

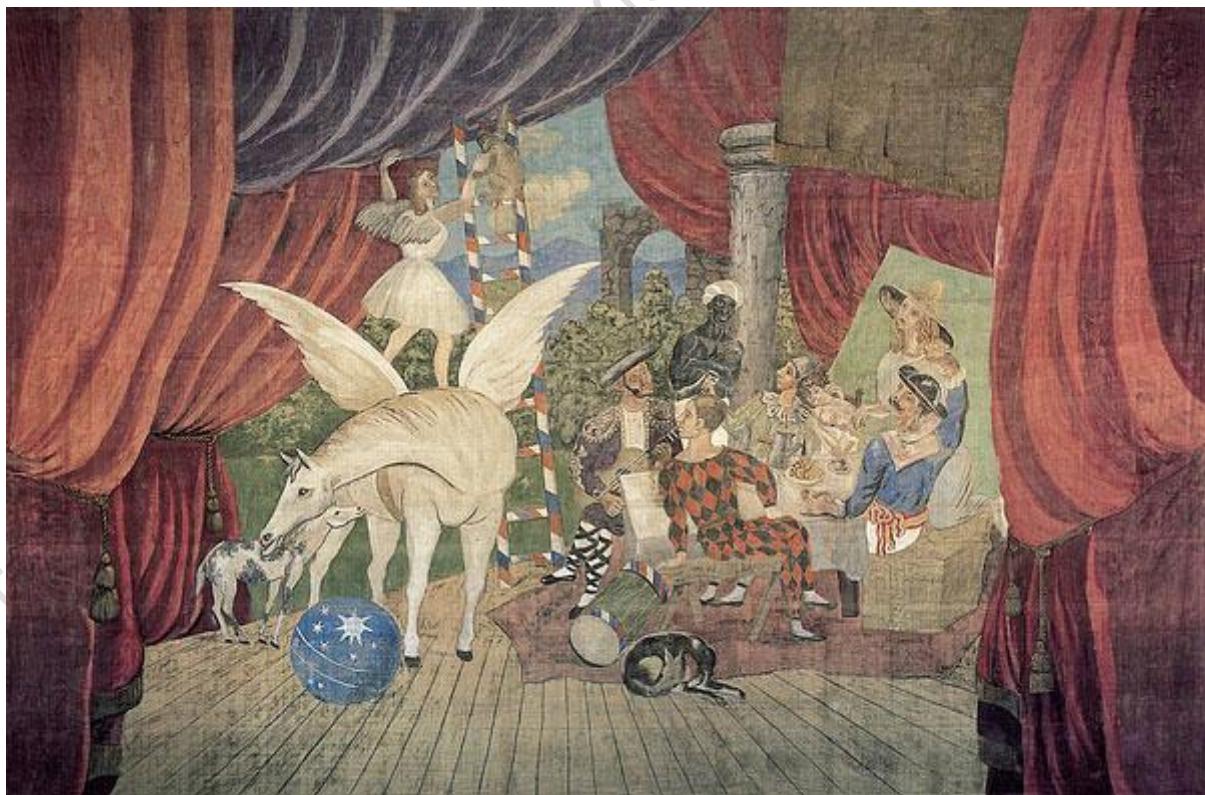


Laboratoire d'analyses et de recherche pour la conservation et la restauration des œuvres d'art

09 rue d'Alésia 75014 Paris - Tél. : 01 45 65 36 91,
Mob : 06 18 41 45 49- email : a.roche@larcroa.fr

MUSEE NATIONAL D'ART MODERNE

*Avant-projet : système de renfort
pour le rideau « Parade » de Picasso*



Rapport : 29/06/2018

Sommaire

Introduction.	p3
I- Étude 2011	p3
II- Quelles sont les raisons de dégradation de la toile du rideau Parade.	p4
III- Que peut-on faire pour améliorer la conservation de cette œuvre.	p5
IV- Quelles sont les méthodes de renfort d'une toile dégradée	p5
V- Pour trouver un renfort l'intégrité de l'œuvre les critères sont.	p6
VI- Montage actuel du rideau	p6
VII- Modélisation numérique 3D du rideau	p7
VIII- Conditions de suspension du rideau	p7
IX- Résultats	p8
X- Interprétation des tracés	p9
XI- Conception du filet	p10
XII- Vérifications et recherches des meilleures conditions d'accrochage	p11
Conclusion	p18
Plan de développement	p19

Toute reproduction de ce document est interdite

INTRODUCTION

Le rideau Parade se présente comme **une toile libre** de très grand format : 10,5/16,7 m. C'est une peinture à la colle sur toile. Il est exposé suspendu comme un rideau.

À l'occasion d'un contrôle de l'œuvre en 2011 pour l'exposer à Metz, Madame Véronique Sorrano Stedman, Chef de service de conservation restauration des œuvres, m'a demandé de faire une étude sur l'état de conservation de la toile.

I- ÉTUDE 2011

L'étude s'est développée selon deux axes : la synthèse des rapports et constats déjà établis et une étude expérimentale menée par LARCROA.

I-1- Synthèse des rapports :

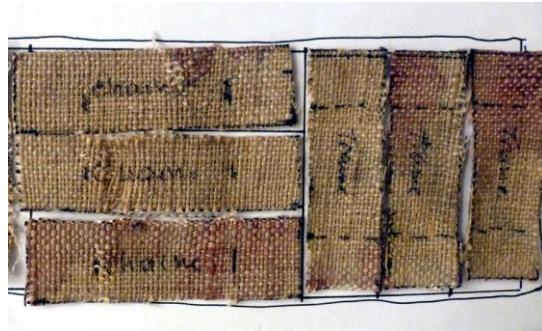
- en 1983 M. Emile Rostain, restaurateur, constate un affaiblissement de la toile. Il préconise le doublage par collage ponctuel.
- en 1984 l'étude faite par le LRMF porte uniquement sur la composition pigmentaire et la nature du liant (colle animale) de la matière picturale.
- en 1984 l'étude faite par l'ITF a permis de caractériser les compositions fibreuses et les propriétés mécaniques de la toile du rideau Parade. C'est **une toile ordinaire** mixte de coton en chaîne et de jute en trame. La masse surfacique est de 288 g /m². Ces toiles mixtes sont bon marché et de qualité très moyenne par rapport aux toiles de chanvre et de lin.

Propriétés	Chaîne	Tissu	Trame
Composition de la toile	coton		jute
Armure		Toile mixte	
Nb fils/cm	12		12/13
Embutage en %	21,6		1,8
Masse surfacique g/m ²		288	
Torsion fils en Z	385	200	
Degré de polymérisation	850		697

Propriétés mécaniques	Chaîne	Trame	remarques
Force moyenne à la rupture d'un fil (Newton)	6,7± 1,1	12,7± 5,6	Lg entre mors 25 mm Vit. de traction 10 mm/min
All. Moyen à la rupture d'un fil (mm)	10	4,3	
Force moyenne à la rupture du tissu (Newton)	91	184	Lg entre mors 25 mm Largeur éprouvette 15 mm
All. Moyen à la rupture (mm)	42,5	7,2	Vit. de traction 10 mm/min

Tableau 1 : Données du rapport ITF

I-2- En 2011 une étude sur la résistance à la rupture de la toile de Parade a été faite à partir d'échantillons prélevés au niveau du rabat de la partie supérieure, dans une zone proche des prélèvements faits par l'ITF. Pour pouvoir comparer les résultats, les essais ont été faits dans les mêmes conditions expérimentales, en respectant le même protocole.



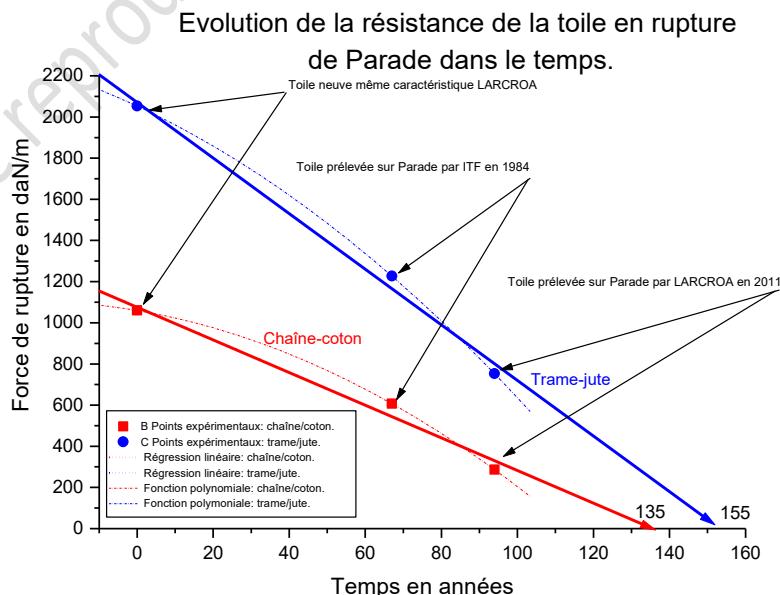
Échantillons prélevés par LARCROA.

