

Comportement mécanique biaxial de tissus à voiles en fibres synthétiques

FIBMAT 2024 - 15/11/2024



porcherindustries
CONFIDENCE MAKES THE DIFFERENCE

Ali TOURABI (MCF-HDR, UGA, Laboratoire 3SR)

Guilhem Bles (MCF, ENSTA Bretagne, IRDL)

Ahmed ER-RAFIK (thèse en cours, UGA, 3SR)

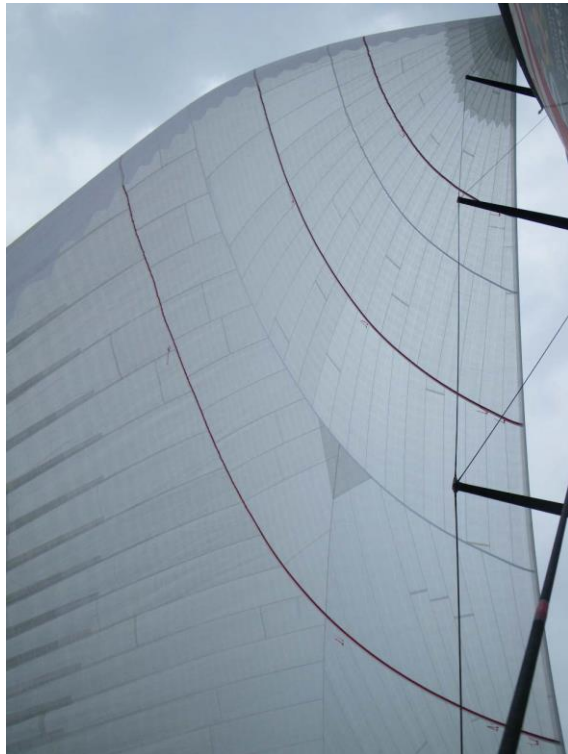
2 thèses soutenues:

Josselin NOEL (2022)

Wassim DIB (2014)

Tissus à voiles

Contexte et enjeux industriels
(**Dimensionnement**)



Prédiction et évolution de la forme des voiles
(cet aspect concerne la **Performance des voiles**)



Kites Géants
(fortes contraintes et grande déformation)

La tenue en service des voiles
(cet aspect concerne la **Sécurité**)

**Pour répondre à ces enjeux
il est nécessaire de développer des
outils de simulation du comportement des matériaux tissés**

Une thématique est développée depuis quelques années
en collaboration entre le laboratoire 3SR et l'IRDIL



**Etude théorique et expérimentale du
comportement des matériaux tissés**

Partenaires



Objectifs de la présentation

Donner un petit **aperçu des résultats obtenues** dans le cadre de cette thématique.

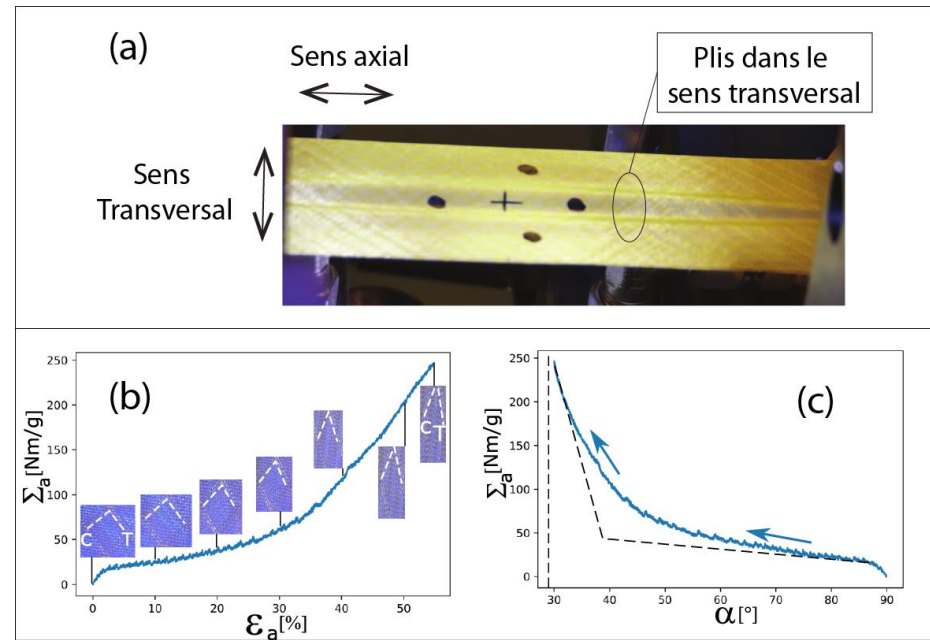
Focaliser l'attention sur l'**étude du comportement en cisaillement** (Thèse de A.ER-RAFIK).

Deux applications intéressantes en lien avec la notion d'**angle limite de blocage en cisaillement** et la formation de plis

Construction textiles



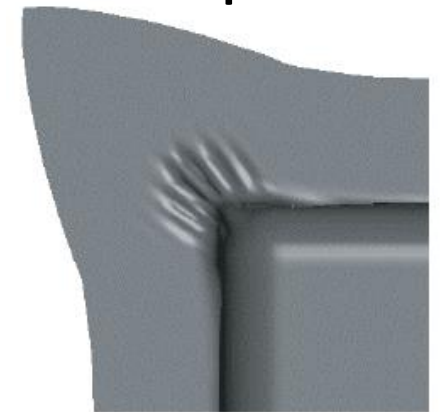
Stade Moses Mabhida Afrique du Sud - Junhao Xu et al. Structures (2024)



Matériau tissé enduit

J. Noël / PhD Thesis, Univ, Grenoble Alpes, 2022

Renforts textiles de composites



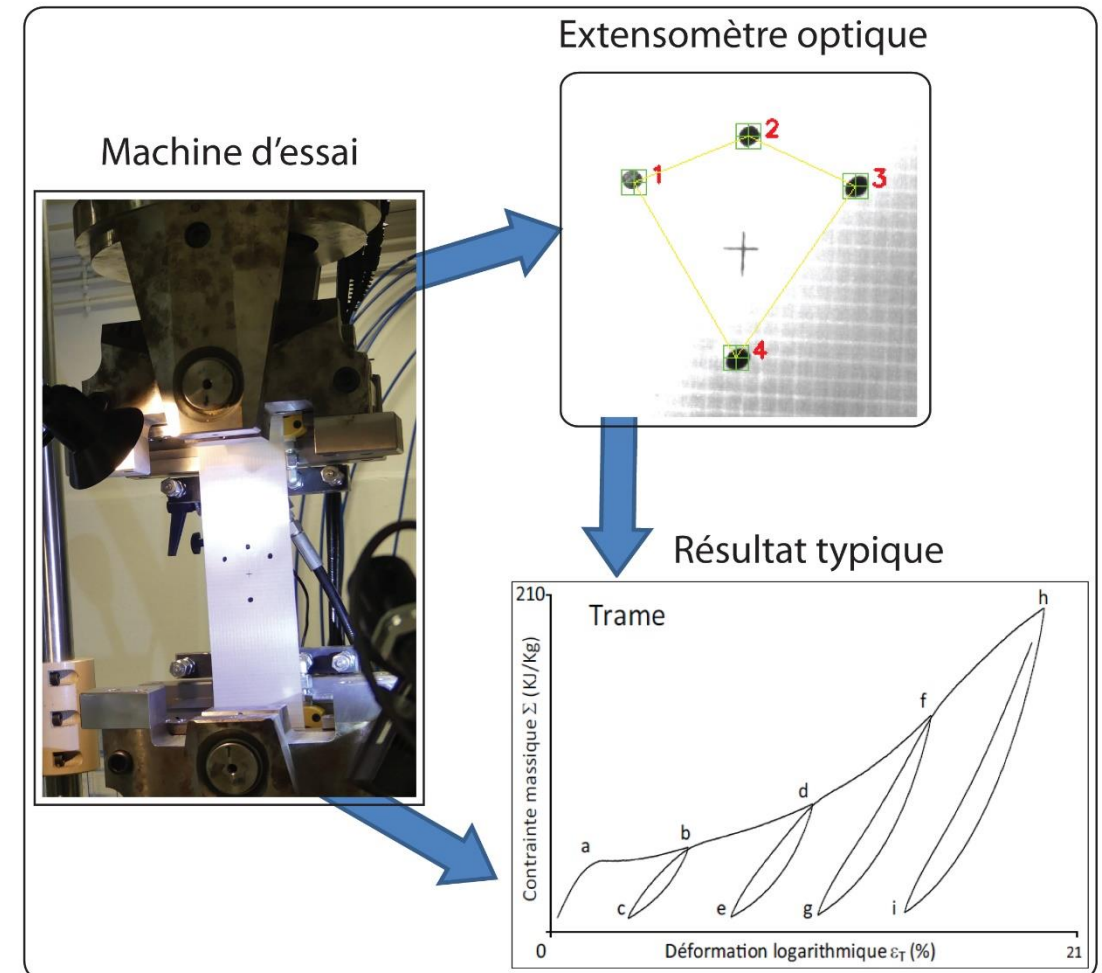
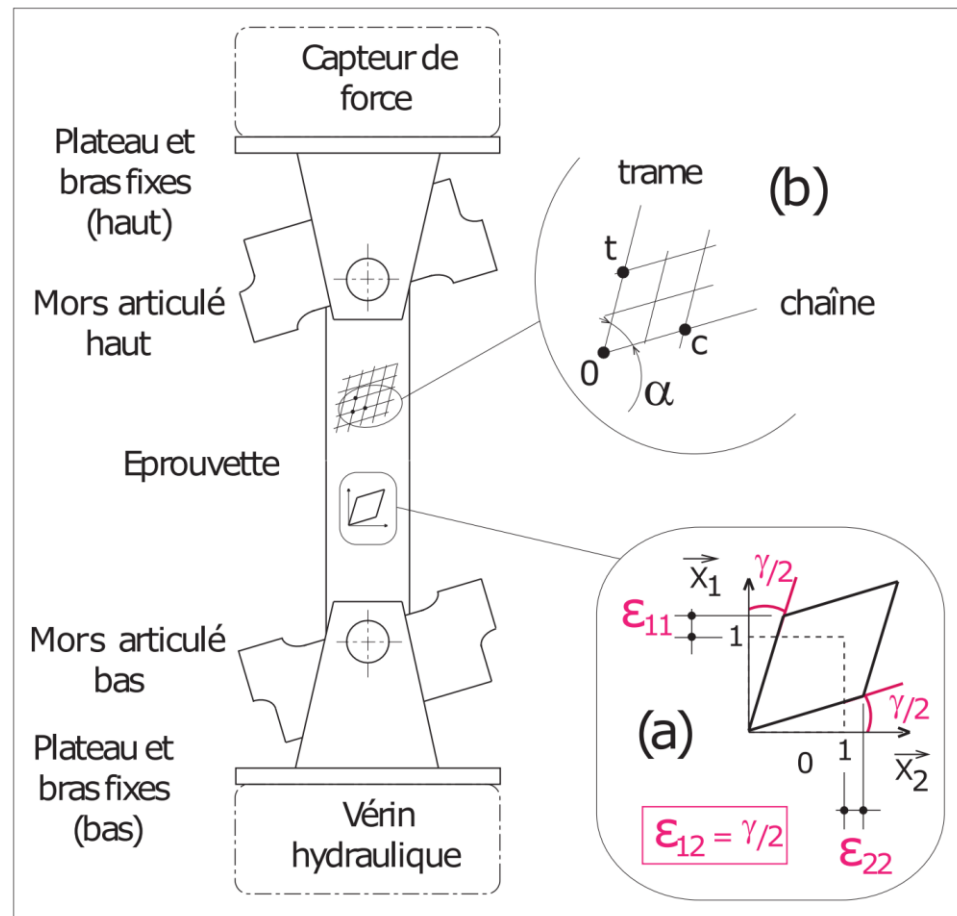
Philippe BOISSE et al. (LAMCOS) Mécanique & Industries (2005).

