

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

**SCIENCES PHYSIQUES APPLIQUEES**

**Sous-épreuve spécifique à chaque option**

**Option A : Traitements Thermiques**

**- U4.3A -**

SESSION 2015

Durée : 2 heures

Coefficient : 2

**Matériel autorisé :**

- Toutes les calculatrices de poche y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (Cirulaire n°99-186, 16/11/1999).

**Documents à rendre avec la copie :**

**- Annexes 3.....page 7/7**

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

BTS TRAITEMENTS DES MATERIAUX Sciences Physiques Appliquées	Session 2015
Sous-épreuve spécifique à chaque option – U4.3 A	Code : TMPC A Page 1 sur 7

## Les exercices 1 et 2 sont indépendants

### Exercice 1 - Nitruration ionique d'un acier - 12 points

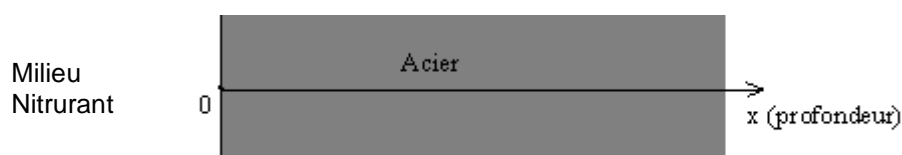
Un jeune diplômé est employé dans une entreprise de traitement thermique qui souhaite faire de la nitruration sur de nouvelles pièces. Son objectif est de trouver un sous-traitant qui puisse réaliser de tels traitements.

Après une brève recherche sur internet, il trouve une société sous-traitante qui présente ses procédés de nitruration dans le document se trouve en annexe 1 page 5.

#### Partie A : Quelques généralités sur la nitruration

- A.1.1. En vous appuyant sur le document en annexe 1, citer au moins trois procédés de nitruration parmi ceux proposés par la société.
- A.1.2. En vous appuyant sur le document en annexe 1, citer au moins trois avantages pour la nitruration.
- A.1.3. L'acier des pièces à nitrurer doit-il être allié ? Justifier votre réponse.
- A.1.4. En nitruration ionique, le gaz qui nitre est le diazote  $N_2$ . Dans le document en annexe 1, il est dit « création d'un plasma, ionisant l'atmosphère assurant le décapage et le chauffage des pièces ».
- A.1.4.a. Expliquer en quelques lignes (en vous appuyant sur un schéma annoté illustrant ce qui se passe dans le four) comment se forment le plasma et l'ionisation de l'atmosphère. Vous préciserez et justifierez le potentiel auquel on place la pièce à traiter.
- A.1.4.b. Expliquer pourquoi il est inutile de chauffer au préalable les pièces à traiter.
- A.1.4.c. En vous appuyant sur le diagramme en annexe 2 page 6, donner la gamme habituelle de température pratiquée en nitruration. Justifier votre réponse en précisant les produits formés si cette condition n'est pas respectée.

#### Partie B : Diffusion de l'azote dans une pièce en acier :



On considère une pièce en acier dont la teneur massique initiale en azote est de 0% quelle que soit la profondeur  $x$ .  
On veut nitrurer cette pièce considérée comme semi-infinie.

L'évolution de la teneur en masse d'azote  $\tau(x,t)$  en fonction de la profondeur  $x$  et de la durée  $t$  est donnée par la loi :

$\tau(x,t) = \tau_S + (\tau_0 - \tau_S) \cdot \text{erf}(u)$	$u = \text{variable de Cauchy} : u = \frac{x}{2\sqrt{Dt}}$
$\tau_S$ : teneur en surface = 0,365% $\tau_0$ : teneur à cœur = 0% $D$ : coefficient de diffusion en $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ $t$ : durée du traitement en s $\text{erf}(u)$ : fonction erreur (sans unité)	
<p>Le coefficient de diffusion <math>D</math> varie avec la température suivant la loi d'Arrhenius :</p> $D = D_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$ $D_0$ et $E_a$ sont supposés constants. $E_a$ : énergie d'activation de diffusion supposée indépendante de la température $R$ : constante des gaz parfaits. $D_0$ : facteur de fréquence $D_0 = 6,60 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ $E_a = 77\,900 \text{ J}$ $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ on rappelle que $T(\text{K}) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273$ Les valeurs de la fonction $\text{erf}(u)$ sont fournies dans le tableau en annexe 3.	

