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 SUPÉRIEUR

TRAITEMENTS DES MATÉRIAUX

SCIENCES PHYSIQUES APPLIQUÉES

Sous-épreuve spécifique à chaque option

Option A : Traitements Thermiques

- U4.3A -

SESSION 2019

Durée : 2 heures

Coefficient : 2

Matériel autorisé :
L'usage de tout modèle de calculatrice, avec ou sans mode examen, est autorisé.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Le sujet comporte 12 pages, numérotées de 1/12 à 12/12.

Ce sujet comporte deux exercices totalement indépendants : l'exercice 1 traite de la cémentation et l'exercice 2 traite du chauffage par induction.

Données pour l'ensemble du sujet

- données thermodynamiques à 25°C :

	$CH_3OH(g)$	$CO(g)$	$CO_2(g)$	$H_2O(g)$	$H_2(g)$	$C(s)$	$CH_4(g)$
$\Delta_f H°$ ($kJ.mol^{-1}$)	– 238,6	– 110,5	– 393,5	– 241,8	0	0	– 74,90
$S°$ ($J.mol^{-1}.K^{-1}$)	126,8	197,9	213,7	188,7	130,6	5,680	186,2

- constante des gaz parfaits : R = 8,314 $J.mol^{-1}$ K^{-1},
- $\boldsymbol{T}$ (K) = θ (°C) + 273,
- résistivité du cuivre à 20°C : ρ_{20}(cuivre) = $1{,}62\times10^{-8}$ SI,
- résistivité de l'acier sur l'intervalle de température 20°C - 800°C : ρ(acier) = $2{,}0\times10^{-7}$ SI
- perméabilité relative de l'acier : μ_r(acier) = 200,
- température de Curie de l'acier : T_{curie}(acier) = 770°C,
- densité du cuivre à 20°C : d = 8,92,
- masse volumique de l'eau à 20°C : ρ_{eau} = $1{,}0\times10^{3}$ $kg.m^{-3}$,
- chaleur massique de l'eau : c_p = $4{,}18\times10^{3}$ $J.kg^{-1}.K^{-1}$,
- température de fusion du cuivre : θ_{fusion}(Cu) = 1085°C,

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Exercice 1 - Production d'une atmosphère de cémentation - 11,5 points

On lit dans l'article M1220 de la revue « Techniques de l'Ingénieur » :

« La production d'une atmosphère de four à partir d'un liquide organique s'effectue directement dans le four par instillation par la méthode du goutte-à-goutte. La dissociation thermique des liquides organiques détermine, en fonction de la température, la composition chimique de l'atmosphère générée *in situ…* Il ne faut introduire les liquides organiques dans un four qu'aux températures supérieures à 750°C. La manipulation des liquides organiques inflammables doit faire l'objet de précautions particulières. »

Le but de cet exercice est de comprendre ces affirmations.

1.1. Généralités

Rappeler succinctement le but d'une cémentation.

1.2. Atmosphère générée *in situ* à partir de méthanol CH_3OH

On s'intéresse à la production d'une atmosphère de cémentation par instillation d'un liquide organique : le méthanol CH_3OH. Sa décomposition met en œuvre plusieurs réactions concurrentes.

Une des réactions est la **réaction (1)** qui conduit à la formation de dihydrogène $H_2(g)$ et de monoxyde de carbone CO(g).

L'équation de la réaction (1) peut s'écrire :

$$\mathbf{CH_3OH(g) \rightleftharpoons CO(g) + 2\ H_2\,(g)} \quad (1)$$

Dans l'approximation d'Ellingham, l'enthalpie libre standard $\Delta rG°_1$ de cette réaction en fonction de la température est donnée par la relation :

$$\Delta_r G°_1 = 128{,}1\times10^3 - 332{,}3 \times T \qquad \text{en J.mol}^{-1}$$

1.2.a. Parmi les valeurs $128{,}1\times10^3$ et 332,3 présentes dans l'expression de $\Delta_r G°_1$, indiquer laquelle représente l'enthalpie standard de la réaction $\Delta_r H°_1$?

Indiquer à quelle grandeur thermodynamique correspond l'autre valeur.

Retrouver ces valeurs à l'aide des données.

En déduire l'influence d'une augmentation de température sur l'équilibre du système.

