

## TD 8 MA12

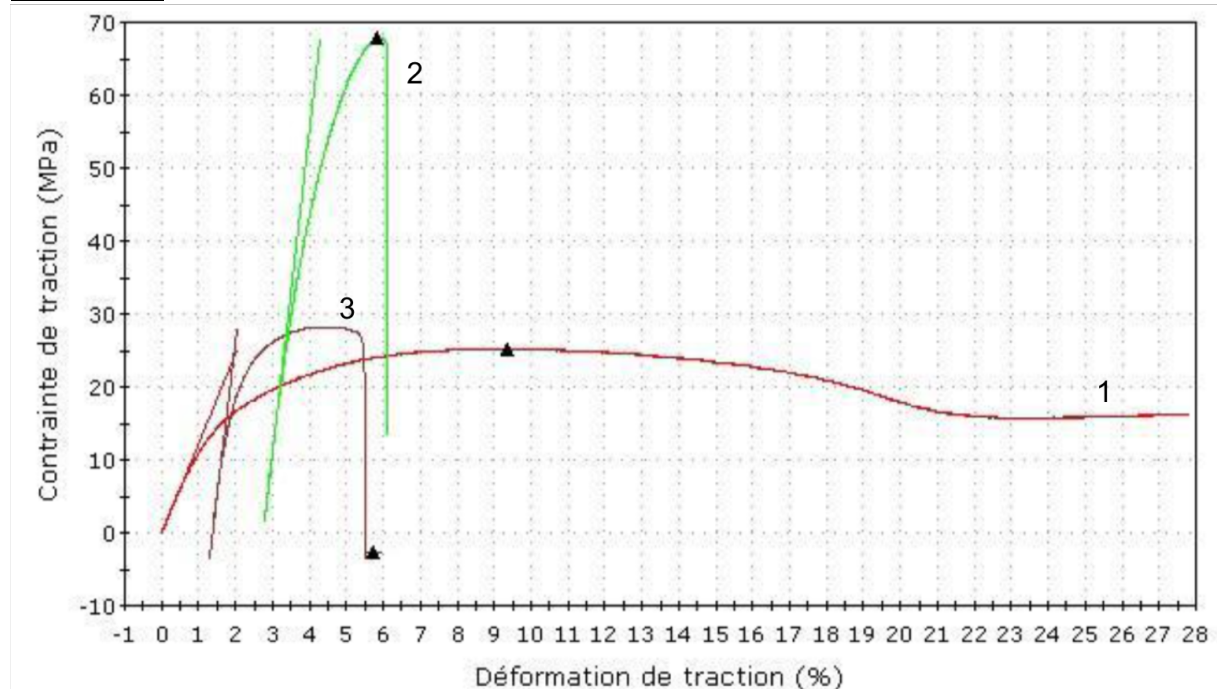
### Rhéologie et mécanique des composites

#### Exercice 1 :

Nous considérons une tige verticale de longueur 1m et de diamètre 10mm ayant une masse de 10kg suspendue à son extrémité. Sa viscosité dynamique est de  $10^{12}$  PI.

- 1) Rappeler les lois de contrainte du ressort et de l'amortisseur
- 2) Considérons un modèle de Kelvin-Voigt. Décrire la déformation et la complaisance au cours du temps.
- 3) Tracer l'allongement en fonction du temps.  $E=1$  GPa. Au bout de combien de temps l'allongement se stabilise ?
- 4) Considérons un modèle de Poynting-Thomson. Décrire la déformation et la complaisance au cours du temps
- 5) Tracer l'allongement en fonction du temps.  $E_0=1.3$  GPa et  $E_1=4.3$  GPa. Au bout de combien de temps l'allongement se stabilise ?
- 6) Quelles sont les avantages et inconvénients de chaque modèle ?

#### Exercice 2 :



- 1) Mettre en œuvre un modèle de St Venant à 6 étages permettant de décrire la courbe 1

#### Exercice 3 : Polymérisation d'une résine Époxyde

Pour des applications de type automobile, il est demandé des cadences rapides avec des investissements raisonnables.

