

**QUESTION N<sup>o</sup> 1** (4 points)

Laquelle des affirmations suivantes décrit le mieux le polyméthacrylate de méthyle (PMMA) atactique linéaire ( $T_g = 100^\circ\text{C}$ ) à la température ambiante ?

- a) Thermodurcissable, amorphe et vitreux
- b) Thermodurcissable, amorphe et caoutchouteux
- c) Thermoplastique, semi-cristallin
- d) Thermodurcissable, semi-cristallin
- e) Thermoplastique réticulé
- f) Thermoplastique, amorphe et vitreux
- g) Thermoplastique, vitreux et caoutchouteux

**Réponse :** \_\_\_\_\_

**QUESTION N<sup>o</sup> 2** (6 points)

Le PVC pur (polychlorure de vinyle) est un polymère amorphe à la température ambiante ( $20^\circ\text{C}$ ). Sa température de transition vitreuse est d'environ  $80^\circ\text{C}$ . Parmi les énoncés suivants, lesquels sont vrais (chaque mauvais choix annule un bon).

- a) À  $20^\circ\text{C}$ , son module est de l'ordre de quelques GPa. ( )
- b) À  $20^\circ\text{C}$ , il est transparent. ( )
- c) À  $50^\circ\text{C}$ , il est opaque. ( )
- d) À  $90^\circ\text{C}$ , son module sera de l'ordre de GPa. ( )
- e) L'incorporation d'un plastifiant donnera un mélange dont la température de transition vitreuse sera plus élevée que  $80^\circ\text{C}$ . ( )
- f) À  $-50^\circ$ , il est semi-cristallin. ( )

**QUESTION N<sup>o</sup> 3** (8 points)

Soit deux substances : A dont la masse moléculaire est de 50 et B dont la masse moléculaire est de 200.

- a) Quelles quantités de A et de B (en g) devons-nous mélanger pour obtenir 10 grammes de mélange de masse moléculaire moyenne en nombre  $M_n = 150$  ?
- b) Quelles quantités de A et de B (en g) devons-nous mélanger pour obtenir 10 grammes de mélange de masse moléculaire moyenne en poids  $M_w = 125$  ?

NOTES : 
$$M_n = \frac{\sum M_i N_i}{\sum N_i}$$

$$M_w = \frac{\sum M_i^2 N_i}{\sum M_i N_i}$$

**Réponses** : a) A \_\_\_\_\_ B) \_\_\_\_\_

b) A \_\_\_\_\_ B) \_\_\_\_\_

**QUESTION N<sup>o</sup> 4** (6 points)

Soit plusieurs polymères purs caractérisés par leurs températures de fusion  $T_f$  et de transition vitreuse  $T_g$ ; tous peuvent, sous certaines conditions, cristalliser. Ces polymères ont été moulés, sans aucun pigment, en plaques. Après le moulage, on a déterminé le taux de cristallinité  $X$  à 20°C.

	$T_g$ (°C)	$T_f$ (°C)	$X$
A	-120	140	0.6
B	80	260	0.0
C	80	260	0.3
D	- 20	180	0.0
E	90	- 80	1.0

Identifiez le(ou les) polymères :

- qui pourrait(ent) être un polyéthylène;
- qui est(sont) amorphe(s);
- qui est(sont) impossible(s) à obtenir (combinaison de  $T_g$ ,  $T_f$  et  $X$  contradictoire);
- qui aurait(ent) un module ( $E$ ) supérieur à 10 MPa.

**Réponses :** a) \_\_\_\_\_

b) \_\_\_\_\_

c) \_\_\_\_\_

d) \_\_\_\_\_

**QUESTION N° 5** (6 points)

Le PVC a une densité de  $1.45 \text{ g/cm}^3$  et une température de transition vitreuse de  $90^\circ\text{C}$ .

Quels adjuvants utilise-t-on :

- a) pour obtenir un matériau ayant une densité de  $0.3 \text{ g/cm}^3$  ?
- b) pour augmenter la rigidité de façon très substantielle ?
- c) pour diminuer sa  $T_g$  ?
- d) pour augmenter sa température de fléchissement sous charge ?