1.2.b. Déterminer la valeur de la constante K_1 de la réaction (1) à 900°C. Conclure sur le caractère quantitatif de cette réaction.
En déduire les proportions en pourcentages volumiques, des deux gaz produits CO et H_2.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

1.3. « Lors d'une cémentation, la présence d'eau (gaz) et de dioxyde de carbone est néfaste. »

1.3.a. Justifier en quoi la présence d'eau (gaz) et de dioxyde de carbone dans le four serait néfaste lors d'une cémentation.

1.3.b. Proposer, sans les détailler, une technique de contrôle de la présence d'eau (gaz) et une technique de contrôle du dioxyde de carbone dans l'atmosphère de cémentation.

La dissociation du méthanol peut se faire selon d'autres réactions concurrentes de la **réaction (1)**. Parmi elles, on trouve :

- La **réaction (2)** conduisant à la formation de dioxyde de carbone CO_2 (g), de carbone C(s) et de dihydrogène H_2 (g).
- La **réaction (3)** conduit à la formation d'eau H_2O(g), de carbone C(s) et de méthane CH_4 (g).

1.3.c. Ecrire les équations des réactions (2) et (3). Le coefficient stœchiométrique du méthanol sera pris égal à 1 pour chacune d'elles.

L'annexe 1 donne les représentations graphiques des courbes $\Delta rG° = f(T)$ pour les trois réactions (1), (2) et (3).

1.3.d. Montrer, à partir de l'analyse des courbes de l'**annexe 1 page 8/12,** que l'affirmation « La dissociation thermique des liquides organiques détermine, en fonction de la température, la composition chimique de l'atmosphère générée *in situ…* » est correcte.

1.3.e. La réaction (1) étant à favoriser, on choisit de travailler à **900°C (1173 K).** Justifier que 900°C est une température convenable pour favoriser la réaction (1) par rapport aux réactions (2) et (3).

1.4. Préciser sous quelle forme (austénitique ou ferritique) se trouve l'acier à 900°C. Donner deux arguments justifiant qu'il s'agit de la forme requise pour la cémentation.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

1.5. Risques liés à l'utilisation du dihydrogène

1.5.a. Quels sont les deux grands risques liés à l'utilisation du dihydrogène dans un atelier ? **(annexe 2 page 9/12)**

1.5.b. Donner les limites d'inflammabilité du dihydrogène dans l'air à température ambiante. **(annexe 3 page 10/12)**

1.5.c. Justifier la phrase de l'article : « *Il ne faut introduire les liquides organiques dans un four qu'aux températures supérieures à 750°C*. » en vous aidant de l'**annexe 3 page 10/12**.

En réalité, on injecte un gaz neutre dans ce type d'atmosphère : le diazote. Cela modifie donc les proportions de H_2 et CO dans l'atmosphère de cémentation.

1.5.d. L'article précise : « *La manipulation des liquides organiques inflammables doit faire l'objet de précautions particulières.* » En vous appuyant sur l'**annexe 4 page 11/12**, préciser quelles sont les précautions particulières à mettre en œuvre.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Exercice 2 - Chauffage par induction - 8,5 points

On chauffe par induction une pièce cylindrique pleine en acier inoxydable de composition 18% de chrome et 8% de nickel.

On place la pièce à chauffer dans un inducteur en cuivre en forme de bobine. Dans cet inducteur creux, circule de l'eau en son centre afin de limiter sa surchauffe.

2.1. Expliquer, en quelques lignes, le principe de ce chauffage. Appuyer votre explication sur un schéma faisant apparaître notamment l'inducteur, l'induit et les courants de Foucault.
Quel type de courant doit être appliqué dans l'inducteur ?

2.2. Rôle du circuit d'eau dans l'inducteur.

La résistivité électrique (en SI) est donnée par la relation :

$$\rho = \frac{R \cdot s}{\ell}$$

Avec :
R : résistance (en Ω)
ℓ : longueur de conducteur (en m)
s : section du conducteur (en m^2)

2.2.a. Donner l'unité de la résistivité dans le système international.

L'inducteur est un enroulement d'un fil de cuivre de diamètre 4 mm. L'intensité efficace dans la bobine inductrice est de $1{,}0\times10^3$ A.

2.2.b. Après avoir calculé la valeur de la résistance électrique de la bobine inductrice pour un fil de longueur égale à 1 mètre, montrer que l'énergie perdue par effet joule par minute pour ce fil est proche de E_{joule} = 77 kJ.

