

12,5

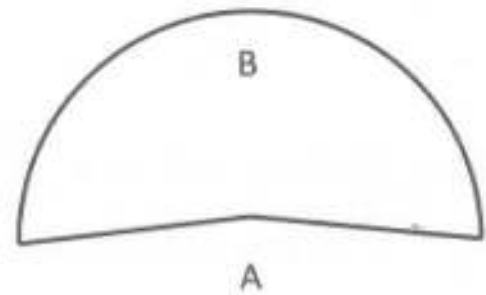
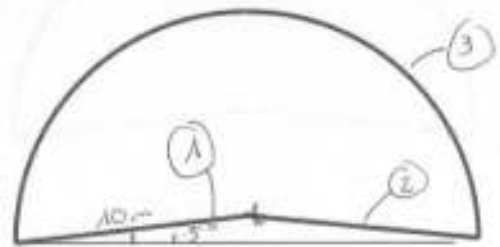
Nom : RIVOIRARD LUCAS

Groupe : G2

L'illustration ci-contre représente la coupe transversale d'un tunnel routier rectiligne. Cet ouvrage, de section semi-circulaire (diamètre D), sera supposé de longueur L très grande devant D.

Il abrite une voie de circulation composée de deux chaussées présentant chacune un dévers de 1,5° (par rapport à l'horizontale). Chaque chaussée a une largeur de 10 m.

On désignera par (1) et (2) les surfaces de chaussée et par (3) la surface de voûte circulaire.



1,5

1.1. Le tunnel est supposé composé de surfaces noires. Les deux chaussées sont à température identique T_A . La voûte est à température T_B .

Calculez les facteurs de forme géométriques du problème. Évaluez le flux net (perdu ou gagné) pour chacune des surfaces du problème.

Calculez chacun des flux nets (par unité de longueur) lorsque $T_A = 15^\circ\text{C}$ et $T_B = 10^\circ\text{C}$.

Les surfaces (1), (2) et (3) composent une cavité fermée. On peut associer de plus (1) et (2) étant des surfaces linéaires on a 1 et 2 elles sont à la même température!

$F_{11} = 0 \quad F_{22} = 0$

De plus au vu de la géométrie du problème $F_{12} = 0$ car la surface (1) n'est pas vue par la surface (2)

On a également la formule

$S_1 F_{12} = S_2 F_{21}$ or $S_1 = S_2$ donc $F_{12} = F_{21}$

De plus $S_1 F_{13} = S_3 F_{31}$ or $S_3 = \frac{\pi D L}{2}$ donc $F_{13} = \frac{\pi D}{20} F_{31}$
 $S_1 = 10 \cdot L$ si on regarde d
 dernière $F_{23} = \frac{\pi D}{20} F_{32}$

Et comme c'est une cavité fermée

$$\begin{cases} F_{12} + F_{13} + F_{11} = 1 \\ F_{21} + F_{22} + F_{23} = 1 \\ F_{31} + F_{32} + F_{33} = 1 \end{cases}$$

Donc $F_{13} = 1 \quad F_{23} = 1 \quad F_{31} = \frac{20}{\pi D} \quad F_{32} = \frac{20}{\pi D} \quad F_{33} = 1 - \frac{20 \times 2}{\pi D}$

Et on a

$\Phi_1 = S_1 \sum F_{1j} (T_1^4 - T_j^4)$
 avec $T_1^4 = \sigma T_A^4$

$\Phi_1 = S_1 (F_{13} (T_1^4 - T_3^4))$
 $\Phi_1 = S_1 (\sigma T_A^4 - \sigma T_B^4)$

AN: $\Phi_1 = 263 \text{ W.m}^{-1}$ (flux perdu)

$\Phi_2 = S_2 F_{23} (T_2^4 - T_3^4)$
 $\Phi_2 = S_2 (\sigma T_A^4 - \sigma T_B^4)$

