

La pratique du sauna est une tradition finlandaise vieille de plus de deux mille ans. À l'origine, il s'agissait de s'installer dans une petite cabane en bois dont on chauffait l'atmosphère avec des pierres brûlantes. De nos jours, la pratique du sauna peut avoir lieu dans une pièce équipée d'un poêle électrique (figure 1) dans laquelle on prend un bain de vapeur sèche. Parmi ses nombreuses vertus, on peut citer la stimulation de la circulation sanguine et l'élimination de la fatigue.

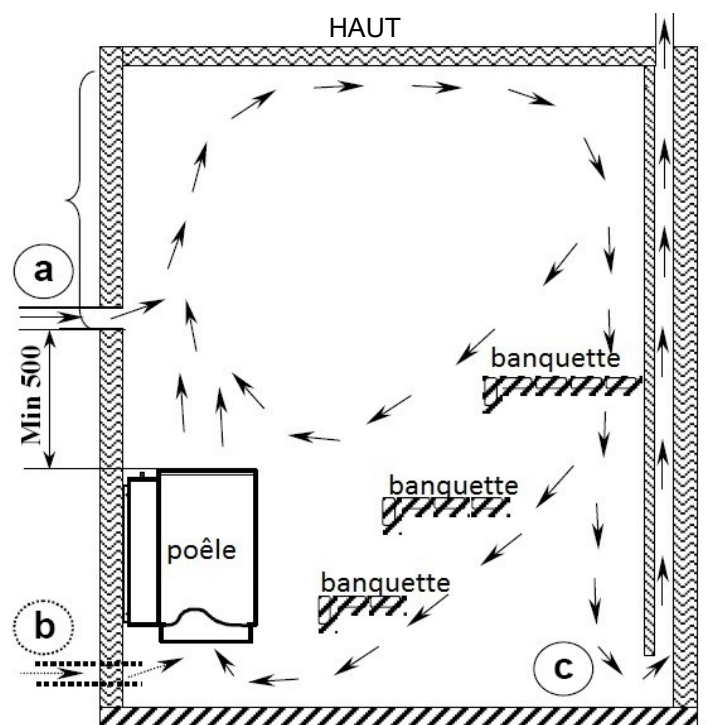
Un particulier souhaite installer un sauna* chez lui. Il achète un poêle électrique spécifique et s'intéresse au matériau nécessaire à la construction de la pièce de dimensions 2,0 m x 2,0 m x 3,0 m. Le poêle est constitué d'une résistance chauffante. Des pierres sont posées sur l'appareil : elles ont pour but de générer de la vapeur lorsqu'on y verse de l'eau.

*le terme « sauna » qualifie également la pièce dans laquelle est pratiquée cette tradition ancestrale.

Extraits de la notice du poêle électrique fournie par le constructeur (traduits du suédois) :

L'aération du sauna : l'air frais est dirigé directement de l'extérieur par un tuyau d'environ 100 mm de diamètre placé 500 mm au dessus du poêle (a) vers le sauna. L'air frais peut aussi être envoyé sous le poêle près du sol (b). Dans l'alimentation en air frais, il est essentiel de veiller à ce que celui-ci se mélange le plus efficacement possible à l'air chaud et à la vapeur du sauna. L'air évacué est dirigé vers l'extérieur par une trappe située sous les banquettes (c), le plus loin possible de l'arrivée d'air frais.

Durée du préchauffage du sauna : la durée de préchauffage du sauna est le laps de temps nécessaire pour chauffer le sauna à la température souhaitée pour la séance. Ce temps dépend notamment de la température voulue (la position de réglage de la température), de la quantité de pierre, du volume du sauna, et des matériaux constituant les parois du sauna. Moins on utilise de pierre, plus le sauna chauffe vite. Cependant, une plus petite quantité de pierre ne donne pas autant de vapeur. La durée de préchauffage



Caractéristiques techniques du poêle :

Poêle modèle	Poêle puissance kW	Volume du sauna		Poids sans pierre kg	Quantité de pierres (max) kg	Dimensions du poêle		
		min m ³	max m ³			largeur mm	profondeur mm	hauteur mm
DI 10	10,00	8,0	15,0	16	22	Ø370	450	590