1. Introduction
2. Aspects expérimentaux
3. Aspects théoriques
4. Cisaillement en traction biaxiale de tissus enduits
5. Conclusion

1. Introduction
2. **Aspects expérimentaux**
3. Aspects théoriques
4. Cisaillement en traction biaxiale de tissus enduits
5. Conclusion

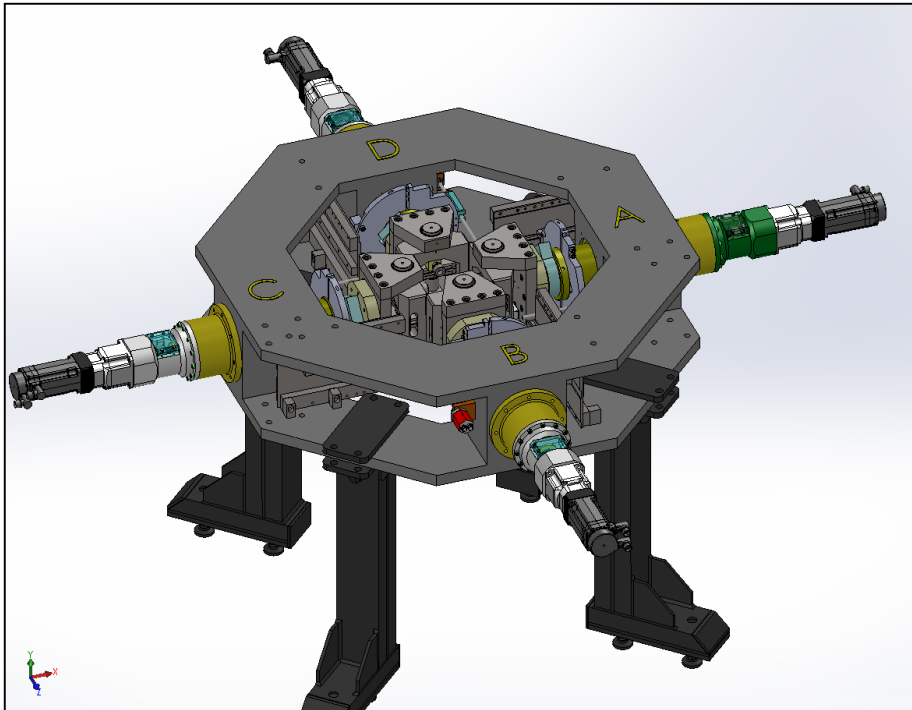
Moyens expérimentaux développés et mis en œuvre

Traction simple et mesure des déformations par un système de suivi de de cibles

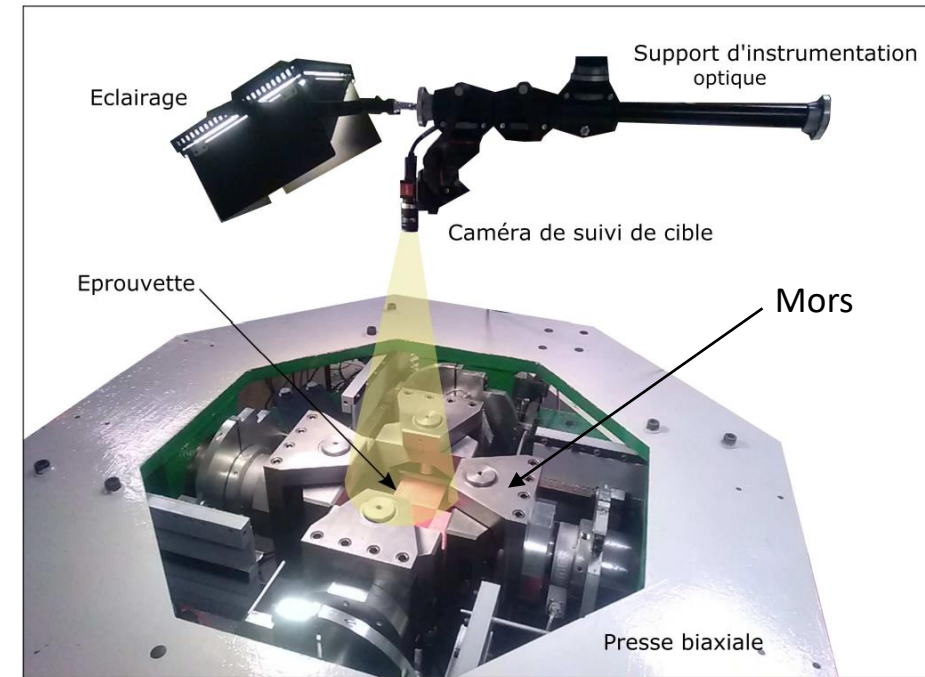


Moyens expérimentaux développés et mis en œuvre

Traction biaxiale



- Machine conçue et réalisée à 3SR (10t et 300 mm par axe).
- En configuration tissu (2t et 300 mm par axe).



J. Noël / Ph, D, Thesis, Univ, Grenoble Alpes, 2022

- ✓ mesure de champ par **stéréo-corrélation d'images**,
- ✓ mesure de déformation par Caméra CCd et **suivi de cibles**,
- ✓ **microscope digital** pour la mesure de l'angle de maille.

Cisaillement en traction biaxiale

Eprouvette de traction biaxiale biais (à 45°)

Gradient de la transformation

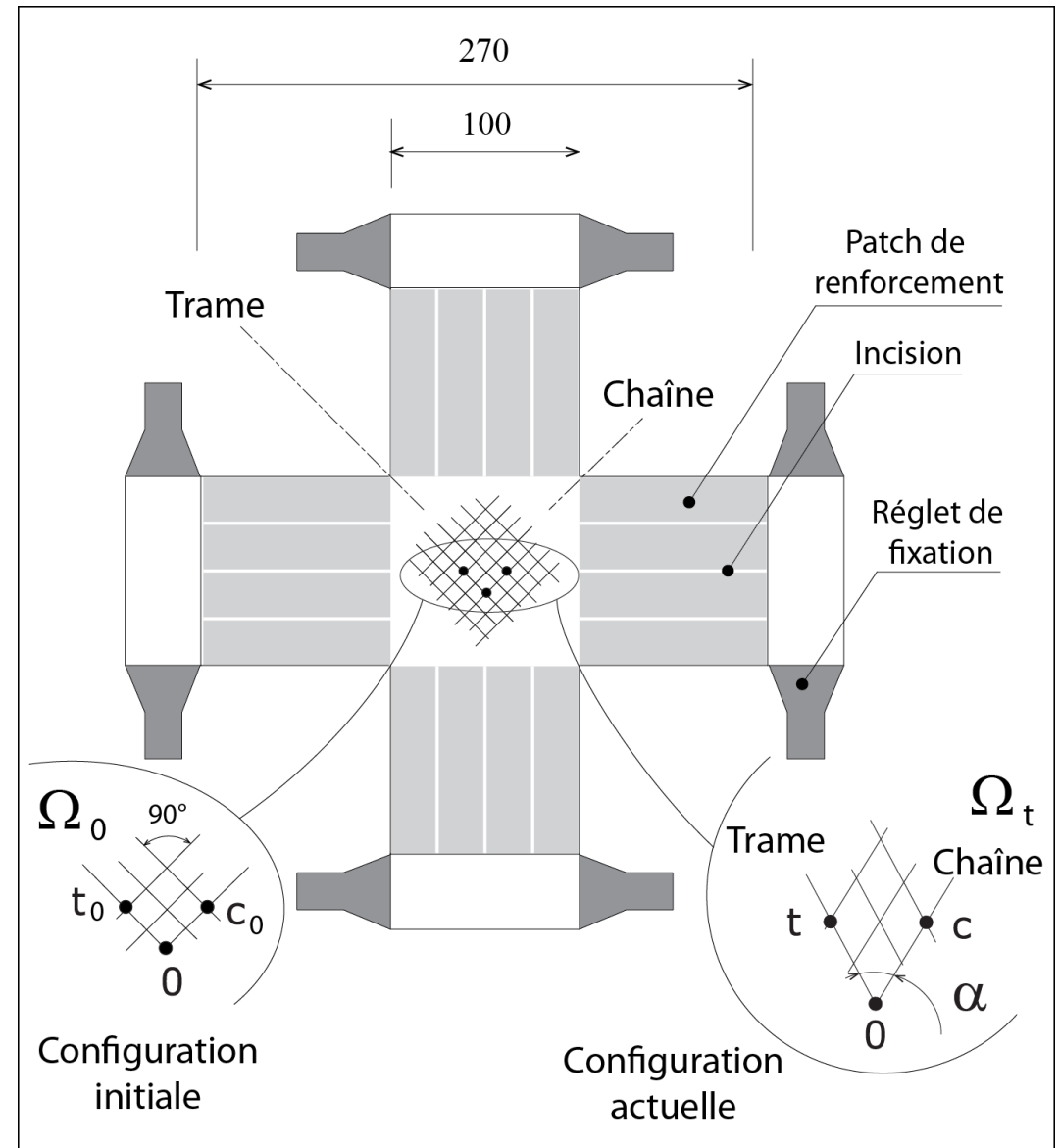
$$\tilde{F} = \frac{\vec{c} \otimes \vec{c}_0}{c_0^2} + \frac{\vec{t} \otimes \vec{t}_0}{t_0^2}$$

Déformation des fils:
(chaîne et trame)

$$\varepsilon_c = \ln\left(\frac{c}{c_0}\right) ; \varepsilon_t = \ln\left(\frac{t}{t_0}\right)$$

Distorsion de la maille
du matériau tissé

$$\varepsilon_{ct} = \frac{\gamma}{2} = \frac{1}{2} \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right)$$

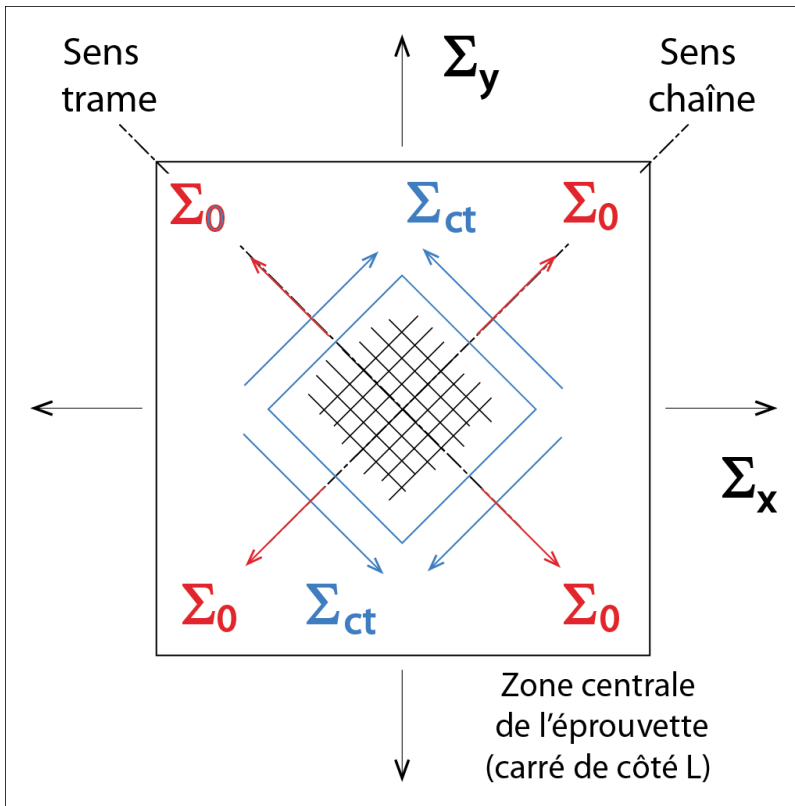


2. Aspects expérimentaux

Cisaillement en traction biaxiale

Eprouvette de traction biaxiale biais (à 45°)

Mesure de la contrainte



(Σ_X, Σ_Y) Composantes de la contrainte dans les axes de la machine

On considère la **contrainte massique** (J/g):
(Specific stress)

$$\tilde{\Sigma} = \frac{1}{\rho_t} \cdot \tilde{\sigma}$$

Telle que:

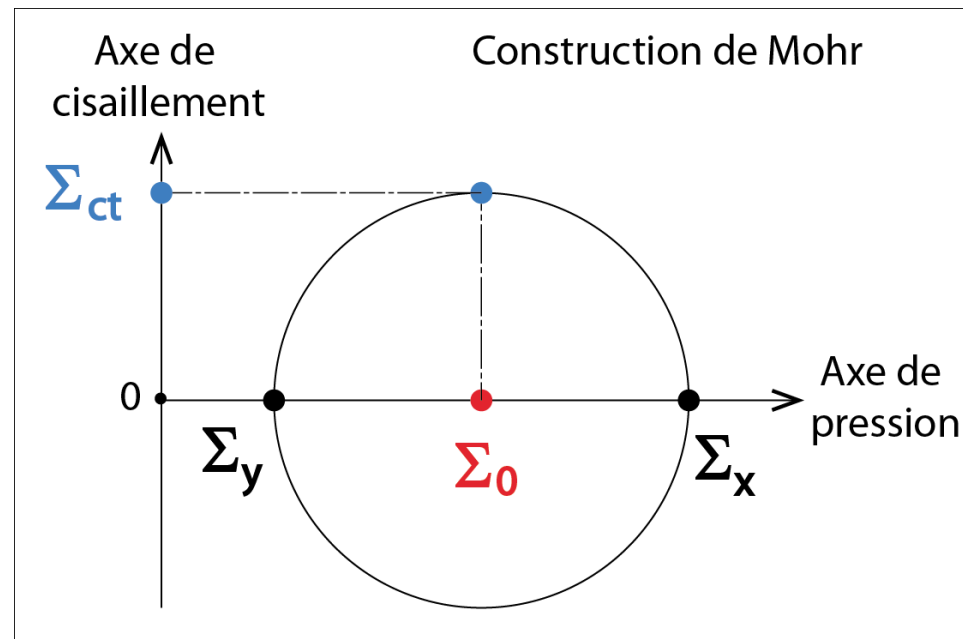
$$\begin{cases} \Sigma_x = \frac{\lambda_x F_x}{\bar{\rho} L} \\ \Sigma_y = \frac{\lambda_y F_y}{\bar{\rho} L} \end{cases}$$

Masse volumique actuelle

Contrainte Cauchy

(F_x, F_y) (λ_x, λ_y) Forces et élongations selon (x,y)

$\bar{\rho}$: Masse surfacique initiale



Contrainte de pression

$$\Sigma_0 = \frac{\Sigma_X + \Sigma_Y}{2}$$

Contrainte de cisaillement

$$\Sigma_{ct} = \frac{\Sigma_X - \Sigma_Y}{2}$$

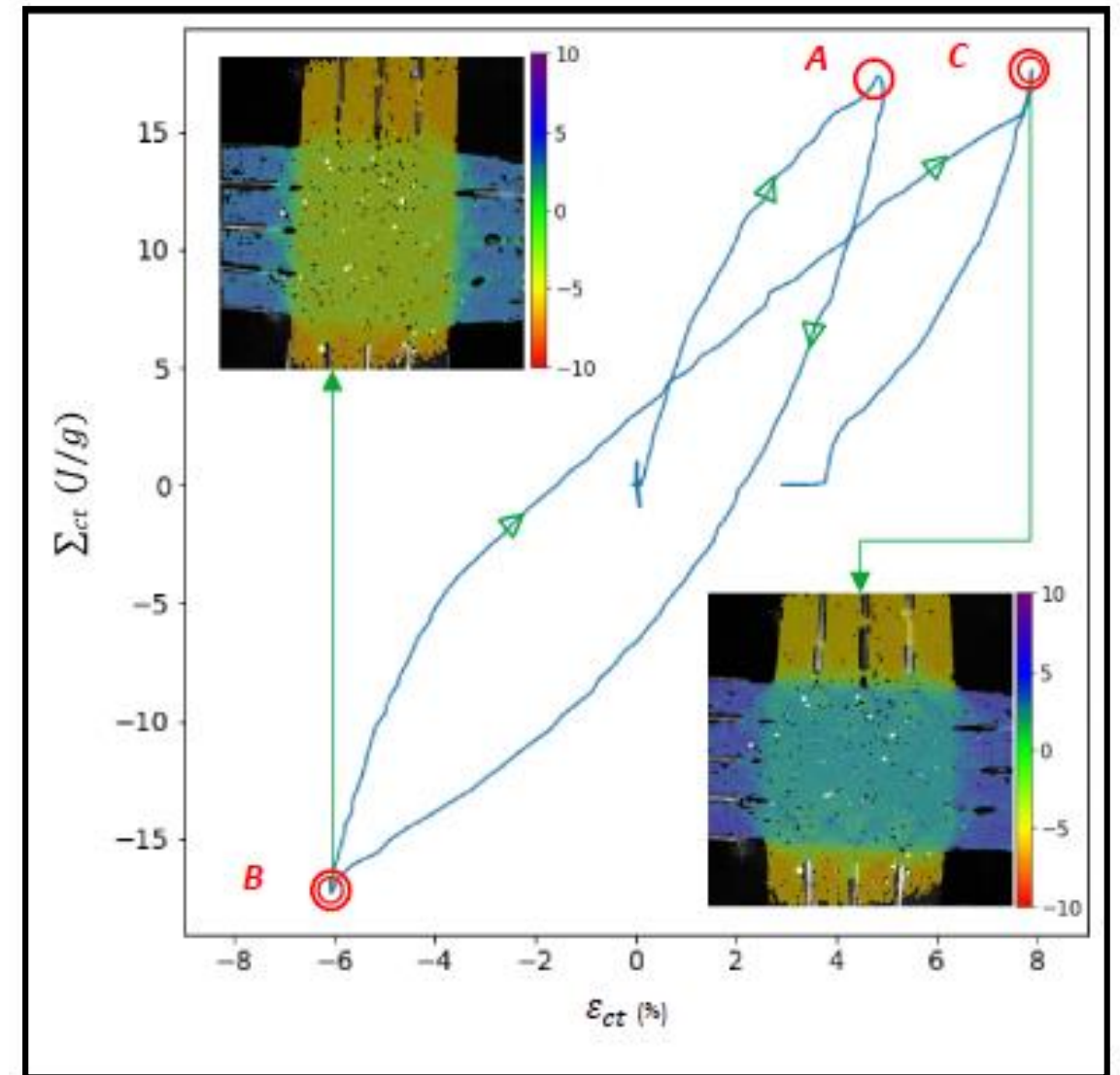
Cisaillement en traction biaxiale

Eprouvette de traction biaxiale biais (à 45°)

Hypothèse - Compte tenu de la forme de l'éprouvette et du principe de Saint-Venant on considère que **le champ de contrainte est homogène** au centre de l'éprouvette

Mesures de champs de déformation par **Stéréo corrélation d'images numériques**

Vérification - Si des zones de concentration de contrainte existent, elles seront révélées par les analyses Stéréo



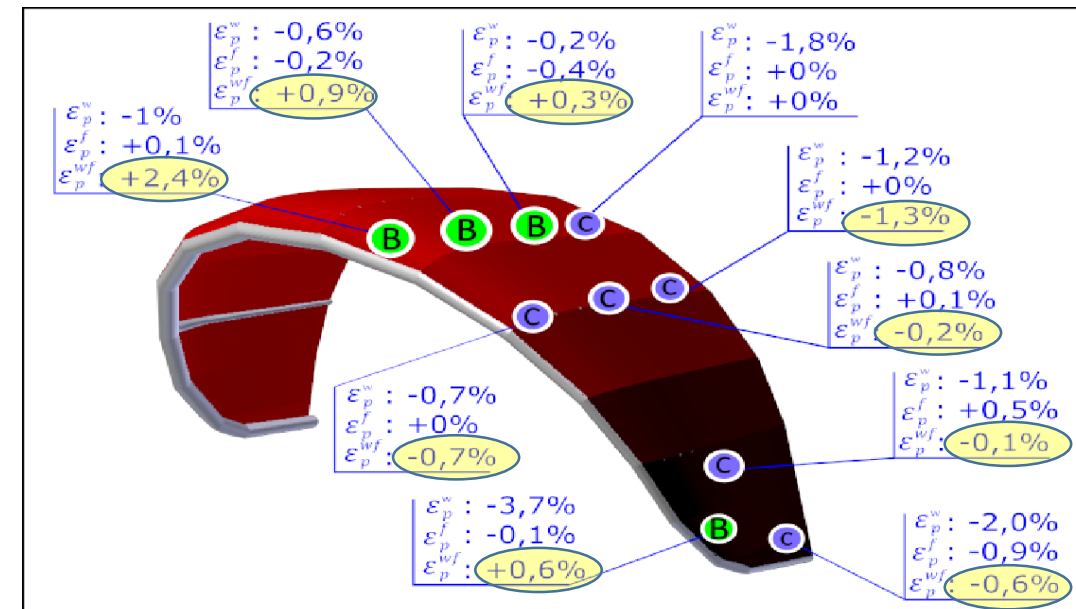
Analyse des déformations résiduelles d'un Kite usagé

(Utilisé par des sportifs de haut niveau en conditions réelles et estimé hors d'usage)

1- Lors de la conception des voiles: les **axes du matériau** sont généralement orientés selon les directions principales du **chargement de la voile**.

2- Les *propriétés en cisaillement* des matériaux tissés enduits sont **mal connues** et **ignorées** lors du **dimensionnement** des voiles.

3- Pourtant, on constate la présence de **déformations résiduelles de distorsion** conséquence de **chargement en cisaillement** sur des **kites usagés**.



J. Noël / PhD Thesis, Univ, Grenoble Alpes, 2022

1. Introduction
2. Aspects expérimentaux
3. **Aspects théoriques**
4. Cisaillement en traction biaxiale de tissus enduits
5. Conclusion

Développement d'une loi de comportement et son implémentation dans le code d'EF Abaqus.

Hypothèse 1 - Le matériau tissé est une **membrane 2D**

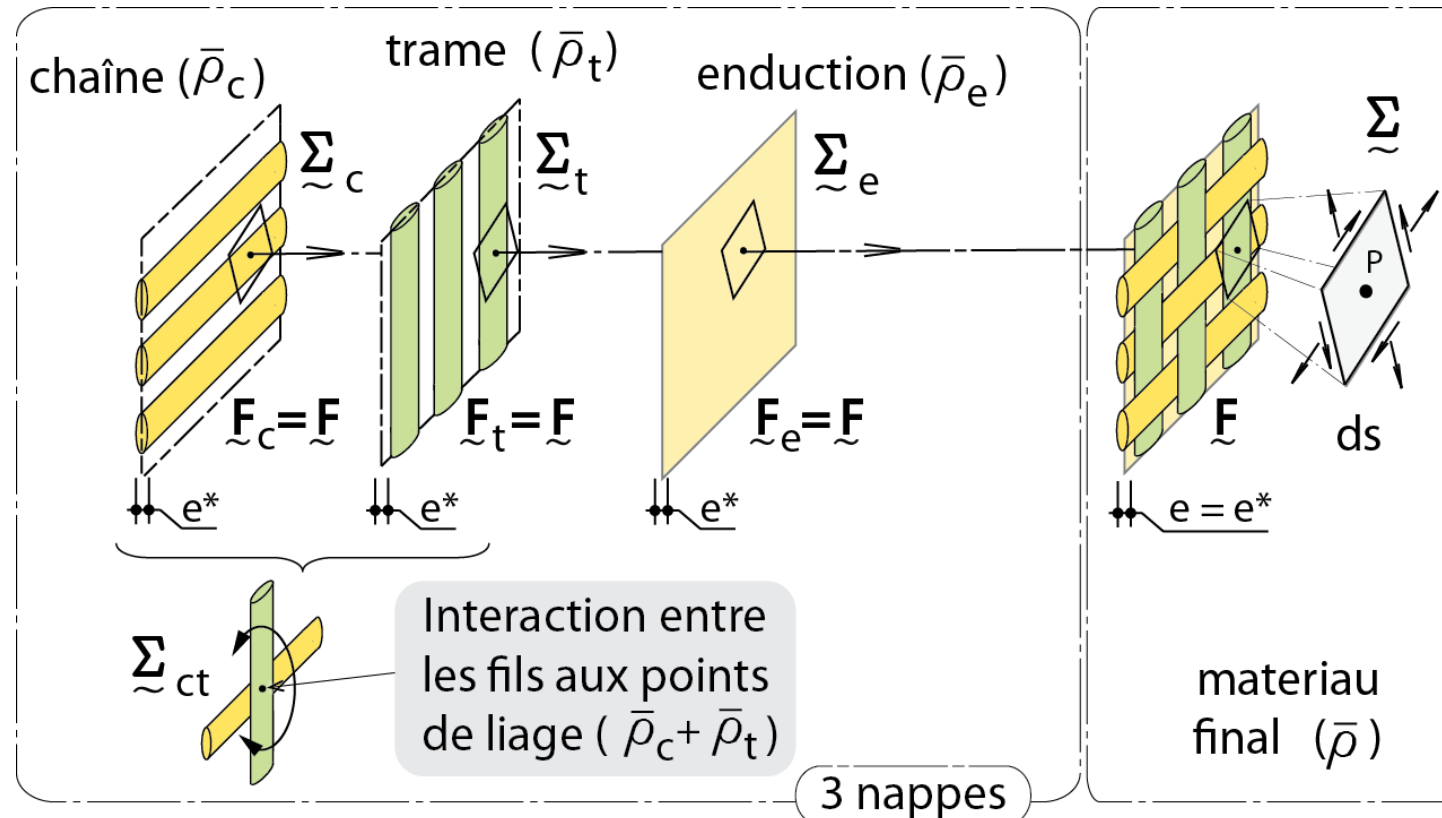
Rigidité nulle en flexion et en cisaillement dans l'épaisseur

Hypothèse 2 - Le **fil** est considéré comme un **matériau 1D**

Rigidités nulles en flexion et en torsion.

