

Concours blanc

Mardi 9 juin

PTSI La Martinière Monplaisir

Durée : 4 heures

⇒ Les calculatrices sont interdites ⇐

Veiller à la clarté de la rédaction et à l'homogénéité des équations. Présenter les résultats sous forme littérale avant de faire les applications numériques. Mettre en évidence (encadrer, souligner...) les résultats. La qualité de la rédaction sera prise en compte dans la notation.

Le barème est donné à titre indicatif et pourra être légèrement ajusté au moment de la correction. Les différentes parties sont indépendantes et peuvent être abordées dans l'ordre de votre choix.

I Chimie : Analyse chimique d'un alliage (environ 20% des points)

Données à 298 K.

	O	Al	Cu
Numéro atomique	8	13	29
Masse molaire (g mol^{-1})	16,0	27,0	63,5

Densité de l'alumine Al_2O_3 : $d = 4$.

Constantes

Constante d'Avogadro	$\mathcal{N}_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Constante de Faraday	$F = 96.5 \times 10^3 \text{ C mol}^{-1}$
Constante des gaz parfaits	$R = 8.31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

$$\frac{RT}{F} \ln 10 = 0.06 \text{ V à } T = 298 \text{ K}$$

Potentiels standard d'oxydoréduction

Couple	Al^{3+}/Al	$\text{H}^+/\text{H}_2(\text{g})$	Fe^{2+}/Fe	Cu^{2+}/Cu	$\text{S}_4\text{O}_6^{2-}/\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	I_2/I^-	$\text{NO}_3^-/\text{NO}(\text{g})$	$\text{O}_2(\text{g})/\text{H}_2\text{O}$
E° (volt)	-1,66	0,00	-0,44	0,34	0,080	0,62	0,96	1,23

Produit de solubilité de l'hydroxyde d'aluminium(III) $\text{Al}(\text{OH})_3$



L'aluminium tient une place de choix dans la fabrication des pièces métalliques des avions en particulier sous forme d'alliage. Dans les avions récents comme l'A380, les alliages d'aluminium représentent 75% de la masse de l'avion vide. La sensibilité de ces alliages à la corrosion justifie le nombre élevé d'études récentes dans les laboratoires de recherche, publics et privés.

Ce problème s'intéresse à l'alliage « 2024 » aluminium-cuivre utilisé dans la fabrication des avions.

La composition chimique de l'alliage aluminium-cuivre peut être déterminée par titrage selon le protocole suivant.

Première phase : Séparation du cuivre et de l'aluminium Après avoir réduit l'alliage à l'état de poudre, une masse $m = 1.0\text{ g}$ est introduite dans un ballon de 250 mL. 100 mL d'une solution d'hydroxyde de sodium (Na^+, HO^-) à environ 8 molL^{-1} sont versés sur l'alliage. Quand le dégagement gazeux de dihydrogène tend à diminuer, le contenu du ballon est porté à ébullition pendant 15 minutes. Après refroidissement, le contenu du ballon est filtré. Les particules solides restées sur le filtre sont rincées, puis placées dans un bécher de 200 mL.

1. Pourquoi utilise-t-on l'alliage sous forme de poudre ?

Les diagrammes potentiel-pH des éléments aluminium et cuivre ont été tracés pour une concentration en espèces dissoutes égale à $1.0 \times 10^{-2}\text{ molL}^{-1}$ sur chaque frontière (figures I.1 et I.2). Les frontières associées aux couples de l'eau ont été ajoutées en traits plus fins.