- B.1.1. Déterminer l'unité de  $E_a$ . Justifier.
- B.1.2. Montrer qu'à la température de traitement  $\theta = 550 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , le coefficient de diffusion  $D = 7,50 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ .
- B.1.3. La durée du traitement est  $t = 4 \text{ h}$ . La température est  $\theta = 550 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .  
Compléter le tableau en annexe 3 en calculant les valeurs de la profondeur  $x$  et de la teneur  $\tau$  en azote pour les valeurs considérées.
- B.1.4. Tracer sur le document réponse en **annexe 3 page 7 à rendre avec la copie** la courbe représentant  $\tau$  en fonction de la profondeur  $x$ .
- B.1.5. La courbe obtenue est-elle cohérente avec les données indiquées dans le document en annexe 1 ?

## Exercice 2 - Etude de la nitruration en phase gazeuse - 8 points

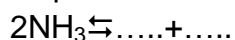
Toujours dans le même document fourni en annexe 1, il est question de traitement de substitutions. Nous allons maintenant aborder la nitruration par l'ammoniac  $\text{NH}_3$  en phase gazeuse.

### Données :

Les tables thermodynamiques fournissent l'entropie molaire standard  $S^0$  et l'enthalpie molaire standard de formation de l'ammoniac  $\Delta_f H_{298}^0$  à  $T_1 = 298 \text{ K}$ .

	$\text{N}_{2(g)}$	$\text{H}_{2(g)}$	$\text{NH}_{3(g)}$
$S^0$ (en $\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$ )	191,5	130,6	192,5
$\Delta_f H_{298}^0$ (en $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$ )	0	0	-46 190

2.1. L'ammoniac  $\text{NH}_3$  se décompose en dihydrogène et en diazote. Compléter l'équation modélisant la réaction de décomposition et l'équilibrer.



2.2. Pour la réaction de dissociation de l'ammoniac à  $T_1 = 298 \text{ K}$ , montrer que :

- l'entropie standard de réaction  $\Delta_r S_{298}^0 = 1,98 \cdot 10^2 \text{ J}\cdot\text{K}\cdot\text{mol}^{-1}$

- l'enthalpie standard de réaction  $\Delta_r H_{298}^0 = 9,24 \cdot 10^4 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}$

Ces grandeurs sont considérées constantes dans l'intervalle de température utilisé pour le traitement.

2.3. Après avoir donné l'expression de l'enthalpie libre standard de réaction de dissociation de l'ammoniac à  $T_1 = 298 \text{ K}$ , montrer que  $\Delta_r G_{298}^0 = 3,33 \cdot 10^4 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

2.4. En déduire que la constante d'équilibre  $K_1$  de cette réaction est égale à  $1,46 \cdot 10^{-6}$  à  $298 \text{ K}$ . Que pouvez-vous en déduire sur l'avancement de cette réaction ?

2.5. On donne la relation suivante :  $\text{Ln} \frac{K_2}{K_1} = \frac{\Delta_r H_{298}^0}{R} \cdot \frac{(T_2 - T_1)}{T_1 T_2}$  avec « Ln » symbolisant le

logarithme népérien.

Calculer la nouvelle constante d'équilibre  $K_2$  lorsque l'ammoniac se trouve dans le four à la température  $\theta_2 = 550 \text{ }^\circ\text{C}$ .

2.6. Que pouvez-vous conclure ? Techniquement, que doit-on alors prévoir pour pouvoir nitrurer efficacement l'acier ? Justifier.