En 2004 le LARCROA avait fait une recherche sur une série de toiles de fibres naturelles. Dans les échantillons caractérisés par LARCROA il y avait une toile neuve identique à la toile du rideau de Parade. Cette toile mixte est une toile largement répandue qui se fabrique encore de nos jours. Les résultats de la résistance à la rupture de cette toile nous ont permis d'avoir des valeurs représentatives pour une toile neuve correspondante à celle que Picasso aurait utilisée.

Le regroupement des données sur le graphe suivant nous permet de constater que les valeurs de résistance à la rupture de la toile diminuent régulièrement. La régression linéaire à partir de ces trois points donne une idée de l'évolution de la résistance de cette toile dans le temps. Dans les conditions actuelles de conservation, la perte quasiment totale de la résistance de la toile est prévisible dans une période 60 à 90 ans à partir de maintenant.

L'étude réalisée par LARCROA (réf-02-08-2011-) a montré que les propriétés mécaniques de la toile se sont affaiblies de 73% en chaîne et de 63% en trame depuis 1917 (95 ans).

Il faut conclure que, *l'état de conservation de cette œuvre présente en 2012 un degré d'altération avancé*. La nécessité d'intervenir sur le support devient pressante.



II- QUELLES SONT LES RAISONS DE DEGRADATION DE LA TOILE DU RIDEAU PARADE ?

La peinture a été conçue à l'origine comme un décor temporaire et non comme une œuvre pérenne. Par conséquent, le choix de la qualité des matériaux s'est orienté vers une toile de qualité moyenne.

La taille du rideau - 10,5/16,7 m - est surdimensionnée par rapport au matériau choisi (toile mixte coton jute, 9 lés horizontaux).

Le rideau « Parade » de Picasso est une œuvre destinée à avoir une vie itinérante, pour des expositions temporaires. Elle est donc amenée à être déroulée de son cylindre, dépliée, hissée sur un portique et exposée. À la fin de l'exposition, l'œuvre retournera dans sa caisse de stockage en suivant les mêmes opérations. En multipliant ces opérations sans lui apporter de renfort, l'œuvre risque de s'endommager.

L'œuvre est suspendue par une série de crochets cousus sur une bande de renfort le long de la partie supérieure à la manière d'un rideau. Les efforts nous le verrons sont concentrés localement.

En dehors des expositions, l'œuvre pour être stockée, est pliée en son milieu et roulée sur un cylindre avant d'être enfermée dans une caisse de protection.

Les propriétés mécaniques de la toile sont étroitement liées à la structure chimique des fibres. Dans le temps, elles subissent des dégradations chimiques de type oxydatif. Ce vieillissement naturel est incontournable et entraîne **de fait un affaiblissement mécanique**.

III- QUE PEUT-ON FAIRE POUR AMELIORER LA CONSERVATION DE CETTE ŒUVRE ?

- Trouver un système de renfort plus adapté et amovible. C'est le sujet de cette présentation.
- Apporter des améliorations dans le stockage de l'œuvre : cela devra être le sujet d'une étude futur.
- Faciliter les manipulations par des moyens techniques.

IV- QUELLES SONT LES METHODES DE RENFORT D'UNE TOILE ?

IV-1- Méthodes de renfort par collage.

- Rentoilage traditionnel et ses variantes. Cette technique est utilisée avant tout pour des peintures tendues sur châssis. **Elle est inadaptée aux toiles libres.**
- Doublage et ses variantes. Un exemple qui pourrait être intéressant, c'est la restauration du « rideau de Mercure » de Picasso daté de 1924 et traité en 1997. L'œuvre est d'une taille beaucoup plus modeste (4,09/5,09 m), mais la toile de jute était très dégradée et affaiblie. Le parti pris pour la restauration a été de renforcer la toile avec un non-tissé de polyester collé avec un mélange de colle aqueuse (MC et Plextol B 500). Une fois consolidée l'œuvre a été présentée sur un plan incliné constitué d'un châssis sur lequel une toile est maintenue par des bandes auto agrippantes sans être vraiment tendue.



.Rideau Mercure de Picasso

Ces traitements de renforts par collage présentent, sur des surfaces de cette importance (175 m²), des risques non négligeables au niveau de la mise en œuvre et une réversibilité limitée. De plus un contre collage d'un renfort à tendance à rigidifier le support. A priori nous écarterons ces types de traitements.

IV-2- Méthodes de renfort par répartition discontinue des efforts sur toute la surface.

Ces méthodes par répartition discontinue ou ponctuelle sont des solutions qui à notre connaissance n'ont pas fait l'objet d'études de faisabilité approfondies. Elles mériteraient cependant d'être développées. À ce propos, en 2007, à la demande d'un groupe de restaurateurs italiens, le LARCROA a fait une série d'essais pour valider la résistance au fluage d'un filet, utilisé dans système de renfort du revers d'une peinture XIX de grand format. Le filet a été fabriqué puis collé ponctuellement aux entrecroisements de chaque fil sur le revers de la toile d'origine. Les résultats ont été satisfaisants et la peinture a été renforcée par ce moyen¹. Néanmoins aucune vérification de la distribution des contraintes n'a été faite.

V- POUR TROUVER UN RENFORT RESPECTANT L'INTEGRITE DE L'ŒUVRE LES CRITERES SONT :

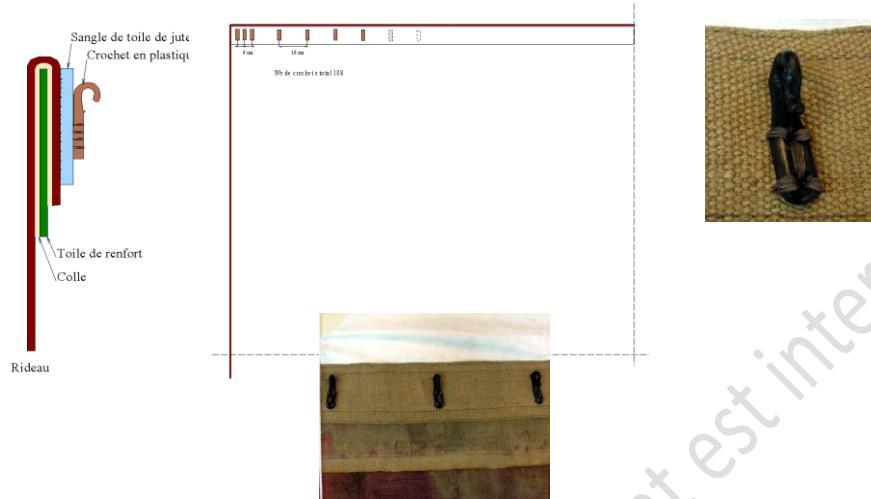
- Le renfort doit être léger pour que l'œuvre reste manipulable.
- Le renfort doit être souple pour que l'œuvre conserve son aspect rideau lorsqu'elle est suspendue.
- Le renfort doit être résistant pour que l'œuvre soit bien renforcée.
- Les efforts doivent être répartis sur toute la surface pour que l'œuvre ne fatigue pas en un point ou en une zone.
- Le renfort doit être démontable afin d'être mis en place uniquement pendant les périodes d'exposition et lui permettre stockage facile.

Avant de définir plus avant le type de renfort souhaitable pour ce rideau, nous allons étudier le système actuel d'accrochage.

¹ « Open studio sulle semilunette della Galleria Vittorio Emanuele II conservate alla Galleria d'Arte Moderna di Milano » CESMAR 7, Milano 2007. Maria Fratelli, Alessandra Fipiletti, Davide Riggiardi, Flavia Tisoto, Macello Picollo.

