

Sujet Final ER41 A2015

Nom:

Prénom:

Signature:

Aucun document autorisé - durée 2h

Question de cours

Dessiner le schéma général d'une centrale nucléaire de type REP. Quel est le fluide caloporteur?
Quel est le modérateur?

Exercice 1:

Dans un four à micro-ondes, le magnétron émet des ondes de 2 450 MHz dans la cavité du four où sont placés les aliments. Ces ondes sont absorbées par les molécules d'eau des aliments, soit directement, soit après réflexion sur les parois de la cavité. Cela provoque une oscillation de ces molécules d'eau qui entraîne une augmentation de la température des aliments. Les parties solides ou n'absorbant pas les micro-ondes chauffent au contact des parties chauffées directement par ces ondes.

1. Quels sont les modes de transfert thermique principalement mis en jeu lors du chauffage d'un aliment avec un four à micro-ondes?

2. Avec un four de puissance 750 W, on chauffe 500 g d'eau liquide. En 1 min 30 s, la température de l'eau varie de 18,2 °C à 40,8 °C. Calculer la variation d'énergie interne de l'eau liquide.

3. Calculer l'énergie consommée par le four au cours de son fonctionnement.

4. Calculer le rendement de conversion du four.

Donnée: $c(\text{H}_2\text{O}(\text{l})) = 4,18 \text{ kJ /kg.K}$

Exercice 2: un peu d'informatique.

L'amélioration des performances des processeurs d'ordinateur repose notamment sur l'augmentation du nombre de composants électroniques qu'ils contiennent. Si dans les années soixante-dix ces composants se comptaient par milliers, dans les années 2010, ils se comptent en milliards grâce une miniaturisation de plus en plus poussée.

Par effet Joule, un processeur peut chauffer bien plus qu'un fer à repasser! Un radiateur à ailettes, en contact avec le processeur, associé à un ventilateur, est nécessaire pour éviter la détérioration du processeur.

1. Expliquer comment un radiateur à ailettes permet de refroidir un processeur.

2. Pourquoi le refroidissement est-il plus efficace quand la surface des ailettes est importante et quand un ventilateur est associé au radiateur?

3. Certains constructeurs testent des modèles de processeurs à l'intérieur desquels de l'eau peut circuler. Justifier ce choix.

Problème: Rénovation d'une maison

Le but de ce problème est d'étudier les possibilités de rénovation thermique d'une maison à la fois pour des raisons économiques et écologique. Les questions sont majoritairement indépendantes. Voici les caractéristiques de la maison: surface totale 120 m², Le chauffage est au gaz de ville. Elle possède un DPE estimé de G (630 kWh/m²/an), elle est non mitoyenne (pas de partage de mur avec les voisins), les murs sont en pierre (conductivité thermique de la pierre = 1,3 unités S.I. - épaisseur des murs 80 cm), la surface d'un étage est de 60 m² (10m par 6m), elle possède 2 étages de hauteur sous plafond de 2,70m, la surface totale du toit est de 134 m². (conductivité thermique des tuiles = 0,96 unités S.I.- épaisseur des tuiles 150 mm)

I. L'énergie la moins chère est celle que l'on ne consomme pas.

On veut isoler cette maison, pour cela on dispose de plusieurs matériaux tels que la laine de verre, la laine de roche, le polystyrène expansé TH38 ou TH32. Le tableau suivant donne les résistances thermique de certains de ces matériaux en fonction de leur épaisseur ainsi que le prix au m² de chacune d'entre eux. Ce tableau est cependant incomplet, la question suivante propose de le compléter.

Matériau	épaisseur	résistance thermique	prix au m ²
Polystyrène expansé TH38 avec plaque de plâtre	10+40 mm	1,1	5,63 euros
Polystyrène expansé TH32 avec plaque de plâtre	10+40 mm	1,3	7,33 euros
Laine de roche	100 mm	2,35	4,57 euros
Laine de roche	200 mm	5,10	8,99 euros
Laine de verre	60 mm	?	3,99 euros
Laine de verre	240 mm	?	7,00 euros

A. Calcul de la résistance thermique de la laine de verre un problème de flux thermique.

Dans cette partie on veut calculer les résistances thermiques de deux échantillons de laine de verre. Soit R_{th1} la résistance thermique d'une surface $S_1 = 1,0 \text{ m}^2$ d'une laine de verre 1 d'épaisseur $e_1 = 60 \text{ mm}$ et R_{th2} la résistance thermique d'une surface $S_2 = 1,5 \text{ m}^2$ d'une laine de verre 2 d'épaisseur $e_2 = 240 \text{ mm}$. Le flux thermique mesuré est de 10 W lorsque la différence de température entre les deux faces de la laine de verre 1 est de $15 \text{ }^\circ\text{C}$. Pour la laine de verre 2 l'énergie transférée pendant 2 h est de 36 kJ lorsque l'une des faces est à température $T_A = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ et l'autre face à une température $T_B = 30 \text{ }^\circ\text{C}$.

