

I- Sensibles à la nécessaire réduction des émissions des gaz à effet de serre autant qu'à l'économie financière réalisée, les particuliers désireux de faire construire leur maison d'habitation s'orientent de plus en plus vers l'écoconstruction.

Pour maîtriser au mieux la dépense énergétique, plusieurs points de vigilance sont à considérer : l'isolation, la ventilation, la qualité des ouvertures et la maîtrise des ponts thermiques (endroits du bâtiment où la chaleur s'échappe plus vite).

1. Isolation et chauffage

L'étude porte sur une maison, sans étage et de surface habitable 68 m², dont l'isolation du sol, des murs extérieurs et des combles (espaces sous la toiture) est prévue selon les données du tableau suivant :

	Surface (m ²)	Matériaux	Épaisseur (cm)	Conductivité thermique λ (W.m ⁻¹ K ⁻¹)	Résistance thermique (S.I.)
Sol	70	mortier chaux	25	0,17	0,021
Vitres	15	triple vitrage verre/air	3,6	0,023	0,10
Combles (espaces sous la toiture)	79	gypse / cellulose	1,3	0,35	0,053
		granulé de chanvre	20	0,048	
Murs extérieurs	85	enduit plâtre	1,5	0,50	
		briques plâtrières	5,0	0,80	
		panneaux liège expansé	6,0	0,040	
		brique creuse standard	20	0,60	
		enduit sable/chaux	2,5	1,05	

Définition d'une maison passive

On dit d'une maison qu'elle est passive lorsque ses besoins en chauffage sont inférieurs à 15 kWh par m² habitable et par an contre 250 à 300 kWh par m² habitable et par an en moyenne pour les besoins en chauffage d'un bâtiment classique.

1 kWh correspond à 3,6 MJ.

D'après le site <http://fr.ekopédia.org>

Résistance thermique d'une paroi d'isolation

La résistance thermique R_{th} d'une paroi plane a pour expression : $R_{th} = \frac{e}{\lambda.S}$ où e est l'épaisseur du matériau (m), λ la conductivité thermique caractérisant le matériau (W.m⁻¹.K⁻¹) et S la surface de la paroi (m²).

En pratique, une paroi est constituée de plusieurs couches de matériaux d'épaisseur et de conductivité différentes. Dans ce cas, les résistances thermiques de chaque couche s'additionnent.

Flux thermique

Le flux thermique Φ exprimé en watt (W), est l'énergie transférée à travers une paroi par unité de temps.

Son expression est : $\Phi = \frac{Q}{\Delta t}$ où Q est l'énergie thermique (J) et Δt le temps (s).

Lorsque les températures extérieure T_e et intérieure T_i sont constantes au cours du temps, avec $T_i > T_e$, le flux thermique peut s'exprimer aussi par : $\Phi = \frac{T_i - T_e}{R_{th}}$ où R_{th} est la résistance thermique de la paroi considérée.

- 1.1. Déterminer, par analyse dimensionnelle, l'unité d'une résistance thermique.
- 1.2. Pour une surface donnée à isoler, expliquer qualitativement dans quel sens doivent évoluer les caractéristiques d'une paroi pour augmenter l'isolation de l'habitation.
- 1.3. Calculer la résistance thermique des murs extérieurs R_m , en précisant l'unité.
- 1.4. Pour obtenir une résistance thermique identique à celle des combles, quelle devrait être la valeur de l'épaisseur d'une couche de laine de verre de conductivité thermique $\lambda_{lv} = 0,038 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$?

On suppose que l'on utilise uniquement ce matériau.

1.5. Dans la région où est prévue la construction de la maison, la température extérieure moyenne du sol en hiver est d'environ 10°C et celle de l'air extérieur, 4°C .

Un poêle à bois maintient la température intérieure de la maison constante à $T_i = 19^\circ\text{C}$.