VI- MONTAGE ACTUEL DU RIDEAU

Cette œuvre est suspendue actuellement, par l'intermédiaire de crochets en bakélite cousus sur une bande de renfort au niveau du bord supérieur de la peinture. Ils sont espacés régulièrement selon le schéma suivant :



On a une série de 3 crochets espacés de 6 cm aux extrémités et ensuite on 102 crochets espacés de 16 cm.

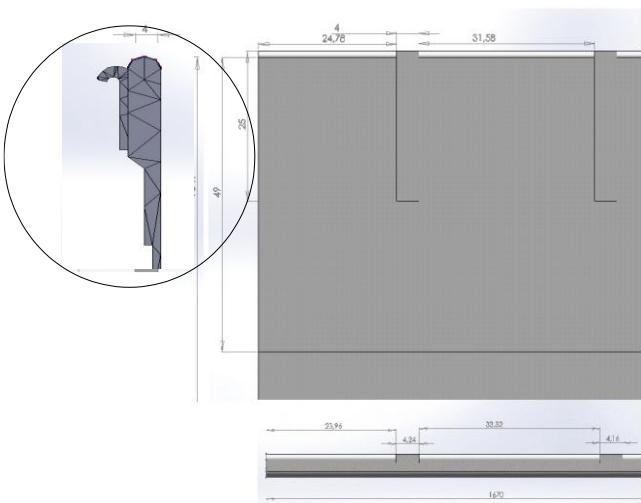
Pour étudier le système d'accrochage, nous avons utilisé une des méthodes analytiques les plus avancées dans le domaine de l'ingénierie ; la méthode de calcul par éléments finis (FEM). Elle permet à partir d'une modélisation 3-D de réaliser des simulations mécaniques sur la base de données réelles. La simulation du comportement mécanique des solides par la méthode des éléments finis, permet d'analyser les contraintes les déformations et les déplacements qui se produisent. Elle se déroule en deux étapes ;

- 1 - construction d'une maquette numérique,
- 2 - paramétrage du calcul.

VII- MODELISATION NUMERIQUE 3-D DU RIDEAU

La maquette numérique réalisée doit intégrer les données suivantes

- Dimensionnelles (relatif au rideau) - dimensions, volume, surface.
- Physiques (relatif aux propriétés du composite peinture/toile) - masse, densité, coefficient de dilatation.....
- Mécaniques (relatif aux propriétés du composite peinture/toile) – module d'élasticité, coefficient de poisson, module de cisaillement, limite d'élasticité, limite de compression, limite de traction.....



Données dimensionnelles

Dimensions:

Volume:

Surface:

Données physiques

Masse

Densité

Coefficient de dilatation

Module d'élasticité peinture/toile

Coefficient de poisson

Module de cisaillement

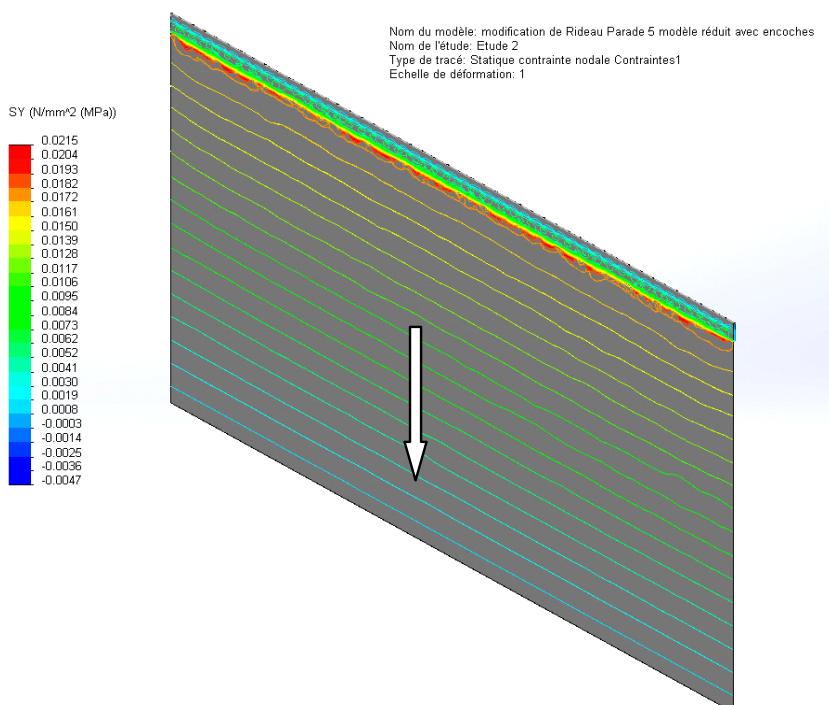
Limite d'élasticité

Limite de compression

Limite de traction

VIII- CONDITIONS DE SUSPENSION DU RIDEAU.

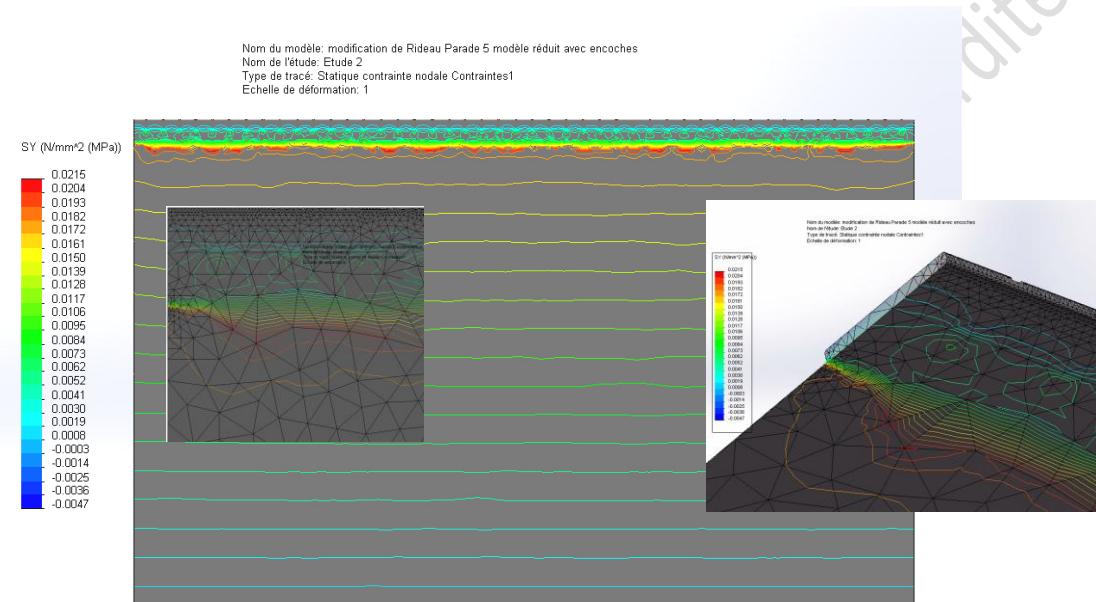
Le rideau est suspendu sur une armature par un ensemble de crochets fixé sur la bande horizontale supérieure. La charge correspond au poids du rideau qui s'exerce verticalement. En introduisant ces données dans le mode de calcul par FEM les résultats sont donnés par le tracé suivant.



