

Etude de la résistance et des coupes des voiles utilisées dans les sports nautiques.



TIPE 2023-2024 – Candidat n°36075

Introduction : un enjeu de sécurité et de performance

- Efforts dynamiques importants lors d'un empannage
 - **Déformations** de quelques millimètres voire déchirure de la voile
- ➔ Un **enjeu de sécurité majeur** pour les coureurs au large

Route du Rhum. Abandon de Rayon Vert, voile déchirée.



Préparation aux Jeux Olympiques en Nacra 17
Crédits : Claude Paris/AP/SIPA



Modélisation
du
phénomène

Prévoir,
renforcer,
sécuriser

Introduction : un enjeu de sécurité et de performance

Problématique et plan

Quels matériaux choisir pour avoir le meilleur compromis entre la performance et la durabilité, dans un contexte d'utilisation plaisance ou régate ?

Plan :

1. Première piste : traction

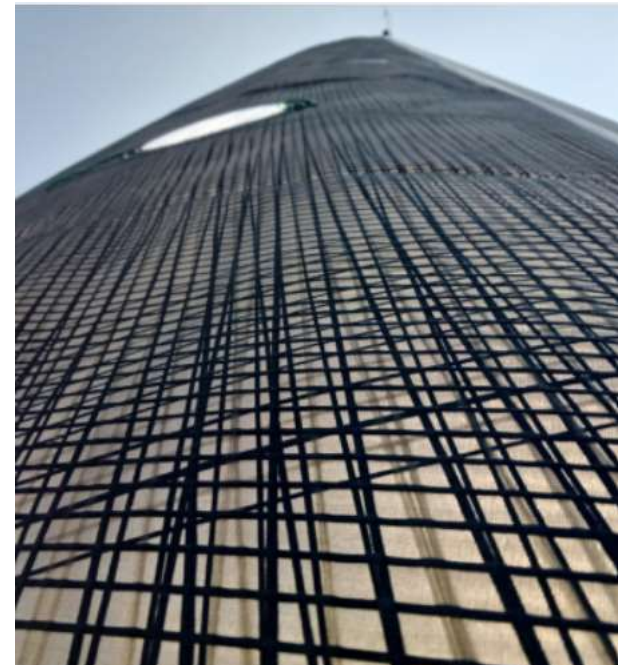
- A. Théorie
- B. Montage expérimental
- C. Première conclusion

2. Deuxième piste : plus qu'une traction

- A. Théorie
- B. Approche numérique / Modélisation
- C. Echec des mesures et deuxième conclusion

3. Coupes des voiles et autres caractéristiques

- A. Théorie sur les coupes
- B. Théorie sur les revêtements
- C. Conclusion



Route du Rhum. Abandon de Rayon Vert, voile déchirée

1. Première piste : traction

- A. Théorie
- B. Montage expérimental
- C. Instrumentation finale et première conclusion

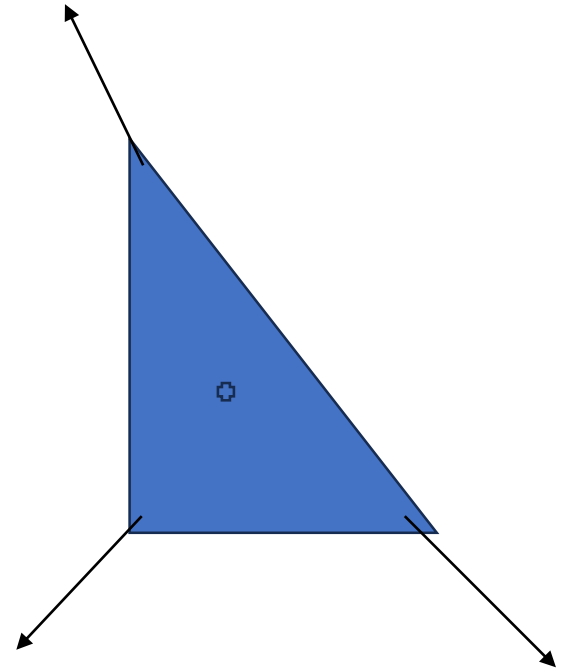
1.A Théorie

Modélisation des efforts comme une simple traction

Efforts sur la voile :

