



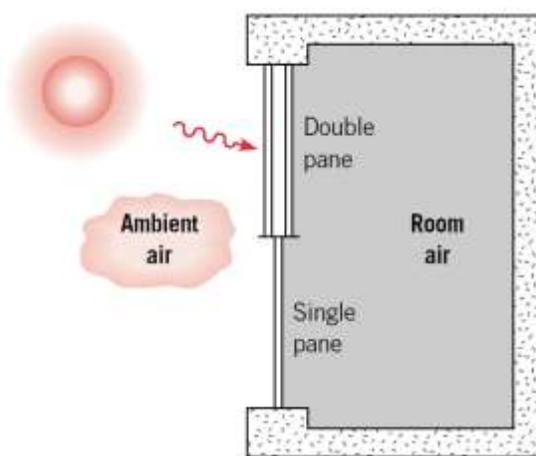
## 2.4 EXERCICES ÉNERGIE THERMIQUE

### Exercice n°2.4.i : Les composants du rayonnement solaire

En considérant les problèmes suivants concernant le transfert de chaleur dans l'environnement naturel (à l'extérieur), reconnaissez que le rayonnement solaire est composé de composants de longueur d'onde courte et longue. Si ce rayonnement est incident sur un milieu semi-transparent, tel que de l'eau ou du verre, deux choses arriveront à la partie non réfléchie du rayonnement. La composante à longue longueur d'onde sera absorbée à la surface du milieu, tandis que la composante à courte longueur d'onde sera transmise par la surface.

### QUESTIONS

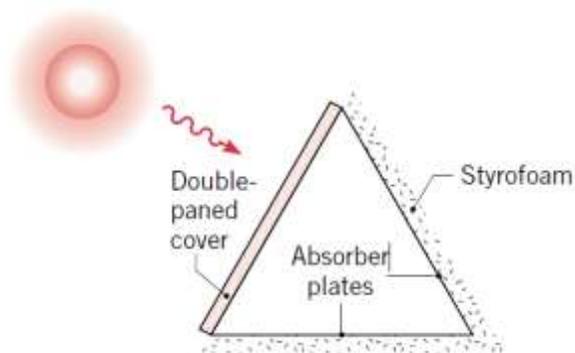
**Question 1 :** Le nombre de vitres dans une fenêtre peut fortement influencer la perte de chaleur d'une pièce chauffée vers l'air ambiant extérieur. Comparez les unités à simple et double vitrage indiquées en identifiant les processus de transfert de chaleur pertinents pour chaque cas.



Dans un capteur plat solaire typique, l'énergie est collectée par un fluide qui circule à travers des tubes qui sont en contact avec la face arrière d'une plaque absorbante. La face arrière est isolée de l'environnement et la plaque absorbante reçoit le rayonnement solaire sur sa face avant, qui est généralement couverte par une ou plusieurs plaques transparentes.

**Question 2 :** Identifiez les processus de transfert de chaleur pertinents, d'abord pour la plaque d'absorbeur sans plaque de couverture, puis pour la plaque d'absorbeur avec une seule plaque de couverture.

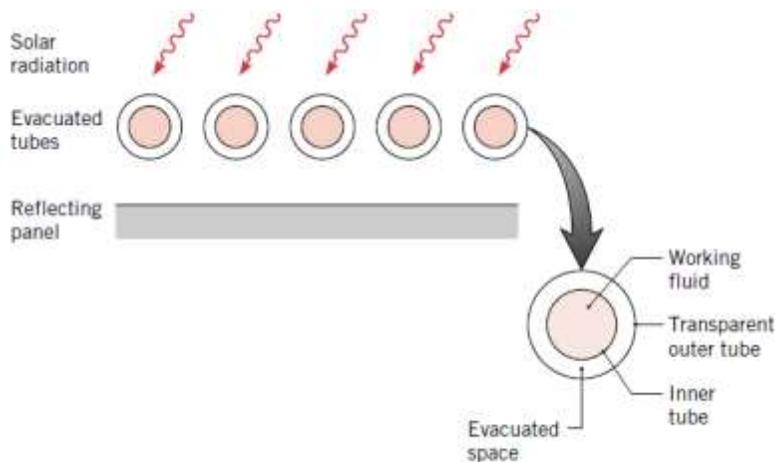
La conception du collecteur d'énergie solaire illustrée ci-contre a été utilisée pour des applications agricoles. L'air est soufflé à travers un long conduit dont la section est en forme de triangle équilatéral. Un côté du triangle est composé d'un couvercle semi-transparent à double vitrage, tandis que les deux autres côtés sont construits à partir de feuilles d'aluminium peintes en noir mat à l'intérieur et recouvertes à l'extérieur d'une couche d'isolant en polystyrène. Pendant les périodes ensoleillées, l'air entrant dans le système est chauffé pour être acheminé vers une serre, une unité de séchage des grains ou un système de stockage.