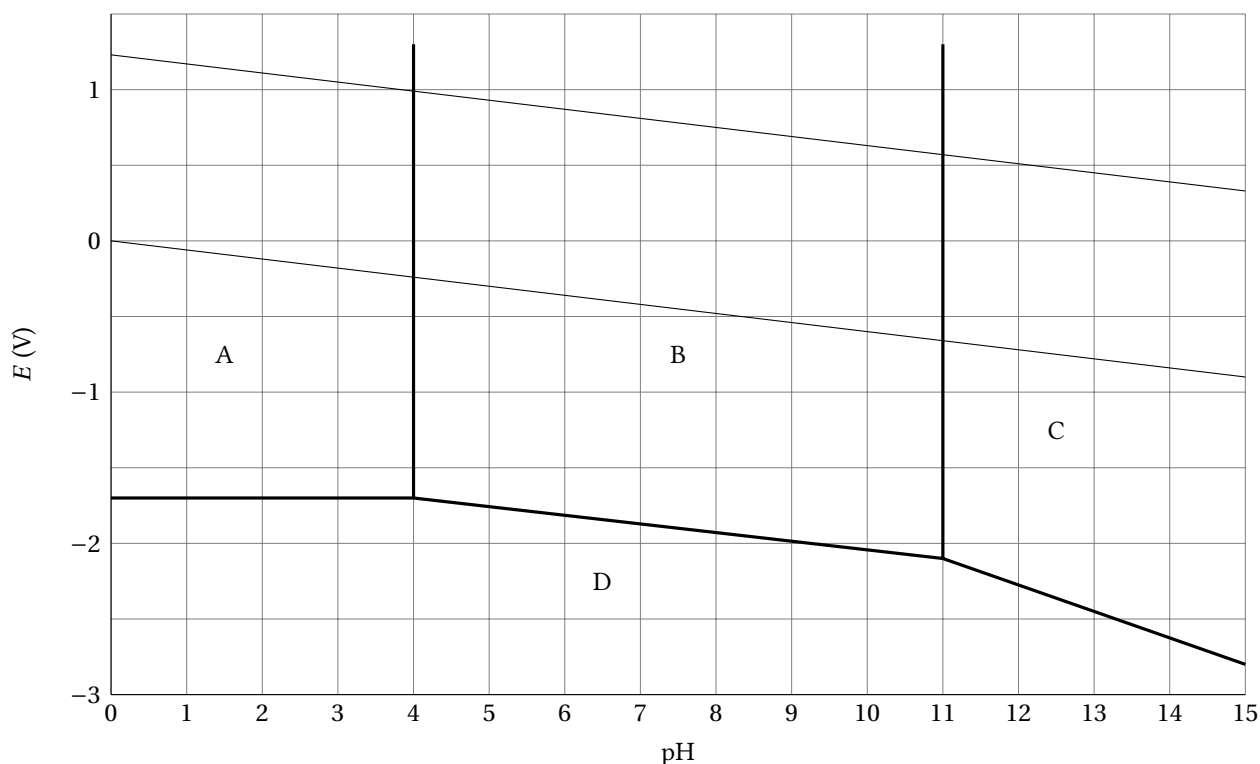


FIGURE I.1 – Diagrammes potentiel-pH superposés de l'aluminium et de l'eau.

2. Attribuer un domaine à chacune des espèces suivantes : $\text{Al}_{(\text{s})}$, $\text{AlO}_2^-_{(\text{aq})}$, $\text{Al}^{3+}_{(\text{aq})}$ et $\text{Al}(\text{OH})_{3(\text{s})}$. On calculera le nombre d'oxydation de l'aluminium dans chaque espèce, puis on classera les espèces de même nombre d'oxydation en fonction du pH.

3. Retrouver le pH d'apparition du solide $\text{Al}(\text{OH})_{3(\text{s})}$ dans une solution contenant les ions $\text{Al}^{3+}_{(\text{aq})}$ à la concentration $C = 1.0 \times 10^{-2}\text{ molL}^{-1}$.

4. Déterminer la valeur théorique de la pente de la frontière séparant les domaines de stabilité des espèces $\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}$ et $\text{Cu}_2\text{O}_{(\text{s})}$.

5. Placer les couples de l'eau sur les deux diagrammes. Conclure sur la stabilité de ~~Fe~~ et Cu dans l'eau.

6. Au moyen des deux diagrammes potentiel-pH, justifier l'utilisation du traitement par la soude pour séparer les éléments aluminium et cuivre. Écrire l'équation de la (ou des) réaction(s) qui ont lieu au cours de cette phase.

7. Pourquoi est-il judicieux de travailler en milieu très basique plutôt que neutre ?

8. Quel peut être l'intérêt de porter le mélange à ébullition quand le dégagement gazeux faiblit ?

Deuxième phase : Dissolution du cuivre Le cuivre solide récupéré à l'issue de la première phase est totalement dissout au moyen de 10 mL d'une solution d'acide nitrique concentrée ($\text{H}^+_{(\text{aq})} + \text{NO}_3^-_{(\text{aq})}$). Un dégagement gazeux de monoxyde d'azote NO est observé.

