

**BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR**  
**TRAITEMENTS DES MATÉRIAUX**

**SCIENCES PHYSIQUES APPLIQUÉES**

**Sous-épreuve spécifique à chaque option**

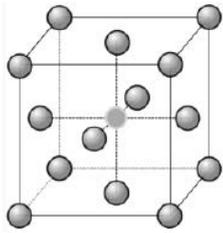
**Option A : Traitements Thermiques**

**- U4.3A -**

SESSION 2021

**CORRIGÉ**

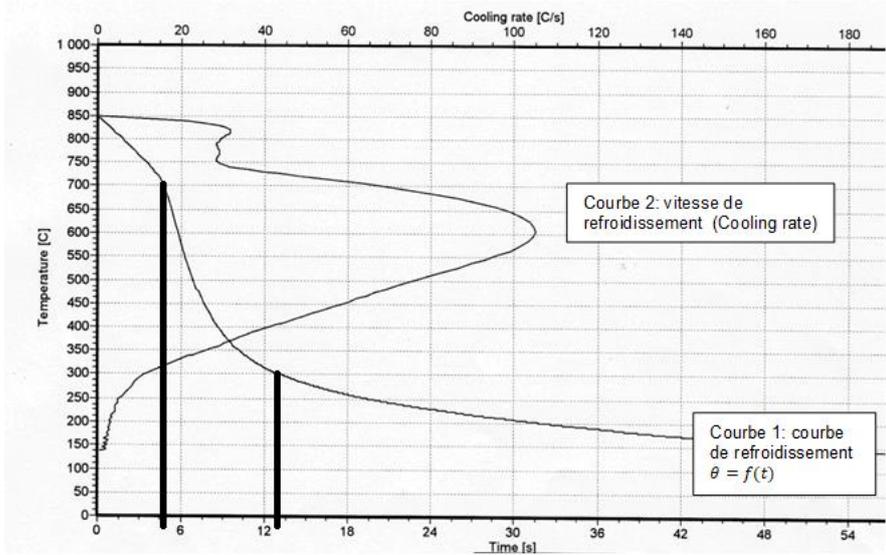
**Exercice 1 : Contrôle d'une atmosphère de nitruration (12 points)**

	Réponses attendues	Barème détaillée	Barème global
<b>1.1.</b>	<b>Généralités sur la nitruration</b>		
1.1.a	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La nitruration est un traitement thermochimique d'enrichissement de la surface d'un acier en azote.</li> <li>- Le but est d'obtenir une couche superficielle dure (résistance à l'usure et à la fatigue) avec de bonnes propriétés tribologiques.</li> <li>- L'acier doit être en phase ferritique.</li> <li>- Attention à ne pas dépasser 592°C.</li> </ul>	<p>0,5</p> <p>0,25</p> <p>0,25</p>	2,75
1.1.b	<ul style="list-style-type: none"> <li>- D'après le diagramme binaire, le nitrure <math>\epsilon</math> est plus riche en azote que le nitrure <math>\gamma'</math>.</li> <li>- Schéma du nitrure <math>\gamma'</math>.</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>- Décompte des atomes : <math>8 \cdot \frac{1}{8} + 6 \cdot \frac{1}{2} = 4</math> atomes de fer pour 1 atome d'azote. D'où <math>\text{Fe}_4\text{N}</math></li> </ul>	<p>0,5</p> <p>0,5</p> <p>0,5</p> <p>0,25</p>	
<b>1.2.</b>	<b>La nitruration gazeuse</b>		
1.2.a	Unité de $k_N$ : $\text{bar}^{-1/2}$	0,5	1,5
1.2.b	<p>On a :</p> $K_1(T) = \frac{(p_{\text{H}_2})^{3/2} \cdot a_N}{p_{\text{NH}_3}}$ <p>Donc <math>a_N = K_1(T) \cdot \frac{p_{\text{NH}_3}}{(p_{\text{H}_2})^{3/2}} = K_1(T) \cdot k_N</math></p>	<p>0,5</p> <p>0,5</p>	
<b>1.3.</b>	<b>Etude théorique de la réaction</b>		
1.3.a	<p>Le craquage est réalisé dans le craqueur (élément 4 du schéma)</p> <p>D'après la notice, la pression partielle en ammoniac est calculée par la différence des pressions partielles en hydrogène avant et après craquage de l'ammoniac. Il faut donc que celle soit totale.</p>	<p>0,5</p> <p>0,5</p>	