- ⊕ : Force du vent : modélisable par une force ponctuelle au point vélique de la voile
- : Efforts dus aux trois attaches de la voile, point de drisse, d'écoute et d'amure

==> Calcul de traction aux trois points pour connaître le matériau qu'il faut mettre



Loi de Hooke :

$$\sigma = E \varepsilon$$

σ : Contrainte (en Pa)

E : Module d'Young (en Pa)

ε : déformation ou allongement relatif

1.B Montage expérimental

Essai sur une machine de traction, usinage de pièces pouvant tenir l'échantillon de voile pendant l'essai



MPU 9250 sur la maquette



1.B Montage expérimental

Premier échec : glissade

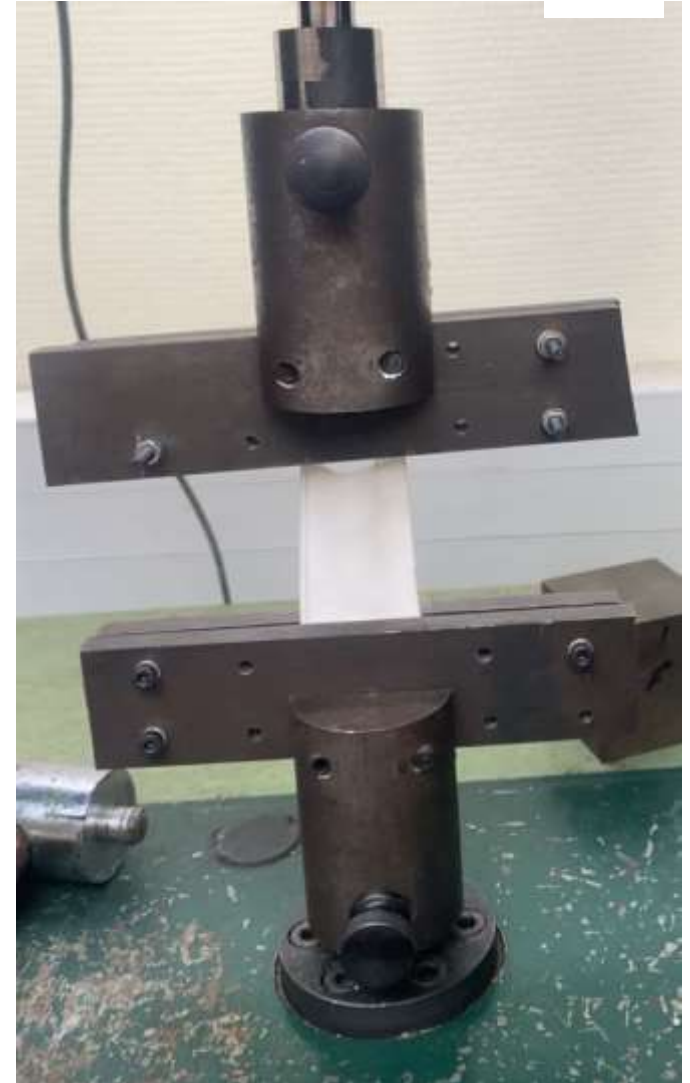
➔ Modification de la pièce avec d'autres