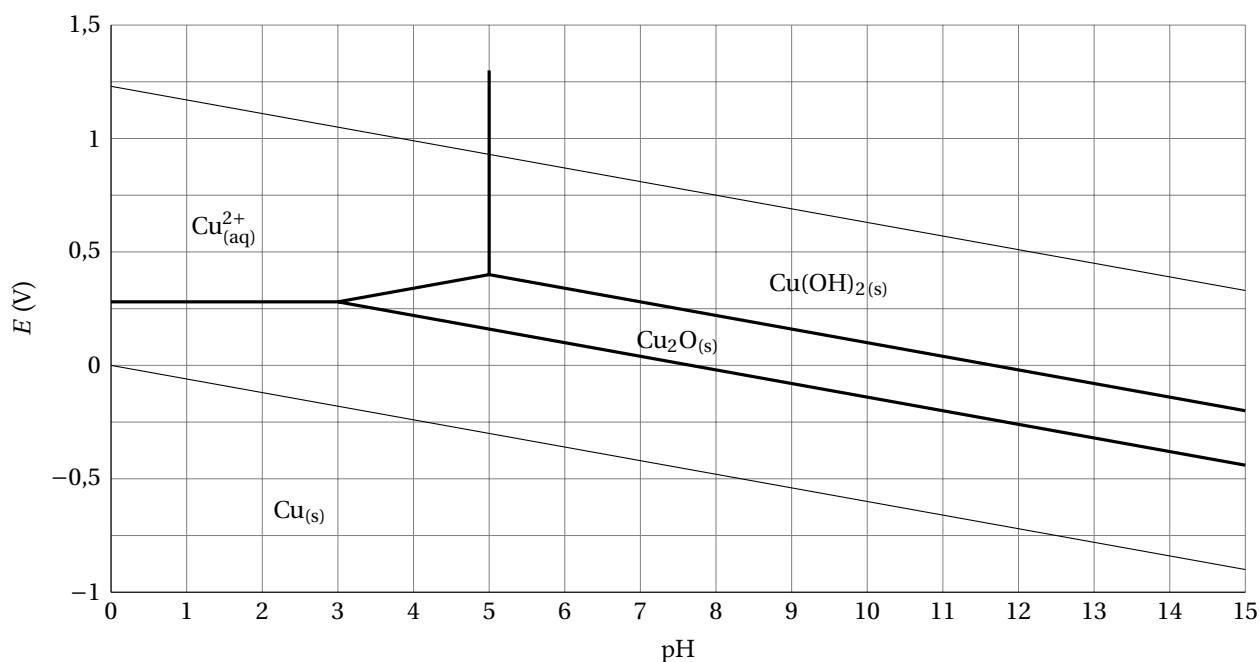
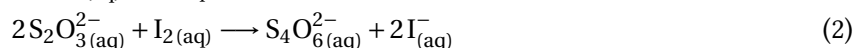
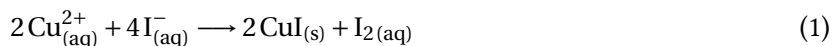


FIGURE I.2 – Diagrammes potentiel-pH superposés du cuivre et de l'eau.

9. Écrire l'équation de la réaction de dissolution du cuivre $\text{Cu}_{(s)}$ en présence d'acide nitrique.

Troisième phase : Dosage du cuivre dans l'alliage Après addition d'une quantité excédentaire d'iodure de potassium (K^+, I^-), la solution prend une coloration brune attribuable à la formation de diiode I_2 . Ce dernier est ensuite dosé par une solution aqueuse de thiosulfate de sodium ($2\text{Na}^+, \text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) à $C = 5.0 \times 10^{-2} \text{ molL}^{-1}$. L'équivalence est détectée pour un volume versé $V = 12.5 \text{ mL}$.

Les équations des réactions supposées totales qui ont lieu pendant cette phase sont :



10. Justifier, par un calcul de sa constante de réaction, le caractère total de la réaction (2).

11. A l'aide d'un bilan de matière sur les deux réactions précédentes, déterminer de façon littérale la quantité de matière du cuivre solide en fonction de V et C . En déduire le pourcentage massique de cuivre dans l'alliage dosé.

12. Serait-il utile de répéter une nouvelle fois ce dosage ? Si oui, pourquoi ?

II Photographie - Objectif et téléobjectif (environ 27% des points)

Dans ce sujet, on s'intéresse au fonctionnement d'un appareil photographique avec stabilisateur d'image.

Cette partie traite de la comparaison entre l'encombrement d'un téléobjectif composé de deux lentilles et d'un objectif composé d'une unique lentille permettant de former une même image d'un objet situé à une grande distance du photographe.

On modélise l'objectif d'un appareil photographique par une lentille L_1 que l'on associe à un capteur CCD de taille $15,8 \times 23,6 \text{ mm}^2$. La lentille L_1 est convergente de vergence $5,0\delta$. La distance entre la lentille L_1 et le capteur, notée Δ , est appelée encombrement de l'appareil. Cet appareil photographique est utilisé pour photographier un animal de hauteur 80 cm situé à 200 m .

1. Rappeler les conditions de Gauss. À quelle distance de la lentille d'entrée L_1 faut-il placer le capteur pour former une image nette ?

2. Réaliser un schéma représentant la situation. On fera apparaître la lentille L_1 , ses foyers objet et image, ainsi que le capteur CCD que l'on placera en accord avec la question précédente.

3. Quel est l'encombrement Δ de l'appareil photographique ?

4. Quelle est la taille de l'image obtenue sur le capteur ? Commenter.

On remplace l'objectif simple par un téléobjectif constitué de la même lentille d'entrée L_1 associée à une seconde lentille L_2 placée à une distance de $15,5\text{ cm}$ derrière la lentille d'entrée L_1 . Cette seconde lentille est divergente, de vergence -20δ . La distance entre la lentille L_1 et le capteur, notée Δ , est appelée encombrement du téléobjectif. On photographie le même animal de hauteur 80 cm toujours situé à 200 m .

5. À quelle distance de la lentille d'entrée L_1 faut-il placer le capteur pour former une image nette ? On donnera un résultat avec deux chiffres significatifs.

6. Réaliser un schéma représentant la situation. On fera apparaître les lentilles L_1 et L_2 , leurs foyers objet et image, ainsi que le capteur CCD que l'on placera en accord avec la question précédente.

7. Quel est alors l'encombrement Δ_T du téléobjectif ?

8. Quelle est la taille de l'image formée à l'aide du téléobjectif ?

9. Quelle serait la distance focale d'un téléobjectif mono-lentille constitué d'une seule lentille convergente et qui permettrait de former une image de la même taille que celle obtenue à l'aide du téléobjectif ? Quel serait l'encombrement d'un tel appareil photographique ?

III Thermodynamique - Prendre un café pour limiter les tremblements ? (environ 24% des points)

Une bouteille thermos peut être considérée comme un calorimètre, c'est-à-dire un système de faible capacité thermique et pouvant pratiquement isoler thermiquement son contenu du milieu extérieur. On donne la capacité thermique de l'eau $c_0 = 4\text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$.

1. Pourquoi qualifie-t-on une transformation ayant lieu dans un calorimètre de monobare ?

2. Montrer que pour un système subissant une telle transformation $\Delta H = Q$.

On place une masse $m = 600\text{ g}$ d'eau dans la bouteille, on attend l'équilibre thermique et on mesure $T_1 = 20^\circ\text{C}$. On ajoute ensuite une autre masse $m = 600\text{ g}$ d'eau à $T_2 = 80^\circ\text{C}$ dans la bouteille, on attend à nouveau l'équilibre thermique et on mesure $T_{eq} = 48^\circ\text{C}$.

Les manipulations sont réalisées suffisamment vite pour que les pertes thermiques soient négligeables.

3. Quelle aurait été la température $T_{eq,0}$ si la capacité thermique de la bouteille était nulle ?

4. Déterminer la valeur de la capacité thermique C_t de la bouteille thermos utilisée.

5. On peut lire sur la notice fournie par le constructeur du calorimètre que la masse équivalente en eau de la bouteille et de ses accessoires est $m_c = 42,8\text{ g}$. Commenter cette valeur numérique.

Si on attend plus longtemps on constate que la température $T(t)$ du contenu du calorimètre varie au cours du temps. On interprète cette variation par l'existence de pertes thermiques à travers la surface de la bouteille. Ces pertes sont modélisées par une puissance thermique perdue par la bouteille $\mathcal{P}_{t,p} = -kS(T(t) - T_{ext})$, où k est une constante positive et où S désigne l'aire de la surface extérieure de la bouteille, au contact de la pièce de température $T_{ext} = 20^\circ\text{C}$.

On considérera pour simplifier que le système constitué par la bouteille et tout ce qu'elle contient est homogène, à la température $T(t)$, et on note C sa capacité thermique supposée constante.

6. Commenter le signe de $\mathcal{P}_{t,p}$ quand $T(t) > T_{ext}$.

Un bilan thermodynamique permet d'établir $CdT = \mathcal{P}_{t,p}dt$.

7. Faire apparaître un temps caractéristique τ , qu'on exprimera en fonction de k , C et S .

8. Résoudre l'équation différentielle précédente sachant qu'à l'instant initial $T(t=0) = T_0 = 60^\circ\text{C}$.

9. On a mesuré une baisse de température $\Delta T = -1^\circ\text{C}$ en $\Delta t = 10\text{ min}$. Déterminer l'expression de τ en fonction des données et poser l'application numérique à effectuer.