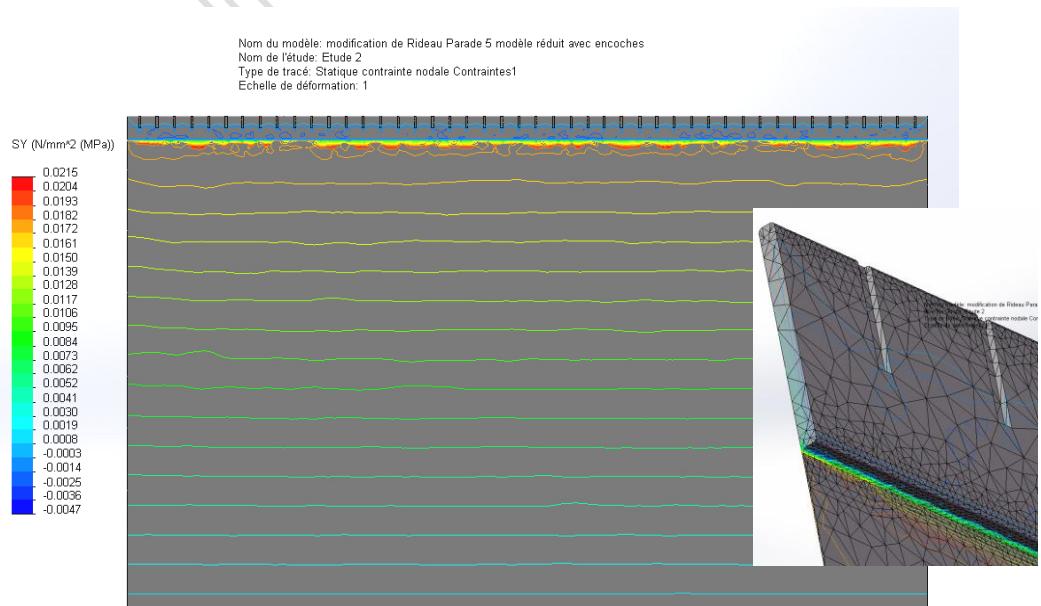
IX- RESULTATS

Les résultats sont représentés par les tracés suivants. Chaque ligne de couleur correspond à une valeur de contrainte que l'on appelle isocontrainte. Les contraintes les plus élevées sont représentées par des lignes rouges et les plus faibles par les lignes bleues.

Côté face



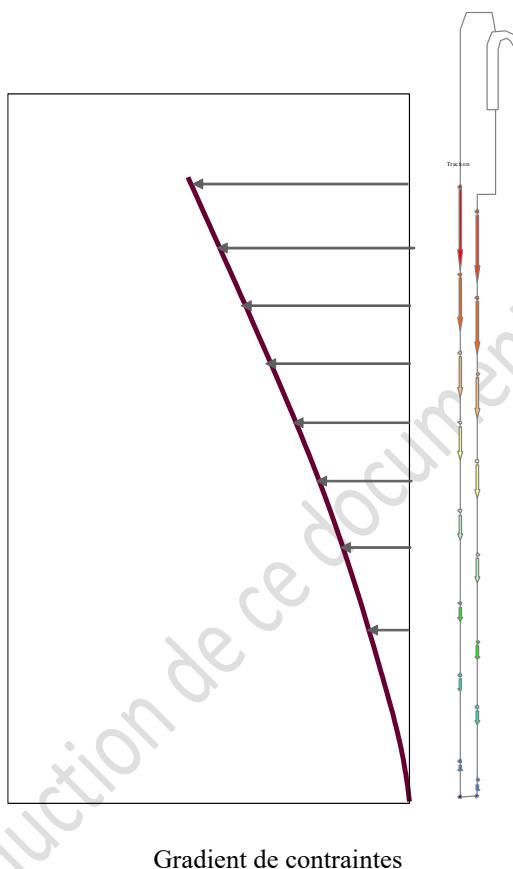
Côté revers



X- INTERPRETATION DES TRACES

Côté face

Les contraintes les plus élevées se concentrent, sous le poids du rideau, au-dessous de la bande de renfort ou les crochets sont fixés. Elles ont des valeurs maximales de $0,0215 \text{ MPa}$ ($2,19 \text{ mg/mm}^2$). La contrainte moyenne est de $0,01075 \text{ MPa}$ ($1,096 \text{ mg/mm}^2$).

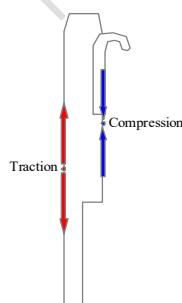


Gradient de contraintes

Un gradient de contraintes s'établit et les contraintes diminuent au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la bande de renfort.

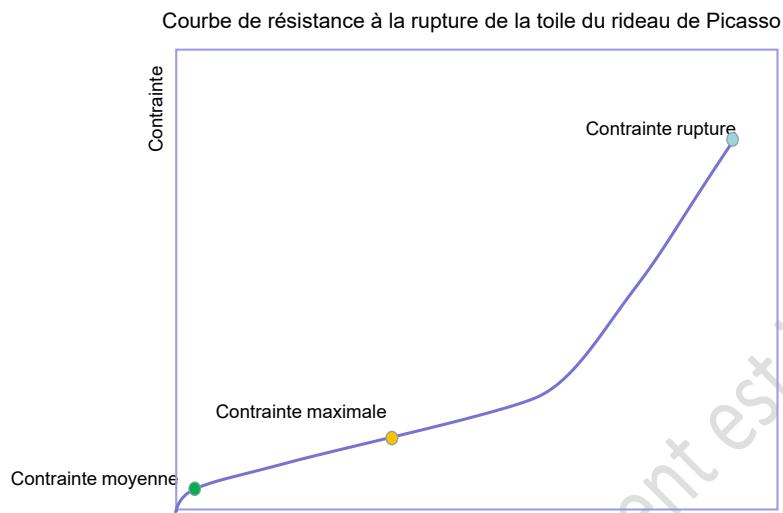
Côté revers :

La forme du repli de la toile, qui constitue la bande de suspension, crée des contraintes de compression situées sous les crochets.



Au revers, les contraintes sont distribuées différemment. Au niveau de la bande de renfort dans le repli de la toile, les contraintes sont faibles. Par contre sous cette bande, une zone horizontale sur la largeur du rideau affiche des contraintes maximums de l'ordre de $0,0215 \text{ MPa}$. Ensuite, les contraintes diminuent progressivement en fonction de la hauteur du rideau.

Actuellement comme nous l'avions montré dans le rapport précédent du 02-08-2011 les **contraintes moyennes** provoquées par le poids de la peinture (60 kg) sont environ 250 fois plus petites que la contrainte à la rupture. Dans le cas de l'analyse par éléments finis les **contraintes les plus élevées, situées sous la bande de renfort** sont 194 fois plus petites. Autrement dit, on peut considérer que les 80% des contraintes qui sont concentrées sous la bande de renfort représentent un facteur de dégradation prépondérant.



Position des contraintes moyenne et maximale par rapport à la contrainte à la rupture sur la courbe de traction de la toile du rideau.

La distribution des contraintes du système actuel d'accrochage nous amène à réfléchir sur la conception d'un modèle de renfort permettant une répartition des efforts sur toute la surface. Pour cela au lieu de multiplier les points d'accroche au niveau de la bande technique, il faut trouver un moyen de les répartir sur toute la surface du rideau.

Le tracé des contraintes nous oriente vers le choix d'un filet.

XI - CONCEPTION DU FILET

Les courbes isocontraintes du tracé des contraintes vont nous servir de canevas pour établir le maillage du filet. Celui-ci est constitué de fils horizontaux et verticaux. Leurs intersections forment les sommets des mailles. Le filet constitue une structure qui a pour but de soutenir dans son intégralité le rideau. **Comme toute structure, elle doit faire l'objet d'une conception minutieuse afin de répondre au mieux aux exigences.**

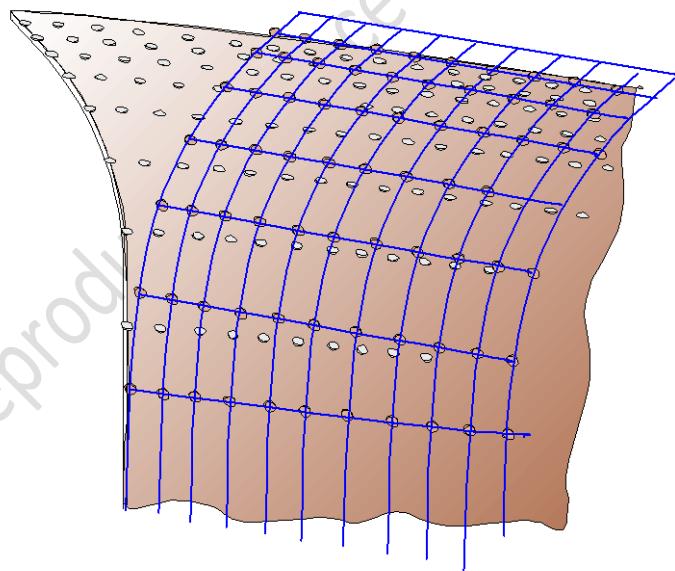
XI-1 Les fils horizontaux vont suivre les courbes du tracé. Dans la partie la plus contrainte du rideau (sous la bande de technique) les distances entre les fils horizontaux seront petites afin de multiplier le nombre de points d'accroche dans les zones les plus sollicitées. En s'éloignant du haut du rideau les distances entre les fils augmentent progressivement.