L'expérience du moulage en compression des lames de ressort a montré qu'avec des préimprégnés époxydes et une épaisseur de 24mm, les cycles sous presse était de l'ordre de 12 min (30s/mm), avec un taux de renfort volumique en fibre de verre de 55%. Avec des temps plus courts, le cœur de la lame présente une carbonisation plus ou moins importante.

La cause provient de l'exothermie due à la réaction des groupements époxydes. La libération de chaleur est environ de 100kJ/mol d'oxygène, d'après une mesure DSC. Cette énergie correspond à l'ouverture du cycle réagissant par polymérisation.

Sur cette base, 450g de résine époxyde DGEBA ( $M=190$ g/mol) est mélangé à un 50g de durcisseur DETA.

- 1) Calculer la montée théorique en température
- 2) Comment réduire cette augmentation ?

Données :

$C_p = 1255 \text{ J/kg/K}$

Pour 100g, la température observée est de :

Température de moulage (°C)	Temps du pic exothermique (min)	Température mesurée (°C)
20	50	110
38	16	150
50	8	162
65	4	180
85	1	200

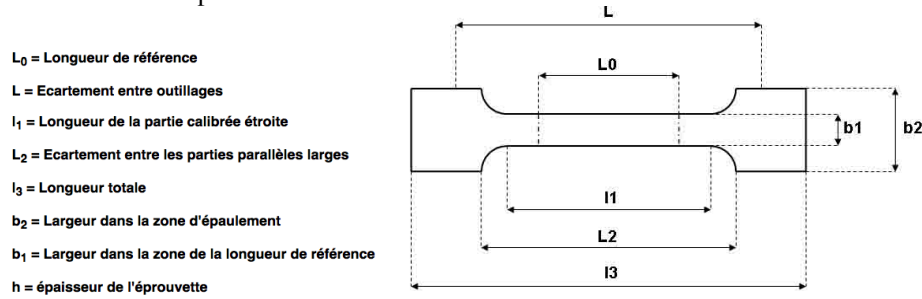
#### Exercice 4 :

Soit trois éprouvettes standard ISO 3167 type A

- Polypropylène
- Polypropylène + 20% fibres de verre
- Polypropylène + 20% talc

Nous étudions la résistance mécanique de ces éprouvettes.

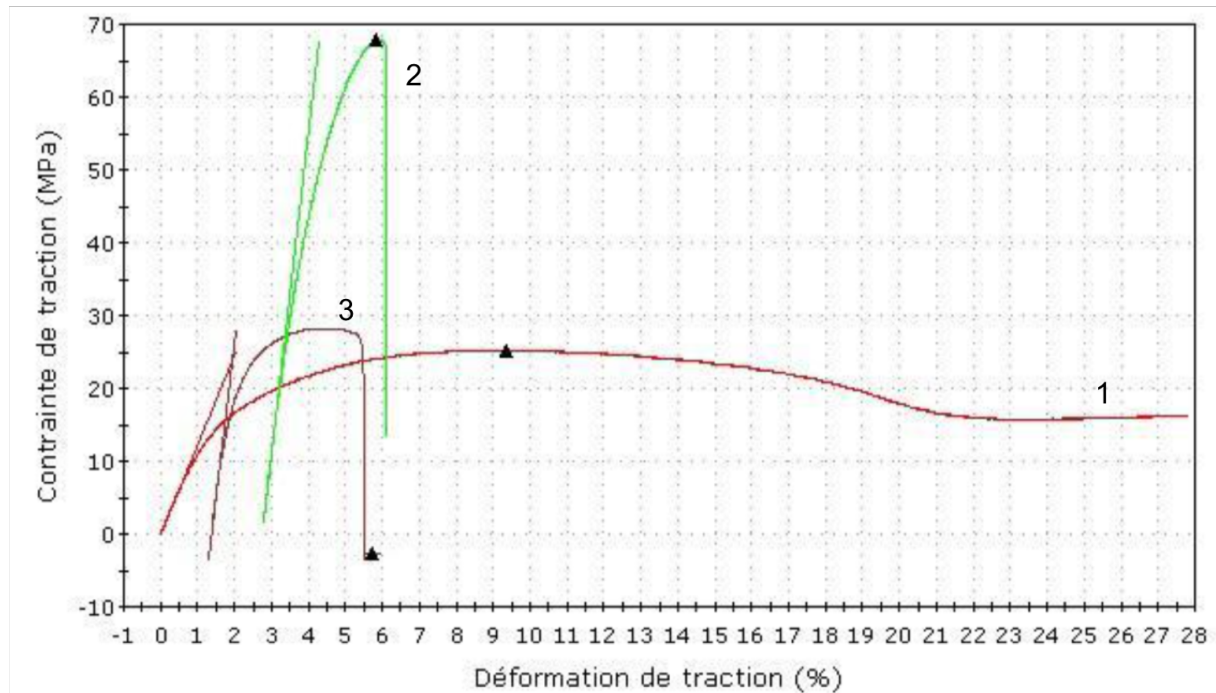
Dimensions des éprouvettes de traction :