Capacité thermique massique c , conductivité thermique λ et masse volumique ρ de quelques matériaux :

Matériau	c en J.kg ⁻¹ .K ⁻¹	λ en W.m ⁻¹ .K ⁻¹	ρ en kg.m ⁻³
Béton	1008	1,75	2200
Sapin	2400	0,15	450
Plâtre	1008	0,43	800
Verre	800	1,15	2530
Stéatite	980	6,4	2980

La **résistance thermique** R_{th} (en K.W⁻¹) d'une paroi a pour expression : $R_{th} = \frac{e}{\lambda \cdot S}$

λ : conductivité thermique en W.m⁻¹.K⁻¹

e : épaisseur de la paroi en m

S : surface de la paroi en m²

Le **flux thermique** Φ (en W) correspond à une énergie thermique transférée à travers une paroi par unité de temps. Si ΔT est l'écart de température de part et d'autre de la paroi, le flux thermique à travers cette paroi est exprimé par :

$$= \frac{\Delta T}{R_{th}}$$

1. Les transferts thermiques mis en jeu lors du chauffage

1.1. Caractériser chacun des types de transferts thermiques principaux mis en jeu lors du chauffage par le poêle de l'air ambiant ou des pierres. Pour cela, compléter le tableau suivant :

	Chauffage par le poêle de l'air de la pièce	Chauffage par le poêle des pierres
Mode de transfert thermique principal		
Avec ou sans déplacement de matière		

1.2. Que symbolisent les flèches représentées sur la figure 1 de la notice du constructeur ?

1.3. Donner une raison justifiant le choix de l'emplacement de l'entrée de l'air. Même question pour le choix de l'emplacement de la sortie de l'air.

1.4. En s'appuyant sur les caractéristiques du poêle choisi, montrer que ce choix est adapté aux besoins du particulier.

2. Les matériaux pour la construction de la pièce

Le particulier hésite entre le bois de sapin et le béton pour les parois de son sauna.

2.1. Comparer le flux thermique traversant une paroi de bois de sapin et une paroi de béton sans effectuer de calcul numérique. Formuler un conseil au particulier.

2.2. Quelle serait l'épaisseur d'une paroi en béton pour que, en termes d'isolation thermique, elle soit équivalente à une paroi en sapin de 5,0 cm d'épaisseur ?

3. Les pierres posées sur le poêle

Les pierres utilisées sont souvent d'origine volcanique car elles n'éclatent pas sous les chocs thermiques. C'est le cas de la stéatite.

3.1. On fait l'hypothèse que lors du préchauffage, la puissance du poêle est intégralement utilisée pour le chauffage des pierres d'origine volcanique. À l'aide des caractéristiques électriques du poêle, déterminer la durée Δt nécessaire pour porter une masse $m = 20$ kg de pierre, de la température de 25°C à la température de 250°C atteinte par les pierres à l'issue du préchauffage.

3.2. D'après la notice, l'hypothèse précédente est-elle vérifiée ? Proposer une explication.

II- Madame D., dirigeante d'une société de dépannage à domicile, est soucieuse de l'impact que son entreprise peut avoir sur l'environnement. Afin de diminuer les émissions de gaz à effet de serre et ainsi améliorer le bilan carbone de son entreprise, elle envisage d'installer 70 m^2 de panneaux solaires sur le toit de ses bâtiments et elle se demande si son installation solaire permettrait de générer l'électricité

nécessaire au rechargement du véhicule à hydrogène de sa société qui parcourt en moyenne 20 000 km par an.

Vous rédigez un rapport argumenté et critique répondant à l'interrogation de Madame D.

(20 lignes maximum).

L'ensemble des calculs nécessaires sera présenté séparément, à la suite du rapport.

Document 1 - Panneau photovoltaïque

- Le rendement de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique des cellules photovoltaïques est de l'ordre de 20 %.
- La puissance solaire moyenne reçue par unité de surface de panneau est 200 W.m^{-2} .
- L'énergie, la puissance et le temps sont reliés par la relation suivante : $E = P.t$

Document 2 - Une voiture à hydrogène

• Une voiture à hydrogène dispose d'un moteur électrique alimenté par une pile à combustible.

Cette pile fonctionne grâce à une réaction d'oxydo-réduction. Le dihydrogène contenu dans le réservoir de la voiture réagit avec le dioxygène de l'air qui est insufflé par un compresseur placé dans le compartiment moteur. L'énergie électrique est produite par l'alternateur, et l'eau générée par la transformation est expulsée via le tuyau "d'échappement".



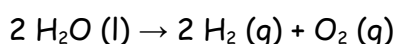
• Le dihydrogène nécessaire au fonctionnement de la pile est stocké à l'état gazeux sous une pression de 350 bar dans un réservoir de 110 L placé à l'arrière. Cette capacité de stockage confère au véhicule une autonomie de 200 km.

• Pour des raisons pratiques et de sécurité, le constructeur a opté pour une solution dans laquelle le dihydrogène est directement produit dans le véhicule par électrolyse de l'eau.

• À l'intérieur du réservoir, le volume occupé par une mole de dihydrogène gazeux, appelé volume molaire, est égal à $0,070 \text{ L.mol}^{-1}$ lorsque le réservoir est plein.

Document 3 - Production de dihydrogène par électrolyse

Le dihydrogène est produit par une électrolyse de l'eau dont l'équation est la suivante :



L'énergie chimique à fournir pour former une mole de dihydrogène est $286 \times 10^3 \text{ J.mol}^{-1}$.

Seuls 60 % de l'énergie électrique nécessaire à cette électrolyse sont transformés en énergie chimique utilisable pour la réaction chimique.

Identifier la problématique. Si elle n'est pas évidente, analyser les documents et revenir ensuite à la problématique.

Il est impératif d'utiliser un brouillon.

Pour chaque document, extraire les données :

Attribuer une notation à chaque grandeur, noter sa valeur **avec ses unités**.

Noter chaque relation et la transformer en expression littérale si nécessaire.

Placer toutes ces informations sur votre brouillon, comme une carte mentale.

Tenter de relier les informations.

Faire les calculs qui semblent accessibles. Noter une valeur arrondie sur le brouillon.

Indiquer l'objectif de chaque calcul.

Travailler au maximum avec des expressions littérales, plus faciles à manier que des nombres forcément arrondis.

Si la problématique est résolue, répondre de façon ordonnée sur la copie.

Regard critique : Si le résultat obtenu semble faux, il faut reprendre les étapes suivies sur le brouillon et tenter d'identifier la cause.

Si l'erreur n'est toujours pas visible, il faut signaler que votre résultat semble faux et pourquoi.

Si la problématique n'est pas résolue. Ce n'est pas dramatique !

Reporter tous les raisonnements même incomplets sur la copie. Faire part de vos difficultés par écrit.

Tous les calculs doivent être écrits, il ne faut pas se contenter de donner des résultats.

I- 1. Les transferts thermiques mis en jeu lors du chauffage

1.1. (1 + 0,5 pt)	Chauffage par le poêle de l'air de la pièce	Chauffage par le poêle des pierres
Mode de transfert thermique principal	Convection	Conduction
Avec ou sans déplacement de matière	Avec	Sans

1.2.(0,5) Les flèches de la figure 1 symbolisent les mouvements de convection de l'air dans le sauna.

1.3. (0,5+0,5) Les entrées d'air sont situées en-dessous ou au-dessus du poêle. Ces emplacements ont été choisis afin d'assurer une bonne convection dans le sauna. L'air froid est rapidement chauffé par le poêle et ainsi efficacement mis en mouvement.

La sortie d'air doit être éloignée de l'entrée d'air froid pour éviter que l'air froid ne s'évacue directement sans avoir été chauffé.

1.4. (0,5) Les caractéristiques techniques du poêle montrent que celui-ci est adapté à un volume compris entre 8 et 15 m³. Ce qui est bien adapté aux dimensions du sauna (2,0 × 2,0 × 3,0 = 12 m³).

2. Les matériaux pour la construction de la pièce

$$2.1. (1,5 + 0,5) \quad \Phi = \frac{\Delta T}{R_{th}} \quad \text{et } R_{th} = \frac{e}{\lambda \cdot S} \quad \text{alors} \quad \Phi = \frac{\Delta T}{\frac{e}{\lambda \cdot S}} = \frac{\Delta T \cdot \lambda \cdot S}{e}$$

En considérant la différence de température ΔT , la surface d'échange S et l'épaisseur de la paroi comme étant constantes, et sachant que $\lambda(\text{béton}) > \lambda(\text{sapin})$ alors le flux thermique échangé entre l'intérieur du sauna et le milieu extérieur serait plus grand avec du béton qu'avec du sapin.

Le **sapin isolera mieux** le sauna que le béton, il faut donc le privilégier.

2.2. (2 pt) Les parois sont équivalentes si elles possèdent la même résistance thermique R_{th} .

$$R_{th}(\text{sapin}) = R_{th}(\text{béton})$$

$$\frac{e(\text{sapin})}{\lambda(\text{sapin}) \cdot S} = \frac{e(\text{béton})}{\lambda(\text{béton}) \cdot S}$$

$$\text{La surface des parois reste identique alors } \frac{e(\text{sapin})}{\lambda(\text{sapin})} = \frac{e(\text{béton})}{\lambda(\text{béton})}$$

$$e(\text{béton}) = \frac{e(\text{sapin})}{\lambda(\text{sapin})} \cdot \lambda(\text{béton}) = \frac{5,0}{0,15} \times 1,75 = 58 \text{ cm.}$$

Une paroi de 58 cm de béton serait équivalente à une paroi de 5 cm de sapin. Le sapin est clairement un meilleur isolant thermique.

3. Les pierres posées sur le poêle

3.1. (1+1) Le poêle a une puissance de $P = 10,00 \text{ kW}$.

Il fournit une énergie $E = P \cdot \Delta t$ aux pierres qui ainsi voient leur énergie interne varier de ΔU .

En considérant que toute l'énergie électrique reçue par le poêle est transférée aux pierres

$$\text{alors } \Delta U = E$$

$$m \cdot c \cdot \Delta T = P \cdot \Delta t$$

$\Delta t = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{P} = \Delta t = \frac{20 \times 980 \times (250 - 25)}{10,0 \times 10^3} = 4,4 \times 10^2 \text{ s}$

3.2. (0,5) La notice indique un temps de préchauffage bien plus long puisque compris entre 40 et 70 min, soit entre $2,4 \times 10^3 \text{ s}$ et $4,2 \times 10^3 \text{ s}$.

L'énergie électrique consommée par le poêle ne sert pas exclusivement au chauffage des pierres, elle sert aussi au chauffage de l'air par exemple.

II-

Madame D.,

vous désiriez savoir si une surface de 70 m² de panneaux solaires fournirait assez d'électricité pour recharger les batteries d'une voiture à hydrogène pendant un an.

J'ai effectué des calculs, fournis ci-après, afin de vous répondre.

Compte-tenu du rendement faible, et de la puissance moyenne reçue, on disposerait en un an d'une énergie égale à $8,8 \times 10^{10}$ J.

Pour faire fonctionner la voiture durant 20 000 km il faut effectuer 100 « pleins », ce qui nécessite une énergie de $7,5 \times 10^{10}$ J.

Ainsi il semble que l'on dispose d'une énergie suffisante.

J'attire cependant votre attention sur un inconvénient de l'énergie électrique d'origine solaire.

Le stockage de cette énergie, accumulée par beau temps, pose quelques problèmes.

Il faut étudier le coût de l'achat de batteries pour la stocker, et étudier parallèlement le rachat de votre électricité produite par EDF.

Au regard de ces éléments manquants, vous pourrez juger de la suite à donner à votre projet. Je me tiens à votre disposition pour toute information complémentaire.

