

# Devoir libre 2 de Physique-Chimie

À rendre au plus tard pour le **Mercredi 24 septembre 2024**

Thèmes : **Électronique**

## Consignes

Ce devoir est composé de deux exercices et contient **8 pages**.

Il est demandé de porter le plus grand soin à la rédaction, c'est-à-dire :

- dans la forme : résultats **encadrés**, copies aérées ;
- dans le fond : justification des réponses, clarté de l'expression, concision des réponses.

**Tout résultat non justifié ne sera pas évalué**

**La calculatrice est autorisée pour ce devoir.**

## 1 Appareil de mesure du champ magnétique $B$ : le teslamètre

### 1.1 Amplificateur opérationnel "idéal"

On schématise un amplificateur opérationnel (AO, autre nom de l'ALI) par la figure suivante :

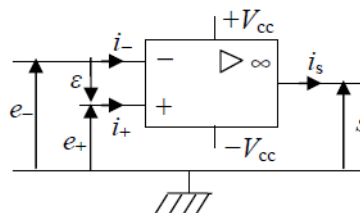


FIGURE 1

où  $+V_{cc}$  et  $-V_{cc}$  sont les tensions d'alimentation de l'ordre de  $\pm 15\text{V}$ , qui n'apparaîtront plus dans les schémas suivants.

On pose  $e_+$  et  $e_-$  les tensions d'entrée,  $\varepsilon$  la tension différentielle d'entrée,  $s$  la tension de sortie,  $i_+$  et  $i_-$  les courants d'entrée et  $i_s$  le courant de sortie.

- Q1.** Définir les deux types de régime de l'AO idéal et représenter sa caractéristique de transfert  $s(\varepsilon)$ .
- Q2.** Dans le cas d'un AO idéal en fonctionnement linéaire, quelles sont les valeurs de  $i_+$ ,  $i_-$ ,  $\varepsilon$  et du gain différentiel  $\mu = s/\varepsilon$  ?
- Q3.** Dans le symbole général d'un opérateur représenté par un rectangle (symbole normalisé) que représente le signe  $\infty$  à l'intérieur ?

## 1.2 Montages de base avec AO

Les AO utilisés dans ces montages de base sont idéaux et fonctionnent en régime linéaire.

- Q4.** Établir, pour chacun des quatre montages ci-dessous, les expressions de  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  et  $K_4$ . Les tensions de sortie  $s_1$ ,  $s_2$ ,  $s_3$  et  $s_4$  s'expriment en fonction des grandeurs d'entrée et éventuellement des valeurs des différentes résistances.

