**BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR**

**TRAITEMENTS DES MATÉRIAUX**

# **SCIENCES Physiques APPLIQUÉES**

# **Sous-épreuve commune aux deux options**

# **- U4.1 -**

SESSION 2025

Durée : 2 heures

Coefficient : 2

**Matériel autorisé :**

- L’usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

- L’usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège », est autorisé.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu’il est complet.

Le sujet comporte 8 pages, numérotées de 1/8 à 8/8.

**Document à rendre avec la copie :**

Annexe……………………………………………………………………………….page 8 / 8

## Le contexte

*« Léger, fort et flexible, l’aluminium peut faire voler les individus. Il représente environ 80 % de la masse à vide d’un appareil »*1.

[1] The International Aluminium Institute. (2016). Aéronautique.

<http://transport.world-aluminium.org/fr/modes/avions/>

La densité de l’aluminium est trois fois inférieure à celle de l’acier et sa résistance mécanique peut être renforcée par l’addition d’autres éléments (cuivre, manganèse, silicium, magnésium, zinc) pour donner ce qu’on appelle alors des alliages d’aluminium. Par conséquent l’aluminium et ses alliages répondent parfaitement aux exigences des industries du transport (aéronautique, automobile...) pour diminuer la consommation d’essence et accroître la durabilité.

Une image contenant métal, platine, titane, levier

Description générée automatiquement

Exemple de pièce en aluminium de l’entreprise BLASER

https://www.equip-prod.com/wp-content/uploads/2021/11/Blaser-photo-2.jpg

Ce sujet traite de l’alliage aluminium - silicium et de sa filière de traitement, notamment l’étape de dégraissage et d’anodisation.

## Données

* Masse volumique de l’eau à 25 °C : *ρ*eau = 1 000 g·L–1
* Pression atmosphérique considérée : *p*atm = 1,0 × 105 Pa = 1,0 bar
* Constante des gaz parfaits : *R* = 8,31 J·mol–1·K–1
* Masses molaires atomiques :

- Carbone : *M*(C) = 12,0 gmol–1

- Oxygène : *M*(O) = 16,0 gmol–1

- Aluminium : *M*(Al) = 27,0 gmol–1

- Silicium : *M*(Si) = 28,1 gmol–1

**Exercice 1 - L’alliage Aluminium – Silicium - 7,5 points**

On étudie l’alliage Aluminium – Silicium (Al-Si) dont le diagramme isobare d’équilibre liquide-solide est donné en **Annexe 1 page 8 à rendre avec la copie**.

**Partie A : Étude de l’élément silicium**

Le noyau de silicium possède 14 protons et 14 neutrons.

1. Écrire la représentation symbolique de l’élément silicium sous la forme .

La configuration électronique du silicium est : 1s2 2s2 2p6 3s2 3p2.

1. En déduire sa position (ligne et colonne) dans la classification périodique. Justifier.

**Partie B : Diagramme binaire (Al-Si) (****Annexe 1 page 8 à rendre avec la copie).**

1. Donner le nom de la courbe A figurant sur ce diagramme.
2. Préciser la nature des phases présentes dans les domaines I à III de ce même diagramme.

Un mélange particulier possède un pourcentage en masse en silicium *ω*(Si) égal à 12,6 %.

1. Nommer ce mélange et indiquer sa particularité quant à sa fusion.
2. Déterminer graphiquement la valeur du pourcentage en quantité de matière (ou pourcentage molaire) *x*(Si) en silicium de ce mélange.
3. Retrouver cette valeur par le calcul.

**Partie C : Étude d’un mélange à 5 % en masse**

On étudie un alliage Aluminium - Silicium de pourcentage en masse de silicium *ω*(Si) = 5 % utilisé en industrie pour sa bonne coulabilité.

Une masse de 200 g de ce mélange est portée à une température *q*exp telle qu’il est composé de deux phases. On peut lire sur le diagramme isobare d’équilibre donné précédemment :

* pour la phase 1 : *ω1*(Si) = 1 %,
* pour la phase 2 : *ω2*(Si) = 9 %.