1.B Montage expérimental

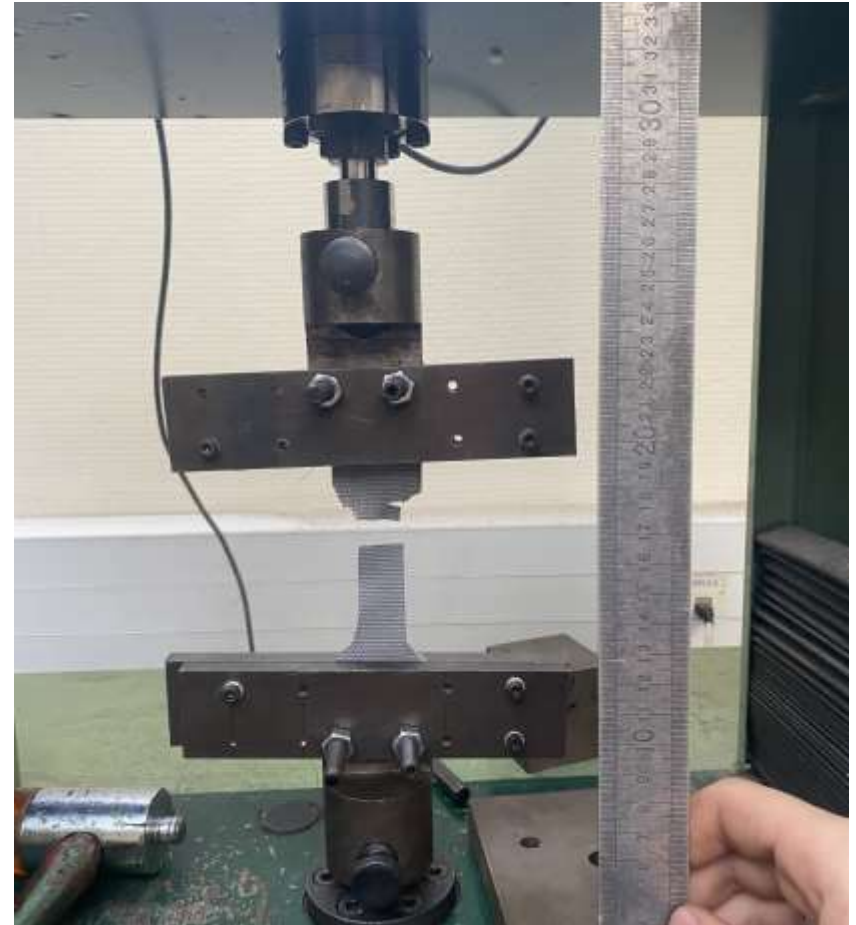
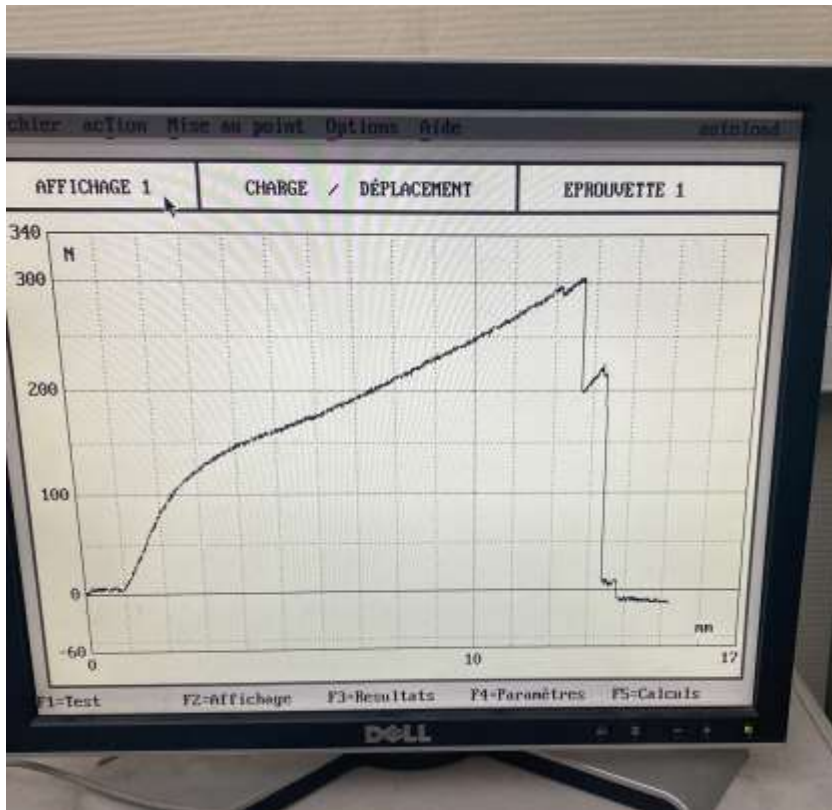
Deuxième échec :
Concentration de
contraintes

➔ Modification de la
géométrie de
l'échantillon



1.B Montage expérimental

Succès



1.C Première conclusion

Matériau	Grandeur	Module d'Young
Dacron		10.3 GPa
Hydranet		2.33 GPa
Membrane		7.3 GPa

2. Deuxième piste : plus qu'une traction

- A. Théorie
- B. Approche numérique / Simulation
- C. Echec des expériences et deuxième conclusion

2.A Théorie

Comment calculer la déformation sur les voiles lors d'une sollicitation?

