

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2021

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE

Physique-Chimie et Mathématiques

Durée de l'épreuve : **3 heures**

*L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège » est autorisé.*

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 17 pages numérotées de 1/17 à 17/17.

La page 17/17 est une annexe du sujet, à rendre avec la copie.

PHYSIQUE-CHIMIE 14/20 points
MATHÉMATIQUES 6/20 points

Le candidat sera attentif aux consignes contenues dans le sujet pour traiter les 4 exercices.

EXERCICE 1 commun à tous les candidats (4 points)

(physique-chimie et mathématiques)

Le son est produit par la vibration d'objets et il arrive jusqu'à nos oreilles sous forme d'ondes se propageant dans l'air. Les sons sont perçus de manière plus ou moins intense.

L'intensité sonore, ou intensité acoustique notée I et exprimée en W.m^{-2} , caractérise l'intensité du signal perçue par l'oreille.

On calcule le niveau d'intensité sonore noté L en décibels (dB) à partir de l'intensité sonore notée I (W.m^{-2}) par la relation : $L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$.

On rappelle que $I_0 = 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$ (intensité sonore minimale de référence).

Les deux parties peuvent être traitées de façon indépendante.

Partie A : onde sonore et intensité

Nos oreilles peuvent être endommagées irrémédiablement si le niveau d'intensité sonore et la durée d'exposition au bruit sont trop importants.

Une personne souhaite assister au décollage de la fusée Ariane sans protection auditive.

Après avoir déterminé le niveau d'intensité sonore de la fusée Ariane au décollage, au voisinage de la rampe de lancement, utiliser les données ainsi que vos connaissances pour déterminer à quelle distance minimale la personne doit être de la rampe de lancement pour s'assurer que le bruit du décollage ne présente aucun risque pour son audition.

Données :

L'intensité acoustique du bruit généré par le décollage de la fusée Ariane vaut 10^2 W.m^{-2} à une distance de 100 m de la rampe de lancement.

On considère, pour simplifier, que l'oreille humaine ne subit pas de dommage pour un son dont le niveau d'intensité sonore ne dépasse pas 100 dB, pendant une durée d'exposition ne dépassant pas quatre minutes par jour.

Le niveau d'intensité sonore diminue de 20 dB lorsque la distance par rapport à la source est multipliée par 10. Ainsi pour une distance à la source $d_2 = 10 d_1$,

$$L(d_2) = L(d_1) - 20 \text{ dB}.$$

Partie B : étude mathématique

1. On rappelle que $L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$. Montrer que $I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}}$.

2. Calculer l'intensité sonore pour $L = 50$ dB.

3. L'intensité sonore I double-t-elle lorsque l'on double le niveau d'intensité sonore L ?

4. Pour une distance à la source d_1 (resp. d_2), on note L_1 (resp. L_2) le niveau d'intensité sonore à la distance d_1 (resp. d_2) de la source et I_1 (resp. I_2) l'intensité sonore à la distance d_1 (resp. d_2) de la source.

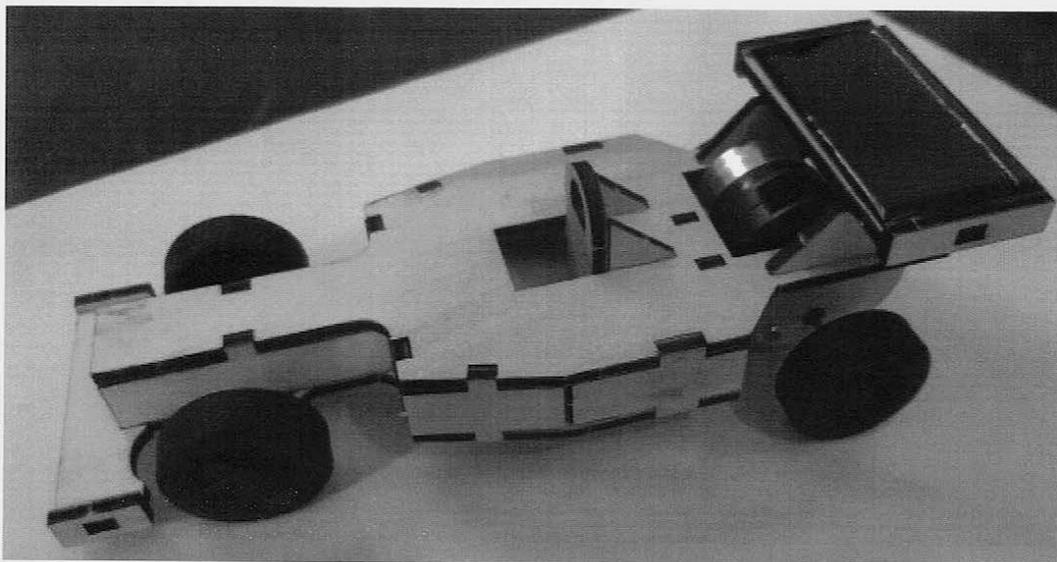
Le niveau d'intensité sonore diminue de 20 dB lorsque la distance par rapport à la source est multipliée par 10. Ainsi si $d_2 = 10 d_1$, on a : $L_2 = L_1 - 20$ dB.