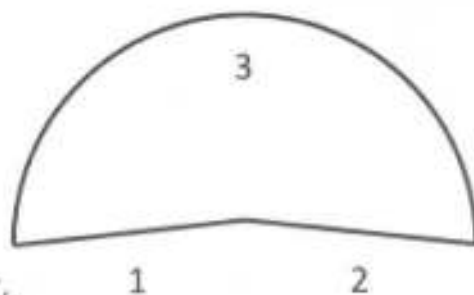
AN: $\Phi_2 = 263 \text{ W.m}^{-1}$ (flux perdu)

$\Phi_3 = S_3 [(\sigma T_B^4 - \sigma T_1^4) + (\sigma T_B^4 - \sigma T_2^4)] \times \frac{10}{\pi D}$

AN: $\Phi_3 = -528 \text{ W.m}^{-1}$ P. MICHEL
 flux gagné

1.2. Les deux chaussées sont maintenant supposées à des températures T_1 et T_2 ($T_1 \neq T_2$). La voûte est à température T_3 . Toutes les surfaces sont noires. Calculez les facteurs de forme géométriques du problème. Calculez le flux net (perdu ou gagné) pour chacune des surfaces du problème.

Calculez chacun des flux nets (par unité de longueur) lorsque $T_1 = 15^\circ\text{C}$, $T_2 = 20^\circ\text{C}$ et $T_3 = 10^\circ\text{C}$.



2
Les facteurs de formes ne sont pas modifiés.
ou seul l'exposant de T_3

Flux :

$$\Phi_1 = S_1 (\sigma_0 T_1^4 - \sigma_0 T_3^4)$$

$$\text{AN : } \Phi_1 = 263 \text{ W.m}^{-1} \text{ (flux perdu)}$$

Il y a un sens par les flux net !
c'est celui qui sort de la surface !

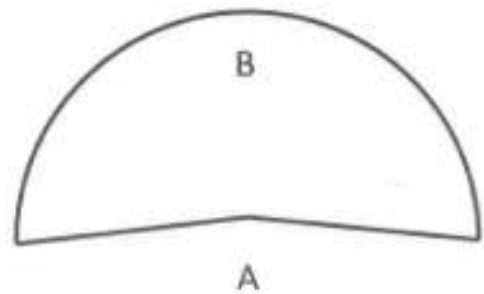
$$\Phi_2 = S_2 (\sigma_0 T_2^4 - \sigma_0 T_3^4)$$

$$\text{AN } \Phi_2 = 542 \text{ W.m}^{-1} \text{ (flux perdu)}$$

$$\Phi_3 = S_3 [F_{31} (\sigma_0 T_3^4 - \sigma_0 T_1^4) + F_{32} (\sigma_0 T_3^4 - \sigma_0 T_2^4)]$$

$$\Phi_3 = -808 \text{ W.m} \text{ flux gagné}$$

L3. Le tunnel est supposé composé de surfaces grises. Les deux chaussées sont à température identique T_A . La voûte est à température T_B .
 Calculez le facteur de forme gris entre les deux surfaces A et B. Évaluez le flux net (par unité de longueur) échangé entre les deux surfaces A et B lorsque $T_A = 15^\circ\text{C}$ et $T_B = 10^\circ\text{C}$, si $\epsilon_A = 0,9$ et $\epsilon_B = 0,8$.



25

C'est une cavité fermée donc

$F_{AA} + F_{AB} = 1$ Or $F_{AB} = 0$ (d'après la géométrie du problème)

$F_{BB} + F_{BA} = 1$ Donc $F_{AB} = 1$

Or $S_A F_{AB} = S_B F_{BA}$ donc $F_{BA} = F_{AB} \frac{S_A}{S_B} = \frac{2 \cdot 10}{(\pi \cdot 10)/2}$

Donc $F_{BB} = 1 - \frac{40}{\pi \cdot 10} = 1 - \frac{2}{\pi}$

et $F_{BA} = \frac{40}{\pi \cdot 10} = \frac{2}{\pi}$

Analogie électrique :



