



Faculté de Technologie

Département mécanique

Matière : Propriétés chimiques et physiques des polymères

Niveau : M1 GMAT

Session : Semestre2

Année universitaire : 2025-2026.

### Évaluation écrite

#### Exercice 1 (6pts)

Le laboratoire d'un manufacturier de pneumatiques étudie une nouvelle gomme pour bande de roulement. Les tests de résistance à l'abrasion et à la fatigue ont fourni les données suivantes :

- **Température de référence ( $T_0$ ) :  $20^\circ\text{C}$**
- **Durée de vie nominale ( $t_{50}$ ) = 60 000 Km** (kilométrage moyen avant témoin d'usure)
- **Constantes WLF du mélange** : ( $C_1 = 12$ ) et ( $C_2 = 140^\circ\text{C}$ )

#### **Question :**

1. Lors d'un roulage intensif sur autoroute en été, la température interne de la bande de roulement se stabilise à ( $T = 75^\circ\text{C}$ ). Quelle est la durée de vie estimée (en kilomètres) de la bande de roulement dans ces conditions de température ?
2. Expliquer le résultat trouvé sur la durée de vie , sachant que le  $T_g$  de ce polymère est de ( $-50^\circ\text{C}$ )

#### Exercice 2 (5 pts)

Pour rechapier un pneu de camion, on doit chauffer la gomme pour créer des ponts soufre. Si on chauffe trop longtemps, on brûle le pneu ; pas assez, il se décolle.

#### **Données :**

- Le temps de cuisson optimal à  $150^\circ\text{C}$  (423 K) est de **20 minutes**.
- L'énergie d'activation ( $E_a$ ) de la vulcanisation est de **85 kJ/mol**.

#### **Questions**

1. **Réduction de coût** : L'usine souhaite augmenter sa cadence en chauffant à  $165^\circ\text{C}$  (438 K). Quel sera le nouveau temps de cuisson nécessaire ?
2. **Incident technique** : Suite à une panne, la presse descend à  $130^\circ\text{C}$  (403 K). Si l'opérateur laisse le pneu 40 minutes, la cuisson sera-t-elle suffisante ?

#### Exercice 3(5pts)

Un polymère est fractionné en cinq fractions uniformes caractérisées par leurs masses et leurs masses molaires.

| Masse ( $m_i$ ) [g] | Masse molaire ( $M_i$ ) (g/mol) |
|---------------------|---------------------------------|
| 5                   | 20 000                          |
| 10                  | 100 000                         |
| 15                  | 200 000                         |
| 20                  | 400 000                         |
| 50                  | 200 000                         |

Calculer les masses molaires moyennes en nombre et en masse ainsi que l'indice de polydispersité.



## Questions de cours (4pts)

### 1. Dites si les énoncés ci-dessous sont vrais ou faux

- La polymérisation par addition produit très généralement des polymères réticulés.....
- Seuls les polymères fortement cristallisés possèdent une température de transition vitreuse.....
- La présence de groupes latéraux volumineux le long des chaînes linéaires accroît la rigidité du polymère.....
- Les liaisons entre les chaînes linéaires d'un polymère amorphe sont des liaisons covalentes.....
- La température de transition caoutchouteuse d'un polymère thermodurcissable croît si le degré de réticulation augmente.....
- La température de transition vitreuse d'un polymère thermoplastique à chaînes linéaires ramifiées croît si le degré de ramification augmente.....
- Le module d'Young E d'un polymère thermodurcissable est peu influencé par la température.....

## Formulaires

### Formulaire

$$\text{La loi d'Arrhenius : } \ln \left( \frac{t_{usage}}{t_{Test}} \right) = \left( \frac{E_a}{R} \left( \frac{1}{T_{usage}} - \frac{1}{T_{Test}} \right) \right)$$

La loi WLF :

$$\text{Log}(a_T) = \frac{-C_1(T - T_{ref})}{C_2 + (T - T_{ref})}$$

$$\frac{1}{\bar{M}_n} = \sum \frac{W_i}{M_i} ;$$

$$\bar{M}_w = \sum W_i \cdot M_i$$

$$IP = \frac{\bar{M}_w}{\bar{M}_n} ;$$

$$\overline{DP}_n = \frac{\bar{M}_n}{M_0} ;$$

$$w_i = \frac{m_i}{\sum m_i}$$

$$\bar{M}_w = \sum w_i \cdot M_i$$

Bon travail



Faculté de Technologie

Département mécanique

Matière : Propriétés chimiques et physiques des polymères

Niveau : M1 GMAT

Session : Semestre2

Année universitaire : 2025-2026.

