

EXERCICE I : CHAUFFAGE D'UNE PISCINE (8 POINTS)

Le chauffage par pompe à chaleur (PAC) est une des solutions les plus performantes pour chauffer l'eau d'une piscine. La pompe à chaleur fonctionne grâce à l'existence simultanée d'une source de température variable au cours du temps et d'une source de température constante ; son fonctionnement est assuré par une alimentation électrique fournissant de l'énergie électrique à la PAC. Le fonctionnement de la PAC est basé sur la circulation d'un fluide qui subit des cycles de transformations.



On étudie une piscine équipée d'une bâche qui rend négligeable les échanges thermiques entre l'eau et l'air extérieur. La température de l'eau, avant chauffage, est égale à la température extérieure de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. On souhaite une eau à une température de $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour se baigner dans la piscine et il faut attendre 5 h 20 min de fonctionnement de la PAC pour atteindre cette température.

Données :

Capacité thermique massique de l'eau : $c = 4,18\text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Volume d'eau contenu dans la piscine : $V_{\text{eau}} = 10,0\text{ m}^3$

Puissance électrique consommée par la PAC : $P_{\text{PAC}} = 12,5\text{ kW}$

Rendement énergétique de la PAC : $\eta = \left| \frac{E_{\text{utile}}}{E_{\text{dépensée}}} \right|$

1. Étude du comportement thermique de l'eau de la piscine

- CON 1.1. Que se passe-t-il au niveau microscopique dans l'eau durant le fonctionnement de la PAC ?
- RÉA 1.2. Exprimer littéralement puis calculer la variation d'énergie interne de l'eau quand celle-ci a atteint la température souhaitée.
- CON 1.3. En explicitant le raisonnement, en déduire la valeur de l'énergie thermique transférée par la PAC à l'eau de la piscine.

2. Étude de la pompe à chaleur

- ANA 2.1. Identifier la source chaude et la source froide au cours du fonctionnement de la PAC.
- ANA 2.2. Sur un diagramme, représenter le bilan énergétique de la PAC en précisant le signe des différentes énergies mises en jeu.
- RÉA 2.3. Exprimer puis calculer l'énergie électrique W_e consommée par la PAC au cours du chauffage de l'eau de cette piscine.
- RÉA 2.4. Déterminer le rendement énergétique de la PAC.
- ANA 2.5. Quelle énergie électrique W'_e aurait dû fournir un mode de chauffage électrique classique (de type résistance chauffante) pour obtenir la même température de l'eau ? Justifier soigneusement la réponse.
- VAL 2.6. Comparer W_e et W'_e et conclure sur la performance énergétique de la PAC.

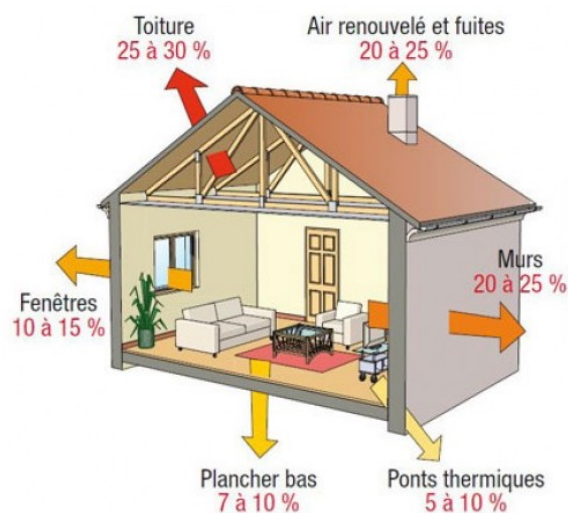
EXERCICE II : DOUBLE VITRAGE ET ISOLATION THERMIQUE (12 points)

DOCUMENT 1 : ESPACE ÉCOCITOYEN

Dans une maison non isolée, **une grande partie de la chaleur peut s'échapper par le toit, les murs et les fenêtres**. Il est donc important d'apporter une attention particulière à ces éléments de construction. Le **schéma** ci-après montre l'importance et la localisation des pertes de chaleur.

La résistance thermique surfacique r d'un matériau traduit sa capacité à empêcher le passage du froid ou de la chaleur, pour une épaisseur donnée. Plus r est grande, plus le matériau est isolant. Les données chiffrées, exigences précisées par la réglementation thermique pour les bâtiments existants, sont données en $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$.

La résistance thermique R et la résistance thermique surfacique r sont liées par la relation $r = R \times S$ où S est la surface du matériau.