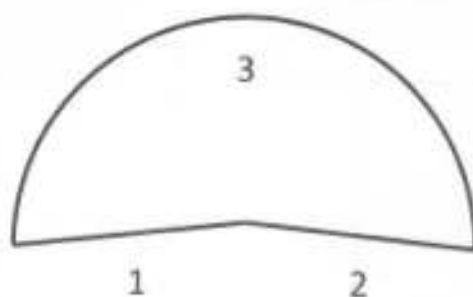
$$\Phi_{ech} = (M_A^0 - M_B^0) S_1 \tilde{F}_{1,2} \quad \text{avec} \quad \tilde{F}_{1,2} = \frac{1}{\frac{1 - \epsilon_A}{\epsilon_A} + \frac{1}{F_{AB}} + \frac{1 - \epsilon_B}{\epsilon_B} \frac{S_A}{S_B}}$$

AN. $\frac{\Phi_{ech}}{1 \rightarrow 2} = \frac{185}{415,4} \text{ W.m}^{-1}$ ($\tilde{F}_{1,2} = 0,79$)

I.4. Le tunnel est supposé composé de surfaces grises. Les deux chaussées sont maintenant supposées à des températures T_1 et T_2 ($T_1 \neq T_2$). La voûte est à température T_3 .

Calculez la radiosité de chacune des surfaces du problème lorsque $T_1 = 15^\circ\text{C}$, $T_2 = 20^\circ\text{C}$ et $T_3 = 10^\circ\text{C}$, si $\epsilon_1 = 0,9$, $\epsilon_2 = 0,7$ et $\epsilon_3 = 0,8$.

Calculez chacun des flux nets (par unité de longueur).

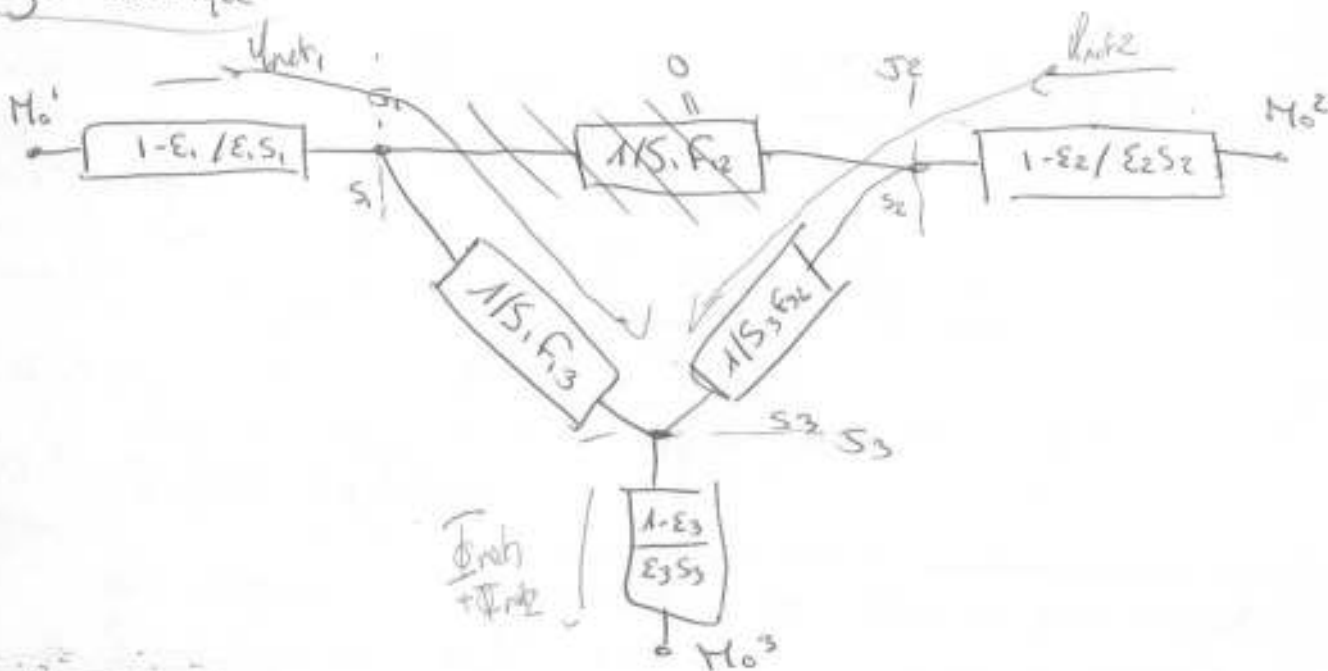


① La cavité est fermée

On a les mêmes facteurs de formes que Q1.2.