La voile est soumise à des efforts dits **extérieurs** : le **vent**, les forces avec lesquelles **les cordages tirent sur les coins** de la voile. Il en **résulte** dans le tissu des **efforts** dits **internes**, qui sont susceptibles de faire souffrir la voile, voire de la **déchirer**.

Une étude en **flexion** qui **amène une traction aux trois points d'accroche, mais aussi une traction dans toute la voile ainsi qu'un cisaillement**.

On définit un point M sur la voile, qui **se déplace pour aller en M'**. On définit **le petit déplacement** par $u(M) = OM' - OM$. Les contraintes, qui sont responsables du déplacement de M vers M', sont renseignées dans une matrice 3x3 symétrique réelle. On obtiendra que les valeurs propres sont les maximum et minimum des contraintes, ainsi que ces contraintes sont suivant les vecteurs propres associés

2.A Théorie

La déformation des fibres textiles est caractérisée par le tenseur de déformations :

$$\varepsilon(x, y) = \frac{1}{2} \left(\begin{bmatrix} \tilde{t}_1 \bullet \tilde{t}_1 & \tilde{t}_1 \bullet \tilde{t}_2 \\ \text{sym} & \tilde{t}_2 \bullet \tilde{t}_2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} t_1 \bullet t_1 & t_1 \bullet t_2 \\ \text{sym} & t_2 \bullet t_2 \end{bmatrix} \right)$$

Avec :

$$\vec{t}_1 = \frac{\partial \vec{m}}{\partial x}(x_0, y_0) \quad \text{et} \quad \vec{t}_2 = \frac{\partial \vec{m}}{\partial y}(x_0, y_0)$$

les tangentes aux lignes de coordonnées passant par $m(x_0, y_0)$

et

$$\tilde{\vec{t}}_1 = \frac{\partial (\vec{m} + \vec{u})}{\partial x} \quad \text{et} \quad \tilde{\vec{t}}_2 = \frac{\partial (\vec{m} + \vec{u})}{\partial y}$$

les vecteurs tangents aux lignes de coordonnées de la membrane après déplacement.

2.A Théorie

On peut ensuite en déduire le tenseur des contraintes avec :

$$\forall i, j = 1, 2, 3 \quad \sigma_{i,j}(x) = \sum_{k,l=1}^3 R_{i,j,k,l} \varepsilon_{k,l}(x)$$

Avec les $R_{i,j,k,l}$ des grandeurs spécifiques à chaque matériau, comme le module d'Young

Cela revient finalement aux contraintes de Von Mises, qui prennent en compte la traction-compression dans les deux directions, et le cisaillement.