L3	L1	B2	B1	H (épaisseur)
150mm	80mm	20mm	10mm	4mm

#### Essais de traction

vitesse 5mm/min



Légende :

- 1 Polypropylène (0,86g/cm<sup>3</sup>)
- 2 Polypropylène + 20% fibres de verre (1,01 g/cm<sup>3</sup>)
- 3 Polypropylène + 20% talc (1,13 g/cm<sup>3</sup>)

- 1) Analyser et commenter les courbes. Identifier les différentes zones et en déduire le comportement des matériaux.
  - 2) Déterminer les caractéristiques mécaniques principales pour chacun des essais (E, Re, Re<sub>0,2</sub>, Rm, E<sub>élastique</sub>, E<sub>max</sub>)
  - 3) Quelle masse peuvent supporter les éprouvettes avant de rompre ?
  - 4) Lors de la striction, on peut observer un dégagement de chaleur. Pourquoi ?
  - 5) Calculer le coefficient de poisson pour les trois matériaux. Qu'en déduisez-vous ? \* à Rm
- Données : PP : l=1,97mm PP+fibres : l=9.95mm ; PP+talc : l=9,85mm
- 6) Afin de prédire le module d'Young d'un composite, il existe différents modèles.

Loi des mélanges

Équations de Halpin-Tsai

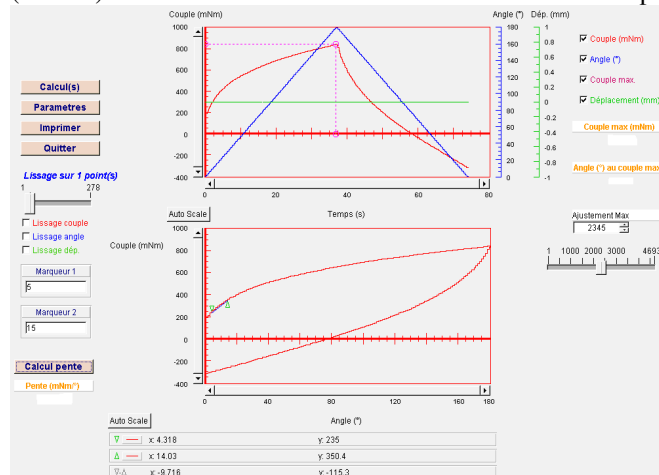
Calculer le module d'Young obtenu à l'aide de ces différents modèles et déterminer celui qui correspond le mieux à la réalité. En déduire la taille des fibres de verres et leur rapport d'aspect. Qu'en est-il du composite au talc ?

7) Conclure sur cette première étude. Comparer le gain performance / masse

## Essais de torsion

Taille des éprouvettes : L=63mm ; h=4mm ; W=9.8mm

La vitesse de torsion n'influant que très peu sur les résultats, elle sera maintenue constante pour tous les essais (ω=5°/s). L'essai sera réalisé de 0° à 180° en cas de non rupture.



$$G_{12} = \frac{M.L}{\beta(c).\theta.W.h^3}$$

Avec :

M : Moment appliqué

L : Longueur utile (longueur entre les deux mors)

β(c) : coefficient de "forme"

θ : Angle de rotation

W : Largeur de l'éprouvette

h : Épaisseur de l'éprouvette

et

$$\beta(c) = \frac{32c^2}{\pi^4} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^4} \left( 1 - \frac{2c}{k\pi} \tanh \frac{k\pi}{2c} \right) \quad c = \frac{W}{h} > 1$$