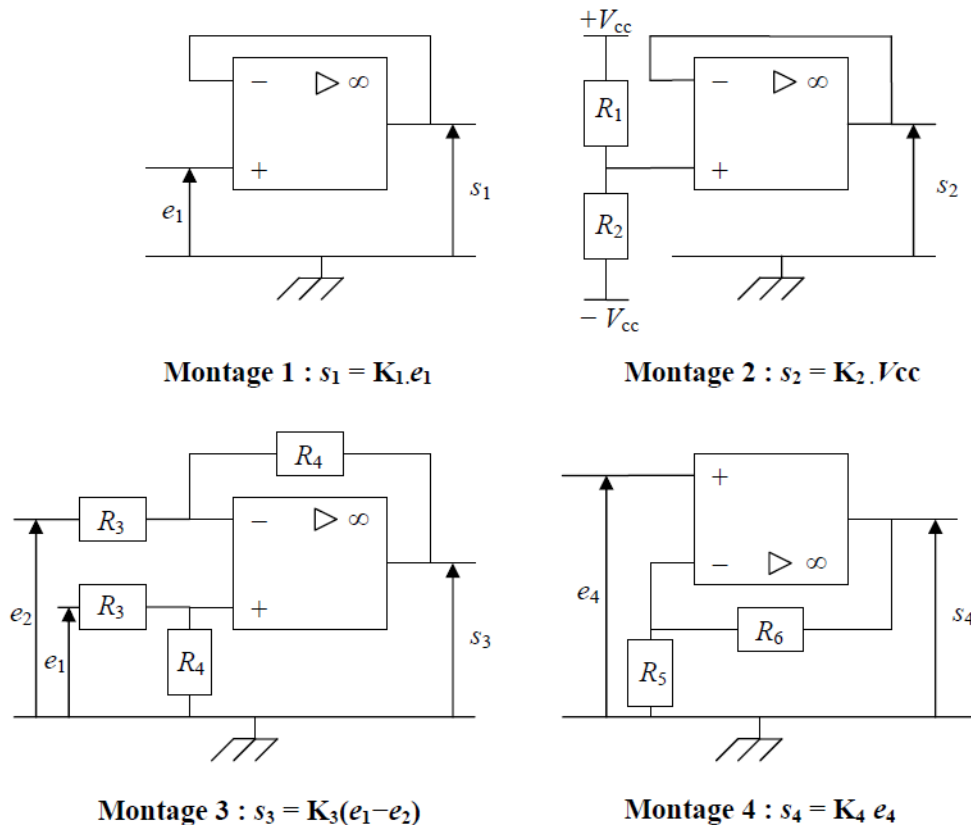


FIGURE 2

- Q5.** On nomme les montages 1 et 2 respectivement « suiveur » et « décaleur ou générateur de tension réglable ». Proposer un nom pour chacun des montages 3 et 4.

## 1.3 Conception d'un teslamètre

La mesure d'un champ magnétique  $B$  nécessite, comme capteur, une sonde à effet Hall qui fournit une tension faible, accessible à la mesure après amplification.

Le constructeur de la sonde indique une relation entre la f.e.m. de sortie  $U_c$  du capteur en fonction de la valeur du champ magnétique existant  $B$  de la forme :

$$U_c = 0,25V_{cc} + 20B \quad \text{avec } U_c \text{ et } V_{cc} \text{ en volts et } B \text{ en teslas.}$$

Cette tension étant faible, une chaîne électronique à la sortie du capteur va amplifier et rendre une tension de sortie en bout de chaîne, proportionnelle à  $B$  de la forme :  $U_s = KB$ .

- Q6.** Quelle est l'utilité du montage 1 (suiveur) ?  
**Q7.** Quel est le rôle du montage 2 (décaleur) ?

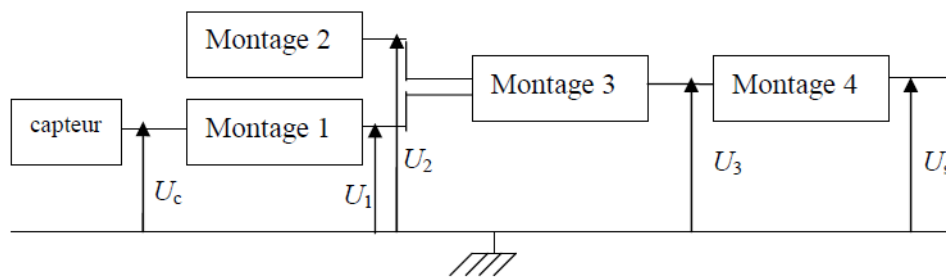


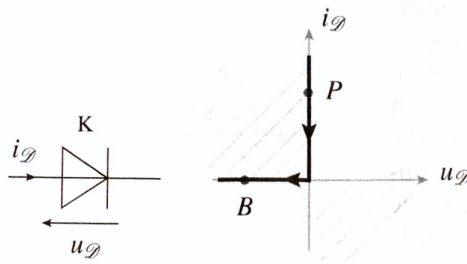
FIGURE 3 – Synoptique de la chaîne électronique à la sortie de la sonde

- Q8.** On suppose que la chaîne ne modifie pas le comportement individuel de chacun des quatre montages étudiés en Q4.
- Déterminer l'expression de la tension de sortie  $U_s$  en fonction des résistances  $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6$ , de  $V_{cc}$  et de  $B$ .
  - Application numérique** : vérifier que  $U_s$  est bien de la forme  $U_s = KB$  et en déduire la valeur de  $K$  pour les résistances :  $R_1 = 3k\Omega; R_2 = 5k\Omega; R_3 = R_4 = R_5 = 1k\Omega; R_6 = 4k\Omega$ .

## 2 Convertisseur tension-fréquence

### Données :

- On rappelle la caractéristique tension-courant d'une diode idéale, à tension de seuil nulle :



Dans l'état  $B$ , la diode est bloquée et se comporte comme un interrupteur ouvert. Dans l'état  $P$ , la diode est passante et se comporte comme un interrupteur fermé.

