EXERCICE I. CONSTRUCTION D'UNE MAISON PASSIVE (7 points)

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 maitriser au mieux la dépense énergétique, plusieurs points de vigilance sont à considérer : l'isolation, la ventilation, la qualité des ouvertures et la maitrise 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 (m^2).

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 $\lambda_{lv} = 0{,}038\ W.m^{-1}.K^{-1}$?
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 $T_i = 19$°C.
Pendant une journée, les valeurs des transferts thermiques sont alors :
- pour les murs extérieurs : $Q_m = 56$ MJ ;
- pour les vitres : Q_v ;
- pour le sol : $Q_S = 37$ MJ ;
- pour les combles : $Q_C = 24$ 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 ?

2. Incident sur le chantier

Une grue soulève un sac de sable. Le câble cède lorsque le sac est à une hauteur *h* par rapport au sol. Le sac tombe alors en chute libre avec une vitesse initiale supposée nulle. Au même moment un technicien, équipé des protections réglementaires et situé à une distance *d* du point de chute du sac, se déplace à vitesse constante en direction du point d'impact du sac avec le sol.
Le sac et le technicien sont repérés par leurs centres respectifs.
Le référentiel terrestre est supposé galiléen et on lui associe le repère (O, $\vec{i}$, $\vec{j}$) :
O point d'impact du sac avec le sol, $\vec{i}$ horizontal et $\vec{j}$ vertical vers le haut.
Le technicien se déplace donc parallèlement avec l'axe des x.

Données :

- intensité de la pesanteur : $g = 9{,}8$ m.s^{-2} ;
- hauteur initiale du centre du sac de sable : $h = 6{,}2$ m ;
- distance initiale entre le technicien et le point de chute du sac de sable : $d = 2{,}5$ m ;
- vitesse de déplacement du technicien : $v_{tech} = 1{,}1$ m.s^{-1}.

2.1. Faire un schéma de la situation initiale sans souci d'échelle en représentant notamment le vecteur vitesse associé au déplacement du technicien ainsi que les distances *h* et *d*.

2.2. Montrer que, selon l'axe vertical, l'équation horaire du mouvement du centre du sac de sable est :

$$y_S = -4{,}9\,t^2 + 6{,}2$$ avec y_S en mètre et *t* en seconde.

2.3. Cette situation entraîne-t-elle un risque d'accident corporel sur le chantier pour le technicien ?

Le candidat est évalué sur ses capacités à concevoir et à mettre en œuvre une démarche de résolution.
Toutes les prises d'initiative et toutes les tentatives de résolution, même partielles, seront valorisées.