2.2.c. En déduire le débit massique d'eau (masse d'eau par seconde) qui doit circuler pour absorber cette énergie. L'eau est supposée s'échauffer de 5°C.

2.3. A l'aide de l'**annexe 5 page 12/12**, calculer la profondeur *p* de pénétration pour un acier en début de chauffage (température de surface 20°C) lorsque la fréquence vaut 2 kHz.

2.4. Préciser la valeur de la fréquence à appliquer pour diviser par 2 cette profondeur.

Base Nationale des Sujets d'Examen de l'enseignement professionnel

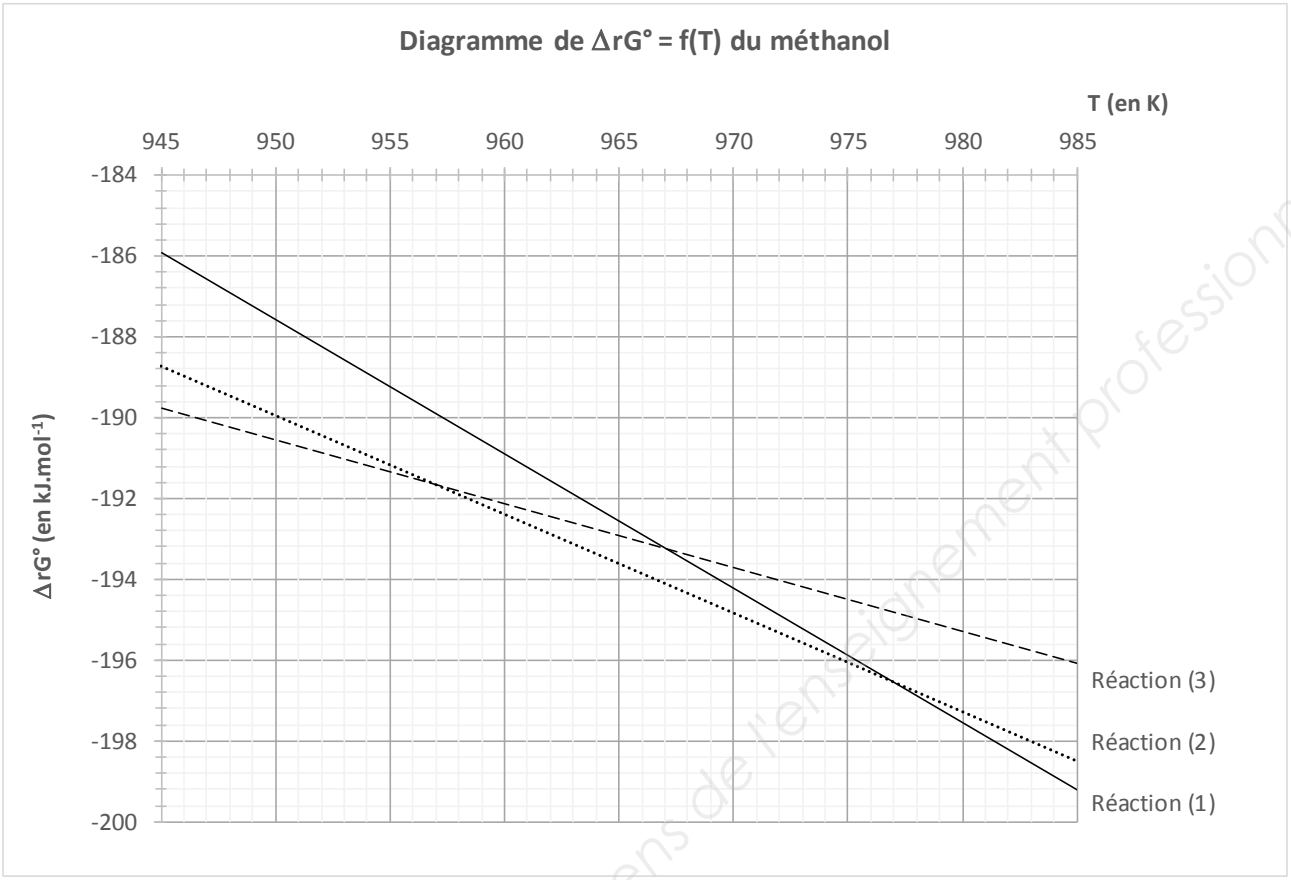
2.5. Après une durée de chauffage, la température de surface atteint 800°C. Calculer la profondeur *p'* de pénétration si la fréquence est maintenue à 2 kHz. Comparer *p* et *p'*. Conclure.