XI-2 Les fils verticaux sont espacés régulièrement puisqu'il n'y a pas de variation de contrainte de la gauche vers la droite.

Les mailles du filet obtenues ne sont pas carrées, mais rectangulaires. Elles ont des dimensions égales sur une même ligne horizontale. À la verticale leurs dimensions s'accroissent en allant du haut vers le bas. **Cette structure filet permet d'optimiser la répartition des efforts et de diminuer les valeurs de contraintes.**



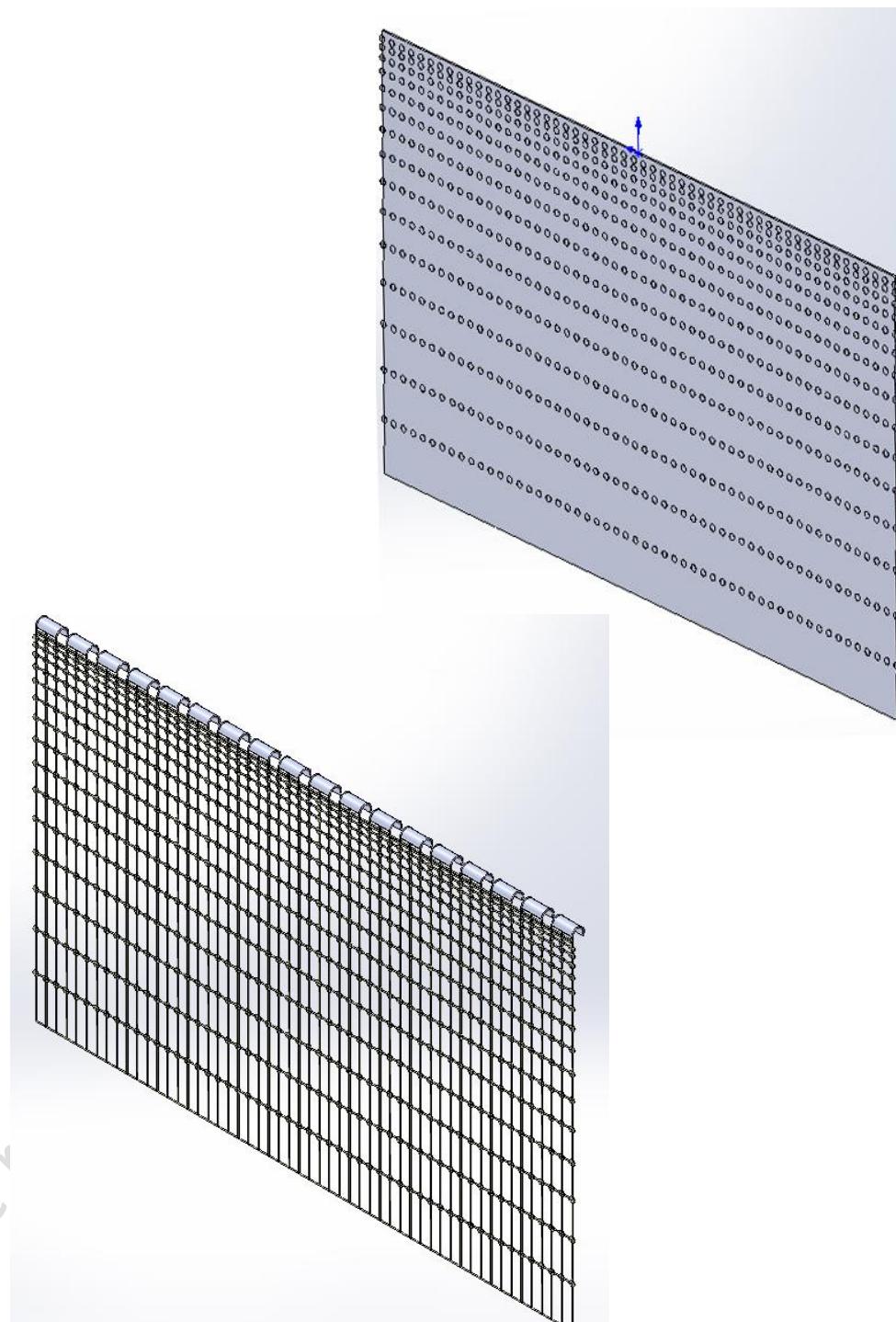
C'est à l'intersection des fils horizontaux et verticaux ou au sommet des mailles que des plots d'accrochage seront fixés.



XII- VERIFICATION ET RECHERCHE DES MEILLEURES CONDITIONS D'ACCROCHAGE.

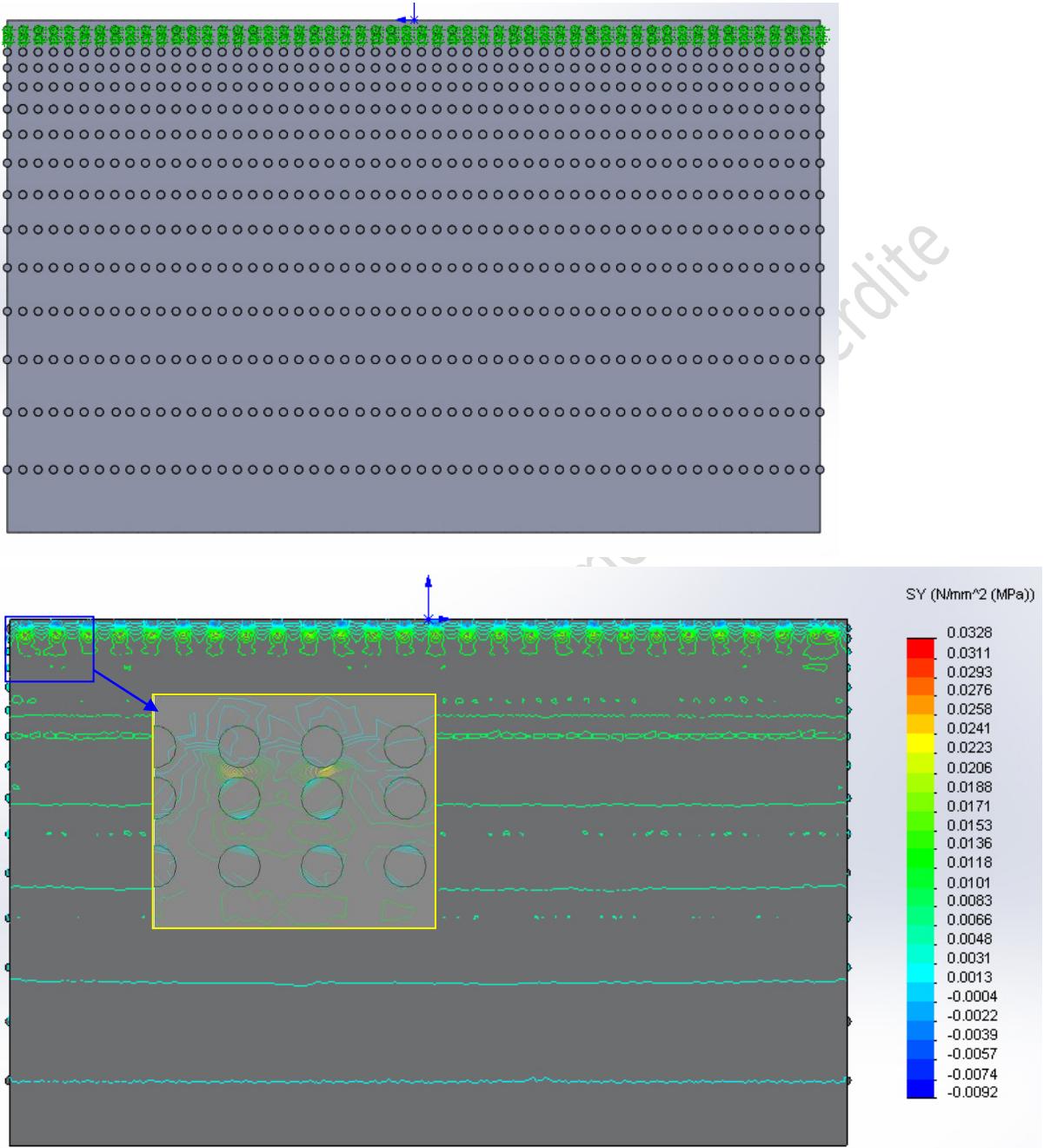
Ces plots d'accrochage sont fixés sur les points d'intersection des fils du filet et en regard sur la toile. Pour vérifier l'efficacité du concept d'accrochage par répartition nous avons modélisé un filet et le rideau numérique avec leurs plots.