Pendant une journée, les valeurs des transferts thermiques sont alors :

- pour les murs extérieurs : $Q_m = 56 \text{ MJ}$;
- pour les vitres : Q_v ;
- pour le sol : $Q_s = 37 \text{ MJ}$;
- pour les combles : $Q_c = 24 \text{ MJ}$.

1.5.1. Préciser le sens dans lequel s'effectuent les transferts thermiques.

1.5.2. Calculer Q_v ; en déduire la valeur de la chaleur fournie par un poêle à bois pendant une journée.

1.6. Dans ces conditions, si, par an, la période de chauffage dure 100 jours, peut-on considérer la maison comme passive ?

II-

Un moteur électrique est alimenté par un générateur de tension continue $U_1 = 24 \text{ V}$ délivrant un courant d'intensité $I_1 = 2,0 \text{ A}$. Le moteur fournit à l'extérieur une puissance mécanique P_m .

- 1) a) Donner l'expression calculer de la puissance P_1 reçue par le moteur, en fonction de U_1 et I_1 . Calculer P_1 .
 - b) Par quel mode de transfert le moteur reçoit-il cette énergie ?
 - c) Déterminer l'énergie W_1 consommée par le moteur en 15 min.
- 2) Pendant cette durée, l'axe du moteur transfère $W = 36 \text{ kJ}$ à un ensemble de rouages.
 - a) Par quel mode cette énergie est-elle transférée ?
 - b) Exprimer et calculer le rendement η du moteur.
 - c) Schématiser la chaîne énergétique en représentant tous les transferts d'énergie observés dans ce dispositif {Générateur-Moteur-Rouages}.

III- Arrivé sur le green horizontal, un joueur de golf doit effectuer un put de longueur $\ell = 6,0 \text{ m}$ pour que sa balle, de masse m , aille dans le trou.

Le joueur communique à la balle une vitesse initiale de valeur v_0 .

La balle, assimilée à un point matériel, est alors animée d'un mouvement rectiligne.

Durant son mouvement, elle est soumise à une force de frottement constante de valeur $F = 4,0 \times 10^{-2} \text{ N}$.

- a)- Faire l'inventaire des forces qui s'exercent sur la balle pendant son mouvement et les représenter sur un schéma.
 - b)- Donner l'expression du travail de chacune des forces au cours du mouvement.
- 2)- L'énergie mécanique de la balle se conserve-t-elle au cours du mouvement ?
- 3)- Quelle doit être la valeur de v_0 pour que la balle atteigne le trou avec une vitesse nulle ?
- Donnée : $m = 45 \text{ g}$

Corrigé

I-

1.1. D'après l'énoncé : $R_{th} = \frac{e}{\lambda \times S}$

Annotations : e (m), $\lambda \times S$ ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$), S (m^2)

Donc R_{th} s'exprime en $\frac{m}{W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1} \cdot m^2} = \frac{1}{W \cdot K^{-1}} = K \cdot W^{-1}$

Remarque : on retrouve aussi ce résultat avec la relation $\Phi = \frac{T_i - T_e}{R_{th}}$ ainsi $R_{th} = \frac{T_i - T_e}{\Phi}$

Annotations : $T_i - T_e$ (K), Φ (W)

1.2. Pour avoir une meilleure isolation, il faut une résistance thermique élevée.

Comme $R_{th} = \frac{e}{\lambda \times S}$, avec la surface S à isoler constante, on peut :

- augmenter l'épaisseur e de la paroi (e au numérateur),
- choisir un matériau moins bon conducteur thermique, ainsi λ est plus faible (λ au dénominateur).

