

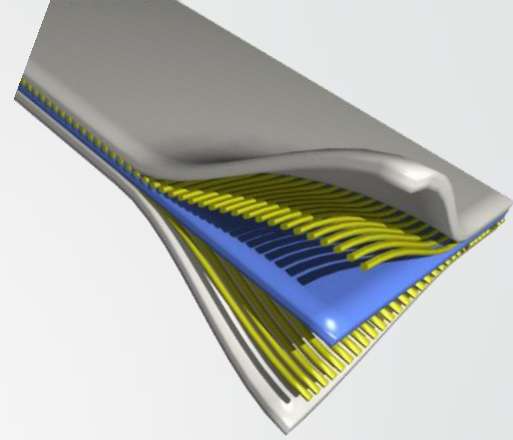
Modélisation des Milieux Hétérogènes Composites

Wassim AMARA

2017/2018

Plan

1. Introduction
2. Problématique et méthodologie adoptée
3. Essais mécaniques de rupture sur des poutres homogènes
4. Procédé de fabrication des poutres composites sandwich
5. Essais mécaniques de rupture sur des poutres composites sandwich
6. Analyses et interprétations des résultats expérimentaux
7. Etude de validation analytique
8. Simulations numériques
9. Conclusion



1. Introduction

- **Matériau composite**

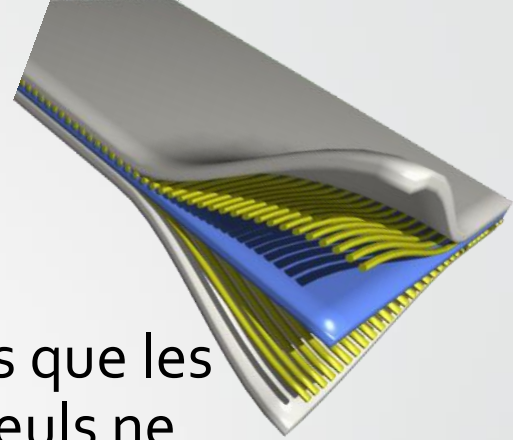
- Hétérogène.
- Milieu composé d'une matrice + un renfort .
- Interaction entre les différents composants
- Zone entre deux matériaux homogènes différents appelée interface.
- Différents mécanismes de rupture suite à un chargement.

- **Utilisation**

- Divers domaines : aéronautique, automobile, construction navale, génie civil, etc.

- **Pourquoi ?**

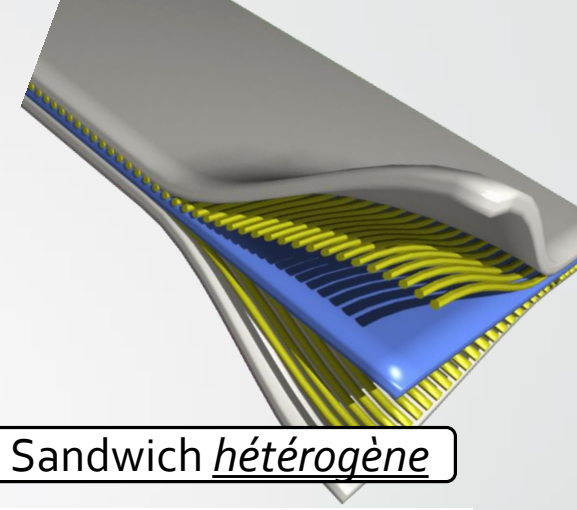
- Des propriétés que les composants seuls ne possèdent pas
- Légèreté
- Rigidité et résistance
- Facilité de mise en œuvre



La construction de l'A380 fait appel à des matrices organiques renforcées de fibres de verre



2. Problématique et méthodologie adoptée



Poutre homogène



-

Essai de flexion 4 points

Charge à la rupture

Caractérisation de la rupture

Poutre composite Sandwich hétérogène



Mise en œuvre

Essai de flexion 4 points

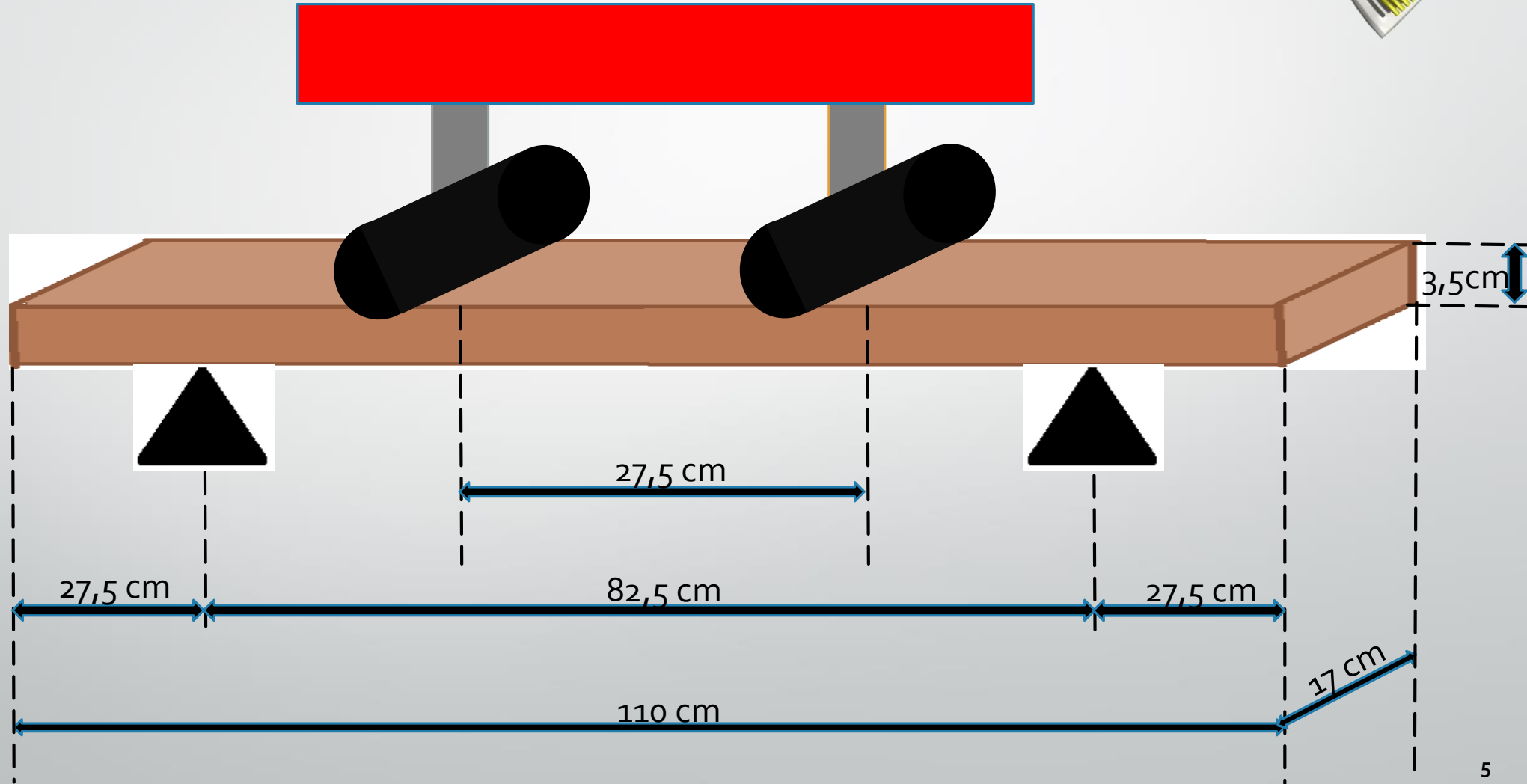
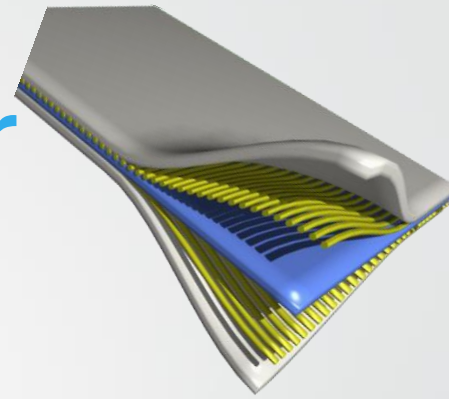
Charge à la rupture

