



Exercices de la séquence XXX

Transferts thermiques et échangeurs

EXERCICE 1 : Simple vitrage

Un vitrage simple a une épaisseur de 4 mm, une surface égale à 1 m^2 et un coefficient de conductivité thermique $\lambda_{\text{verre}} = 1,15 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$.

La température de surface du vitrage intérieure est 21°C , la température de surface du vitrage extérieure est égale à 10°C .

1. Calculer la résistance thermique du vitrage
2. Déterminer la puissance dissipée à travers ce vitrage.

EXERCICE 2 : Mur en béton

La déperdition thermique à travers un mur en béton de 30 m^2 de surface est égale 800 W . Sachant que le mur a une épaisseur de 10 cm, et que sa température de surface intérieure est 25°C , calculer la température de surface extérieure. On donne le coefficient de conductivité thermique λ du béton $\lambda_{\text{béton}} = 1,75 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$.

EXERCICE 3 : Mur isolé

Une paroi d'habitation est constituée d'un mur en briques, d'un isolant en laine de bois et d'une plaque de plâtre. Les épaisseurs et les conductivités des 3 matériaux sont données dans la tableau suivant.

	Epaisseur	Conductivité thermique ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
Mur en brique	20 cm	0,25
Laine de bois		0,036
Plaque de plâtre	13 mm	0,33

1. Calculer la résistance thermique d'un mur de brique de surface égale à 1 m^2 .
2. Calculer la résistance thermique d'une plaque de plâtre de surface égale à 1 m^2 .
3. On souhaite isoler le mur pour que la résistance thermique totale de la paroi soit supérieure à $4 \text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$. Déterminer la résistance thermique minimale de l'isolant en laine de bois.
4. Calculer l'épaisseur minimale de laine de bois à poser sur le mur de 1 m^2 pour respecter le cahier des charges.

EXERCICE 4 : Comparaison d'un simple vitrage et d'un double vitrage

On se propose de comparer un simple vitrage, d'épaisseur $e = 8 \text{ mm}$ et un double vitrage constitué de deux vitres d'épaisseurs égales à 4 mm chacune séparées par une lame d'air de 1 cm d'épaisseur.

La surface vitrée est de $S = 1,0 \text{ m}^2$ pour les deux vitrages.

Données

- Résistance thermique d'une lame d'air de 1 cm épaisseur : $R = 0,14 \text{ K}\cdot\text{W}^{-1}$
- Conductivité thermique du verre : $\lambda = 1,15 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- Température intérieure : 19°C .



5. Calculer la résistance thermique du simple vitrage.
6. Calculer la résistance thermique du double vitrage.
7. En déduire les puissances thermiques dissipées par un simple puis un double vitrage pour une température extérieure de 8°C.
8. Justifier par argument quantitatif l'intérêt de remplacer un simple vitrage par un double vitrage au cours d'une rénovation d'une habitation.

EXERCICE 5 : Bilan thermique dans un appartement

Un appartement a une surface au sol de $S = 70 \text{ m}^2$ avec une hauteur sous plafond $h = 2,50 \text{ m}$.

Température intérieure : $\theta_i = 19^\circ\text{C}$ Température extérieure moyenne : $\theta_e = 2^\circ\text{C}$

9. Le volume d'air est renouvelé une fois toutes les deux heures par ventilation mécanique contrôlée. Calculer l'énergie nécessaire pour réchauffer cet air renouvelé toutes les 2 heures et la puissance nécessaire correspondante.

Données

- Capacité calorifique de l'air : $C = 1000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- Masse volumique de l'air : $\rho = 1,29 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

10. Les parois donnant sur l'extérieur ont les caractéristiques suivantes :

	Murs	Ouvertures
Surface (m^2)	34,6	12,2
Résistance thermique ($\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$)	$3,6\cdot 10^{-2}$	$2,3\cdot 10^{-2}$

Calculer la puissance thermique transmise par les différentes parois de l'appartement.

11. En déduire la puissance du chauffage nécessaire pour maintenir la température constante dans l'appartement.
12. Le chauffage étant électrique, calculer l'énergie (exprimée en kWh) dans cet appartement en 1 journée.

En déduire le coût pour cette journée de chauffage, si le kWh revient à 0,17 euros.

EXERCICE 6 : Chauffage au sol

Une maison a une surface au sol $S = 92 \text{ m}^2$ avec une hauteur sous plafond $h = 2,50 \text{ m}$.

La température intérieure est $\theta_i = 19^\circ\text{C}$ et la température extérieure moyenne sur une journée est $\theta_e = 9^\circ\text{C}$

Données

- Capacité calorifique de l'air : $C = 1000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- Masse volumique de l'air : $\rho = 1,29 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

13. Calculer les puissances dissipées par les différentes parois de la chambre 1 puis du séjour.

En déduire la puissance totale dissipée par la chambre 1 puis par le séjour.



Données Chambre 1

Nature des parois	Surface (m ²)	Résistance thermique (K·W ⁻¹)	Puissance dissipée (W)
Mur extérieur	17,5	0,15	
Fenêtre	1,62	0,25	
Plancher	12,1	0,20	
Plafond	12,1	0,43	

Données Séjour

Nature des parois	Surface (m ²)	Résistance thermique (K·W ⁻¹)	Puissance dissipée (W)
Mur extérieur	32	0,081	
Fenêtre	6,1	0,067	
Plancher	29	0,080	
Plafond	29	0,12	

14. Le volume d'air est renouvelé une fois toutes les deux heures par ventilation mécanique contrôlée. Calculer l'énergie nécessaire pour réchauffer cet air renouvelé toutes les 2 heures et la puissance P_{air} nécessaire correspondante.