$F_{11} = 0$	$F_{13} = 1$	$F_{31} = \frac{20}{\pi D} = \frac{1}{\pi}$	$F_{33} = 1 - \frac{20}{\pi D} = 1 - \frac{1}{\pi}$
$F_{22} = 0$	$F_{23} = 1$		
$F_{12} = 0$			
$F_{21} = 0$		$F_{32} = \frac{20}{\pi D} = \frac{1}{\pi}$	

Analogie électrique



$$\phi_{net} = \frac{M_1^0 - J_1}{S \epsilon_1 (1 - \epsilon_1)}$$

Eq aux radiosité

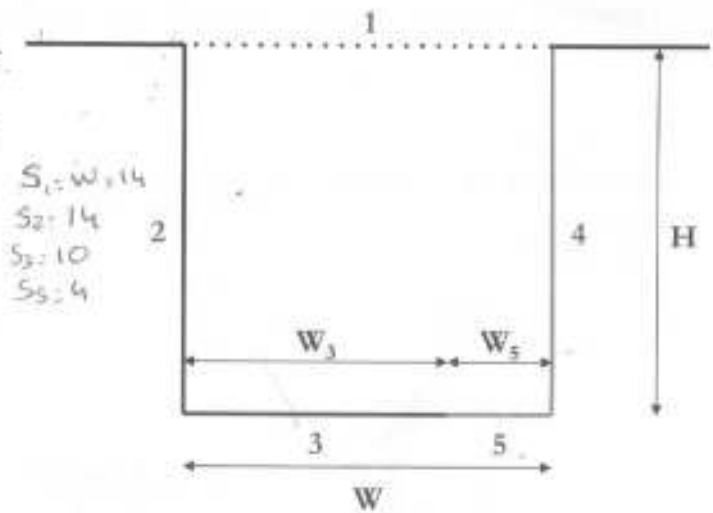
$$J_i = \epsilon_i M_i^0 + \rho_i \epsilon_i E_i$$

$$\epsilon_i M_i^0 = \left[\delta_{ij} - (1 - \epsilon_i) F_{ij} \right] J_j$$

II. On considère une avenue urbaine, « carré haussmannien » de dimensions $H = 14$ m (hauteur des immeubles bordant la rue), $W = 14$ m (largeur entre pieds d'immeuble) et de longueur $L = 1400$ m. L'étant grande devant les autres dimensions, on néglige l'effet des surfaces ouvertes aux extrémités de l'avenue.

Cette avenue est « fermée » avec une surface fictive (surface 1). Dans le cas représenté ci-contre, la surface 2 est une façade ombrée et la surface 4 est une façade entièrement ensoleillée. Le sol reçoit également le rayonnement solaire et est donc divisé en 2 surfaces, la surface 3 supposée ombrée et la surface 5 supposée ensoleillée. L'enceinte est constituée alors de 5 surfaces.

À l'instant considéré, la surface 5 a une largeur $W_5 = 4$ m et la surface 3 a une largeur $W_3 = 10$ m.



1,5

En utilisant les relations de réciprocité, d'additivité et de combinaison, calculez les facteurs de forme F_{ij} .

Toutes les surfaces sont planes donc $\forall i \in \{1, 5\} / F_{ii} = 0$

On a les équations :

$$\begin{cases} F_{12} + F_{13} + F_{14} + F_{15} = 1 \\ F_{21} + F_{23} + F_{24} + F_{25} = 1 \\ F_{31} + F_{32} + F_{34} + F_{35} = 1 \\ F_{41} + F_{42} + F_{43} + F_{45} = 1 \\ F_{51} + F_{52} + F_{53} + F_{54} = 1 \end{cases} \quad \text{de plus } \frac{V_{ij}}{S_i} F_{ij} = \frac{V_{ji}}{S_j} F_{ji}$$

Or $\frac{S_1}{S_2} = \frac{W}{H} = \frac{S_1}{S_4}$
 $\frac{S_1}{S_3} = \frac{W}{W_3} \quad \frac{S_1}{S_5} = \frac{W}{W_5}$