- Un multivibrateur monostable est un synonyme d'oscillateur à relaxation commandé par une tension externe.

L'objectif de ce problème est d'étudier un exemple de réalisation de convertisseur tension fréquence. Il s'agit d'un circuit dont la tension de sortie est proportionnelle à la fréquence de la tension d'entrée.

Pour ce problème, les amplificateurs opérationnels sont **idéaux** et alimentés entre  $+V_{cc}$  et  $-V_{cc}$ . Leurs tensions de saturation haute et basse seront respectivement  $+V_{cc}$  et  $-V_{cc}$ .

## B1- Réalisation d'un multivibrateur monostable à base d'amplificateurs opérationnels

### B1.1- Comparateur simple seuil

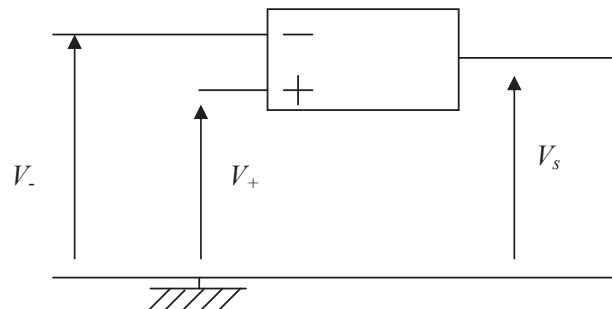


Figure 6 : comparateur simple seuil

**B1.1.1-** Expliquer le fonctionnement du montage de la figure 6.

**B1.1.2-** Tracer sa caractéristique  $V_s$  en fonction de  $\varepsilon = V_+ - V_-$ .

### B1.2- Comparateur à deux seuils

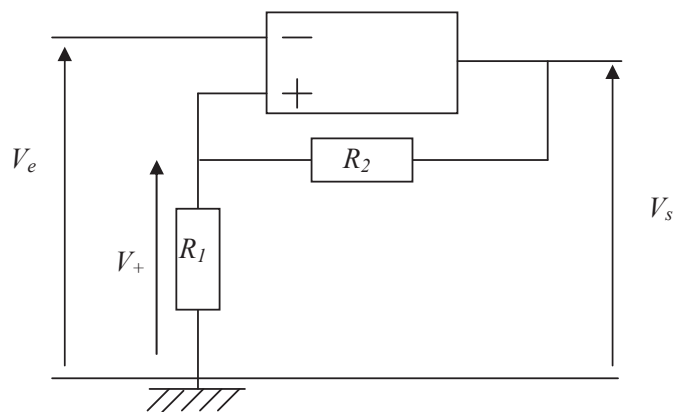


Figure 7 : comparateur à deux seuils

**B1.2.1-** Rappeler le fonctionnement du montage de la figure 7. Définir notamment les seuils bas  $V_b$  et haut  $V_h$ .

**B1.2.2-** Tracer la caractéristique  $V_s$  en fonction de  $V_e$ , en précisant la courbe parcourue selon que  $V_e$  croît ou décroît.

### B1.3- Multivibrateur monostable à amplificateurs opérationnels (AOP)

Un multivibrateur monostable est un oscillateur dont la sortie possède deux niveaux, un niveau « haut » correspondant à un « 1 logique » et un niveau « bas » correspondant à un « 0 logique ». La particularité de ce circuit est qu'un niveau est stable alors que l'autre est instable. Ainsi, après application d'un signal de commande, la sortie du système passe de l'état stable à l'état instable pendant une durée  $\tau$  puis revient à son état stable initial.

