



EXAMEN PROPEDEUTIQUE
26 JANVIER 2022

MATERIAUX : DE LA CHIMIE AUX PROPRIETES
Section Génie Mécanique

NOM :	Total des points : / 100
Numéro de place :	

RAPPEL IMPORTANT

Vous n'avez droit à **aucune documentation**, à part le formulaire remis avec l'énoncé, que vous n'avez pas besoin de rendre avec votre copie.

Vous avez **droit à une calculatrice non programmable (Type TI 30...) ou programmable mise en mode examen (montrer aux assistants dans la salle que c'est bien le cas).**

Seules les réponses développées et écrites sur ce questionnaire seront corrigées et compteront pour la note. Utilisez les feuilles de brouillon à la fin pour faire des calculs provisoires. Inscrivez les réponses finales dans les cases correspondantes, et résumez les calculs dans les cases également prévues à cet effet.

Laissez les feuilles de brouillon attachées au questionnaire, ou ré-agrafez les après (agrafeuses dans chaque salle à disposition). Vous pouvez aussi demander aux assistants des feuilles supplémentaires.

Les **réponses doivent être écrites LISIBLEMENT A L'ENCRE** (stylo-bille, feutre ou plume, les réponses au crayon sont considérées comme nulles).

Utilisez une **REGLE** pour les traits de construction dans un graphique. Les constructions trop approximatives seront jugées comme fausses.

LISEZ ATTENTIVEMENT LES DONNEES. Il y a 11 questions indépendantes.

Bon examen !

Question 1

/ 12

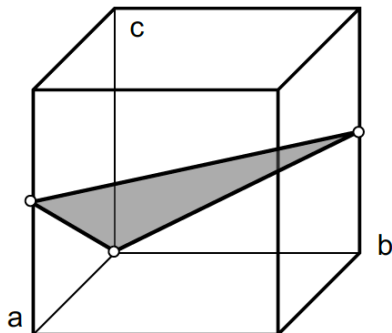
Cochez la réponse juste, après avoir lu **ATTENTIVEMENT** (jusqu'au bout) la question.
 (Attention : réponse juste +1 pt, réponse fausse -1 pt, total ≥ 0 pt).

	Vrai	Faux
a. L'atome d'oxygène a 4 électrons sur son orbitale 2p.	☐	☐
b. Dans une structure cristalline cubique, toutes les droites appartenant à un plan (hkl) sont parallèles à la direction [hkl].	☐	☐
c. La polarité d'une liaison chimique est liée à un transfert de charge partielle, proportionnel à la différence d'électronégativité entre les deux éléments.	☐	☐
d. Lors d'une déformation élastique linéaire, la variation de volume du matériau dépend de la valeur de la déformation imposée et du coefficient de Poisson, mais pas de la rigidité du matériau.	☐	☐
e. La densité d'énergie élastique lors d'une déformation a pour unités le Joule (J) et représente l'aire sous la courbe contrainte/déformation.	☐	☐
f. La limite d'élasticité d'un métal dépend de la mobilité des défauts présents dans le métal, alors que le module d'élasticité dépend de l'énergie de liaison entre les atomes.	☐	☐
g. Un alliage durci par précipitation aura une limite d'élasticité et une conductivité électrique plus élevées que l'alliage de même composition en solution solide.	☐	☐
h. La force d'un acide augmente avec la valeur du pKa de son couple acide/base conjugué.	☐	☐
i. Un matériau qui a un champ coercitif très grand sera considéré comme un aimant dur.	☐	☐
j. L'or est un métal précieux car son potentiel standard a une valeur positive relativement élevée. Par conséquent, la plupart des autres métaux sont réduits au contact d'une solution de sel d'or.	☐	☐
k. La limite d'endurance d'un matériau soumis à de la fatigue est définie comme l'amplitude de contrainte sous laquelle le matériau ne cassera pas en fatigue avant 10^7 cycles, pour une contrainte moyenne nulle.	☐	☐
l. Une dislocation vis a un vecteur de Burgers parallèle à la ligne de dislocation.	☐	☐