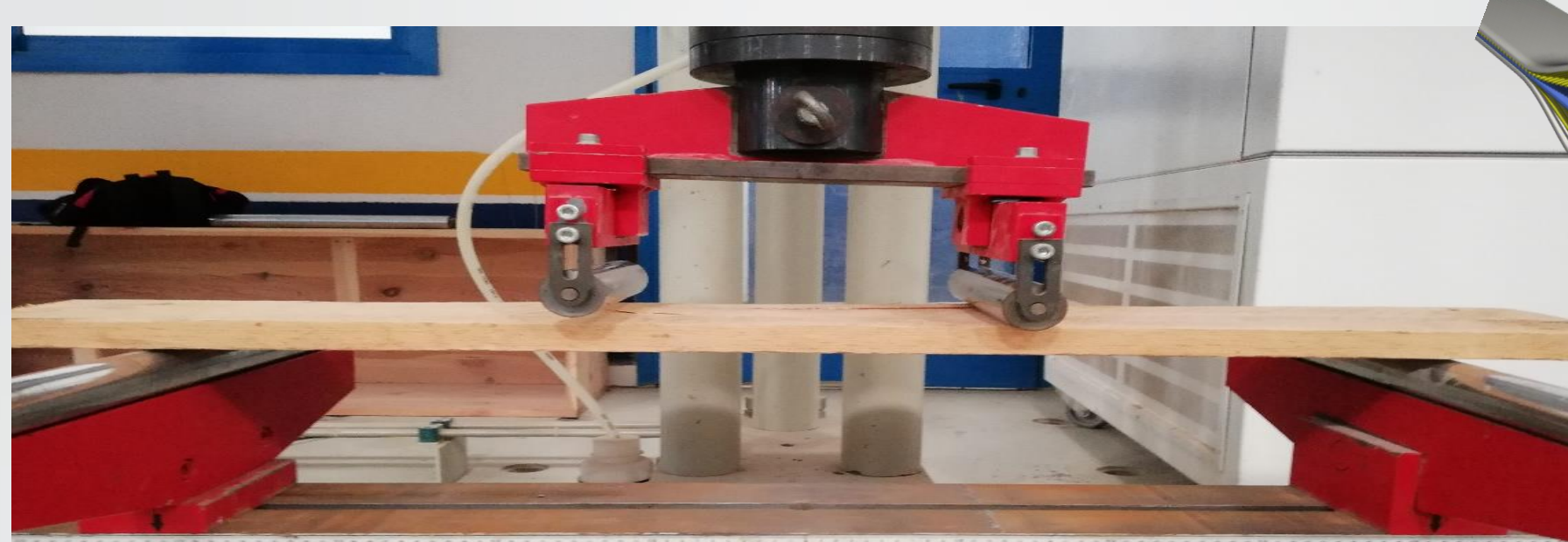
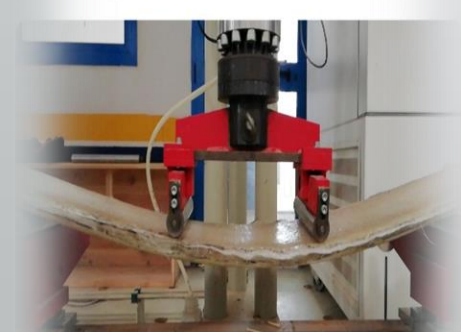
Caractérisation de la rupture

Comparaison des résistances et des mécanismes de rupture



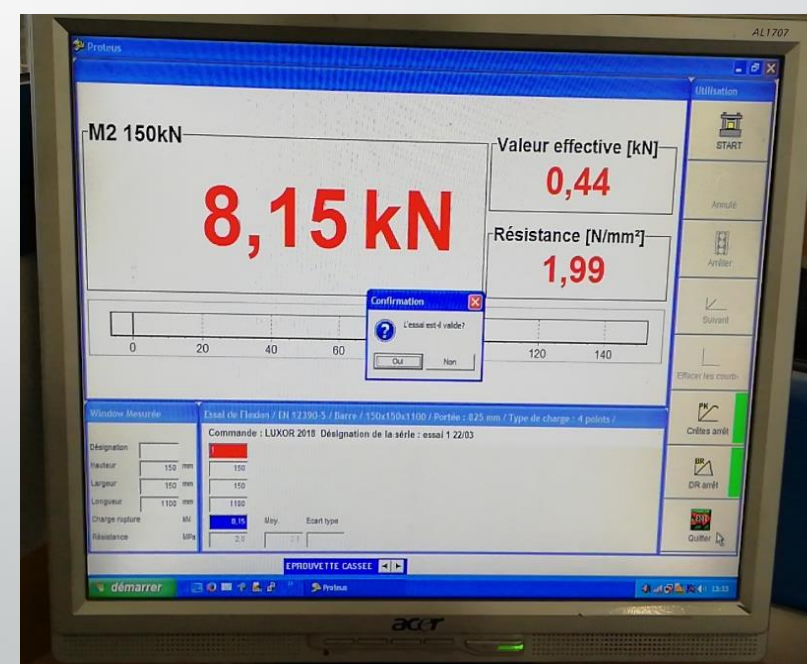
3. Essais mécaniques de rupture sur des poutres homogènes





