

**Matériaux: De la Chimie aux Propriétés**  
**Materials : From Chemistry to Properties**  
**EXAMEN ECRIT / WRITTEN EXAMINATION**  
**26 Juin 2024**

<b>Nom / Name :</b> .....	<b>Total points :</b> /100
<b>No place / Place number :</b> <input type="text"/>	<b>Temps disponible / Time available</b> 180 min

**NOTES IMPORTANTES / IMPORTANT NOTES**

- Mis à part le formulaire mis à disposition lors de l'examen, aucune autre documentation ou matériel n'est autorisé.  
*Except for the formulary that is handed out with the exam, no other forms or materials are allowed during the exam.*
- Seules les calculatrices non-programmables sont autorisées. Les calculateurs programmables devront être mis en mode « examen » avec contrôle d'un assistant.  
*Only non-programmable calculators are permitted. Programmable calculators must be put in exam mode in the presence of an assistant.*
- Seules les réponses écrites de manière lisible dans le questionnaire seront prises en considération. Des feuilles-brouillons sont à disposition à la fin du questionnaire pour faire des calculs accessoires (du papier-brouillon supplémentaire peut être fourni). Mais les réponses doivent impérativement être écrites dans les cases prévues du questionnaire. Vous pouvez remettre les feuilles-brouillons avec la copie de l'examen, si vous le souhaitez.  
*Answers that are written legibly on the copy of the exam will only be considered. Scribbling paper are available at the end of the questionnaire (you can always ask for additional sheets) and can be used for calculations etc., but the answers should be indicated on the copy of the exam in the designed boxes. You can also hand in your scribbling paper with the exam copy, if you'd like.*
- Les réponses doivent être lisibles et clairement énoncées, avec un stylo ou une plume. Les réponses au crayon ne seront pas prises en consideration  
*Answers should be written legibly with a pen or fountain pen and clearly stated. Answers written with pencil will not be considered.*
- Veuillez utiliser une règle pour des constructions graphiques. Les graphiques trop imprécis seront considérés comme incorrects. Le crayon est autorisé dans ce cas.  
*Use a ruler for graphical constructions. Graphs that are too imprecise will be marked as incorrect. A pencil is authorized in this case.*
- Il y a un total de 15 exercices. Lisez les données avec attention.  
*There are a total of 15 exercises. Please read them carefully.*

Bonne chance / *Good luck !*



Exercice 1 :

Total : /10 pts

Réponse juste/ **Correct answer : 1 pt**

Réponse fausse ou pas de réponse/ **Wrong answer or no answer : 0 pt**

Répondez par vrai ou faux aux questions suivantes :

Answer with Correct/Wrong to the following questions :

- |   | Vrai<br>Correct                     | Faux<br>Wrong                       |
|---|-------------------------------------|-------------------------------------|
| a. L'énergie d'ionisation d'un atome, c'est-à-dire l'énergie nécessaire pour acquérir un électron externe, dépend de la taille de l'atome. Les métaux-alcalins forment facilement des ions, leur énergie d'ionisation est faible.<br><i>The ionization energy of an atom, that is, the energy necessary to gain an external electron depends on the size of the atom. Alkaline metals easily form ions, their ionization energy is low.</i>   | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> |
| b. Dans l'acétylène $C_2H_2$ , les orbitales des atomes de carbone sont hybridées $sp$ et dans le polyacétylène $(C_2H_2)_n$ , elles sont hybridées $sp^2$ .<br><i>In acetylene <math>C_2H_2</math>, the orbitals of the carbon atoms are <math>sp</math> hybridized, and in polyacetylene <math>(C_2H_2)_n</math>, they are <math>sp^2</math> hybridized.</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            |
| c. Le principe d'incertitude de Heisenberg affecte l'aptitude à préciser les propriétés des objets. L'incertitude sur la position d'un objet macroscopique (visible par l'œil et plus lourd que n'importe quelle particule subatomique), qui bouge, est très petite. Mais l'incertitude sur la vitesse d'un électron qui est très léger et confiné dans une petite région, est très grande.<br><i>Heisenberg's uncertainty principle affects the ability to specify the properties of objects. The uncertainty about the position of a macroscopic object (visible to the eye and heavier than any subatomic particle), which is moving, is very small. But the uncertainty about the velocity of an electron, which is very light and confined to a small region, is very large.</i> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            |
| d. Un système composé d'une seule espèce chimique a la même compacité et la même coordination s'il a la structure cubique à faces centrées ou la structure hexagonale compacte.<br><i>A system made of a single chemical species has the same compaction and the same coordination if it has the face centred cubic structure or the hexagonal close-pack structure.</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            |
| e. A pression fixée, un système composé de 3 espèces chimiques a au plus 3 phases en équilibre.<br><i>At a fixed pressure, a system made of 3 chemical species can have a maximum of 3 phases in equilibrium.</i>   | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> |
| f. L'écrouissage d'un alliage métallique correspond à une augmentation de sa limite élastique due aux dislocations créées précédemment par déformation plastique.<br><i>The work-hardening of a metallic alloy corresponds to an increase of its elastic limit due to dislocations previously formed by plastic deformation.</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            |

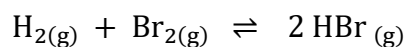
- g. La dureté d'un matériau est une mesure indirecte de sa rigidité. ☐ ☒  
*The hardness of a material is an indirect measure of its rigidity.*
- h. La distance caractéristique de la diffusion thermique dans un matériau solide sur un temps  $\tau$  est donnée  $\sqrt{a\tau}$ , où  $a$  est la diffusivité thermique du matériau. ☒ ☐  
*The characteristic distance for the diffusion of heat over a time  $\tau$  in a solid material is given by  $\sqrt{a\tau}$ , where  $a$  is the thermal diffusivity of the material.*
- i. Chaque domaine ferroélectrique a une polarisation égale à la polarisation à saturation, même si la polarisation globale du matériau est nulle. ☒ ☐  
*Each ferroelectric domain has a polarisation equal to the polarisation at saturation, even if the overall polarisation of the material is nil.*
- j. Un aimant dur se distingue d'un aimant doux par une aimantation à saturation très élevée. ☐ ☒  
*A hard magnet differs from a soft magnet by a very high magnetisation at saturation.*

## Exercice 2 : Thermodynamique et Equilibre/ Thermodynamics and Equilibrium

Total :  /10 pts

On considère l'équilibre suivant en phase gazeuse :

*Consider following equilibrium reaction in the gas phase:*



- a. Donnez l'équation de la constante d'équilibre exprimée en concentration.

*Give the equation of the equilibrium constant expressed as concentration.*

$$K = \frac{[\text{HBr}]^2}{[\text{H}_2] [\text{Br}_2]}$$

0.5 pt

- b. Si l'on effectue cette réaction à 400°C en mélangeant hydrogène  $\text{H}_2$  et brome  $\text{Br}_2$  équimolaire au début, on observe l'établissement de l'équilibre lorsque 90% de HBr est formé. Calculez la constante d'équilibre pour cette température.

*If the reaction takes place at 400°C by mixing hydrogen  $\text{H}_2$  and bromine  $\text{Br}_2$  equimolar in the beginning, equilibrium is established when 90% of HBr is formed. Calculate the equilibrium constant at this temperature.*

2 pt

Calculs/Calculation:

	$\text{H}_2$ [%]	$\text{Br}_2$ [%]	HBr [%]
$t_0$	50	50	0
$t_{eq}$	5	5	90

$$K = \frac{[\text{HBr}]^2}{[\text{H}_2][\text{Br}_2]} = \frac{90^2}{5 \times 5} = 324$$

K = 324

- c. Calculez l'enthalpie libre standard molaire de la réaction à 400°C.  
 Calculate the molar standard free enthalpy of the reaction at 400°C.