### Évaluation écrite

#### Exercice 1 (6pts)

Le laboratoire d'un manufacturier de pneumatiques étudie une nouvelle gomme pour bande de roulement. Les tests de résistance à l'abrasion et à la fatigue ont fourni les données suivantes :

- **Température de référence (T<sub>0</sub>) : 20°C**
- **Durée de vie nominale (t<sub>50</sub>) = 60 000 Km** (kilométrage moyen avant témoin d'usure)
- **Constantes WLF du mélange : (C<sub>1</sub> = 12) et (C<sub>2</sub> = 140°C)**

#### Question :

3. Lors d'un roulage intensif sur autoroute en été, la température interne de la bande de roulement se stabilise à (T = 75 °C). Quelle est la durée de vie estimée (en kilomètres) de la bande de roulement dans ces conditions de température ?
4. Expliquer le résultat trouvé sur la durée de vie , sachant que le T<sub>g</sub> de ce polymère est de ( -50°C)

#### SOLUTION

##### a. La durée de vie

##### 1. Identification des variables (1.5pt)

$$T_0 = 20^\circ\text{C}$$

$$T = 75^\circ\text{C}$$

$$T_{t0} = 60\,000\text{ km}$$

$$C_1 = 12$$

$$C_2 = 140^\circ\text{C}$$

##### 2. Calcul de l'écart de température

$$\Delta T = T - T_0$$

$$\Delta T = 75 - 20 = 55^\circ\text{C}$$

##### 3. Calcul le logarithme du facteur de glissement $\log(a_T)$ (1.5pt)

$$\text{Log}(a_T) = \frac{C_1 \cdot \Delta T}{C_2 + \Delta T}$$

$$\text{Log}(a_T) = \frac{-12 \cdot 55}{140 + 55} = -3.3846$$

$$a_T = 0.0004125$$



#### 4. Calcul de la durée de vie

$$a_T = \frac{t_T}{t_{T0}}$$

$$t_T = a_T \cdot t_{T0} = 60\,000 \cdot 0.0004125 = 24.75 \text{ Km} \quad (1 \text{ pt})$$

#### b. Explication du résultat

La loi WLF s'applique uniquement à la **viscoélasticité linéaire** et aux mouvements de chaînes polymères proches de la température de transition vitreuse  $T_g$ . Pour une bande de roulement à  $75^\circ\text{C}$  (très loin de sa  $T_g$ ) qui se situe généralement vers  $-50^\circ\text{C}$ . **(2 pts)**

#### Exercice 2 (5pts)

Pour rechapier un pneu de camion, on doit chauffer la gomme pour créer des ponts soufre. Si on chauffe trop longtemps, on brûle le pneu ; pas assez, il se décolle.

**Données :**

- Le temps de cuisson optimal à  $150^\circ\text{C}$  (423 K) est de **20 minutes**.
- L'énergie d'activation ( $E_a$ ) de la vulcanisation est de **85 kJ/mol**.

#### Questions

3. **Réduction de coût** : L'usine souhaite augmenter sa cadence en chauffant à  $165^\circ\text{C}$  (438 K). Quel sera le nouveau temps de cuisson nécessaire ?
4. **Incident technique** : Suite à une panne, la presse descend à  $130^\circ\text{C}$  (403 K). Si l'opérateur laisse le pneu 40 minutes, la cuisson sera-t-elle suffisante ?

