

---

**DM N°15**  
**ALI & oscillateurs**

---

Lycée **LANGEVIN - WALLON**

13 décembre 2020

# À lire attentivement...

Les candidats devront vérifier que le sujet comporte bien 6 pages numérotées 1/6, 2/6, ... 6/6.

Les candidats sont invités à porter une attention particulière à la rédaction : les copies illisibles ou mal présentées seront pénalisées.

Toute application numérique ne comportant pas d'unité ne donnera pas lieu à attribution de points. Les résultats numériques devront être donnés sous la forme appropriée.

Le sujet comporte :

- 2 exercices d'annale de physique.

Les diverses parties peuvent être traitées dans l'ordre choisi par le candidat. Il prendra toutefois soin de bien numéroter les questions.



**Fig. 1** – Carte mémoire de Rétroaction & ALI



**Fig. 2** – Carte mémoire de Oscillateurs

L'EMPLOI DE LA CALCULATRICE OU DE TOUTE AUTRE AIDE ÉLECTRONIQUE,  
NOTAMMENT PYTHON, EST AUTORISÉ.

LE TRAVAIL AVEC SON COURS SOUS LES YEUX EST RECOMMANDÉ.

LE PHOTO-COPILLAGE DU TRAVAIL D'UN CAMARADE SERA SANCTIONNÉ.

UN RÉSULTAT NON ENCADRÉ NE SERA PAS PRIS EN COMPTE.

Si au cours de la rédaction, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et poursuivra sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

## 1.1 Électro-oculographie

### 1.1.1 Principe de l'électro-oculographie

En raison des différents échanges ioniques dans les cellules, l'arrière de l'œil (coté rétine) porte une charge électrique négative alors que l'avant de l'œil (coté cornée) est chargé positivement. Il en résulte un champ électrique supposé permanent utilisé pour mesurer l'angle de rotation du globe oculaire autour d'un de ses axes.

#### Mesure de l'angle de rotation $\theta$ du globe oculaire

On attache au visage, supposé fixe, un repère cartésien  $(O, x, y, z)$ . Le globe oculaire est mobile autour de l'axe  $Oz$  ;  $\theta$  est l'angle entre  $Oy$  et  $\vec{u}_r$  (cf. fig 1.1). Pour mesurer  $\theta$ , on place deux électrodes, de part et d'autre de l'œil, aux points  $A(a, b, 0)$  et  $A'(-a, b, 0)$ , fixes par rapport au visage. Le signal détecté par ces électrodes est traité par un circuit électronique étudié en 1.1.2.

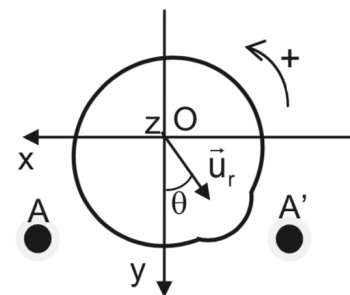
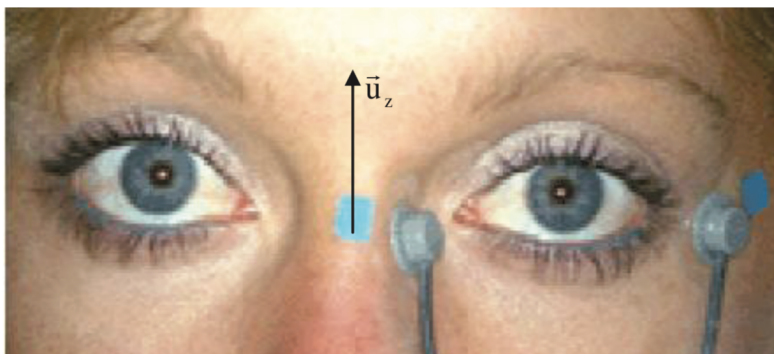


Fig. 1.1 – Repérage de l'œil et emplacement des électrodes

### 1.1.2 Traitement analogique du signal

Les signaux issus des électrodes ne sont pas exploitables directement et doivent être amplifiés et filtrés.

#### Amplificateur de différence

Les électrodes sont reliées à l'amplificateur d'instrumentation représenté à la figure 1.2. Celui-ci comporte 3 ALI (notés AL1, AL2, AL3).