Question 2

/ 11

2a. Dans la structure cubique simple, quels sont les indices (hkl) de Miller du plan grisé (cochez la bonne réponse) ? (1 pts)

 $(22\bar{1})$ ☐ (112) ☐ $(11\bar{2})$ ☐ (110) ☐ (111) ☐ (220) ☐

2b. Dessinez sur la structure cubique ci-dessus la droite de direction $[1\bar{1}2]$ (1pts)

2c. Dans le plan (111) d'une structure cristalline cubique, quelle direction $[hkl]$ est perpendiculaire à la direction $[110]$? (2 pts)

 $[110]$ ☐ $[\bar{1}10]$ ☐ $[22\bar{1}]$ ☐ $[11\bar{2}]$ ☐ $[\bar{1}12]$ ☐

Calculs (ou justification graphique) :

2d. La sphalérite (aussi connue sous le nom de blende) est l'une des formes cristallines du sulfure de zinc et forme justement un des minerais de Zn. La structure cristalline est donnée à la page suivante. Les ions S occupent les sites du réseau, les ions Zn sont situés dans 4 sites interstitiels de la maille élémentaire (pour deux des 4 atomes de Zn, on a indiqué en pointillés sur le dessin la structure géométrique autour des atomes, pour aider à mieux visualiser leur position). Répondez aux questions suivantes :

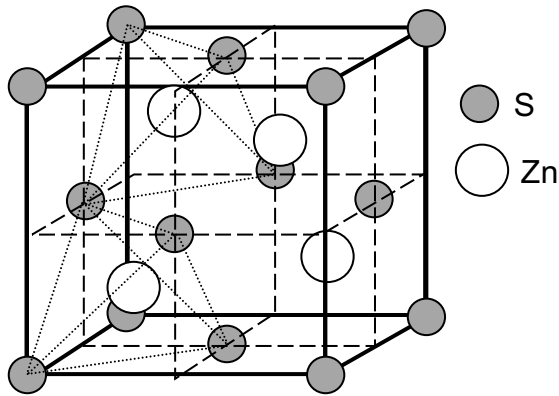
a. Quelle est la structure cristalline formée par les atomes de S ? (0.5pt) :

b. Combien y a-t-il d'atomes de Zn en propre dans la maille ? (0.5pt) :

c. Combien d'atomes de S en propre dans la maille ? (0.5pt) :

d. Quel est le degré de coordination du Zn ? (1pt) :

e. Quel est le nom du site interstitiel dans lequel les atomes de Zn se trouvent ? (0.5pt):



2e. Quelle est la composition chimique ? (1 pt)

Zn_2S_7 ☐ ZnS_4 ☐

ZnS_2 ☐ ZnS ☐

2f. Entourez le motif sur le dessin (1pt)

2g. Donnez la configuration électronique du Soufre dans son état fondamental (0.5pt)

réponse:

2h. Le soufre forme un ion, est-ce un anion ou un cation, et quelle est sa configuration électronique? (1.5 pt)

Explication :

réponse:

Question 3

/ 7

3a. Quelle est l'hybridation du carbone dans les structures/molécules suivantes ?

..... 0.5pt

Méthane (CH_4)

..... 0.5pt

Ethylène (C_2H_4)

..... 0.5pt

Polyéthylène ($[\text{C}_2\text{H}_4]_n$)

..... 0.5pt

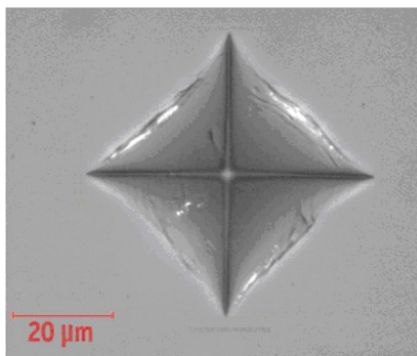
Benzène (C_6H_6)

3b. Le téflon (C_2F_4)_n a une masse molaire moyenne de 200 kg/mole. Connaissant la masse molaire du carbone (12 g/mole) et du fluor (19 g/mole), calculez le nombre de monomères constituant une chaîne moyenne. (2pt)

Calcul :

$n = \dots$

3c. Une empreinte de dureté Vickers est montrée ci-dessous. Elle a été faite avec une masse de 1 kg.