Voir l'animation : http://scphysiques.free.fr/TS/physiqueTS/flux_thermique.swf (D.LABATUT)

1.3. Il faut additionner les résistances thermiques des 5 parois des murs extérieurs :

$$R_{th} = \left(\sum_i \frac{e_i}{\lambda_i} \right) \cdot \frac{1}{S} = R_m = \left(\frac{1,5 \times 10^{-2}}{0,50} + \frac{5,0 \times 10^{-2}}{0,80} + \frac{6,0 \times 10^{-2}}{0,040} + \frac{20 \times 10^{-2}}{0,60} + \frac{2,5 \times 10^{-2}}{1,05} \right) \times \frac{1}{85} = 0,023 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$$

Remarque : la surface S étant la même pour toutes les parois, on a factorisé par $1/S$.

1.4. On souhaite remplacer les matériaux isolants des combles par de la laine de verre, tout en conservant une résistance thermique identique, indiquée dans le tableau $R_{combles} = 0,053 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$.

Les combles ont une surface $S = 79 \text{ m}^2$

$$R_{combles} = \frac{e}{\lambda_v \times S} \text{ donc } e = R_{combles} \cdot \lambda_v \cdot S = 0,053 \times 0,038 \times 79 = 0,16 \text{ m}$$

1.5.1. Les transferts thermiques s'effectuent de l'intérieur (corps chaud à 19°C) vers l'extérieur et le sol (corps froids à 4°C et 10°C).

1.5.2. Exprimons le flux thermique pour les vitres : $\Phi = \frac{Q_v}{\Delta t}$ et $\Phi = \frac{T_i - T_e}{R_{th}}$.

Donc $\frac{Q_v}{\Delta t} = \frac{T_i - T_e}{R_{th}}$, on en déduit l'expression de la chaleur $Q_v = \frac{(T_i - T_e) \cdot \Delta t}{R_{th}}$

Pour une journée de 24 h : $Q_v = \frac{(19 - 4) \times 24 \times 3600}{0,10} = 1,296 \times 10^7 \text{ J} = 13 \text{ MJ}$

Comme la température intérieure reste constante, c'est que l'énergie interne de la maison ne varie pas $\Delta U = 0$. Le poêle à bois doit fournir à la maison autant d'énergie que celle-ci en cède vers le milieu extérieur : $Q_{poele} = Q_m + Q_v + Q_s + Q_c$

$$Q_{poele} = 56 + 13 + 37 + 24 = 130 \text{ MJ chaque jour.}$$

Remarque : inutile de convertir $T_i - T_e$ en K car $((19+273) - (4+273)) = 15 \text{ K} = 15^\circ\text{C}$

1.6. Pour savoir si la maison est passive, il faut déterminer ses besoins en chauffage par m^2 habitable et par an.

$$\text{Besoins} = \frac{Q_{poele} \text{ (en kWh)} \times (\text{durée de la période de chauffage en jours})}{\text{surface habitable}}$$

$$\text{Besoins} = \frac{(130/3,6) \times 100}{68} = 53 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$$

Les besoins en chauffage, bien que largement inférieurs à ceux d'un bâtiment classique, sont supérieurs au critère défini pour une maison passive ($15 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$).

II-

1) a) La puissance électrique $P_1 = U_1 I_1 = 24 \times 2 = 48 \text{ W}$

b) Le moteur reçoit de l'énergie électrique.

c) L'énergie consommée par le moteur en $t = 15 \text{ min}$, soit $t = 900 \text{ s}$: $W_1 = P_1 \times t = 48 \times 900 = 43\,200 \text{ J} = 43,2 \text{ kJ}$

2) a) Le moteur cède de l'énergie mécanique à l'ensemble de rouages.