Hypothèse 3 - Le matériau est considéré comme la **fusion** de plusieurs nappes de **même épaisseur** et de **même déformation**

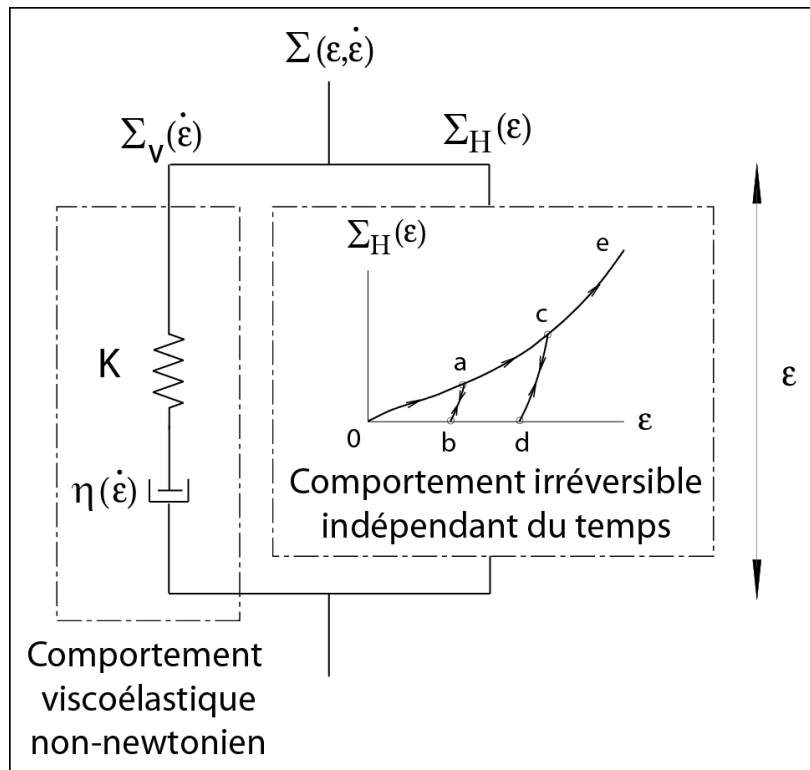
Hypothèse fondamentale de superposition des contraintes



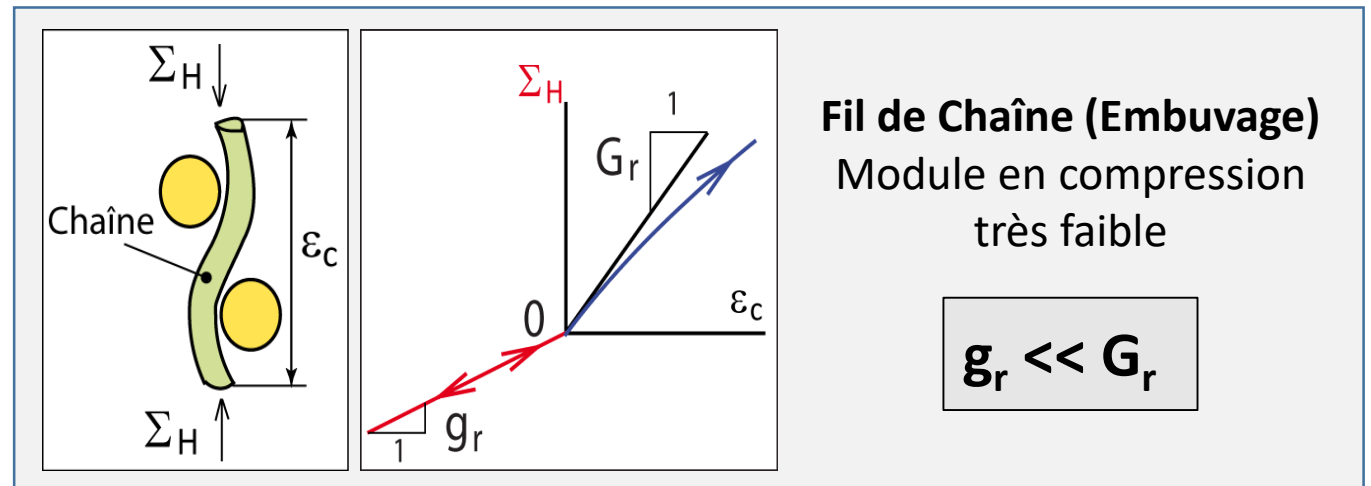
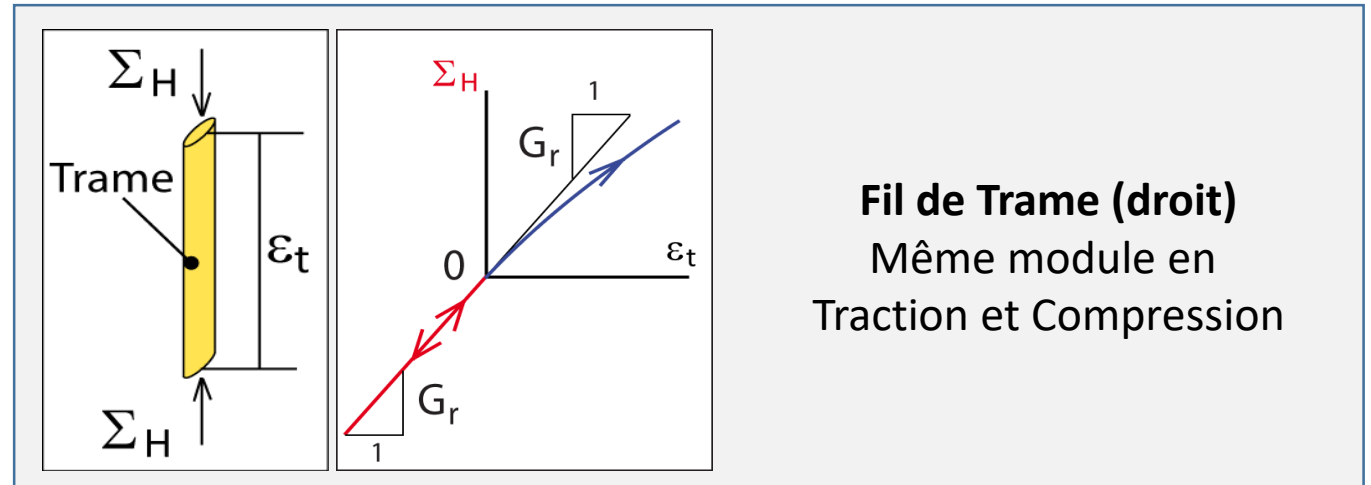
$$\tilde{\Sigma} = \frac{\bar{\rho}_t}{\bar{\rho}} \tilde{\Sigma}_t + \frac{\bar{\rho}_c}{\bar{\rho}} \tilde{\Sigma}_c + \frac{\bar{\rho}_c + \bar{\rho}_t}{\bar{\rho}} \tilde{\Sigma}_{ct} + \frac{\bar{\rho}_e}{\bar{\rho}} \tilde{\Sigma}_e$$

Développement d'une loi de comportement et son implémentation dans le code d'EF Abaqus.

Hypothèse 4 – Modélisation 1D du comportement des fils de chaîne et des fils de trame



Modèle 1D de type Zener



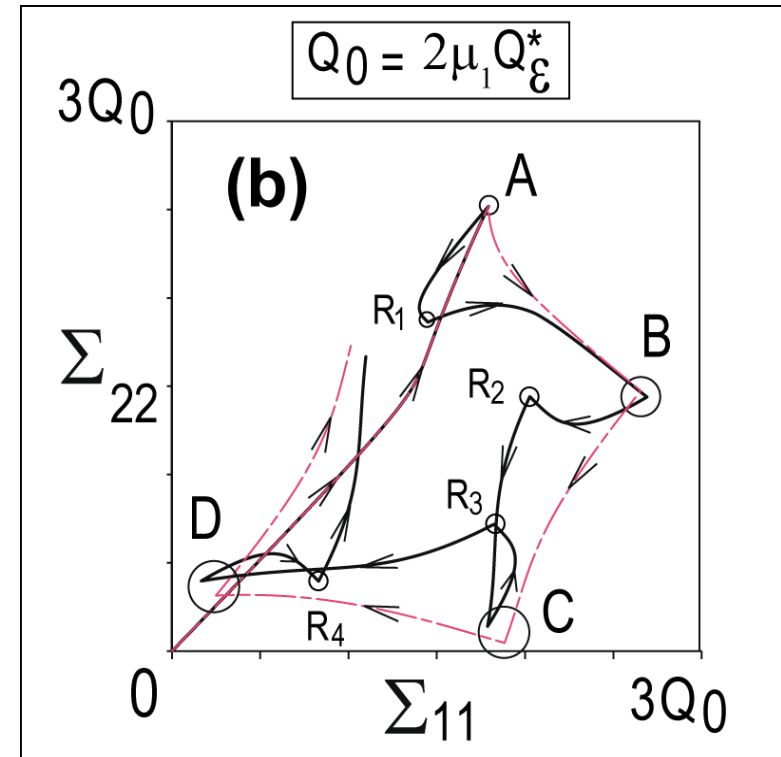
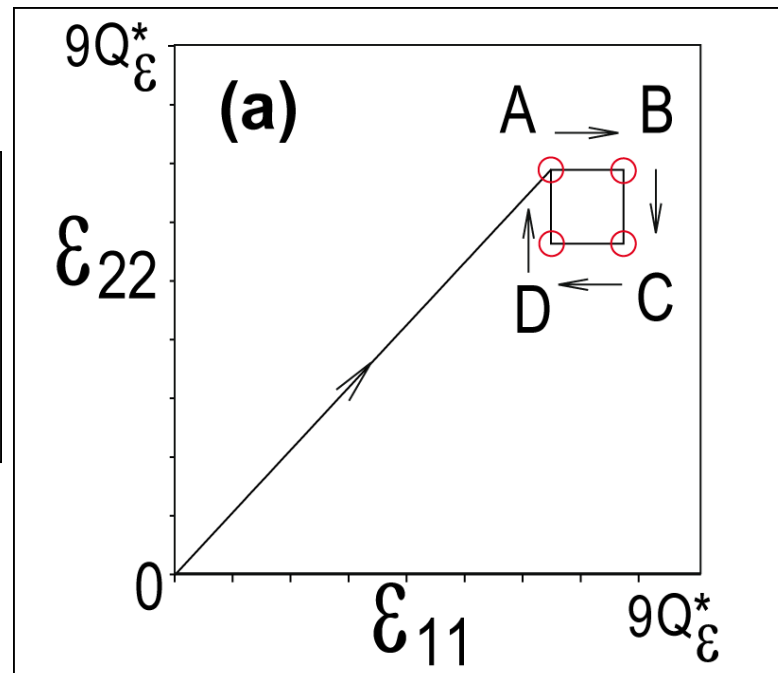
Développement d'une loi de comportement et son implémentation dans le code d'EF Abaqus.