**Réponses :** a) \_\_\_\_\_  
b) \_\_\_\_\_  
c) \_\_\_\_\_  
d) \_\_\_\_\_

**QUESTION N<sup>o</sup> 6** (6 points)

Soit deux monomères C et D. Lorsqu'on polymérise le monomère C, on obtient un homopolymère amorphe dont la température de transition vitreuse est de  $100^{\circ}\text{C}$ . Lorsqu'on polymérise le monomère D, on obtient un homopolymère amorphe dont la température de transition vitreuse est de  $-40^{\circ}\text{C}$ . Les deux homopolymères sont mutuellement immiscibles.

- 1) Avec les mêmes monomères C et D, on prépare divers copolymères. Quelles seraient leurs températures de transition vitreuse ?
  - a) Copolymère statistique contenant 70 % de C et 30 % de D
  - b) Copolymère séquencé ...CCCC DDDD... contenant 70 % de C et 30 % de D
  - c) Copolymère statistique contenant 20 % de C et 80 % de D
- 2) Lequel de ces copolymères serait le plus rigide à  $80^{\circ}\text{C}$  ?
- 3) Lequel de ces copolymères serait le moins rigide à  $0^{\circ}\text{C}$  ?

**QUESTION N<sup>o</sup> 6** (suite)

**Réponses :** 1) a) \_\_\_\_\_ b) \_\_\_\_\_ c) \_\_\_\_\_  
2) \_\_\_\_\_  
3) \_\_\_\_\_

**QUESTION N<sup>o</sup> 7** (8 points)

On a préparé une tige en matériau composite en utilisant 1000 g de fibres de verre ( $E = 70$  GPa,  $\rho = 2.5$  g/cm<sup>3</sup>) et 500 g de résine ( $E = 3$  GPa,  $\rho = 1$  g/cm<sup>3</sup>). Le diamètre de la tige est de 2 cm.

- a) Quelle est la longueur de la tige ?
- b) Quel serait le module d'élasticité de la tige si toutes les fibres étaient parfaitement orientées dans le sens de la longueur de la tige ?
- c) Quelle force (en traction) faudrait-il imposer pour allonger la tige (de la sous-question b) de 1 mm ?
- d) Lorsqu'on a déterminé le module d'élasticité de la tige fabriquée, la valeur trouvée correspondait à celle d'un matériau composite dans lequel les fibres sont désalignées (de  $10^\circ$ ) par rapport à la direction de sollicitation. Quel est le module effectif (réel) de la tige ?

NOTE : coefficient de l'orientation  $K_o = \sum_n a_n \cos^4 \Theta$

**QUESTION N<sup>o</sup> 7** (suite)

**Réponses :** a) \_\_\_\_\_ b) \_\_\_\_\_ c) \_\_\_\_\_ d) \_\_\_\_\_

**QUESTION N<sup>o</sup> 8** (6 points)

On vous demande de concevoir une brosse à dents en utilisant du polyéthylène comme le seul matériau. Proposez trois méthodes pour faire varier la rigidité en flexion des poils de la brosse (vous ne pouvez pas proposer l'utilisation d'additifs).

① \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

② \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

③ \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**QUESTION N<sup>o</sup> 9** (15 points)

Répondre par Vrai (V) ou Faux (F). Une bonne réponse vaut 1 point, une mauvaise réponse entraîne une pénalité de 0,5 point et aucune réponse n'entraîne pas de pénalité. Au cas où le total des points serait négatif, le résultat pour cette question sera 0 (zéro).