Modèle numérique du rideau avec les plots d'accrochage en regard avec les mailles du filet.



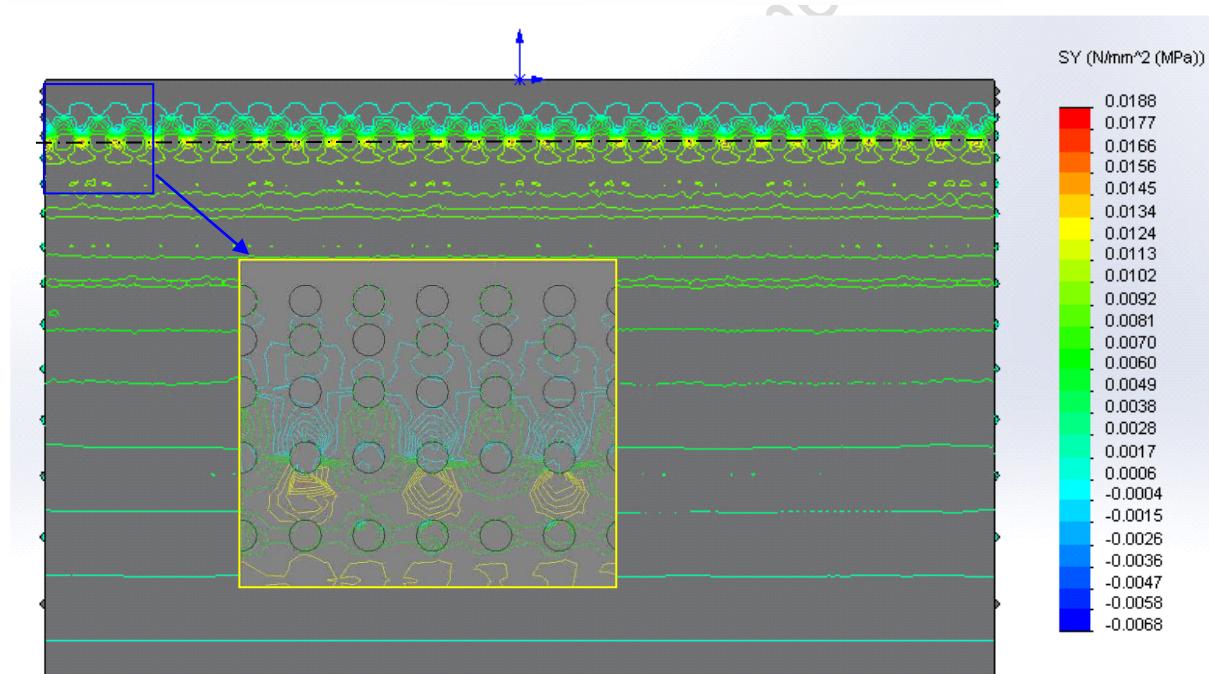
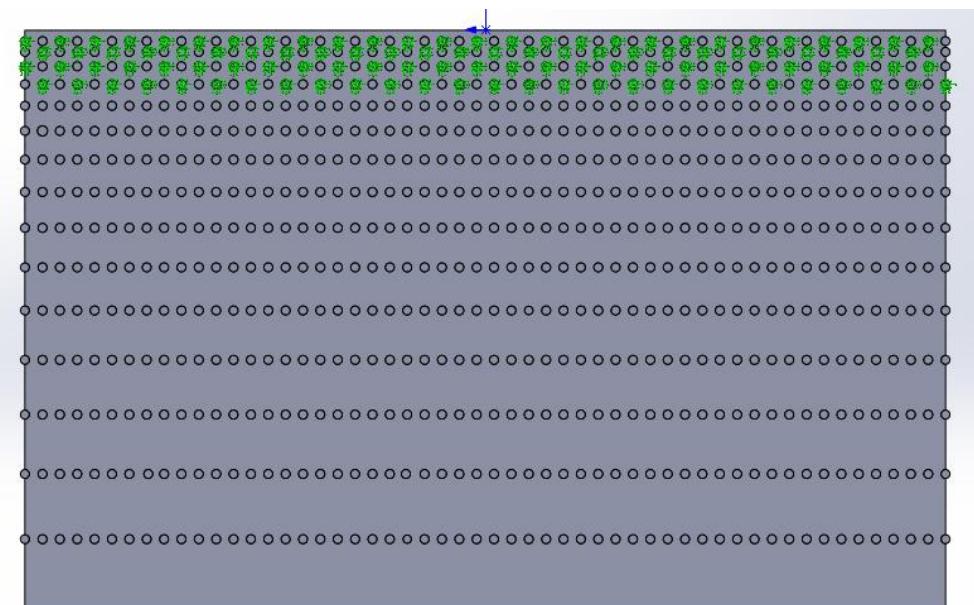
Plusieurs expériences ont été menées pour déterminer la meilleure répartition des contraintes sur le rideau ainsi maintenu.

XII-1 Le rideau est maintenu au filet sur les deux premières rangées de plots d'accrochage soit 108 points d'accrochage. Les plots d'accrochage sont des pastilles circulaires de 20 mm de diamètre.



Les contraintes comme nous le voyons sur ce tracé sont concentrées dans le haut du rideau. Leurs valeurs maximales atteignent 0,0328 MPa et se situent entre les points d'accrochage d'une rangée à l'autre. Ce système n'améliore pas la répartition des contraintes on se retrouve dans le cas de la suspension par une bande technique.

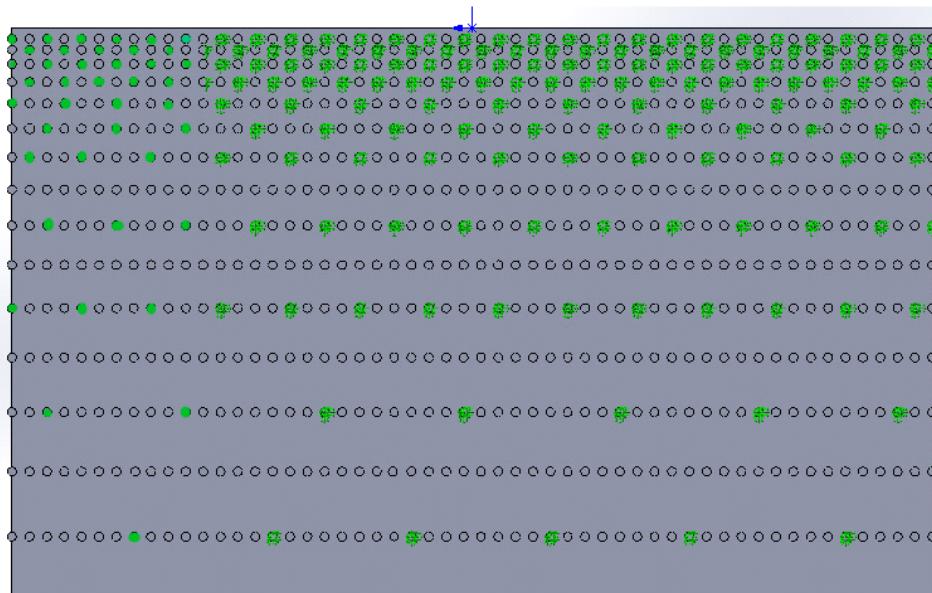
XII- 2- Le rideau est maintenu au filet sur les quatre premières rangées de plots supérieurs à raison de 1 plot sur 2 soit également 108 points d'accrochage.