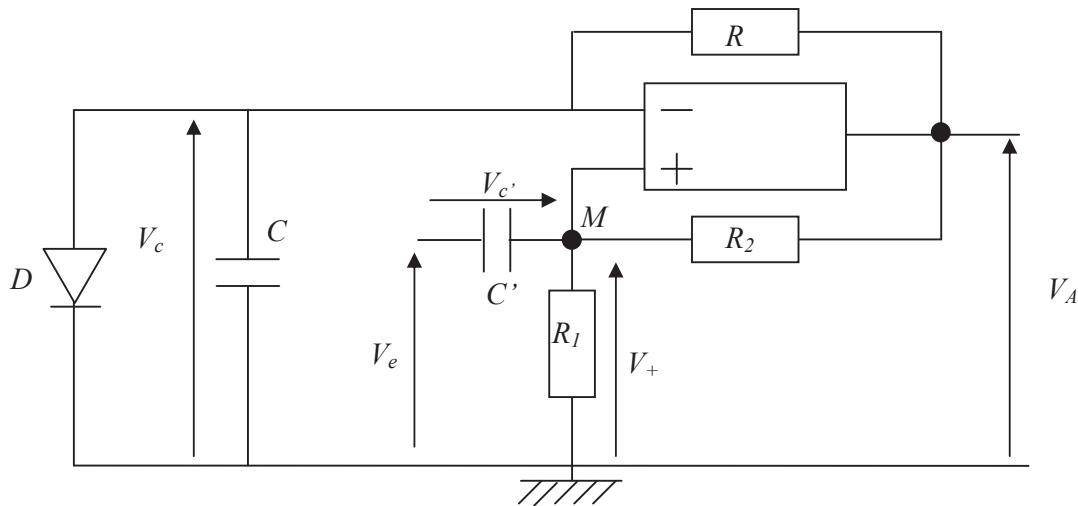


Figure 8 : multivibrateur monostable à AOP

La diode  $D$  est supposée parfaite, sa tension seuil est nulle.

**B1.3.1-** La tension de commande  $V_e$  est nulle depuis longtemps, la tension de sortie  $V_A$  est dans un état stable et vaut  $V_A = +V_{cc}$ . En vous appuyant sur un schéma équivalent du circuit de la figure 8, justifier l'état passant de la diode  $D$ .

**B1.3.2-** Quelles sont les valeurs des tensions aux bornes des condensateurs ?

**B1.3.3-** A  $t = 0$  s, l'injection d'un échelon de tension de commande  $V_e(t = 0^+) = E$  va permettre le changement d'état de la sortie ( $V_A = -V_{cc}$ ) et le blocage de la diode  $D$ .

**B1.3.3.1-** Quelles sont les valeurs des tensions aux bornes des condensateurs immédiatement après l'injection de cet échelon de tension ?

**B1.3.3.2-** A quelle condition sur  $E$ , cet échelon de tension permettra le changement d'état de la sortie ?

**B1.3.3.3-** Montrer que la tension aux bornes du condensateur  $C$ ,  $V_c(t)$ , est régie par une équation différentielle du premier ordre. Donner l'expression de la loi d'évolution, en fonction du temps et de la tension  $V_c(t)$ .

**B1.3.3.4-** Justifier alors l'état bloqué de la diode.

**B1.3.3.5-** Montrer, à partir de la loi des nœuds au point  $M$ , que la tension aux bornes du condensateur  $C'$ ,  $V_c(t)$ , est régie par une équation différentielle du premier ordre. Donner l'expression de la loi d'évolution, en fonction du temps et de la tension  $V_c(t)$ .

Remarque : on introduira la constante de temps  $\tau' = \frac{C' \cdot R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ .

**B1.3.3.6-** En déduire la loi d'évolution, en fonction du temps, de la tension aux bornes de la résistance  $R_1$  :  $V_+(t)$ .

**B1.3.3.7-** En étudiant les valeurs finales  $V_{C\infty}$  et  $V_{+\infty}$  des tensions  $V_c(t)$  et  $V_+(t)$ , montrer que la tension de sortie  $V_A$  va rebasculer vers son état initial  $V_A = +V_{cc}$ .

**B1.3.3.8-** On considère que la constante de temps de charge du condensateur  $C'$  est très faible comparée à celle du condensateur  $C$ .

**B1.3.3.8.a-** Comparer alors les vitesses de charge de ces condensateurs.

**B1.3.3.8.b-** Montrer alors que l'expression simplifiée de la tension  $\varepsilon(t)$  est :

$$\varepsilon(t) \approx V_{cc} \cdot \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} - e^{\frac{-t}{R \cdot C}} \right).$$

**B1.3.3.8.c-** En déduire l'instant  $t$  où la tension de sortie  $V_A$  rebascule vers son état initial.

## B2- Circuit de mise en forme

**B2.1-** Donner l'expression de la tension  $V_B$  du montage de la figure 9, en fonction de  $V_A$  et des résistances  $R_3$  et  $R_4$ . Que devient cette expression dans le cas où  $R_4 = R_3$  ?