1 pt

Calculs/Calculation::

$$\Delta G_r^0 = -RT \ln K = -8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{K}^{-1} \times 673.15 \text{ K} \ln 324 = -32352 \text{ J mol}^{-1}$$

$$\Delta G_r^0 = -32,35 \text{ kJ mol}^{-1}$$

- d. Calculez l'enthalpie molaire standard de la réaction à 25°C avec les données suivantes pour la formation de bromhydrique.  
 Use the data below to calculate the standard molar reaction enthalpy at 25°C for the formation of hydrogen bromide.

2 pt

	enthalpie standard de formation standard enthalpy of formation $\Delta H_f^0$ [kJ mol <sup>-1</sup> ] (25°C)
H <sub>2</sub>	0
Br <sub>2</sub>	30.7
HBr	-36.3

Calculs/Calculation:

$$\Delta H_r^0 = \sum_{i=1}^p \nu_i \Delta_f H_i^0 (\text{products}) - \sum_{j=1}^r \nu_j \Delta_f H_j^0 (\text{reactants})$$

$$= \Delta H_f^0 (\text{HBr}) - [\frac{1}{2} \Delta H_f^0 (\text{Br}_2) + \frac{1}{2} \Delta H_f^0 (\text{H}_2)] = -36.3 \text{ kJ/mol} - \frac{1}{2} 30.7 \text{ kJ/mol} = -51.65 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta H_r^0 = -51.65 \text{ kJ mol}^{-1}$$

- e. Pourquoi l'enthalpie standard molaire de formation d'hydrogène H<sub>2(g)</sub> est zéro ?  
 Why is the standard molar enthalpy of formation of hydrogen H<sub>2(g)</sub> zero?

1 pt

Explications:

Selon la définition de l'enthalpie standard de formation un élément dans son état plus stable a une enthalpie standard de formation égale à zéro. L'élément hydrogène est un gaz diatomique à 1 bar et 25°C.

Based on the definition of the standard enthalpy of formation, an element in its most stable form has a standard enthalpy of formation of zero. The element hydrogen is at 1 bar and 25°C a gas and diatomic.

- f. Estimez si la variation d'entropie standard de la réaction  $\Delta S_r^0$  est positive, négative ou proche de zéro. Cochez la case correspondante et expliquez votre choix.

1.5 pt

Estimate if the standard reaction entropy  $\Delta S_r^0$  is positive, negative or approximately zero. Tick the right box, and explain your choice.

$\Delta S_r^0 < 0$  ☐  $\Delta S_r^0 > 0$  ☐  $\Delta S_r^0 \cong 0$  ☒

Explication/Explanation:

L'entropie est une mesure du désordre. La variation d'entropie sera petite car dans le système l'ordre et le désordre respectivement ne changera pas énormément. A côté de réactants et de produits il y a le même nombre de molécules gazeuses.

The entropy is a measure of order. The entropy change will be small because in the system the order and disorder respectively will not change significantly. On both sides of the reaction the number of gas molecules is equal.

- g. Prédire le changement d'équilibre de la formation bromhydrique qui se produit dans les conditions suivantes :

2 pt

Indicate how the equilibrium of the formation of hydrogen bromide will change under the following conditions:

Répondez en cochant la case correcte / Tick the correct answers

Action exécutée après que l'équilibre soit atteint : Actions taken after the equilibrium is established:	L'équilibre se déplace vers la droite (produit) Equilibrium shifts to the right (product) →	L'équilibre se déplace vers la gauche (réactif) Equilibrium shifts to the left (reactant) ←	Rien ne change Nothing happens
Augmentation de volume du conteneur Increase of container volume			<input checked="" type="checkbox"/>
Augmentation de la température Increase of temperature		<input checked="" type="checkbox"/>	
Ajout d'hydrogène $H_2$ Introducing hydrogen $H_2$	<input checked="" type="checkbox"/>		
Elimination de bromhydrique HBr Removal of hydrogen bromide HBr	<input checked="" type="checkbox"/>		

**Exercice 3 : Acide-Base Réaction / Acid-Base Reaction**Total : /4.5 pts

Si le gaz bromhydrique HBr est introduit dans l'eau H<sub>2</sub>O, une solution d'acide bromhydrique est obtenue. L'acide bromhydrique est un acide fort.

When the gaseous hydrogen bromide HBr is lead into water H<sub>2</sub>O, a solution of the hydrobromic acid is obtained. Hydrobromic acid is a strong acid.

- a. Calculez le pH de la solution avec une concentration [HBr<sub>(aq)</sub>] = 0.2×10<sup>-6</sup> mol L<sup>-1</sup>  
Calculate the pH of a solution with a concentration [HBr<sub>(aq)</sub>] = 0.2×10<sup>-6</sup> mol L<sup>-1</sup>

1.5 pt

Calculs/Calculation:

$$[H^+] = \frac{c_a + \sqrt{c_a^2 + 4K_e}}{2} = \frac{2 \times 10^{-7} + \sqrt{(2 \times 10^{-7})^2 + 4 \times 10^{-14}}}{2} = 2.414 \times 10^{-7}$$

$$\text{pH} = -\log [H^+] = 6.6$$

pH = 6.6

- b. Pour obtenir une solution d'acide bromhydrique avec une valeur de pH de 1.8 à 25°C, quelle devrait être la concentration de HBr ?

In order to obtain a hydrobromic acid solution with a pH value of 1.8 at 25°C what should be the concentration of HBr ?

1 pt

Calculs/Calculation:

$$\text{pH} = 1.8 \rightarrow [H^+] = 10^{-1.8} = 0.016 \text{ mol L}^{-1}$$

C'est un acide fort et complètement dissocié, c'est pourquoi la concentration de proton [H<sup>+</sup>] est égal à la concentration initiale de HBr.

It is a strong acid and fully dissociates, therefore the proton concentration [H<sup>+</sup>] is equal to the initial concentration of HBr.

c = 0.016 mol L<sup>-1</sup>

- c. Pour prouver la présence de bromure dans les solutions aqueuses, une solution de nitrate d'argent AgNO<sub>3</sub> est ajoutée à la solution à analyser. En présence de bromure, on observe un précipité jaune clair dû à la formation de bromure d'argent AgBr. La solubilité du bromure d'argent dans H<sub>2</sub>O est de 0,14 mg L<sup>-1</sup> à 25°C. Calculez la constante de solubilité du bromure d'argent.

2 pt

To prove the presence of bromide in aqueous solutions, a silver nitrate AgNO<sub>3</sub> solution is added. In the presence of bromide, a light-yellow precipitate is observed due to the formation of silver bromide AgBr. The solubility of silver bromide in H<sub>2</sub>O is 0.14 mg L<sup>-1</sup> at 25°C. Calculate the solubility constant of silver bromide.

Calculs/Calculation:

Solubilité/Solubility:  $0.14 \text{ mg L}^{-1} = 140 \times 10^{-6} \text{ g L}^{-1}$

$M(\text{AgBr}) = 188 \text{ g mol}^{-1}$

$n = m/M = 140 \times 10^{-6} / 187.77 \text{ g mol}^{-1} = 0.7455 \times 10^{-6} \text{ mol}$

$c = 0.7455 \times 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$

$\text{AgBr (s)} \rightleftharpoons \text{Ag}^+ \text{(aq)} + \text{Br}^- \text{(aq)}$

$$K_s = [\text{Ag}^+][\text{Br}^-] = (0.7455 \times 10^{-6})^2 \text{ mol}^2 \text{ L}^{-2} \\ = 5.5 \times 10^{-13} \text{ mol}^2 \text{ L}^{-2}$$

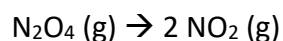
$$K_s = 5.5 \times 10^{-13} \text{ mol}^2 \text{ L}^{-2}$$

#### Exercice 4 : cinétique/kinetics

Total : /5.5 pts

La réaction de décomposition de  $\text{N}_2\text{O}_4$  à  $\text{NO}_2$  en phase gazeuse est considérée.