Montrer que l'intensité sonore est divisée par 100 lorsque la distance par rapport à la source est multipliée par 10.

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

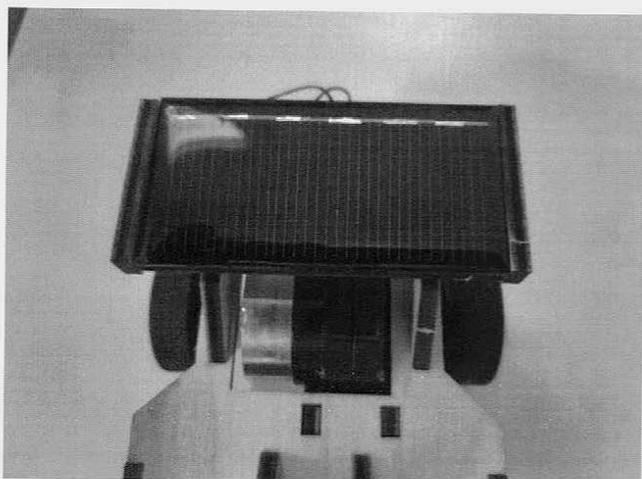
L'étude porte sur une voiture solaire miniature que l'on peut trouver dans le commerce.

Photographies de la voiture



Photographie de la voiture solaire : une cellule photovoltaïque directement branchée sur un moteur à courant continu.

Photographie de la face avant de la cellule
(dimensions : 60 mm × 25 mm).



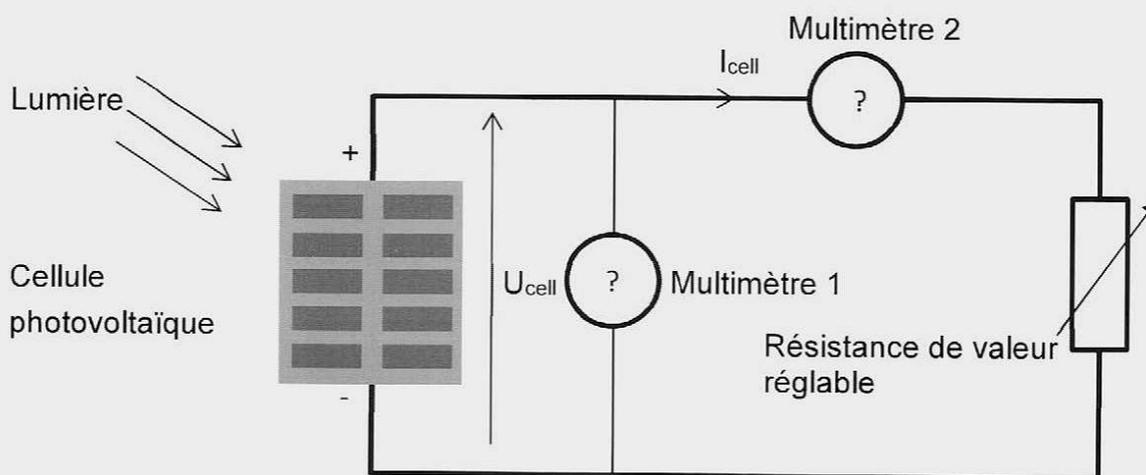
Photographie de la face arrière de la cellule.
Aucune donnée technique n'est précisée, hormis
deux indications au verso de la cellule
photovoltaïque.



Étude expérimentale de la cellule photovoltaïque

On souhaite déterminer les caractéristiques de la cellule photovoltaïque qui alimente le moteur électrique. On cherche tout d'abord à comprendre à quoi correspondent les indications au dos de la cellule. Pour cela, on trace la caractéristique tension/courant de celle-ci. Le montage utilisé est représenté ci-dessous.

Montage expérimental utilisé par l'élève

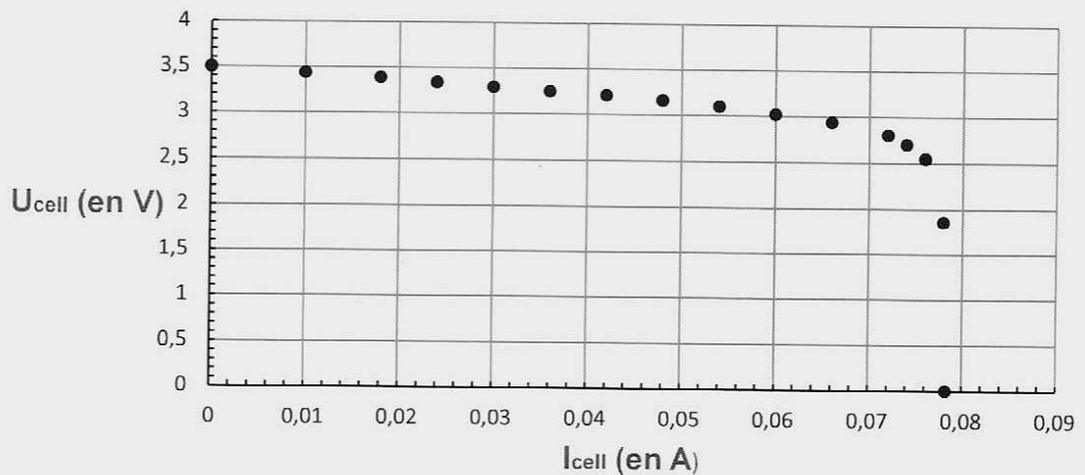


On note U_{cell} la tension aux bornes de la cellule et I_{cell} l'intensité du courant fourni par la cellule.