# ANNEXES

## ANNEXE 1

### NITRURATION/CARBONITRURATION IONIQUE

#### TRAITEMENT THERMOCHIMIQUE SUPERFICIEL REALISE PAR VOIE IONIQUE

Objectif : Résistance à la fatigue, à l'usure, au grippage

Définition :

La nitruration est une diffusion d'azote atomique N à la surface des pièces, généralement traitées au préalable par trempe et revenu (N + C pour nitrocarburation). L'insertion de N (ou N+C), et la formation de nitrures avec les éléments d'alliage de l'acier, provoquent un durcissement superficiel apportant les propriétés recherchées. Différents procédés de nitruration sont proposés par la société : gazeux, basse pression, bains de sel et ionique. La "nitruration ionique" (objet de la présente fiche) est réalisée en four sous vide par un flux contrôlé de gaz actif, dissocié par plasma.

Mise en œuvre industrielle :

Les pièces disposées dans le four, sont traitées selon le cycle type suivant :

- Mise sous vide de l'enceinte.
- Injection du mélange gazeux actif, sous pression, et débit massique contrôlés.
- Création d'un plasma ionisant l'atmosphère et assurant le décapage, et le chauffage des pièces (les fours modernes sont équipés d'un chauffage additionnel par résistances).
- A la fin du cycle de diffusion, refroidissement par circulation forcée de gaz neutre. Tous les paramètres du traitement (température, temps, débits massiques) caractéristiques du plasma sont gérés par système informatique.

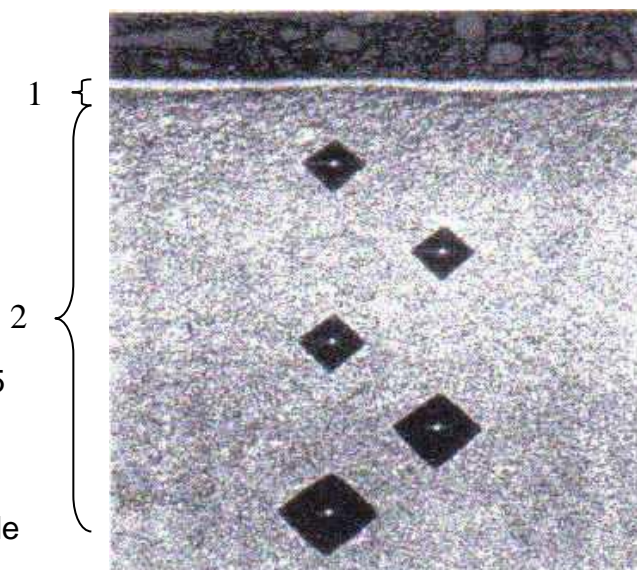
Constitution de la couche nitrurée

La couche nitrurée comporte :

1. En surface, une couche de combinaison (couche blanche) de 5 à 25  $\mu\text{m}$ , où l'azote est combinée sous forme de nitrure de fer ( $\gamma'$ ,  $\epsilon$  ou  $\gamma'+\epsilon$ ) de très grande dureté, favorisant le glissement, et augmentant la résistance à l'usure et au grippage.