Comme 2 et 3 sont à l'ombre
 $F_{12} = 0$?
 $F_{13} = 0$?
 Les facteurs de forme doivent la géométrie donc $F_{23} = 0$ car $S_1 F_{12} = S_2 F_{21} = 0$
 $F_{31} = 0$

Notons la géométrie $F_{35} = F_{53} = 0$
 On a entre surfaces :
 Il ne faut pas tenir compte des valeurs de rayonnement!
 $F_{14} + F_{15} = 1$
 $F_{23} + F_{24} + F_{25} = 1$
 $\frac{S_2}{S_3} F_{23} + F_{34} = 1$
 $\frac{S_1}{S_4} F_{14} + \frac{S_2}{S_4} F_{24} + \frac{S_3}{S_4} F_{34} + F_{45} = 1$
 $\frac{S_1}{S_5} F_{15} + \frac{S_2}{S_5} F_{25} + \frac{S_4}{S_5} F_{45} = 1$
 7 inconnues il manque 2 relations.

On utilise les abaques pour calculer F_{32} et F_{54} (voir sur abaque)
 $F_{32} = 0.34$
 $F_{54} = 0.43$
 donc $F_{23} = S_3/S_2 F_{32}$
 $F_{45} = S_5/S_4 F_{54}$
 $F_{23} = 0.24$
 $F_{45} = 0.12$
 On résout (E)
 $F_{34} = 0.66$
 $F_{14} = 0.71$
 $F_{15} = 0.29$
 $F_{24} = 0.79$
 $F_{25} = 0.21$

III.1. À l'aide des lois de Wien, calculez les coordonnées (longueur d'onde et émittance monochromatique) du maximum d'émittance, pour un corps noir à :

- T = 300 K
- T = 1000 K
- T = 5780 K

III.2. Pour ces trois températures, calculez les valeurs de longueur d'onde pour lesquelles l'émittance monochromatique est égale à la moitié de l'émittance monochromatique maximale. Qu'en déduisez-vous ?

Rappel de la loi de Planck :

2

$$M_{\lambda}^{\circ} = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1}$$

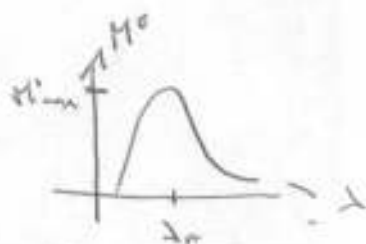
avec (si la longueur d'onde est exprimée en μm) :
 $C_1 = 3,743 \cdot 10^8 \text{ W} \cdot \mu\text{m}^4 \cdot \text{m}^{-2}$ et $C_2 = 1,439 \cdot 10^4 \mu\text{m} \cdot \text{K}$

III-1 On a

$$\lambda_m T = 2896 \mu\text{m} \cdot \text{K}^{-1}$$

et $(M_{\lambda}^{\circ})_{\text{max}} = B T^5$

($B = 1,2761 \times 10^{-11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \mu\text{m} \cdot \text{K}^5$)



Température

$\lambda_m (\mu\text{m})$

$M_{\lambda}^{\circ} (\text{W})$

300 K

9,653

31

1000 K

2,896

12761

5780 K

0,501

$8,23 \times 10^7$

III-2

On cherche λ_1 et λ_2 tel que

$$\begin{cases} M_{\lambda_1}^{\circ} = M_{\lambda_2}^{\circ} = \frac{1}{2} M_{\lambda_m}^{\circ} \\ \text{et } \lambda_1 < \lambda_m < \lambda_2 \end{cases}$$

On a $M_{\lambda}^{\circ} = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1} = \frac{C_1 \lambda_m^{-5}}{2 e^{\frac{C_2}{\lambda_m T}} - 1}$

On résoud en traçant la courbe sur la calculatrice on a (intergraph)