2.B Approche numérique / Simulation

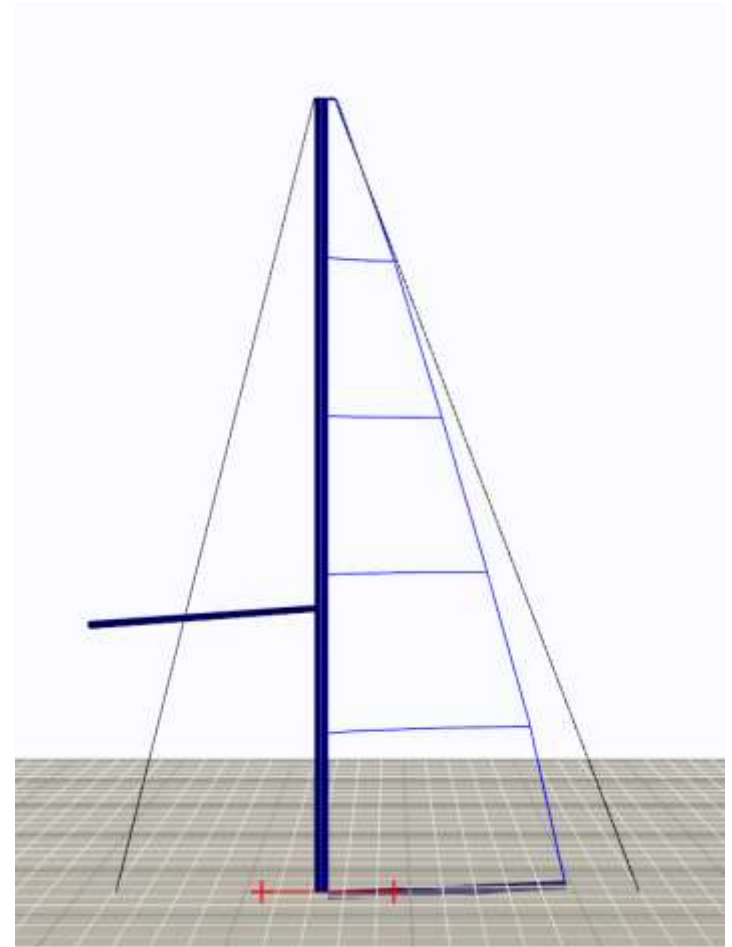
Simulation sur le
logiciel AzureProject

Essais dynamiques avec choix :

- Géométrie de la voile