- a) Le polystyrène et le polycarbonate sont à la fois transparents et rigides à la température ambiante ( $E \cong 3$  GPa). Ceci est dû au fait que leur température de transition vitreuse ( $T_g$ ) est bien au-dessus de la température ambiante. ( )
- b) Un polypropylène isotactique cristallisera plus lentement qu'un polypropylène atactique. ( )
- c) Plus un polymère cristallisable sera refroidi rapidement (à partir de l'état fondu), plus son taux de cristallinité sera élevé. ( )
- d) Le nylon 66 (PA66) à l'état sec a une température de transition vitreuse plus basse que celui ayant absorbé 1 % de l'eau. ( )
- e) Dans un test de fluage, le module de fluage à 1000 h d'un matériau sera plus élevé que celui mesuré à 1 heure. ( )
- f) La densité des fibres de carbone est plus élevée que celle des fibres de verre. ( )
- g) Le polyéthylène linéaire de basse densité sera plus rigide que le polyéthylène de haute densité parce qu'il cristallise mieux. ( )
- h) La perméabilité aux gaz d'un polymère semi-cristallin augmente avec le taux de cristallinité croissant. ( )
- i) Pour le polyéthylène, le raisonnement suivant est logique (à température constante) : si la densité du PE augmente, c'est que le rapport (volume amorphe/volume cristallin) diminue. ( )
- j) La ramification de chaînes de polyéthylène diminue leur capacité de cristalliser. ( )
- k) Dans un test de relaxation de contraintes, le module de relaxation de 1 heure sera plus élevé que celui mesuré à 1 seconde. ( )
- l) Pour un thermoplastique semi-cristallin possédant un taux de cristallinité proche de 100 %, la température de transition vitreuse ( $T_g$ ) aura peu d'effet sur la valeur du module de relaxation à 10 s ( $E_r$  (10 s)). ( )
- m) La viscosité d'un plastique fondu diminue avec l'augmentation de la masse moléculaire. ( )
- n) La résistance au choc diminue avec l'augmentation de la masse moléculaire moyenne en poids. ( )
- o) Un polyéthylène dont les chaînes sont ramifiées aura une densité plus élevée que le polyéthylène à chaînes linéaires. ( )

**QUESTION N<sup>o</sup> 10** (6 points)

Un morceau de polyéthylène téréphthalate (PET) dont le taux de cristallinité  $X = 0.6$  (à  $25^{\circ}\text{C}$ ) a une densité  $\rho = 1.12 \text{ g/cm}^3$ . La température de transition vitreuse de ce polymère  $T_g = 60^{\circ}\text{C}$  et sa température de fusion  $T_f = 260^{\circ}\text{C}$ . De plus, on sait que, à  $25^{\circ}\text{C}$ , la densité de la fraction cristalline ( $X = 1$ ) est 1.2 fois plus élevée que celle de la fraction amorphe.

- a) Lorsqu'on chauffe le polymère à une température de  $300^{\circ}\text{C}$ , on observe qu'il est devenu transparent. En le refroidissant très rapidement vers  $25^{\circ}\text{C}$ , il reste transparent. Quelle est sa densité à  $25^{\circ}\text{C}$  après ce traitement (chauffage à  $300^{\circ}\text{C}$ , suivi du refroidissement rapide) ?
- b) Nous voulons augmenter le taux de cristallinité du polymère ayant subi le traitement thermique décrit en a). À quelle température il faudrait le porter pour que la vitesse de cristallisation soit la plus élevée ? Choisir entre  $-40^{\circ}\text{C}$ ,  $25^{\circ}\text{C}$ ,  $60^{\circ}\text{C}$ ,  $160^{\circ}\text{C}$ ,  $260^{\circ}\text{C}$ ,  $300^{\circ}\text{C}$ .

**Réponses :**

a) \_\_\_\_\_

b) \_\_\_\_\_

**QUESTION N<sup>o</sup> 11** (6 points)

Un lavabo en marbre synthétique a été préparé en mélangeant 4 kg de verre ( $\rho = 2.55 \text{ g/cm}^3$ ), 5 kg de carbonate de calcium ( $\rho = 2.75 \text{ g/cm}^3$ ) et 11 kg de résine polyester ( $\rho = 1.15 \text{ g/cm}^3$ ). Calculez la densité du composite ainsi que les fractions volumiques des ingrédients.

