EXERCICE 1 commun à tous les candidats (4 points)

(physique-chimie et mathématiques).

L'étude proposée concerne un avion A320 d'environ 180 places.

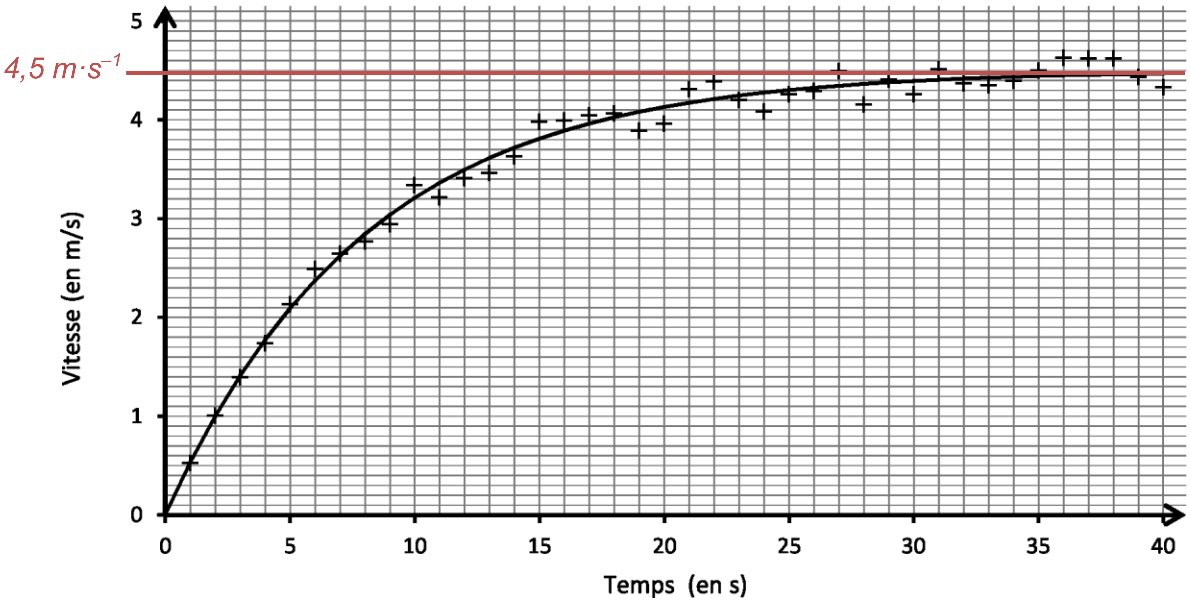
1. Exprimer en fonction de A, $\lim\limits_{t \to \infty} f(t)$.

$\lim\limits_{t \to \infty} f(t) = \lim\limits_{t \to \infty} A \times (1 - e^{-0,13t})$

Or, $\lim\limits_{t \to \infty} e^{-0,13t} = 0$

Donc $\lim\limits_{t \to \infty} f(t) = \lim\limits_{t \to \infty} A \times (1 - 0) = A$

2. Conjecturer la valeur de A à l'aide du graphique.



La valeur de A correspond à la limite de $f(t)$ quand t tend vers l'infini, donc à l'asymptote horizontale de la courbe ci-dessus : donc $A = 4{,}5\ m \cdot s^{-1}$.

3. Montrer que $v'(t) = 0{,}585 \times e^{-0,13t}$. En déduire l'accélération initiale de l'avion.

$v(t) = 4{,}5 \times (1 - e^{-0,13t}) = 4{,}5 - 4{,}5 \times e^{-0,13t}$

Donc $v'(t) = 0 - 4{,}5 \times -0{,}13 \times e^{-0,13t} = 0{,}585 \times e^{-0,13t}$

Or l'accélération est la dérivée de la vitesse par rapport au temps, donc $v'(t)$ est l'accélération de l'avion. L'accélération initiale est donc $v'(t = 0) = 0{,}585 \times e^{-0,13 \times 0} = 0{,}585\ m \cdot s^{-2}$.

