

**SESSION 2010**

**BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR**  
**TRAITEMENTS DES MATERIAUX**

**SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES**

**Sous-épreuve spécifique à chaque option**

**Option A : Traitements Thermiques**

**- U4.3A -**

**DUREE : 2 HEURES**

**COEFFICIENT : 2**

Les calculatrices de poche sont autorisées conformément à la circulaire n°99-186  
du 16 novembre 1999

***A fournir par le centre d'examen : 1 feuille de papier millimétré***

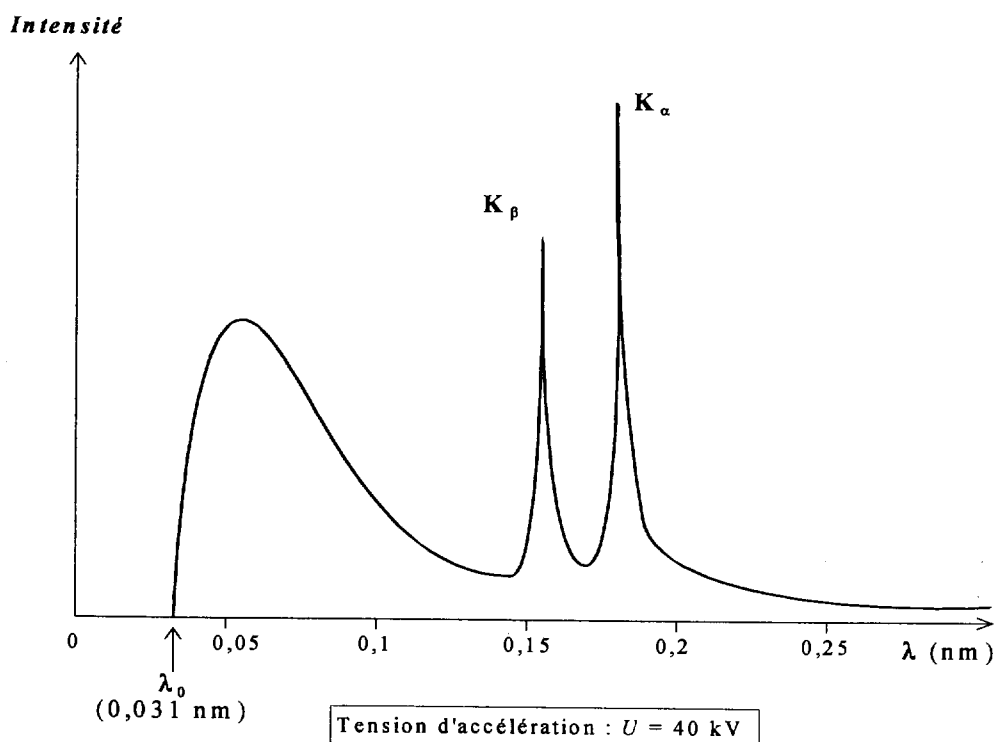
Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il soit complet.  
Le sujet comporte 7 pages, numérotées de 1 à 7.

**Partie I : Dosage de l'austénite résiduelle au moyen des rayons X (10 points)**

**1. Production des rayons X**

**Rappel :**

Dans un spectre d'émission habituel, les variations de l'intensité émise en fonction de la longueur d'onde présentent un "fond" continu, surmonté de plusieurs raies fines. Les raies sont caractéristiques du métal de l'anode (en général, on filtre pour ne garder que la raie  $K_\alpha$ ). Il n'y a pas d'émission continue en dessous de la longueur d'onde  $\lambda_0$ .



- 1.1. Rappeler brièvement le principe de production des rayons X.
- 1.2. Calculer l'énergie  $W$  acquise par les électrons avec la tension d'accélération de 40 kV, exprimée en eV puis en J. On rappelle que l'énergie acquise par une charge  $q$  accélérée sous la différence de potentiel  $U$  est donnée par  $|q \cdot U|$ .
- 1.3. Calculer par ailleurs l'énergie  $W'$  correspondant à un photon de longueur d'onde  $\lambda_0 = 0,031 \text{ nm}$ .
- 1.4. Expliquer pourquoi il n'y a pas d'émission pour  $\lambda < 0,031 \text{ nm}$ .

