

Science des matériaux – M3104 – Sélection des matériaux
Durée 1 heure - Documents & calculatrices programmables interdits

Nom :

Prénom :

Groupe :

Exercice 1 : Question de cours (1 pt)

Que signifient les tirets qui entourent certaines familles de matériaux dans le diagramme module-résistance fourni en fin d'énoncé ?

Que la résistance est la résistance en compression.

Exercice 2 : Ventilateur à haut débit (10 pts)

On souhaite choisir le matériau pour les pales d'un ventilateur à haut débit. On souhaite maximiser la vitesse angulaire ω du ventilateur, et on impose que les pales ne doivent pas se déformer plastiquement sous l'effet de la force centrifuge F due à leur rotation, qui s'exprime :

$$F = \rho S L^2 \omega^2,$$

où ρ est la masse volumique des pales, S leur section, L leur longueur (imposée par le cahier des charges) et ω la vitesse angulaire.

Par une démarche rigoureuse de sélection de matériaux et en détaillant toutes les étapes de la procédure utilisée, déterminer l'indice de performance pour la réalisation des pales du ventilateur, puis établir une liste de 7 matériaux (les 5 meilleurs alliages techniques et les 2 meilleurs composites techniques) répondant au cahier des charges. Classer ces 7 matériaux par ordre décroissant de coût relatif par unité de volume.

1) Fonction : Supporter une force centrifuge F sans se déformer plastiquement en traction. (1 pt)

2) Objectif : maximiser la vitesse angulaire ω . (0,5 pt)

3) Paramètres :
fixes : L (1 pt)
ajustables : S, F, σ
matériau : Re, ρ

4) Equation liée à :
l'objectif : $\omega = (F / (\rho S L^2))^{1/2}$ (0,5 pt)
la fonction : contrainte $\sigma = F / S = Re$ (0,5 pt)

5) Fonction objectif : $S = F / Re \rightarrow \omega = (Re / \rho)^{1/2} \times (1 / L)$ (1,5 pts)

6) Indice de performance : (=partie matériau) $I = \sqrt{\frac{Re}{\rho}}$ (0,5 pt)

7) Abaque : choix du diagramme $Re=f(\rho)$ (0,5 pt)

$\log(I) = \frac{1}{2} \log(Re) - \frac{1}{2} \log(\rho) \leftrightarrow \log(Re) = \log(\rho) + 2 \log(I)$ donc pente de 1 et droite la plus haute (1 pt)

8) Liste des 7 matériaux : (1 pt)

5 alliages techniques : aciers, alliages de Ti, alliages d'Al, alliages de Mg et alliages de Ni

2 composites techniques : CFRP (uniaxial), GFRP (uniaxial)

9) Classements (1 pt)

par ordre décroissant de coût relatif par unité de volume :

CFRP, alliages de Ti, alliages de Ni, GFRP, aciers, alliages de Mg, alliages d'Al.

Pour un matériau donné, si on multiplie par deux la longueur des pales, quelle sera la conséquence sur la valeur maximale de vitesse angulaire ? Justifier votre réponse.

Comme $\omega \sim L^{-1}$, elle sera divisée par deux.

(1 pt)

Exercice 3 : Capteur de pression (9 pts)

On souhaite choisir le matériau pour le diaphragme d'un capteur de pression. Ce diaphragme est un disque fin, de rayon a imposé et d'épaisseur t libre, qui se déforme sous l'effet d'une différence de pression Δp entre ses deux faces. La déformation δ est mesurée et convertie en différence de pression. La mesure de pression est donc d'autant plus précise que la déformation est importante. On souhaite ainsi maximiser la déformation δ pour une différence de pression donnée. La déformation du diaphragme est donnée par :

$$\delta = \frac{C_1 \Delta p a^4}{E t^3},$$

où C_1 est une constante et E le module de Young du diaphragme.

D'autre part, on impose que le diaphragme ne se déforme pas plastiquement. La contrainte de traction maximale dans le diaphragme due à la différence de pression Δp est :

$$\sigma = \frac{C_2 \Delta p a^2}{t^2},$$

où C_2 est une constante.

Par une démarche rigoureuse de sélection de matériaux et en détaillant toutes les étapes de la procédure utilisée, établir l'indice de performance pour la réalisation du diaphragme, puis établir une liste des 3 meilleures familles de matériaux (grandes bulles sur les diagrammes, par exemple : « alliages techniques »). Sélectionner les 2 meilleurs matériaux de chacune de ces familles, et classer les 6 matériaux obtenus par ordre décroissant de module d'Young.

1) Fonction : supporter une contrainte de traction σ due à une différence de pression Δp sans se déformer plastiquement (1 pt)

2) Objectif : maximiser la déformation élastique δ provoquée par la différence de pression. (0,5 pt)

3) Paramètres :
fixes : $C_1, C_2, a, \Delta p$ (1 pt)
ajustable : t, σ
matériau : E, Re

4) Equation liée à : **l'objectif** : $\delta = \frac{C_1 \Delta p a^4}{E t^3}$ (0,5 pt)

la fonction : $\sigma = \frac{C_2 \Delta p a^2}{t^2} = Re$ (0,5 pt)

5) Fonction objectif : $\sigma = Re$ et $t = (C_2 \Delta p a^2 / \sigma)^{1/2}$ donc $\delta = [Re^{3/2} / E] \times [C_1 a / (C_2^{3/2} \Delta p^{1/2})]$ (1,5 pt)

6) Indice de performance : $I = Re^{3/2} / E$ (0,5 pt)

7) Abaque : choix du diagramme $E=f(Re)$ (0,5 pt)

$\log E = 3/2 \log Re - \log I$ donc pente 3/2 et droite la plus basse (1 pt)

8) Liste des 3 meilleures familles : élastomères, polymères techniques, composites technique/mousses polymériques (1 pt)

9) Liste classée des 6 matériaux : (1 pt)
 par ordre décroissant de module d'Young : CFRP, GFRP, nylon, PP, PU, butyle