**Question 3 :** Identifiez tous les processus de transfert de chaleur associés aux plaques de recouvrement, aux plaques d'absorbeur et à l'air.

Les capteurs solaires à tubes sous vide sont capables d'améliorer les performances par rapport aux capteurs plats. La conception consiste en un tube intérieur enfermé dans un tube extérieur transparent au rayonnement solaire. L'espace annulaire entre les tubes est évacué. La surface externe et opaque du tube intérieur absorbe le rayonnement solaire et un fluide traverse le tube pour collecter l'énergie solaire. La conception du collecteur consiste généralement en une rangée de tels tubes disposés devant un panneau réfléchissant.

**Question 4 :** Identifiez tous les processus de transfert de chaleur pertinents pour les performances de cet appareil.

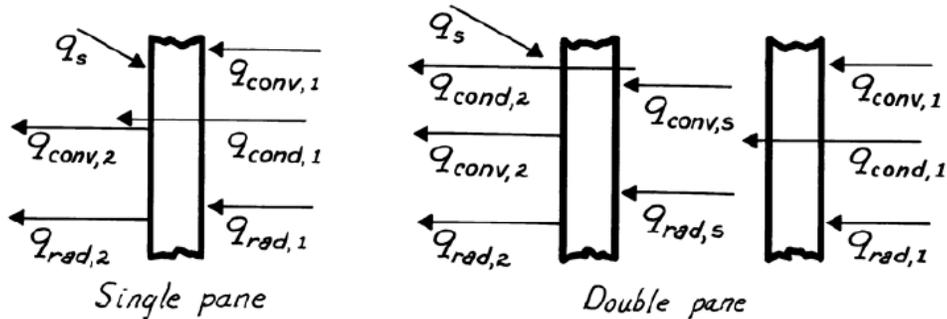


**Question 5 :** En considérant le capteur solaire à tube sous vide décrit ci-dessus, afin de maximiser l'efficacité du capteur, quelles caractéristiques radiatives spectrales sont souhaitées pour le tube externe et pour le tube interne ?

## REPONSES

**Question 1 :** Le nombre de vitres dans une fenêtre peut fortement influencer la perte de chaleur d'une pièce chauffée vers l'air ambiant extérieur. Comparez les unités à simple et double vitrage indiquées en identifiant les processus de transfert de chaleur pertinents pour chaque cas.