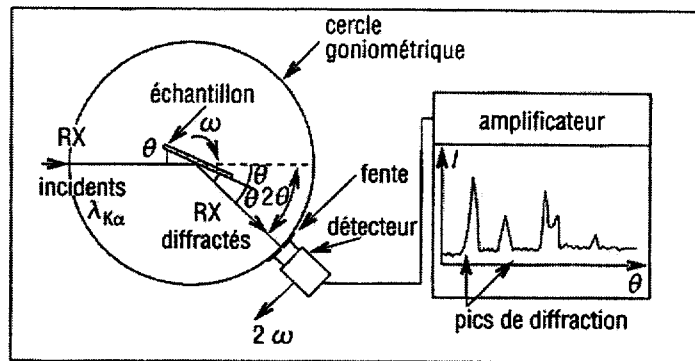
**Données :** Charge élémentaire :  $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$   
Constante de Planck :  $h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J.s}$   
Vitesse de la lumière :  $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR – TRAITEMENTS DES MATERIAUX			
Durée : 2 Heures	Coefficient : 2	Sciences Physiques et Chimiques	Session 2010
Code : TMPC A		Sous-épreuve spécifique à chaque option – U4.3 A Option A : Traitements Thermiques	Page 2/7.

## 2. Diffraction dans l'austénite et dans la ferrite

On se propose d'estimer le pourcentage d'austénite résiduelle dans un acier après trempe par analyse des diagrammes de diffraction des rayons X.

On utilise un tube à rayons X à anode de cobalt dans un diffractomètre de Debye-Scherrer. La longueur d'onde de la raie  $K_{\alpha}$  du cobalt est  $\lambda_{Co} = 0,179 \text{ nm}$ .



*Diffractomètre à compteur*

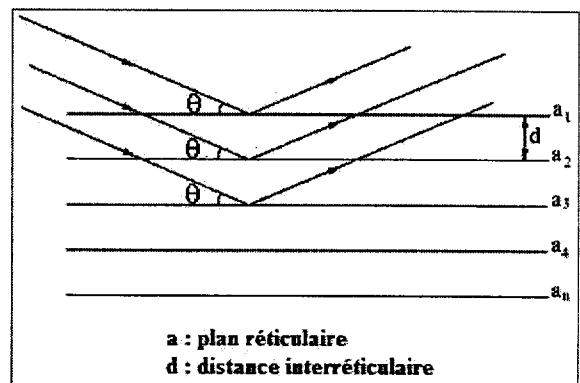
### Rappels :

- Les plans cristallins donnent des réflexions sélectives. On obtient un pic, lorsque la relation de Bragg est satisfaite :  $2d \cdot \sin\theta = \lambda_{Co}$  (pour le premier ordre de diffraction) où  $d$  est la distance interréticulaire.
- La distance  $d$  s'exprime en fonction de la maille  $a$  du réseau par la relation :

$$d = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

où  $h$ ,  $k$  et  $l$  sont les indices de Miller.

- Les règles de symétrie pour les familles de plans selon le système cristallin sont :
  - cubique centré :  $h+k+l$  doit être pair.
  - cubique à faces centrées :  $h$ ,  $k$  et  $l$  doivent être de même parité.



**a : plan réticulaire**  
**d : distance interréticulaire**

### Données :

A  $20^\circ\text{C}$ , pour l'austénite :  $a_{\gamma} = 0,3585 \text{ nm}$  ; pour la ferrite :  $a_{\alpha} = 0,2866 \text{ nm}$ .