The gaseous decomposition reaction of  $\text{N}_2\text{O}_4$  into  $\text{NO}_2$  is considered.



- a. Ecrivez la vitesse  $v$  de consommation et production exprimée en concentration de  $\text{N}_2\text{O}_4$  et  $\text{NO}_2$  respectivement.

1 pt

Write the rate  $v$  of the consumption and production expressed in the concentration of  $\text{N}_2\text{O}_4$  and  $\text{NO}_2$  respectively.

$$v = - \frac{d[\text{N}_2\text{O}_4]}{dt} = + \frac{1}{2} \frac{d[\text{NO}_2]}{dt}$$

- b. La pression initiale de  $\text{N}_2\text{O}_4$  change de 0.46 atm à 0.28 atm pendant 30 minutes. Quel est le taux de production de  $\text{NO}_2$  ?

The initial pressure of  $\text{N}_2\text{O}_4$  changes from 0.46 atm to 0.28 atm in 30 minutes. What is the rate of formation of  $\text{NO}_2$ ?

1.5 pt

Remarque/Note: Prenez la pression comme la concentration du gaz. Take the pressure as the concentration of the gas.



Calculs/Calculation:

$$-\frac{d[N_2O_4]}{dt} = +\frac{1}{2} \frac{d[NO_2]}{dt} \rightarrow -\frac{(0.46-0.28)atm}{30 \text{ min}} = \frac{1}{2} \frac{d[NO_2]}{dt} \quad -6 \times 10^{-3} \text{ atm min}^{-1} = \frac{1}{2} \frac{d[NO_2]}{dt}$$
$$\frac{d[NO_2]}{dt} = 1.2 \times 10^{-2} \text{ atm min}^{-1}$$

$$1.2 \times 10^{-2} \text{ atm min}^{-1}$$

- c. La décomposition de  $N_2O_4$  est une réaction d'ordre un par rapport à la concentration en  $N_2O_4$ . Cette décomposition a une valeur de  $k$  égale à  $4.5 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$  à  $1^\circ\text{C}$  et une énergie d'activation de  $58 \text{ kJ mol}^{-1}$ . À quelle température la valeur de  $k$  serait  $1.00 \times 10^4 \text{ s}^{-1}$ ?

2 pt

The decomposition of  $N_2O_4$  is a first order reaction with respect to the  $N_2O_4$  concentration. This decomposition has a  $k$  value of  $4.5 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$  at  $1^\circ\text{C}$  and an activation energy of  $58 \text{ kJ mol}^{-1}$ . At what temperature would  $k$  be  $1.00 \times 10^4 \text{ s}^{-1}$ ?

Calculs/Calculation:

Avec la forme linéaire d'équation d'Arrhenius/With linear form of Arrhenius equation:

$$\ln k = -\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T}\right) + \ln A$$

$$\ln A = \ln(4.5 \times 10^3) + \frac{58 \times 10^3 \text{ J mol}^{-1}}{8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 274 \text{ K}} = 33.8723$$

$$\ln 1 \times 10^4 = 33.87 - \frac{58 \times 10^3 \text{ J mol}^{-1}}{8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot T} \rightarrow T = 282.87 \text{ K}$$

$$T = 9.8^\circ\text{C}$$

- d. Quelle est la demi-vie de  $N_2O_4$  à  $1^\circ\text{C}$ ?

What is the half-life of  $N_2O_4$  at  $1^\circ\text{C}$ ?

1 pt

Calculs/Calculation:

$$\tau_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} = \frac{\ln 2}{4.5 \times 10^3 \text{ s}^{-1}} = 1.54 \times 10^{-4} \text{ s}$$

$$\tau_{1/2} = 1.54 \times 10^{-4} \text{ s}$$

**Exercice 5 : Réaction redox/Redox reaction**Total : /7 pts

Lorsque le gaz  $\text{NO}_2$  est introduit dans l'eau  $\text{H}_2\text{O}$ , l'acide  $\text{HNO}_3$  se forme. En raison de son acidité, une dissociation complète a lieu et une solution de nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) est obtenue. Cette solution aqueuse de nitrate a un potentiel oxydant élevé, en particulier dans un environnement acide.

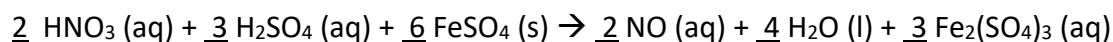
Ceci est utilisé pour détecter les nitrates en ajoutant de l'acide sulfurique  $\text{H}_2\text{SO}_4$  et du sulfate de fer (II)  $\text{FeSO}_4$  à la solution à analyser. En présence d'ions nitrate, un sel brun est formé sur la base d'ions fer(III)  $\text{Fe}^{3+}$ .

L'équation de réaction suivante indique les réactifs et les produits.

When  $\text{NO}_2$  gas is lead in water  $\text{H}_2\text{O}$ , nitric acid ( $\text{HNO}_3$ ) is formed. Based on its acidity, a complete dissociation takes place and a nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) solution is obtained. This aqueous nitrate solution has a high oxidizing potential, specially in an acidic environment.

This is used to detect nitrates by adding sulphuric acid  $\text{H}_2\text{SO}_4$  and iron(II) sulphate  $\text{FeSO}_4$  to the solution. In the presence of nitrate ions, a brown salt based on iron(III) ions  $\text{Fe}^{3+}$  is formed.

The following reaction equation shows the reactants and products.



- a. Formulez les équations de demi-réaction d'oxydation et de réduction (sans équilibrer H et O). Identifiez l'oxydant et le réducteur.

Formulate the half – reaction equation of the reduction and oxidation (without balance of H and O). Give the reductant and the oxidant.

2 pt

Oxydation/**Oxidation** :  $2 \text{FeSO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 2\text{e}^-$  or  $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{e}^-$

Réduction/**Reduction** :  $\text{NO}_3^- + 3\text{e}^- \rightarrow \text{NO}$  or  $\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ + 3\text{e}^- \rightarrow \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$

Oxydant/**Oxidant** :  $\text{NO}_3^-$

Réducteur/**Reductant** :  $\text{Fe}^{2+}$

- b. Equilibrez ci-dessus l'équation de réaction stœchiométrique. Ecrivez dans l'espace libre les coefficients stœchiométriques.

Equilibrate the reaction equation given above stoichiometrically. Write above at the free space the stoichiometric coefficients.

2 pt

- c. Parmi les composés/éléments suivants, lesquels peuvent être oxydés par une solution acide de  $\text{NO}_3^-$  aux conditions standard ?

Which of the following compounds/elements can be oxidized by an acidic  $\text{NO}_3^-$  solution at standard conditions ?

Cochez la case correcte. Tick the correct box.

1 pt

$\text{H}_2\text{O}$  ☐

$\text{I}_2$  ☐

$\text{Cu}$  ☒

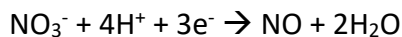
$\text{H}_2\text{O}_2$  ☒

- d. De combien le pouvoir oxydant du couple  $\text{NO}_3^-/\text{NO}$  est-il diminué si la concentration en  $\text{H}^+$  passe de 1 M à  $10^{-4}$  M à  $25^\circ\text{C}$  ? Supposons que seule la concentration de  $\text{H}^+$  diffère de la concentration standard.