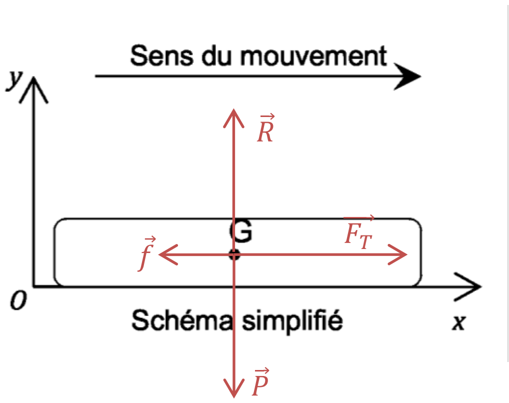
4. Préciser la direction et le sens de la force de traction $\overrightarrow{F_T}$ exercée par les moteurs électriques sur l'avion.

La force de traction $\overrightarrow{F_T}$ est horizontale vers la droite (dans le sens du mouvement).

5. Recopier le schéma simplifié sur votre copie et représenter en G, sans souci d'échelle, toutes les forces s'exerçant sur l'avion. Indiquer le nom de chacune de ces forces.

L'avion est soumis à :

- *Son poids $\vec{P}$;*
- *La réaction du sol $\vec{R}$*
- *La force de traction $\overrightarrow{F_T}$*
- *Des forces de frottements modélisées par une force $\vec{f}$*



6. On se place à l'instant $t = 0\ s$. En appliquant le principe fondamental de la dynamique, montrer que si l'on néglige les forces de frottement, on peut écrire $F_T = m \times a$.

D'après la 2e loi de Newton appliquée à l'avion :

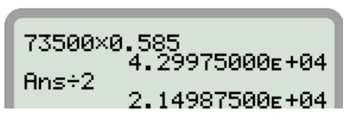
$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = m \times \vec{a}$ *, soit :* $\vec{P} + \vec{f} + \vec{R} + \overrightarrow{F_T} = m \times \vec{a}$

En projetant sur l'axe (Ox) et en négligeant les forces de frottements, il vient : $F_T = m \times a$

7. En déduire la valeur de la force de traction exercée par chacun des moteurs électriques lors du démarrage de l'avion, sachant que l'accélération à $t = 0\ s$ est estimée à 0,585 m·s^{-2}.

En charge maximale, l'avion pèse 73500 kg, donc :

$F_T = m \times a = 73500 \times 0{,}585 = 4{,}30 \times 10^4\ N$



L'avion est équipé de 2 moteurs, donc la valeur de la force de traction exercée par chacun des moteurs électriques est de 2,15×10^4 N.

EXERCICE 2 commun à tous les candidats (6 points)
(physique-chimie)

Le robot d'assistance à la personne Romeo

1. Déterminer le nombre d'accumulateurs à placer en série et en parallèle pour obtenir le pack batterie complet qui alimente le robot Romeo. Justifier votre réponse.

Un accumulateur a une tension nominale de 3,2 V, donc pour atteindre une tension nominale de 48 V, il faut $\frac{48}{3,2} = 15$ *accumulateurs en série.*
Un accumulateur a une capacité nominale de 1100 mA·h, donc pour atteindre une capacité nominale de 3300 mA·h, il faut mettre en parallèle $\frac{3300}{1100} = 3$ *séries de 15 accumulateurs.*

2. Déterminer la masse du pack batterie.

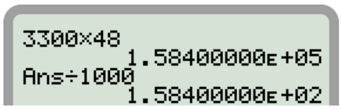
Un accumulateur pèse 38,8 g.