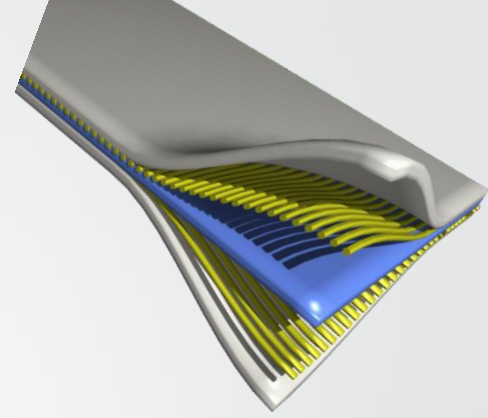
Rupture

Charge de rupture



4. Procédé de fabrication des poutres composites sandwich

- **Etape 1:** Préparation du renfort :



Fibres de verre type MAT



Forme voulue

- **Etape 2:** Préparation de la matrice :



Durcisseur

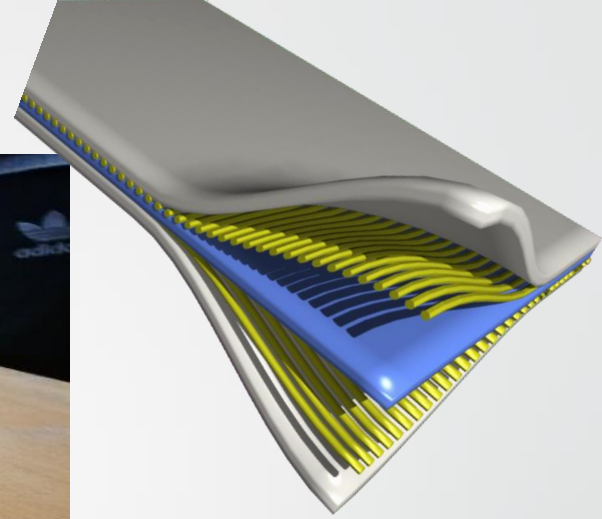
Résine époxy



3% de durcisseur (30mL)



1L de résine époxy



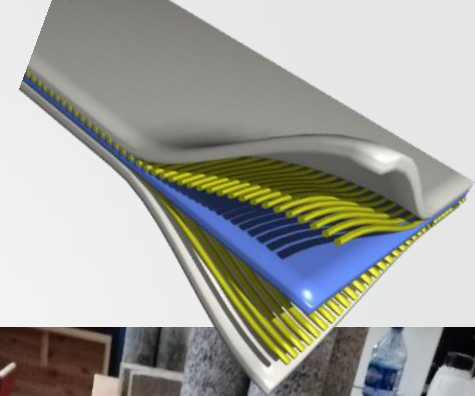
• Etape 3: Préparation du matériau composite :

- Matériel utilisé



Rouleau de peinture

Débulleur



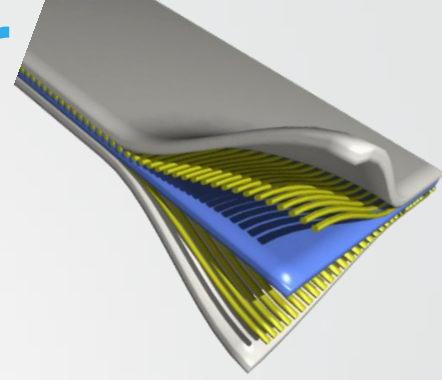
■ ■ ■
Répétition
du même
procédé 4
fois pour
chaque
face

Préparation de la première couche



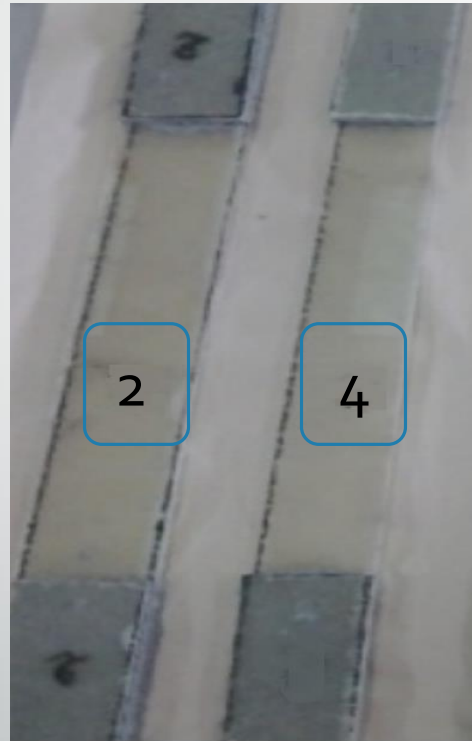
Matériau multicouche
fabriqué

5. Essais mécaniques de rupture sur des poutres composites sandwich

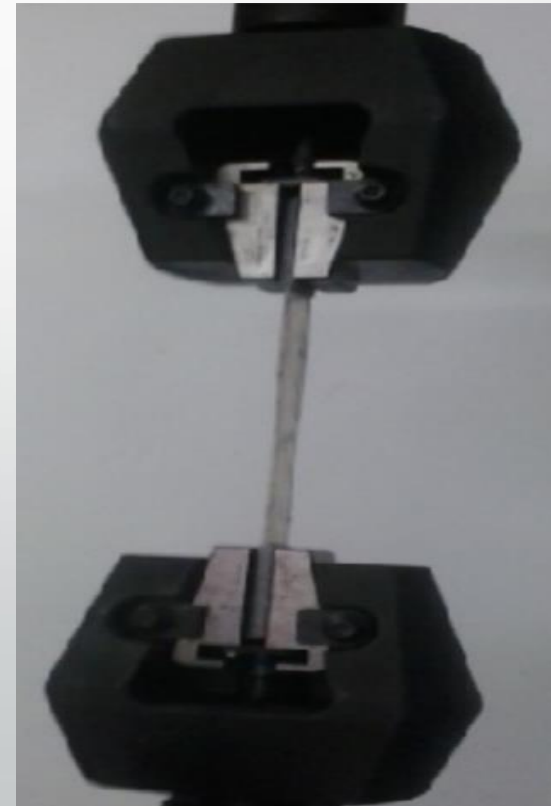
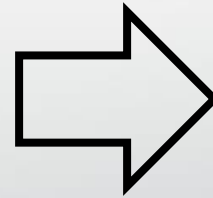


Question : Pourquoi 4 couches ?