2.6. Par quel mode de transfert thermique la température du cœur de la pièce augmente-elle progressivement ?

2.7. Citer deux avantages du chauffage par induction par rapport à un chauffage dans un four.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Annexe 1 : Diagramme de Ellingham - Richardson du méthanol.



Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Annexe 2 : Risques - Extrait des Techniques de l'Ingénieur « Atmosphère de traitement thermique » M1220

Les principaux risques associés à la mise en œuvre des gaz d'atmosphère en traitement thermique correspondent à la classification suivante :

- **le risque d'anoxie**, ou diminution voire suppression de l'oxygène nécessaire à la vie de notre organisme, est associé à l'utilisation des gaz qui n'entretiennent pas la vie mais sont non toxiques (tableau 2),
- **le risque d'empoisonnement** est associé à l'utilisation des gaz toxiques (tableau 2),
- **les risques d'inflammation et d'explosion** sont associés à l'utilisation des gaz combustibles (tableau 1) ou gaz d'atmosphère inflammables.

Tableau 1 : Classification des gaz industriels dans le domaine de la combustion		
Comburant	**Combustible**	**Neutre ou inerte**
Dioxygène O_2	Ammoniac NH_3	Argon Ar
Protoxyde d'azote N_2O	Butane C_4H_{10}	Diazote N_2
	Dihydrogène H_2	Dioxyde de carbone CO_2
	Méthane CH_4	Hélium He
	Méthanol CH_3OH	Vapeur d'eau H_2O
	Monoxyde de carbone CO	
	Propane C_3H_8	

Tableau 2 : Classification des gaz industriels dans le domaine de la physiologie		
Indispensable à la vie	**N'entretient pas la vie mais non toxique**	**Toxique**
Dioxygène O_2	Argon Ar	Ammoniac NH_3
	Diazote N_2	Méthanol CH_3OH
	Dihydrogène H_2	Monoxyde de carbone CO
	Hélium He	
	Vapeur d'eau H_2O	

Base Nationale des Sujets d'Examen de l'enseignement professionnel

Annexe 3 : Propriétés du dihydrogène –

Extrait des Techniques de l'Ingénieur « Atmosphère de traitement thermique » M1220

Définitions :

- *Limites d'inflammabilité d'un gaz :* ce sont les concentrations minimale et maximale, en volume (%), dans le mélange au-delà desquelles il peut être enflammé (ou explosif).
- *Température d'auto-inflammation :* c'est la température minimale à laquelle un mélange combustible-comburant, en proportion convenable, s'enflamme spontanément.

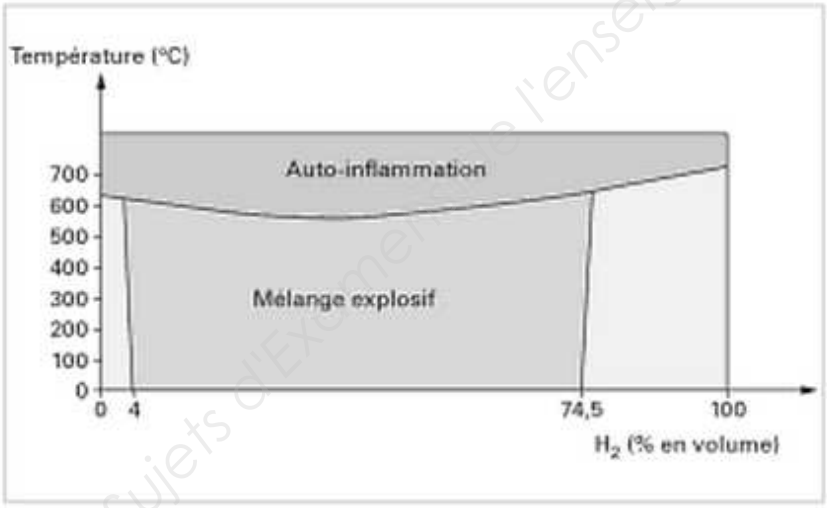


Figure : limite d'inflammabilité du dihydrogène dans l'air

« L'utilisation de gaz d'atmosphère inflammables nécessite des précautions spécifiques pour éviter à tout prix les risques d'explosion. Celles-ci consistent, en particulier, à garantir que l'atmosphère utilisée **ne peut se trouver** mélangée à l'air dans des proportions situées dans la plage d'inflammabilité au mieux, puis dans la plage d'explosivité au pire. »