Donc un pack de 45 accumulateurs pèse $38,8\ g \times 45 = 1746\ g\ \approx 1,75\ kg.$

3. Déterminer l'énergie que peut fournir le pack batterie.

$E = Q \times U = 3300\ mA \cdot h \times 48\ V$

$E = 1,58 \times 10^5\ mW \cdot h = 158\ W \cdot h$



4. Justifier le choix de la technologie $LiFePO_4$ pour assurer l'autonomie énergétique du robot Romeo.

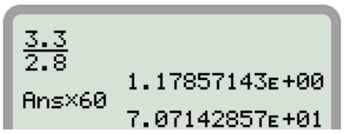
Les batteries $LiFePO_4$ sont celles qui ont l'énergie massique la plus élevée (pour une même masse, elles stockent plus d'énergie, ou pour avoir une certaine énergie, elles pèseront moins lourd).

De plus, elles ont une durée de vie plus élevée.

5. En considérant que la valeur moyenne de l'intensité du courant débité est de 2,8 A, déterminer l'autonomie de fonctionnement du robot. Exprimer le résultat en minute. Commenter.

On a $Q = I \times \Delta t$, *donc* $\Delta t = \frac{Q}{I}$

$\Delta t = \frac{3300\ mA \cdot h}{2,8\ A} = \frac{3,3\ A \cdot h}{2,8\ A} = 1,18\ h \approx 71\ min$



Ce robot ne peut fonctionner qu'un peut plus d'une heure, c'est une autonomie un peu faible pour l'utilisation souhaitée.

6. Écrire l'équation de la réaction modélisant la décharge de l'accumulateur.

Les demi-équations se produisant lors de la décharge sont :

$$FePO_4\ (s) + Li^+ + e^- \rightarrow LiFePO_4\ (s)$$

$$LiC_6\ (s) \rightarrow 6\ C\ (s) + Li^+ + e^-$$

Donc la réaction modélisant la décharge de l'accumulateur est :

$FePO_4\ (s) \cancel{+ Li^+ + e^-} + LiC_6\ (s) \rightarrow LiFePO_4\ (s) + 6\ C\ (s) \cancel{+ Li^+ + e^-}$

Soit : $FePO_4\ (s) + LiC_6\ (s) \rightarrow LiFePO_4\ (s) + 6\ C\ (s)$

7. Lors de la décharge de l'accumulateur, préciser si l'on observe, à la borne négative, une réaction d'oxydation ou de réduction. Justifier votre réponse.

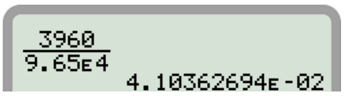
Lors de la décharge, à la borne négative, on observe : $LiC_6\ (s) \rightarrow 6\ C\ (s) + Li^+ + e^-$

C'est une réaction de perte d'électron, donc une oxydation.

8. On rappelle que la capacité nominale d'un accumulateur est de 1100 mA·h. Déterminer la quantité de matière d'électrons que doit faire circuler l'accumulateur lors de sa décharge complète.

$1\ A\cdot h\ =\ 3600\ C$, *donc* $1100\ mA\cdot h\ =\ 1{,}1\ A\cdot h\ =\ 1{,}1\ \times\ 3600\ C\ =\ 3960\ C$

$Q = n(e^-) \times F$, *donc* $n(e^-) = \frac{Q}{F} = \frac{3960\ C}{9{,}65\times10^4 C\cdot mol^{-1}} = 4{,}1 \times 10^{-2}\ mol.$

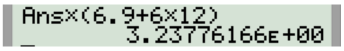


9. En déduire la masse nécessaire de chacune des électrodes $FePO_4$ et LiC_6 présentes dans un accumulateur.

D'après la demi-équation à la borne négative, il faut une quantité de LiC_6 *:*

$n_{LiC_6} = n(e^-) =\ 4{,}1 \times 10^{-2}\ mol$

Ce qui correspond à une masse $m_{LiC_6} = n_{LiC_6} \times M_{LiC_6}$



$m_{LiC_6}\ =\ n_{LiC_6} \times (M_{Li} + 6 \times M_C) =\ 4{,}1 \times 10^{-2}\ mol \times (\ 6{,}9 + 6 \times 12) g\cdot mol^{-1} = 3{,}24\ g$

