

BCPST 1B : Devoir Surveillé n°3 - PHYSIQUE

Mercredi 20 Novembre 2024 – 1h30

Usage de la calculatrice : autorisé

Toute réponse doit être justifiée.

On attend un résultat littéral préalablement à toute application numérique.

Tout résultat final doit être mis en valeur.

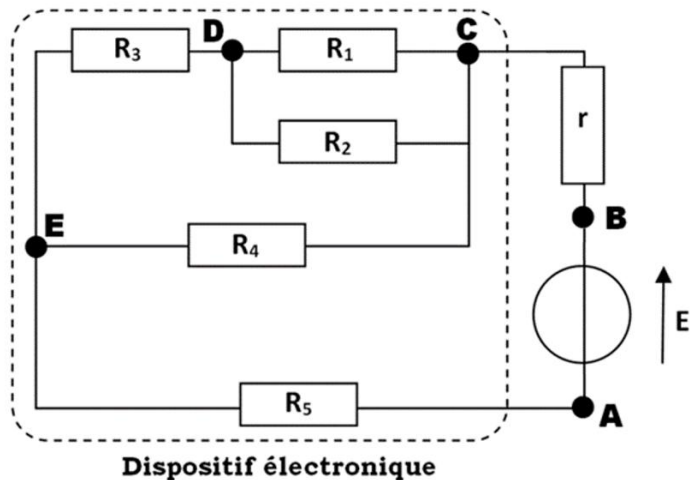
Seule l'Annexe est à rendre avec la copie.

EXERCICE 1 : ETUDE D'UN CIRCUIT ELECTRIQUE

(~ 40 MIN)

Un dispositif électronique (encadré en pointillés sur le schéma ci-contre) est constitué de cinq conducteurs ohmiques de résistances R_1, R_2, R_3, R_4 et R_5 .

On branche ce dispositif électronique aux bornes A et C d'un dipôle constitué d'un conducteur ohmique de résistance r et d'une source idéale de tension de force électromotrice E .



1. Quel dipôle modélise-t-on classiquement par l'association de la source de tension idéale de force électromotrice E et du conducteur ohmique de résistance r ? Comment nomme-t-on cette association ?
2. Dans la suite, on suppose que $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_0$. En raisonnant uniquement par association de résistances à justifier, montrer que le dispositif électronique branché entre A et C est équivalent à un unique conducteur ohmique de résistance R_{eq} . Exprimer R_{eq} en fonction de R_0 .
3. Déterminer l'expression de la tension U_{CA} aux bornes de la résistance équivalente R_{eq} en fonction de R_0 , r et E .

Pour la suite de l'exercice, on considère que le dispositif électronique se comporte comme un unique conducteur ohmique de résistance $R_{eq} = 160 \Omega$.

4. Déterminer en fonction de E , R_{eq} et r :
 - La puissance P_1 fournie par la source idéale de tension ;
 - La puissance P_2 reçue par la résistance R_{eq} ;
 - La puissance P_3 reçue par la résistance r .
5. En déduire une relation entre P_1 , P_2 et P_3 .
6. Cette relation était-elle prévisible ?
7. Comment qualifie-t-on la puissance reçue par les conducteurs ohmiques ? Que devient-elle ?

A. Mesure piézorésistive de pression artérielle.

Afin d'obtenir une mesure de la pression artérielle en continu, la réalisation d'un *transducteur de pression* est nécessaire. Un *transducteur de pression* convertit un signal de pression $P(t)$ en une tension électrique directement mesurable $u_{mes}(t)$.

Un transducteur de pression largement utilisé dans le domaine de la santé exploite le phénomène de *piézorésistivité*. La *piézorésistivité* traduit le fait que la résistance électrique de certains matériaux varie selon la pression à laquelle ils sont soumis. Cette dépendance n'est pas due aux variations des caractéristiques géométriques du matériau.

Aucune connaissance sur la piézorésistivité n'est nécessaire pour traiter les questions de cet exercice.

On considère un matériau piézorésistif dont la résistance dépend de la pression sous la forme suivante :

$$R = R_0[1 + k(P - P_{atm})]$$

$P_{atm} = 1,013 \text{ bar}$ est la pression atmosphérique, k une constante appelée coefficient de piézorésistivité et R_0 est la valeur de la résistance pour $P = P_{atm}$.

Le matériau piézorésistif est placé dans le circuit représenté sur la figure 1 ci-dessous.

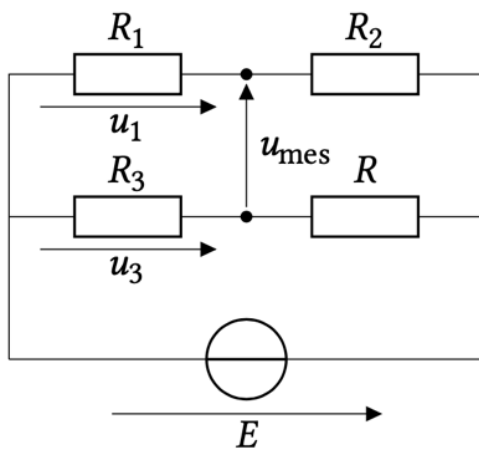


FIGURE 1 – Transducteur de pression.

E est une tension continue constante. R_1 est une résistance variable. R_2 et R_3 sont des résistances constantes. u_{mes} est la tension mesurée.

On cherche à exprimer u_{mes} en fonction des données de l'énoncé.

1. Exprimer u_1 en fonction de R_1 , R_2 et E , puis u_3 en fonction de R_3 , R et E .
2. En déduire que $u_{mes} = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R + R_3} \right) E$.