1. Cette empreinte est-elle représentative du module d'élasticité du matériau ? (1pt)

oui ☐ non ☐

2. Calculez la dureté du matériau (les diagonales font 60 μm): (2pts)

Calcul de la dureté Vickers :

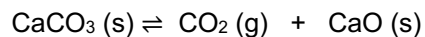
Question 4

Carbonate de Calcium

17

Le carbonate de calcium (CaCO_3) est composé d'ions carbonate et d'ions calcium, et forme le composant majeur de certaines roches calcaires (la craie), et du marbre. A partir d'une certaine température, on peut le décomposer en chaux (CaO) et en dioxyde de carbone, c'est une réaction qui intervient aussi dans la fabrication du ciment.

On considère donc cette réaction, dans un récipient fermé.



On donne:

	Enthalpie standard de formation ΔH_f^0 (kJ mol ⁻¹)	Entropie molaire standard S^0 (J K ⁻¹ mol ⁻¹)
$\text{CaCO}_3 (\text{s})$	-1206.9	92.9
$\text{CO}_2 (\text{g})$	-393.5	213.7
$\text{CaO} (\text{s})$	-635.1	39.8

4a. Calculez l'enthalpie standard molaire de la décomposition du carbonate de calcium, à 25°C. La réaction est elle exothermique ou endothermique? Pourquoi? (1pt)

Calcul :

$\Delta H_r^0 =$

4b. Calculez l'entropie standard molaire de la décomposition du carbonate de calcium à 25°C. Est-elle positive, et pourquoi? (1pt)

Calcul :

$\Delta S^0 =$

4c. La formation de dioxyde de carbone est-elle spontanée à température ambiante? Pourquoi? (1pt)

Calcul :

Réponse :

4d. A partir de quelle température aura-t-on une décomposition spontanée de CaCO_3 ? Pour faire ce calcul, on supposera que l'enthalpie est indépendante de la température. (2pts)

Calcul :

Réponse :

4e. On voudrait essayer de modifier l'équilibre de cette réaction en agissant sur certains paramètres donnés ci-dessous. Cochez la case correspondant à la bonne réponse : (2pts)

Que se passe-t-il pour que la réaction soit à nouveau à l'équilibre si:	L'équilibre se déplace vers la droite →	L'équilibre se déplace vers la gauche ←	Rien ne se passe
On diminue la température			
On augmente le volume du récipient			
On augmente la concentration de CaCO_3			
On augmente la pression partielle de CO_2			

Question 5**/ 10****Pile rechargeable**

Une pile rechargeable Ag-Cd est formée de deux compartiments. Le premier contient 100mL d'une solution aqueuse d'ions Cd^{2+} dans laquelle plonge une électrode de cadmium métallique. Le second compartiment contient une électrode d'argent métallique qui trempe dans 100mL d'une solution aqueuse d'ions Ag^+ .

On donne: $E^0(\text{Ag}^+/\text{Ag}) = + 0.800 \text{ V}$; $E^0(\text{Cd}^{2+}/\text{Cd}) = - 0.403 \text{ V}$

On considérera que cette pile fonctionne à température constante de 25°C , et que les concentrations de départ des ions dans les solutions sont de 1Mol/l.

5a. Quelle réaction d'oxydo-réduction entre ces 2 couples se passera de manière spontanée? Justifiez votre réponse. (2pts)

Réponse :

5b. Ecrivez l'équation d'oxydo-réduction, en indiquant le degré d'oxydation de chacun des éléments de la réaction. (2pt)

Réponse :

5c. Quelle est la force électromotrice de cette pile, dans les conditions standards ? (1pt)

Calcul :

Réponse :

5d. Quelles électrodes constituent respectivement l'anode et la cathode? Justifiez votre réponse. (1pt)

Réponse :

5e. On décharge complètement la pile, si bien que tous les ions oxydants ont été consommés et leur concentration passe à zéro dans la solution. Il reste une concentration d'ions réducteurs de $4 \cdot 10^{-2}$ M dans la solution. On recharge alors la pile en faisant passer un courant d'intensité $I=0.5$ A pendant 15 minutes, pour effectuer une électrolyse et reformer des ions oxydants, et réduire les ions réducteurs en métal.