1. Calculer la résistance thermique R_{th1} de la laine de verre 1.

2. Calculer la résistance thermique R_{th2} de la laine de verre 2.

Lorsqu'on parle d'isolation thermique, on indique souvent la valeur de la conductivité thermique λ , d'un matériau. Cette grandeur est liée à la résistance thermique d'une paroi plane de surface S et d'épaisseur e .

3. Quelle est l'unité de la conductivité thermique? Pourquoi la conductivité thermique caractérise-t-elle un matériau?

4. Calculer les conductivités thermiques respectives λ_1 et λ_2 des laines de verre 1 et 2.

5. Exprimer le flux thermique traversant une paroi en fonction de λ , S , e et de l'écart de température entre les faces.

6. Comment le flux thermique évolue-t-il lorsque l'on double la surface S de laine de verre?

7. Comment le flux thermique évolue-t-il lorsque l'on double l'épaisseur e de laine de verre?

B. Quel matériaux pour quel endroit?

Dans toute cette partie on ne prend en compte les fenêtres et autres portes que de façon globale afin de simplifier les calculs. on considérera que les ouvrants (portes + fenêtres) couvrent 10% de la surface totale des murs.

1. Quel est le matériaux le plus avantageux pour les combles? Justifiez

2. Calculez le flux thermique dans les combles en l'absence d'isolation pour une température intérieure de $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ et extérieure de $5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3. Calculez le gain en énergie réalisé en fonction du choix effectué dans la question B.1. sur un mois si les conditions météorologiques ne varient pas. (même température tout le mois nuit et jour)

4. Quelles sont les contraintes pour les murs si on ne veut pas perdre trop de surface habitable? Dans ce cas, quel est le meilleur matériau pour cette isolation?

5. Calculez le flux thermique, dans les mêmes conditions que précédemment, pour les murs sans isolation.

6. Quel est le gain total avec l'isolation sur un mois?

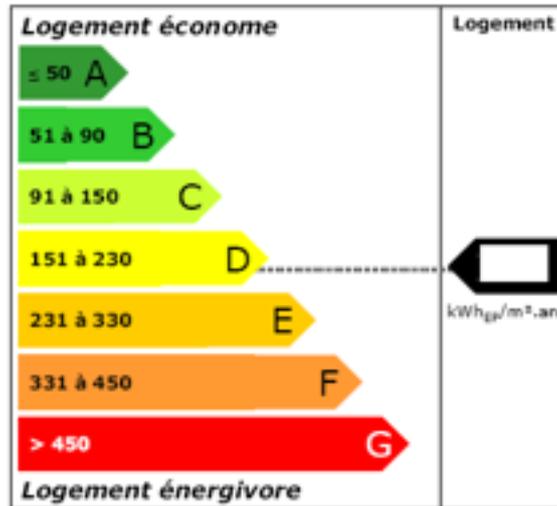
7. Est-il facile avec le raisonnement précédent d'estimer le gain sur une année? justifiez.

Afin de palier à ce problème d'estimation de gain annuel, on introduit la notion de degré-jour-unifié (DJU). Le DJU est la somme sur l'année, des DJU journaliers. Par exemple, si la température moyenne d'un jour donné est 10° , alors le DJU journalier est $18^\circ - 10^\circ = 8^\circ$; si un jour j donné est plus chaud que 18° , $DJU_j = 0$. Grâce au DJU on peut estimer l'énergie annuelle nécessaire comme étant égale à $(S/R_{tot}) \cdot DJU \cdot 24h / 1000$ en kWh.

8. Y-a-t-il des phénomènes non pris en compte par le DJU? Justifiez.

9. On donne comme DJU pour Belfort de 3256. Calculez l'énergie annuelle nécessaire au chauffage sans isolation et avec isolation. Quel est le gain sur une année?

10. On donne les catégories DPE suivantes:



En utilisant le diagramme suivant, quel est maintenant le DPE de la maison?

11. Quel est le gain financier sur un an sachant que le prix du kWh de gaz est de 0,09640 euros et en considérant de façon optimiste que le rendement de la chaudière est de 1? en combien de temps a-t-on amorti l'investissement en isolation (comble + murs)? Lequel des deux est le plus rentable?

II. Un problème de chauffage

A. Restons avec le gaz

Maintenant nous allons nous intéresser à la partie production de chauffage. La chaudière à gaz dans l'habitation est très ancienne et possède un rendement PCS¹ de 81%. Les nouvelles chaudières à condensation possède un rendement PCS de 99%.