1. Exploiter le diagramme isobare d’équilibre pour déterminer la valeur de la température *q*exp et la nature des phases 1 et 2. Faire apparaitre les tracés sur l’**Annexe 1 page 8 à rendre avec la copie.**
2. Calculer la valeur de la masse de chaque phase à la température *q*exp.
3. Représenter, sans soucis d’échelle, la courbe de refroidissement de 900 °C à 300 °C de ce mélange. Préciser sur cette courbe, la température de début de solidification et de fin de solidification ainsi que la nature des phases.

**Exercice 2 – Dégraissage par pellets de dioxyde de carbone - 6 points**

La gamme de traitement des alliages d’aluminium commence par l’opération de dégraissage afin de rendre la surface de l’alliage physiquement propre et ainsi garantir le bon déroulement des opérations suivantes en évitant toute attaque du matériau métallique.

Ces dégraissages sont généralement en solution aqueuse mais une alternative plus écologique consiste à mettre en œuvre un dégraissage par fluide cryogénique dans lequel le dioxyde de carbone (CO2) est sous forme de pellets (voir figure 1) qui, pris dans un courant gazeux, sont propulsés à haute vitesse vers la pièce métallique à nettoyer (voir figure 2). En se sublimant, les pellets de dioxyde de carbone arrachent les graisses, huiles, polluants solides et poussières présents à la surface.

Extrait du livre « *Traitements et revêtements de surfaces des métaux* », Robert Lévêque, Dunod

|  |  |
| --- | --- |
| Figure 1 : Pellets de dioxyde de carbone  (https://polarice.co.uk) | Figure 2 : Simulation du procédé de dégraissage par fluide cryogénique (https://www.cryonomic.com) |

La production de pellets peut s’expliquer à l’aide du diagramme (*p*,*T*) du dioxyde de carbone CO2 situé en **Annexe 2 page 8 à rendre avec la copie**.

**Partie A : Étude du diagramme (*p*,*T*) du CO2**

1. Indiquer l’état de la matière dans les zones 1, 2 et 3 repérées sur le diagramme (*p*,*T*) du CO2 donné en **Annexe 2 page 8 à rendre avec la copie.**
2. Sur le diagramme (*p*,*T*) du CO2 donné en **Annexe 2 page 8 à rendre avec la copie**, positionner le point triple et le point critique.   
   Préciser la particularité de chacun de ces points.

Les pellets de dioxyde de carbone se subliment au moment de l’impact avec les contaminants.

1. Indiquer à quel changement d’états physiques correspond la sublimation.   
   Surligner la courbe de sublimation sur le diagramme (*p*,*T*) du CO2 donné en **Annexe 2 page 8 à rendre avec la copie**.

**Partie B : Production des pellets**

Le dioxyde de carbone utilisé pour fabriquer les pellets est stocké dans des bouteilles à   
*p* = 60 bar et *T* = 20 °C.

1. Marquer ce point sur le diagramme (*p*,*T*) du CO2 donné en **Annexe 2 page 8 à rendre avec la copie** et indiquer dans quel état physique est le dioxyde de carbone dans la bouteille.

Lorsque la bouteille est ouverte, le dioxyde de carbone subit une détente jusqu’à pression atmosphérique. Cette détente s’effectuant rapidement elle s’accompagne d’une très forte diminution de température.

La loi de Joule-Thomson indique que la température finale (*T*f en K) se calcule à partir de la température initiale (*T*i en K) et des pressions initiale *p*i et finale *p*f par la relation :

avec *γ* = 1,29

1. Calculer la valeur de la température finale *Tf* du dioxyde de carbone à la sortie de la bouteille.

En réalité, compte-tenu des diverses pertes, la température finale vaut 195 K.

1. En utilisant le diagramme (*p*,*T*) du CO2 donné en **Annexe 2 page 8 à rendre avec la copie**, préciser le ou les état(s) physique(s) du dioxyde de carbone à la sortie de la bouteille.

**Partie C : Le stockage du dioxyde de carbone**

Sur le site de l’entreprise PanGas, la notice de sécurité indique qu’une bouteille de stockage de dioxyde de carbone permet d’obtenir environ 550 litres de CO2 gazeux en se détendant lentement à pression atmosphérique et température ambiante (20 °C).