15. Calculer la puissance totale dissipée par l'ensemble de la maison. On donne les puissances dissipées dans les différentes pièces.

Pièce	Puissance dissipée (W)	Débit plancher chauffant Q_v
Chambre 1		1
Chambre 2	180	1
Chambre 3	160	1
Salle de bain/WC	115	2,5
Cuisine	200	2,4
Séjour		2,2
Salle à manger	270	2,3

16. Un système de chauffage par plancher chauffant permet de compenser les pertes thermiques afin de maintenir une température constante de 19°C dans l'ensemble de la maison. Le plancher chauffant joue le rôle d'un échangeur ; il est constitué de différentes boucles en dérivation. On note T_e la température d'entrée de chaque boucle et T_s la température de sortie. On supposera que la température de sortie est identique pour chaque boucle.



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6b/Underfloor_heating_pipes.jpg



Exprimer la puissance thermique transférée par la boucle de la chambre 1 en fonction du débit, des températures T_E et T_S , de la capacité calorifique de l'eau et de la masse volumique de l'eau.

17. En déduire une expression de la puissance thermique totale transférée par le plancher chauffant de la maison en fonction du débit total $Q_{V,tot}$, des températures T_E et T_S , de la capacité calorifique de l'eau et de la masse volumique de l'eau.
18. Déterminer la différence de température $T_E - T_S$ pour que la puissance transmise par le plancher chauffant compense les pertes thermiques de la maison.

Données :

- Capacité calorifique de l'eau : $c_{eau} = 4180 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- Masse volumique de l'eau : $\rho_{eau} = 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

EXERCICE 7 : Puissance transférée dans un échangeur thermique

Un échangeur thermique multitubulaire est utilisé pour réchauffer une solution de saccharose de 20 à 45 °C. L'échangeur fonctionne à co-courant. Dans ce but on utilise de l'eau chaude à 75 °C circulant à l'intérieur des tubes. A la sortie de l'échangeur, la température de l'eau chaude a diminué de 15 °C.

L'échangeur a une surface d'échange égal à 0,5 m² avec un coefficient global d'échange de 1200 W.m⁻².K⁻¹.

19. Préciser quel est le liquide chaud et quel est le liquide froid dans cet échangeur.
20. Réaliser un schéma montrant l'évolution des températures à l'intérieur de l'échangeur.
21. Calculer l'écart de température moyen.
22. Calculer la puissance thermique transférée entre les deux liquides, exprimée en kW.

EXERCICE 8 : Modes de circulation dans un échangeur thermique

Un technicien dans un atelier de fabrication trouve dans un relevé de mesures les indications suivantes.

Echangeur thermique B35	
Type : multitubulaire (10 tubes)	
Mode de circulation : co-courant	
Eau froide : $T_{entrée} = 6 \text{ °C}$	$T_{sortie} = 35 \text{ °C}$
Toluène : $T_{entrée} = 65 \text{ °C}$	$T_{sortie} = 30 \text{ °C}$

Il va immédiatement demander des éclaircissements à l'auteur du document. Expliquer pourquoi.

EXERCICE 9 : Surface d'un échangeur de refroidissement

La distillation d'un mélange binaire eau - octane conduit à l'obtention d'un distillat sortant du condenseur de la colonne à une température de 66 °C. Pour le stockage de ce distillat, il est nécessaire de le refroidir à une température maximale de 25 °C. La puissance thermique transférée est de 40 kW.

L'échangeur pour ce refroidissement est un échangeur à plaques avec une alimentation en eau à 15 °C comme liquide froid. La température de l'eau indiquée à la sortie de l'échangeur est de 31 °C. Le coefficient global d'échange est de 580 W.m⁻².K⁻¹. La capacité thermique massique de l'eau est 4,18 kJ.kg⁻¹.K⁻¹.

1. Réaliser un schéma montrant l'évolution des températures à l'intérieur de l'échangeur fonctionnant à contre-courant.
2. Calculer l'écart de température moyen.
3. Calculer la surface d'échange nécessaire pour cet échangeur.



4. Calculer le débit massique d'eau froide nécessaire permettant ce transfert.

EXERCICE 10 : Coefficient global d'échange

Lors de la fabrication d'eau oxygénée, une solution contenant un mélange de peroxyde d'hydrogène et d'un composé organique sort d'un réacteur d'oxydation à une température de 65 °C. Cette solution doit être refroidie à 35°C après passage dans un échangeur multitubulaire de surface totale égale à 220 m².

Le refroidissement s'effectue en utilisant de l'eau à 12 °C qui subit une augmentation de température de 23 °C dans l'échangeur. Le débit massique d'eau mesuré est de 50 kg.s⁻¹.

La puissance thermique échangée est de 4800 kW.

La capacité thermique massique de l'eau est de 4,18 kJ.kg⁻¹.K⁻¹.

La capacité thermique massique de la solution est de 2,17 kJ.kg⁻¹.K⁻¹.

1. Réaliser un schéma montrant l'évolution des températures à l'intérieur de l'échangeur.
2. Calculer l'écart de température moyen.
3. Calculer le coefficient global d'échange thermique de cet échangeur.
4. A partir de la puissance thermique transférée, calculer le débit massique mesuré de la solution contenant le peroxyde d'hydrogène