

Série N° 9 — Semaine du 11 novembre 2024
Thermodynamique/Choix des matériaux

1. **Vrai ou faux ?**

	Vrai	Faux
a. La variation d'énergie interne d'un système pendant une transformation physique ou chimique est égale à la somme de la quantité de chaleur échangée avec l'environnement et du travail fourni ou reçu.	☐	☐
b. La variation d'enthalpie d'un système pendant une transformation physique ou chimique à pression constante est toujours égale à la chaleur échangée avec le système.	☐	☐
c. L'enthalpie standard de formation d'une substance est l'enthalpie de la réaction de la formation d'une mole de cette substance à partir des éléments de base dans leur état de référence à 1 bar et température ambiante.	☐	☐
d. Une réaction est endothermique si la variation d'énergie est positive et les produits ont moins d'énergie que les réactifs.	☐	☐
e. L'évolution d'une fonction d'état entre un état initial et un état final dépend uniquement de l'état initial et du chemin de transformation.	☐	☐
f. Si il n'y a pas de changement de phase, la relation directe entre la chaleur fournie à un corps de masse m et sa variation de température est donnée par la capacité calorifique spécifique de ce corps (aussi appelée chaleur spécifique)	☐	☐
g. La combustion de carburant dégage de la chaleur.	☐	☐
h. L'entropie d'un corps simple est nulle à 0 °C.	☐	☐
i. Une réaction chimique ou transformation physique ne sera spontanée (aux conditions de température et pression données), que si elle conduit à une augmentation de l'entropie de l'univers.	☐	☐

2. **Combustion de l'acétylène**

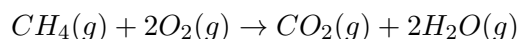
La combustion de l'acétylène(aussi appelé ethyne) $C_2H_2(g)$ permet d'atteindre des hautes températures (3200°C dans l'oxygène pur) ce qui rend ce gas utile pour faire des soudures métalliques ou aussi des lampes en spé-

l'éologie. La chaleur dégagée par cette combustion à 25°C et sous pression constante de 1 bar est de 1298kJ/mol d'acétylène, pour former de l'eau liquide et du gaz carbonique.

- a. Ecrire et équilibrer la réaction thermochimique. Quelle est l'enthalpie de la réaction telle que vous l'avez écrite (attention à la stoechiométrie). Est-elle exo ou endothermique ?
- b. Déterminer l'enthalpie standard de formation $\Delta H_f^0(C_2H_2)$ de l'acétylène gazeux ? On vous donne les enthalpies standards de formation ΔH_f^0 suivantes :
 1. $\Delta H_f^0[CO_2(g)] = -393.5 kJ/mol$
 2. $\Delta H_f^0[H_2O(g)] = -241.8 kJ/mol$
 3. $\Delta H_f^0[H_2O(l)] = -285.5 kJ/mol$

3. Variations d'entropie

- a. Calculez la variation d'entropie standard associée à la réaction de combustion suivante :



Pour cela on vous donne les entropies standard à 298K :

1. $S^0[CH_4(g)] = 186 Jmol^{-1}K^{-1}$
2. $S^0[O_2(g)] = 205 Jmol^{-1}K^{-1}$
3. $S^0[CO_2(g)] = 214 Jmol^{-1}K^{-1}$
4. $S^0[H_2O(g)] = 189 Jmol^{-1}K^{-1}$
- b. Comment peut on interpréter ce résultat, en termes de variation d'entropie ?
- c. Calculez la variation d'entropie dans le cas où l'eau est formée sous forme liquide, et non gazeuse. On vous donne $S^0[H_2O(l)] = 70 Jmol^{-1}K^{-1}$
- d. Que pouvez vous dire sur ce changement d'entropie ?
- e. Calculez l'entropie de fusion de la glace à 0°C et de vaporisation de l'eau à 100°C, sachant que $\Delta H_{fus}^0[H_2O] = 6.01 kJ/mol$ et que $\Delta H_{vap}^0[H_2O] = 40.7 kJ/mol$.

4. L'énergie du glucose

La combustion du glucose $C_6H_{12}O_6(s)$ est très importante pour les organismes qui respirent de l'oxygène (comme les êtres humains) car cela nous donne de l'énergie. La réaction aux conditions standards avec l'oxygène gazeux produit du dioxyde de carbone et de la vapeur d'eau.