**QUESTION N<sup>o</sup> 11** (suite)

*Réponses* : densité \_\_\_\_\_

fractions volumiques : verre \_\_\_\_\_ carbonate \_\_\_\_\_ résine \_\_\_\_\_

**QUESTION N<sup>o</sup> 12** (5 points)

Le tableau suivant indique les températures de fusion,  $T_f$ , de transition vitreuse,  $T_g$ , ainsi que le taux de cristallinité d'un certain nombre de polymères à masse moléculaire extrêmement élevée (chaînes très longues).

$T_f$ (°C)	$T_g$ (°C)	X	E (Pa)
170	0	0.8	
260	60	0.9	
220	95	0	
0	-80	0	
-80	-120	0	

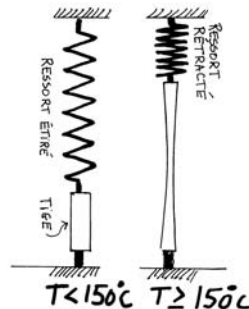
Estimez la valeur du module de relaxation de chacun de ces polymères (choisir entre  $10^0$ ,  $10^1$ ,  $10^2$ ,  $10^3$ ,  $10^4$ ,  $10^5$ ,  $10^6$ ,  $10^7$ ,  $10^8$ ,  $10^9$ ,  $10^{10}$ ,  $10^{11}$  Pa ; 1 GPa =  $10^9$  Pa) à 25°C.

**QUESTION N<sup>o</sup> 13** (10 points)

Soit plusieurs polymères de masse moléculaire élevée, caractérisés par leurs températures de fusion  $T_f$  et de transition vitreuse  $T_g$ , leurs densités de phases cristalline  $\rho_c$  et amorphe  $\rho_a$ . Ces polymères ont été moulés en petites tiges cylindriques. Après le moulage, on a déterminé la densité des tiges  $\rho$  (à la température ambiante).

	$T_g$ (°C)	$T_f$ (°C)	$\rho_a$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_c$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
A	175	320	1.05	1.25	1.20
B	-120	-60	1.00	1.20	1.05
C	-18	170	0.85	0.95	0.85
D	-18	170	0.85	0.95	0.92
E	50	250	1.05	1.25	1.20
F	175	265	1.05	1.25	1.20
G	-120	-80	1.10	1.10	1.30
H	-120	140	0.85	1.00	0.92
I	100	80	0.90	1.00	0.95
J	80	180	1.10	1.20	1.10
K	-120	140	0.85	1.00	0.95
L	175	300	1.05	1.25	1.05

- a) Éliminer d'abord de cette liste les polymères qui ne peuvent pas exister (la combinaison des caractéristiques telles que données est contradictoire).
- b) On cherche un matériau ayant, à la température ambiante, un module d'élasticité d'au moins 250 MPa pouvant faire partie du mécanisme suivant (dessin à gauche) :



On veut de plus que le ressort se rétracte (c'est-à-dire que le module du polymère constituant la tige diminue brusquement) entre 150 et 200°C inclusivement (lorsque l'on chauffe le mécanisme à partir de la température ambiante). Identifier les polymères qui pourraient être utilisés (dessin à droite).

**QUESTION N<sup>o</sup> 13** (suite)

- c) Lequel parmi ces polymères pourrait être le polypropylène isotactique ?
- d) Lequel parmi ces polymères pourrait être du polyéthylène de basse densité (LDPE) ?
- e) Lequel parmi ces polymères pourrait être du polyéthylène de haute densité (HDPE) ?
- f) Lequel parmi ces polymères pourrait être du polypropylène atactique ?
- g) Lesquels parmi ces polymères seraient transparents à 20°C ?
- h) Lesquels parmi ces polymères seraient transparents à 150°C ?

**Réponses :** a) Polymères éliminés : \_\_\_\_\_

b) Polymères utilisables : \_\_\_\_\_

c) Polypropylène isotactique : \_\_\_\_\_

d) LDPE : \_\_\_\_\_

e) HDPE : \_\_\_\_\_

f) Polypropylène atactique : \_\_\_\_\_

g) Transparents à 20°C : \_\_\_\_\_

h) Transparents à 150°C : \_\_\_\_\_