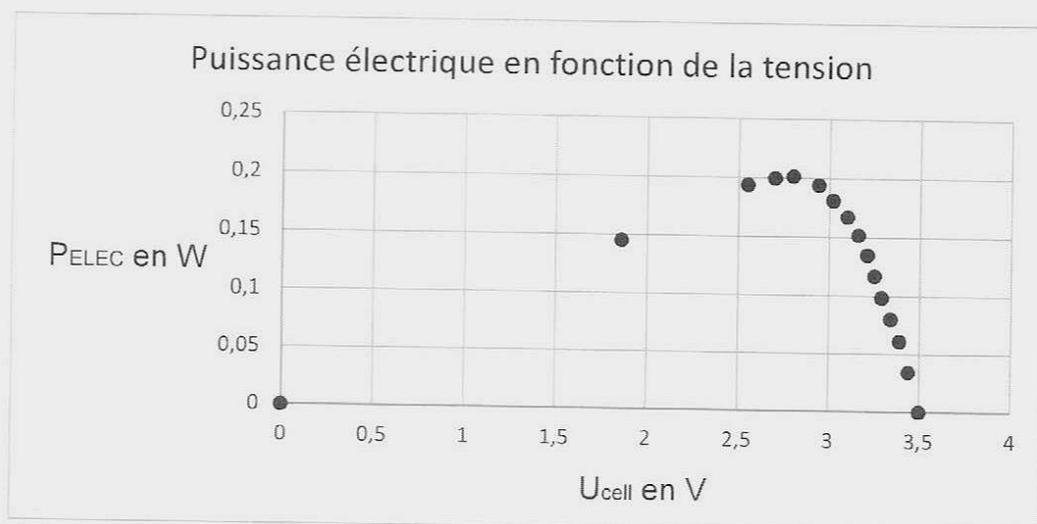
1. Compléter le document réponse DR1 du document réponse à joindre avec la copie en indiquant les fonctions (voltmètre V ou ampèremètre A) des multimètres 1 et 2.
2. Indiquer le rôle de la résistance de valeur réglable dans le montage expérimental.
3. Compléter le diagramme énergétique sur le document réponse DR2 du document réponse à joindre avec la copie

Grâce au montage expérimental, on relève différentes valeurs de la tension U_{cell} aux bornes de la cellule et de l'intensité I_{cell} du courant débité par celle-ci, pour un éclairement reçu par la cellule de 800 W/m^2 puis, on trace la caractéristique tension/courant de la cellule. Celle-ci est représentée ci-dessous.

Caractéristique tension / courant de la cellule solaire



4. On appelle tension à vide la tension aux bornes de la cellule lorsque le circuit est ouvert.
 On appelle intensité de court-circuit, l'intensité du courant débitée par la cellule lorsqu'on court-circuite ses bornes.
 En utilisant la caractéristique tension-courant, déterminer :
- la valeur de la tension à vide U_{CO} ;
 - la valeur de l'intensité de courant de court-circuit I_{CC} .
- Indiquer si ces valeurs correspondent à celles indiquées sur la face arrière de la cellule.
5. On s'intéresse également à la puissance électrique P_{ELEC} délivrée par la cellule. Pour cela, les valeurs de P_{ELEC} sont calculées à partir des valeurs expérimentales de la tension U_{cell} et de l'intensité I_{cell} . La courbe ci-dessous représente la puissance électrique en fonction de la tension aux bornes de la cellule.



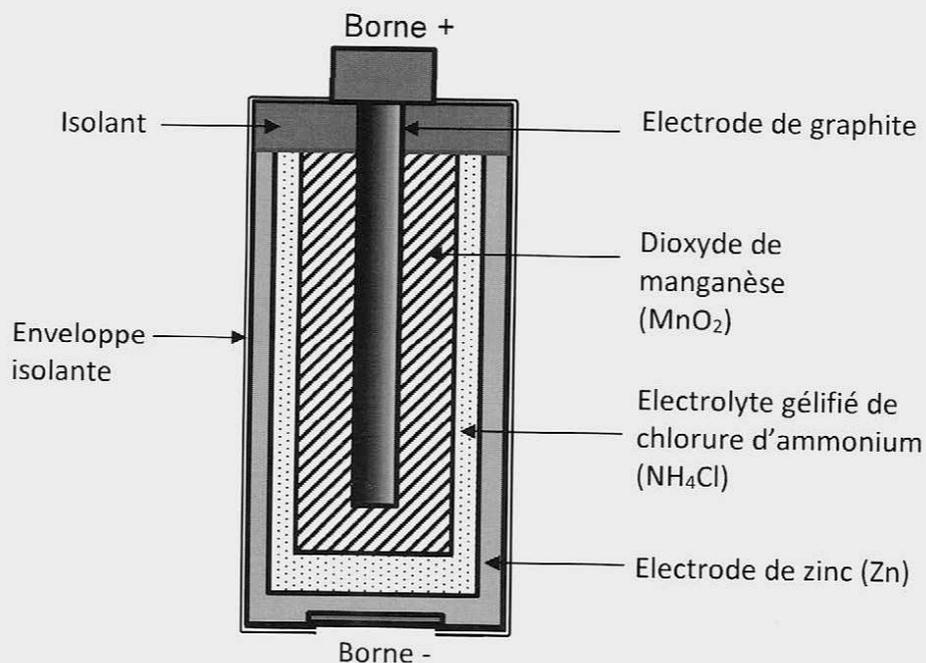
Donner, en précisant les unités, l'expression liant la puissance électrique P_{ELEC} délivrée par la cellule, la tension U_{cell} aux bornes de celle-ci et l'intensité I_{cell} du courant qu'elle génère.