- Ecrire et équilibrer la réaction (n'oubliez pas de préciser aussi si les réactifs et produits sont des solides, des liquides ou des gaz).
- Déterminer l'enthalpie standard de la réaction ΔH_r^0 , pour une mole de glucose à partir des enthalpies standards de formation ΔH_f^0 suivantes (attention à bien prendre toutes les valeurs dans leur état standard) :
 - $\Delta H_f^0[C_6H_{12}O_6(s)] = -1273.3 \text{ kJ/mol}$
 - $\Delta H_f^0[CO_2(g)] = -393.5 \text{ kJ/mol}$
 - $\Delta H_f^0[H_2O(l)] = -285.8 \text{ kJ/mol}$
 - $\Delta H_f^0[H_2O(g)] = -241.8 \text{ kJ/mol}$
- Déterminer l'enthalpie de la réaction telle qu'écrite à la question 4(a), ΔH_r , pour une mole de glucose à partir des enthalpies standards de formation ΔH_f^0 données au point précédent.

Vous avez lu quelque part que cerveau d'un(e) étudiant(e) en période de travail intense fonctionne à une puissance de 25W (1 Watt = 1J/s) environ. On voudrait donc calculer quelle masse de glucose il faudra que l'étudiant(e) consomme pour maintenir ce rendement pendant une heure.

- Est-ce que l'on peut calculer cela à partir de l'enthalpie de la réaction? Pourquoi?
- On supposera que l'enthalpie libre d'oxydation de $C_6H_{12}O_6(s)$ en dioxyde de carbone et en vapeur d'eau à 37°C est $\Delta G_r = -2828 \text{ kJ/mol}$. Que représente l'enthalpie libre (aussi appelée énergie de Gibbs)? Calculez alors la masse de glucose demandée à la question précédente, en prenant l'hypothèse que toute la combustion va vers le cerveau.

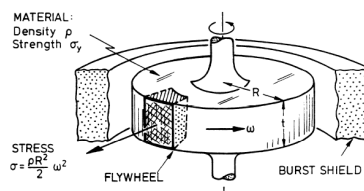
5. Est-ce que ça gèle la dedans?

Dans un récipient bien isolé et de capacité thermique négligeable (Dewar), on place 200g d'eau sortie du frigo à la température initiale $T_1 = 4^\circ\text{C}$. On plonge là-dedans une pièce en fer de 500g, qui sort tout juste d'un congélateur à la température $T_2 = -18^\circ\text{C}$. Est-ce que l'eau va geler? Et si oui, quelle masse d'eau gèle? On donne les chaleurs spécifiques de l'eau : $c_{p,eau} = 4.185 \text{ kJ} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ et du fer $c_{p,fer} =$

$0.460 \text{ kJ} \cdot \text{C}^{-1} \text{ kg}^{-1}$, et l'enthalpie de fusion de l'eau : $\Delta H = 333.55 \text{ J/g}$.
Suggestion : calculez d'abord la chaleur nécessaire pour chauffer la pièce métallique jusqu'à 0°C et celle pour refroidir l'eau à 0°C .

6. **Exercice facultatif pour les nostalgiques des sessions précédentes...Choix des matériaux pour un volant d'inertie (exercice en liaison avec le choix des matériaux et l'utilisation des cartes d'Ashby)**