On donne :  $R = 100 \text{ k}\Omega$ ,  $R' = 2 \text{ k}\Omega$ .

1. Rappeler les ordres de grandeurs du gain statique, de l'impédance d'entrée et de l'impédance de sortie d'un ALI réel.
2. Quelles sont les valeurs de ces mêmes grandeurs pour un ALI idéal ?

Dans toute la suite, les ALI seront considérés comme idéaux et fonctionnant en régime linéaire.

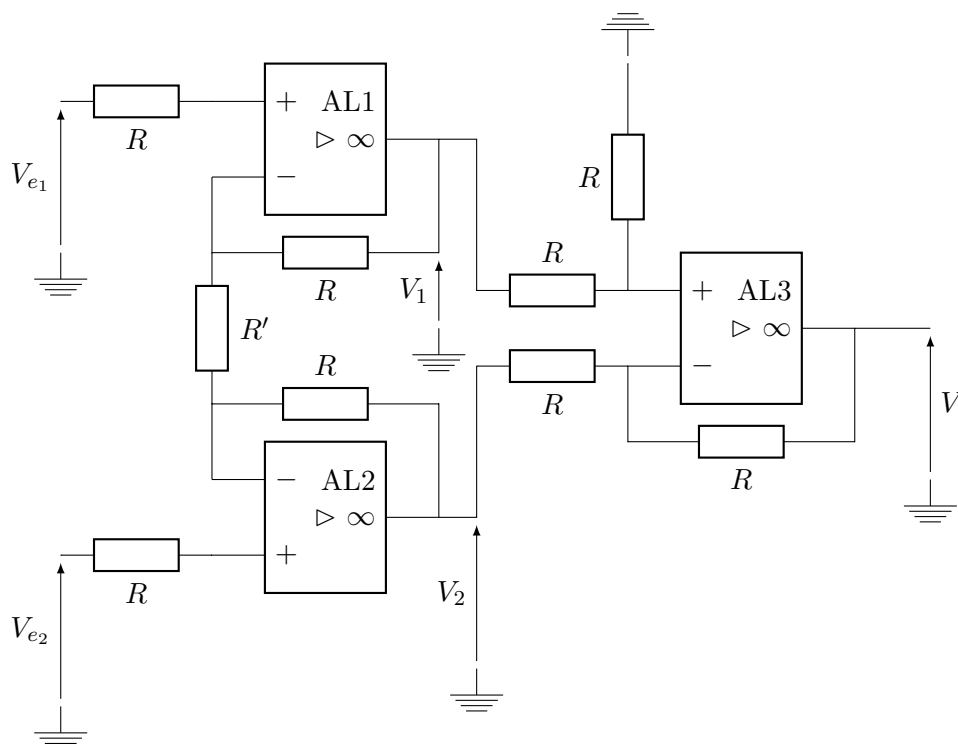


Fig. 1.2 – Schéma de l'amplificateur

3. L'électrode en A, dont le potentiel par rapport à une référence est noté  $V_{e1}$ , est reliée à AL1. L'électrode en A', dont le potentiel par rapport à une référence est noté  $V_{e2}$ , est reliée à AL2 ( cf fig. 1.2 ). Déterminer  $V_2 - V_1$  en fonction de  $V_{e2} - V_{e1}$ ,  $R$  et  $R'$ .
4. En déduire la tension de sortie  $V_s$  en fonction de  $V_{e2} - V_{e1}$ .
5. Le gain  $A_d$  de l'amplificateur est donné par  $A_d = \left| \frac{V_s}{V_{e2} - V_{e1}} \right|$ . Expliciter  $A_d$  littéralement puis numériquement.
6. Les électrodes fournissent une différence de potentiel ayant une amplitude de l'ordre de  $100 \mu\text{V}$ . Quel est l'ordre de grandeur de l'amplitude du signal en sortie de l'amplificateur ?

### Filtrage

Le signal utile est compris dans une bande de fréquences comprises entre  $0,002 \text{ Hz}$  et  $10 \text{ Hz}$ .