1. Rappeler la loi des gaz parfaits et retrouver que 1 Pa = 1 J·m–3.
2. Calculer la valeur de la masse *m*CO2 de neige carbonique (CO2 solide) que l’on peut former à partir d’une bouteille de stockage de dioxyde de carbone.  
   On supposera que tout le gaz se transforme en neige carbonique. *Tout raisonnement, même non abouti, sera valorisé.*

**Exercice 3 - Anodisation de l’alliage d’aluminium – 6,5 points**

Le procédé d’anodisation s’appuie sur des réactions d’électrolyse dans l’eau rendue conductrice par l’ajout d’un acide tel que l’acide sulfurique. C’est le traitement de surface le plus employé sur les alliages d’aluminium. Il permet de faire croître une couche d’oxyde, nommée alumine, sur l’alliage et ainsi de le protéger de la corrosion.

**Partie A : Montage du bain d’anodisation**

Un bain d’anodisation sulfurique de 50 L est préparé. Sa concentration en masse en acide sulfurique doit être de 200 g⋅L–1.

* Extrait de la fiche technique de l’acide sulfurique à 97 % commercial :

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Formule** | **Masse molaire** | **Densité** | **Pourcentage massique** |
| H2SO4 | 98,1 g·mol–1 | 1,83 | 97 % |

* Extrait de la fiche de données sécurité :

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Mention d'avertissement :** Danger   |  |  | | --- | --- | | **Pictogrammes**  GHS05 |  | | **Mentions de danger** H290 Peut être corrosif pour les métaux  H314 Provoque de graves brûlures de la peau et de graves lésions des yeux |

1. Au vu de la fiche de données de sécurité de l’acide sulfurique, préciser les précautions à prendre lors de sa manipulation.
2. Calculer la valeur du volume *V* d’acide sulfurique commercial à prélever pour préparer ce bain d’anodisation.

**Partie B : Dosage de la teneur en acide sulfurique du bain**

Avant utilisation, la conformité du bain est vérifiée par un dosage pH-métrique selon le protocole ci-dessous :

* Diluer le bain d’un facteur de dilution égal à 50.
* Prélever *Vbain* = 10,0 mL de bain dilué à la pipette jaugée et les introduire dans un erlenmeyer de 250 mL.
* Ajouter 50 mL d’eau déminéralisée à l’aide d’une éprouvette graduée et quelques gouttes de solution de bleu de bromothymol (BBT).
* Titrer par une solution d’hydroxyde de sodium (Na+ (aq) ; HO– (aq)) à   
  *C*NaOH = 0,100 mol·L–1 jusqu’au virage du jaune au bleu.

On notera Veq(en mL) le volume d’hydroxyde de sodium versé.

En suivant ce protocole, la concentration en masse d’acide sulfurique du bain peut être calculée en appliquant la formule : *C*m,H2SO4 (g·L–1) = 24,5 × *V*eq (mL).

L’acide sulfurique se dissocie dans l’eau selon l’équation :

H2SO4(l) 2 H+(aq) + SO42–(aq)

1. Indiquer la relation entre la concentration en quantité de matière en acide sulfurique *C*H2SO4 et celle en ion oxonium [H+].
2. Écrire l’équation modélisant la transformation chimique ayant lieu lors de ce dosage. Préciser la nature de cette réaction. Justifier.

Le bleu de bromothymol (BBT) est un indicateur coloré dont la zone de virage s’étend de pH = 6,0 à pH = 7,6.

1. Justifier que le BBT est un indicateur coloré judicieusement choisi pour ce dosage.
2. Indiquer la relation à l’équivalence entre les quantités de matière de réactifs.

En déduire la concentration en quantité de matière en ions oxonium [H+]dilué dans le bain dilué en fonction de la concentration en quantité de matière en hydroxyde de sodium *C*NaOH, du volume équivalent *V*eq et du volume de bain titré *V*bain.

1. Retrouver alors l’expression de la concentration en masse en acide sulfurique dans le bain non dilué donnée dans le protocole : *C*m,H2SO4 (g·L–1) = 24,5 × *V*eq (mL).