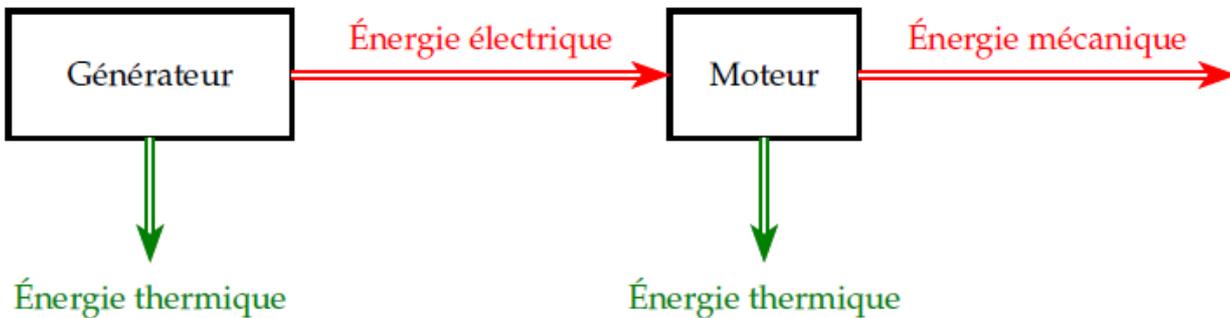
b) Le rendement du moteur, correspond au rapport de l'énergie utile sur l'énergie reçue : $\eta = \frac{W}{W_1} = \frac{36}{43,2} = 83\%$

Le rendement du moteur est de 83 %.

c) Un générateur est un appareil électrique qui fournit de la puissance électrique à un récepteur. Il existe deux sortes de récepteurs :

- les récepteurs actifs comme les moteurs qui fournissent une puissance mécanique ou les électrolyseurs qui fournissent une puissance chimique,
 - et les récepteurs passifs comme les résistances qui ne fournissent qu'une puissance thermique ou de rayonnement.
- Dans l'exercice, il s'agit d'un moteur, il fournit donc une puissance mécanique (puissance utile) ainsi qu'une puissance thermique (perte).

Le moteur reçoit de l'énergie électrique du générateur et cède de l'énergie mécanique (utile) et de l'énergie thermique (perte de rendement).



III- 1)- a)- Inventaire des forces qui s'exercent sur la balle et schéma.

- **Système :** Objet ponctuel G de masse m .

- **Référentiel d'étude :** Référentiel terrestre supposé galiléen

- **Travail du poids :**

$$W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \vec{AB} = 0 \text{ car } \vec{P} \perp \vec{AB}$$

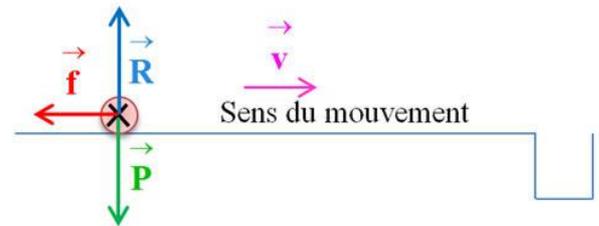
$$W_{AB}(\vec{P}) = 0$$

- **Travail de la réaction du support :**

$$W_{AB}(\vec{R}) = \vec{R} \cdot \vec{AB} = 0 \text{ car } \vec{R} \perp \vec{AB}$$

$$W_{AB}(\vec{R}) = 0$$

- **Travail de la force de frottement :**



$$W_{AB}(\vec{f}) = \vec{f} \cdot \vec{AB} = -f \times AB$$

$$W_{AB}(\vec{f}) = -f \times \ell$$

2)- Énergie mécanique au cours du mouvement :

- Au cours du mouvement, la seule force qui travaille est la force de frottement.

- La force de frottement est une force non conservative dont le travail est différent de zéro.

- En conséquence, l'énergie mécanique du système ne se conserve pas au cours du mouvement.

$$-\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2 = -f \times \ell \quad v_0 \approx \sqrt{\frac{2 \times 4,0 \times 10^{-2} \times 6,0}{45 \times 10^{-3}}}$$

$$3)- \Delta E_m = W_{AB}(\vec{f}) = \Delta E_m = E_f - E_i = 0 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2 = W_{AB}(\vec{f}) = -f \times \ell \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{2 f \times \ell}{m}} \Rightarrow v_0 \approx 3,3 \text{ m.s}^{-1}$$