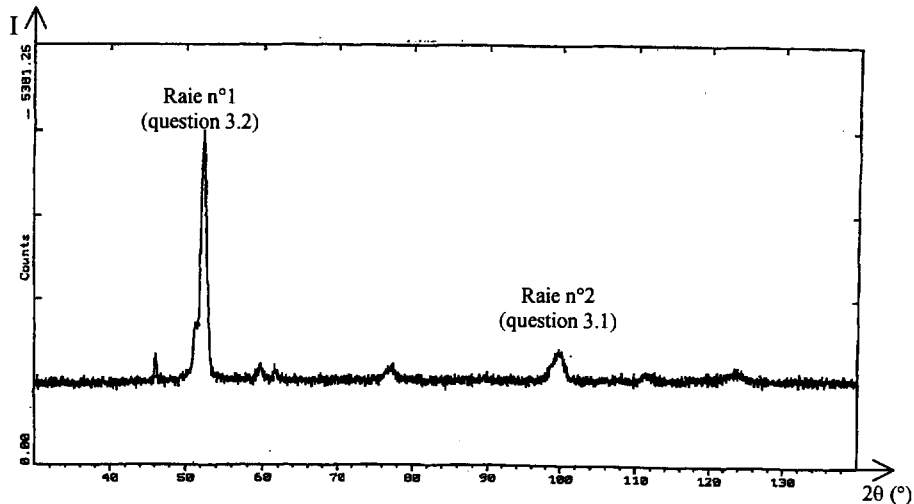
**Compléter le tableau de l'annexe page 7 correspondant à l'austénite :**

- 2.1. en déterminant les indices de Miller ;
- 2.2. en calculant alors les distances  $d$  entre les plans réticulaires correspondantes ;
- 2.3. et en terminant par les deux dernières colonnes.

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR – TRAITEMENTS DES MATERIAUX			
Durée : 2 Heures	Coefficient : 2	Sciences Physiques et Chimiques	Session 2010
Code : TMPC A	Sous-épreuve spécifique à chaque option – U4.3 A Option A : Traitements Thermiques		Page 3/7.