- Orientation par rapport au vent
- Force du vent
- Matériau
- Coupe de la voile

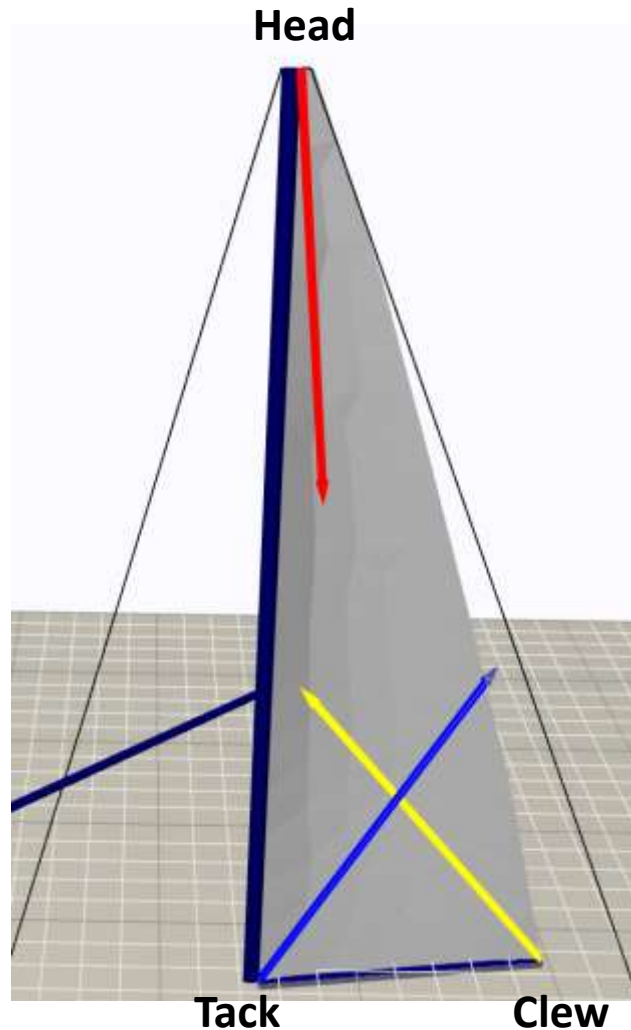
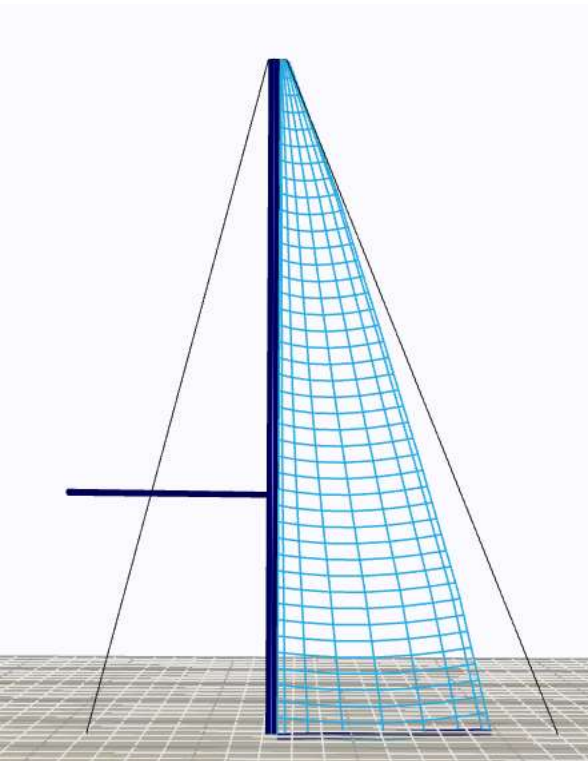
Cadre de l'étude :