Type de paroi opaque (altitude < 800 m)	Résistance thermique surfacique minimale r (en $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)
Vitrage	0,50
Mur extérieur	2,3
Mur ou plancher bas donnant sur un local non chauffé	2,0
Comble perdu	4,5

D'après <http://ecocitoyens.ademe.fr/mon-habitation/renover/isolation/toit-murs-planchers>

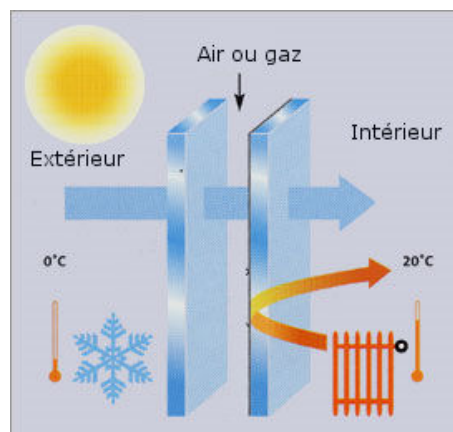
DOCUMENT 2 : DOUBLE VITRAGE

Le principe consiste à enfermer une lame d'air déshydraté.

Les verres sont séparés par un intercalaire en aluminium contenant des agents déshydratants.

L'étanchéité périphérique est assurée par des joints organiques.

Communément, on parle de double vitrage, mais en fait, les vitrages isolants et acoustiques peuvent contenir plus de deux verres.



D'après <http://www.vitrerie-centre.fr/double-vitrage.html>

1. Espace écocitoyen

Soit une paroi d'épaisseur e , de surface S , de conductivité thermique λ (constante positive dépendant du matériau utilisé). En régime permanent, le flux thermique diffusif Φ la traversant, de l'intérieur vers l'extérieur, est donné par la relation $\Phi = -\lambda \times S \times \frac{T_e - T_i}{e}$ où T_e est la température extérieure et T_i la température intérieure, au niveau de la paroi. On définit la résistance thermique R du vitrage par la relation $R = \frac{T_i - T_e}{\Phi}$.

- ANA 1.1. Démontrer que l'expression littérale de la résistance thermique R de la paroi est $R = \frac{e}{\lambda \times S}$
- RÉA
- ANA 1.2. Quel est le signe de R ?
- ANA 1.3. Que peut-on dire sur le sens du flux thermique en fonction de la différence entre température intérieure et température extérieure ?
- CON 1.4. Rappeler l'unité du flux thermique Φ dans le système international. En déduire l'unité de la résistance thermique R dans le système international.
- ANA 1.5. D'après le tableau du **document 1**, quelle est la valeur de la résistance thermique surfacique minimale exigée pour 1 m² de plancher bas donnant sur un local non chauffé ? Quelle est la résistance thermique minimale exigée pour la surface totale de ce plancher, de surface $S' = 36$ m² ?
- RÉA
- APP 1.6. Quelle est la partie de la maison dont l'isolation est primordiale en termes d'économie d'énergie ?

2. Vitrage simple

On considère une baie vitrée de surface $S = 15$ m². On utilise les notations de la partie précédente. Pour une vitre simple, la conductivité thermique effective résulte d'une analyse assez fine des flux thermiques dans le verre et des effets convectifs de chaque côté du verre. On prendra donc $\lambda_{\text{effectif}} = 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

- RÉA 2.1. Calculer R et Φ pour une épaisseur de verre $e = 5,0$ mm, $T_e = 5$ °C, $T_i = 20$ °C et $S = 15$ m².
- VAL 2.2. La valeur trouvée pour R est-elle conforme au niveau réglementaire défini dans le **document 1** ?
- VAL 2.3. Commenter la valeur de Φ . Pour obtenir la même puissance, combien de lampes halogène de puissance 100 W faudrait-il allumer ?
- RAI 2.4. Comment pourrait-on réduire les déperditions énergétiques en gardant les mêmes conditions de température intérieure et extérieure ?

3. Double vitrage

Entre deux vitres simples identiques (**document 2**), chacune de résistance thermique $R_i = 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$, on insère une couche d'air d'épaisseur $e' = 16$ mm, norme standard actuelle. On note λ' la conductivité thermique de l'air. On admet que les résistances thermiques de différentes couches s'additionnent et que la résistance thermique d'une couche de matériau de surface S , d'épaisseur e et de conductivité thermique λ est donnée par la relation $R = \frac{e}{\lambda \cdot S}$, comme cela a été démontré précédemment. On prendra $S = 15$ m².

- RÉA 3.1. Déterminer l'expression littérale de la résistance thermique R_a de la couche d'air de surface S et d'épaisseur e' en fonction de λ' , S et e' . Calculer la valeur de R_a sachant que, pour l'air, on a $\lambda' = 0,025 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- RÉA 3.2. Déterminer l'expression de la résistance thermique du double vitrage R_d en fonction de R_i et R_a . Calculer la valeur numérique de R_d et indiquer si cette valeur est conforme au niveau réglementaire.
- RÉA 3.3. Déterminer les déperditions thermiques (flux thermique Φ) à travers un double vitrage pour $T_e = 5$ °C et $T_i = 20$ °C. Commenter le résultat.
- VAL