

Feuille de notes MI ERM

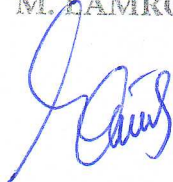
Matière : Rayonnement solaire

Rattrapage

Salle : C04

N°	Nom & Prénom	Signature	Notes/20
1	AMARI YACINE		03
2	BENNADJI SARA		11
3	BOUMATI AIMED		05
4	HAMIZI AMAYAS		-
5	HAMMA MALHA		-
6	HAMMOUTENE YANIS		04
7	MERROUKI MOKRANE		-
8	SLIMANI KACI		05

Enseignant:
M. FAMROUS



Date d'affichage :

23-06-2026

Département de Génie Mécanique
Section Supérieure
des Enseignements de Licence

Examen de rattrapage du module de Rayonnement thermique

Données

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}, b = 2898 \text{ } \mu\text{m.K},$$

On rappelle que l'émissance d'un corps noir est donnée par : $M^0 = \sigma T^4$

Exercice 1 : Lois fondamentales du rayonnement (6 points)

Une petite bille sphérique de rayon $R = 2 \text{ cm}$ est suspendue au centre d'une grande enceinte initialement vide d'air. La surface de cette bille est assimilée à un corps gris d'émissivité $\varepsilon = 0,6$. La bille est maintenue à une température uniforme et constante $T_{\square} = 800 \text{ K}$.

- 1. Loi de Stefan-Boltzmann :** Calculer le flux énergétique total (en Watts) émis par la surface de la bille dans tout l'espace.
- 2. Loi du déplacement de Wien :** Déterminer la longueur d'onde λ_{\max} pour laquelle la luminance spectrale de la bille est maximale. Dans quel domaine du spectre électromagnétique se situe cette longueur d'onde ?
- 3. Loi de Kirchhoff & Bilan spectral :** On éclaire la bille avec un faisceau monochromatique de longueur d'onde λ_{\square} . Si l'absorptivité spectrale de la bille à cette longueur d'onde est $\alpha_{\lambda_{\square}} = 0,6$, que vaut son émissivité spectrale $\varepsilon_{\lambda_{\square}}$? Justifier brièvement en énonçant la loi correspondante.

Exercice 2 : Échanges radiatifs en milieu transparent (7points)

On considère un canal de grande longueur (problème bidimensionnel) dont la section transversale est un triangle équilatéral de côté $L = 0,5 \text{ m}$. Les trois surfaces internes, notées A_{\square} , A_{\square} et A_{\square} , sont séparées par de l'air sec, considéré comme un milieu parfaitement transparent.

- Surface A_1 : Surface noire maintenue à $T_{\square} = 1000 \text{ K}$.
- Surface A_2 : Surface noire maintenue à $T_{\square} = 500 \text{ K}$.
- Surface A_3 : Surface grise et opaque d'émissivité $\varepsilon_{\square} = 0,8$. Cette surface est parfaitement isolée thermiquement sur sa face externe (surface adiabatique).

- 1. Facteurs de forme :** En utilisant les propriétés des facteurs de forme (somme, symétrie), déterminer l'ensemble des facteurs de forme F_{ij} pour les trois surfaces internes.
- 2. Température de la surface isolée :** Établir le bilan radiatif sur la surface 3 pour déterminer sa température d'équilibre T_{\square} (exprimée en Kelvin).
- 3. Flux net :** Calculer le flux radiatif net par unité de longueur (en W/m) échangé par la surface 1.

Exercice 3 : Intervention des milieux gazeux (7points)

Une chambre de combustion est modélisée par deux plaques planes parallèles noires et infinies, séparées d'une distance $D = 1 \text{ m}$.

- La plaque inférieure (Surface 1) est à $T_{\square} = 1200 \text{ K}$.
- La plaque supérieure (Surface 2) est à $T_{\square} = 600 \text{ K}$.

Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou - Faculté du génie de la construction

L'espace entre les deux plaques est rempli d'un gaz de combustion contenant du dioxyde de carbone (CO_2) et de la vapeur d'eau (H_2O). Ce mélange gazeux se comporte comme un milieu semi-transparent, absorbant et émettant, maintenu à une température uniforme $T_g = 900 \text{ K}$. Ses propriétés globales sont estimées à $\epsilon_g = 0,25$ et $\alpha_g = 0,25$.

- 1. Modélisation du bilan :** Représenter ou expliquer le devenir du flux quittant la surface 1 avant d'atteindre la surface 2 (mécanismes d'atténuation et d'émission du milieu semi transparent).
- 2. Transmittivité et épaisseur optique du milieu gazeux:** Déterminer les valeurs du coefficient de transmission ζ_g , du coefficient d'absorption K supposé constant du milieu gazeux ainsi que son épaisseur optique.
- 3. Calcul des flux nets :** Calculer le flux radiatif net reçu par la surface supérieure (Surface 2) par unité de surface (W/m^2). Calculer le flux net total perdu ou gagné par le gaz par unité de surface (W/m^2). Le gaz est-il globalement chauffé ou refroidi ?

CORRIGÉ DÉTAILLÉ

Correction de l'Exercice 1 : Lois fondamentales

(6 points)

1. Calcul du flux émis (Stefan-Boltzmann) :

La surface d'une bille sphérique est $A = 4 \cdot \pi \cdot R^2 = 4 \cdot \pi \cdot (0,02)^2 = 5,0265 \times 10^{-3} \text{ m}^2$.

Le flux total émis par un corps gris est donné par : $\Phi = \epsilon \cdot A \cdot \sigma \cdot T^4$

$$\Phi = 0,6 \times (5,0265 \times 10^{-3} \text{ m}^2) \times (5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}) \times (800 \text{ K})^4$$

$$\Phi = 0,6 \times 5,0265 \times 10^{-3} \times 5,67 \times 10^{-8} \times 4,096 \times 10^{11} \approx 70,03 \text{ Watts.}$$

(3 pts)

2. Longueur d'onde maximale (Loi de Wien) :

$$\lambda_{\text{max}} \cdot T = 2898 \mu\text{m} \cdot \text{K} \Rightarrow \lambda_{\text{max}} = 2898 / 800 = 3,6225 \mu\text{m.}$$

Cette longueur d'onde se situe dans l'Infrarouge (Infrarouge moyen, IRM).

(2 pts)

3. Loi de Kirchhoff :

Selon la loi de Kirchhoff, à l'équilibre thermodynamique (ou par propriété directionnelle/spectrale intrinsèque), l'émissivité spectrale est égale à l'absorptivité spectrale pour une même longueur d'onde et une même direction : $\epsilon_\lambda = \alpha_\lambda$.

Donc, $\epsilon_{\lambda_0} = \alpha_{\lambda_0} = 0,6$.

(1 pt)

Correction de l'Exercice 2 : Échanges en milieu transparent

(7 points)

1. Calcul des facteurs de forme :

Les surfaces internes sont planes, donc aucun élément ne se voit lui-même : $F_{11} = F_{22} = F_{33} = 0$.

Par symétrie parfaite du triangle équilatéral : $F_{12} = F_{13}$, $F_{21} = F_{23}$, $F_{31} = F_{32}$.

Règle de sommation pour la surface 1 : $F_{11} + F_{12} + F_{13} = 1 \Rightarrow 0 + 2 \cdot F_{12} = 1 \Rightarrow F_{12} = F_{13} = 0,5$.

Règle de réciprocité : $F_{ij} A_i = F_{ji} A_j$ pour tout i et tout j .

Comme $A_1 = A_2 = A_3$ alors $F_{ij} = F_{ji} = 0,5$ pour tout i et tout j

(3 pts)

2. Température de la surface isolée (Surface 3) :

Puisque la surface 3 est adiabatique (isolée), son flux net est nul ($q_3 = 0$), sa radiativité est égale à son émission de corps noir : $J_3 = M_3 = \sigma \cdot T_3^4$.