6. Déterminer
 - la valeur de la puissance maximale (appelée *puissance crête*) P_C délivrée par la cellule ;
 - la valeur de la tension U_C correspondant à la puissance crête.
7. Dédire des questions précédentes la valeur de I_C , intensité à la puissance crête.
8. Comparer les valeurs de U_C et I_C avec les valeurs indiquées à l'arrière de cellule photovoltaïque. Commenter la cohérence de ces valeurs.
9. Montrer que, lorsque la cellule fonctionne au point de puissance maximale, son rendement est de l'ordre de 17 %.

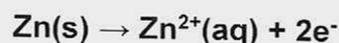
La majorité des petits jouets électriques fonctionnant avec des piles salines, on se propose dans cette partie d'étudier le fonctionnement de telles piles.

La pile saline est de conception assez ancienne puisqu'elle a été mise au point en 1867 par Georges Leclanché (ingénieur français, 1839-1882).

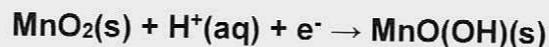
De nos jours, la structure d'une pile saline est la suivante :



Quand la pile est en fonctionnement, l'électrode de zinc est le siège de la transformation chimique modélisée par la réaction électrochimique :



L'électrode de graphite est le siège d'une transformation chimique modélisée par la réaction électrochimique :



Étude de l'électrode de zinc

La pile est reliée à un conducteur par des fils électriques.

10. Lorsque la pile débite un courant électrique, préciser la nature des porteurs de charge électrique dans le circuit extérieur à la pile.
11. Indiquer si le zinc subit une oxydation ou une réduction. Justifier.
12. Préciser si l'électrode de zinc joue alors le rôle d'anode ou de cathode.

Étude du couple du dioxyde de manganèse

13. Écrire le couple oxydant / réducteur auquel appartient le dioxyde de manganèse MnO_2 .

Bilan de fonctionnement de la pile

14. À partir des deux réactions électrochimiques, écrire l'équation de la réaction qui modélise le fonctionnement de la pile.

EXERCICE 3 commun à tous les candidats (4 points)
(mathématiques)

Le candidat doit traiter quatre questions parmi les six que comporte l'exercice. Les questions sont indépendantes. Chacune d'elles est notée sur un point.

Le candidat choisit les quatre questions auxquelles il répond et indique clairement leur numéro sur sa copie en début d'exercice.

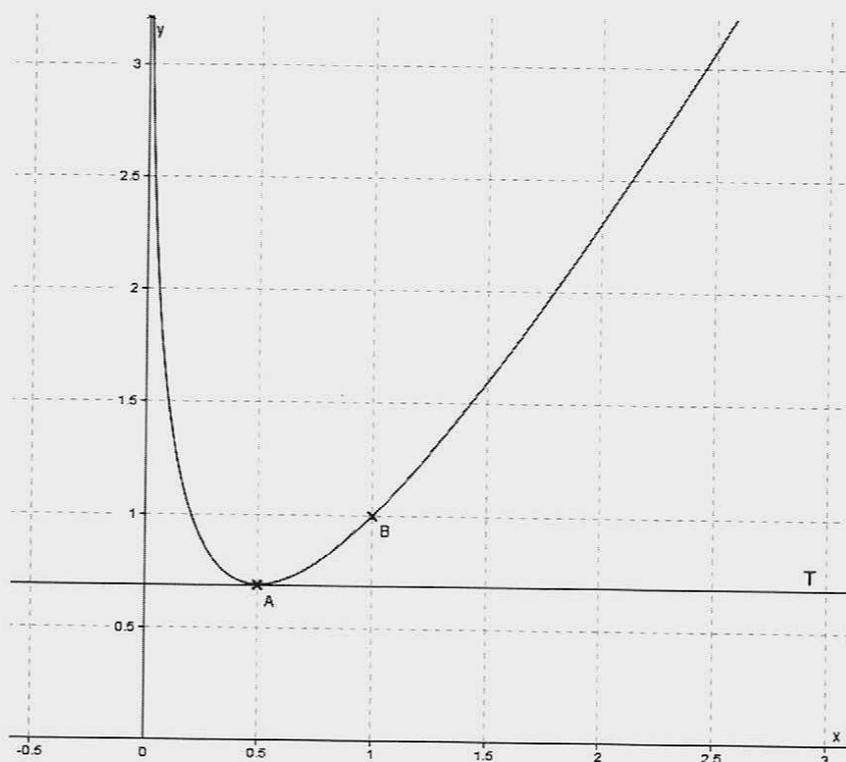
Question 1

On considère la fonction f définie sur $]0; +\infty[$ par $f(x) = ax + b - \ln(x)$ où a et b sont des nombres réels. On note C_f la courbe représentative de f tracée dans le repère ci-dessous.

On note A le point d'abscisse 0,5 appartenant à la courbe C_f .

On note T la tangente à la courbe C_f au point A . La droite T est parallèle à l'axe des abscisses.

Le point $B(1 ; 1)$ appartient à la courbe C_f .



- a. Donner la valeur de $f(1)$. En déduire une relation entre a et b .
- b. Justifier que $f'(0,5) = 0$. En déduire la valeur de a .
- c. En déduire la valeur de b .

Question 2

Une entreprise achète une machine d'une valeur de 300 000 €. Cette machine perd de sa valeur au fil des années. Cette perte exprimée en euro, à l'instant t exprimé en année, est modélisée par la fonction f définie sur $[0 ; 15]$ par :

$$f(t) = 300\,000 (1 - e^{-0,09t}).$$

Au bout de combien d'années (résultat arrondi à l'unité) la machine aura-t-elle perdu la moitié de sa valeur ?

Question 3

On considère la fonction f définie sur $]0 ; +\infty[$ par $f(x) = 2x - 1 - \ln(x)$.

- Montrer que pour tout x appartenant à $]0 ; +\infty[$, $f'(x) = \frac{2x-1}{x}$.
- Dresser le tableau de variation de la fonction f sur $]0 ; +\infty[$ en faisant figurer la valeur exacte de son extremum. On précisera les limites aux bornes de l'intervalle.

Question 4

a. On considère l'équation différentielle (E) : $y' + 0,0434 y = 0$.

Déterminer sur $[0 ; +\infty[$ la solution P de cette équation différentielle qui vérifie la condition initiale $y(0) = 6,75$.

b. Un signal de puissance initiale $P(0) = 6,75$ mW parcourt une fibre optique. La puissance du signal, exprimée en mW, lorsque celui-ci a parcouru une distance de x kilomètres depuis l'entrée de la fibre optique, est donnée par $P(x)$ où P est la fonction déterminée à la question a.

Montrer que la perte de puissance une fois que le signal a parcouru un kilomètre depuis l'entrée est d'environ 287 μ W.

Question 5

Soit f la fonction définie sur \mathbf{R} par $f(x) = (x^2 + 5x + 4) e^x$.

Soit F la fonction définie sur \mathbf{R} par $F(x) = (x^2 + 3x + 1) e^x$.

a. Montrer que, pour tout x appartenant à \mathbf{R} , $F'(x) = f(x)$.

b. Calculer $\int_0^1 f(x) dx$.

Question 6

Rappel : Pour a et b deux réels, on a les formules suivantes :

$$\cos(a + b) = \cos(a)\cos(b) - \sin(a)\sin(b)$$

$$\cos(a - b) = \cos(a)\cos(b) + \sin(a)\sin(b)$$

$$\sin(a + b) = \sin(a)\cos(b) + \cos(a)\sin(b)$$

$$\sin(a - b) = \sin(a)\cos(b) - \cos(a)\sin(b)$$

La tension u aux bornes d'un générateur dépendant du temps t est donnée par :

$$u(t) = 240 \cos(50t) - 240 \sin(50t).$$

La tension u est exprimée en volt et le temps t est exprimé en seconde.

a. Montrer que pour tout t appartenant à $[0 ; +\infty[$, $u(t) = 240\sqrt{2} \cos\left(50t + \frac{\pi}{4}\right)$.

b. En déduire la fréquence $f = \frac{\omega}{2\pi}$, exprimée en Hz, délivrée par le générateur, où ω désigne la pulsation. On arrondira le résultat à l'unité.

EXERCICE 4 au choix du candidat (6 points)
(physique-chimie)

Vous indiquerez sur votre copie l'exercice 4 choisi : exercice 4 – A ou exercice 4 – B

EXERCICE 4 – A : combustibles solides pour randonner léger

Mots clés : combustions, pouvoir calorifique d'un combustible, changements d'états et transferts thermiques.

Extrait d'un site marchand sur un combustible solide à base d'hexamine

- Recharge de combustible essence solide à base d'hexamine pour des réchauds essence solide du marché : 2 tablettes de 4 g permettent de porter 25 cl d'eau à ébullition en 5 minutes.

Données physico-chimiques spécifiques à l'hexamine :

- formule brute $C_6H_{12}N_4$;
- produits de la combustion de l'hexamine dans l'air : diazote N_2 , eau et dioxyde de carbone ;
- pouvoir calorifique massique de l'hexamine : 30 MJ.kg^{-1} .

Extrait d'un site marchand sur un combustible à « gel éthanol »

Le « gel éthanol » est un gel à base d'éthanol (formule brute C_2H_6O) à haut pouvoir énergétique et non toxique.

À fort pouvoir énergétique (28 MJ.kg^{-1}), le « gel éthanol » remplacera aisément votre combustible solide ou liquide habituel dans votre réchaud, mais proposera également des avantages majeurs.

| | |
|---|--|
| <p>Pictogrammes de sécurité pour l'hexamine</p>  | <p>Pictogramme de sécurité pour l'éthanol</p>  |
|---|--|

Données pour l'eau :

- masse volumique : $\mu_{eau} = 1,0 \text{ kg.L}^{-1}$;
- capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_{eau} = 4,2 \text{ kJ.kg}^{-1}.K^{-1}$;
- énergie massique de vaporisation de l'eau : $\ell_{V_{eau}} = 2,3 \times 10^3 \text{ kJ.kg}^{-1}$.

Données pour l'acier inox :

- capacité thermique massique de l'acier inox : $502 \text{ J.kg}^{-1}.K^{-1}$.

1. Écrire pour chaque combustible l'équation de combustion complète dans l'air.

2. Pour le combustible solide à base d'hexamine, calculer l'énergie libérée lors de la combustion de 2 tablettes de combustible.
3.
 - 3.1. Montrer que l'énergie nécessaire pour porter un volume $V = 0,25$ L d'eau liquide de la température $T_1 = 20$ °C à la température $T_2 = 100$ °C (température d'ébullition sous une pression de 1bar) est égale à 84 kJ.
 - 3.2. Calculer le temps nécessaire pour faire bouillir le même volume d'eau avec une bouilloire électrique de 1500 W.
4. Quel est alors le rendement attendu par le fabricant pour ce combustible ?
5. Le réchaud, de masse 223 g, est constitué d'acier inox. L'énergie reçue par le récipient n'a pas été prise en compte dans les calculs précédents afin de les simplifier. Discuter du bien-fondé de cette approximation.
6. En supposant que toute l'énergie est utilisée pour la vaporisation de l'eau, calculer le volume d'eau liquide, portée à 100 °C, que l'on peut vaporiser avec la valeur d'énergie calculée à la question 3. Commenter.
7. Qu'indiquent les pictogrammes de sécurité pour l'hexamine ? Les pouvoirs calorifiques des deux combustibles étant proches, en déduire un des avantages présentés par le gel éthanol.

EXERCICE 4 – B : le rôle du polystyrène extrudé dans l'isolation des murs d'une maison

Mots clés : flux thermique, conduction et résistance thermique.

Le but de cet exercice consiste à vérifier l'amélioration thermique due à une couche supplémentaire d'isolant, ici du polystyrène extrudé, dans les murs d'une maison.

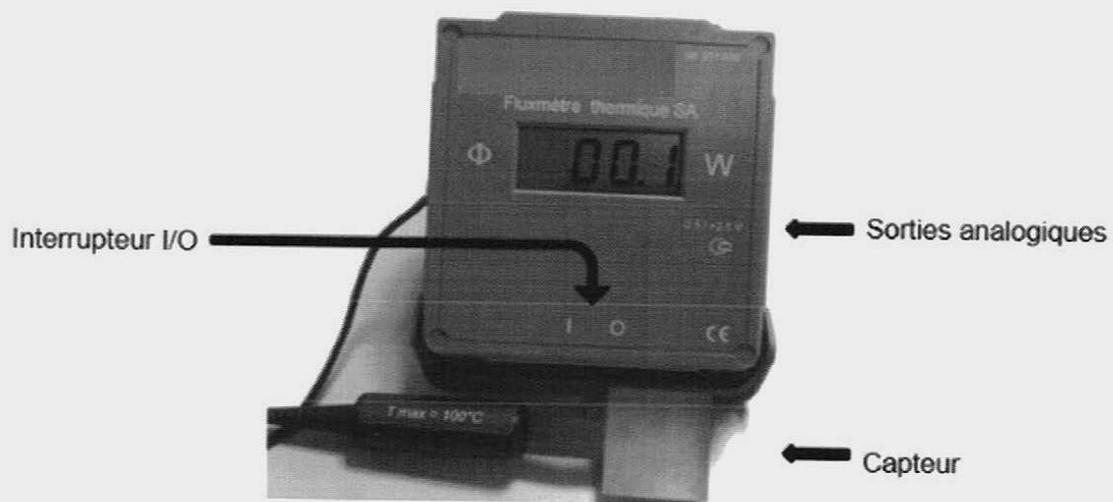
Mesure de la conductivité thermique du polystyrène

Dans un premier temps, il est intéressant de pouvoir déterminer expérimentalement la conductivité thermique du polystyrène extrudé, matériau très utilisé comme isolant thermique car facile à produire et à faible coût.

Pour cela, nous utilisons un fluxmètre thermique qui nous permet de mesurer le flux thermique d'un échantillon de surface S et d'épaisseur e pour une différence de température donnée comme indiqué sur le document ci-dessous.

Présentation et principe de fonctionnement d'un fluxmètre thermique

Le fluxmètre considéré permet une mesure simple et instantanée d'un flux thermique.



Le capteur permet la mesure du flux lorsqu'il est en contact avec les deux faces d'un matériau ayant des températures différentes. Le sens du flux est indiqué sur le capteur (du chaud vers le froid).

Relation permettant le calcul de la conductivité thermique d'un matériau

La conductivité thermique est une grandeur physique qui caractérise la capacité des matériaux à conduire la chaleur. On peut la déterminer grâce à la relation suivante :

$$\lambda_{\text{matériau}} = \frac{e \cdot \Phi}{S \cdot \Delta\theta}$$

avec :

- $\Delta\theta$: écart de température entre les deux surfaces en K ;
- $e_{\text{échantillon}}$: épaisseur du matériau de l'échantillon en m ;
- Φ : flux thermique en W ;
- S : surface d'échange en m^2 ;
- $\lambda_{\text{matériau}}$: conductivité thermique en $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Résistance thermique d'un matériau

La résistance thermique R_{th} d'un matériau traduit sa capacité à échanger un flux thermique. On peut déterminer R_{th} à l'aide de la relation suivante :

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda} ;$$

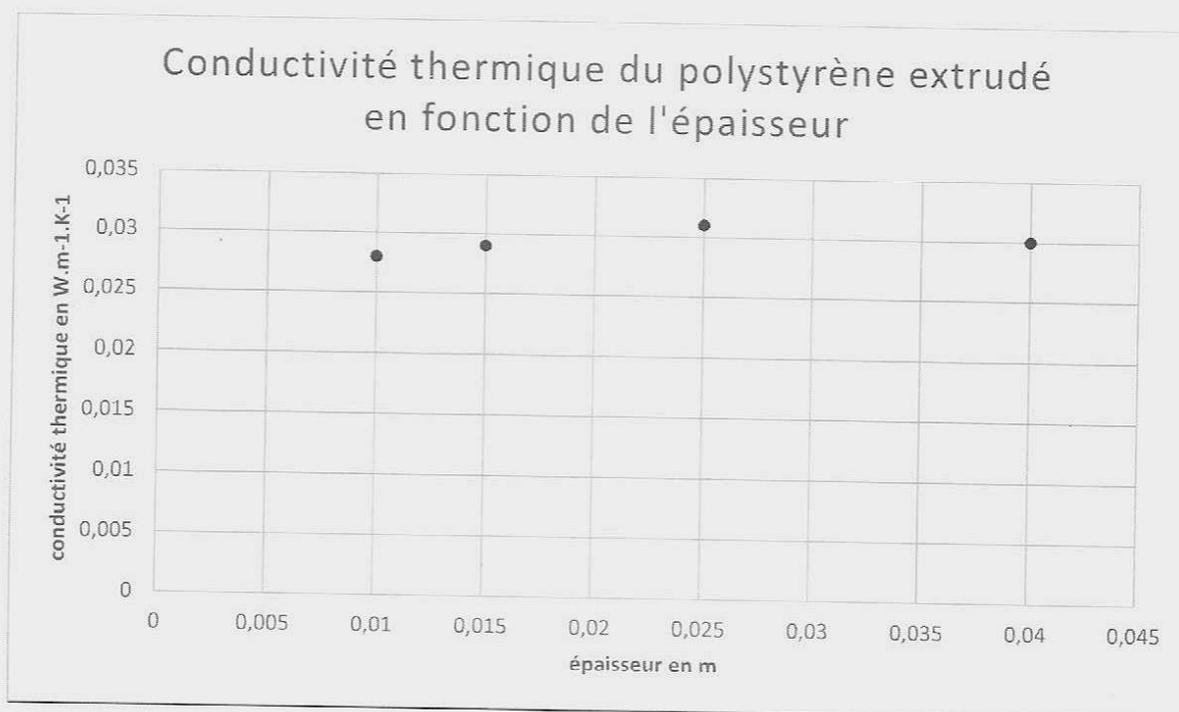
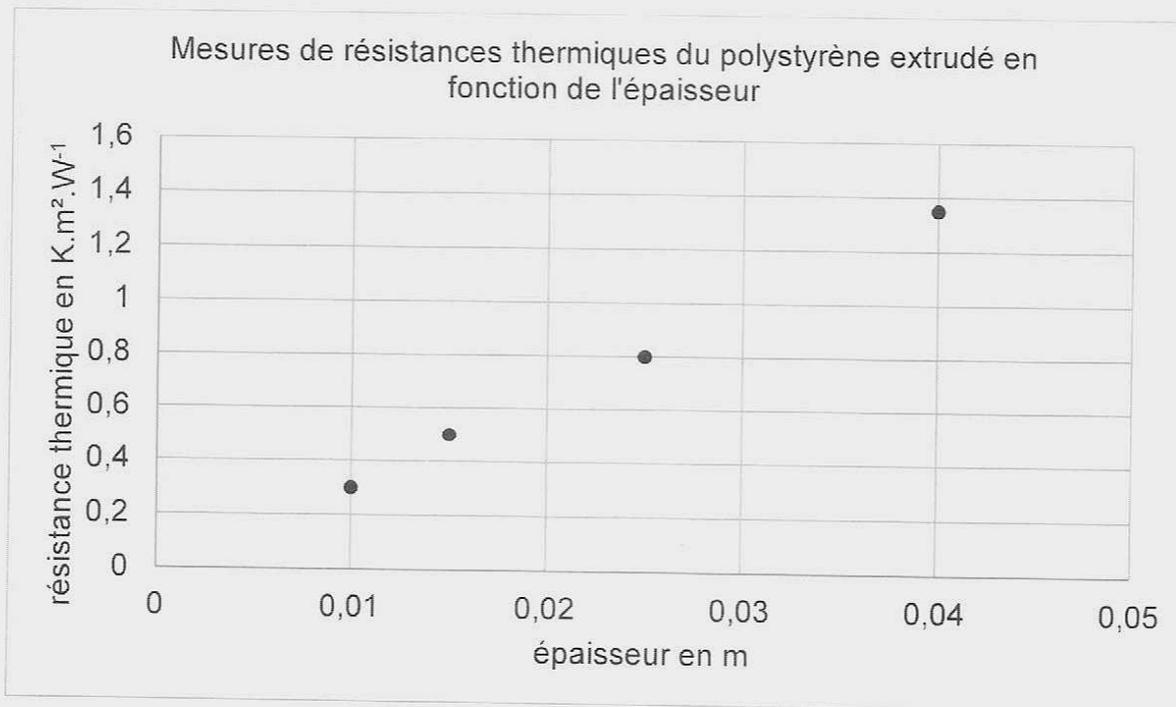
avec e : épaisseur du matériau dans la paroi en m ; λ : conductivité thermique en $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; R_{th} s'exprime en $\text{K} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$.