#### Solution

##### 1. Réduction de coût (3 pt)

Nouveau temps de cuisson :

$$t_{\text{Test}} = 20 \text{ min}$$

$$T_{\text{Test}} = 150 + 273.15 = 423.15 \text{ K}$$

$$t_{\text{usage}} = ?$$

$$T_{\text{usage}} = 160 + 273.15 = 438.15 \text{ K}$$

$$\ln\left(\frac{t_{\text{usage}}}{20}\right) = \left(\frac{85000}{8.314}\left(\frac{1}{438} - \frac{1}{423}\right)\right)$$

$$\left(\frac{t_{\text{usage}}}{20}\right) = e^{-0.828}$$



$$t_{usage} = 8.7 \text{ minutes}$$

## 2. Incident technique (2 pts)

- $t_{\text{Test}} = 20 \text{ min}$
- $T_{\text{Test}} = 150 + 273.15$
- $t_{\text{usage}} = ?$
- $T_{\text{usage}} = 130 + 273.15$

$$\ln\left(\frac{t_{usage}}{20}\right) = \left(\frac{85000}{8.314} \left(\frac{1}{403.15} - \frac{1}{423.15}\right)\right)$$

$$t_{usage} = 66.4 \text{ minutes}$$

## Exercice 3. (5pts)

Un polymère est fractionné en cinq fractions uniformes caractérisées par leurs masses et leurs masses molaires.

| Masse ( $m_i$ ) [g] | Masse molaire ( $M_i$ ) (g/mol) |
|---------------------|---------------------------------|
| 5                   | 20 000                          |
| 10                  | 100 000                         |
| 15                  | 200 000                         |
| 20                  | 400 000                         |
| 50                  | 200 000                         |

Calculer les masses molaires moyennes en nombre et en masse ainsi que l'indice de polydispersité.

## Réponse

Nous devons calculer les fractions massiques ( $W_i$ ).

$$w_i = \frac{m_i}{\sum m_i}$$

| Masse ( $m_i$ ) [g] | Masse molaire (g/l) | Fraction massique ( $w_i$ ) |
|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| 5                   | 20 000              | 0.05                        |
| 10                  | 100 000             | 0.1                         |
| 15                  | 200 000             | 0.15                        |
| 20                  | 400 000             | 0.2                         |
| 50                  | 200 000             | 0.5                         |

La masse molaire moyenne en masse ( $\bar{M}_w$ )



$$\bar{M}_w = \sum w_i \cdot M_i$$

$$\bar{M}_w = 0.05 * 20000 + 0.1 * 100000 + 0.15 * 200000 + 0.2 * 400000 + 0.5 * 200000$$

$$\bar{M}_w = 221000 \text{ g/mol } (2pt)$$

La masse molaires moyenne en nombre ( $\bar{M}_n$ )

$$\frac{1}{\bar{M}_n} = \sum \frac{W_i}{M_i}$$

$$\frac{1}{\bar{M}_n} = \frac{w_1}{M_1} + \frac{w_2}{M_2} + \frac{w_3}{M_3} + \frac{w_4}{M_4} + \frac{w_5}{M_5}$$

$$\frac{1}{\bar{M}_n} = \frac{0.05}{20\,000} + \frac{0.1}{100\,000} + \frac{0.15}{200\,000} + \frac{0.2}{400\,000} + \frac{0.5}{200\,000}$$

$$\frac{1}{\bar{M}_n} = 7.25 \cdot 10^{-5} \text{ mol/g}$$

$$\bar{M}_n = 137931.034 \text{ g/mol. } (2pt)$$

On en déduit ainsi l'indice de polymolécularité

$$IP = \frac{\bar{M}_w}{\bar{M}_n}$$

$$IP = \frac{221000}{137931.034}$$
$$IP = 1.6 (1pt)$$



## Questions de cours (04pts)

### 2. Dites si les énoncés ci-dessous sont vrais ou faux

- La polymérisation par addition produit très généralement des polymères réticulés **FAUX**
- Seuls les polymères fortement cristallisés possèdent une température de transition vitreuse **FAUX**
- La présence de groupes latéraux volumineux le long des chaînes linéaires accroît la rigidité du polymère **VRAI**
- Les liaisons entre les chaînes linéaires d'un polymère amorphe sont des liaisons covalentes **FAUX**
- La température de transition caoutchoutique d'un polymère thermodurcissable croît si le degré de réticulation augmente **FAUX**
- La température de transition vitreuse d'un polymère thermoplastique à chaînes linéaires ramifiées croît si le degré de ramification augmente **VRAI**
- Le module d'Young E d'un polymère thermodurcissable est peu influencé par la température **VRAI**

H.ZEGGANE