture sorption and desorption process in canvases." Comité de Conservation de l'ICOM, 11ième Réunion Triennale, Edinburgh, 1996, 297-302.
23. C.R.T. Young, " Biaxial properties of sized cotton -duck." Comité de Conservation de l'ICOM, 11ième Réunion Triennale, Edinburgh, 1996, 322-331.
24. J.Michel, J.A Manson, R.W. Hertzberg: "A simple viscoelastic model for fatigue crack propagation in polymers as a function of molecular weight" Polymer, 1984, Vol 25, 1657-1666.
25. Karpowicz, " In-plane deformation of films of size on paintings in the glass transition region." Studies in Conservation, 34, 1989, 67-74.
26. G.L. Stout: "A trial of laminal disruption." JAIC, vol 17, 1977, 17-26.
27. S. Keck: "Mechanical alteration of the paint film". Studies in conservation, 14, 1969, 9-30.



28. V. Schaible: " Reflexions sur la formation de cuvettes à la surface des peintures sur toile." Comité de Conservation de l'ICOM, 9ième Réunion Triennale, Dresde,1990, 139-144.
29. F. Del Zotto: " Preservation of canvas paintings structural solutions in relation to environmental changes." Comité de Conservation de l'ICOM, 9ième Réunion Triennale, Dresde, 113-118.
30. S.Bucklow: " The description of craquelure patterns." Studies in Conservation, 42, 1997, 129-140.
31. Roche: "Etude comparative des toiles de lin et de polyester dans le doublage des tableaux" Conservation Restauration des Biens Culturels, ARAAFU, 1989, 38-43.
32. Roche: "Comportement d'une peinture sur toile tendue sur un châssis à tension continue" Conservation Restauration des Biens culturels, ARAAFU, 1992, 38-43.
33. Roche: " Influence du type de châssis sur le vieillissement mécanique d'une peinture sur toile." Studies in Conservation, 38, 1993, 17-24.
34. Roche: "Rentoilage traditionnel- désentoilage: Analyse des tensions." Conservation Restauration des Biens Culturels." ARAAFU, 1995, 103-108.
35. Roche: " Etude du comportement mécanique des dessins de grands formats doublés sur des matériaux non-tissés." Comité de Conservation de l'ICOM, 11ième Réunion Triennale, Edinburgh, 1996, vol.2, 545-551.
36. A.Roche : « Comportement mécanique des peintures à la colle et à l'huile sur papier- Conditions de conservation ». Techné, nov 2002.
37. P. Ackroyd, C. Young: "The preparation of artists'canvases: Factors that affect adhésion between ground and canvas." Comité de Conservation de l'ICOM, 12ième Réunion Triennale, Lyon, 1999, vol.1, 265-270.
38. J.D.J. van den Berg, K.J. van den Berg, J.J Boon: " Chemical changes in curling and ageing oil paints." Comité de Conservation de l'ICOM, 12ième Réunion Triennale, Lyon, 1999, vol.1, 248-253.
39. C.S. Tumosa, J .Millard, D. Erhardt, M.F. Mecklenburg: "Effects of solvents on the physical properties of paint films." Comité de Conservation de l'ICOM, 12ième Réunion Triennale, Lyon, 1999, vol.1, 347-352.
40. E. Sorta: "Studio preliminare sulla determinazione del modulo elastico di tele dipinte con metodo non distruttivo" - Problemi di conservazione, Compositori, Bologna, 1974, 193-195.
41. R.Guilly, M.Sotton, M. Chevalier: "Etude de l'opération de décatissage des toiles de doublage en lin; Analyse comparative des caractéristiques des toiles décaties artisanalement et industriellement." Comité de Conservation de l'ICOM, 6ième Réunion Triennale, Ottawa 1981, (2,4) 1-14.

## Annexe.

Caractéristique des matériaux et peintures utilisés pour les essais.

### *Toile de lin 1:*

Densité  
15 fils/cm trame, 14 fils/cm chaîne.  
Embuvage  
2,5% en trame, 9,5% en chaîne  
Masse surfacique: 308 g/m<sup>2</sup>.

### *Toile de lin encollée:*

Toile 1 + Masse de colle animale: 8,3g/m<sup>2</sup>

### *Peinture à la colle sur toile.*

Toile 1  
Encollage: colle animale 7,28 g/m<sup>2</sup>  
Peinture: 19,65 g/m<sup>2</sup>  
Concentration pondérale des pigments: 19,9% bleu de cobalt.

### *Peinture à l'huile sur toile.*

Toile 1  
Encollage: colle animale, 8,3 g/m<sup>2</sup>  
Préparation: colle animale, carbonate de calcium. 129,30 g/m<sup>2</sup> CVP: 78,5%  
Couche picturale: 136,72 g/m<sup>2</sup>. Vert émeraude peinture commerciale beaux arts.

### *Peinture à l'huile craquelée.*

Densité de craquelures: 0,95 cm<sup>-1</sup>(quantité linéaire de craquelure par unité de surface).

### *Papier Canson (Montval).*

Pâte chimique blanchie.  
Masse surfacique: 300 g/m<sup>2</sup>

### *Peinture la colle sur papier.*

Papier Canson 125g/m<sup>2</sup>.  
Encollage: colle animale; 4g/m<sup>2</sup>  
Peinture: 6,36g/m<sup>2</sup>  
Concentration pondérale des pigments: 19,49%, bleu de cobalt.

### *Peinture à l'huile sur papier encollé*

Papier Canson 125g/m<sup>2</sup>

Encollage: colle animale 5,57 g/m<sup>2</sup>

Couche picturale (2 couches): 22,73 g/m<sup>2</sup>, ocre rouge et vert émeraude, peinture commerciale beaux-arts.