Base Nationale des Sujets d'Examen de l'enseignement professionnel

Annexe 4 : Extrait du Cahier de notes documentaires – hygiène et sécurité du travail – N°183, 2e trimestre 2001

Risques d'incendie et d'explosion	Mesures de prévention spécifiques au cas des atmosphères inflammables	
	Cas des fours fonctionnant à moins de 750°C	*Cas des fours fonctionnant à plus de 750°C*
Les atmosphères de four sont souvent inflammables en raison de l'utilisation d'hydrogène, de monoxyde de carbone, d'ammoniac ou d'hydrocarbures comme le méthane ou le propane. Les risques associés vont dépendre de la composition de l'atmosphère et de la température de fonctionnement du four. La composition volumique détermine le caractère inflammable du mélange (norme EN 746-3 [18]). En général, est considéré comme inflammable tout mélange de gaz composé de plus de 5 % en volume d'éléments combustibles (hydrogène, monoxyde de carbone, méthane) pour lequel le méthane n'excède pas 1 %, le reste du mélange n'étant pas inflammable. Au-dessus de la température d'auto- inflammation, en pratique 750°C, un mélange brûle spontanément au contact de l'air (norme EN 746-3 [18]). Par conséquent, en cas d'entrée d'air dans le four, si la température est égale ou supérieure à 750°C, la combustion de celui-ci se fera au fur et à mesure ; il n'y aura alors pas de risque d'explosion. A une température inférieure, un mélange explosif peut se former en quantité importante ; la moindre source d'inflammation entraînera alors une explosion.	Lors du démarrage de l'installation, il faut : • soit purger l'enceinte avec un gaz inerte ou un mélange appauvri contrôlé de manière à le rendre ininflammable avant l'introduction du mélange, en abaissant la teneur en oxygène à moins de 1 % (l'introduction du mélange doit être asservie à un contrôle de la teneur en oxygène à moins de 1 % en sécurité positive) ; • soit faire brûler par un moyen d'ignition autocontrôlé le mélange dès son introduction dans le four, de manière à consommer tout l'oxygène de l'enceinte, cette méthode n'étant admise que si le four n'est pas équipé de circulateurs d'atmosphère ou si ceux-ci ne sont pas en fonctionnement ; soit créer un niveau de vide suffisant : le niveau de pression absolue ne doit pas dépasser 4 500 Pa	Un four fonctionnant avec un mélange inflammable au-dessus de 750 °C devra être équipé d'un asservissement n'autorisant l'introduction du mélange que si cette température est atteinte. Au cas où le seuil de 750°C serait franchi à la baisse, l'alimentation en mélange doit être interrompue et le four doit être purgé avec un volume de gaz inerte au moins égal à 5 fois celui de l'enceinte.

Banque nationale de sujets d'épreuves de BTS en formation

Annexe 5 : Propriétés magnétiques des métaux

Document 1 :

Le chauffage par induction est un chauffage superficiel, où l'augmentation brusque de la température se fait dans une couche de profondeur p qui dépend de plusieurs paramètres par la relation :

$$p = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \mu_r \mu_0 f}}$$ où

p	Profondeur de pénétration	en m
ρ	Résistivité électrique	en SI
μ_r	Perméabilité relative du matériau	sans unité
μ_0	Perméabilité du vide	$4\ \pi \times 10^{-7}$ H/m
f	Fréquence du courant	en Hz

Document 2 :

On peut classer les matériaux en deux catégories :

- les **ferromagnétiques** (comme les aciers) qui possèdent des propriétés fortes face au champ magnétique. Ils sont donc caractérisés par une perméabilité relative bien supérieure à 1.

- les non magnétiques dits **paramagnétiques et diamagnétiques** (comme le cuivre), qui eux réagissent faiblement en présence de champ magnétique. Ils sont caractérisés par une perméabilité relative égale à 1.

En revanche, lorsque la température d'un matériau ferromagnétique augmente, et dépasse la température de Curie, il devient brusquement paramagnétique et sa perméabilité relative chute à 1.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

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.