2 pt

By how much is the oxidizing power of the  $\text{NO}_3^-/\text{NO}$  couple decreased if the  $\text{H}^+$  concentration is decreased from 1 M to  $10^{-4}$  M at  $25^\circ\text{C}$ ? Assume that only the  $\text{H}^+$  concentration deviates from the standard concentration.

Calculs/Calculation:



Nernst equation:  $E - E_0 = -\frac{RT}{zF} \ln Q = -\frac{8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 298 \text{ K}}{3 \cdot 96485 \text{ C mol}^{-1}} \ln \frac{[\text{NO}]}{[\text{NO}_3^-][\text{H}^+]^4} =$   
 $-8.55 \times 10^{-3} \ln \frac{1}{1 \cdot [10^{-4}]^4} = -0.31 \text{ V}$

Réponse/Answer:

La valeur de potentiel standard est diminuée de 0.31 V.

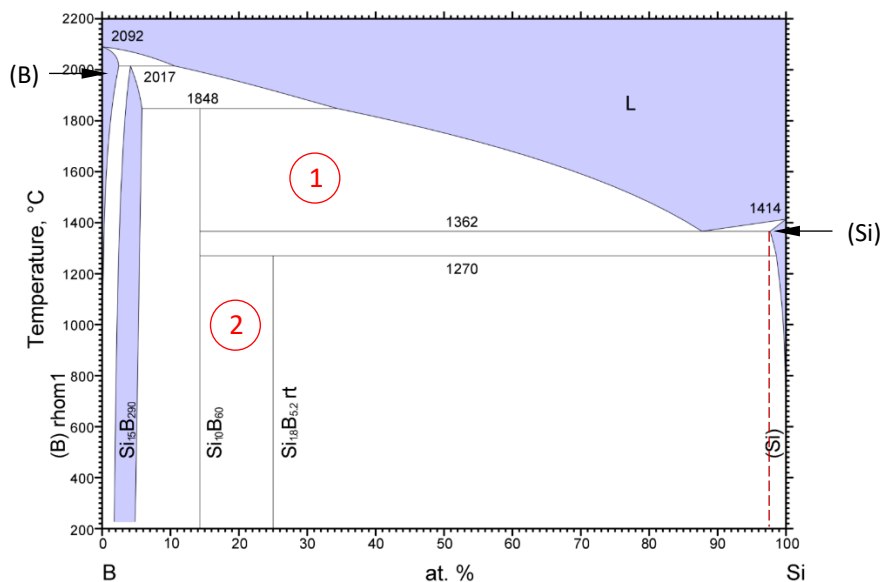
The standard value of the couple is decreased about 0.31 V.

### Exercice 6 : Diagrammes de phases

Total : / 6 pts

On utilise le bore (trivalent) pour doper le silicium (tétravalent) afin de créer des régions avec un défaut d'électrons (trous). Le diagramme de phase B-Si est donné ci-dessous :

Boron (trivalent) is used to dope silicon (tetravalent) and create regions with a lack of electrons (holes). The phase diagram of B-Si is given below:



- a. Indiquez dans les cases ci-dessous les phases présentes dans les régions 1 et 2 indiquées dans le diagramme de phase.

2 pt

Indicate in the boxes below the phases present in the regions 1 and 2 indicated in the phase diagram.

Région 1 :

Liquide et  $\text{Si}_{10}\text{B}_{60}$

Région 2 :

$\text{Si}_{10}\text{B}_{60}$  et  $\text{Si}_{18}\text{B}_{52}$

- b. Quelle est le type d'invariants et les 3 phases pouvant coexister aux températures suivantes ?

2 pt

What is the type of invariants and the 3 phases that can coexist at the following temperatures ?

T [°C]	Nature	Phase 1	Phase 2	Phase 3
1'848	Péritectique	Si <sub>15</sub> B <sub>290</sub>	Si <sub>10</sub> B <sub>60</sub>	Liquide
1'362	Eutectique	Si <sub>10</sub> B <sub>60</sub>	Liquide	(Si)

- c. Estimez la limite de solubilité du bore dans le silicium solide à la température de 1'362°C. (Voir dessin)

1 pt

Estimate the solubility limit of boron in solid silicon at the temperature of 1'362°C.

Solubilité du bore dans Si/Solubility of boron in Si

$$X_{Si} \cong 2\%$$

- d. Calculez la composition en bore du composé Si<sub>10</sub>B<sub>60</sub>.

1 pt

Calculate the boron composition of the compound Si<sub>10</sub>B<sub>60</sub>.

Calculs/Calculation:

$$X_B = \frac{60}{60 + 10} = 85.7\%$$

$$X_B = 85.7 \%$$

### Exercice 7 : Structure des matériaux

Total : /6 pts

La structure de l'oxide de magnésium est indiquée ci-contre.

The structure of magnesium oxide is shown on the right.

- a. Cochez le réseau cubique cristallin correct

Tick the box for the correct cubic lattice.

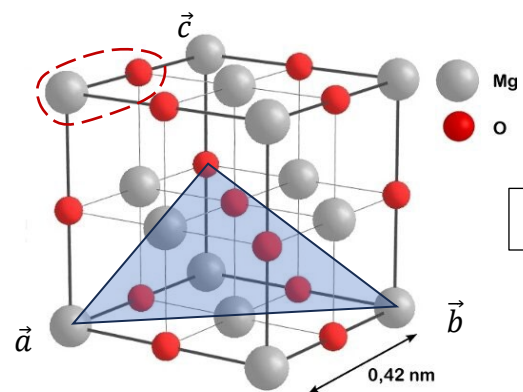
Simple

☐

Centré

☐

Faces centrées

☒


1 pt

- b. Entourez le motif sur la figure.

Indicate the motif on the figure.

1 pt

- c. Quelle est la composition chimique de cet oxide (cochez la case correspondante) ?

What is the chemical composition of this oxide (tick the correct box) ?

Mg<sub>14</sub>O<sub>13</sub>

☐

Mg<sub>5</sub>O<sub>4</sub>

☐

MgO

☒

Mg<sub>4</sub>O<sub>5</sub>

☐

1 pt

- d. A l'aide des valeurs fournies dans le formulaire, calculez la densité de cet oxide.

With the values given in the formulary, calculate the density of this oxide.

2 pt

Calculs/**Calculation:**

$$\rho = \frac{M_m^{\text{Mg}} + M_m^{\text{O}}}{N_A a^3} \times 4 \text{ MgO/maille} = 4 \frac{(24.3 + 16) \text{ g}}{(6.02 \times 10^{23}) \times (4.2 \times 10^{-8} \text{ cm})^3} \cong 3.61$$

$$\rho = 3.61 \text{ g/cm}^3$$

- e. Quels sont les indices de Miller du plan bleu (cochez la case correspondante) ?  
What are the Miller indices of the plane in blue (tick the correct box) ?

(112)

☒

(221)

☐

(111)

☐

1 pt

### Exercice 8 : Elasticité - plasticité

Les courbes traction-déformation de plusieurs aciers sont indiquées dans la figure.

The stress-strain curves of various steels are shown in this figure.

Total : /7 pts

- a. Lequel de ces alliages a la plus grande ductilité ?

Which of these alloys has the largest ductility?

Austenitic 316

- b. Lequel a la plus grande résistance maximum ?

Which one has the highest ultimate strength?

Martensitic (420)

- c. Lequel a la plus grande limite élastique ?

Which one has the highest elastic limit?

Martensitic (420)

- d. Qu'en est-t-il de la rigidité de ces 5 aciers (cliquez la case correspondante) ?

How would you qualify the rigidity of these 5 steels (tick the right answer)?