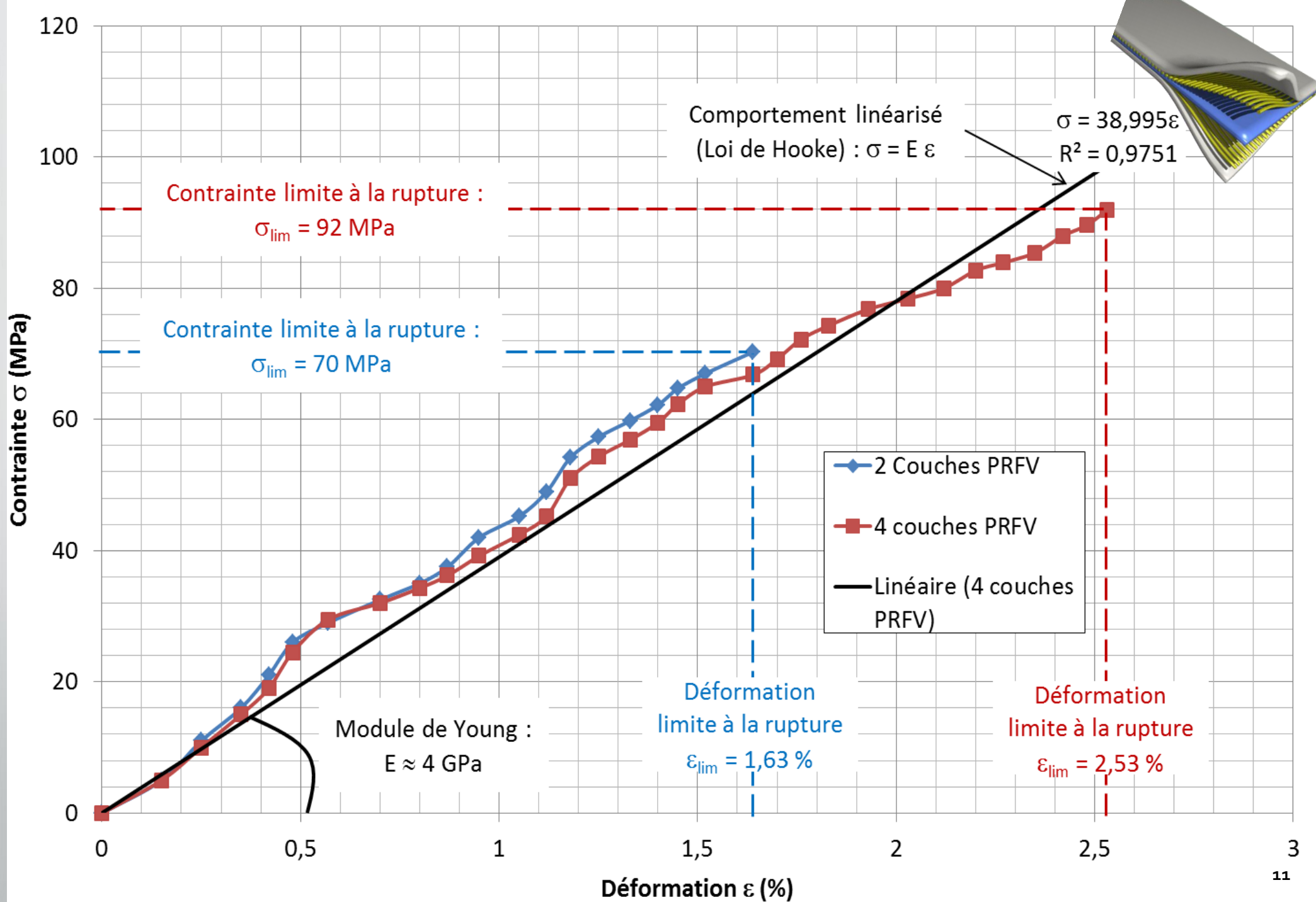
- Essai de traction
 - Calcul de la résistance à la traction du Polymère Renforcé aux fibres de Verre (PRFV) en fonction du nombre de couches :



Echantillons à 2 couches et à 4 couches

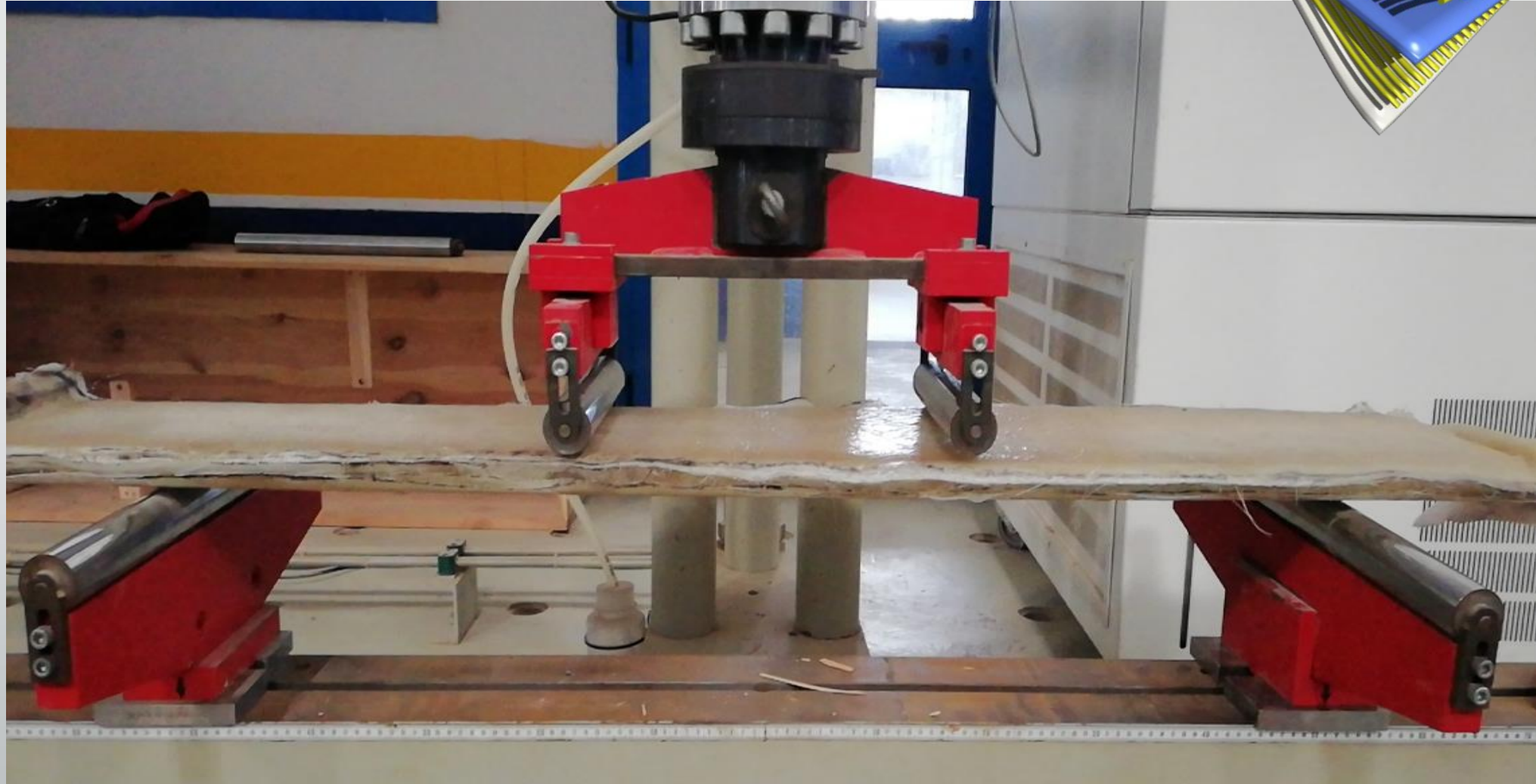
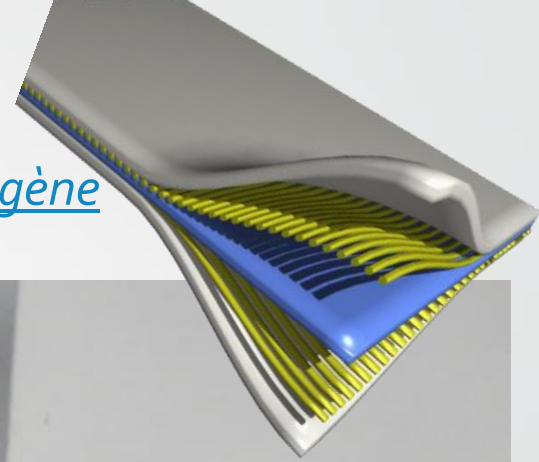