De même d'après la demi-équation à la borne positive : $n_{FePO_4} = n(e^-) =\ 4{,}1 \times 10^{-2}\ mol$

Ce qui correspond à une masse $m_{FePO_4}\ = n_{FePO_4} \times M_{FePO_4}$

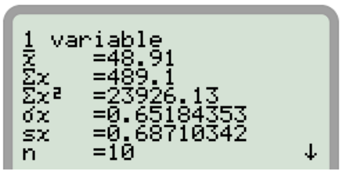
$m_{FePO_4}\ =\ n_{FePO_4} \times (M_{Fe} + M_P +\ 4 \times M_O)$

$m_{FePO_4}\ =\ 4{,}1 \times 10^{-2}\ mol \times (\ 55{,}8 + 31 + 4 \times 16) g\cdot mol^{-1} = 6{,}19\ g$

10. Déterminer la valeur moyenne U_{0m} des 10 mesures de la tension à vide.

$$U_{om}\ = \frac{48{,}6\ V + 48{,}4\ V + 49{,}6\ V + 49\ V + 47{,}8\ V + 50\ V + 48{,}4\ V + 49{,}7\ V + 49\ V + 48{,}6\ V}{10} = 48{,}9\ V$$

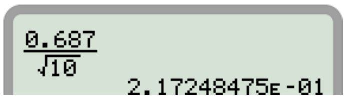
11. Déterminer l'écart-type expérimental σ_{n-1} (aussi noté Sx) lié à la mesure de la tension à vide.



$\sigma_{n-1} = 0{,}687\ V$

12. En déduire la valeur de l'incertitude-type par une approche statistique (type A) sur la moyenne U_{0m} de la tension à vide.

$u(U_{0m}) = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}} = \frac{0{,}687\ V}{\sqrt{10}} = 0{,}217\ V \approx 0{,}22\ V$



13. Comparer la valeur moyenne mesurée et la valeur de référence en nombre d'incertitudes-types les séparant. Conclure quant à la conformité de ce pack batterie.

Si on considère que l'incertitude type est la même, le quotient est $\frac{|U_{om}-U_{ref}|}{u(U_{om})} = \frac{|48{,}9-48{,}0|}{0{,}22} \approx 4$

Cette valeur est supérieure à 2, le pack n'est pas conforme.

EXERCICE 4 au choix du candidat (6 points)

(physique-chimie)

EXERCICE 4 – A : EFFAROUCHEUR D'OISEAUX

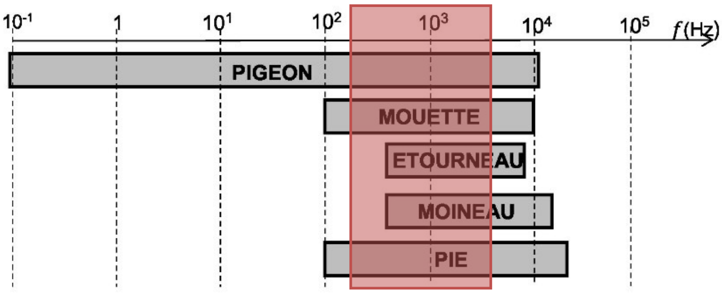
Mots-clés : fréquence, période, vitesse du son, niveau sonore

1. Déterminer la valeur de la puissance électrique absorbée par le haut-parleur de l'effaroucheur en fonctionnement.

$P = U \times I = 12\ V \times 4{,}5\ A = 54\ W$

2. Indiquer si les fréquences utilisées par le haut-parleur sont adaptées pour faire fuir les oiseaux.

La bande passante est de 300 Hz à 5 kHz, elle couvre une partie des spectres audibles par tous les oiseaux. Les fréquences sont donc adaptées.

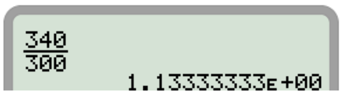


3. Indiquer si ces fréquences sont audibles par l'oreille humaine. Justifier.

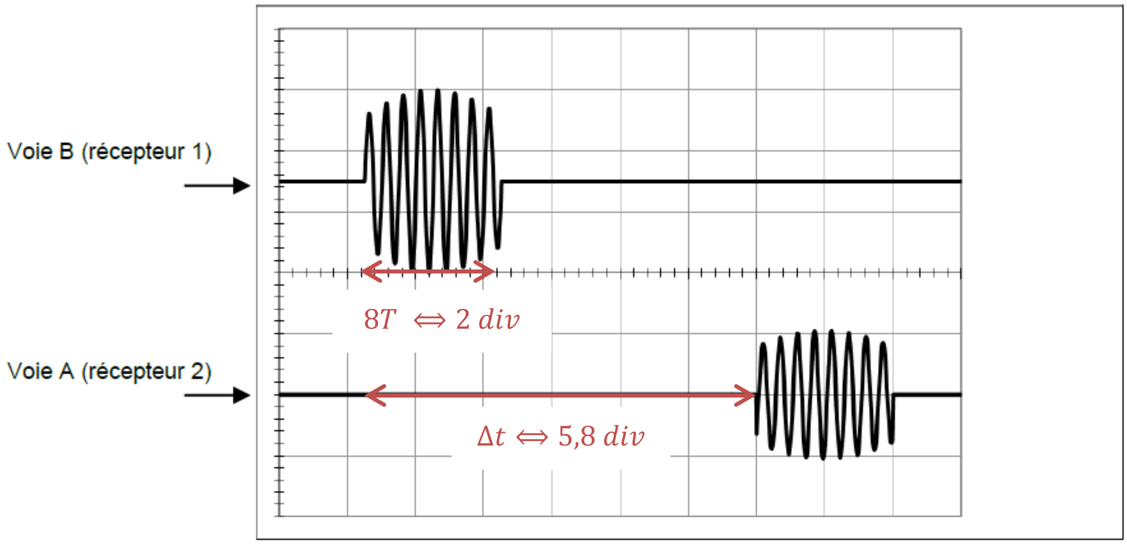
Les sons audibles par les humains ont des fréquences comprises entre 20 Hz et 20 kHz, donc ces fréquences sont audibles par l'oreille humaine.

4. Déterminer la valeur de la longueur d'onde du signal de fréquence 300 Hz.

$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{340\ m{\cdot}s^{-1}}{300\ Hz} = \frac{340\ m{\cdot}s^{-1}}{300\ s^{-1}} = 1{,}13\ m$



5. Déterminer la valeur de la fréquence du signal émis. En déduire que l'étudiant a bien utilisé des ultrasons.



Comme l'oscilloscope est réglée sur 100 µs/div, on a $8T = 200\ \mu s$.

On en déduit la période du signal : $T = \frac{200\ \mu s}{8} = 25\ \mu s$

Donc la fréquence est $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{25 \times 10^{-6}} = 4{,}0 \times 10^4 Hz = 40\ kHz$

Cette fréquence est bien supérieure à 20 kHz, ce sont bien des ultrasons.

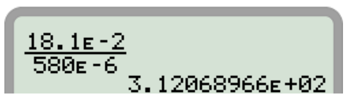
6. Déterminer la valeur expérimentale de la vitesse de propagation du son et l'exprimer en tenant compte de l'incertitude-type.

Avec l'oscillogramme, on peut estimer le retard à 5,8 divisions,

Donc le retard est $\tau = 5{,}8 \times 100\ \mu s = 580\ \mu s$.

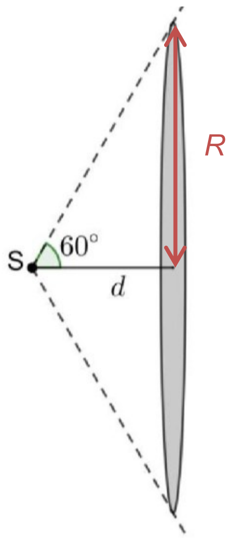
On peut donc déterminer la valeur expérimentale de la vitesse des ultrasons :

$v_{exp} = \frac{D}{\tau} = \frac{18{,}1\ cm}{580\ \mu s} = \frac{18{,}1 \times 10^{-2}\ m}{580 \times 10^{-6}\ s} = 3{,}12 \times 10^2\ m \cdot s^{-1}$ *avec une l'incertitude-type* $u(v) = 0{,}3 . 10^2\ m \cdot s^{-1}$



Donc $v_{exp} = (3{,}1 \pm 0{,}3) \times 10^2\ m \cdot s^{-1}$

7. Déterminer la valeur de la surface du disque situé à une distance d = 1 m de la source S.

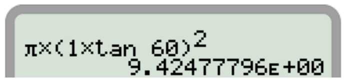


Le rayon R du disque est tel que $\tan\alpha = \frac{R}{d}$

Donc $R = d \times \tan\alpha$

Donc la valeur de sa surface est $S = \pi \cdot R^2 = \pi \cdot (d \times \tan\alpha)^2$

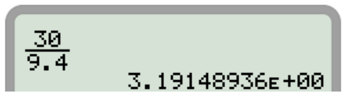
Soit : $S = \pi \times (1\,m \times \tan 60°)^2 = 9{,}4\,m^2$



8. En utilisant les caractéristiques techniques du haut-parleur de l'effaroucheur, vérifier que l'intensité acoustique I à 1 m de la source est proche de 3 W·m^{-2}.

D'après les données, la puissance acoustique de sortie est égale à 30 W.

Donc $I = \frac{P}{S} = \frac{30\,W}{9{,}4\,m^2} = 3{,}19\,W \cdot m^{-2} \approx 3\,W \cdot m^{-2}$



9. Conclure quant à la véracité de l'information fournie par le fabricant concernant le niveau sonore à 1 m des haut-parleurs.

$L = 10 \times \log\frac{I}{I_0} = 10 \times \log\frac{3{,}19\,W\cdot m^{-2}}{1\times10^{-12}\,W\cdot m^{-2}} \approx 125\,dB$

Ce qui confirme l'indication du fabriquant qui annonce un niveau sonore supérieur à 120 dB.

EXERCICE 4 au choix du candidat (6 points)

(physique-chimie)

EXERCICE 4 – B : DÉGIVRAGE

Mots-clés : capacité thermique, chaleur latente, résistance

1. Déterminer la masse de glace m déposée sur l'aile de l'avion.

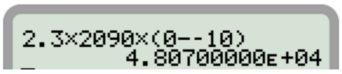
On calcule d'abord le volume de glace :

$V = S \times e = 5{,}0\ m^2 \times 0{,}5\ mm = 5{,}0\ m^2 \times 0{,}5 \times 10^{-3}\ m = 2{,}5 \times 10^{-3}\ m^3$

Soit un volume $V = 2{,}5\ L$ de glace.

$m = \rho_{es} \times V = 0{,}92\ kg \cdot L^{-1} \times 2{,}5\ L = 2{,}3\ kg$

2. Exprimer puis déterminer la valeur E_1 de l'énergie nécessaire pour augmenter la température de la glace de -10°C à 0°C.



$E_1 = m \times c_{es} \times (T_{fin} - T_{init})$

$E_1 = 2{,}3\ kg \times 2090\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1} \times (0-(-10))\ K = 4{,}8 \times 10^4\ J = 48\ kJ$

3. Exprimer puis déterminer la valeur E_2 de l'énergie nécessaire pour transformer à 0°C la glace en eau liquide.

$E_2 = m \times L = 2{,}3\ kg \times 333\ kJ \cdot kg^{-1} = 7{,}7 \times 10^2 kJ$

4. En déduire la valeur de l'énergie totale nécessaire à cette opération de dégivrage.

$E = E_1 + E_2 = 48\ kJ + 7{,}7 \times 10^2 kJ = 8{,}1 \times 10^2\ kJ$

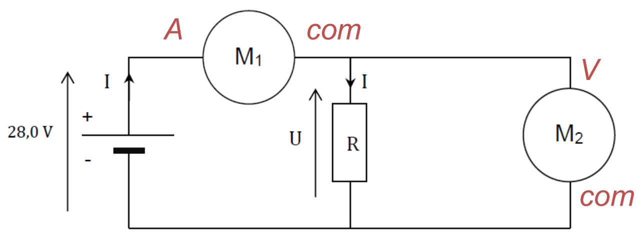
Schéma électrique du dégivrage :

5. Nommer et identifier les appareils M_1 et M_2 permettant la mesure de la tension aux bornes du conducteur ohmique de résistance R et de l'intensité du courant dans le circuit.

M_1 est l'ampèremètre permettant la mesure de l'intensité du courant.

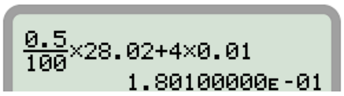
M_2 est le voltmètre permettant la mesure de la tension aux bornes du conducteur ohmique.

6. Préciser les polarités de chaque appareil de mesure.



7. Déterminer la valeur de l'incertitude-type de la tension sachant que le multimètre affiche une valeur de tension de 28,02 V.

L'incertitude-type est de ± 0,5% de la valeur lue + 4 digits, soit :



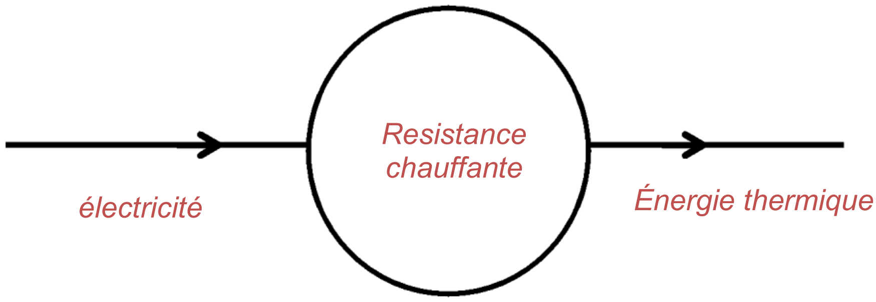
$\pm \frac{0,5}{100} \times 28,02\ V + 4 \times 0,01\ V = \pm\ 0,18\ V$

8. Ecrire le résultat de la mesure de la tension avec l'incertitude-type associée.

La tension est $U = 28,02\ \pm\ 0,18\ V$ *ou* $U = 28,0\ \pm\ 0,2\ V$ *si on arrondi l'incertitude-type à 1 seul chiffre significatif.*

Chaîne énergétique simplifiée d'une résistance chauffante :

9. Recopier sur votre copie et compléter la chaîne énergétique de la résistance chauffante.



10. Déterminer la valeur de la puissance de la batterie nécessaire afin d'alimenter la totalité des résistances.

D'après les données, il y a cinq éléments chauffants résistifs consommant chacun une puissance électrique $P_E = 250\ W$.

Il faut donc que la puissance de la batterie soit : $P = 5 \times P_E = 5 \times 250\ W = 1250\ W$

11. En admettant qu'il n'y a pas de perte thermique au niveau des éléments chauffants résistifs, déterminer la durée t_1 permettant le dégivrage complet de l'aile. Commenter le résultat.

D'après la question 4, il faut fournir à la glace une énergie $E = 8,1 \times 10^2\ kJ$ *pour la faire fondre.*

$E = P \times \Delta t$ *donc* $\Delta t = \frac{E}{P} = \frac{8,1 \times 10^2\ kJ}{1250\ W} = \frac{8,1 \times 10^5\ J}{1250\ W} = 6,5 \times 10^2 s$ *(soit un peu plus de 10 min).*

Cette durée est assez rapide, mais sous-estimée car on a négligé les différentes pertes lors des calculs.