Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV©

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :
www.formav.co/explorer

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR

TRAITEMENTS DES MATERIAUX

SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES

Sous-épreuve spécifique à chaque option

Option A : Traitements Thermiques

- U4.3A -

SESSION 2012

DUREE : 2 HEURES

COEFFICIENT : 2

Base Nationale de l'Enseignement Professionnel
Réseau SCEREN

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 (Circulaire n°99-186, 16/11/1999).

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.

Autour de la cémentation d'un acier non allié.

On désire faire un traitement thermochimique d'un acier non allié par cémentation gazeuse à la température de **950°C. Cette température sera fixée pour l'ensemble du sujet. On supposera que cette température dans le four y est homogène.**

Les cinq parties proposées sont indépendantes.

Données :

- Constante des gaz parfaits R = 8,314 J.mol^{-1}.K^{-1}.
- Formule d'Ellis-Gunnarson

$a_c = 1{,}07.e^{(\frac{4798{,}6}{T})}(\frac{X}{100-19{,}6.X})$ avec X : pourcentage massique de carbone

Partie 1 - Préliminaire – sur 1,5 points

1.1. Quel(s) moyen(s) peut-on mettre en œuvre dans l'atelier pour contrôler l'homogénéité de la température dans le four de cémentation ? Donner une réponse succinte.

1.2. Hormis un procédé gazeux, citer une autre méthode permettant de cémenter un acier.

Partie 2 - Choix du gaz carburant – sur 8 points

L'atmosphère utilisée doit contenir un gaz « carburant », ayant cette capacité à fournir des atomes de carbone, qui pourront ensuite diffuser dans la pièce.

Il s'agit ici d'étudier trois gaz plus ou moins « carburants » : CO, CH_4 et C_3H_8.
On vous propose de comparer l'efficacité de carburation de chacun de ces 3 gaz. On dira qu'un gaz est d'autant plus carburant qu'il pourra fournir des atomes de carbone à la pièce. On ne traitera ici que l'aspect thermodynamique des équilibres.

2.1. Gaz n°1 : CO :

2.1.1. Proposer un moyen de produire une atmosphère contenant du monoxyde de carbone.

2.1.2. La décomposition catalytique du monoxyde de carbone à la surface de la pièce se traduit, entre autres, par l'équation suivante :

$$2\,CO = C_\gamma + CO_2 \qquad \text{réaction (1)}$$

On donne la constante d'équilibre de cette réaction en fonction de la température T exprimée en K :

$$K_1(T) = e^{(\frac{20598}{T} - 21{,}1062)}$$

Calculer, à la température de traitement (Θ = 950°C), la constante d'équilibre de la réaction (1). On rappelle que : $T = \Theta + 273{,}15$

Base Nationale de l'Enseignement Professionnel
Réseau SCEREN

2.2. Gaz n°2 : CH_4 :

A 950°C, le méthane craque au contact de l'acier à l'état austénitique pour former du carbone libre et du dihydrogène gazeux :

$$CH_4 = C\gamma + 2\ H_2 \qquad \text{réaction (2)}$$

L'enthalpie libre standard de cette réaction, en $J.mol^{-1}$ est donnée par la relation:

$$\Delta_r G°_2(T) = 89980 - 109,4T$$

Calculer à 950°C la constante d'équilibre K_2 de cette réaction.

2.3. Gaz n°3 : C_3H_8 :

A 950°C, à la surface de la pièce, le propane se décompose en carbone libre et dihydrogène.

2.3.1. Ecrire l'équation de la réaction traduisant cette transformation. On la notera(3).
2.3.2. Calculer l'enthalpie standard de réaction $\Delta_r H°_3$.
2.3.3. La décomposition du propane sera-t-elle favorisée si :
- la température augmente ? Justifier.
- la pression dans l'enceinte du four augmente ? Justifier.

2.3.4. Calculer à cette même température la constante d'équilibre K_3 de la réaction (3).

Données à 950°C :

	$C_3H_{8(g)}$	$C_{(s)}$	$H_{2(g)}$
$\Delta_f H°$ (kJ/mol)	-103,85	0	0
$S_m°$ ($J.K^{-1}.mol^{-1}$)	262,9	5,7	130,6

2.4. Conclusion :

2.4.1. Au vu des résultats précédents, classer par ordre croissant les constantes d'équilibre relatives à la décomposition de chacun de ces trois gaz, à 950°C.
2.4.2. En déduire dans les mêmes conditions opératoires et d'après les prévisions thermodynamiques, quel est le gaz le plus carburant, et celui qui l'est le moins.