Très différente/**Very different**

☐

A peu près équivalente/**About equal**

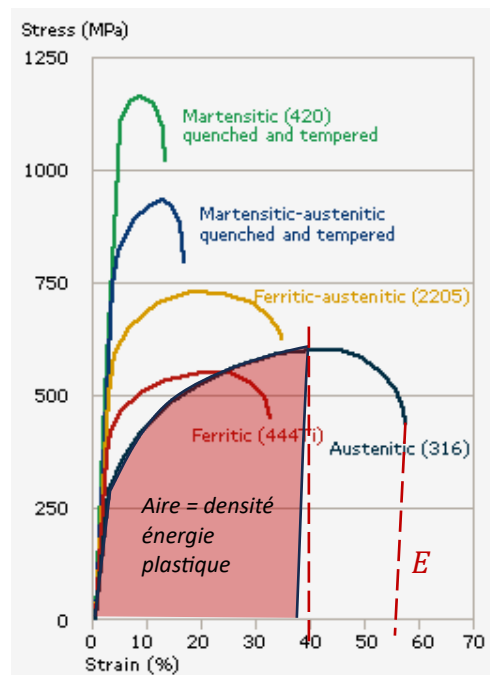
☒

1 pt

1 pt

1 pt

1 pt



- e. Estimez la ductilité de l'alliage Austenitic 316 en indiquant clairement sur la figure la construction géométrique permettant d'obtenir cette valeur.

Estimate the ductility of the alloy Austenitic 316 by indicating clearly on the figure the construction allowing you to deduce this value.

1 pt

Ductilité/Ductility

A = 55 %

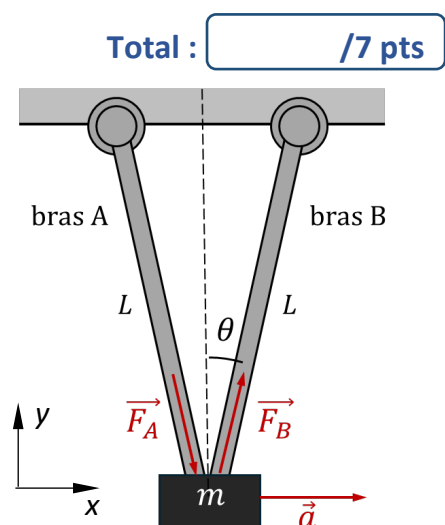
- f. Indiquez clairement sur la figure la surface correspondant à la densité d'énergie de la déformation plastique uniquement lorsque l'on déforme l'échantillon Austenitic 316 jusqu'à 40%.

2 pt

Clearly indicate directly in the figure the area corresponding to the energy density of the plastic deformation only when the Austenitic 316 sample is deformed up to 40%.

### Exercice 9 : Un problème d'élasticité

Un robot delta (inventé dans la section MT par le Prof. R. Clavel) est constitué de seulement 2 bras, A et B. Il soutient une masse  $m = 1 \text{ kg}$ . En s'étant déplacé depuis la droite (i.e.  $dx/dt < 0$ ), la masse s'arrête brusquement dans la position symétrique, avec une décélération  $|a| = 50g = 500 \text{ m/s}^2$ . Avec une telle décélération, on négligera le poids de l'objet suspendu, ainsi que la masse des bras A et B. Les bras ont une longueur  $L = 50 \text{ cm}$ , une section circulaire de diamètre 10 mm et font un angle  $2\theta = 20 \text{ deg.}$  entre eux (voir figure). On négligera la flexion des bras durant la décélération.



A delta robot (invented in the MT section by Prof. R.

Clavel) is made of two arms, A and B. It carries a mass  $m = 1 \text{ kg}$ . Having moved from the right (i.e.  $dx/dt < 0$ ), the mass is abruptly stopped in a symmetric position, with a deceleration  $|a| = 50g = 500 \text{ m/s}^2$ . With such a deceleration, we will neglect the weight of the mass, as well as the mass of the two arms. These arms have a length  $L = 50 \text{ cm}$ , a circular section of diameter 10 mm and make an angle  $2\theta = 20 \text{ deg.}$  between them (see figure). We will neglect the flexion of the arms during the deceleration.

- a. Les forces exercées par les bras A et B sur la masse pour la décélérer sont indiquées sur la figure. En appliquant la loi de Newton, trouvez l'intensité de ces forces et montrez qu'elles sont égales en valeur absolue.

The forces exerted by the arms A and B on the mass to decelerate it are indicated in the figure. Applying Newton's law, find the intensity of these forces and show that they are equal in absolute value.

3 pt

Calculs/Calculation:

$$\vec{F}_A + \vec{F}_B = m\vec{a} \Rightarrow F_{Ay} + F_{By} = 0 \Rightarrow F_A \cos \theta - F_B \cos \theta = 0 \text{ et donc } F_A = F_B$$

$$F_{Ax} + F_{Bx} = F \sin \theta + F \sin \theta = 2F \sin \theta = ma$$

$$F = ma / (2 \sin \theta) = 1'440 \text{ N}$$

$$F = 1'440 \text{ N}$$

- b. Quel bras est en traction, quel bras est en compression (remplir les cases avec A/B)?  
Which arm is in traction, which arm is in compression (fill the boxes with A/B)?

1 pt

Bras/arm in traction

B

Bras/arm in compression

A

Les forces indiquées sont celles exercées par les bras sur la masse. Donc, la masse exerce les forces en sens inverse sur les bras.

- c. Lors d'un arrêt avec une autre masse, on a trouvé  $F = 1'000$  N dans chaque bras (en valeur absolue). A quelle contrainte cela correspond-il (en valeur absolue) ?

During a stop with a different mass, we have found  $F = 1'000$  N in each arm (in absolute value). Which stress does it correspond to (in absolute value)?

1 pt

Calculs/Calculation:

$$\sigma = \pm \frac{F}{\pi D^2/4} = \pm \frac{1'000 \text{ N}}{3.14 \times (0.01)^2 \text{ m}^2} \times 4$$

$$= \pm 12.73 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma = \pm 12.73 \text{ MPa}$$

- d. Lors d'un autre arrêt, la contrainte était de 20 MPa (en valeur absolue). Les bras sont faits d'un polymère renforcé par des fibres :  $E = 15$  GPa et  $\sigma_{el} = 100$  MPa. Quelle est la déformation de chaque bras ?

During another stop, the stress is found to be 20 MPa (in absolute value). The arms are made in a glass-fibre reinforced polymer:  $E = 15$  GPa and  $\sigma_{el} = 100$  MPa. What is the deformation of the arm (in absolute value)?

1 pt

Calculs/Calculation:

On reste dans le domaine élastique et

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \pm \frac{20 \text{ MPa}}{15'000 \text{ MPa}} = \pm 1.33 \times 10^{-3}$$

$$\varepsilon = \pm 0.133 \%$$

- e. La déformation des bras lors d'un dernier test était  $\varepsilon = 1.5 \times 10^{-3}$  ? En calculant l'allongement/contraction des bras A et B, pensez-vous que ces valeurs soient compatibles avec un positionnement de la masse avec une précision de 100  $\mu\text{m}$ . (Cochez la case correspondant à votre calcul).

In a final test, the deformation of the arms is  $\varepsilon = 1.5 \times 10^{-3}$ . Calculating the elongation/contraction of the arms A and B, do you think that these values are compatible with a positioning of the mass with an accuracy of 100  $\mu\text{m}$ . (Tick the box based on your calculation).

1 pt

Calculs/ Calculation :

La déformation multipliée par la longueur d'un bras (50 cm) donne un  $\Delta L = 750 \mu\text{m}$ . C'est beaucoup trop.

Oui/Yes:

☐

Non/No:

☒

**Exercice 10 : Ténacité**Total : /5 pts

La 6<sup>ème</sup> corde d'une guitare acoustique (mi 330 Hz) a un diamètre de 0.35 mm et une tension de 7 kgf. Elle est faite d'un acier à haute teneur en carbone dont les caractéristiques sont les suivantes :  $E = 200 \text{ GPa}$ ,  $\sigma_{el} = 800 \text{ MPa}$ ,  $\sigma_m = 1'200 \text{ MPa}$  et  $K_{1c} = 30 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ .

The 6<sup>th</sup> chord of an acoustic guitar (E 330 Hz) has a diameter of 0.35 mm and a tension of 7 kgf. It is made of a high-carbon steel which has the following characteristics:

$E = 200 \text{ GPa}$ ,  $\sigma_{el} = 800 \text{ MPa}$ ,  $\sigma_m = 1'200 \text{ MPa}$  et  $K_{1c} = 30 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ .

- a. Calculez la contrainte dans la corde.

Calculate the stress in the chord.

Calculs/Calculation:

$$\sigma = \frac{F}{\pi D^2/4} = \frac{7 \times 9.81 \text{ N}}{3.14 \times (3.5 \times 10^{-4})^2 \text{ m}^2} \times 4$$

$$= 7.14 \times 10^8 \text{ Pa}$$

1 pt

$$\sigma = 714 \text{ MPa}$$

- d. Si la corde avait une petite rayure de profondeur 0.1 mm perpendiculaire à l'axe de la corde, quel serait le facteur d'intensité de contrainte ?

If the chord had a small scratch, perpendicular to the axis of the chord with a depth of 0.1 mm., what would be the stress intensity factor?

Calculs/Calculation:

$$K_1 = \sigma \sqrt{\pi L} = 7.14 \times 10^8 \text{ Pa} \times \sqrt{0.000314}$$

$$= 12.65 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$$

1 pt

$$K_1 = 12.65 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$$

- e. Au moment de mettre sous tension cette corde défectueuse pour accorder la guitare, va-t-elle rompre ? (Justifiez votre réponse).

While putting the chord under tension to tune the guitar, will it brake? (Justify your answer).

Justification:

$$K_1 = 12.65 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}^{1/2} < K_{1c} = 30 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}^{1/2}$$

Oui/Yes:

☐

Non/No:

☒

1 pt

- f. Une autre corde est beaucoup plus défectueuse : la raie, toujours d'une profondeur de 0.1 mm, fait toute la circonférence de la corde. Alors que le facteur d'intensité de contrainte est a priori le même, la corde va-t-elle rompre ? Pour cela, calculez la contrainte au niveau de la raie.

Another chord is much more damaged: the scratch 0.1 mm deep is all around the wire. While the stress intensity factor seems to be the same, will the chord brake? For the purpose, calculate the stress at the level of the scratch.

2 pt



Calculs/Calculation  $\sigma$  / Justification:

La section au niveau de la raie n'est plus que de 0.15 mm de diamètre. D'où une contrainte  $(0.35/0.15)^2$  plus intense, i.e. environ 3.9 GPa  $> \sigma_m$

$$\sigma = 3'900 \text{ MPa}$$

Oui/Yes:



Non/No:



### Exercice 11 : Diffusion chimique

Total : /6 pts

On place du silicium dans un four avec une fine couche de bore déposée en surface. Après 2h à une température de 1200°C, on constate que la largeur à mi-hauteur du profil de la concentration de Bore est de 1.3  $\mu\text{m}$ .

We place in a furnace a silicon wafer with a thin layer of boron deposited at the surface. After 2h at a temperature of 1200°C, we measure a width at mid-height of the boron concentration profile of 1.3  $\mu\text{m}$ .

- a. En considérant que la largeur à mi-hauteur est la distance caractéristique de diffusion, quel est le coefficient de diffusion  $D$  à cette température ?

Considering this half-width at half-maximum as the characteristic diffusion distance, what is the diffusion coefficient  $D$  at this temperature?

Calculs/Calculation:

$$D = \frac{L^2}{t} = \frac{(1.3 \times 10^{-4})^2 \text{ cm}^2}{7'200 \text{ s}} = 2.35 \times 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{s}$$

2 pt

$$D = 2.35 \times 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{s}$$

- b. Répétant la même expérience à deux températures différentes, on a trouvé pour  $T = 1000^\circ\text{C}$ ,  $D = 2.47 \times 10^{-14} \text{ cm}^2/\text{s}$  et pour  $T = 1100^\circ\text{C}$ ,  $D = 3.13 \times 10^{-13} \text{ cm}^2/\text{s}$ . Déterminez l'énergie d'activation en eV/atome et le coefficient pré-exponentiel de la dépendance en température du coefficient de diffusion.

Making the same experiment at two different temperatures, one has found for  $T = 1000^\circ\text{C}$ ,  $D = 2.47 \times 10^{-14} \text{ cm}^2/\text{s}$  and for  $T = 1100^\circ\text{C}$ ,  $D = 3.13 \times 10^{-13} \text{ cm}^2/\text{s}$ . Determine the activation energy  $Q$  in eV per atom and the pre-exponential coefficient  $D_0$  governing the temperature-dependence of the diffusion coefficient.

Calculs/Calculation:

$$\ln D = \ln D_0 - Q/(k_B T).$$

On exprime  $k_B = 8.617 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$ .

1.  $1000^\circ\text{C}$ :  $-31.33 = \ln D_0 - 9.116 Q$

2.  $1100^\circ\text{C}$ :  $-28.79 = \ln D_0 - 8.452 Q$

D'où l'on tire par soustraction :  $Q = 3.825 \text{ eV}$

Et en insérant dans l'une ou l'autre des équations :

$$D_0 = 34.42 \text{ cm}^2/\text{s}$$

4 pt

$$D_0 = 34.42 \text{ cm}^2/\text{s}$$

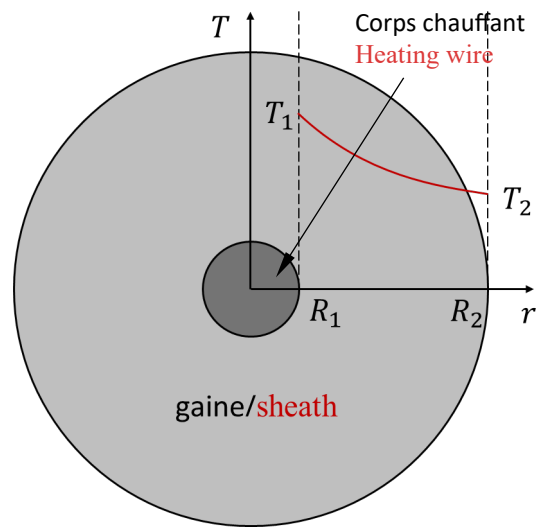
$$Q = 3.825 \text{ eV/atome}$$

### Exercice 12 : Thermique

Total : /6 pts

Un corps de chauffe cylindrique de longueur  $L = 20$  cm et de rayon  $R_1 = 0.5$  cm est entouré d'une gaine cylindrique isolante de rayon  $R_2 = 2.5$  cm dont la conductibilité thermique  $k = 5$  W/(m°C)(voir dessin). En régime stationnaire, la température entre le corps de chauffe et la gaine est  $T_1 = 600^\circ\text{C}$ , alors que la surface libre de la gaine est à  $T_2 = 400^\circ\text{C}$ .

A cylindrical heating rod of length  $L = 20$  cm and radius  $R_1 = 0.5$  cm is surrounded by an insulating sheath of radius  $R_2 = 2.5$  cm and thermal conductivity  $k = 5$  W/(m°C)(see sketch). Under steady-state conditions, the temperature at the rod-sheath interface is  $T_1 = 600^\circ\text{C}$ , while that at the free surface of the sheath is  $T_2 = 400^\circ\text{C}$ .