Calculez le nombre de moles d'ions formés ou disparus, et évaluez leur concentration. Ecrivez le quotient réactionnel Q , calculez sa valeur. Est ce que la pile est complètement rechargée (pour cela calculez son ΔE et comparez à la force électromotrice standard)? (4pts)

Calculs :

Réponses :

Nombre de mole d'ions oxydants reformés :

Concentration en ions oxydants reformés :

Nombre de moles d'ions réducteurs reformés :

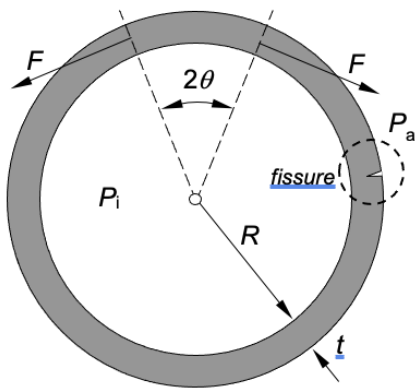
Concentration en ions réducteurs (totale):

Quotient réactionnel :

Pile complètement rechargée? $\Delta E=$

Question 6

/ 10



Un tube cylindrique en polypropylène rempli d'une huile est utilisé pour mettre sous pression P_i un actionneur.

Le tube a un rayon intérieur R et une épaisseur de paroi t . Pour simplifier, on supposera que $R \gg t$, de telle sorte que la contrainte tangentielle dans la paroi du polypropylène peut être considérée comme uniforme.

6a. En considérant la différence de pression $\Delta P = (P_i - P_a)$, où P_a est la pression extérieure, faites un bilan de force agissant sur un petit secteur d'ouverture 2θ (et de longueur L dans le sens perpendiculaire à la feuille) pour exprimer cette contrainte tangentielle σ en fonction des paramètres ΔP , R et t . On prendra l'hypothèse que l'angle θ est suffisamment petit pour que $\sin \theta$ soit pratiquement égal à θ . (3 pts)

Expression littérale de la contrainte :

$\sigma =$

Justification :

.....

.....

.....

6b. Lors d'un contrôle, on constate une petite fissure de profondeur $\ell = 300 \mu\text{m}$ sur la surface externe du tube (voir dessin). L'expression trouvée sous (a) donne une contrainte tangentielle de 20 MPa. Le polypropylène a une ténacité de $4 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$. Devez-vous changer le tube avant la prochaine utilisation ? (2 pts)

Oui

☐

Non

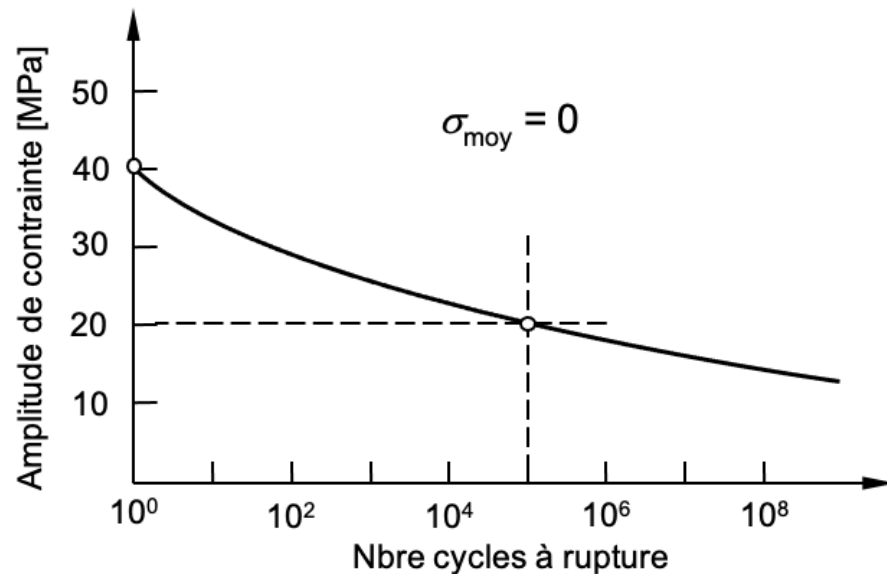
☐

Justification :

.....

.....

6c. Après avoir changé le tube en polypropylène de la question précédente par un tube neuf, on se pose la question de savoir combien de cycles de mise sous pression va-t-on pouvoir faire avec une différence de pression variant entre $\Delta P = 0$ ($\sigma = 0$) et $\Delta P = (P_i - P_a)$, pour laquelle on a trouvé que la contrainte tangentielle valait $\sigma = 20$ MPa. La seule information dont on dispose est la courbe de Wöhler mesurée à contrainte moyenne nulle indiquée ci-dessous.



- a. On propose de construire la courbe de Wöhler correspondant à la mise sous pression du tube en polypropylène (σ variant entre 0 et 20 MPa). Donnez les valeurs de la contrainte moyenne et de l'amplitude dans ces conditions.

Contrainte moyenne :

Amplitude:

(1 pt)

- b. Calculez dans ces conditions l'amplitude de contrainte maximum pour une rupture à 1 cycle et représentez ce point sur le diagramme ci-dessus. (Justifiez votre réponse). (1 pt)

Justification:

Amplitude à 1 cycle :

σ_a (1cycle)= MPa

- c. Faites de même pour l'amplitude de contrainte correspondant à une rupture à 10^5 cycles. (0.5 pt)

Justification:

Amplitude à 10^5 cycles :

σ_a (10^5 cycles)= MPa

- d. Sachant que limite d'endurance à la fatigue du matériau pour une contrainte moyenne nulle est de 16 MPa, quelle serait la nouvelle valeur d'endurance dans les conditions d'utilisation présentes ? (0.5 pt)

Justification:

Endurance :

$\sigma_e =$ MPa

- e. Construisez la courbe sur le dessin (1pt)

- f. Finalement, dans ces conditions d'utilisation du tube en fatigue, doit on dire à l'utilisateur de porter une attention particulière au risque de fissuration en fatigue? (1 pt)

Justification:

Réponse:

Question 7

/ 8

On considère à nouveau le Polypropylène de la question précédente, et on donne sa courbe de déformation en traction comme indiqué dans la figure. On demande d'indiquer graphiquement sur la figure et d'estimer ainsi les valeurs des paramètres suivants de ce matériau :

1. Le module d'élasticité :
1pt

$$E = \dots \text{MPa}$$

2. La limite d'élasticité :
1pt

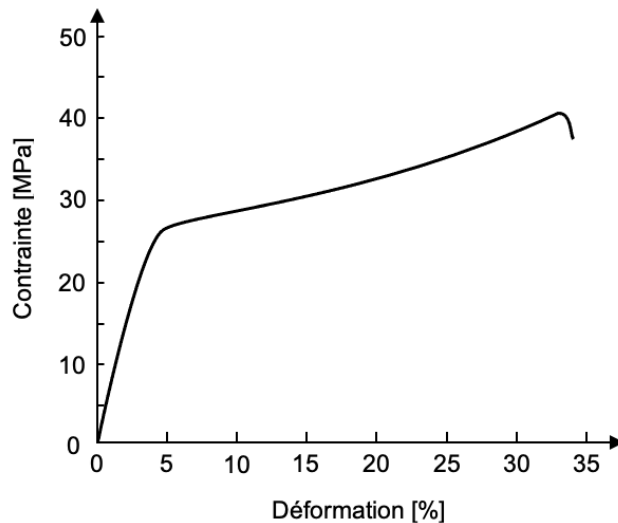
$$\sigma_{0.5} = \dots \text{MPa}$$

3. La résistance maximum :
1pt

$$\sigma_m = \dots \text{MPa}$$

4. La ductilité :
1pt

$$\varepsilon_R = \dots \%$$



5. Quelle est la densité d'énergie dissipée lorsque l'on charge le matériau à 20MPa en traction, puis retour à 0 MPa (comme pour le tube de l'exercice précédent)?
1pt

$$\text{Densité d'énergie dissipée} = \dots \text{J/m}^3$$

6. Ce matériau est déformé jusqu'à une contrainte de 35 MPa. Quelle est la déformation résiduelle lorsque l'on relâche la contrainte (indiquez aussi graphiquement sur la figure).
1pt

$$\varepsilon_{\text{résiduelle}} = \dots \%$$

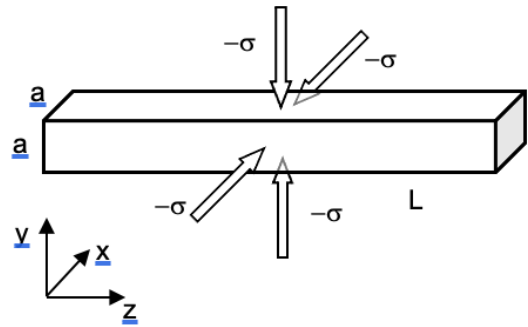
7. On reprend un tube neuf comme celui de l'exercice précédent, au repos (non chargé en huile) (voir dessin). Dans les conditions d'utilisation de notre actionneur, on réalise que la température n'est pas la température ambiante, mais environ 50°C. On donne le coefficient d'expansion thermique du polypropylène, $\alpha = 60 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$. Est-ce que le tube à la température d'utilisation aura un diamètre intérieur un peu plus grand qu'à 20°C, identique ou un peu plus petit ? Pas besoin de faire de calcul, mais justifiez votre réponse.
1pt

8. Selon ce que vous savez du comportement des polymères, est-ce qu'on attend qu'à 50°C le matériau se déforme plus facilement qu'à 20°C sous charge (avec l'huile dedans sous pression) pareil, ou moins facilement? Justifiez votre réponse.
1pt

Question 8

/ 9

Une barre parallélépipédique de section carrée $a \times a$ et de longueur L (voir dessin) est comprimée en restant dans le domaine élastique sur les quatre faces de dimensions $L \times a$ par une contrainte en compression $-\sigma$. Quelles sont les nouvelles dimensions de la barre, sachant que son module élastique est E et que son coefficient de Poisson vaut ν ?



Indication : Appliquez d'abord la compression selon la direction x pour calculer les nouvelles dimensions de la barre, puis sur ces nouvelles dimensions, appliquez la contrainte de compression selon la direction y . Ne gardez que les termes de premier ordre dans vos développements.

Nouvelles dimensions après l'application de $-\sigma$ selon x :

a_x' : 1.5 pt

a_y' : 1.5 pt

L' : 1.5 pt

Puis, nouvelles dimensions après l'application de $-\sigma$ selon y :

a_x'' : 1.5 pt

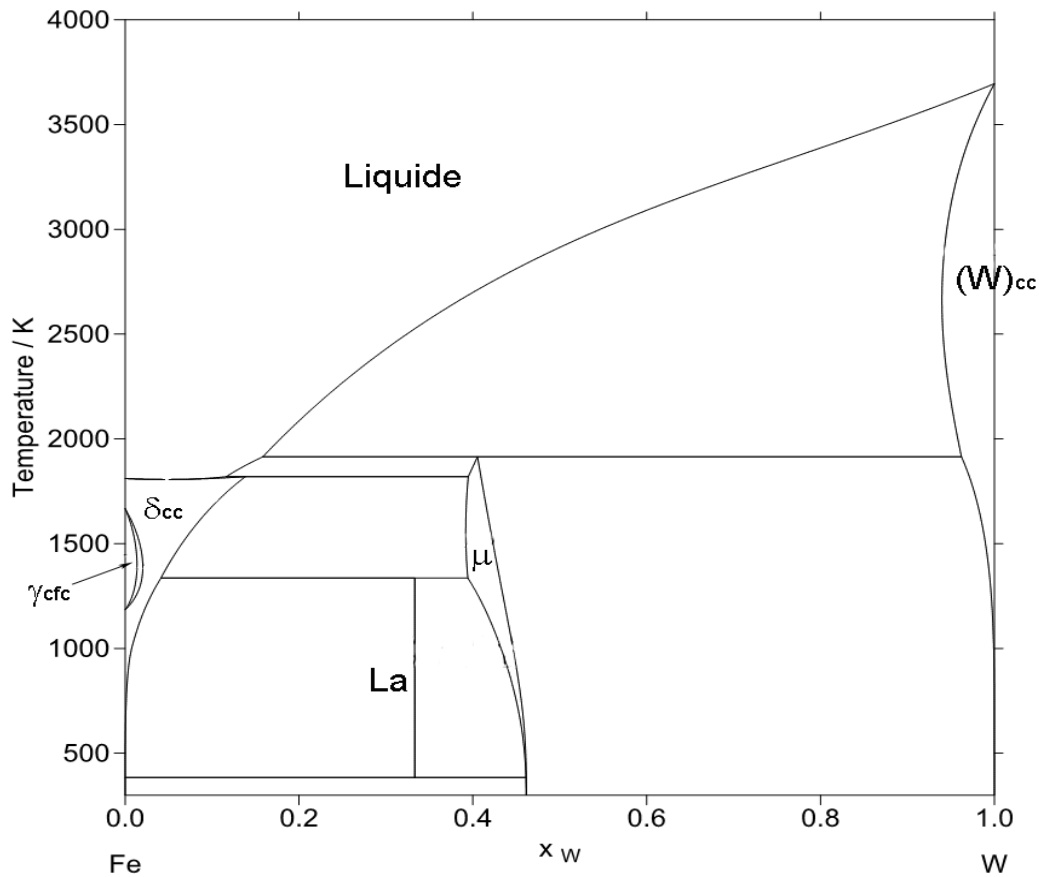
a_y'' : 1.5 pt

L'' : 1.5 pt

Question 9

/ 10

Le tungstène (W) est souvent ajouté comme élément de soluté dans les aciers à outil. Le diagramme de phase Fe-W en composition molaire (ou atomique) est donné ci-dessous. Les phases présentes sont : les structures δ cubique centrée (cc) et γ cubique à faces centrées (cfc) du fer, la structure cc du tungstène, une phase intermédiaire μ et une phase stoechiométrique appelée « Lave » (La).



9a. Indiquez sur le diagramme de phase par les symboles en gras entre parenthèses les invariants de nature : 1) eutectique (**EQ**) ; 2) péritectique (**PQ**) ; 3) eutectoïde (**ED**) ; 4) péritectoïde (**PD**) ? (2 pts)

9b. Hachurez les zones biphasées (Liquide - μ) et (La - δ_{cc}). (2 pts)

9c. Sachant que la composition molaire de la phase lave (La) est 0.33, quelle est la formule équivalente de cet intermétallique (1 pt)

i. Fe..... W.....

- 9d. La masse molaire du fer étant de 56 g/mole et celle du tungstène de 184 g/mole, calculez la composition en % poids d'un alliage Fe-W ayant une composition molaire en tungstène de 50 at%.

Développement littéral : $C_W =$
(1 pt)

Application numérique : $C_W =$
(1 pt)

- 9e. Quel est le pourcentage de phase liquide si je considère l'alliage à 60at% à 2500K ? Pour simplifier le calcul, relevez les valeurs utiles sur le diagramme (indiquez lesquelles sur le diagramme) et indiquez leurs valeurs, puis faites le calcul. (3pts)

Calcul :

Réponse :

Question 10**/ 10**

On dispose d'une solution aqueuse d'ammoniac et d'une solution aqueuse d'acide chlorhydrique, pour faire quelques expériences de chimie.

10a. On considère la solution aqueuse d'ammoniac, de concentration 0.1M. Sachant que le $pK_b=4.78$, écrivez l'équation chimique entre l'ammoniac et l'eau, l'équation de la constante de basicité K_b en fonction des concentrations pour cette solution, et indiquez si l'ammoniac est un acide ou une base, fort(e) ou faible. (1.5 pt)

Calculez le pH de la solution. (1.5pt)

Calcul :

Réponse: pH =

10b. On considère maintenant la solution d'acide chlorhydrique, dont le $pK_a= - 8$. On mesure le pH de cette solution, et on trouve $pH=1.5$. Quelle est la concentration de cette solution? (1.5 pt)

Calcul :

Réponse:

10c. On prend cette solution d'acide et on la dilue dans beaucoup d'eau, pour obtenir une solution de concentration $5 \cdot 10^{-7}$ mol/l. Quel est le pH de cette nouvelle solution? (1.5 pt)

Calcul :

Réponse:

10d. On mélange les deux solutions des questions a et b ensemble, en mettant dans le bécher 15.5 ml de solution d'ammoniac et 50 ml de solution d'acide chlorhydrique, quelle est l'équation chimique de la réaction? (0.5pt)

Equation:

Indiquez les couples acide base en présence : (1pt)

Acide : Base conjuguée :

Base : Acide conjugué :

Estimez le pH de cette solution: (1.5 pt)

Calcul :

Réponse:

10e. Au lieu de l'acide chlorhydrique, un de vos collègues propose d'utiliser l'acide fluorhydrique, car la liaison HF est plus forte (569kJ/mol) que la liaison HCl (431kJ/mol), et donc il pense que du coup, l'acide sera plus fort. Est-ce que cette affirmation est correcte ? (1pt)

Justification:

Réponse:

Question 11

/ 6

Par ces temps d'hiver, quand on est dehors au jardin et qu'il fait 0°C , on ressent avec la main une plus grande sensation de froid quand on touche un objet en aluminium plutôt qu'un objet en plastique (par exemple en polypropylène).

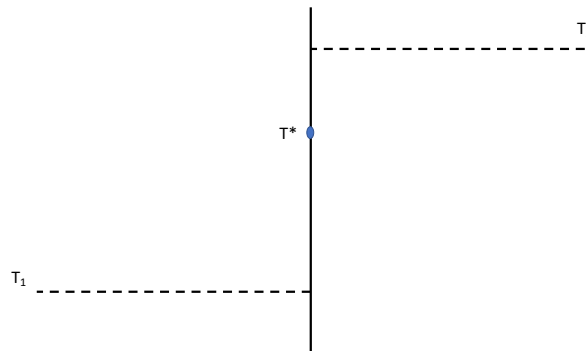
Pour expliquer pourquoi et quantifier cela, on simplifie le problème en disant que notre main (principalement formée d'eau) est initialement à la température constante de 35°C , et que l'objet (plastique ou métal) est initialement à 0°C . On met les 2 (main et métal) en contact. On propose alors de calculer la température d'interface T^* entre la main et l'objet, en prenant l'hypothèse que les flux thermiques sont égaux, pour les 2 cas. On vous donne :

$$k_{\text{plastique}} = 0.22 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}, (\rho c_p)_{\text{plastique}} = 1.7 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$k_{\text{alu}} = 237 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}, (\rho c_p)_{\text{alu}} = 2.42 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$k_{\text{main}} = 0.56 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}, (\rho c_p)_{\text{main}} = 4.18 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-3} \text{ K}^{-1}$$

11a. Indiquez sur le dessin ci-dessous, la direction des flux thermiques, le profil estimé de température, les longueurs caractéristiques et températures caractéristiques utiles pour votre calcul simplifié. (2 pts)



11b. Ecrivez l'équation d'équilibre des flux thermiques et calculez la température d'interface dans les 2 cas, et donnez votre conclusion. (4pts)

donc: T^* (main/plastique) = $^{\circ}\text{C}$ et T^* (main/alu) = $^{\circ}\text{C}$

Conclusion :

Fin des questions

Feuille de brouillon pour développer les calculs

(les réponses sur cette feuille ne sont pas corrigées et doivent être reportées dans la copie).

Feuille de brouillon pour développer les calculs

(les réponses sur cette feuille ne sont pas corrigées et doivent être reportées dans la copie).