1.3.b	Loi de Hess : $\Delta_r H^\circ = +46,2 \text{ kJ.mol}^{-1}$ $\Delta_r S^\circ = 98,75 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$  $\Delta_r G^\circ = \Delta_r H^\circ - T.\Delta_r S^\circ = 46,2.10^3 - 98,75.T$ A $550^\circ\text{C}$ , $\Delta_r G^\circ = -35,1 \text{ kJ.mol}^{-1}$ D'où $K = 168$ Conclusion : Réaction non totale en l'état	0,5 0,5  0,5 0,5																									
1.3.c	D'après la loi de Le Chatelier, une augmentation de température provoque un déplacement de l'équilibre dans le sens endothermique. Or ici le sens direct est endothermique (Cf : $\Delta_r H^\circ > 0$ ) donc une augmentation de la température est favorable au craquage.	0,5	6																								
1.3.d	La présence de catalyseur ne rend pas la réaction totale.	0,5																									
1.3.e	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 20%;"><math>\text{NH}_{3(g)}</math></th> <th style="width: 20%;"><math>\rightarrow \frac{1}{2}\text{N}_{2(g)}</math></th> <th style="width: 20%;"><math>+ \frac{3}{2}\text{H}_{2(g)}</math></th> <th style="width: 15%;">Quantité totale de gaz (mol)</th> <th style="width: 15%;">Fraction molaire en dihydrogène</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Etat initial (mol)</td> <td>a</td> <td>b</td> <td>c</td> <td><math>n_{\text{tot}} = a + b + c</math></td> <td><math>x_{\text{H}_2} = \frac{c}{a+b+c}</math></td> </tr> <tr> <td>Etat final (mol)</td> <td><math>a - y_m</math></td> <td><math>b + \frac{1}{2}y_m</math></td> <td><math>c + \frac{3}{2}y_m</math></td> <td>/</td> <td>/</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0</td> <td><math>b + \frac{1}{2}a</math></td> <td><math>c + \frac{3}{2}a</math></td> <td><math>n'_{\text{tot}} = 2a + b + c</math></td> <td><math>x'_{\text{H}_2} = \frac{c + \frac{3}{2}a}{2a + b + c}</math></td> </tr> </tbody> </table>		$\text{NH}_{3(g)}$	$\rightarrow \frac{1}{2}\text{N}_{2(g)}$	$+ \frac{3}{2}\text{H}_{2(g)}$	Quantité totale de gaz (mol)	Fraction molaire en dihydrogène	Etat initial (mol)	a	b	c	$n_{\text{tot}} = a + b + c$	$x_{\text{H}_2} = \frac{c}{a+b+c}$	Etat final (mol)	$a - y_m$	$b + \frac{1}{2}y_m$	$c + \frac{3}{2}y_m$	/	/		0	$b + \frac{1}{2}a$	$c + \frac{3}{2}a$	$n'_{\text{tot}} = 2a + b + c$	$x'_{\text{H}_2} = \frac{c + \frac{3}{2}a}{2a + b + c}$	Avancement 0,5  $n_{\text{tot}}$ 0,5  Fraction molaire 0,5	
	$\text{NH}_{3(g)}$	$\rightarrow \frac{1}{2}\text{N}_{2(g)}$	$+ \frac{3}{2}\text{H}_{2(g)}$	Quantité totale de gaz (mol)	Fraction molaire en dihydrogène																						
Etat initial (mol)	a	b	c	$n_{\text{tot}} = a + b + c$	$x_{\text{H}_2} = \frac{c}{a+b+c}$																						
Etat final (mol)	$a - y_m$	$b + \frac{1}{2}y_m$	$c + \frac{3}{2}y_m$	/	/																						
	0	$b + \frac{1}{2}a$	$c + \frac{3}{2}a$	$n'_{\text{tot}} = 2a + b + c$	$x'_{\text{H}_2} = \frac{c + \frac{3}{2}a}{2a + b + c}$																						
1.4.	<b>Evaluation du <math>k_N</math></b>																										
1.4.a	$k_N = \frac{p_{\text{NH}_3}}{(p_{\text{H}_2})^{3/2}} = \frac{x_{\text{NH}_3} \cdot P}{(x_{\text{H}_2} \cdot P)^{3/2}} = \frac{x_{\text{NH}_3}}{(x_{\text{H}_2})^{3/2} \cdot P^{1/2}} = \frac{x_{\text{NH}_3}}{(x_{\text{H}_2})^{3/2} \cdot \sqrt{P}}$ $p_{\text{NH}_3} = x_{\text{NH}_3} \cdot P$	0,5																									
1.4.b	A.N. : $x_{\text{NH}_3} = 0,159$ D'où : $k_N = 0,159 / (0,70)^{3/2} = 0,27$	0,5	1,75																								
1.4.c	Il ne faut pas dépasser un $k_N$ de l'ordre de 0,20 (lecture graphique) pour rester dans le domaine de la solution solide ferritique (phase $\alpha$ ) et de ne pas avoir de nitrures  0,20 < 0,27 donc l'objectif « sans nitrures » n'est pas atteint.	0,5  0,25																									