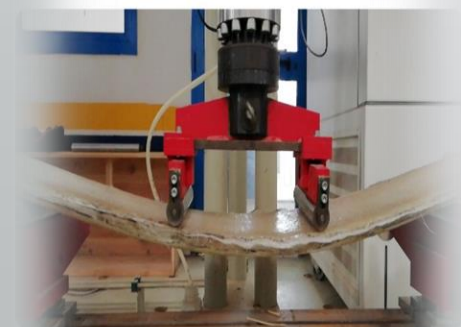
Essai de traction



- Flexion 4 points de la poutre sandwich

- Poids de la structure sandwich \approx poids de la poutre homogène





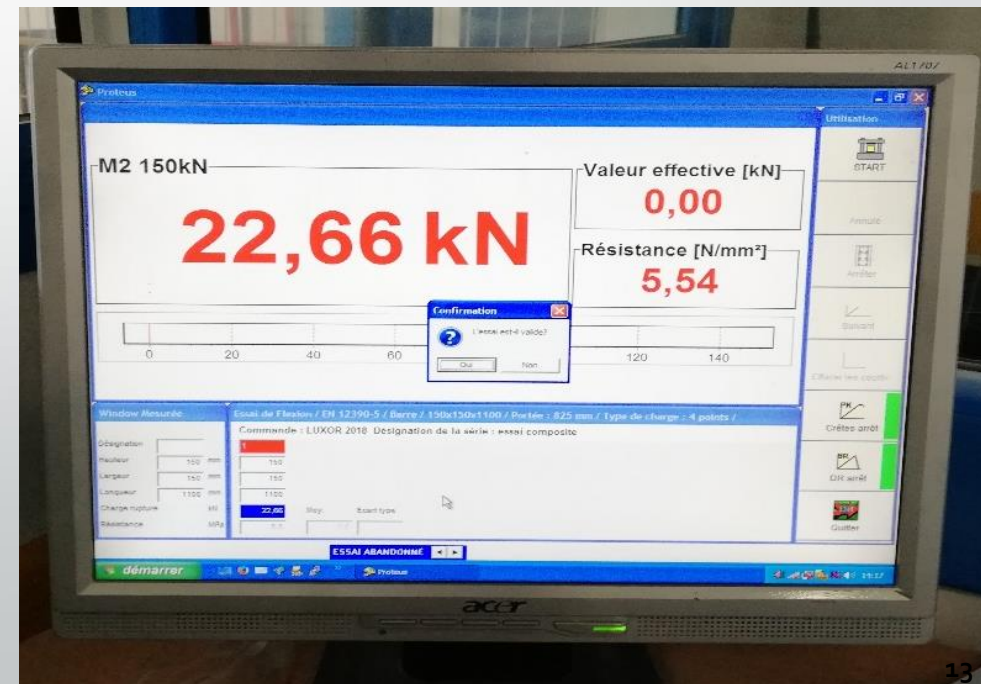
Rupture



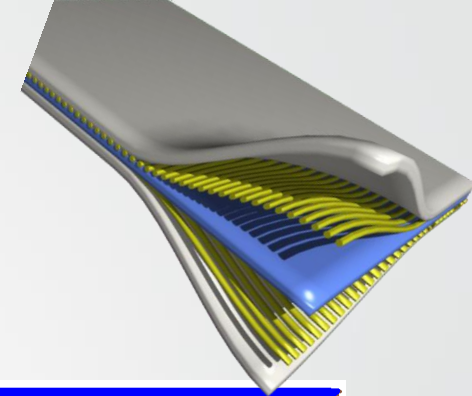
ZOOM



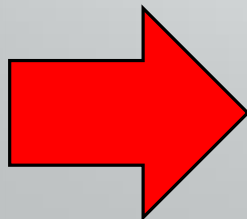
Force de rupture



6. Analyses et interprétations des résultats expérimentaux



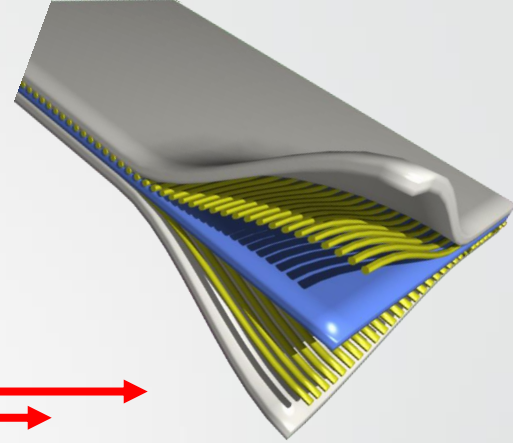
	Poutre <u>homogène</u>	Poutre composite
Charge à la <u>rupture</u>	8,15 kN	22,66 kN
Type de l'endommagement	Endommagement total	Endommagement partiel de la face inférieure du noyau
Mécanisme de <u>rupture</u>	Général	Localisé <ul style="list-style-type: none">• Au niveau de l'<u>interface</u> bois/couches inférieures PRFV• Au niveau des couches inférieures PRFV