- Vent à 45° , là où les efforts sont maximaux dus aux réglages
- Vent réel de 20 nœuds
- Bateau avançant à 10 nœuds
- Voile montée en Cross-cut (voir suite)



2.B Approche numérique / Simulation

Création du maillage,
modélisation coque



Données observées

- ☐ Total Displacement
- ☐ Deformed Mesh
- ☐ Wrinkles
- ☐ Corner Tensions
- ☐ Principal Stress(Vec)
- ☐ Von Mises Stress
- ☒ Von Mises Stress (3D)
- ☐ Strain1 Principal
- ☐ Strain2 Principal

Result Data

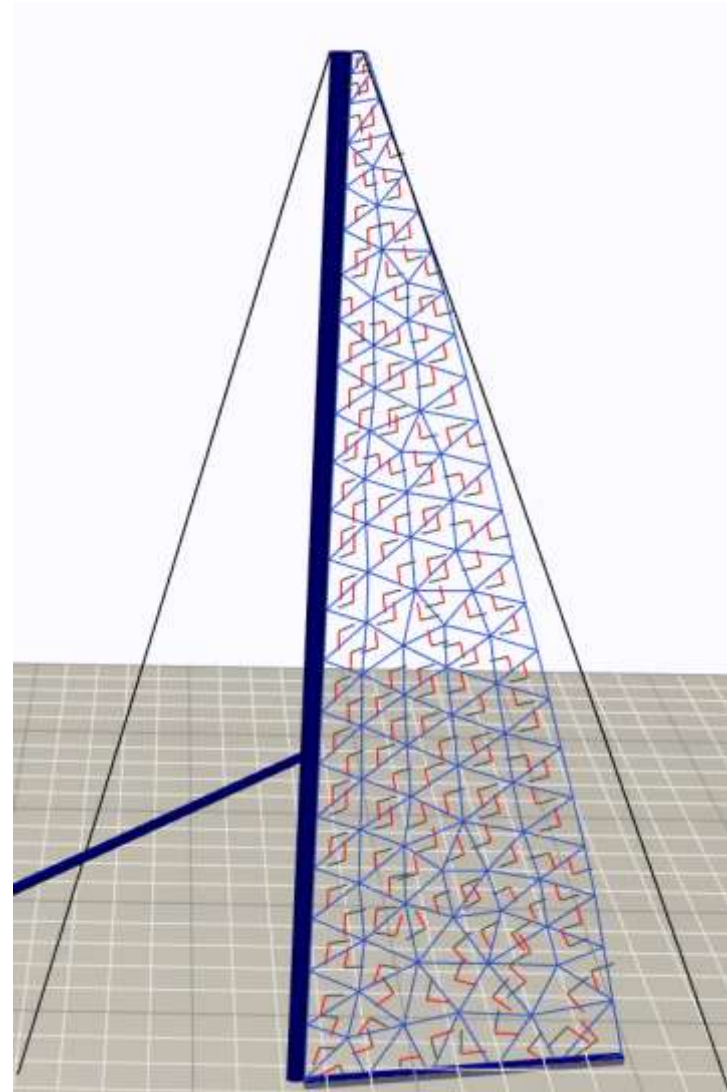
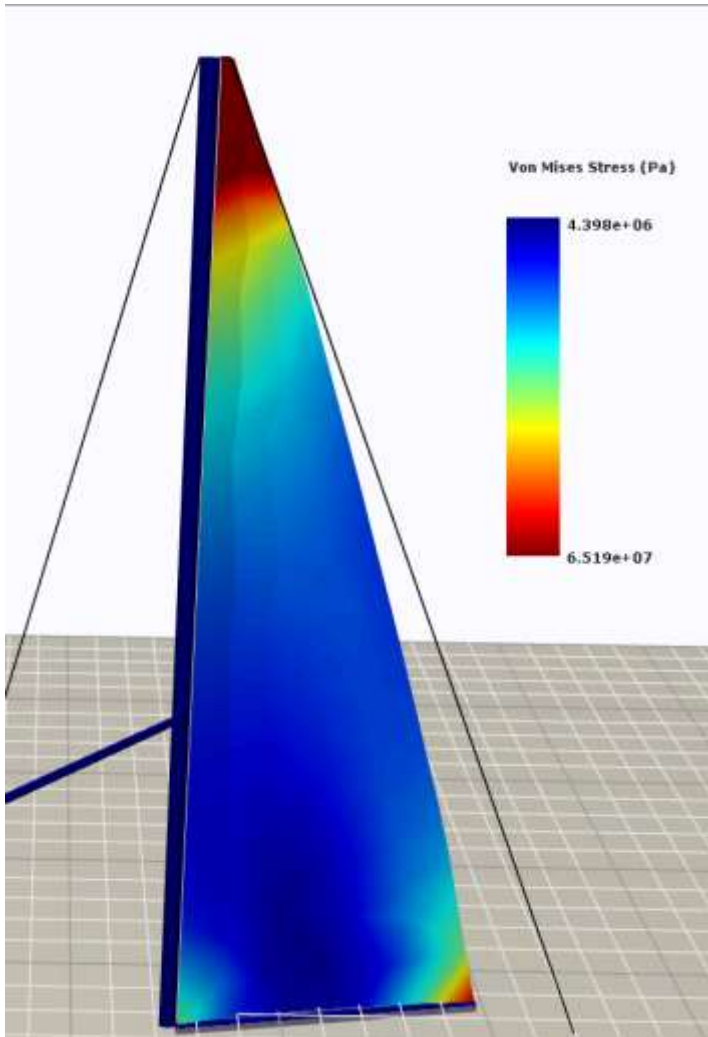
Max Displacement(m)	0.1648 m
Position	0.000,0.000,11.365
Max Stress(MPa)	203.1575 MPa
Position	0.128,0.026,11.085