Hypothèse 5 – Modélisation 2D du comportement de l'enduction

Modèle 2D de type Vico-élasto-plastique

Illustration du **comportement 2D de l'enduction**

Chargement imposé dans le plan des déformations, avec ou **sans relaxation** A,B,C et D



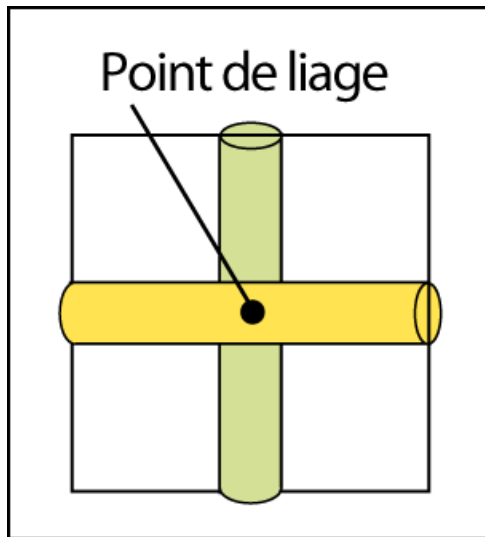
Réponse dans le plan des contraintes avec relaxation (**trait noir**)

sans relaxation (**trait rouge**)

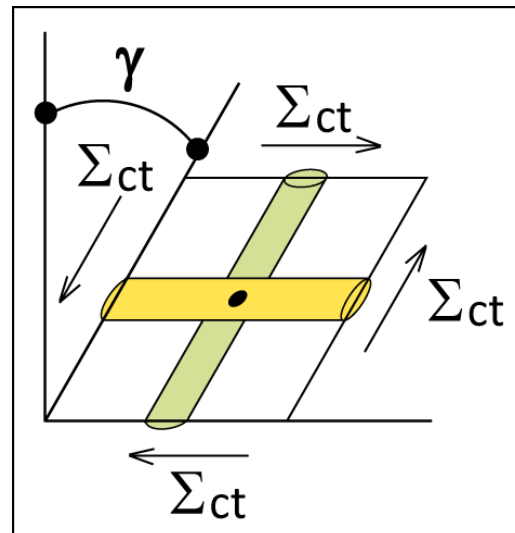
Développement d'une loi de comportement et son implémentation dans le code d'EF Abaqus.

Hypothèse 6 – Modélisation 1D de l'interaction entre les fils de chaîne et de trame, aux points de liage.

t = 0
Etat initial



t > 0
Etat actuel



En première approche nous avons adopté une **loi élastique linéaire**.

$$\Sigma_{ct}(\epsilon_\gamma) = K_\gamma \cdot \epsilon_\gamma$$

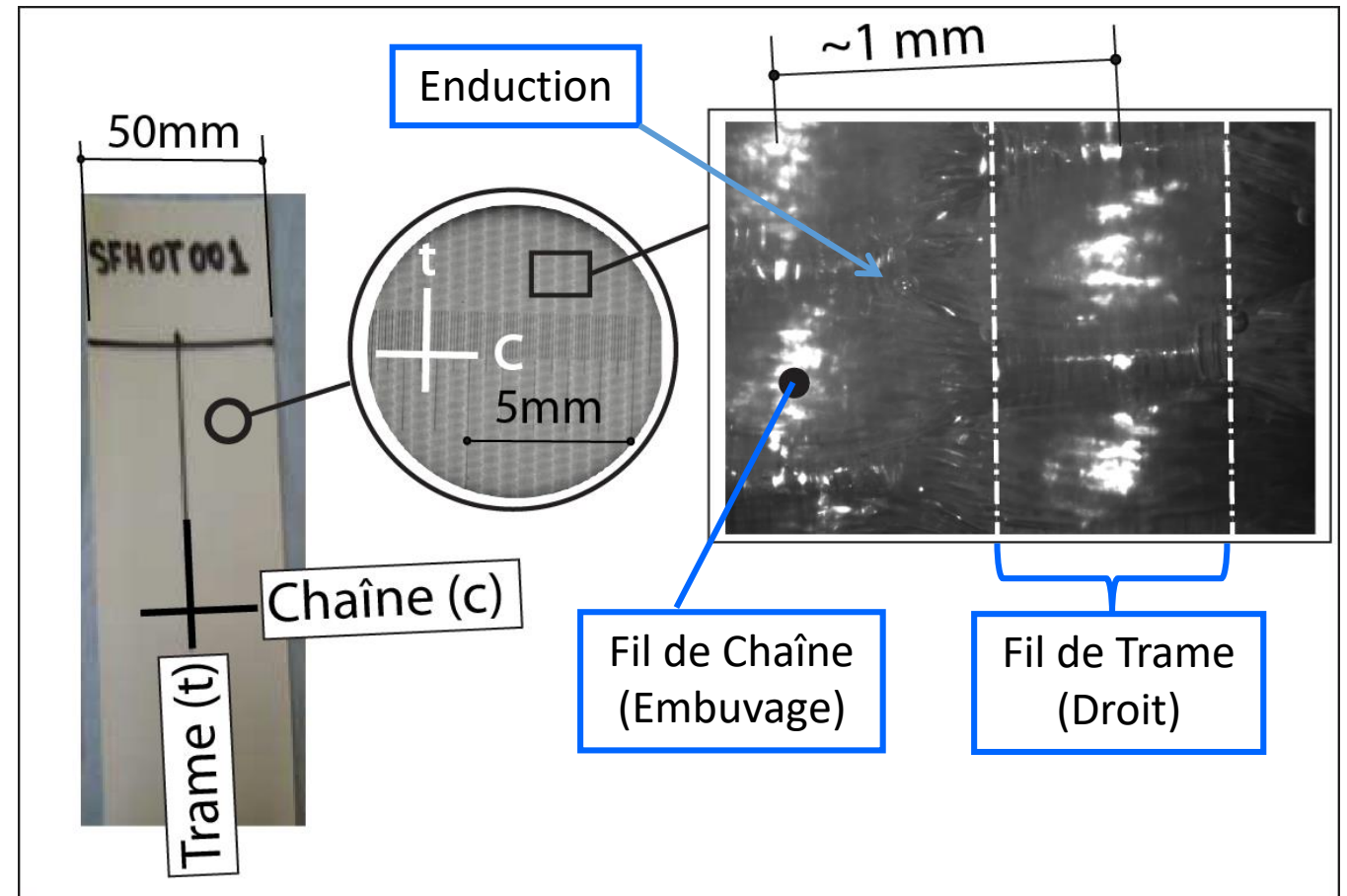
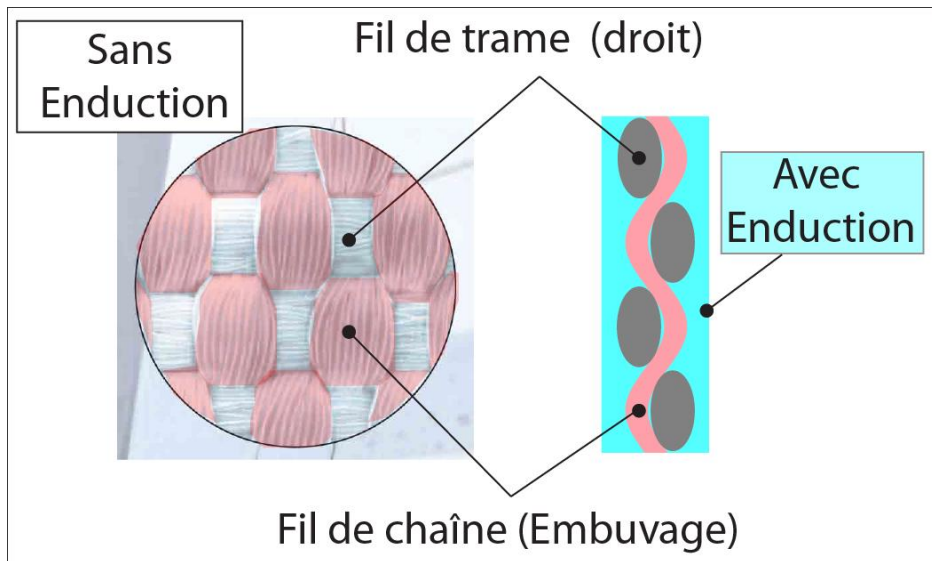
$$\epsilon_\gamma = \frac{1}{2} \gamma$$

Distorsion

(K_γ : Module de cisaillement)

3. Aspects théoriques

La loi de comportement proposée a été identifiée et validée par des **résultats de traction simple** sur un tissu à voile le **Dacron 300SF HTP plus (Dacron+)**.



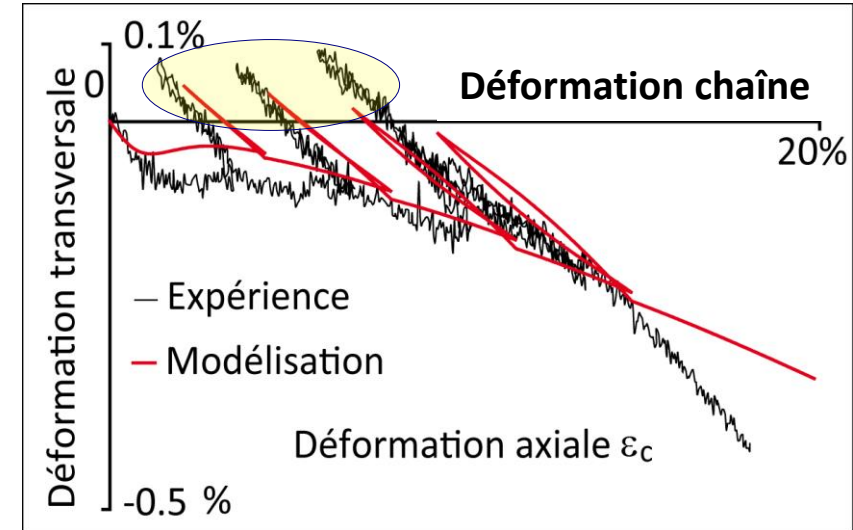
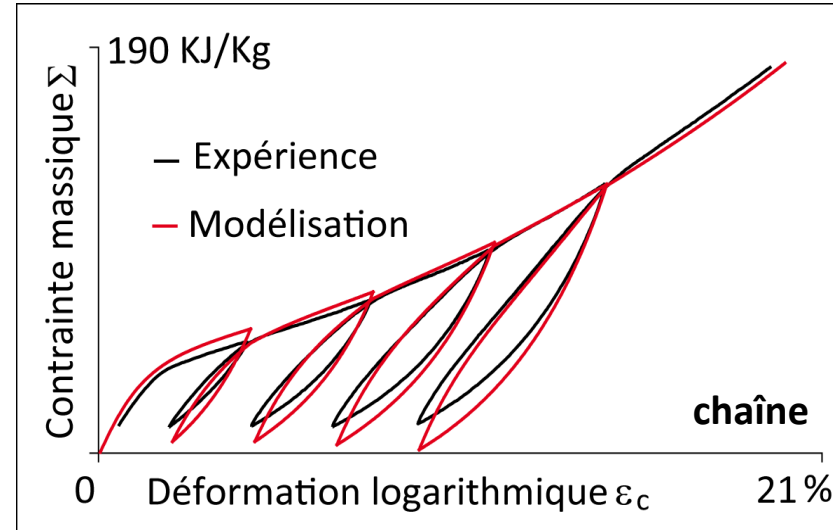
(Matériau tissé chaîne-trame avec Enduction)

3. Aspects théoriques

Les résultats de modélisation obtenus sont très encourageants et rendent compte des propriétés essentielles du comportement.