7. D'une manière générale en électrophysiologie médicale, il est primordial d'inclure dans le traitement du signal un filtre coupe bande à  $50 \text{ Hz}$ . Pourquoi ? Est-ce nécessaire pour les signaux oculaires ?
8. Les signaux électro-physiologiques sont également très bruités par des parasites ayant un contenu spectral situé dans les hautes fréquences. Quel type de filtre doit-on utiliser pour améliorer la qualité de ces signaux ?
9. Le signal issu de l'amplificateur d'instrumentation est traité par un filtre dont la fonction de transfert est :

$$H(x) = \frac{H_0}{1 + j\frac{x}{Q} - x^2}$$

avec  $x = f/f_0$ ,  $f$  étant la fréquence du signal et  $f_0$  la fréquence caractéristique du filtre (on note  $j^2 = -1$ ). On choisit les composants de manière que  $H_0 = 1$ ,  $f_0 = 15 \text{ Hz}$  et  $Q = \frac{\sqrt{2}}{2}$ .

- (a) Faire la représentation de BODE du gain en décibel en fonction de  $\log(x)$  en précisant les asymptotes et les résonances éventuelles.
- (b) Rappeler la définition de la fréquence de coupure à  $-3 \text{ dB}$  et la déterminer.

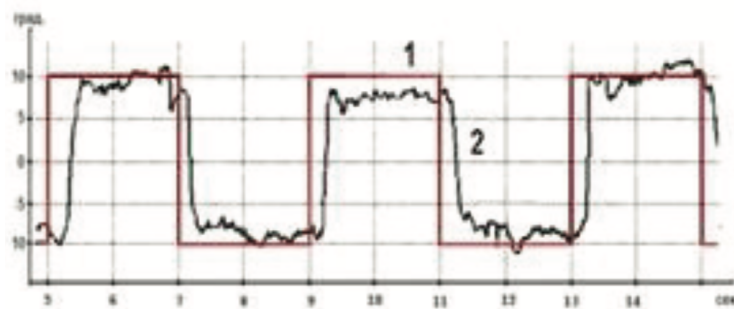
---

Acquisition du signal

---

On souhaite enregistrer le mouvement oculaire par l'intermédiaire d'une carte d'acquisition pendant 1 min.

10. [5/2] Rappeler la condition de NYQUIST-SHANNON.
11. [5/2] Préciser la fréquence d'échantillonnage limite pour l'enregistrement des signaux oculaires ainsi que le nombre de points enregistrés pour une acquisition à cette fréquence limite.
12. Sur enregistrement de la figure 1.3, on visualise le mouvement de l'œil (courbe 2) d'un patient ayant pour consigne de suivre une cible lumineuse qui se déplace (courbe 1). Estimer le retard de l'œil par rapport à la cible.



**Fig. 1.3** – Exemple d'électro-oculogramme. Courbe 1 : déplacement de la cible, courbe 2 : mouvement oculaire. Échelle horizontale : 1 s/div ; échelle verticale : 5°/div

## 2.1 Oscillateurs

On s'intéresse ici aux dispositifs résonateurs ou oscillateurs : ils sont capables de générer des oscillations à une fréquence qui leur est propre.

### 2.1.1

Dans le circuit électrique d'oscillation est ajoutée une « contre-réaction » ; on va s'intéresser, dans un premier temps, au rôle de la contre-réaction. Le circuit étudié est représenté figure 2.1.

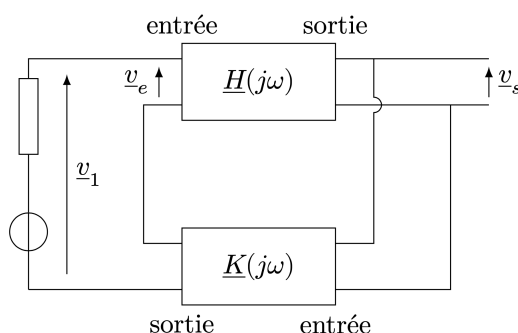


Fig. 2.1

Le schéma du circuit peut prendre la forme de deux quadripôles de fonctions de transfert respectives  $\underline{H}(j\omega)$  et  $\underline{K}(j\omega)$  (définies comme le rapport des amplitudes complexes de la tension de sortie sur la tension d'entrée).

13. Donner la relation faisant intervenir la fonction de transfert entre  $\underline{v}_s$  et  $\underline{v}_e$ .
14. Donner la relation faisant intervenir la fonction de transfert entre  $\underline{v}_s$ ,  $\underline{v}_e$  et  $\underline{v}_1$ .
15. En déduire la fonction de transfert globale du montage  $\underline{A}(j\omega) = \underline{v}_s/\underline{v}_1$  en fonction de  $\underline{H}(j\omega)$  et  $\underline{K}(j\omega)$ .

À fréquence non nulle, l'ensemble représenté peut constituer un oscillateur si la tension de sortie est non nulle alors que la tension d'entrée est nulle. En effet, le montage est alors capable de générer seul des oscillations.

16. Donner une relation vérifiée par  $\underline{H}(j\omega)$  et  $\underline{K}(j\omega)$  qui permette d'avoir un oscillateur.
17. En déduire une relation entre les gains  $|\underline{H}(j\omega)|$  et  $|\underline{K}(j\omega)|$ , notée relation (R1).
18. En déduire également une relation entre les phases  $\arg(\underline{H}(j\omega))$  et  $\arg(\underline{K}(j\omega))$ , notée relation (R2).

### 2.1.2

Dans cette sous-partie, on étudie le filtre de WIEN, dont on va voir après qu'il peut servir dans un montage oscillateur.

Le filtre est constitué de deux condensateurs identiques de capacité  $C$  et de deux conducteurs ohmiques identiques de résistance  $R$ . Le circuit correspondant est représenté sur la figure 2.2.

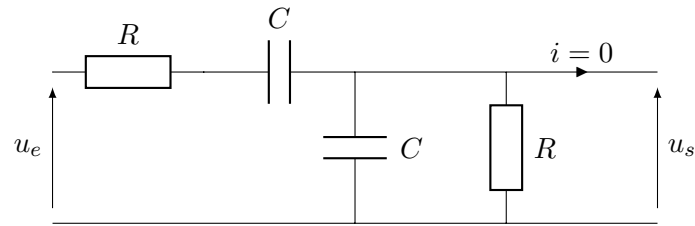


Fig. 2.2

19. Déterminer la fonction de transfert  $\underline{K}(j\omega) = u_s/u_e$  de ce filtre.

20. Représenter l'allure du diagramme de BODE asymptotique de ce filtre en fonction de  $\log(\omega/\omega_c)$ .

On admet que  $\underline{K}(j\omega)$  peut se mettre sous la forme :

$$\underline{K} = \frac{1}{3 + j\left(RC\omega - \frac{1}{RC\omega}\right)}$$

21. Donner l'expression de la pulsation de résonance en fonction de  $R$  et de  $C$ . Que vaut  $|\underline{K}(j\omega)|$  à la résonance ?

### 2.1.3

Le filtre de WIEN est inséré dans le montage de la figure 2.3 ; on supposera que l'amplificateur linéaire intégré est idéal et fonctionne en régime linéaire.

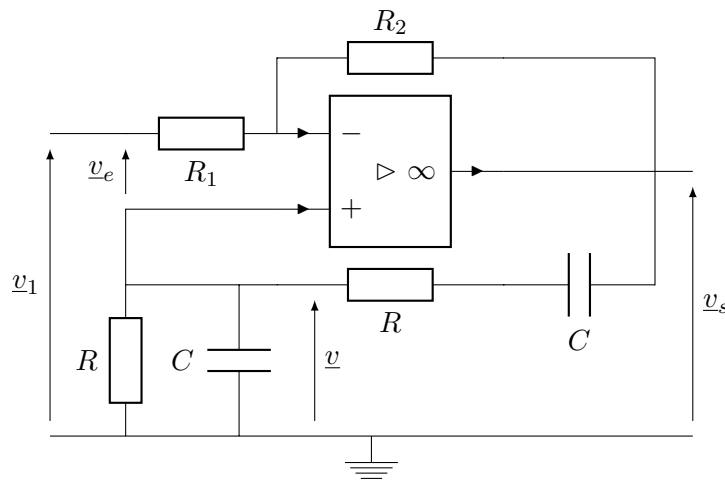


Fig. 2.3

On choisit de se placer à la pulsation  $\omega_0 = \frac{1}{RC}$ . Les notations employées ici sont volontairement similaires à celles de la figure 2.1.

22. Déterminer l'expression de la fonction de transfert  $\underline{A}(j\omega_0) = v_s/v_1$ .

23. Proposer des valeurs de  $R_1$  et de  $R_2$  permettant à ce montage de fonctionner comme oscillateur.