Exercice 2 : Trempe à huile (8 points)

	Réponse attendue	Barème détaillée	Barème global								
<b>2.1.</b>	<b>Phase de caléfaction</b>										
2.1.a.	<p>The graph plots Temperature [C] on the y-axis (0 to 1000) against Time [s] on the bottom x-axis (0 to 54) and Cooling rate [C/s] on the top x-axis (0 to 180). Three curves are shown: Courbe 1 (cooling rate <math>\theta = f(t)</math>), Courbe 2 (cooling rate), and a temperature curve. The temperature curve shows a plateau at 750°C labeled 'caléfaction', a dip to 600°C labeled 'Ebullition', and a final plateau at 300°C labeled 'Convection'. Two horizontal lines are drawn: a black line at 750°C and an orange line at 300°C.</p>	<p>3 x 0,5 + 2 x 0,25</p>	3,5								
2.1.b.	<p>Lors de la phase de caléfaction, il se produit une gaine de vapeur autour de la sonde. Cette gaine « isole » la sonde, les transferts thermiques se font mal. On peut dissiper cette gaine avec une agitation.</p>	<p>0,5 + 0,5</p>									
2.1.c.	<p>Les bulles sont constituées d'huile à l'état gazeux.</p>	<p>0,5</p>									
2.2.	<p>The graph plots Temperature [C] on the y-axis (0 to 1000) against Time [s] on the bottom x-axis (0 to 54) and Cooling rate [C/s] on the top x-axis (0 to 180). Three curves are shown: Courbe 1 (cooling rate <math>\theta = f(t)</math>), Courbe 2 (cooling rate), and a temperature curve. A black box highlights the region between 300°C and 600°C on the temperature axis and 0 to 100°C/s on the cooling rate axis.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Caractéristiques de refroidissement</th> <th>Valeur déterminée</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Vitesse maximale de refroidissement, °C/s</td> <td>105</td> </tr> <tr> <td>Température à la vitesse maximale de refroidissement, °C</td> <td>600</td> </tr> <tr> <td>Vitesse de refroidissement à 300°C en °C/s</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table>	Caractéristiques de refroidissement	Valeur déterminée	Vitesse maximale de refroidissement, °C/s	105	Température à la vitesse maximale de refroidissement, °C	600	Vitesse de refroidissement à 300°C en °C/s	10	<p>3 x 0,5</p>	1,5
Caractéristiques de refroidissement	Valeur déterminée										
Vitesse maximale de refroidissement, °C/s	105										
Température à la vitesse maximale de refroidissement, °C	600										
Vitesse de refroidissement à 300°C en °C/s	10										

<p><b>2.3.</b></p>	 <p>- <math>\Delta t_{700}^{300} = 13 - 5 = 8 \text{ s}</math></p> <p>- Vitesse moyenne : <math>\overline{\Delta V}_{700}^{300} = (700 - 300) / 8 = 50 \text{ }^\circ\text{C/s.}</math></p> <p>La vitesse moyenne est 5 fois plus élevée que la vitesse instantanée à 300°C.</p>	<p>0,5</p> <p>0,5</p> <p>0,5</p>	<p>2</p>
<p><b>2.4.</b></p>	<p><b>Effet d'une pollution</b></p> <p>Risques : tapures, déformations et manque de dureté</p> <p>Causes possible (une seule demandée) : pollution par l'eau, liquide de craquage , huiles étrangères.</p>	<p>3x0,25</p> <p>0,25</p>	<p>1</p>