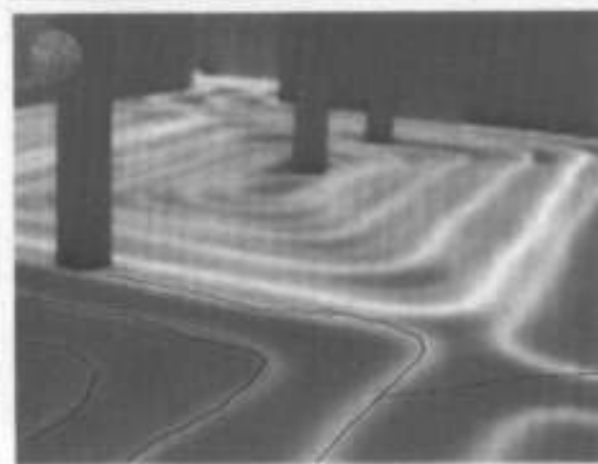
Température	$\lambda_1 (\mu\text{m})$	$\lambda_m (\mu\text{m})$	$\lambda_2 (\mu\text{m})$
300 K	6,4	9,653	17
1000 K	1,900	2,896	5,000
5780 K	0,32	0,501	0,89

On en déduit que la croissance de la courbe est plus rapide que la décroissance

IV. Les illustrations ci-dessous sont des photographies obtenues à l'aide d'une caméra thermique. Elles représentent :

- des vues intérieures de plafonds de bâtiment (thermogrammes de gauche),
- la façade d'une maison individuelle (thermogramme en haut à droite),
- la vue intérieure d'un plancher de bâtiment (thermogramme en bas à droite).

Quelles informations peut-on tirer de ces vues en thermographie infrarouge ? Comment ces thermogrammes peuvent-ils être utilisés pour analyser le fonctionnement des bâtiments représentés ?



Les thermogrammes nous donne des informations très précises et notamment on voit toutes les fuites thermiques des bâtiments, l'endroit ou l'isolation fait défaut (fenêtre, angles de la pièce ...)

Au niveau de plancher chauffant, on voit bien en rouge les tuyaux qui permettent la circulation de l'eau chaude en forme de serpentaire (afin de couvrir une grande surface de chauffage).

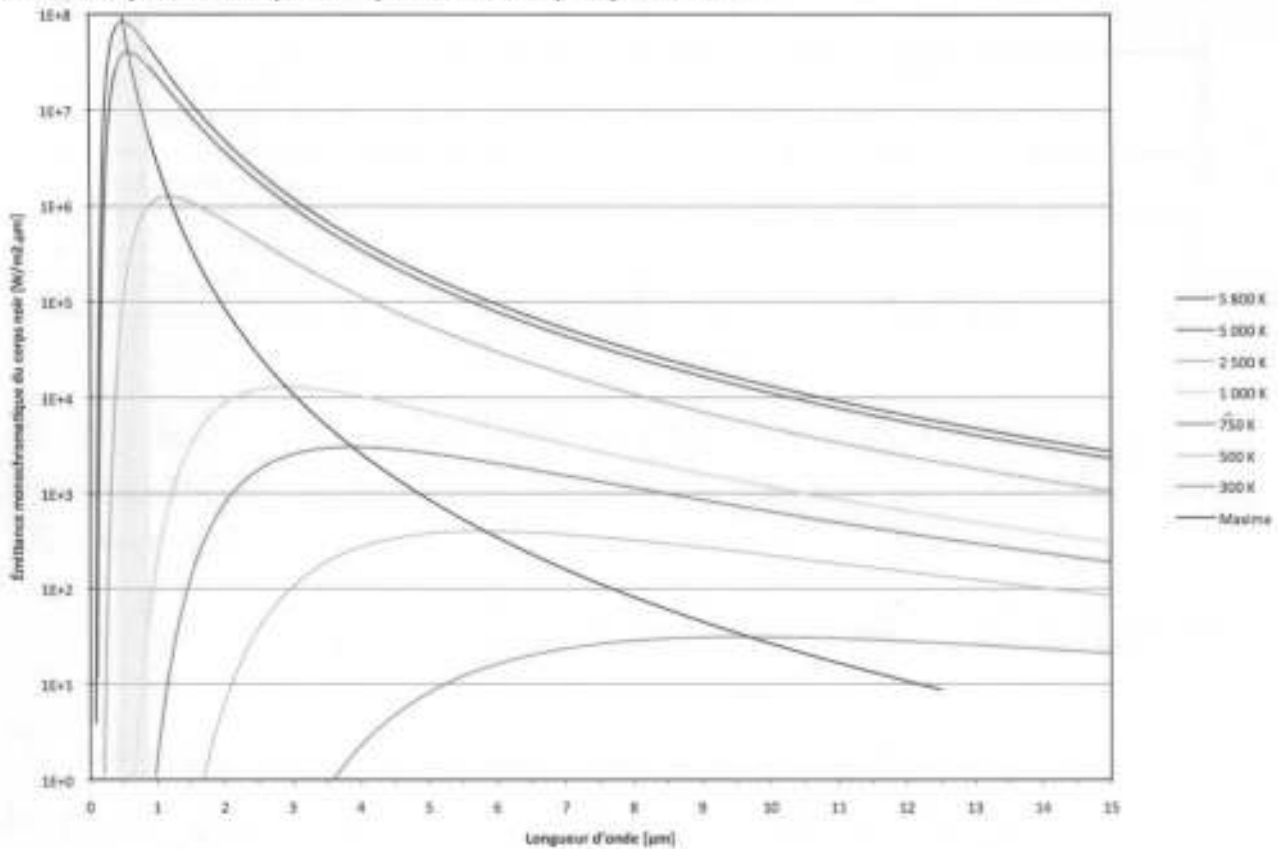
De plus ils peuvent être utilisés pour analyser le fonctionnement des bâtiments, on repère par exemple la taille des fenêtres ...
 et ce qu'on a besoin de la thermographie IR par cela ?

