

Final MA12 P23

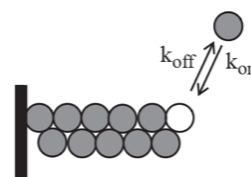
Calculatrice obligatoire. Feuille A4 recto-verso manuscrite autorisée. Aucun autre document.

Questions de cours : (4 points)

1. Quelle particularité rend la fibre de Kevlar (aramide) plus résistante que l'aramide simple ?
2. Qu'est ce qui rend une fibre de verre beaucoup plus résistante qu'un morceau de verre ?
3. Quels sont les différents constituants d'une résine polyester insaturé ?
4. Un polymère fondu a-t-il un comportement Newtonien ? Si non, comment se comporte-t-il face au cisaillement ?

Exercices 1 : Bio polymères (4 points)

On considère un polymère pouvant polymériser à une de ses extrémité comme on peut le voir sur le dessin ci-contre :



La concentration d'un monomère disponible est $[A1]$.

- Exprimer la vitesse de croissance $\frac{dn}{dt}$ de ce polymère formé de n monomères.
- Dessiner cette vitesse en fonction de $[A1]$ lorsque $[A1]$ varie de 0 à $5 \mu M$.
- Montrer qu'il existe une concentration critique de monomère que l'on nommera K_c pour laquelle soit on n'a pas de polymérisation soit tous les monomères servent à construire un filament. Que vaut K_c ?
- Si l'on considère un filament d'actine, que doit on rajouter, modifier pour prendre en compte le fait que la polymérisation puisse à présent se faire des deux côtés du polymère ?
- Quel cas remarquable pourrait on observer ?

Données : $k_{on} = 1 \mu M^{-1} \cdot s^{-1}$ et $k_{off} = 1 s^{-1}$

Exercices 2 : Recyclage d'un composite PA66 - carbone (4 points)

Le recyclage d'un composite composé de Polyamide PA66 et de fibres de carbone est envisagé par deux techniques différentes : vapo-thermolyse et pyrolyse. L'objectif est de dégrader la matrice pour retrouver les fibres de carbone comme visible sur la photo.

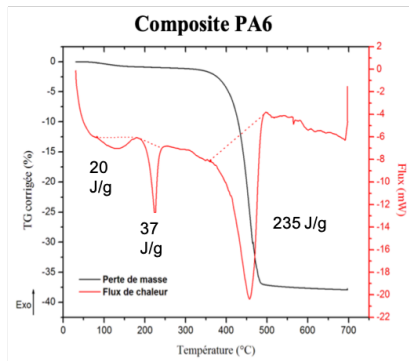
En vapo-thermolyse : Composite + $H_2O \xrightarrow{\Delta}$ Fibres + gaz

En pyrolyse : Composite $\xrightarrow{\Delta}$ Fibres + gaz

- Décrire le diagramme DSC. A quoi peut-on attribuer les 3 pics ?
- Que représente la courbe ATG ? Quelle est la composition du composite ?
- D'après la mesure DSC, quelle quantité d'énergie est nécessaire afin de dégrader 1g de composite ?
- Quel serait le cout énergétique pour le recyclage d'un kg de composite. Est-ce rentable ? Données : $1J = 2,8 \cdot 10^{-7} kWh$. Prix de l'énergie : 400 €/MWh (décembre 2022)
- Quelle quantité d'énergie est alors nécessaire pour dégrader 1 mole de **PA66 pur** (en approximant que les fibres de carbone n'ont pas absorbée d'énergie et ne sont pas dégradées) ($M=226g/mol$).

La méthode de Kissinger permet de déterminer l'énergie d'activation de la dégradation du PA66 suivant la loi d'Arrhenius. Pour cela l'échantillon est placé à différentes températures et l'énergie de dégradation est mesurée. Nous obtenons une énergie d'activation de 179 kJ/mol pour la vapo-thermolyse et 239kJ/mol pour la pyrolyse.

- Expliquer pourquoi la pyrolyse nécessite plus d'énergie pour dégrader le PA66 que la vapo-thermolyse



Thermogramme DSC du composite PA66 + fibres de carbone ainsi que la courbe thermogravimétrique (ATG) en vapo-thermolyse.