Le bilan sur la surface grise isolée dans une enceinte à trois zones s'écrit simplifiée par la méthode des nœuds ou par l'équation : $q_3 = 0 = A_3 \cdot F_{31} \cdot (J_3 - J_1) + A_3 \cdot F_{32} \cdot (J_3 - J_2)$.

Comme $A_1 = A_2 = A_3$ et $F_{31} = F_{32} = 0,5$,

$$\text{on a : } (J_3 - \sigma \cdot T_1^4) + (J_3 - \sigma \cdot T_2^4) = 0 \Rightarrow 2 \cdot J_3 = \sigma \cdot T_1^4 + \sigma \cdot T_2^4.$$

$$\text{D'où : } T_3^4 = (T_1^4 + T_2^4) / 2$$

$$T_3 = (5,3125 \times 10^{11})^{1/4} \Rightarrow T_3 = 853,7 \text{ K}$$

(2 pts)

3. Flux net par unité de longueur pour la surface 1 :

La surface 1 étant noire, $J_1 = \sigma \cdot T_1^4$. De même $J_2 = \sigma \cdot T_2^4$.

Le flux net perdu par la surface 1 est : $q_1 = L \cdot F_{12} \cdot (\sigma \cdot T_1^4 - \sigma \cdot T_2^4) + L \cdot F_{13} \cdot (\sigma \cdot T_1^4 - \sigma \cdot T_3^4)$
 $\approx 19933,6 \text{ W/m.}$

(2 pts)

Correction de l'Exercice 3 : Intervention des milieux gazeux

7 points

1. Devenir du flux quittant la surface 1 :

Le flux émis par la plaque 1 (corps noir) traverse le gaz. Une fraction (α_g) de ce flux est absorbée par le gaz au cours de son trajet. Le reste ($1 - \alpha_g$) est transmis directement à la surface 2 sans altération. En parallèle, le gaz lui-même émet son propre rayonnement ($\varepsilon_g \cdot M^0_g$) de manière isotrope dans toutes les directions, donc une moitié va vers la surface 1 et l'autre vers la surface 2.

2. Transmittivité et épaisseur optique du milieu gazeux :

$$\zeta_g = 1 - \alpha_g = 1 - 0,25 = 0,75$$

L'épaisseur optique k_g se calcule à partir de la relation : $\zeta_g = \exp(-k_g)$ d'où $k_g = -\ln(\zeta_g) = 0,29$

Le coefficient d'absorption $K_g = k_g / D = 0,29 \text{ m}^{-1}$.

3. Calcul des flux nets :

• Flux net reçu par unité de surface 2 : est composé de la part transmise par la surface 1 ainsi que de la part émise par le gaz. Cette plaque étant noire, elle absorbe tout ce qu'elle reçoit. Ainsi le flux arrivant et donc absorbé par l'unité de surface 2 est : $\varphi_{\text{reçu}} = (1 - \alpha_g) \cdot M^0_1 + \varepsilon_g \cdot M^0_g$
 $q_{\text{reçu}} = (1 - 0,25) \times 117573,1 + 0,25 \times 37199,5 = 88179,8 + 9299,9 = 97479,7 \text{ W/m}^2$.

• Flux net perdu ou gagné par le gaz (par unité de surface de plaque) : Il est égal à la différence entre le flux absorbé en provenance des deux surfaces et le flux émis par le gaz:

Flux absorbé provenant des deux plaques : $\alpha_g \cdot M^0_1 + \alpha_g M^0_2$

Flux émis par le gaz par ses deux côtés (vers le haut et vers le bas) : $2 \cdot \varepsilon_g \cdot M^0_g$.

Le bilan net perdu par le gaz est : $\varphi_g = 2 \cdot \varepsilon_g \cdot M^0_g - \alpha_g (M^0_1 + M^0_2) = -12630,6 \text{ W/m}^2$.

Le flux net perdu étant négatif, le gaz GAGNE de l'énergie. Il est donc globalement CHAUFFÉ par le rayonnement des plaques.