

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.



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 : $\rho_{\text{eau}} = 1\,000 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$
- Pression atmosphérique considérée : $p_{\text{atm}} = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa} = 1,0 \text{ bar}$
- Constante des gaz parfaits : $R = 8,31 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- Masses molaires atomiques :
 - Carbone : $M(\text{C}) = 12,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
 - Oxygène : $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
 - Aluminium : $M(\text{Al}) = 27,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
 - Silicium : $M(\text{Si}) = 28,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

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 A_ZX .

La configuration électronique du silicium est : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$.

2. 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).

3. Donner le nom de la courbe A figurant sur ce diagramme.

4. 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 $\omega(\text{Si})$ égal à 12,6 %.

5. Nommer ce mélange et indiquer sa particularité quant à sa fusion.

6. Déterminer graphiquement la valeur du pourcentage en quantité de matière (ou pourcentage molaire) $x(\text{Si})$ en silicium de ce mélange.

7. 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 $\omega(\text{Si}) = 5 \%$ utilisé en industrie pour sa bonne coulabilité.

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

- pour la phase 1 : $\omega_1(\text{Si}) = 1 \%$,
- pour la phase 2 : $\omega_2(\text{Si}) = 9 \%$.

8. Exploiter le diagramme isobare d'équilibre pour déterminer la valeur de la température θ_{exp} et la nature des phases 1 et 2. Faire apparaître les tracés sur l'**Annexe 1 page 8 à rendre avec la copie**.

9. Calculer la valeur de la masse de chaque phase à la température θ_{exp} .

10. 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.

BTS TRAITEMENTS DES MATÉRIAUX Sciences Physiques Appliquées		Session 2025
Sous-épreuve commune aux deux options – U4.1	25TM41AB	Page 3 sur 8

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 (CO_2) 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>)

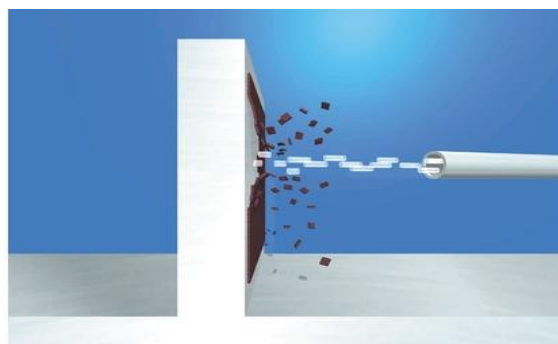


Figure 2 : Simulation du procédé de dégraissage par fluide cryogénique (<https://www.cryonomic.com>)

La production de pellets peut s'expliquer à l'aide du diagramme (p, T) du dioxyde de carbone CO_2 situé en **Annexe 2 page 8 à rendre avec la copie**.

Partie A : Étude du diagramme (p, T) du CO_2

1. Indiquer l'état de la matière dans les zones 1, 2 et 3 repérées sur le diagramme (p, T) du CO_2 donné en **Annexe 2 page 8 à rendre avec la copie**.
2. Sur le diagramme (p, T) du CO_2 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.

3. Indiquer à quel changement d'états physiques correspond la sublimation.
Surligner la courbe de sublimation sur le diagramme (p, T) du CO_2 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.

4. Marquer ce point sur le diagramme (p, T) du CO_2 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 :

$$T_f = T_i \times \left(\frac{p_i}{p_f}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \quad \text{avec } \gamma = 1,29$$

5. Calculer la valeur de la température finale T_f du dioxyde de carbone à la sortie de la bouteille.

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

6. En utilisant le diagramme (p, T) du CO_2 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 CO_2 gazeux en se détendant lentement à pression atmosphérique et température ambiante (20 °C).

7. Rappeler la loi des gaz parfaits et retrouver que $1 \text{ Pa} = 1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-3}$.
8. Calculer la valeur de la masse m_{CO_2} de neige carbonique (CO_2 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 $200 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$.