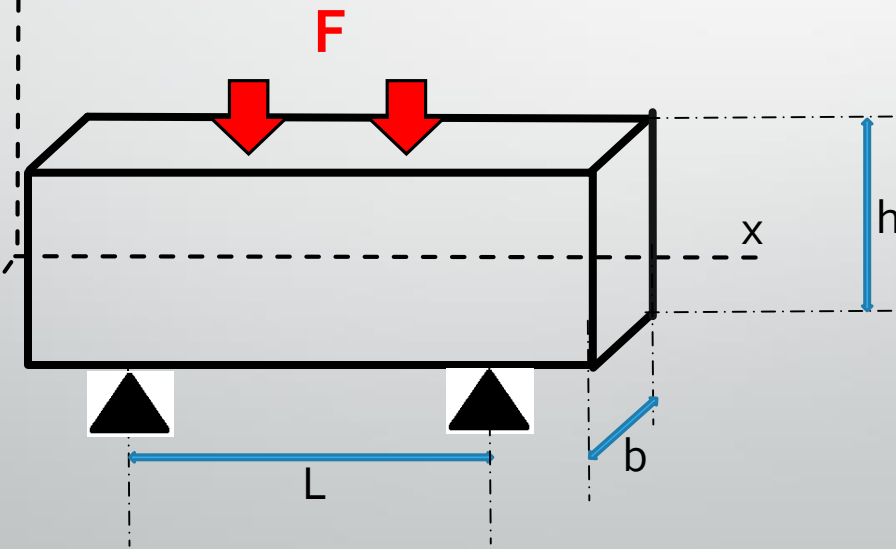
Le renforcement de la poutre avec du PRFV augmente sa résistance à la rupture de 2,8 fois sa valeur initiale

7. Etude de validation analytique

- Lors de la flexion de la poutre :



➔ On peut définir la contrainte normale* à mi-portée de la poutre en tout point y comme suit : $\sigma = \frac{M_f}{I_z} \times y$ avec $\begin{cases} M_f: \text{Moment fléchissant} \\ I_z: \text{Moment quadratique} \end{cases}$



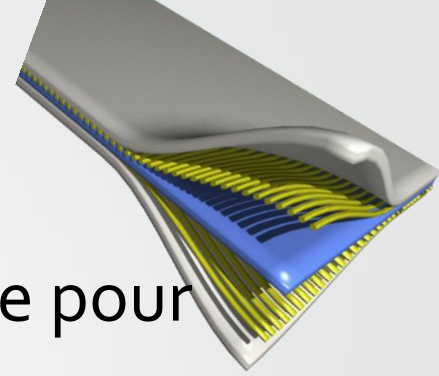
$$I_z = \frac{bh^3}{12}$$

$$M_f = \frac{FL}{3}$$

$$y = \frac{h}{2}$$

$$\sigma = \frac{2FL}{bh^2}$$

* Jacques Fauchart, Initiation au calcul des structures, Cours de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Eyrolles, 1981



- On atteint la rupture pour $\sigma = \frac{2F_{\text{rupture}}L}{bh^2} = \sigma_{\text{lim}}$
- $\sigma_{\text{lim}}^{\text{Bois}} = 60 \text{ MPa} \rightarrow F_{\text{rupture}}^{\text{Bois}} = 7,57 \text{ kN}$
- On utilise la méthode d'homogénéisation simplifiée pour déterminer la force de rupture du composite:

$$S^{\text{Sandwich}} \times \sigma_{\text{lim}}^{\text{Sandwich}} = S^{\text{Bois}} \times \sigma_{\text{lim}}^{\text{Bois}} + S^{\text{PRFV}} \times \sigma_{\text{lim}}^{\text{PRFV}} \quad (1)$$

$$\text{On pose } \alpha = \frac{S^{\text{Bois}}}{S^{\text{Sandwich}}}$$

$$\text{D'où (1) s'écrit : } \sigma_{\text{lim}}^{\text{Sandwich}} = \sigma_{\text{lim}}^{\text{Bois}} \times \alpha + \sigma_{\text{lim}}^{\text{PRFV}} \times (1-\alpha)$$

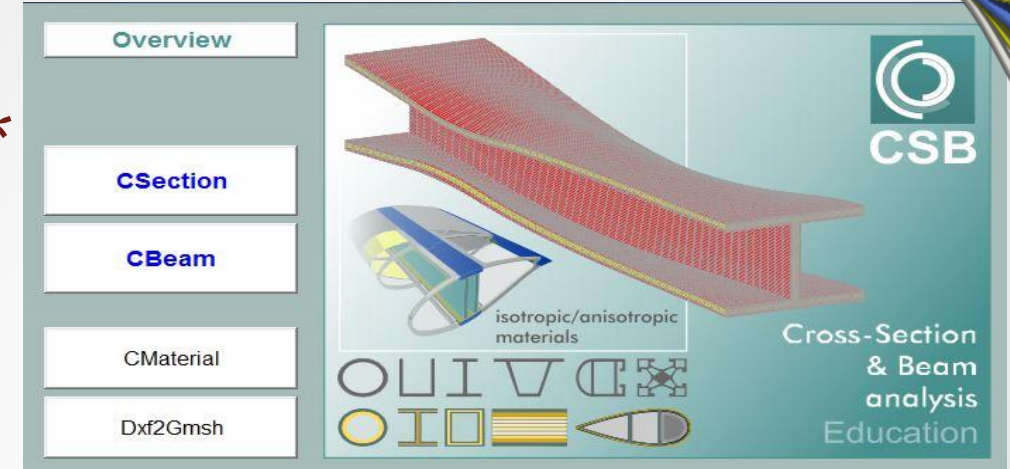
- Application numérique : $\alpha = 0,74$ / $\sigma_{\text{lim}}^{\text{PRFV}} = 92 \text{ MPa}$

$$\rightarrow F_{\text{rupture}}^{\text{Sandwich}} = 15,13 \text{ kN} < F_{\text{rupture}}^{\text{Sandwich}} (\text{experimentale})$$

* Ce modèle suppose une adhérence parfaite au niveau de toutes les interfaces de la poutre sandwich \Rightarrow Ce modèle est incapable de prédire un mécanisme de rupture localisé au niveau des interfaces.

8. Simulations numériques

- Utilisation du logiciel CSB*



- Définition des dimensions de la géométrie projetée selon le plan (x,y)
- Extrusion selon l'axe z
- Définition de la finesse du maillage vu que le logiciel utilise la méthode des éléments finis
- Choix et définition des matériaux qui constituent la poutre
- Définition des appuis de la poutre (Blocage de toutes les translations possibles)
- Choix de la norme, la direction et le sens des forces appliquées sur la poutre.

*Rached El Fatmi, A novel tool for composite beam computations, JEC ,Composites Magazine, N° 50, Issue 85, p. 54-56, 2013

- Cas de la poutre homogène



CBeam File Windows Tools Edit-Result Help

CBeam axes 1Dnodes beam(3D) SOLVE: **SVBT** RBT/SV RBT

SVBT-Results

1D-Disp/Reac

1D-Int. Forces

Tx Mx
Ty My All
N Mt

1D-Displac.

Ux Rx
Uy Ry All
Uz Rz

3D-Displacements

Displacement

ampl. 1

anime

3D-Stresse

Sxx Sxy Sxz
Sxy Syx Syz Mis
Sxz Syz Szz Tau

☐ Z-Curve n(S)
☒ S-Field Z-coor.