1. Définir le flux thermique à travers une paroi.

2. À partir des données, proposer une démarche expérimentale qui permet de déterminer la conductivité thermique d'une plaque de polystyrène extrudé d'épaisseur e et de surface S .

Pour avoir une valeur plus précise, des mesures ont été réalisées avec des échantillons d'épaisseurs différentes. Les résultats sont regroupés sur les figures ci-dessous.

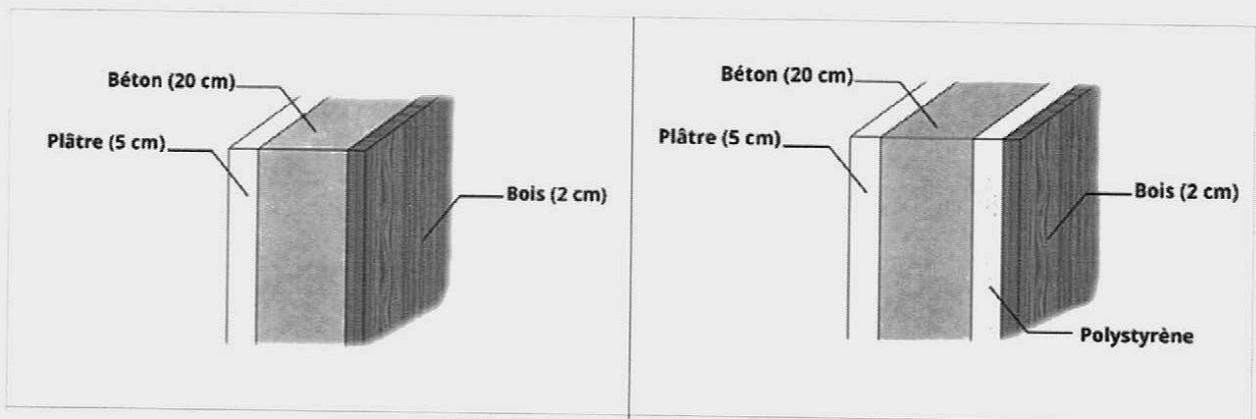
Mesures de résistance thermique du polystyrène extrudé en fonction de l'épaisseur



3. Commenter le tracé de la figure représentant la résistance thermique en fonction de l'épaisseur.
4. Expliquer comment est obtenue la figure représentant la conductivité thermique à partir de celle représentant la résistance thermique.
5. Estimer la valeur de la conductivité thermique du polystyrène extrudé.

Calculs de résistance thermique

Pour améliorer l'isolation d'une maison, il est possible d'ajouter entre le béton et le bois un revêtement en polystyrène, de manière à ce que la résistance thermique surfacique des murs R_{th} respecte la norme RT 2012 à savoir $R_{th} > 4 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$.



Coupe du mur avant isolation

Coupe du mur après isolation

Conductivité thermique de quelques matériaux de construction

- $\lambda_{\text{béton}} = 1,8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;
- $\lambda_{\text{bois}} = 0,15 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;
- $\lambda_{\text{plâtre}} = 0,25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;
- $\lambda_{\text{PSEextrudé}} = 0,040 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

6. À partir des données précédentes, calculer la résistance thermique totale de la coupe du mur avant isolation.
7. La réglementation thermique RT 2012 impose une résistance thermique des murs supérieure à $4,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$. Vérifier si la réglementation thermique RT 2012 est vérifiée avant l'isolation du mur.
8. Calculer l'épaisseur minimale de polystyrène extrudé à utiliser pour que l'isolation du mur soit conforme à la réglementation RT 2012.