**Partie C : Conformité du bain**

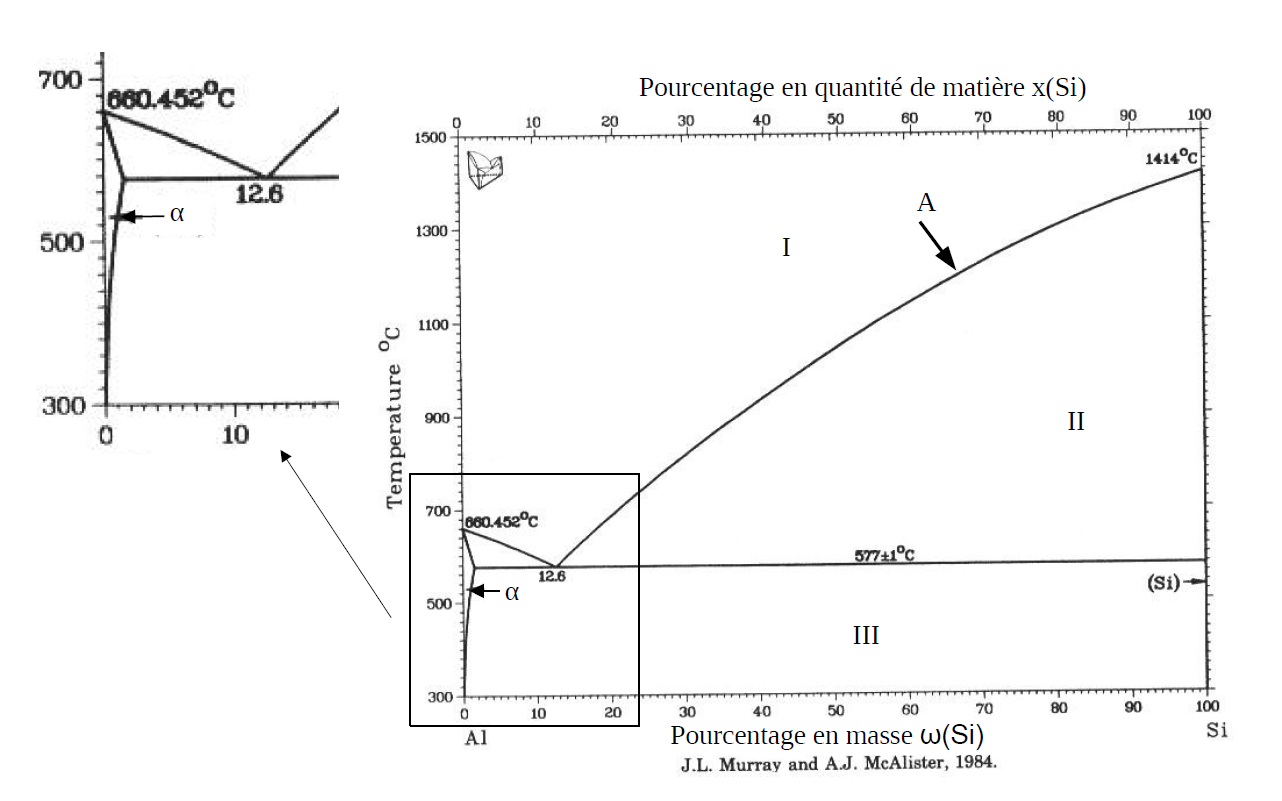
Le volume équivalent obtenu est de 8,2 mL et la précision (incertitude relative) d’un tel dosage est 5 %.

Selon le site  [Anodur\_OAS](https://www.anodur.fr/fichiers/procedes/Anodur_OAS.pdf) : « Le procédés d’anodisation sulfurique est généralement mis en œuvre dans un bain contenant 150 à 250 g/L d’acide sulfurique, à une température comprise entre 16 à 24 °C, sous une densité de courant de 1,2 à 1,8 A/dm2 ».

1. Donner un encadrement de la valeur de la concentration en masse en acide sulfurique *C*m,H2SO4 dans le bain.   
   Conclure sur la conformité du bain analysé.

**ANNEXES (à rendre avec la copie)**

**ANNEXE 1  
Diagramme d’équilibre isobare liquide-solide pour les alliages silicium – aluminium**



**ANNEXE 2  
Diagramme (*p*,*T*) du dioxyde de carbone CO2**



Température (°C)

Pression (bar)

Zone 3

Zone 2

Zone 1