### Schéma

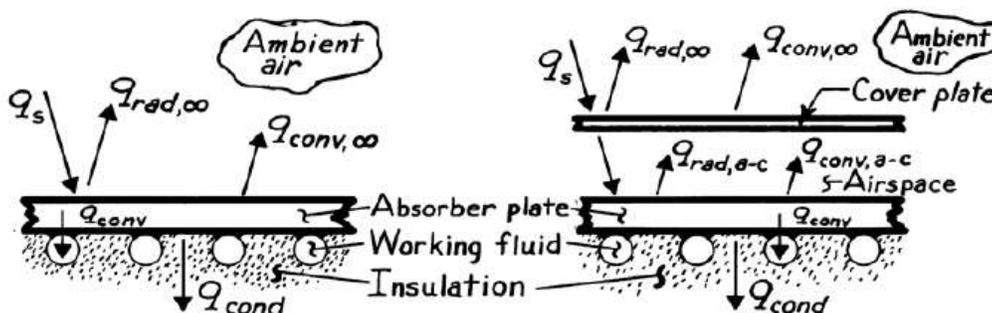


- $q_{conv,1}$  Convection de l'air ambiant à la surface intérieure de la première vitre,
- $q_{rad,1}$  Échange net de rayonnement entre les murs de la pièce et la surface intérieure de la première vitre,
- $q_{cond,1}$  Conduction à travers la première vitre,
- $q_{conv,s}$  Convection à travers l'espace entre les vitres,
- $q_{rad,s}$  Échange de rayonnement net entre la surface extérieure de la première vitre et la surface intérieure de la seconde (à travers l'espace),
- $q_{cond,2}$  Conduction à travers la seconde vitre,
- $q_{conv,2}$  Convection de la surface extérieure de la seule (ou deuxième) vitre vers l'air ambiant,
- $q_{rad,2}$  Échange net de rayonnement entre la surface extérieure de la seule (ou deuxième) vitre et son environnement tel que le sol,
- $q_s$  Rayonnement solaire incident pendant la journée ; la fraction transmise à la pièce est plus petite pour le double vitrage.

**Commentaires :** La perte de chaleur de la pièce est considérablement réduite par la mise en place d'un double vitrage.

**Question 2 :** Identifiez les processus de transfert de chaleur pertinents, d'abord pour la plaque d'absorbeur sans plaque de couverture, puis pour la plaque d'absorbeur avec une seule plaque de couverture.

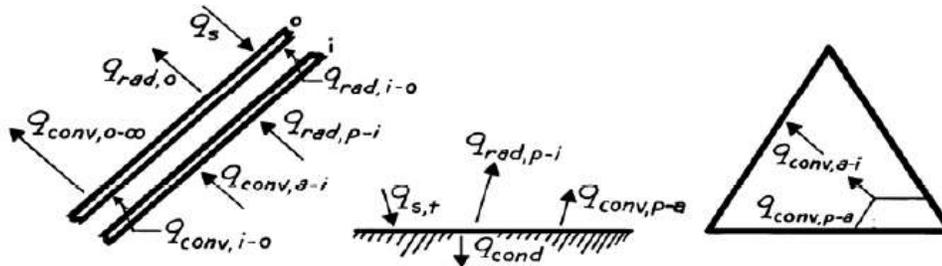
### Schéma



$q_s$	Rayonnement solaire incident, dont une grande partie est absorbée par la plaque absorbante. Réduit avec l'utilisation de la plaque de couverture (principalement en raison de la réflexion sur la plaque de couverture).
$q_{rad,\infty}$	Échange net de rayonnement entre la plaque absorbante ou la plaque de recouvrement et l'environnement,
$q_{conv,\infty}$	Convection de la plaque absorbante ou de la plaque de couverture à l'air ambiant,
$q_{rad,a-c}$	Échange de rayonnement net entre l'absorbeur et les plaques de recouvrement,
$q_{conv,a-c}$	Transfert de chaleur par convection à travers l'espace entre l'absorbeur et les plaques de recouvrement,
$q_{cond}$	Conduction à travers l'isolant,
$q_{conv}$	Convection vers le fluide.

**Commentaires :** La plaque de couverture agit pour réduire considérablement les pertes de chaleur par convection et rayonnement de la plaque absorbante vers l'environnement.

**Question 3 :** Identifiez tous les processus de transfert de chaleur associés aux plaques de recouvrement, aux plaques d'absorbeur et à l'air.



Supposons que la température des plaques absorbantes dépasse la température de l'air ambiant. Au niveau des plaques de recouvrement, les processus pertinents sont :

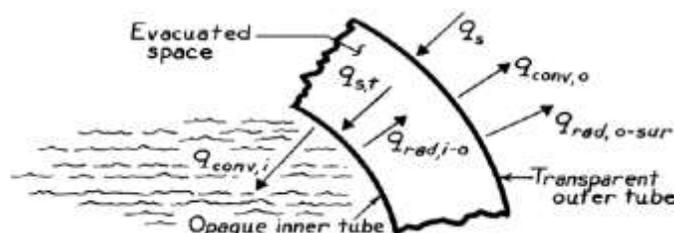
$q_{conv,a-i}$	Convection de l'air intérieur à la surface intérieure,
$q_{rad,p-i}$	Transfert de rayonnement net des plaques absorbantes à la surface intérieure,
$q_{conv,i-o}$	Convection à travers l'espace entre les couvertures,
$q_{rad,i-o}$	Transfert de rayonnement net de l'intérieur vers l'extérieur,
$q_{conv,o-\infty}$	Convection du couvercle extérieur à l'air ambiant,
$q_{rad,o}$	Transfert net de rayonnement de la couverture extérieure vers l'environnement,
$q_s$	Rayonnement solaire incident.