- a. Montrez que la solution  $T(r) = A \ln(r/R_1) + B$  satisfait l'équation de la chaleur en régime stationnaire dans la gaine d'isolation cylindrique :

Show that the solution  $T(r) = A \ln(r/R_1) + B$  satisfies the heat flow equation under steady-state conditions for the cylindrical sheath:

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left( r \frac{dT}{dr} \right) = 0$$

2 pt

Démonstration / Proof :

Comme  $\frac{d}{dr} \left( r \frac{dT}{dr} \right) = 0$ , cela implique :  $r \frac{dT}{dr} = A$  ou  $\frac{dT}{dr} = \frac{A}{r}$ . Par intégration, on a donc au final :  $T = A \ln r + D$ . Afin de rendre le logarithme d'une quantité adimensionnelle, on peut aussi écrire :

$$T = A \ln r - A \ln R_1 + D + A \ln R_1$$

$$T = A \ln(r/R_1) + (D + C \ln R_1) = A \ln(r/R_1) + B$$

- b. Déterminez les constantes  $A$  et  $B$  à l'aide des deux conditions imposées par les températures en  $r = R_1$  et  $r = R_2$ .

Determine the constants  $A$  and  $B$  with the help of the two boundary conditions imposed by the temperatures at  $r = R_1$  and  $r = R_2$

Calculs/Calculation:

$$T_1 = 600 = A \ln(R_1/R_1) + B = B$$

$$T_2 = 400 = A \ln(R_2/R_1) + B = A \ln(2.5/0.5) + 600$$

D'où l'on tire  $A$ :

$$A = -124.3^\circ\text{C}$$

2 pt

$$A = -124.3^\circ\text{C}$$

$$B = 600^\circ\text{C}$$

- c. Le même corps de chauffe soumis à d'autres conditions résulte en  $A = -100^\circ\text{C}$  et  $B = 600^\circ\text{C}$ . Calculez la densité de flux thermique  $j_T$  en  $r = R_1$ .  
 The same heating system under different conditions results in  $A = -100^\circ\text{C}$  and  $B = 600^\circ\text{C}$ . Calculate the heat flux density  $j_T$  at  $r = R_1$ .

Calculs/Calculation:

Le flux thermique est donné par:  $j_T = -k(dT/dr)_{r=R_1}$

Donc:

$$j_T = -k \left( \frac{A}{r} \right)_{r=R_1} = \frac{-kA}{R_1} = \frac{5 \times 100}{5 \times 10^{-3}} \text{ W/m}^2$$

$$j_T = 1. \times 10^5 \text{ W/m}^2$$

2 pt

$$j_T = 1. \times 10^5 \text{ W/m}^2$$

### Exercice 13 : Propriétés électriques

Total : /11 pts

L'aluminium est un bon conducteur électrique avec une résistivité  $\rho_e = 2.6 \mu\Omega \text{ cm}$ . Il a une structure cubique à faces centrées avec une masse spécifique  $\rho = 2'700 \text{ kg/m}^3$ .

Aluminum is a good electrical conductor with a resistivity  $\rho_e = 2.6 \mu\Omega \text{ cm}$ . It has a face centred cubic structure with a density  $\rho = 2'700 \text{ kg/m}^3$ .

- a. Calculez la concentration d'atomes  $n$  d'aluminium.  
 Calculate the concentration of aluminium atoms.

Calculs/Calculation:

La masse molaire  $M_m$  de Al est  $27 \text{ g/mole}$ , soit  $M_m/N_A$  g/atome. On a donc :

$$n = \frac{N_A}{M_m} \rho = \frac{6.02 \times 10^{23} \text{ mole}^{-1}}{27 \times 10^{-3} \text{ kg/mole}} 2'700 \text{ kg/m}^3$$

$$= 6.02 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$$

1 pt

$$n = 6.02 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$$

- b. L'aluminium met les électrons des orbitales 3s et 3p à disposition pour la conduction. Quelle est la configuration électronique de Al ? Quelle est la concentration d'électrons libres ?

Aluminium gives all the electrons of the 3s and 3p orbitales for the conduction. What is the electronic configuration of Al ? What is the concentration of free electrons?

Calculs/Calculation:

L'aluminium est l'élément No 13, soit une configuration :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$ .

Chaque atome met donc 3 électrons à disposition pour la conduction et donc  $n_e = 3n$ .

2 pt

$$n_e = 18.06 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$$

- c. Calculez le temps caractéristique de collision des électrons avec les ions du réseau.  
 Calculate the characteristic collision time of these electrons with the ions of the lattice.

Calculs/Calculation: On a:

$$\sigma_e = \frac{1}{\rho_e} = \frac{n_e e^2 \tau}{m_e} \Rightarrow \tau = \frac{m_e}{\rho_e n_e e^2}$$

Donc:

$$\tau = \frac{m_e}{\rho_e n_e e^2} = \frac{9.1 \times 10^{-31}}{(2.6 \times 10^{-8})(18.06 \times 10^{28})(1.6 \times 10^{-19})^2}$$

$$\tau = 7.57 \times 10^{-15} \text{ s}$$

2 pt

$$\tau = 7.57 \times 10^{-15} \text{ s}$$

- d. On réalise une bobine de 1000 spires de rayon  $R = 10 \text{ cm}$  avec un fil en aluminium de diamètre  $D = 1 \text{ mm}$ . Quelle est la résistance électrique de cette bobine ?  
 A coil of 1000 turns of radius  $R = 10 \text{ cm}$  is made with an aluminium wire of diameter  $D = 1 \text{ mm}$ . What is the electrical resistance of this coil ?

Calculs/Calculation:

$$R = \rho_e \frac{L}{S} = \rho_e \frac{N \times (2\pi R)}{\pi D^2 / 4}$$

$$R = \rho_e \frac{N \times (8R)}{D^2} = 2.6 \times 10^{-8} \Omega \text{m} \frac{8000 \times 0.1 \text{ m}}{10^{-6} \text{ m}^2}$$

$$R = 20.8 \Omega$$

1 pt

$$R = 20.8 \Omega$$

Le BaTiO<sub>3</sub> a une masse spécifique  $\rho = 6.08 \text{ g/cm}^3$  et dans la phase ferroélectrique, il a une polarisation à saturation  $P_S = 25 \text{ } \mu\text{As/cm}^2$ . Le champ coercitif  $E_C = 4 \text{ kV/cm}$ .

BaTiO<sub>3</sub> has a density  $\rho = 6.08 \text{ g/cm}^3$  and in the ferroelectric phase, the polarisation at saturation is  $P_S = 25 \text{ } \mu\text{As/cm}^2$ . The coercive field  $E_C = 4 \text{ kV/cm}$ .

- a. Calculez le volume de la maille tétragonale de BaTiO<sub>3</sub>.  
 Calculate the volume of the tetragonal unit cell of BaTiO<sub>3</sub>.

Calculs/Calculation: La masse molaire  $M_m$  de BaTiO<sub>3</sub> est  $137.3 \text{ (Ba)} + 47.9 \text{ (Ti)} + 48 \text{ (3 O)} = 233 \text{ g/mole}$ . La structure est cubique simple, donc un seul BaTiO<sub>3</sub> par maille élémentaire. On a donc :

$$V = \frac{M_m}{N_A \rho} = \frac{0.233}{(6.02 \times 10^{23})(6'080)} = 6.36 \times 10^{-29} \text{ m}^3$$

1 pt

$$V = 63.6 \text{ } \text{\AA}^3$$

- b. Si cette maille avait un volume de  $70 \text{ \AA}^3$ , quel serait le déplacement du ion titane par rapport au centre de la maille ?

If this unit cell had a volume of  $70 \text{ \AA}^3$ , what would be the displacement of the titanium ion with respect to the centre of the unit cell?