	PP	PP + verre	PP + Talc
M/θ (mNm/°)	16.3	49.3	51.2

8) Déterminer le module de cisaillement G<sub>12</sub> à partir de la courbe expérimentale M=f(θ) avec les formules suivantes

Les valeurs de β en fonction de c sont données par le tableau suivant :

c	β(c)	c	β(c)
1	0,141	3	0,263
1,25	0,172	4	0,281
1,5	0,196	5	0,291
1,75	0,214	10	0,312
2	0,229	20	0,323
2,5	0,249	∞	0,333

9) Comparer les modules de cisaillement ainsi mesurés avec ceux déterminés par le modèle suivant :

$$G_{12} = \frac{E_{11}}{2(1+\nu_{12})}$$

Utilisez également l'acier pour affiner votre réflexion. G=79000 MPa (obtenu lors d'un essai de torsion) E=200 GPa, ν<sub>12</sub>= 0,27 (obtenu lors d'un essai de traction)

Conclure sur la validité du modèle.

10) La rupture d'une éprouvette de composite PP/Verre lors d'une traction ou flexion est une rupture fragile. Il n'y a pas de rupture en torsion. Pourquoi ce comportement ?

11) Que peut-on en déduire sur l'orientation des fibres de verre ? Par quel procédé industriel ces fibres sont-elles orientées ?

**DONNEES :**

$E_m$ : Module d'Young de la matrice (À mesurer)

$E_f$ : Module d'Young du renfort ( $E_{verre}=68\text{GPa}$ ,  $E_{uk}=13\text{GPa}$ )

$V_m$ : Portion de matrice

$V_f$ : Portion de renfort

$E_l$ : Module longitudinal. Sollicitation dans le sens des fibres.

$E_t$ : Module transversal. Sollicitation orthogonale au sens des fibres.

Loi des mélanges:

$$E_l = E_m \cdot V_m + E_f \cdot V_f \quad (\text{Valable également lorsqu'il s'agit de poudres})$$

$$\frac{1}{E_t} = \frac{V_f}{E_f} + \frac{V_m}{E_m}$$

Equations de Halpin-Tsai: Dans le cas de fibres courtes.

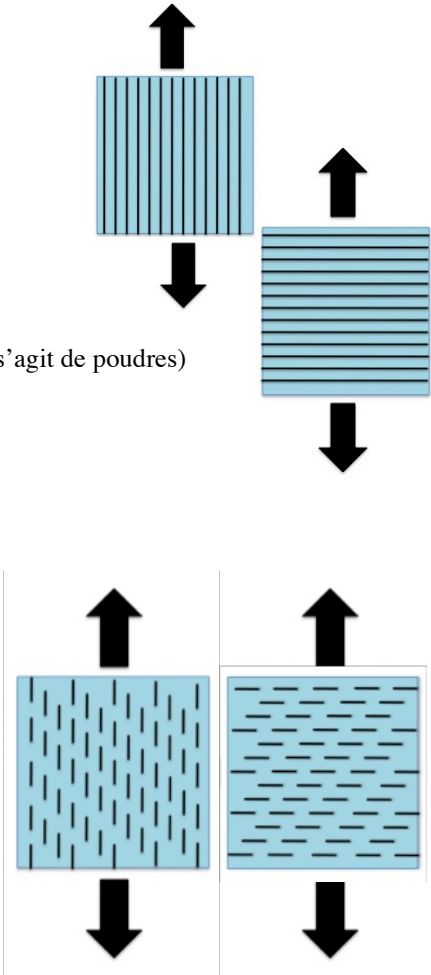
$$\frac{E_l}{E_m} = \frac{1 + \xi n_l X_f}{1 - n_l X_f}$$

$$\frac{E_t}{E_m} = \frac{1 + 2 n_t X_f}{1 - n_t X_f}$$

$$\xi = \frac{2L}{d}$$

$$n_l = \frac{\frac{E_f}{E_m} - 1}{\frac{E_f}{E_m} + \xi}$$

$$n_t = \frac{\frac{E_f}{E_m} - 1}{\frac{E_f}{E_m} + 2}$$



Avec : L la longueur moyenne des fibres (quelques centaines de  $\mu\text{m}$ )  
d le diamètre moyen des fibres (ici  $30\mu\text{m}$ )