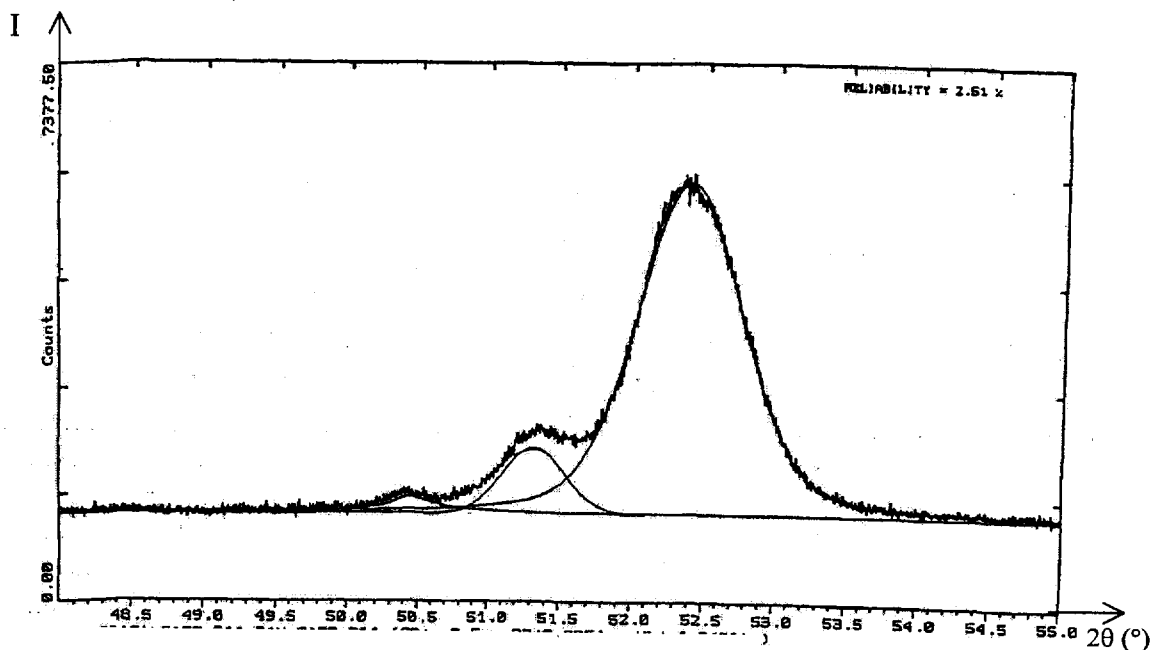
### 3. Dosage de l'austénite résiduelle

On reproduit ci-dessous le diagramme obtenu pour un acier trempé (pour information, la nuance de l'acier est X160CrMoV12). Il contient donc un mélange des deux phases, en raison de la présence d'austénite résiduelle. La figure ci-dessous représente l'intensité diffractée en fonction de l'angle  $2\theta$ . On y remarque un certain nombre de raies.



3.1. La raie n° 2 correspond à une raie de la ferrite. En vous aidant **des tableaux en annexe**, indiquer la famille de plans concernée.

3.2. **Les résultats des tableaux en annexe** montrent que les premières raies (111 pour l'austénite et 110 pour la ferrite) sont proches, mais non confondues. Ce sont aussi les plus intenses. On peut "zoomer" sur la raie n°1 pour n'observer que des angles  $2\theta$  compris entre  $48^\circ$  et  $55^\circ$ . C'est ce qui a été fait sur **la figure ci-dessous**. Un logiciel adapté a permis en outre de séparer les raies qui se recouvrent partiellement (trait fin).



BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR – TRAITEMENTS DES MATERIAUX			
Durée : 2 Heures	Coefficient : 2	Sciences Physiques et Chimiques	Session 2010
Code : TMPC A	Sous-épreuve spécifique à chaque option – U4.3 A Option A : Traitements Thermiques		Page 4/7.

**Sous-épreuve spécifique à chaque option**  
**Sciences Physiques et Chimiques – Option A : Traitements Thermiques**

Sur ce document, l'intensité est donnée en "coups/s" (« counts ») mais seul le rapport des intensités est utile puisque la concentration  $C_\gamma$  en austénite résiduelle est donnée par la relation suivante :

$$C_\gamma = \frac{1}{1 + 0,75 \left( \frac{I_{110}}{I_{111}} \right)}$$

De plus, les intensités devraient être mesurées par l'aire de leur pic. Pour des raisons de commodité, on admettra que ces intensités sont proportionnelles à la hauteur de leur pic. On peut donc utiliser le rapport des hauteurs.

Calculer la concentration relative en austénite résiduelle dans cet échantillon. L'exprimer en « pour cent ».

**Partie II : Etude d'une atmosphère de traitement thermochimique (10 points)**

Un organisme de contrôle effectue l'analyse complète d'une atmosphère de traitement thermochimique utilisé dans une entreprise. Il annonce la composition suivante :

Gaz	CO	H <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>
« Teneur »	5,0 %	9,0 %	0,2 %	– 20 °C	0,5 %	< 5 ppm

*Tableau 1 : Composition de l'atmosphère étudiée.*

Le reste de l'atmosphère est constitué de diazote N<sub>2</sub>.

1. Dans le tableau 1 ci-dessus, la « teneur » en H<sub>2</sub>O est donnée en °C.

1.1. Que représente en réalité la valeur « – 20 °C » ?

1.2. Pour quelle raison pratique, utilise-t-on cette notation plutôt que la « teneur en % » ?

2. On donne la pression de vapeur saturante de l'eau en fonction de la température :

Température (en K)	245	250	255	260	265
P <sub>sat</sub> (en bar)	0,00046	0,00076	0,00124	0,00196	0,00306

*Tableau 2*

2.1. Sur la feuille de papier millimétré fournie (à rendre avec la copie), tracer la courbe donnant P<sub>sat</sub> en fonction de T.