Calculs/Calculation: A saturation, tous les dipôles sont orientés et comme le Ti est tétravalent, on a :

$$P_s = \frac{p}{V} = \frac{4e\delta}{V} \Rightarrow \delta = \frac{P_s V}{4e}$$

$$\delta = \frac{(25 \times 10^{-2} \text{ As/m}^2)(70 \times 10^{-30} \text{ m}^3)}{4 \times (1.6 \times 10^{-19} \text{ As})}$$

$$= 2.7 \times 10^{-11} \text{ m}$$

2 pt

$$\delta = 0.27 \text{ \AA}$$

- c. Lors du parcours complet de son cycle d'hystérèse, estimez la densité de dissipation d'énergie de ce ferroélectrique ?

During a circulation over the entire hysteresis cycle, estimate the dissipation energy density of this ferroelectric.

Calculs/Calculation:

Une estimation (majorante) de la surface de la courbe d'hystérèse est donnée par  $(2P_s)(2E_C)$

$$w = 4P_s E_C = 4 \times (25 \times 10^{-2} \text{ As/m}^2)(4 \times 10^5 \text{ V/m})$$

$$w = 4 \times 10^5 \text{ J/m}^3 = 0.4 \text{ J/cm}^3$$

2 pt

$$w = 0.4 \text{ J/cm}^3$$

#### Exercice 14 : Propriétés magnétiques

Total : /4 pts

Une ferrite douce (cubique) a un champ coercitif de  $10 \text{ A/m}$  et une aimantation rémanente de  $1.5 \times 10^5 \text{ A/m}$ , alors que pour une ferrite dure (hexagonale), le champ coercitif est de  $10^5 \text{ A/m}$  pour une même valeur d'aimantation rémanente.

A soft ferrite (cubic) has a coercive field of  $10 \text{ A/m}$  and a residual magnetisation of  $1.5 \times 10^5 \text{ A/m}$ , while for a hard ferrite (hexagonal), the coercive field is  $10^5 \text{ A/m}$  for the same residual magnetisation.

- a. Si les deux ferrites sont initialement non-magnétisées et que l'on approxime  $\chi_M$  lors de la première magnétisation par  $M_R/H_C$ , quelle est l'aimantation de ces deux ferrites dans un champ  $H = 10 \text{ A/m}$  ?

If these two ferrites have not been magnetized previously and assuming that  $\chi_M$  during the first magnetization is given by the ratio  $M_R/H_C$ , what is the magnetization of both ferrites in a field  $H = 10 \text{ A/m}$  ?

Calculs/Calculation:

$$\chi_M = \frac{M_R}{H_C} = 1.5 \times 10^4 \text{ pour la ferrite douce}$$

$$\chi_M = \frac{M_R}{H_C} = 1.5 \text{ pour la ferrite dur}$$

D'où la valeur  $M_R$  déjà atteinte pour la ferrite douce, alors que  $M = 15 \text{ A/m}$  pour la ferrite dure avec  $H = 10 \text{ A/m}$

2 pt

$$M_{doux} = 1.5 \times 10^5 \text{ A/m}$$

$$M_{dur} = 15 \text{ A/m}$$

- b. Après avoir appliqué un très fort champ magnétique pour atteindre la saturation dans les deux ferrites, on applique un champ magnétique de sens opposé de  $-10 \text{ A/m}$ . Quelle est alors l'aimantation dans les deux ferrites ? (Justifiez votre réponse).

After applying a very strong magnetic field to reach saturation in both ferrites, we apply an inverse magnetic field of  $-10 \text{ A/m}$ . What is then the magnetisation in both ferrites? (Justify your answer).

Justification : Pour la ferrite douce, le champ appliqué dans le sens opposé correspond au champ coercitif : cela annule donc l'aimantation.

Pour la ferrite dure, ce champ est tellement faible par rapport à son champ coercitif que l'on peut considérer que l'aimantation n'est pas changée et vaut donc toujours l'aimantation rémanente.

2 pt

$$M_{doux} = 0 \text{ A/m}$$

$$M_{dur} = 1.5 \times 10^5 \text{ A/m}$$

### Exercice 15 : Propriétés optiques

Total : /5 pts

Une fibre optique a un coefficient d'absorption de  $0.2 \text{ dB}$  sur une distance de  $1 \text{ km}$ ,  $x \text{ dB}$  étant définis comme une intensité  $I$  rapportée à une intensité nominale  $I_0$  par la relation :

An optical fibre has an absorption coefficient of  $0.2 \text{ dB}$  over a distance of  $1 \text{ km}$ ,  $x \text{ dB}$  being defined as an intensity  $I$  normalised by a nominal intensity  $I_0$  given by:

$$\frac{I}{I_0} = 10^{-(x/10)}$$

Convertissez cette absorption en un coefficient d'absorption usuel  $\alpha[\text{m}^{-1}]$  figurant dans la décroissance exponentielle de l'intensité.

Convert this absorption into the usual absorption coefficient  $\alpha[\text{m}^{-1}]$  appearing in the natural exponential decrease of the intensity in a transparent medium.

Calculs/Calculation:

On a donc:

$$\text{Log}_{10}(I/I_0) = -\left(\frac{x}{10}\right)$$

Donc, après 1000 m, d'après la loi d'absorption, on a :

$$x = 0.2 = -10\text{Log}_{10}(I/I_0) = -10\text{Log}_{10}(e^{-\alpha \times 1000})$$

$$\text{ou : } 0.2 = 10 \text{Log}_{10}(e) \alpha \times 1000 \text{ m} \Rightarrow$$

$$\alpha = 4.605 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$$

2 pt

$$\alpha = 4.605 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$$

Une lentille en verre concave d'indice de réfraction  $n = 1.8$  réfracte un faisceau parallèle venu de la gauche perpendiculaire à la face plane de la lentille (voir figure). Le rayon de courbure de la partie concave est  $R$  et son centre est situé en O.

A concave lens made out of glass with a refraction index  $n = 1.8$  refracts a parallel light beam coming from the right and perpendicular to the planar face of the lens (see figure). The radius of curvature of the concave part is  $R$  and the centre is in O.

- a. Construisez géométriquement et indiquez sur la figure le rayon réfracté du rayon lumineux arrivant au centre de lentille.

Construct geometrically and indicate on the figure the refracted beam of the light beam arriving at the centre of the lens.

Justification :

Le rayon n'est dévié par la face avant de la lentille : l'angle  $\theta$  avec la normale est nul et donc  $\sin \theta = 0$ . Il arrive donc aussi normalement sur la partie concave et ne change donc pas de direction à la sortie.

1 pt

- b. Construisez géométriquement et indiquez sur la figure le rayon réfracté du rayon lumineux rouge. Indiquez sur la figure les angles que vous considérez pour cette construction et mentionnez dans la case correspondante l'angle que fait le rayon réfracté avec l'axe de la lentille.

Construct geometrically and indicate on the figure the refracted beam of the red light beam. Indicate on the figure the angles that need to be considered for this construction and indicate in the corresponding box the angle made by the refracted beam with the axis of the lens.

2 pt

Justification :

Le rayon réfracté n'est toujours pas dévié par la face plane de la lentille et arrivant avec un angle  $\theta_2$  par rapport à la normale à la face concave, il repart avec un angle  $\theta_1$  tel que  $n \sin \theta_2 = \sin \theta_1$ . Donc l'angle  $\theta_1$  est plus grand que  $\theta_2$  et c'est donc comme s'il émanait d'un point A situé en amont de la lentille (voir dessin). L'angle entre ce rayon et l'horizontale vaut  $(\theta_1 - \theta_2)$

Réponse/Answer :

L'angle entre ce rayon réfracté et l'horizontale vaut :

$$(\theta_1 - \theta_2)$$

The angle between the refracted beam and the horizontal equals:

