

BTS CHIMISTE

PHYSIQUE

Durée : 2 h

Coefficient : 3

Les deux exercices sont indépendants

PREMIER EXERCICE : PRINCIPE DU PH-METRE

On se propose d'étudier le principe de fonctionnement d'un pH-mètre. Il est composé de trois étages :

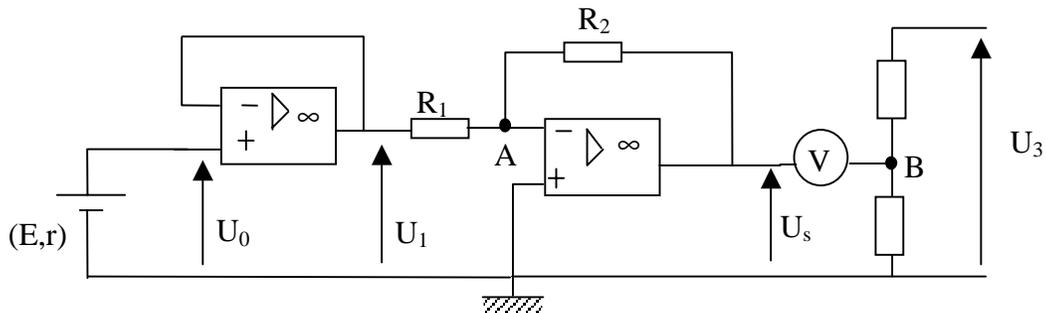
- mesure de la f.é.m. du capteur,
- amplification de la f.é.m. par un montage amplificateur,
- décalage de la tension obtenue en vue d'une lecture directe du pH.

Les amplificateurs opérationnels sont supposés parfaits et fonctionnent en régime linéaire.

1. Étude du capteur pH-métrique.

On dispose d'un capteur de pH constitué d'une électrode de verre et d'une électrode au calomel.

On montre que lorsque ces deux électrodes sont plongées dans une solution aqueuse, on obtient une pile dont la force électromotrice E dépend de la concentration en ion hydronium $[H_3O^+]$ de la solution.



On étudie alors cette dépendance pour trouver la relation liant la force électromotrice E et le pH de la solution.

La force électromotrice E d'une pile ne peut se mesurer directement que si la pile ne débite aucun courant. En plaçant un montage suiveur entre la cellule et le voltmètre V comme le montre la figure ci-dessus, on s'assure que la pile ne débite aucun courant. L'électrode au calomel est reliée à la masse du montage. Son potentiel est alors le potentiel référence du montage : elle porte alors le nom d'électrode de référence.

1.1. Établir l'expression de U_1 en fonction des caractéristiques de la pile.

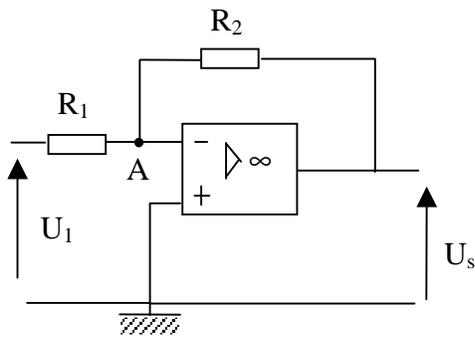
1.2. Des solutions tampons sont utilisées pour étalonner le pH-mètre. On utilise trois solutions tampons de pH connus 4,00 ; 7,20 et 10,0.

On plonge successivement les électrodes dans les trois solutions tampons et on mesure le pH dans chaque cas. On obtient les résultats suivants :

| | | | |
|-----------|-------|--------|--------|
| pH | 4,00 | 7,20 | 10,0 |
| U_1 (V) | 0,174 | -0,012 | -0,174 |

Établir la relation numérique entre U_1 et pH, puis entre E et pH.

2. Étude de l'adaptateur.



Afin de pouvoir faire une lecture directe du pH sur le voltmètre, il faut :

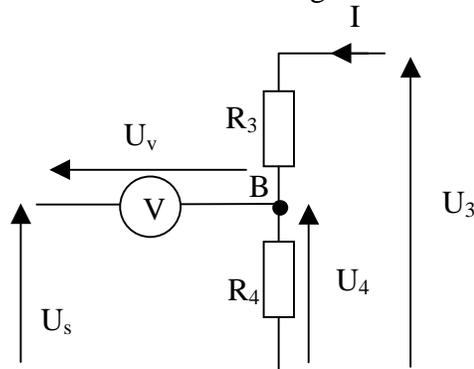
- amplifier et inverser la force électromotrice E pour obtenir une variation de U_s de 1,0 V quand le pH varie d'une unité
- décaler l'origine des tensions.

2.1. Étude du montage amplificateur inverseur.

- 2.1.a. Exprimer le gain du montage ci-dessus : $G = U_s/U_1$. Justifier le nom donné à ce montage.
- 2.1.b. On fixe $R_2 = 10,0 \text{ k}\Omega$, en déduire la valeur de R_1 pour obtenir une variation de U_s de 1,0 V quand le pH varie d'une unité (on prendra pour expression de U_1 : $U_1 = -0,058 \text{ pH} + 0,406$)
- 2.1.c. En déduire l'expression numérique de U_s en fonction de pH.
- 2.1.d. Indiquer la valeur affichée lorsque $\text{pH} = 2,0$ et $\text{pH} = 8,0$.

2.2. Etude du décaleur de l'origine des tensions.

Afin de pouvoir faire une lecture directe du pH sur le voltmètre V de résistance interne très grande, il faut ajouter un décaleur d'origine. On réalise donc le montage suivant :



- 2.2.a. Établir la relation entre U_3 et U_4 en faisant apparaître R_3 et R_4 .
- 2.2.b. Donner l'expression de U_v en fonction de U_3 , R_3 , R_4 et du pH.

On donne maintenant $U_3 = -15,0 \text{ V}$.

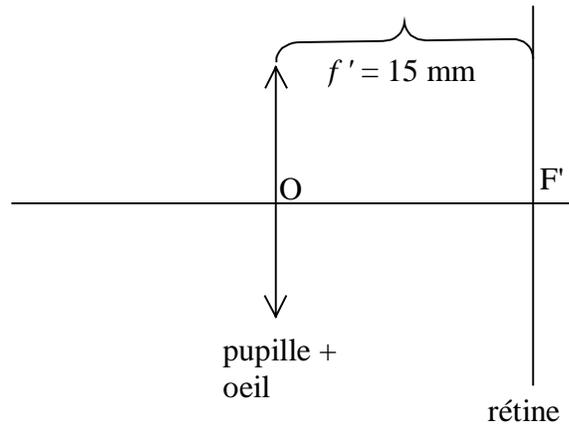
- 2.2.c. On désire afficher $U_v = 0,7 \text{ V}$ lorsque $\text{pH} = 7,0$. En déduire la relation entre R_3 et R_4 .
Calculer la valeur de R_3 si $R_4 = 470 \text{ }\Omega$.
- 2.2.d. Donner l'expression du pH en fonction de U_v .

DEUXIEME EXERCICE LE LASER ET QUELQUES APPLICATIONS

1. Laser dans le visible.

Le laser hélium-néon a été spécialement conçu pour les besoins de l'enseignement. Sa puissance est $P = 0,5 \text{ mW}$. Le faisceau présente une divergence : les rayons issus du laser sont émis dans un cône de demi-angle au sommet $\alpha = 1,0 \text{ mrad}$

Un élève imagine un observateur très imprudent regardant dans l'axe du faisceau. Le faisceau entre entièrement dans la pupille. L'œil est équivalent à une lentille mince convergente de distance focale $OF' = f' = 15 \text{ mm}$ selon le schéma ci-dessous :



- 1.1. Calculer le diamètre D de la tache lumineuse sur la rétine, placée orthogonalement à l'axe optique de la lentille, dans le plan focal image. L'expression de D s'appuiera sur un schéma.
- 1.2. Calculer l'éclairement énergétique reçu par cette tache. Comparer la valeur obtenue à celle de l'éclairement moyen du Soleil sur la Terre : 1 kW.m^{-2} . Conclure.

2. Découpe au laser

Un laser à dioxyde de carbone, fonctionnant en continu, de puissance $P = 3,0 \text{ kW}$, est utilisé pour découper une plaque d'aluminium d'épaisseur $e = 6,0 \text{ mm}$, à la température initiale $T_0 = 290 \text{ K}$. On opère sous la pression atmosphérique normale.

La vitesse de coupe est de $14,0 \text{ mm.s}^{-1}$.

Données pour l'aluminium :

Température de fusion : $T_f = 933 \text{ K}$

Température de vaporisation sous la pression atmosphérique normale : $T_v = 2740 \text{ K}$

Capacité thermique massique du solide : $c_s = 0,90 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ (indépendante de T)

Capacité thermique massique du liquide : $c_l = 1,09 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ (indépendante de T)

Enthalpie massique de fusion à 933 K : $L_f = 397 \text{ kJ.kg}^{-1}$

Enthalpie massique de vaporisation à 2740 K sous la pression atmosphérique normale :

$L_v = 1,05 \times 10^4 \text{ kJ.kg}^{-1}$

Masse volumique : $\rho = 2,71 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$

- 2.1. Calculer le temps nécessaire pour découper une tôle de 1,00 m de longueur.
- 2.2. Calculer l'énergie apportée par le faisceau laser pendant cette découpe.
- 2.3. Déterminer la masse d'aluminium vaporisé si on néglige les différentes pertes énergétiques.
- 2.4. Préciser la largeur du trait de découpe.

3. Télémétrie Terre-Lune par impulsions laser.

Pour mesurer avec précision la distance L Terre-Lune, qui augmente à un rythme annuel de 3 à 4 cm, on exploite la grande directivité d'un faisceau laser, de longueur d'onde $\lambda = 532$ nm.

On émet une impulsion laser au foyer F d'un télescope placé à la surface de la Terre. Ce télescope est pointé en direction d'un réflecteur placé sur la Lune, qui renvoie vers la Terre une partie de la lumière qu'il reçoit.

La mesure du temps T écoulé entre l'émission et la réception du signal par un détecteur placé en F permet de déterminer la longueur du chemin optique d'un aller-retour Terre-Lune, dont on déduit la distance L .

Le laser émet des impulsions de durée $\tau = 5,0 \times 10^{-10}$ s ; l'énergie lumineuse transportée à chaque impulsion est 0,30 J. La mesure du temps T est 2,56 s.

- 3.1. Calculer la distance L Terre-Lune.
- 3.2. Déterminer la puissance du laser lorsqu'il émet.
- 3.3. Calculer le nombre de photons émis par impulsion.

Données :

Constante de Planck : $h = 6,62 \times 10^{-34}$ J.s

Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8$ m.s⁻¹