V. Le graphe ci-dessous représente l'émittance monochromatique du corps noir en fonction de la longueur d'onde, pour différentes températures de corps.

V.1. Présentez ce graphe et ce qu'il représente. Quelles informations peuvent être tirées de ce graphe ?

V.2. Quel intérêt y a-t-il à représenter la courbe $T = 5800 \text{ K}$?

V.3. Que se passe-t-il lorsque la température d'un corps dépasse 800 K ?



Ce graphique représente l'émittance monochromatique du corps noir en fonction de la longueur d'onde pour plusieurs corps à différentes températures.

On voit que le profil de courbe est variable, néanmoins il y a toujours un maximum, la croissance est plus rapide que la décroissance.

Le maximum diminue si la température diminue (vérification de la loi de Wien $\lambda_m = BT^{-5}$)

Ce graphique représente donc un réservoir de motifs de l'équation

$$M_{\lambda}^0 = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1}$$

La courbe à 5800 K est intéressante

Lorsque la température du corps dépasse 800 K les maxima augmentent très rapidement. On est dans le visible !

VI. Le tableau ci-dessous fournit, pour différents matériaux et selon leur état, la valeur de l'émissivité globale.
 Quelles informations peut-on tirer de ce tableau ?

Aluminium poli	0,06
Aluminium oxydé	0,30
Cuivre poli	0,04
Cuivre très oxydé	0,75
Or pur très poli	0,02
Zinc pur très poli	0,02
Zinc galvanisé	0,20-0,30

0,5

On sait qu'un matériau physique est un corps gris et que son émittance réelle est calculée à partir de celle du corps noir en faisant intervenir son émissivité :

$$M_{réelle} = \epsilon \times M^{\circ} \quad \text{et} \quad \epsilon \in [0;1]$$

