

EXERCICE II. LE BÂTIMENT À ÉNERGIE POSITIVE (10 points)**1. Consommation d'énergie et « indice de développement humain ».**

1.1. Sur la figure 1 du document 1, on lit pour la France une consommation de 140 kWh/(hab*jour).

Coût pour 1 an = Consommation × prix d'un kWh × nombre de jours dans une année

$$\text{Coût pour 1 an} = 140 \times 0,13 \times 365 = 6,6 \times 10^3 \text{ €}$$

1.2. L'indice de développement humain est une grandeur sans dimension comprise entre 0 et 1 basée sur des critères (santé, longévité, éducation et niveau de vie) inspirés par les standards des pays dits « développés » très dépendants de l'électricité. Or un accès facile à l'électricité implique de disposer d'une infrastructure de production et d'un réseau de distribution performants afin de proposer l'électricité à un coût supportable par les populations.

Dans ces conditions, il est normal de retrouver des pays comme les USA, le Canada ou la France avec un fort IDH : ces pays disposent de réseaux électriques développés et d'un savoir-faire technique adapté. À contrario, des pays comme le Nigéria ou la RD du Congo, s'ils disposent de ressources énergétiques primaires, n'ont pas la technologie permettant d'assurer leur transformation en électricité et de l'acheminer sur l'ensemble de leur territoire.

Remarque : Une réflexion plus approfondie nécessiterait d'entrer dans des considérations historiques, politiques et économiques qui ont un fort impact sur l'IDH mais qu'il n'est pas possible d'étayer avec les renseignements disponibles dans le document et qui n'entrent pas dans le champ de la réponse demandée.

2. Une première piste pour une maison à énergie positive : utilisation de matériaux isolants.

Le polystyrène est un isolant. Sa conductivité thermique (document 3) est de $0,036 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, bien inférieure à celles du béton ($1,4 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$), du plâtre ($0,325 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$) ou du ciment projeté ($1,1 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$).

Le polystyrène est un bon isolant qui va bloquer la conduction thermique entre les matériaux de structure.

2.2. Document 2 : résistance thermique d'une paroi : $R_{\text{the}} = \frac{e}{\lambda \times S}$.

De plus, la résistance thermique totale est égale à la somme des résistances thermiques de chaque paroi :

- $R_{\text{the-plâtre}} = \frac{e_1}{\lambda \times S} = \frac{1,3 \cdot 10^{-2}}{0,325 \times 20} = 2,0 \times 10^{-3} \text{ K.W}^{-1}$
- $R_{\text{the-béton}} = \frac{e_3}{\lambda' \times S} = \frac{20 \cdot 10^{-2}}{1,4 \times 20} = 7,1 \times 10^{-3} \text{ K.W}^{-1}$
- $R_{\text{the-ciment}} = \frac{e_5}{\lambda'' \times S} = \frac{1,5 \cdot 10^{-2}}{1,1 \times 20} = 6,8 \times 10^{-4} \text{ K.W}^{-1}$
- $R_{\text{the-polyst}} = \frac{e_2 + e_4}{\lambda_{\text{polyst}} \times S} = \frac{10 \cdot 10^{-2}}{0,036 \times 20} = 0,14 \text{ K.W}^{-1}$

$$R_{\text{the}} = \sum R_{\text{the}} = \mathbf{0,15 \text{ K.W}^{-1}}$$

2.3. Résistance thermique des 10 cm de polystyrène : $R_{\text{the-polyst}} = \frac{10 \cdot 10^{-2}}{0,036 \times 20} = 0,14 \text{ K.W}^{-1}$

Résistance thermique de 10 cm de chanvre : $R_{\text{the-chanvre}} = \frac{10 \cdot 10^{-2}}{0,039 \times 20} = 0,13 \text{ K.W}^{-1}$.

Cette résistance thermique n'est que légèrement inférieure à celle du polystyrène. Toutefois, le bilan carbone du chanvre est très favorable. En conséquence, il est souhaitable de remplacer le polystyrène par du chanvre.

3. Une seconde piste pour une maison à énergie positive : utilisation d'une pompe à chaleur.

3.1. La variation d'énergie interne est donnée par la relation : $\Delta U = m_a \times c_a \times (\Theta_{\text{final}} - \Theta_{\text{initial}})$

$$\Delta U = \rho \times V \times c_a \times (T_2 - T_1)$$

$$\Delta U = 1,3 \times 400 \times 1000 \times (15,6 - 19,0) = -1,8 \times 10^6 \text{ J}$$

3.2. Le signe négatif de ΔU traduit la perte d'énergie du système (ici, la maison).

3.3. La puissance thermique traduit un apport d'énergie destiné à compenser les pertes subies par le bâtiment en 1 h (ou 3600 s) : $P_{\text{th}} = \frac{-\Delta U}{\Delta t}$