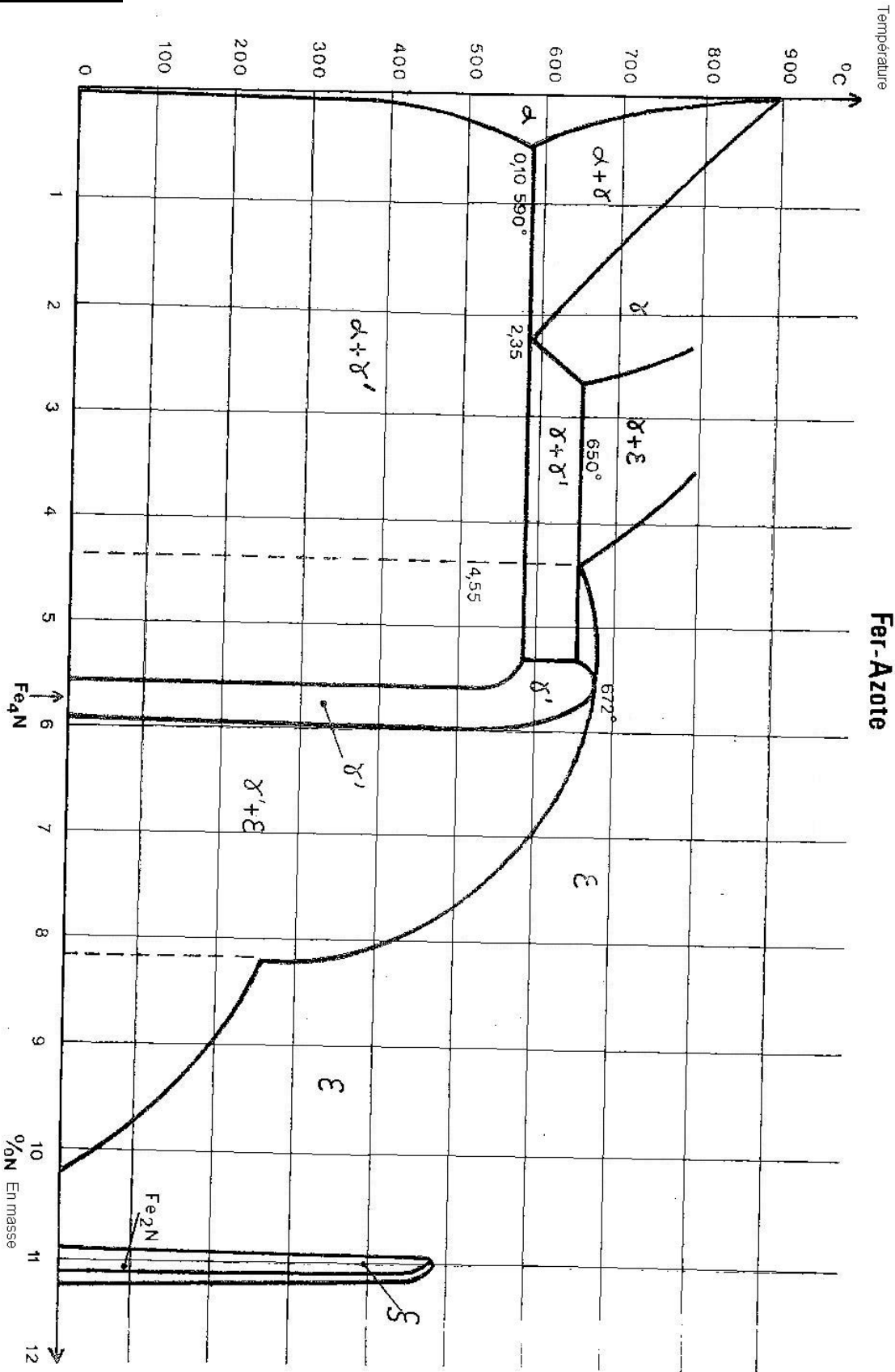
2. Une couche de diffusion sous-jacente (de 0,1 à 0,5 mm) assurant une bonne résistance à la fatigue et renforçant la résistance à l'usure.

La composition et l'épaisseur de couche dépendent de la nuance d'acier, et des paramètres de traitement.



Source : D'après notice d'entreprise

**ANNEXE 2**



**DIAGRAMME D'EQUILIBRE  
Fer-Azote**

## ANNEXE 3 : A RENDRE AVEC LA COPIE

<b>u</b>	<b>erf(u)</b>	<b>x (en m)</b>	<b><math>\tau</math> (en %)</b>
0	0	0	0,365
0,10	0,11246	$6,6 \cdot 10^{-5}$	0,324
0,50	0,52050		
1,0	0,84270	$6,6 \cdot 10^{-4}$	0,057
1,5	0,96610	$9,8 \cdot 10^{-4}$	0,012