Tou

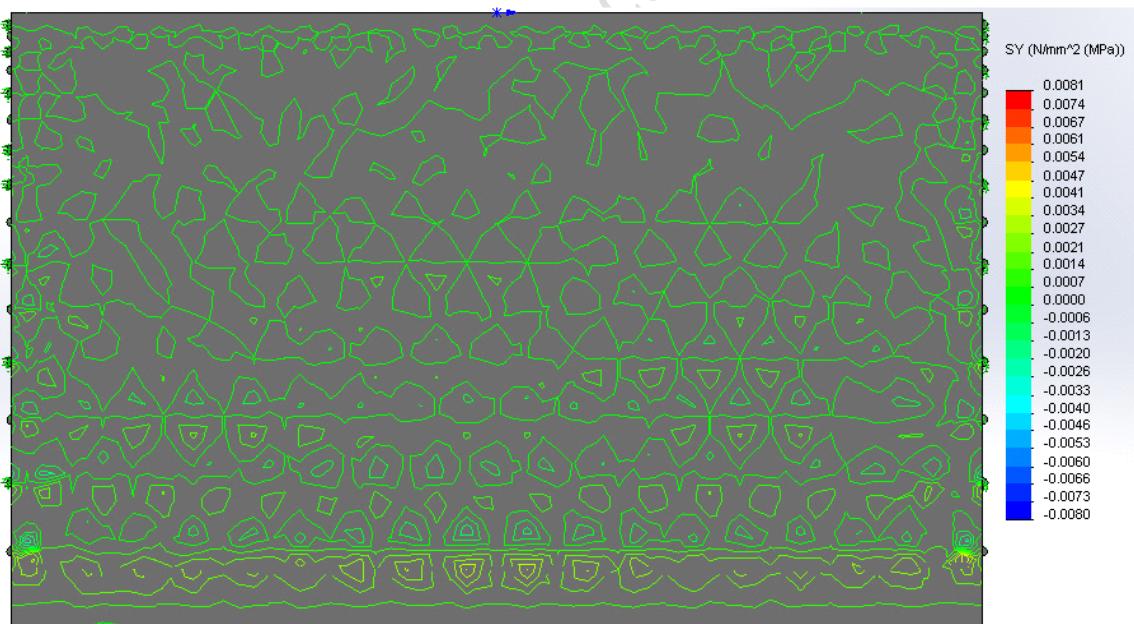
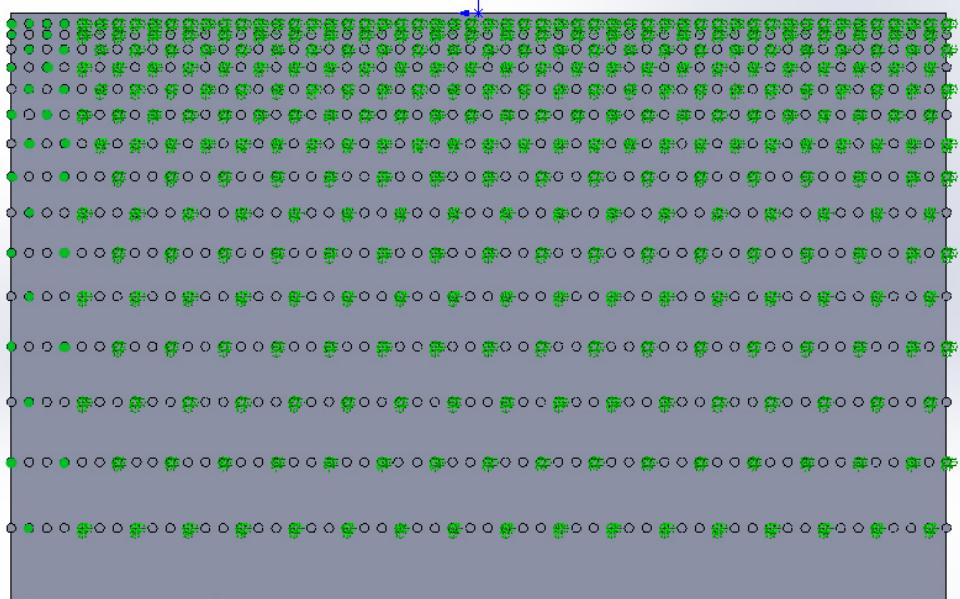
Les contraintes maximales sont ponctuelles et de l'ordre de 0,0188 MPa. Elles s'exercent entre les points d'accroche du 4^e rang et le reste du rideau. La zone de contrainte s'est déplacée au niveau de la dernière rangée d'accrochages. Au-dessus de cette ligne les contraintes sont de l'ordre de 0,0006 MPa c'est-à-dire négligeables. En dessous de cette ligne, elles varient selon la hauteur dans le rideau de 0,0113 à 0,0006 MPa. Cette expérience nous montre qu'en augmentant et en répartissant bien les charges sur les plots on devrait obtenir une amélioration de la distribution des charges.

XII- 3- Le rideau est maintenu au filet sur l'ensemble de la surface par l'intermédiaire de 192 points d'accrochage sur toute la surface.



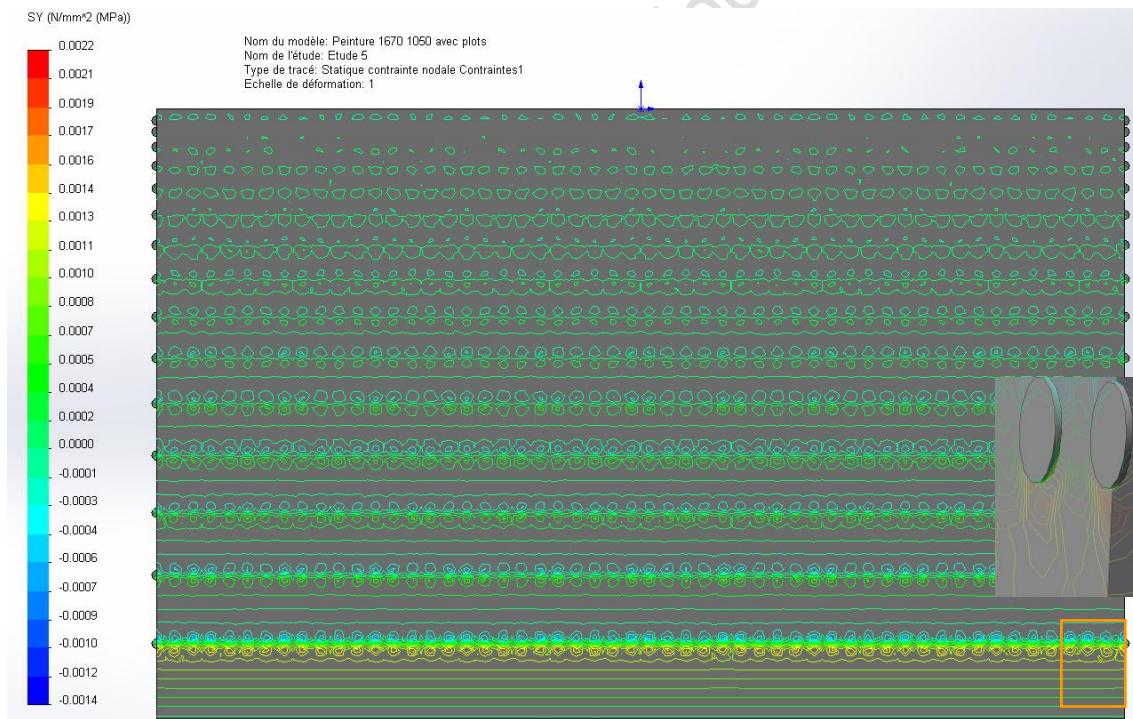
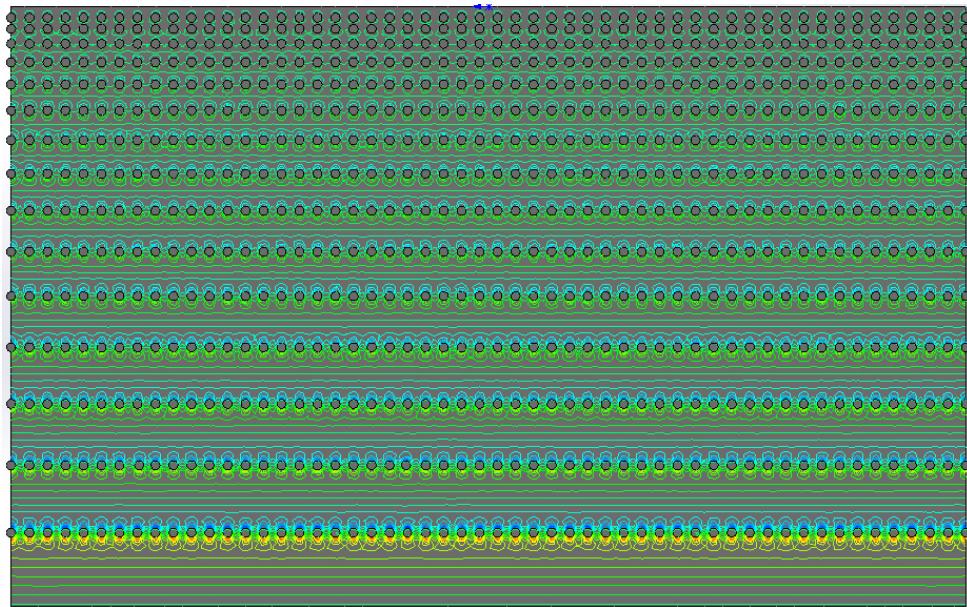
Toujours
Les contraintes maximales sont de 0,0096 MPa. Elles sont ponctuelles et correspondent aux points d'accrochage. Elles sont situées dans la partie inférieure du rideau. Leurs valeurs sont de moitié par rapport à l'accrochage précédent. Sur le reste de la surface, les contraintes sont de l'ordre de 0,0004 à 0,0013 MPa. On peut remarquer que dans la partie supérieure du rideau les contraintes sont devenues très faibles.