Calculs nécessaires au rapport :

- Énergie nécessaire pour faire fonctionner la voiture pendant 20 000 km

Le réservoir donne une autonomie de 200 km, or la voiture doit parcourir 20 000 km/an, il faut réaliser 100 « pleins ».

Pour 200 km :

- Quantité de dihydrogène nécessaire : $n_{H_2} = \frac{V_{H_2}}{V_m}$ avec $V_m = 0,070 \text{ L.mol}^{-1}$ et $V_{H_2} = 110 \text{ L}$

- Énergie chimique nécessaire :

Pour produire une mole de dihydrogène, il faut une énergie $E = 286 \times 10^3 \text{ J.mol}^{-1}$.

Pour parcourir 200 km, il faudra : $E_{\text{chimique}} = n_{H_2} \cdot E = \frac{V_{H_2}}{V_m} \cdot E$

- Énergie électrique nécessaire :

Le rendement $r = \frac{E_{\text{utile}}}{E_{\text{dépensée}}}$ vaut $r = 60\%$, donc $E_{\text{dépensée}} = \frac{E_{\text{utile}}}{r}$ soit $E_{\text{électrique}} = \frac{E_{\text{chimique}}}{r} = \frac{V_{H_2} \cdot E}{r \cdot V_m}$

Pour 20 000 km : il faut effectuer N recharges, avec $N = \frac{20000}{200}$ soit $E_{\text{nécessaire}} = N \cdot E_{\text{électrique}} = N \cdot \frac{V_{H_2} \cdot E}{r \cdot V_m}$

A.N. $E_{\text{nécessaire}} = \frac{20000 \times 110 \times 286 \times 10^3}{200 \times 0,60 \times 0,070} = 7,5 \times 10^{10} \text{ J}$

- Énergie électrique fournie par les panneaux solaires :

- Puissance solaire reçue : $P = P_m \cdot S$ avec P_m : puissance moyenne $P_m = 200 \text{ W.m}^{-2}$

S surface des panneaux, soit $S = 70 \text{ m}^2$

- Énergie solaire reçue pendant $\Delta t = 1 \text{ an}$: $E_{\text{solaire}} = P \cdot \Delta t$

- Énergie utile : le rendement des cellules photovoltaïques $r' = 20\%$

$$E_{\text{utile}} = E_{\text{solaire}} \cdot r' = r' \cdot P \cdot \Delta t = r' \cdot P_m \cdot \Delta t \cdot S$$

En considérant une durée $\Delta t = 24 \text{ h}$:

A.N. $E_{\text{utile}} = 0,20 \times 200 \times 365,25 \times 24 \times 3600 \times 70 = 8,8 \times 10^{10} \text{ J}$

Remarque : la puissance moyenne des panneaux solaires est une moyenne annualisée qui tient compte des durées variables des jours et des nuits. Ainsi on considère une durée de 24 h qui tient compte de ces variations (Ex : prendre 24 h avec $P_m = 200 \text{ W.m}^{-2}$ est identique à prendre 12 h avec $P_m = 400 \text{ W.m}^{-2}$).

		Indicateurs de réussite				
Rapport	Q1	Le rapport est correctement rédigé et argumenté de manière compréhensible ou originale ...	A	B	C	D
	Q2	Énergie nécessaire à la recharge du véhicule (sur 1 an ou 200 km) Énergie fournie par l'installation solaire une conclusion cohérente avec les calculs réalisés <i>On peut mettre A même si calculs faux</i>	A	B	C	D
	Q3	Regard critique sur l'énergie solaire (Puissance solaire variable, durée exposition inégale, stockage énergie électrique)	A	B	C	D
Calculs	Q4	Des calculs engagés sur l'énergie chimique nécessaire (volume molaire, $J \cdot mol^{-1} \rightarrow J$, rendement, N recharges)	A	B	C	D
	Q5	Des calculs engagés sur l'énergie fournie par les panneaux ($E = P \cdot \Delta t$, $P = P \cdot S$, rendement)	A	B	C	D
	Q6	Les calculs numériques des grandeurs physiques (puissance, énergie ...) sont corrects.	A	B	C	D