On veut ajuster la résistance R_1 afin d'avoir $u_{mes} = 0$ lorsque $P = P_{atm}$.

3. Déterminer l'expression de R_1 permettant d'avoir $u_{mes} = 0$ lorsque $P = P_{atm}$, en fonction de R_0 , R_2 et R_3 .

On choisit cette valeur de R_1 pour la suite de l'exercice.

On considère une variation de pression ΔP positive par rapport à P_{atm} de sorte que : $P = P_{atm} + \Delta P$.

4. Montrer que la résistance R peut s'écrire sous la forme $R = R_0 + \Delta R$. Exprimer ΔR en fonction de k , ΔP et R_0 .

En pratique, pour les pressions artérielles usuelles, le coefficient de piézorésistivité k et la variation de pression ΔP sont tels que $\Delta R \ll R_0$ (ΔR très petit devant R_0).

5. Proposer une condition reliant k et ΔP pour avoir $\Delta R \ll R_0$.

Cette condition est supposée remplie dans la suite.

6. Montrer qu'à une variation de pression ΔP est associée une tension mesurée, telle que :

$$u_{\text{mes}} \approx \frac{R_3}{(R_0 + R_3)^2} \times R_0 \times k \Delta P \times E$$

7. En déduire l'expression de la sensibilité du transducteur de pression $S = \frac{u_{\text{mes}}}{\Delta P}$ en fonction des données de l'énoncé. Préciser l'unité de S et donner le sens physique de cette grandeur.
8. Expliquer en quelques lignes comment ce système peut être utilisé pour mesurer les variations de pression artérielle ΔP en fonction du temps.

B. Exploitation des mesures de pression artérielle systématique.

Dans toute cette sous-partie, toutes les valeurs de pression artérielle correspondent à la pression différentielle $\Delta P = P - P_{\text{atm}}$. Par exemple, une pression artérielle de 120 mmHg correspond à une pression absolue de $760 \text{ mmHg} + 120 \text{ mmHg} = 880 \text{ mmHg}$. De plus, toutes les mesures sont prises pour un individu allongé et au repos.

À chaque battement de cœur, la pression artérielle varie entre les pressions systolique et diastolique. La pression systolique est la pression maximale dans les artères, atteinte généralement vers la fin du cycle cardiaque, lorsque les ventricules se contractent. La pression diastolique est la pression minimale dans les artères, atteinte généralement vers le début du cycle cardiaque, lorsque les ventricules se gonflent de sang.

Une mesure de pression artérielle en fonction du temps est donnée ci-après figure 2.

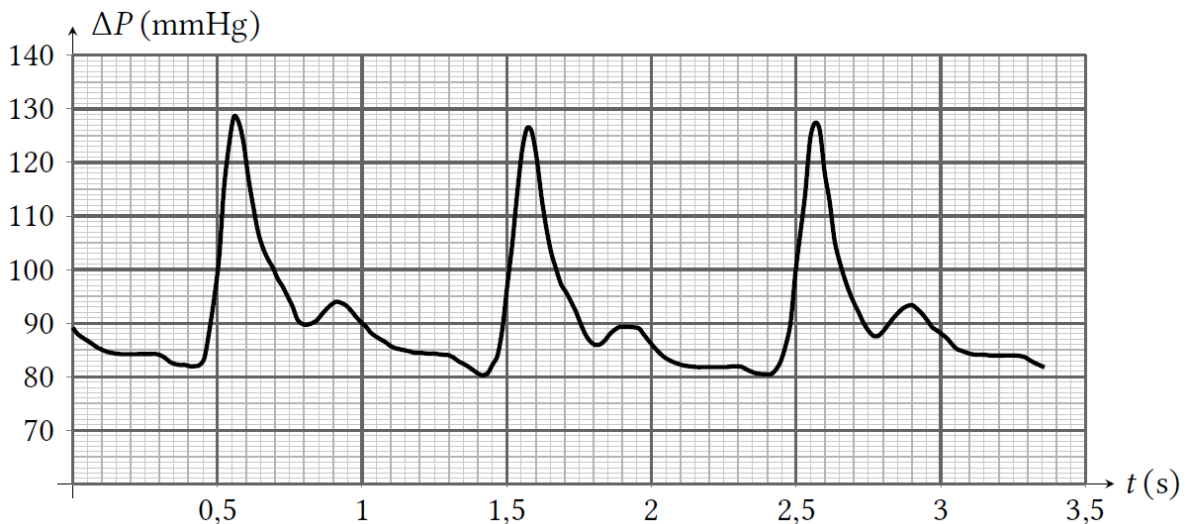


FIGURE 2 – Mesure de la pression artérielle en fonction du temps.

Les médecins utilisent fréquemment la formule $\Delta P_{a,\text{moy}} = \frac{\Delta P_{a,\text{sys}} + 2 \Delta P_{a,\text{dia}}}{3}$ pour calculer la pression artérielle moyenne, avec $\Delta P_{a,\text{sys}}$ la pression artérielle systolique, et $\Delta P_{a,\text{dia}}$ la pression artérielle diastolique.

9. Déterminer la pression artérielle moyenne $\Delta P_{a,\text{moy}}$.
10. Estimer la fréquence cardiaque f en battements par minute (notés *battements* · min^{-1}).
11. Sachant que le débit de volume de sang est de $D_V = 5,0 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ au repos, déterminer le volume de sang V_1 envoyé par le cœur à chaque battement. On exprimera V_1 en mL .