XII- 4- Le rideau est maintenu au filet sur l'ensemble de la surface par l'intermédiaire de 360 plots d'accrochage.



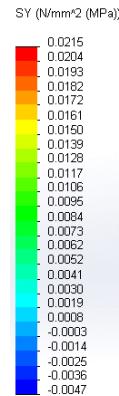
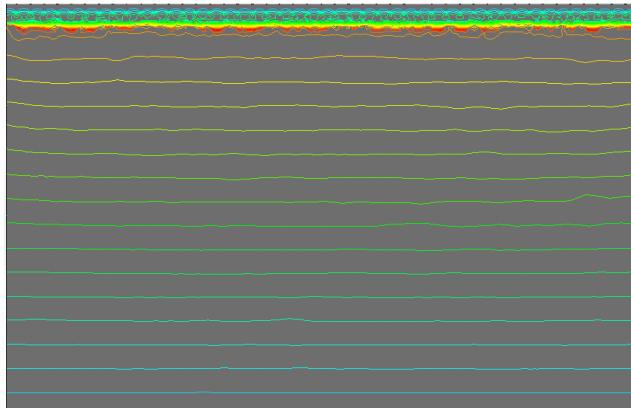
En plaçant 360 plots, on diminue les contraintes maximales à $0,0081 \text{ MPa}$ et la contrainte moyenne à $0,00031 \text{ MPa}$. Ces contraintes sont négligeables et surtout elles ont une répartition égale sur toute la surface.

XII-5- Le rideau est maintenu au filet sur l'ensemble de la surface par l'intermédiaire de 810 points d'accrochage.

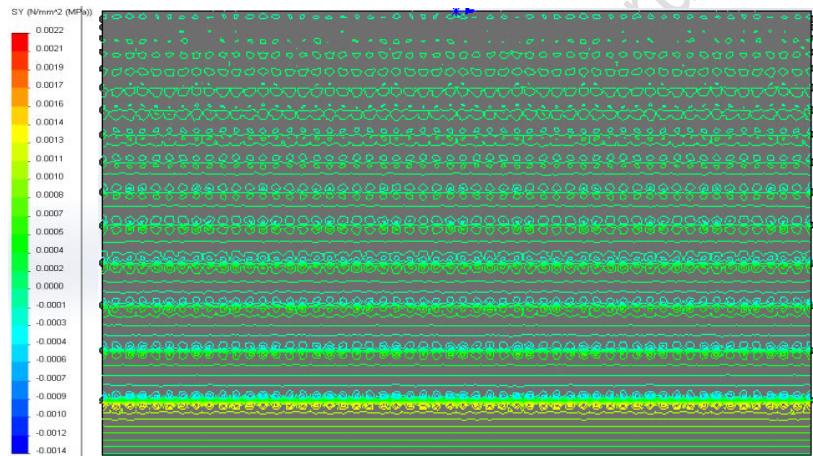
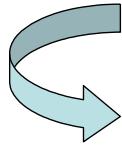


En utilisant les 810 points d'accrochage disponible, on diminue les contraintes maximales à une valeur de 0,0022 MPa et la contrainte moyenne à 0,0009 MPa. Ces contraintes sont négligeables et ont une répartition homogène sur toute la surface.

Accrochage actuel contrainte maxi 0,0215



Accrochage proposé contrainte maxi 0,0022



On diminue les contraintes maximales d'un facteur 10 par rapport au système d'accrochage actuel.

CONCLUSION

Ces expériences mettent en évidence la pertinence de ce système de renfort et c'était l'objectif de ce travail, car :

- On diminue fortement la contrainte maximale.
- l'écart des valeurs entre les contraintes est beaucoup plus petit, les variations sont très faibles.
- La répartition des contraintes est parfaitement régulière et homogène sur toute la surface du rideau.
- En chaque point les contraintes sont devenues quasiment négligeables par rapport à la valeur de rupture.
- La fatigue mécanique est donc limitée et la durée de vie du rideau pourra être prolongée.

Les dimensions du rideau sont imposantes. Chaque intervention, chaque manipulation de cette œuvre **doit faire l'objet d'une réflexion et doit se donner les moyens techniques de les réaliser et de les optimiser**. Quel que soit le système de renfort proposé, c'est une problématique qui se situe à l'interface entre la restauration et l'ingénierie. La réalisation d'une structure de soutien du rideau nécessite comme nous l'avons pressenti les compétences d'un ingénieur spécialisé et sensibilisé à ce type de travaux et d'un groupe de restaurateurs pluridisciplinaires.

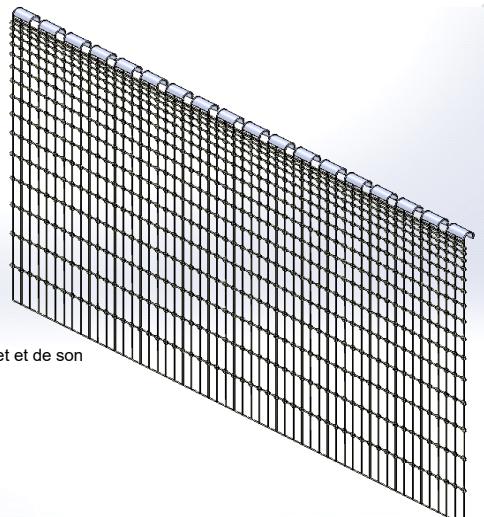
Pour réaliser ce projet dans les meilleures conditions, il faut utiliser des méthodes analytiques performantes afin d'optimiser les traitements et de réduire les coûts.

PLAN DE DEVELOPPEMENT

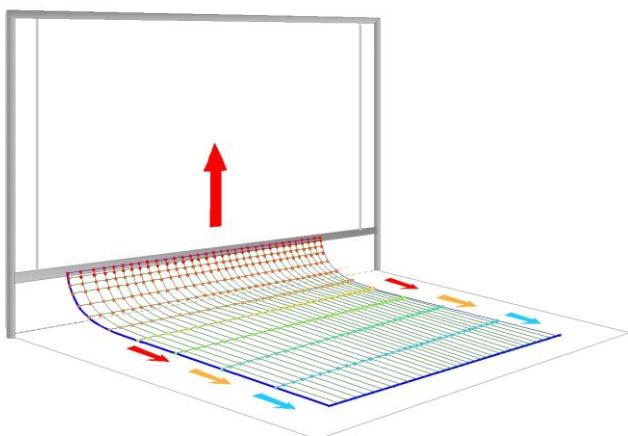
Dans l'optique d'un développement futur de ce projet, il faut définir :

- Le choix du matériau du filet.
- Dimensionner les mailles du filet.
- Établir le type de liaison entre aux entrecroisements des fils
- Choisir un système de fixage des accroches sur le filet et sur la toile.
- Concevoir le système de suspension du filet.
- Définir les modalités de fabrication du filet et de son système d'accroche.

1. Le choix du matériau filet
2. Dimensionner les mailles du filet.
3. Établir le type de liaison entre les fils
4. Choix du type d'accroche démontable.
5. Système pour fixer les accroches sur le filet et la toile.
6. Conception du système de suspension du rideau.
7. Définir les modalités de fabrication du filet et de son système d'accroche.



- Définir les procédures d'accrochage du rideau et du levage en utilisant des moyens techniques adaptés.



Alain Roche pour LARCROA.