IV Étude d'un transformateur (environ 29% des points)

On considère un transformateur, représenté par deux bobinages assimilés à des solénoïdes infinis, comportant respectivement N_1 et N_2 spires. Les bobinages ont tous les deux la même section S , et sont de longueurs respectives ℓ_1 et ℓ_2 . On note M la mutuelle inductance.

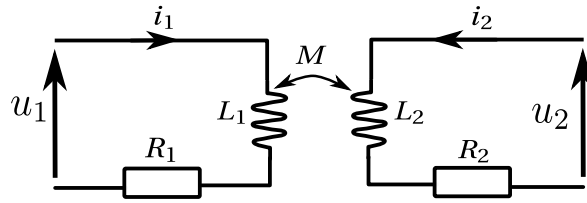


FIGURE IV.1 – Circuits couplés par mutuelle inductance représentant le transformateur.

IV.1 Caractérisation du bobinage

1. Rappeler l'expression du champ magnétique créé par le bobinage 1, assimilé à un solénoïde infini. On notera $\vec{e}_z$ le vecteur unitaire de l'axe du solénoïde.
2. Calculer le coefficient d'autoinductance L_1 du solénoïde 1.
3. Calculer le coefficient de mutuelle inductance M en considérant les solénoïdes 1 et 2 coaxiaux.

IV.2 Étude du transformateur à vide

4. Rappeler la loi de Faraday.
5. Écrire deux équations différentielles liant u_1 , u_2 , i_1 et i_2 .
6. La tension u_1 est créée par un générateur de tension sinusoïdale. Que deviennent les équations précédentes en notation complexe? On notera $\underline{I}_1$, $\underline{I}_2$, $\underline{U}_1$ et $\underline{U}_2$ les amplitudes complexes de i_1 , i_2 , u_1 et u_2 .

On note

$$G = 20 \log \left(\frac{U_2}{U_1} \right).$$

Le gain G est représenté ci-dessous, fig. IV.2. On donne $R_1 = 1\Omega$.

7. La tension u_2 est mesurée à l'aide d'un oscilloscope. Expliquer alors pourquoi on peut considérer que le circuit 2 est ouvert. Déterminer alors L_1 et M à partir de la fig. IV.2. On pourra utiliser le gain à haute fréquence ainsi que la fréquence de coupure.

IV.3 Étude du transformateur en charge

On place à la sortie du secondaire du transformateur un appareil équivalent à une résistance R_L . Le primaire est alimenté par une tension $u_1 = U_1 \cos(\omega t)$.

8. Déterminer alors l'amplitude I_2 du courant i_2 en fonction de U_1 . Commenter.
9. Déterminer la puissance moyenne $\mathcal{P}$ reçue par l'appareil placé au secondaire. ~~Que vaut-elle au maximum?~~

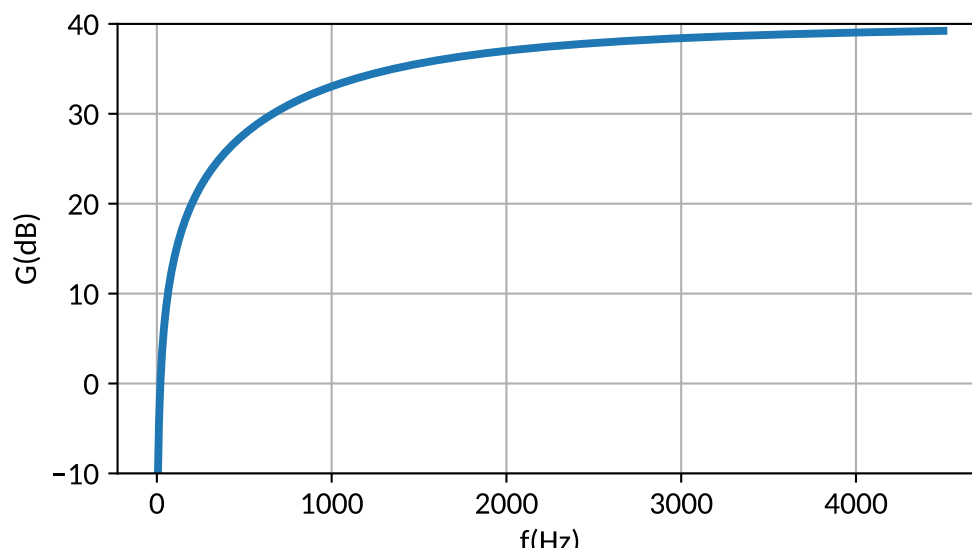


FIGURE IV.2 – Gain en fonction de la fréquence de la tension délivrée par le générateur.