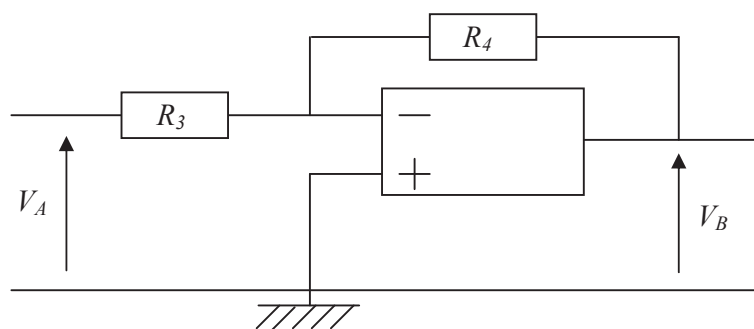


Figure 9 : circuit inverseur

**B2.2-** Dans le montage de la figure 10, la tension  $V_A(t)$  est un signal rectangulaire compris entre  $+V_{cc}$  et  $-V_{cc}$ , de période  $T$ , dont la durée de l'état bas est  $\tau$ . La diode  $D'$  est supposée parfaite, sa tension seuil est nulle. Tracer, sur deux périodes, les chronogrammes des tension  $V_B$  et  $V_D$ .

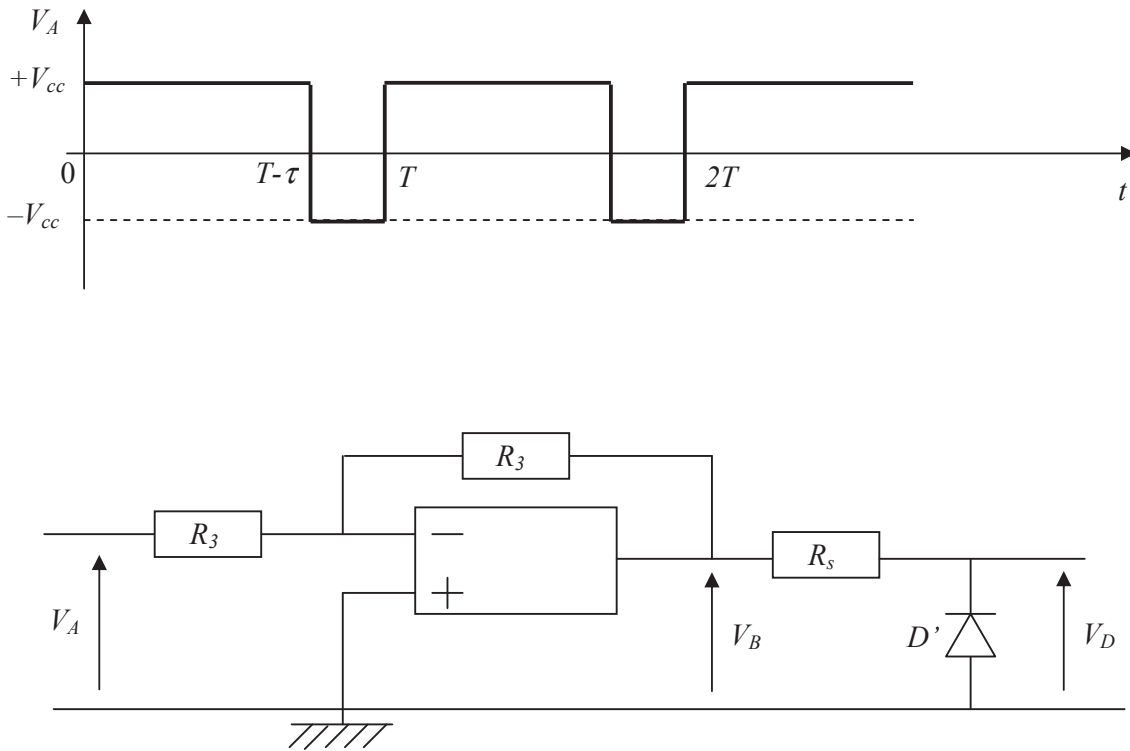


Figure 10 : circuit de mise en forme et chronogramme

**B2.3-** Calculer la valeur moyenne de la tension  $V_D$  en fonction de la fréquence  $f = 1/T$ .

**B2.4-** On désire obtenir, à partir de la tension  $V_D$ , une tension  $V_S$  proportionnelle à la fréquence  $f = 1/T$ , tel que :  $V_S = k.f$ . En faisant appel à la décomposition en série de Fourier de la tension  $V_D$ , définir le type de filtrage à utiliser. Préciser alors l'expression de  $k$ . Comment choisir la fréquence de coupure de ce filtre (figure 11) ?