Corner Loads

	Loads (Newton)	Angle
Tack	4563	39.2
Clew	7619	27.5
Head	9435	7.62

2.B Approche numérique / Simulation

Forme générale des contraintes :



2.B Approche numérique / Simulation

Essai avec Dacron

Result Data		
Max Displacement(m)	0.1151 m	
Position	0.889,0.272,9.348	
Max Stress(MPa)	234.6139 MPa	
Position	0.047,0.010,11.152	
Corner Loads		
	Loads (Newton)	Angle
Tack	4283	42.5
Clew	8106	27.5
Head	9431	7.94

Essai avec Hydranet

Result Data		
Max Displacement(m)	0.1648 m	
Position	0.000,0.000,11.365	
Max Stress(MPa)	203.1575 MPa	
Position	0.128,0.026,11.085	
Corner Loads		
	Loads (Newton)	Angle
Tack	4563	39.2
Clew	7619	27.5
Head	9435	7.62

2.B Approche numérique / Simulation

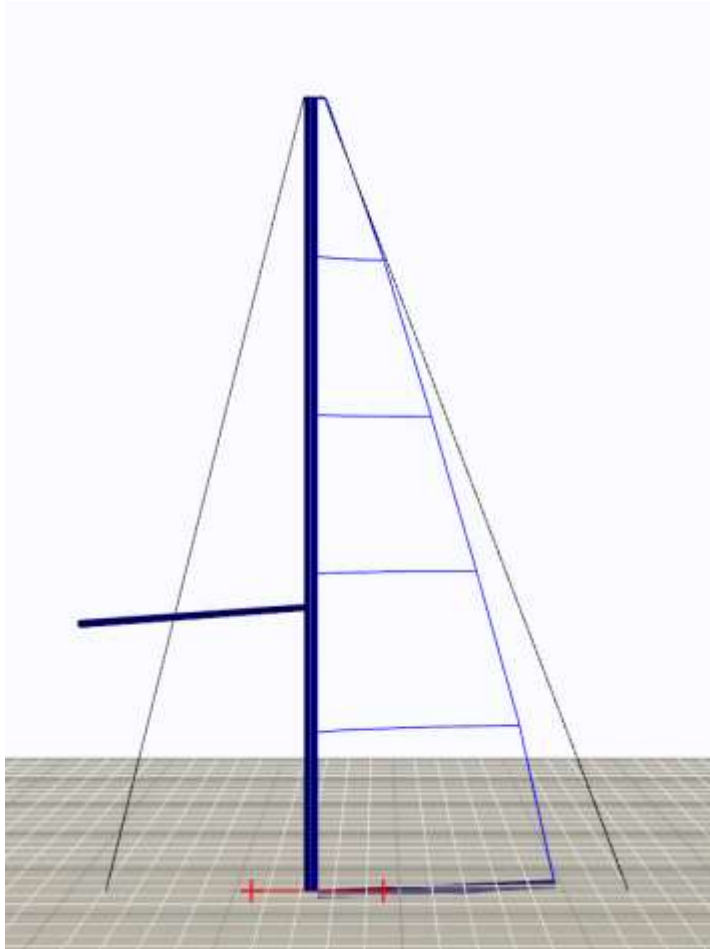
3. Coupes des voiles et autres caractéristiques

- A. Etude des coupes
- B. Théorie sur les revêtements
- C. Conclusion

3.A Etude des coupes

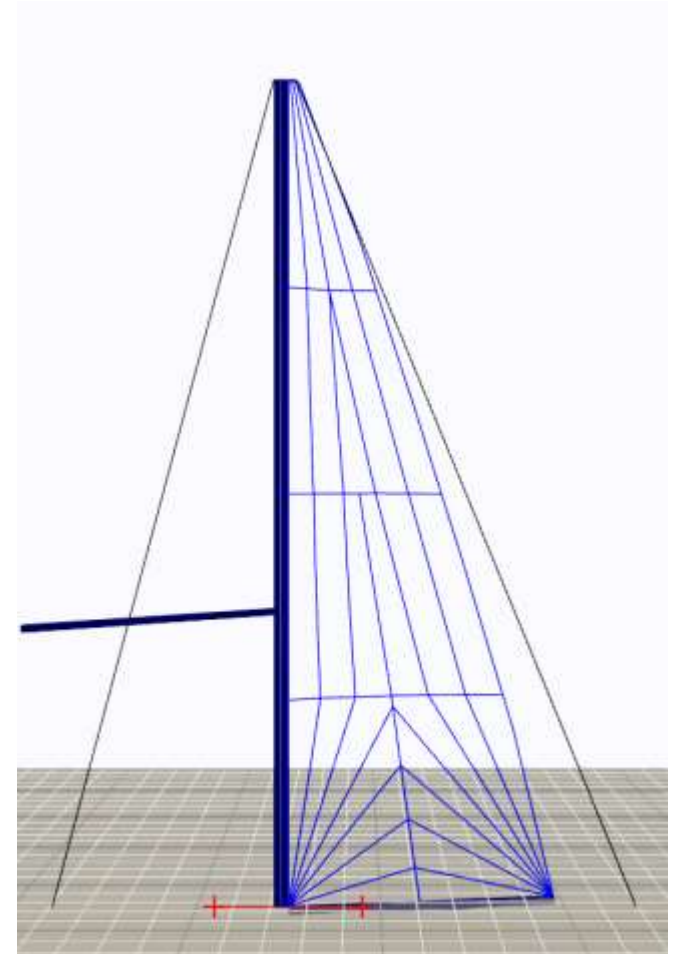
Deux coupes principales

Cross-cut



But : **Accepter** au mieux **les efforts** dans la voile, en fonction de leur **direction**

Triradial



3.A Etude des coupes

Essai avec un seul matériau
pour voir uniquement
l'influence de la coupe

3.B Etude des revêtements

Autres formes de dégradations :

- Contact avec de l'eau salée ou non
- Contact avec les rayons du soleil
- Vieillessement
- Manipulations de la voile
- Ragage