Local-Disp-Strain-Stress

n(S) n(z)

Beam(z)

Valid. discr. 0.5 d(S)

Zi	nd	Z
0	1	0
275	2	86.7828
550	3	178.4494

Show

Other Data

gx gy g:
gravity < III > Omega/(O.y) 0 Valid.

Loading and Boundary Conditions

Force Reset Valid. Show

n(...	n(...	fx	fy	fz	I/O
4	11	0	-8150	0	<input type="checkbox"/>
7	11	0	-8150	0	<input type="checkbox"/>

Force/length Reset Valid. Show

n1(...	n2(...	n(...	fx	fy	fz	I/O
						<input type="checkbox"/>
						<input type="checkbox"/>

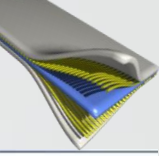
Force/area Reset Valid. Show

n1(...	n2(...	ed(...	fx	fy	fz	I/O
						<input type="checkbox"/>
						<input type="checkbox"/>

Displacement Reset Valid. Show

n(...	Ux	Uy	Uz	Rx	Ry	Rz	SD
1	0	0	0			0	<input type="checkbox"/>
10	0	0	0				<input type="checkbox"/>

• Cas de la poutre composite sandwich



CBeam File Windows Tools Edit-Result Help

CBeam axes 1Dnodes beam(3D) SOLVE: **SVBT** RBT/SV RBT

SVBT-Results

1D-Disp/Reac

1D-Int.Forces

Tx Mx
Ty My All
N Mt

1D-Displac.

Ux Rx
Uy Ry All
Uz Rz

3D-Displacements

Displacement

ampl. 1

anime

3D-Stresse

Sxx Sxy Sxz
Sxy Syy Syz Mis
Sxz Syz Szz Tau

☐ Z-Curve n(S)
☒ S-Field Z-coor.

Local-Disp-Strain-Stress

n(S) n(z)

Beam(z)

Valid. discr. 0.5 d(S)

Zi	nd	Z
0	1	0
275	2	88.1887
550	3	179.8554

Show

Other Data

gravity gx gy g: Omega/(O,y) 0 Valid.

Loading and Boundary Conditions

Force Reset Valid. Show

n(...	n(...	fx	fy	fz	I/O
4	243	0	-22660	0	<input type="checkbox"/>
7	243	0	-22660	0	<input type="checkbox"/>

Force/length Reset Valid. Show

n1(...	n2(...	n(...	fx	fy	fz	I/O
						<input type="checkbox"/>

Force/area Reset Valid. Show

n1(...	n2(...	ed(...	fx	fy	fz	I/O
						<input type="checkbox"/>

Displacement Reset Valid. Show

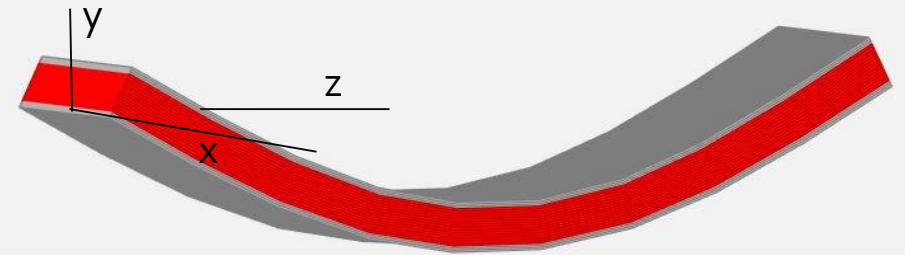
n(...	Ux	Uy	Uz	Rx	Ry	Rz	SD
1	0	0	0			0	<input type="checkbox"/>
10	0	0	0				<input type="checkbox"/>

Résultats des simulations numériques

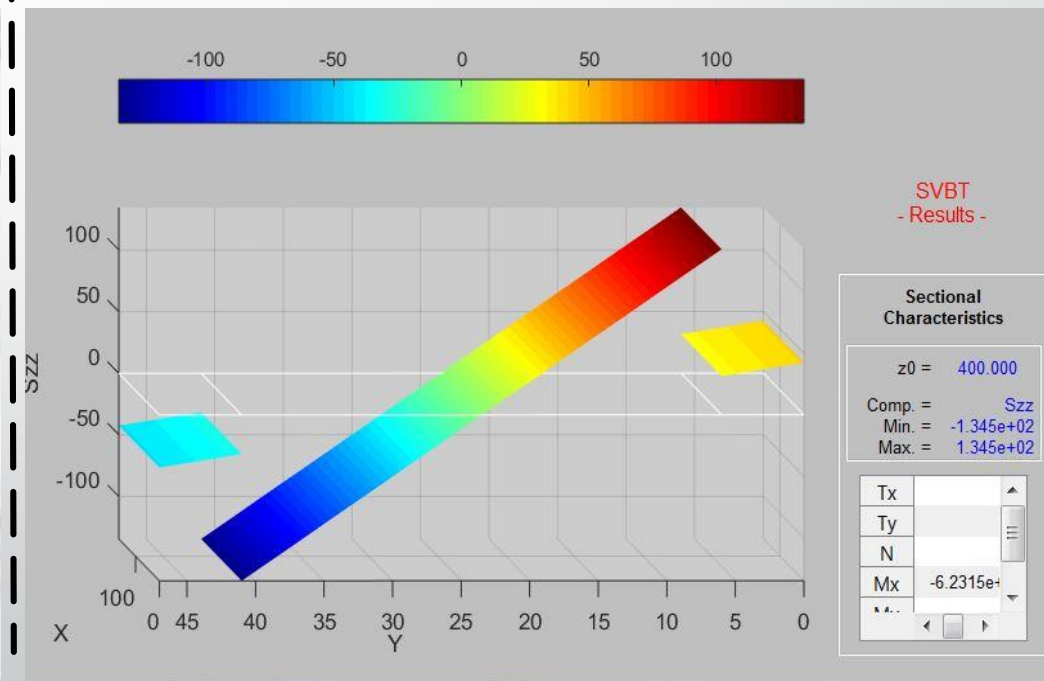
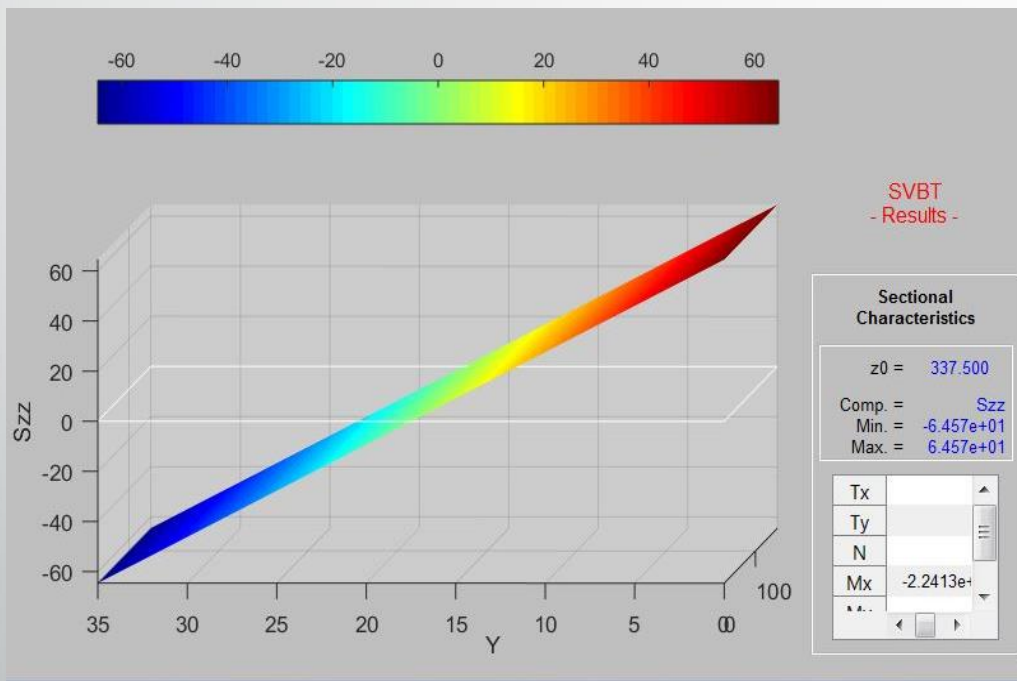
Poutre *homogène*