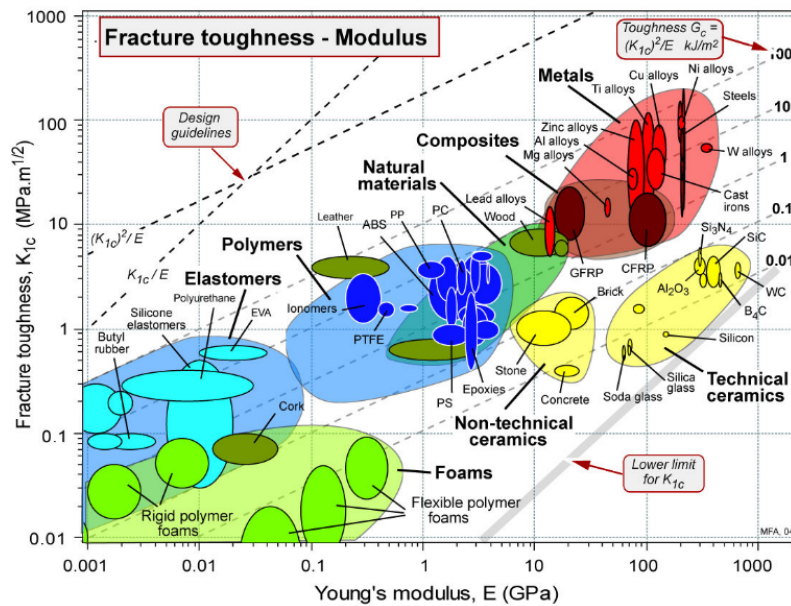
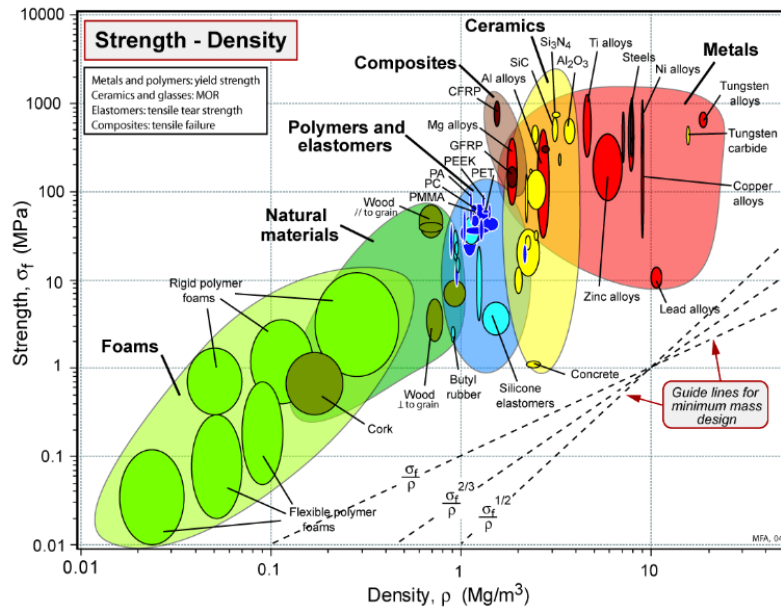
Un volant d'inertie est une pièce cylindrique (un disque) rotatif qui permet de stocker et restituer de l'énergie cinétique. Comme on peut voir sur la figure, le disque (flywheel) tourne très vite (il peut être mis sur un palier magnétique pour éviter les frottements), et il y a une protection mise autour en cas d'explosion (burst shield). La quantité d'énergie stockée est proportionnelle au carré de la vitesse angulaire de rotation, $W = \frac{\rho \pi R^4 t \omega^2}{4}$, où ρ est la masse volumique du matériau, R le rayon du disque, t son épaisseur, et ω la vitesse angulaire de rotation. Il faut donc que ce disque puisse tourner très vite. Mais, quand le disque tourne, les contraintes au bord du disque sont données par : $\sigma = \rho \frac{R^2}{2} \omega^2$, et celles-ci doivent rester en dessous de la limite d'élasticité (ou contrainte à rupture si le matériau est fragile) du matériau.



Sachant que l'on cherche à maximiser la quantité d'énergie stockée par unité de masse (W/m , où m est la masse du disque), tout en gardant les contraintes inférieures ou égales à la limite d'élasticité du matériau, trouvez l'indice de performance (rapport de grandeurs du matériau) qui est à maximiser. En regardant le graphe d'Ashby donné ci-dessous, trouvez quels matériaux vous paraissent les plus appropriés pour fabriquer ce disque. Sachant que l'on voudrait aussi un matériau dont la ténacité n'est pas trop faible, en cas de choc, par exemple $K_{Ic} \geq 10 \text{ MPa} \sqrt{\text{m}}$, dites quel matériau vous pourriez finalement retenir.

7. **Solution des exercices**

- a. Exercice 2 : *exothermique/formation acétylène* : 225.9 kJ/mol



- b. Exercice 3 : $\Delta S_r^0 = -4 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$), si eau liquide : $\Delta S_r^0 = -242 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$)
- c. Exercice 4 : Réponse : 5.7g
- d. Exercice 5 : réponse : 2.37g