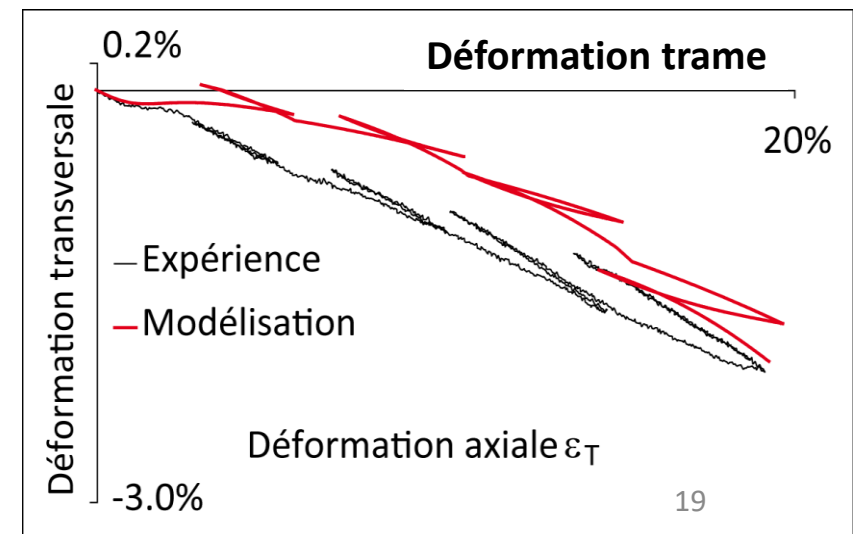
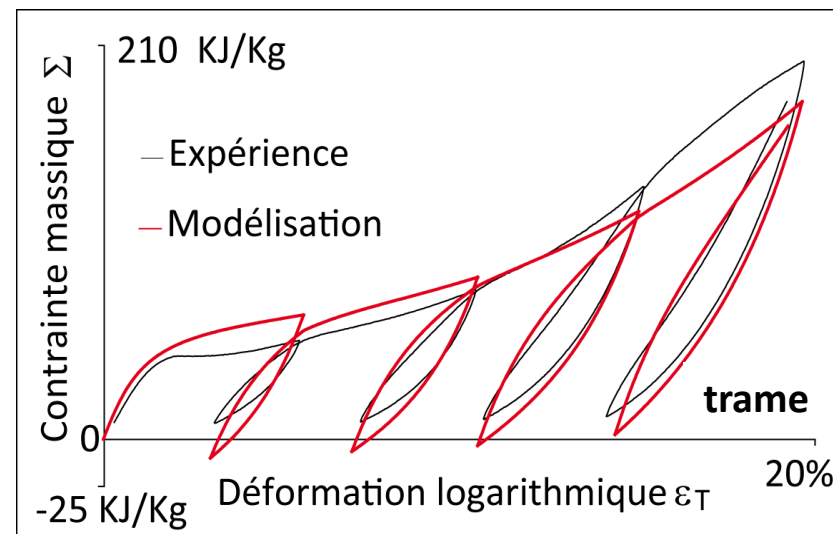
L'effet de contraction est très différent dans les sens chaîne et trame

Cette différence est prise en compte par le modèle



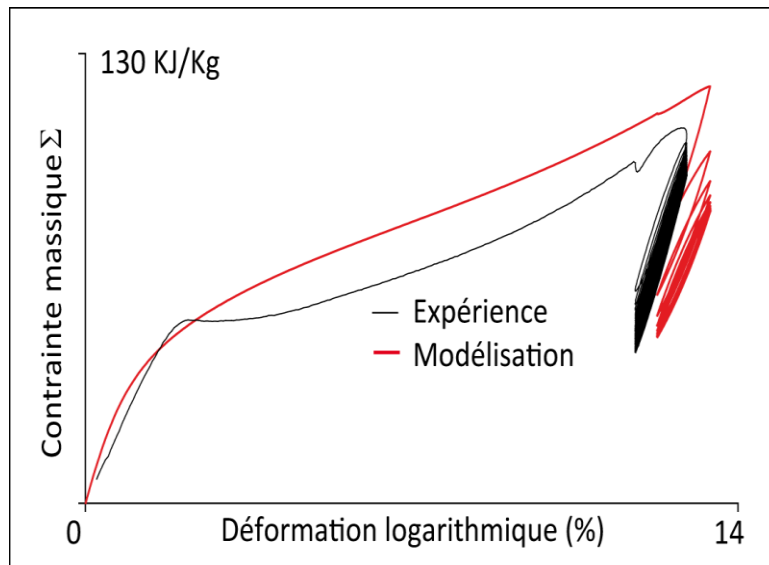
On observe un effet d'expansion dans le sens trame, lors de la traction dans le sens chaîne

Cet effet est reproduit par le modèle



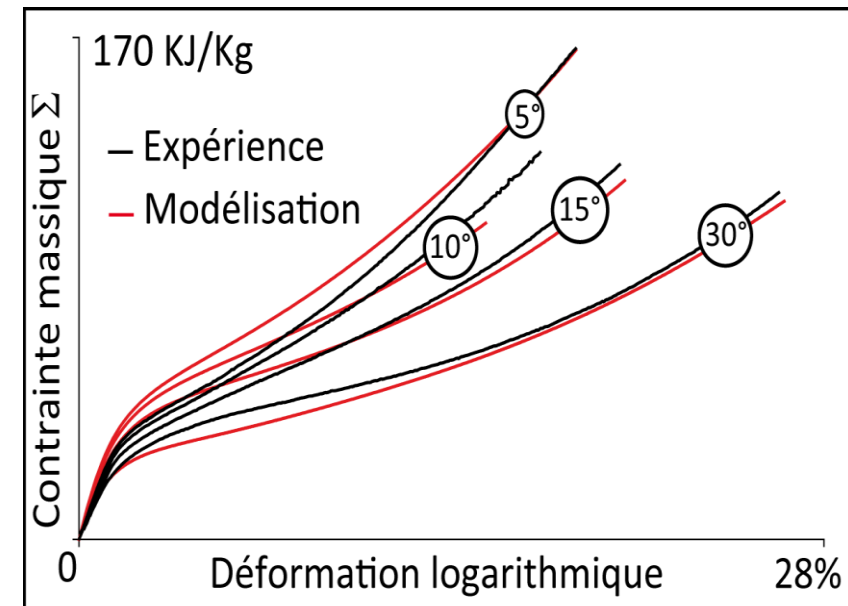
Les résultats de modélisation obtenus sont très encourageants et rendent compte des propriétés essentielles du comportement.

Reptation des cycles en déformation



Le modèle reproduit relativement bien le phénomène

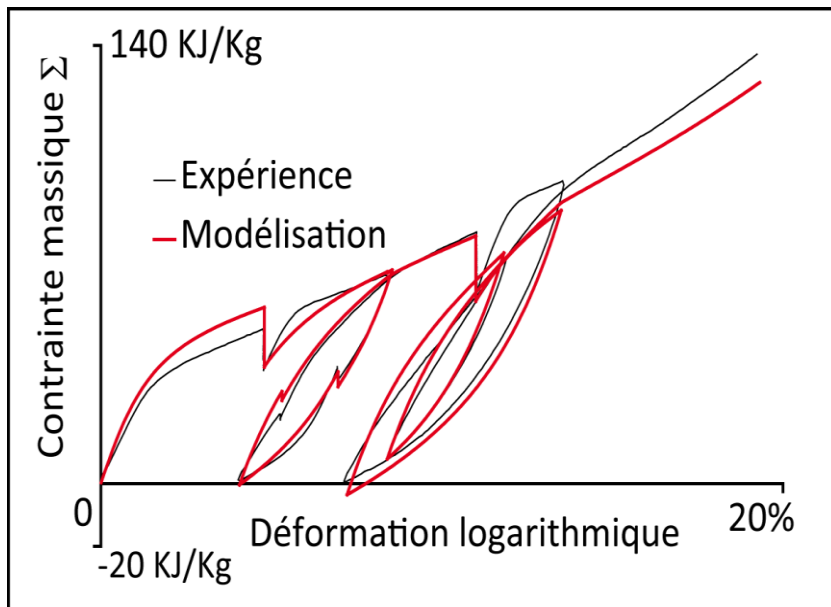
Tractions monotones à différentes orientations par rapport à la direction chaîne



Le modèle reproduit bien le comportement anisotrope de la contrainte

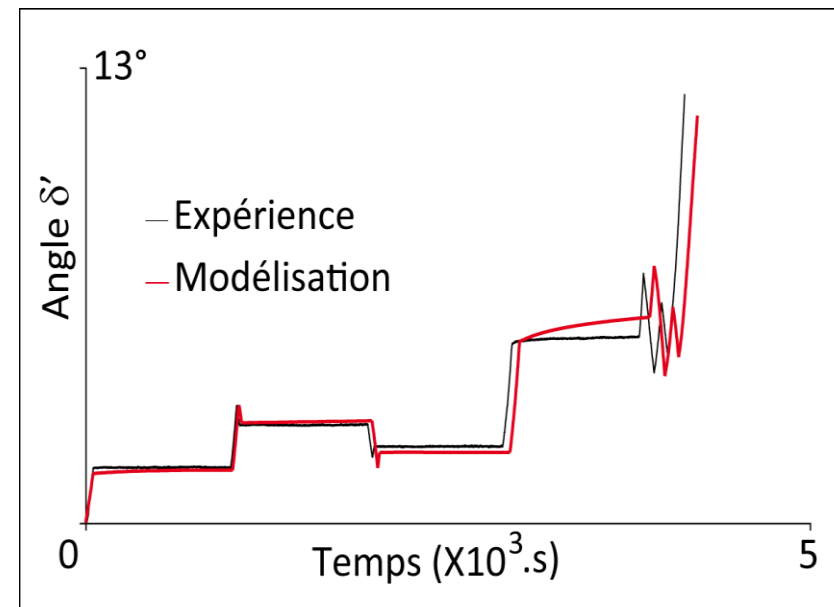
Les résultats de modélisation obtenus sont très encourageants et rendent compte des propriétés essentielles du comportement.

Traction ondulée à $\theta=10^\circ$ par rapport à la direction chaîne, contrôle en déformation, avec 4 séquences de relaxation



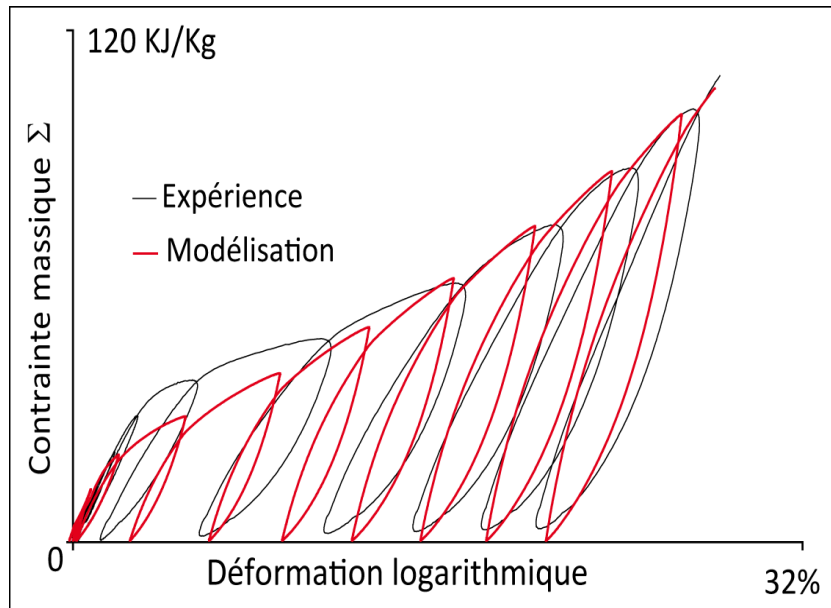
Le modèle reproduit bien les résultats expérimentaux malgré un chargement complexe

Rotation de l'éprouvette



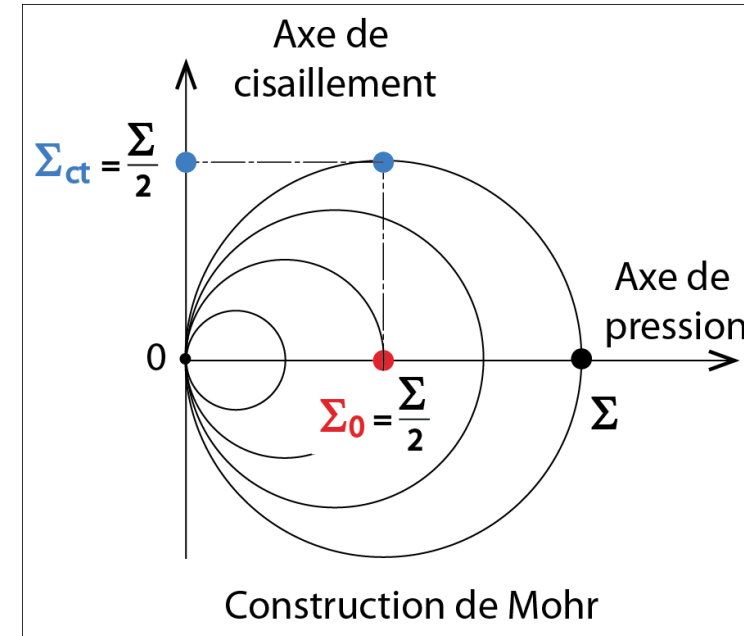
Les résultats de modélisation obtenus sont très encourageants et rendent compte des propriétés essentielles du comportement.