Les processus supplémentaires pertinents pour les plaques absorbantes et l'espace aérien sont :

$q_{s,t}$	Rayonnement solaire transmis par les plaques de recouvrement,
$q_{conv,p-a}$	Convection des plaques absorbantes vers l'air intérieur,
$q_{cond}$	Conduction à travers l'isolation.

**Question 4 :** Identifiez tous les processus de transfert de chaleur pertinents pour les performances de cet appareil.

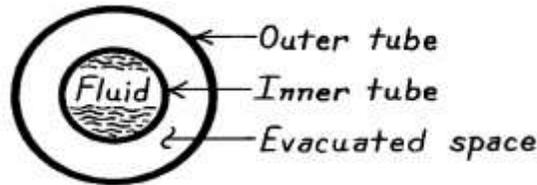
**Schéma**



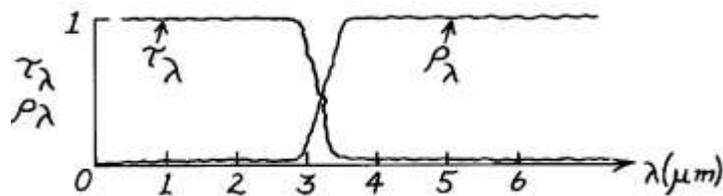
$q_s$	Rayonnement solaire incident, y compris la contribution due à la réflexion sur le panneau (la majeure partie est transmise),
$q_{conv,o}$	Transfert de chaleur par convection de la surface extérieure vers l'air ambiant,
$q_{rad,o-sur}$	Taux net d'échange thermique par rayonnement entre la surface extérieure du tube extérieur et l'environnement, y compris le panneau,
$q_{s,t}$	Rayonnement solaire transmis à travers le tube externe et rayonnement solaire incident sur le tube interne (la plupart est absorbé),
$q_{rad,i-o}$	Taux net d'échange de chaleur par rayonnement entre la surface extérieure du tube intérieur et la surface intérieure du tube extérieur, et
$q_{conv,i}$	Transfert de chaleur par convection vers le fluide.

Il existe également un transfert de chaleur par conduction à travers les parois des tubes intérieurs et extérieurs. Si les murs sont minces, la chute de température à travers les murs sera faible.

**Question 5 :** En considérant le capteur solaire à tube sous vide décrit ci-dessus, afin de maximiser l'efficacité du capteur, quelles caractéristiques radiatives spectrales sont souhaitées pour le tube externe et pour le tube interne ?



Le tube extérieur doit être transparent au rayonnement solaire incident, qui est concentré dans la région spectrale  $\lambda \leq 3 \mu m$ , mais il doit être opaque et hautement réfléchissant au rayonnement émis par la surface extérieure du tube intérieur, qui est concentrée dans la région spectrale au-dessus de  $3 \mu m$ . En conséquence, les caractéristiques spectrales idéales pour le tube extérieur sont :



Notez qu'un grand  $\rho_\lambda$  est souhaitable pour la surface externe, ainsi que la surface interne du tube externe. Si la surface est diffuse, une grande valeur de  $\rho_\lambda$  donne une petite valeur de  $\varepsilon_\lambda = \alpha_\lambda = 1 - \rho_\lambda$ . Par conséquent, les pertes dues aux émissions de la surface extérieure vers l'environnement seraient négligeables.

La surface extérieure opaque du tube intérieur doit absorber tout le rayonnement solaire incident ( $\lambda \leq 3 \mu m$ ) et émettre peu ou pas de rayonnement, qui serait dans la région spectrale  $\lambda > 3 \mu m$ . En conséquence, en supposant un comportement de surface diffuse, les caractéristiques spectrales idéales sont :