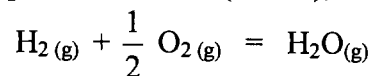
2.2. En déduire la pression de vapeur saturante de l'eau à – 20 °C.

2.3. Quelle est la teneur (en %) en eau dans l'atmosphère considérée sous une pression totale de 1 bar ?

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR – TRAITEMENTS DES MATERIAUX			
Durée : 2 Heures	Coefficient : 2	Sciences Physiques et Chimiques	Session 2010
Code : TMPC A	Sous-épreuve spécifique à chaque option – U4.3 A Option A : Traitements Thermiques		Page 5/7.

**Sous-épreuve spécifique à chaque option**  
**Sciences Physiques et Chimiques – Option A : Traitements Thermiques**

3. Dans l'atmosphère portée à la température du four (800°C), on observe l'équilibre (1) suivant :



Pour cet équilibre, on a :

Constante d'équilibre :  $K_1$ ;  $\Delta_r H^\circ(298 \text{ K}) = -242 \text{ kJ.mol}^{-1}$   
 $\Delta_r H^\circ$  et  $\Delta_r S^\circ$  sont considérés comme indépendantes de la température.

On donne également :

	$\text{H}_2(\text{g})$	$\text{O}_2(\text{g})$	$\text{H}_2\text{O}(\text{g})$
$S^\circ_f(\text{J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1})$	131	205	189

Tableau 3

- 3.1. Déterminer la valeur de la variation d'entropie standard de réaction  $\Delta_r S^\circ$  à 298 K.
- 3.2. Calculer l'enthalpie libre standard  $\Delta_r G^\circ$  de l'équilibre (1) à 800 °C.
- 3.3. Montrer que la constante d'équilibre  $K_1$  vaut environ  $2,9 \times 10^9$  à cette température.
- 3.4. Exprimer la constante d'équilibre  $K_1$  en fonction des activités des différentes espèces présentes à l'équilibre (1).
- 3.5. On suppose, en première approximation, que les teneurs en  $\text{H}_2$  et  $\text{H}_2\text{O}$  indiquées dans le premier tableau restent valables dans le four à 800 °C. En déduire, dans cette hypothèse, la pression partielle de  $\text{O}_2$  dans l'atmosphère à l'équilibre à 800 °C sous 1 bar.
- 3.6. En réalité, la teneur en  $\text{O}_2$  est de 2 ppm d'après sa mesure in situ à la sonde à oxygène à 800°C. Dans quel sens se déplace l'équilibre (1) lorsqu'on porte le mélange depuis la température ambiante jusqu'à 800 °C sous 1 bar ?

**Données :**

$0^\circ\text{C}$  correspond à  $-273 \text{ K}$ ;  $R = 8,314 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR – TRAITEMENTS DES MATERIAUX			
Durée : 2 Heures	Coefficient : 2	Sciences Physiques et Chimiques	Session 2010
Code : TMPC A	Sous-épreuve spécifique à chaque option – U4.3 A Option A : Traitements Thermiques		Page 6/7.

## Annexe à rendre avec la copie

### Diagrammes de diffraction X (anode de Cobalt)

**Austénite (fer  $\gamma$ )**  
(CFC)

<b>h k l</b>	<b>d (nm)</b>	<b>sin<math>\theta</math></b>	<b>2<math>\theta</math> (°)</b>
1 1 1	0,2070	0,4324	51,24

a = 0,3585 nm (à 20°C)  
 $\lambda$  = 0,179 nm

**Ferrite (fer  $\alpha$ )**  
(CC)

<b>h k l</b>	<b>d (nm)</b>	<b>sin<math>\theta</math></b>	<b>2<math>\theta</math> (°)</b>
1 1 0	0,2027	0,4416	52,42
2 0 0	0,1433	0,6246	77,30
2 1 1	0,1170	0,7649	99,80
2 2 0	0,1013	0,8833	124,08

a = 0,2866 nm (à 20°C)  
 $\lambda$  = 0,179 nm