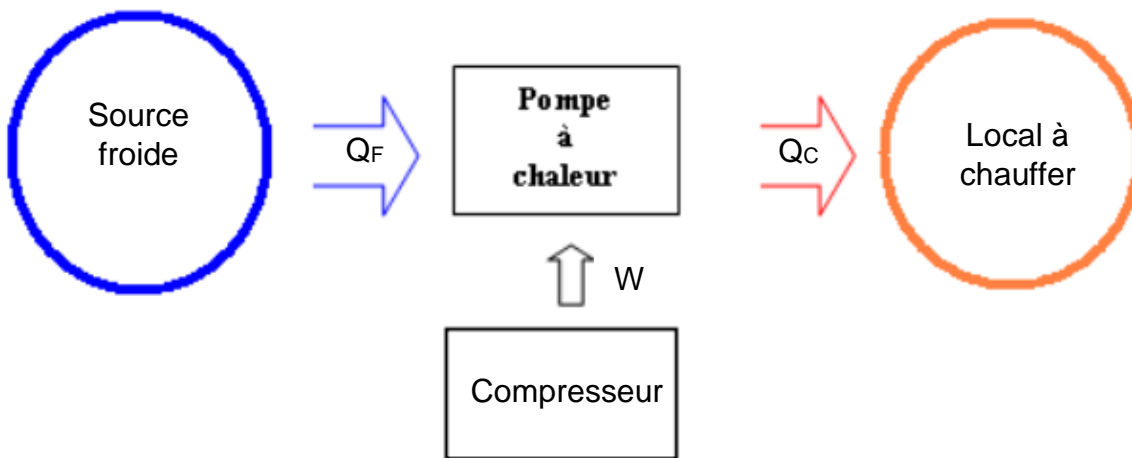
$$P_{\text{th}} = \frac{1,8 \cdot 10^6}{3600} = 4,9 \times 10^2 \text{ W} \quad (\text{calcul effectué avec } -\Delta U \text{ non arrondie})$$

3.4. La puissance fournie par la PAC pour maintenir la température est bien supérieure à la puissance théoriquement nécessaire. Le rendement d'une pompe à chaleur dépend de la différence de température entre la "source de chaleur externe" et celle du système à chauffer. Si la PAC doit extraire l'énergie d'un milieu trop froid, son rendement s'effondre.

3.5. La PAC est un matériel qui permet de réaliser un transfert thermique inverse du « sens naturel ».

Lorsqu'un corps froid est en relation avec un corps chaud, les échanges d'énergie se font spontanément du corps chaud vers le corps froid : la maison, immergée dans un extérieur plus froid et ouvert verra donc sa température baisser et tendre vers celle de l'extérieur.

La pompe à chaleur extrait de l'énergie d'une source plus froide que la zone à réchauffer : c'est contraire au principe énoncé précédemment et cela n'est possible qu'avec un apport d'énergie.



- Le fluide caloporteur se réchauffe dans l'évaporateur (extraction de chaleur Q_F depuis la "source froide").
- Le compresseur fournit l'énergie W nécessaire à la circulation du fluide et à l'élévation de sa température à une valeur supérieure à celle du local à chauffer.
- Le fluide caloporteur se refroidit dans le condenseur (transfert de la chaleur Q_C vers le local à chauffer).

3.6.1. $\text{COP} = \frac{Q_C}{W}$. Le COP fournit donc le pourcentage d'énergie effectivement récupérée par rapport à l'énergie fournie au système pour inverser le processus naturel. C'est le rendement énergétique de l'installation.

3.6.2. L'apport de chaleur Q_C nécessaire pour maintenir la température à 19°C pendant $\Delta t' = 24 \text{ h}$ est égale à $Q_C = P_{\text{th}} \times \Delta t'$
 $Q_C = 4,0 \times 10^3 \times (24 \times 3600) = \mathbf{3,5 \times 10^8 \text{ J}}$

3.6.3. $W = \frac{Q_C}{\text{COP}}$

Le COP est de 3,1 : $W = \frac{3,5 \cdot 10^8}{3,1} = \mathbf{1,1 \times 10^8 \text{ J}}$

3.6.4. $1 \text{ kWh} = 1000 \times 3600 = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$

$W = \frac{1,1 \cdot 10^8}{3,6 \cdot 10^6} = 31 \text{ kWh}$

La dépense journalière est donc de $31 \times 0,13 = \mathbf{4,0 \text{ €}}$

3.6.5. Avec un COP de 1, la dépense est multipliée par 3,1 soit $4,0 \times 3,1 = \mathbf{12,4 \text{ €}}$

L'utilisation d'une pompe à chaleur permet donc une grande économie.

Remarque : le COP dépend de la température de la source froide et la valeur de 3,1 est toute théorique (déterminée par le fabricant) : il y a donc intérêt à posséder une source froide dont la température est stable (eau souterraine, par exemple) sous peine de voir la dépense augmenter durant les périodes les plus froides de l'hiver (durant lesquelles on justement besoin de chauffage).

3.6.6. Pour compenser la dépense liée au fonctionnement de la PAC, on peut avoir recours à une source d'énergie autonome et renouvelable (panneaux photovoltaïques ou éolienne).