1. Quel est le gain d'énergie annuel obtenu en changeant de chaudière et en gardant la même isolation?

2. Sachant que l'installation de la chaudière coûte 4500 euros en combien de temps puis-je espérer amortir l'investissement?

¹ Le **PCS** (Pouvoir Calorifique Supérieur) compare la "quantité" de chaleur finale effectivement produite avec la quantité de combustible pur utilisée + l'énergie produite par la condensation des fumées (celle-là même qui fait l'efficacité des chaudières à condensation) qu'on appelle "**chaleur latente**".

B. Le cas particulier de la pompe à chaleur.

Le fluide d'une pompe à chaleur décrit de façon réversible un cycle de Carnot composé :

- d'une compression isotherme AB au cours de laquelle le fluide échange une quantité de chaleur algébrique δQ_c avec une source chaude constituée par l'air d'une pièce de capacité thermique totale C que l'on désire chauffer et dont la température à l'instant t est $T_c(t)$,
- d'une détente adiabatique BC qui ramène la température du fluide à la température constante T_0 de la source froide constitué par l'air extérieur à la pièce,
- d'une détente isotherme CD au cours de laquelle le fluide échange la quantité de chaleur δQ_0 algébrique avec l'air extérieur à la pièce à la température constante T_0 ,
- d'une compression adiabatique DA qui ramène la température du fluide à la température $T_c(t)$ de la source chaude,

On peut considérer que la température $T_c(t)$ de la source chaude reste constante au cours de la compression isotherme AB et qu'elle augmente de dT_c à chaque cycle de durée dt . On désigne par $\delta W > 0$ le travail reçu par le fluide au cours d'un cycle.

1. Représentez le cycle dans un diagramme de Clapeyron.

2. Exprimer l'efficacité thermique $\eta(t)$ de la pompe à chaleur définie par le rapport $\eta(t) = - \frac{\delta Q_c}{\delta W}$ en fonction de $T_c(t)$ et T_0 .

3. On suppose, dans un premier temps, que la pièce est thermiquement isolée de l'extérieur et que sa température initiale est $T_C(0) = T_0$. On désigne par $P = \delta W / dt$ la puissance mécanique constante fournie au fluide. Exprimer l'intervalle de temps t_0 pendant lequel la pompe doit fonctionner pour que l'air de la pièce atteigne la température $T_1 = T_C(t_0)$ en fonction de C , P , T_0 et T_1 .

4. La pompe à chaleur est arrêtée et la puissance P est fournie sous forme électrique à la résistance chauffante, de capacité thermique négligeable, d'un radiateur électrique. Calculer l'intervalle de temps t_1 nécessaire pour que la pièce, initialement à la température T_0 atteigne la température T_1 en fonction de C , P , T_0 et T_1 .

5. Calculer le gain de temps $\Delta t = t_1 - t_0$ que l'on obtient en utilisant une pompe à chaleur plutôt qu'un radiateur électrique. On donne : $T_0 = 283 \text{ K}$, $T_1 = 291 \text{ K}$ et le rapport $P/C = 9,8 \cdot 10^{-5} \text{ K/s}$.

6. On suppose maintenant que la pièce présente une fuite thermique et que, lorsque sa température à l'instant t est $T_C(t)$, elle échange avec l'extérieur, pendant l'intervalle de temps dt , une quantité de chaleur $\delta Q = -kC[T_C(t) - T_0]$ où k est une constante.

La pompe est arrêtée lorsque la température de la pièce vaut $T_{C0} = 288 \text{ K}$. Si $T_0 = 283 \text{ K}$, la température de la pièce chute alors de 1 K au bout de 3 heures. Calculer k .

7. Montrer que la température limite T_{11} atteinte dans la pièce lorsque la pompe fonctionne et que le régime permanent est établi, se déduit de la relation $T_{11}^2 - 2A.T_{11} + T_0^2 = 0$ et déterminer A en fonction de T_0 , k , P et C . En déduire T_{11} .

8. Exprimer la température limite T_{12} atteinte dans la pièce lorsque la pompe est remplacée par un radiateur électrique recevant, sous forme électrique, la même puissance P que la pompe à chaleur.

9. Le COP d'une pompe à chaleur est donné en moyenne comme étant égal à 4. Quel est le gain énergétique annuel par rapport à la chaudière à gaz initiale de la maison?

9. Etant donné que le prix du kWh d'électricité est de 0,14670 euros, quel est le gain financier annuel?

10. Sachant que le gaz possède une émission de CO2 équivalent de 0,432 kg/l et que 1 kWh électrique dégage 90 g de CO2 (source ADEME pour la France), quel était le taux d'émission GES de la maison avec l'ancienne chaudière et quel serait-il avec une PAC de COP égal à 4?