Poutre composite sandwich

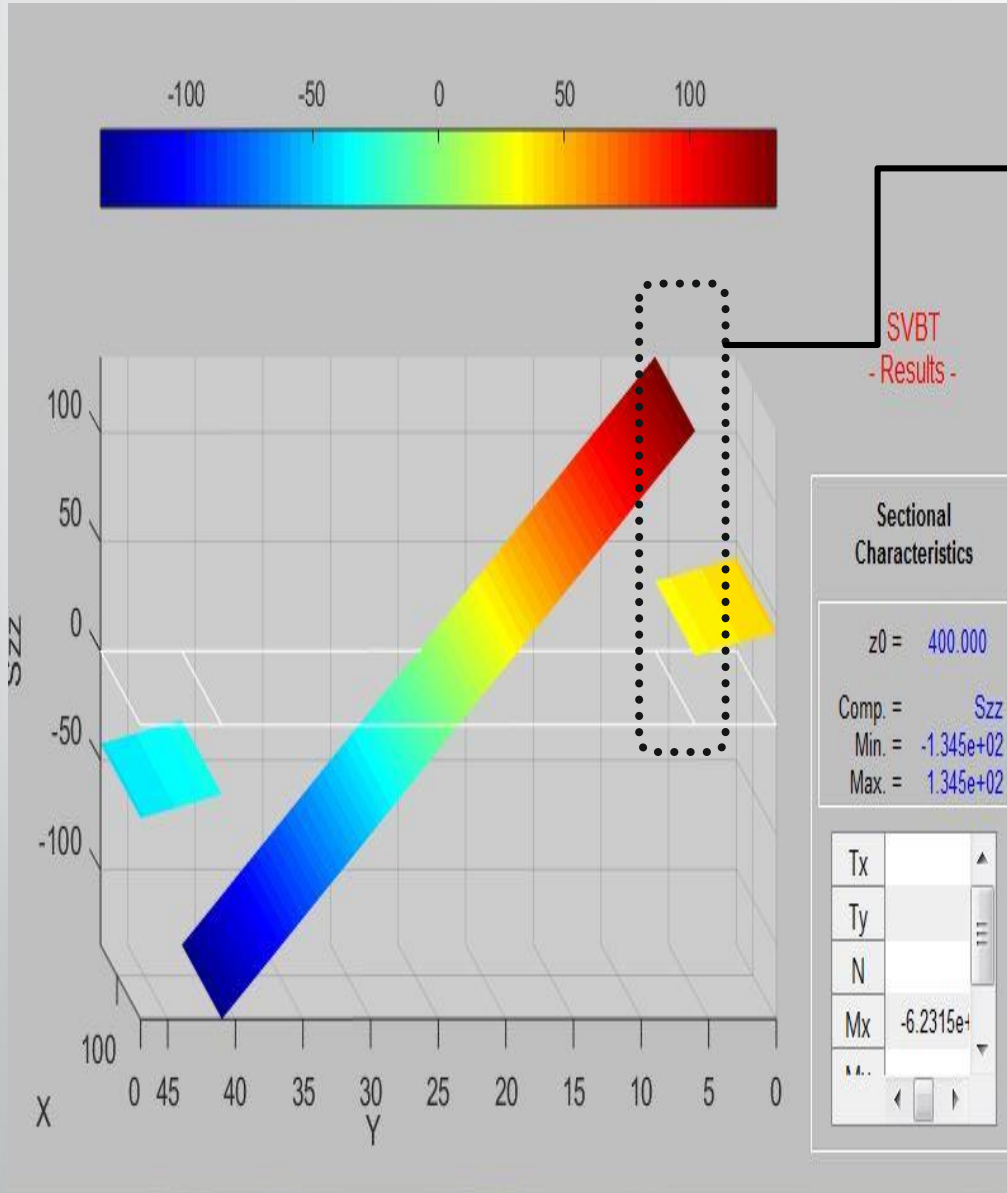
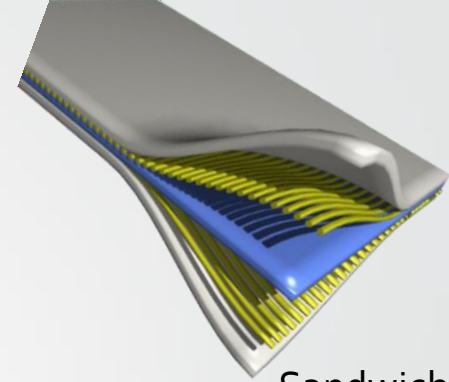


Les déformées des deux poutres



L'évolution de la contrainte σ (MPa) en fonction de y (mm) au niveau d'une section à mi-portée.

- **Analyse et observation :**



○ $\sigma_{\max}^{\text{Sandwich}}$ (atteinte au niveau de l'interface) $> \sigma_{\lim}^{\text{Sandwich}}$
 \Rightarrow Rupture

○ Discontinuité de la contrainte au niveau de l'interface PRFV-Bois.

Ceci est dû à l'hétérogénéité de la structure et traduit la rupture à l'interface.



9. Conclusion

C: poutre composite sandwich / H: poutre homogène

<u>Rupture</u> / Modèle	Expérimental		Analytique		Numérique
Force de <u>rupture</u>	C : 22,66 kN	H : 8,15 kN	C : 15,13 kN	H : 7,57 kN	-
<u>Rupture</u> à l' <u>interface</u>	×		-		×

- Avantages des matériaux composites
- Avantages académiques de mon TIPE



Merci de votre attention