**Traction ondulée à $\theta=45^\circ$ (sens biais)
contrôlée en force**



Ici aussi le modèle reproduit relativement bien **l'effet de Cisaillement**, malgré un **modèle élastique linéaire** d'interaction aux points de liage

Au cours du chargement cyclique $(0, \Sigma)$,



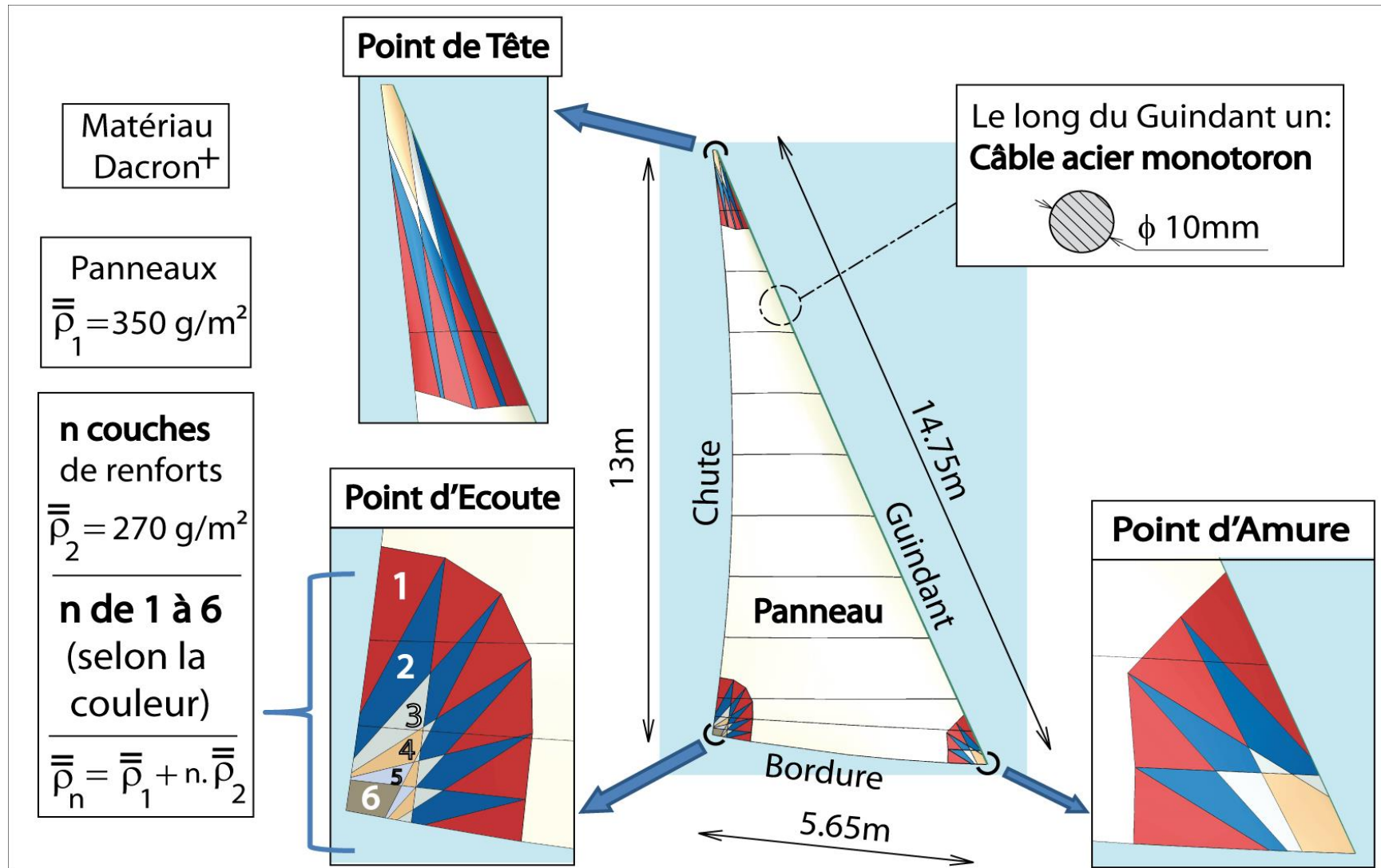
la pression Σ_0 active le comportement irréversible des fils et de l'enduction.

L'essai de traction simple, monotone ou ondulée, dans le sens biais n'est pas suffisant pour distinguer le comportement en cisaillement de celui en pression.

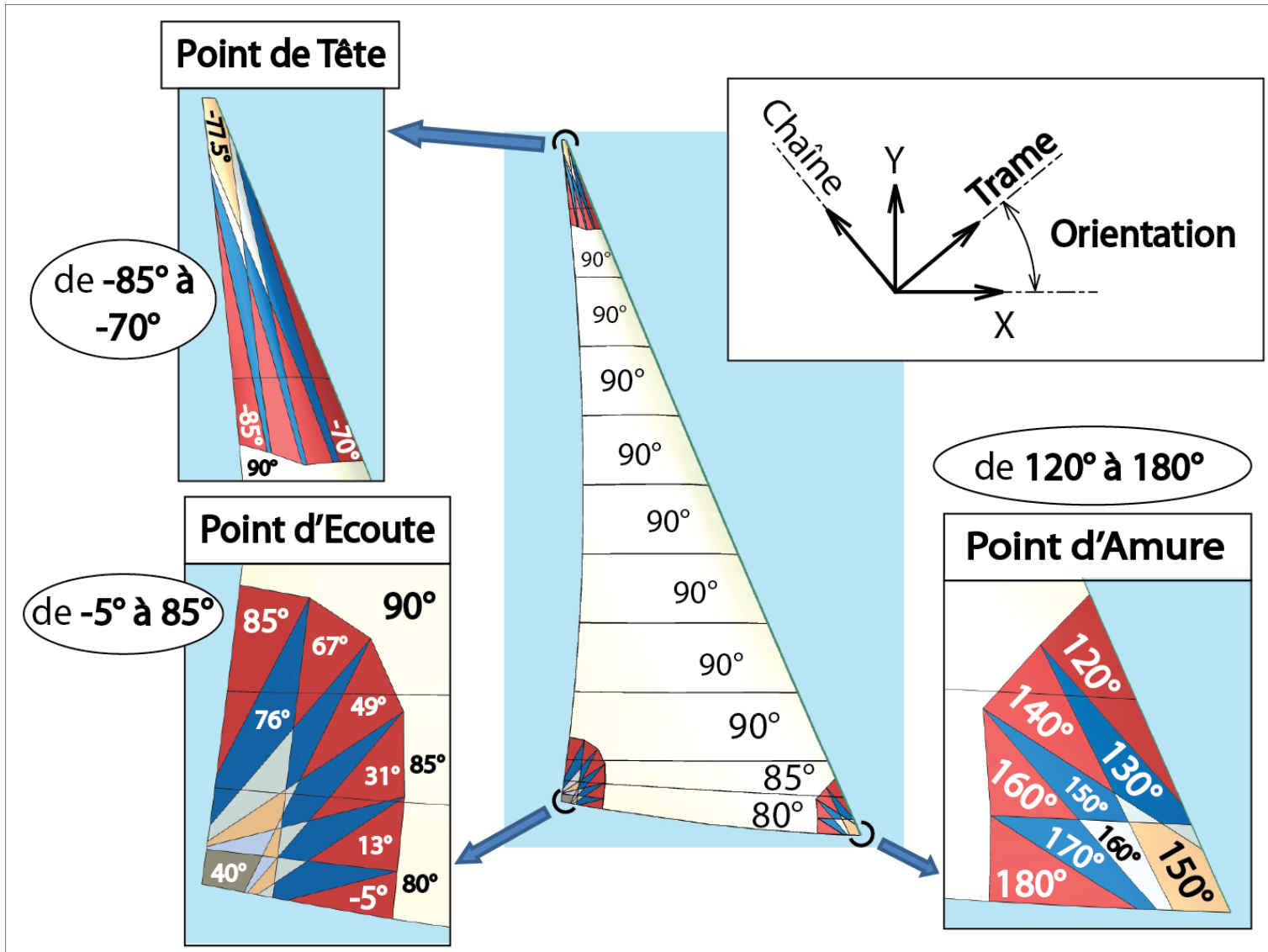
3. Aspects théoriques

Simulation numérique du fluage d'une voile

C'est une voile « Génois » - Fournie par Incidences
(Voile devant le mât)