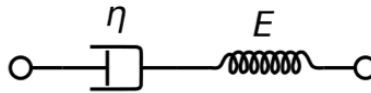


Figure 4.33 – Composite avant traitement thermique (gauche) et fibres de carbone récupérées après la vapo-thermolyse (droite)

Données tirées de la thèse de Andrea Oliveira Nunes *Composites renforcés à fibres de carbone : récupération des fibres par vapo-thermolyse, optimisation du procédé*, Ecole des Mines d'Albi-Carmaux, 2015

Exercices 3 : Une nouvelle corde à linge (4 points)

Après deux années à retendre ma corde à linge toutes les deux semaines, j'ai décidé cette année d'investir. J'ai donc acheté une corde en composite avec un coeur en fibre de verre et un revêtement qui semble être en polyamide. Nous installons ce nouveau fil à linge en composite. A l'aide d'un modèle de Maxwell, déterminer au bout d'un an, quel pourcentage de la contrainte initiale il reste dans la tension. Est-ce un bon investissement par rapport à l'ancienne corde qui n'avait plus qu'une contrainte de 1% au bout de deux semaines ?



Aides :

Décrire les lois de comportement de chaque élément du modèle, ainsi que celles du modèle. Décrire la variation de la déformation dans le temps. Décrire l'équation différentielle de la contrainte à **déformation constante**.

Données : composite PA66 verre : $\eta = 5.10^{16} Pa.s$ $E = 5GPa$

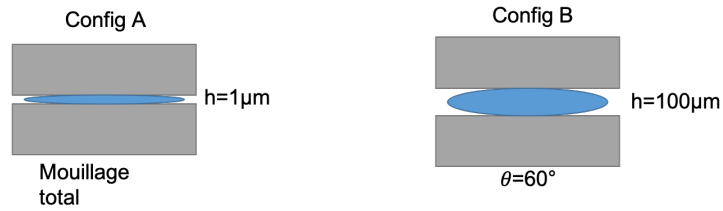
Exercices 4 : Collage (4 points)

Deux lames de verre sont "collées" par capillarité à l'aide d'une goutte d'eau. Deux configurations sont étudiées. Dans la première (config A), les lames sont rendues hydrophiles grâce à un traitement au plasma oxygène (mouillage total) et le film d'eau fait $1\mu m$ d'épaisseur entre les deux lames. Dans la deuxième (config B), les lames sont normales (angle de contact $\theta=60^\circ$) et l'épaisseur du film d'eau est de $100\mu m$ (l'eau s'étale moins et donc le film est plus épais). Dans les deux cas, la goutte fait un cercle de 2cm de diamètre.

L'énergie surfacique de fracture G nécessaire à l'arrachement des deux lames est défini par la relation de Healey (1926) basé uniquement sur des liaisons Van der Waals.

$$G = W_0 + \eta.v \quad (1)$$

Avec η la viscosité du liquide, v la vitesse utilisée pour décoller les lames et W_0 l'énergie réversible d'adhé-



rence solide liquide. Elle est liée aux différentes tensions de surface en jeu :

$$W_0 = \gamma_S + \gamma_l - \gamma_{sl} \quad (2)$$

- Faut-il tirer rapidement sur les lames pour les séparer facilement ? Quelle approximation peut-on alors faire sur la vitesse ?
- Calculer l'énergie surfacique de fracture G pour les deux configurations en utilisant l'angle de mouillage.
- L'énergie d'arrachement correspond au **travail** nécessaire pour écarter les deux lames de l'épaisseur du film. Pour rappel, le travail est l'énergie nécessaire pour déplacer un objet d'une certaine distance sous l'action d'une certaine force. Calculer la force nécessaire pour séparer les lames dans les deux configurations. Convertissez en masse (kg) pour mieux se rendre compte.
- Que se passerait-il si on rayait la surface dans la configuration B ?
- Conclure sur les conditions nécessaires afin d'effectuer un bon collage.