- Extrait de la fiche technique de l'acide sulfurique à 97 % commercial :

Formule	Masse molaire	Densité	Pourcentage massique
H_2SO_4	$98,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$	1,83	97 %

- Extrait de la fiche de données sécurité :

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

- Au vu de la fiche de données de sécurité de l'acide sulfurique, préciser les précautions à prendre lors de sa manipulation.
- 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

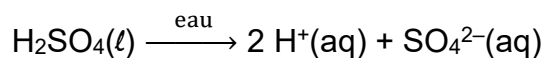
Avant utilisation, la conformité du bain est vérifiée par un dosage pH-métrique selon le protocole ci-dessous :

- Diluer le bain d'un facteur de dilution égal à 50.
- Prélever $V_{\text{bain}} = 10,0 \text{ mL}$ 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 ($\text{Na}^+ (\text{aq})$; $\text{HO}^- (\text{aq})$) à $C_{\text{NaOH}} = 0,100 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ jusqu'au virage du jaune au bleu.

On notera V_{eq} (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 : $C_{m,H_2SO_4} (g \cdot L^{-1}) = 24,5 \times V_{eq} (mL)$.

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



3. Indiquer la relation entre la concentration en quantité de matière en acide sulfurique $C_{H_2SO_4}$ et celle en ion oxonium $[H^+]$.
4. 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 $pH = 7,6$.

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

En déduire la concentration en quantité de matière en ions oxonium $[H^+]_{\text{dilué}}$ 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} .

7. Retrouver alors l'expression de la concentration en masse en acide sulfurique dans le bain non dilué donnée dans le protocole : $C_{m,H_2SO_4} (g \cdot L^{-1}) = 24,5 \times V_{eq} (mL)$.

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 %.

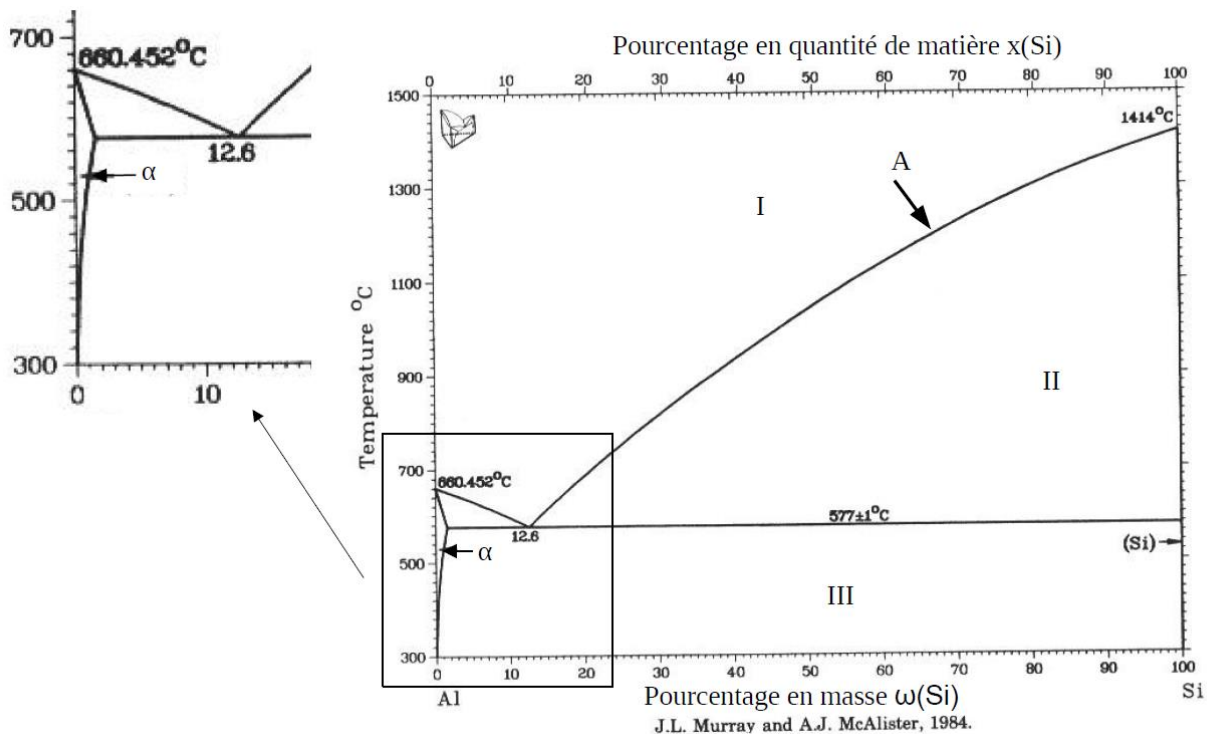
Selon le site Anodur OAS : « Le procédé d'anodisation sulfurique est généralement mis en œuvre dans un bain contenant 150 à 250 g/L d'acide sulfurique, à une température comprise entre 16 à 24 °C, sous une densité de courant de 1,2 à 1,8 A/dm² ».