Base Nationale de l'Enseignement Professionnel
Réseau SCEREN

Partie 3 - Diffusion du Carbone – sur 7 points

Le carbone étant fourni, il est adsorbé à la surface de la pièce, puis pénètre vers le cœur par diffusion. La concentration massique de carbone dans la pièce est donc une fonction dépendante de deux variables : le temps (t) et l'espace (x). On la notera C(x,t) = C.

3.1. Rappeler la deuxième loi de Fick, dite aussi équation de diffusion. Préciser l'unité de C.

Le coefficient de diffusion du carbone dans l'austénite suit la loi d'Arrhénius :

$$D = D_o e^{(-\frac{E_a}{RT})}$$

où E_a : énergie d'activation 145,5 kJ.mol^{-1}
D_o : facteur de fréquence 0,21 cm^2.s^{-1}

3.2. Montrer que le coefficient de diffusion du carbone, à Θ = 950°C, vaut 1,28.10^{-11} m^2.s^{-1}.

La teneur massique en carbone de l'acier non allié que l'on étudie est de 0,20 % initialement.
On voudrait qu'à une profondeur de 0,5 mm, ce taux de carbone soit de 0,56 %.

Le potentiel carbone de l'atmosphère, maintenu constant, vaut 0,80 %.

3.3. Donner la définition du potentiel carbone d'une atmosphère cémentante.

On rappelle que pour une concentration massique superficielle maintenue constante en carbone, la solution de la deuxième loi de Fick s'écrit :

$$\frac{C - Cs}{Co - Cs} = erf(u) \quad avec \quad u = \frac{x}{2\sqrt{Dt}}$$

où :
- *erf* est la fonction erreur
- *u* est la variable de Cauchy
- *C* la concentration massique de carbone à la profondeur *x*
- *Cs* la concentration massique de carbone en surface
- *Co* la concentration massique de carbone à cœur (ou initiale)

3.4. A quelle condition, la relation précédente est-elle encore valable avec les concentrations exprimées sous forme de pourcentages massiques (ou teneur massique ou taux) de carbone que l'on notera X, X_s et X_o ?
Nota: On rappelle la relation entre la concentration massique et le pourcentage massique en carbone :
$C = \frac{\rho . X}{100}$ où la masse volumique de l'acier est notée ρ.

3.5. Faire un schéma explicatif de l'interface atmosphère-métal regroupant les données de teneur en carbone en surface et en profondeur.
Identifier clairement les valeurs de X, X_o et X_s.

3.6. A l'aide du tableau de valeurs de la fonction *erf* donné en annexe 1, estimer le temps de traitement à prévoir pour respecter le cahier des charges. Un raisonnement détaillé est attendu.

Base Nationale de l'Enseignement Professionnel
Réseau SCEREN

3.7. En utilisant le graphe en annexe 2, déterminer le pourcentage massique en carbone à la même profondeur, si la pièce était oubliée pendant 24H dans le four à la même température. Justifier la réponse.

Partie 4 - Contrôle de l'atmosphère – sur 2 points

Pour contrôler le potentiel carbone de l'atmosphère utilisée, on utilise la méthode du fil résistif pour lequel une étude préalable a permis d'établir, à 950°C, la relation entre la résistance R et pourcentage massique de carbone *%C* :

$$R_{fil} = 2{,}15 + 24{,}8.\%C$$

4.1. Rappeler succinctement le principe de ce contrôle. La teneur en carbone est-elle uniforme au niveau du fil résistif lors de la mesure de sa résistance ?

4.2. A 950°C, on mesure R = 21,50 Ω. Que vaut le potentiel carbone ? A quoi peut-on attribuer la différence entre la valeur mesurée et la valeur théorique ?

Partie 5 - Transfert thermique dans le four – sur 1,5 points

Le four utilisé est un four à convection forcée.

5.1. Qu'est-ce que la convection forcée ? Quel est l'avantage d'utiliser ce type de four ?

On montre qu'à haute température, le transfert thermique dominant est le rayonnement. En effet, la loi de Stefan quantifie la puissance totale rayonnée par unité de surface d'un corps en fonction de sa température par la relation:

$$P_S = \sigma T^4$$

où σ est la constante de Stefan-Boltzmann = $5{,}67.10^{-8}$ SI.