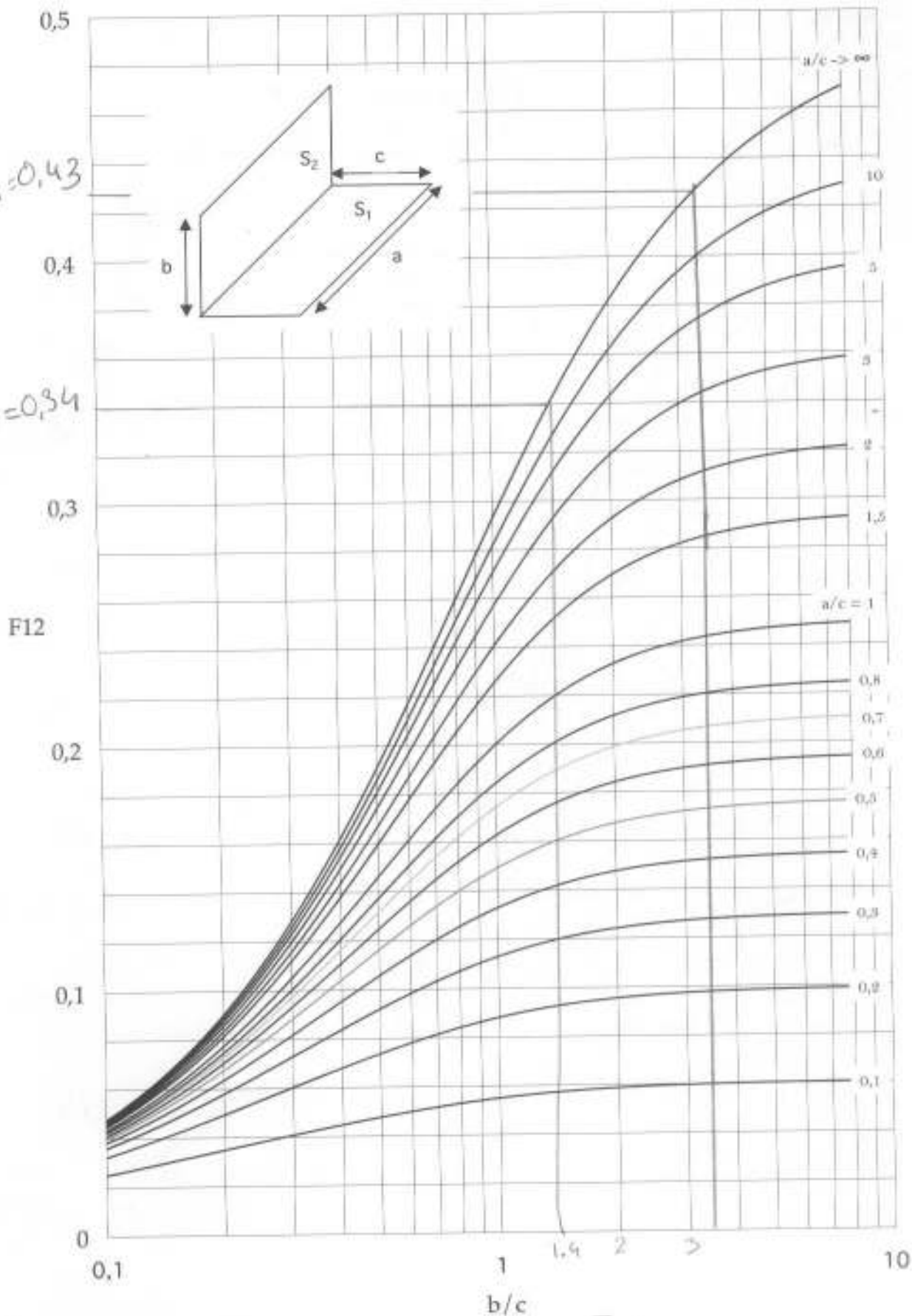
On remarque que seul des réseaux sont présents de plus, plus ϵ est élevée plus le matériau va rayonner ainsi l'aluminium poli rayonne plus que le cuivre poli, c'est pour cela que les tuyaux de radiateur sont en cuivre pour éviter les pertes de chaleur par rayonnement (poque) cela se fait par une grande différence

On remarque qu'un métal très oxydé est plus rayonnant qu'un métal poli.
 Influence de l'état de surface!

une grande différence
 0,06 ou 0,04

$$F_{S4} = 0,43$$

$$F_{S2} = 0,34$$



$$F_{S2}$$

$$S_2 = HL$$

$$S_3 = WSL$$

$$AN: \quad b/c = \frac{14}{10} = 1,4$$

$$\frac{a}{c} = \frac{1400}{10} = 140$$

$$F_{S4}$$

$$\frac{a}{c} = \frac{1400}{4} = 350$$

$$\frac{b}{c} = \frac{14}{4} = 3,5$$