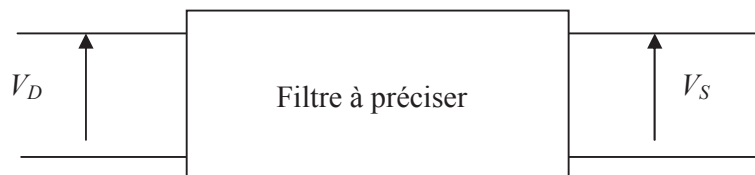


Figure 11 : utilisation d'un filtre à préciser

**B3- Etude du filtre**

Le filtre utilisé est représenté figure 12.

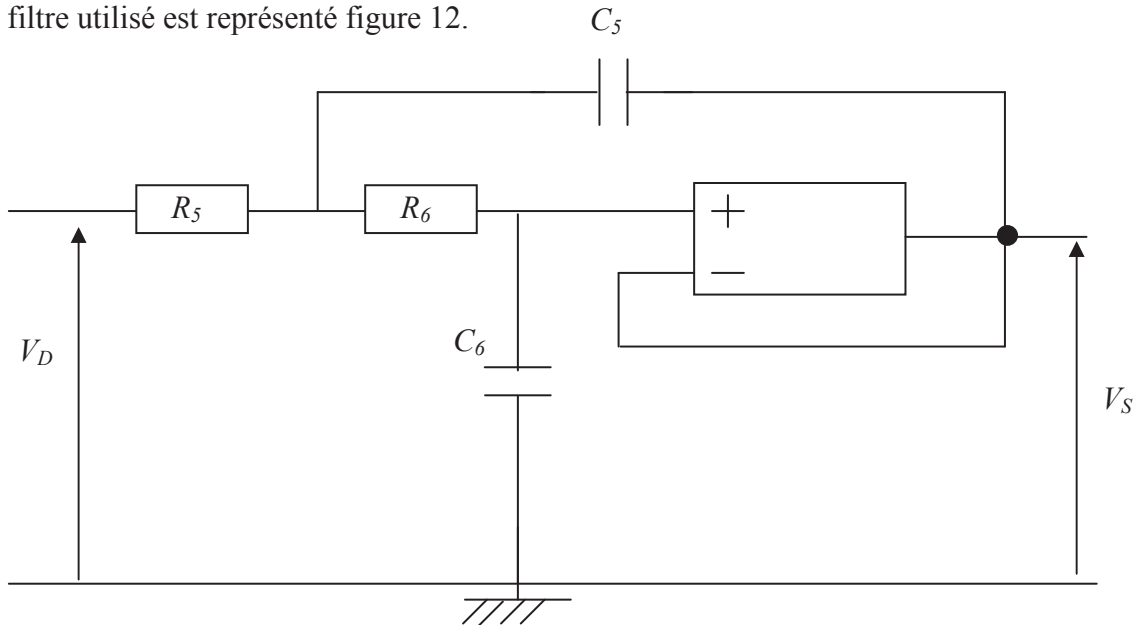


Figure 12 : filtre

**B3.1-** Mettre la fonction de transfert  $\underline{H}(j\omega) = \frac{V_S(j\omega)}{V_D(j\omega)}$  sous la forme suivante :

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{H_0}{\left(\frac{j\omega}{\omega_0}\right)^2 + \frac{1}{Q} \cdot \left(\frac{j\omega}{\omega_0}\right) + 1}.$$

**B3.2-** Préciser les expressions de  $H_0$ ,  $\omega_0$  et  $Q$  en fonction de  $R_5$ ,  $R_6$ ,  $C_5$ ,  $C_6$ .

**B3.3-** De quel filtre s'agit-il ? Justifier votre réponse.

**B3.4-** Déterminer  $Q$  tel que le module élevé au carré soit de la forme :

$$|\underline{H}(j\omega)|^2 = \frac{1}{\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^4 + 1}.$$

**B3.5-** Donner alors l'expression de la phase  $\underline{\varphi}(j\omega)$  de  $\underline{H}(j\omega)$ .