8. Donner un encadrement de la valeur de la concentration en masse en acide sulfurique C_{m,H_2SO_4} dans le bain.
Conclure sur la conformité du bain analysé.

ANNEXES (à rendre avec la copie)

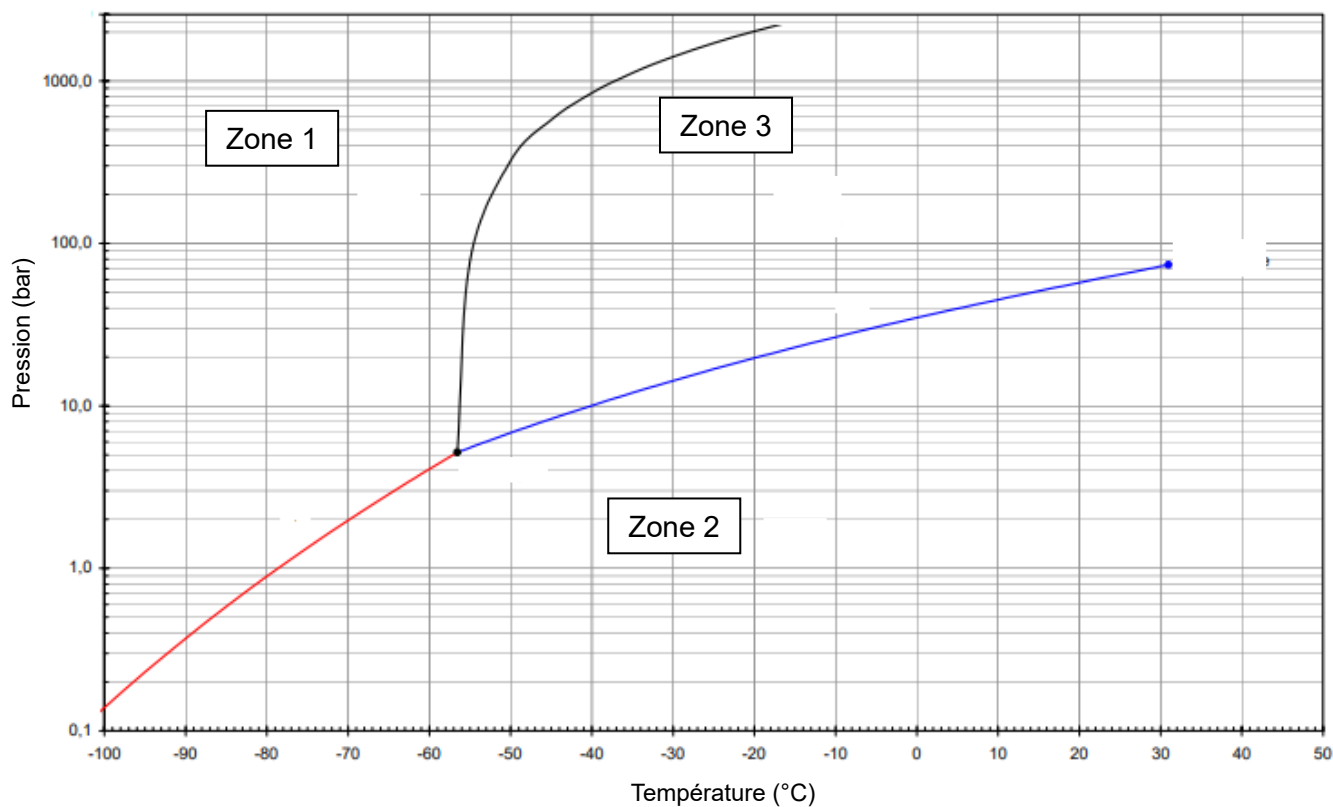
ANNEXE 1

Diagramme d'équilibre isobare liquide-solide pour les alliages silicium – aluminium



ANNEXE 2

Diagramme (p, T) du dioxyde de carbone CO_2



(en majuscules)

[illegible]

RENOM:
(en majuscules)

[illegible][illegible]

--	--	--

[illegible]