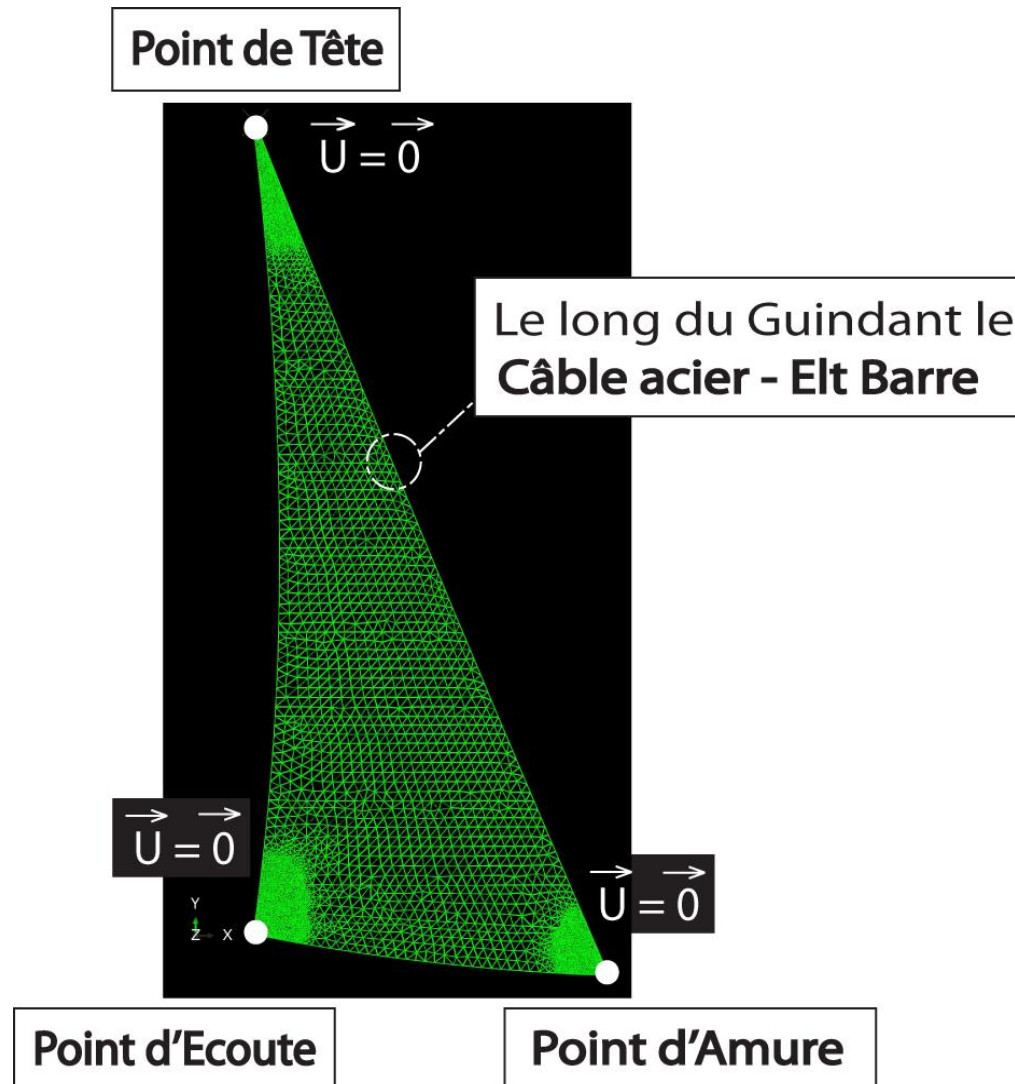


Simulation numérique du fluage d'une voile



Orientations du tissu dans les panneaux et dans les renforts

Simulation numérique du fluage d'une voile



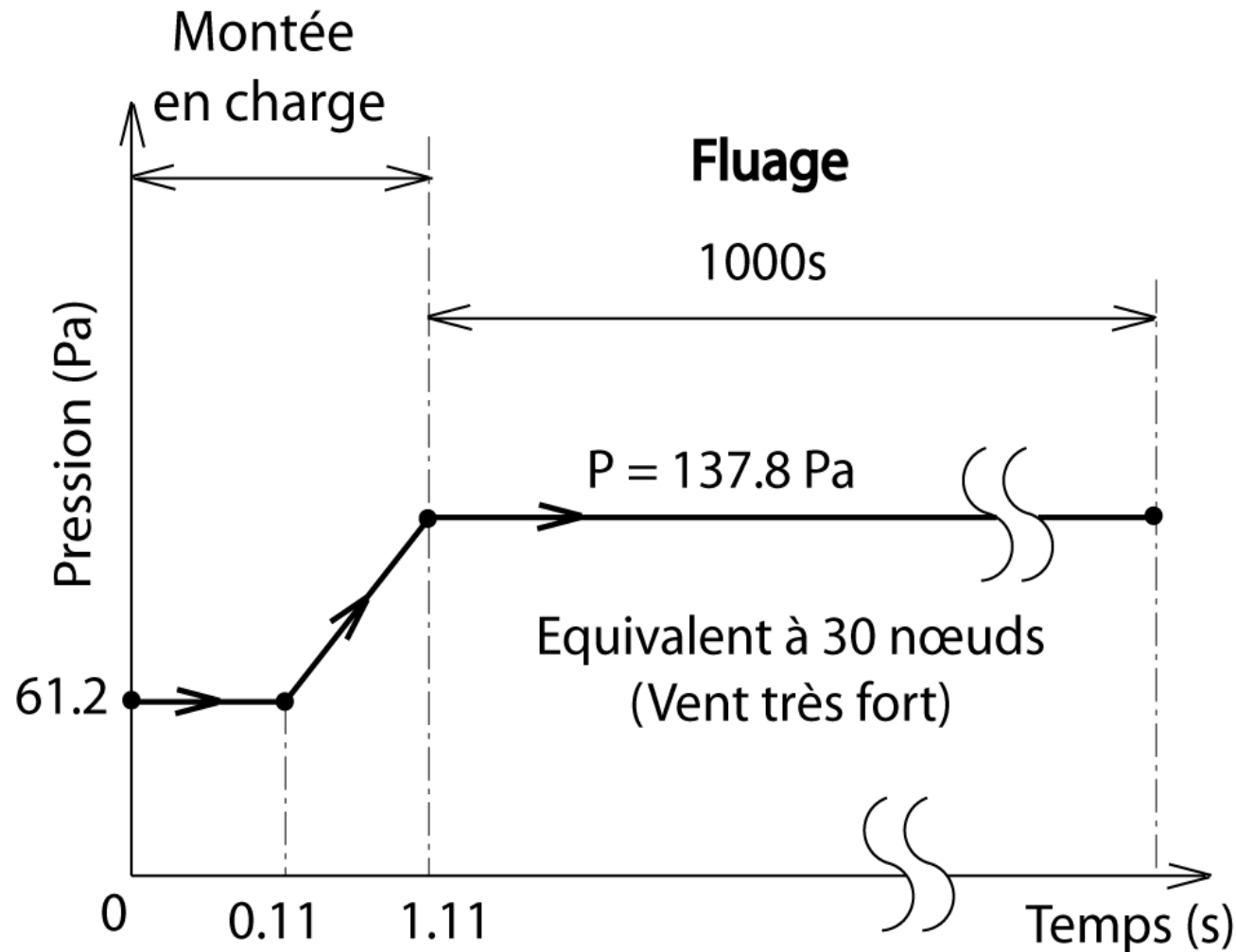
éléments membrane triangulaires
(M3D3).

(nb=6336 éléments)

Les conditions aux limites

déplacement nul aux points: de Tête,
d'Amure et d'Ecoute

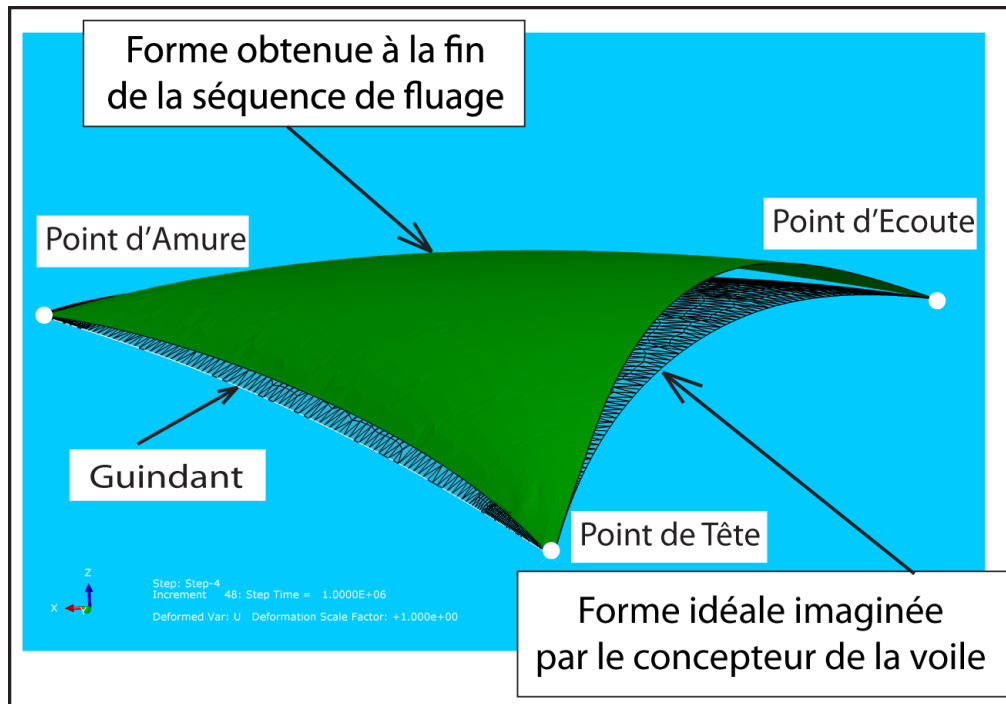
Simulation numérique du fluage d'une voile



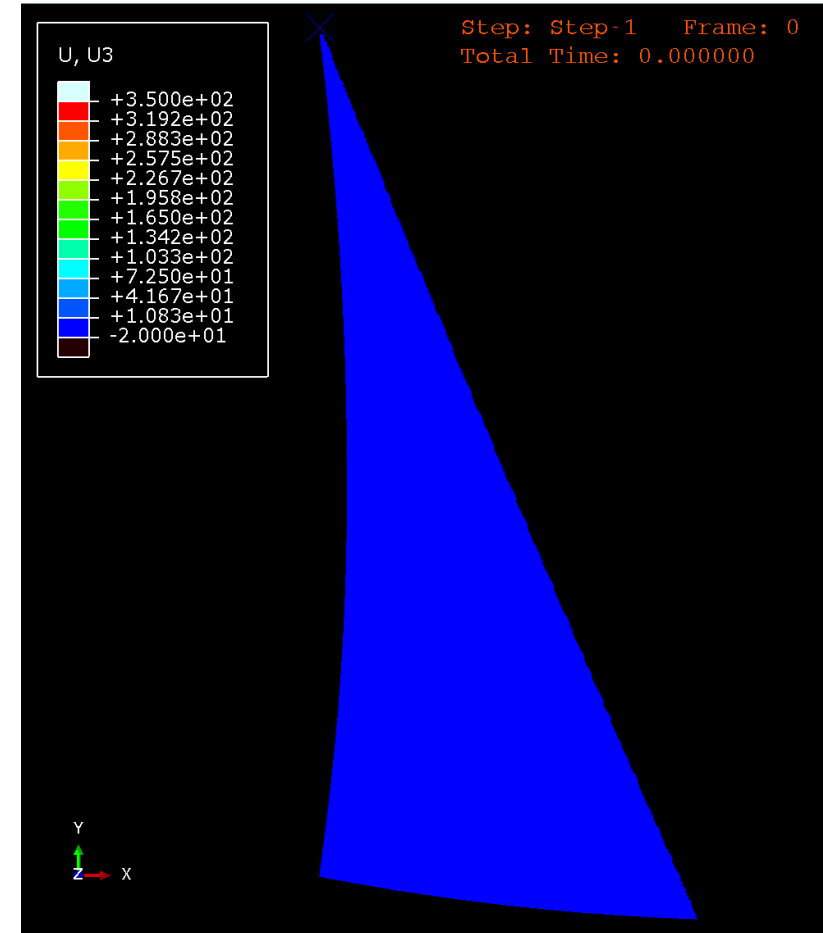
La voile est chargée avec une pression constante, qui correspond à la séquence de **fluage de 1000s**, dans **des conditions de vent très fort**

Simulation numérique du fluage d'une voile

Forme de la voile



Evolution de U_z , au cours du fluage



(U_z) max = 35 cm

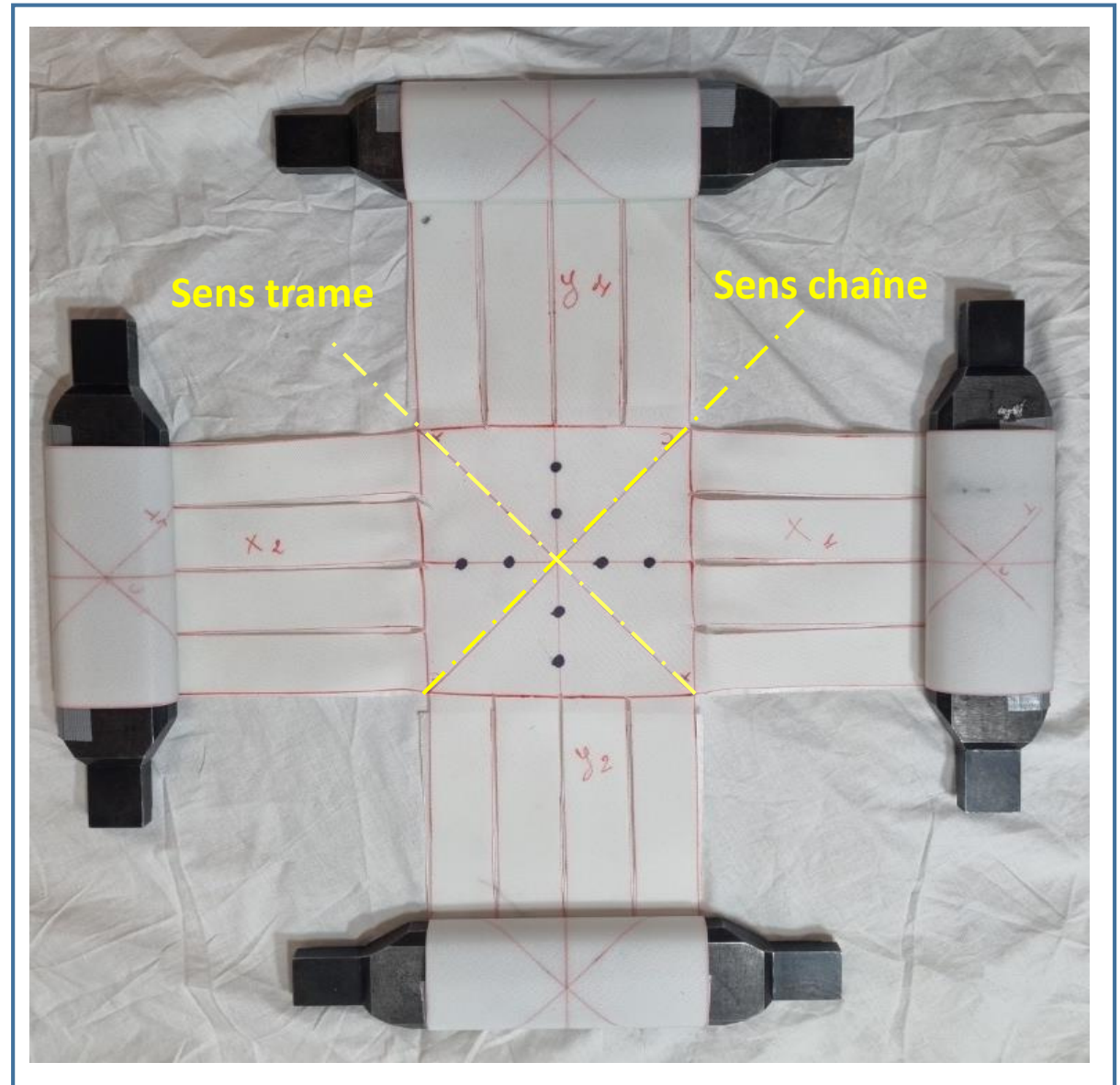
1. Introduction
2. Aspects expérimentaux
3. Aspects théoriques
- 4. Cisaillement en traction biaxiale de tissus enduits**
5. Conclusion

4 Cisaillement en traction biaxiale

Matériau adopté pour l'étude:

Dacron 300SF HTP plus

Masse surfacique $\bar{\rho} = 306 \text{ g/m}^2$



1. Introduction
2. Aspects expérimentaux
3. Aspects théoriques
4. Cisaillement en traction biaxiale de tissus enduits
5. **Conclusion**

5 Conclusion

Le comportement des matériaux tissés est complexe et certains aspects sont encore mal connues, malgré les avancées dans ce domaine.

L'étude du comportement en cisaillement des matériaux tissés est une question fondamentale, qui intéresse un nombre important d'applications de ces matériaux.

Le cisaillement en traction biaxiale est un essai très adapté pour l'étude du comportement en cisaillement de ces matériaux.