5.2. Calculer la puissance surfacique rayonnée par des résistances chauffées à 950°C. Préciser son unité.

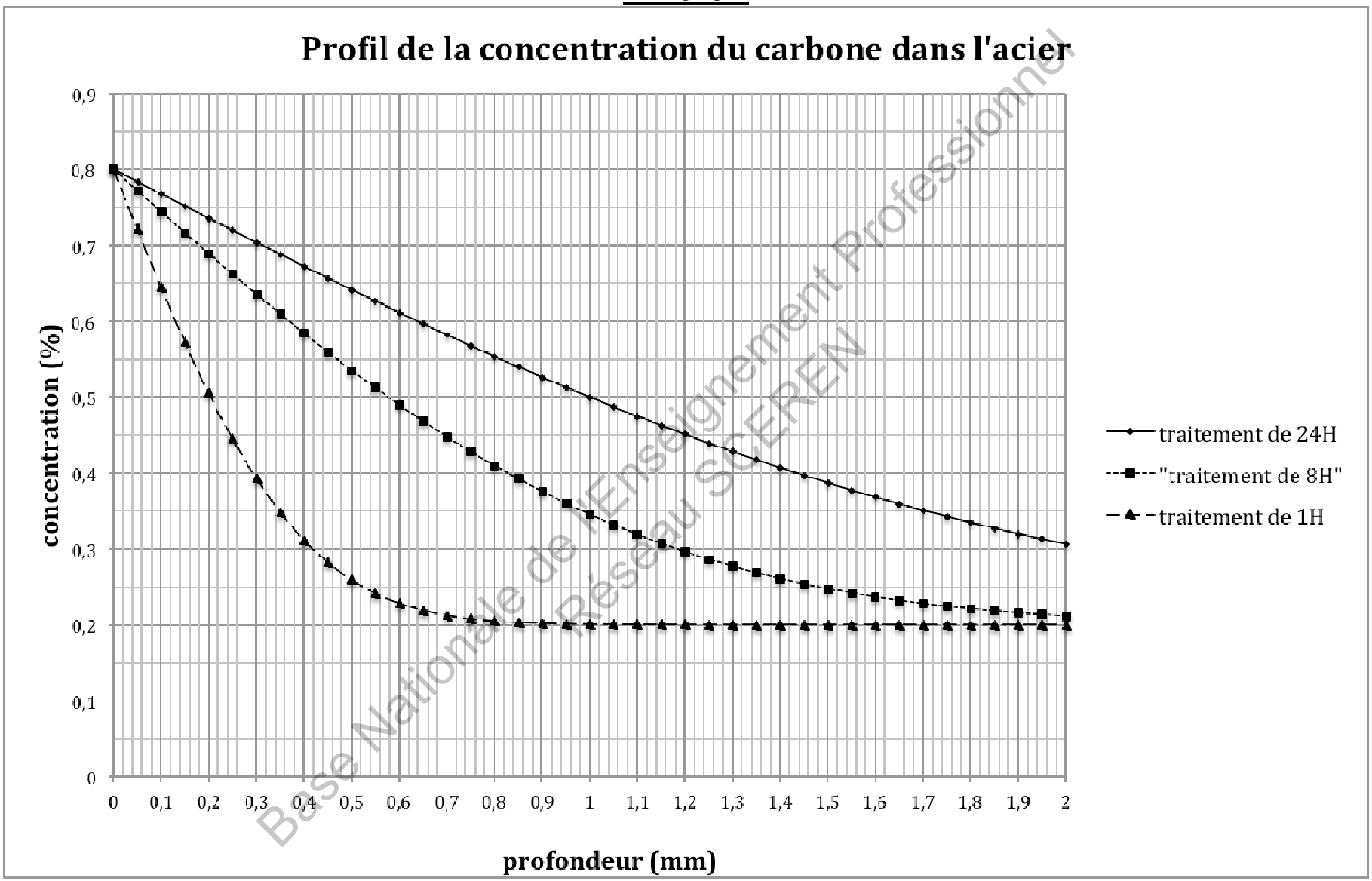
Base Nationale de l'Enseignement Professionnel
Réseau SCEREN

Annexe 1 : Tableau de valeurs de la fonction erf

u	erf(u)
0	0,000
0,053	0,060
0,106	0,119
0,159	0,178
0,212	0,236
0,265	0,292
0,318	0,347
0,371	0,400
0,424	0,451
0,477	0,500
0,53	0,546
0,583	0,590
0,636	0,632
0,689	0,670
0,742	0,706
0,795	0,739
0,848	0,770
0,901	0,797
0,954	0,823
1,007	0,846
1,06	0,866
1,113	0,885
1,166	0,901
1,219	0,915
1,272	0,928
1,325	0,939
1,378	0,949
1,431	0,957
1,484	0,964

Base Nationale de l'Enseignement Professionnel
Réseau SCEREN

Annexe 2



Base Nationale de l'Enseignement Professionnel
Réseau SCEREN

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV© avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV©, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV© se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV© avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV©, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV© se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.