A. Questions

1. Les longueurs d'onde des ondes électromagnétiques ne possèdent aucune limite : elles s'étendent de 0 m à l'infini. Les longueurs d'onde les plus courtes sont, toutefois, les plus énergétiques : ce sont généralement des rayons cosmiques ($\lambda = 10^{-15}$ m), émis lors de l'explosion d'étoiles.

   Certaines des longueurs d'onde connues les plus grandes sont d'origine humaine : c'est le cas des ondes utilisées en radio, qui atteignent des longueurs d'onde kilométriques.

   Les rayonnements visibles s'inscrivent dans une « fenêtre », définie par la courbe de sensibilité spectrale de l'œil humain, qui s'étend de 380 à 780 nm (cette unité se dit « nanomètre », 1 nm = 10^{-9} m).

   Cette « fenêtre visible » représente donc à peine une octave, en langage musical, alors que l'ensemble des ondes électromagnétiques connues couvre plus de 70 octaves. La sensibilité spectrale de l'œil est donc extrêmement limitée.

2. Une analogie hydraulique est généralement utilisée pour illustrer les grandeurs radiométriques ainsi que leur correspondante photométrique. Un flux de rayonnement énergétique sur une certaine surface peut ainsi être représenté comme un flux de gouttes d'eau atteignant cette même surface. L'unité du flux énergétique est celle d'un débit d'énergie (1 J/s = 1 W) ; son équivalent hydraulique se mesure en [kg/s].
   La même analogie peut être utilisée pour illustrer les autres grandeurs radiométriques, comme par exemple l'éclairement énergétique, l'intensité énergétique et la luminance énergétique.

B. Problèmes

Problème 1 :

Au travers de la lame d'air, le transfert de chaleur se fait par conduction, convection et rayonnement (cf. polycopié pages 4.18 à 4.21).

On a les conductances suivantes :

$$h_{conduction} = \frac{\lambda_{air}}{d} = 2\ W/(m^2 \cdot K)$$

avec : λ_{air} = 0,024 W/m · K et d = épaisseur de la lame d'air = 0,012 m.

$$h_{convection} = \frac{54 \cdot d - 0.22}{\sqrt[4]{H}} = 0.39\ W/(m^2 \cdot K)$$

avec : H = 1,5 m = hauteur de la lame d'air.

$$h_{rayonnement} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \cdot 4 \cdot \sigma \cdot \bar{T}^3$$

avec :
ε_1, ε_2 = coefficients d'émission des verres dans l'infrarouge = 0,9 (cf. annexe A 4.3),
σ = constante de Stefan-Bolzmann = $5{,}67 \cdot 10^{-8}$ W/m^2 · K^4 et
$\bar{T}$ = température moyenne absolue = 273,16 + 9 = 282,16 K.

La conductance totale entre les deux glaces est donc donnée par :

$$h_{tot} = h_{conduction} + h_{convection} + h_{rayonnement} = 6.56\, W/(m^2 \cdot K)$$

On voit donc que les pertes par conduction, convection et rayonnement représentent respectivement 30 %, 6 % et 64 % des pertes au travers de ce vitrage double.

a) Si on fait le vide entre les deux glaces, les pertes par conduction et par convection ne peuvent plus se produire puisqu'il n'y a plus d'air pour conduire et transporter de la chaleur. Il reste uniquement la conductance due aux échanges radiatifs :
(36 % de réduction par rapport au vitrage normal).

b) En introduisant une couche sélective sur l'une des glaces, on ne change pas les conductances $h_{conduction}$ et $h_{convection}$, mais par contre on a (avec une surface où ε_2 = 0,1) :

d'où : $h_{tot} = h_{conduction} + h_{convection} + h_{rayonnement}$ = 2,89 W/m^{2}K (56 % de réduction par rapport au vitrage normal).

Conclusion **:** on améliore beaucoup mieux l'isolation d'un double vitrage en introduisant une couche sélective plutôt qu'en faisant le vide entre ses deux faces.

Complément sur le calcul de $h_{rayonnement}$: (cf. polycopié page 4.31)

Au cours, on a vu que l'échange de chaleur entre deux plaques parallèles d'émissivité ε_1 et ε_2 respectivement vaut :

$$\Delta I = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1}+\frac{1}{\varepsilon_2}-1} \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4) \qquad (*)$$

Notre but est de pouvoir exprimer cet échange au moyen d'une expression *linéaire* par rapport à la différence de température ($T_1 - T_2$), c'est à dire qu'on cherche :

$$\Delta I = h_{\text{rayonnement}} \cdot (T_1 - T_2)$$

On voit donc que pour arriver à une telle expression, il faut exprimer les T^4 d'une autre façon. À cet effet, on utilise un développement limité au premier ordre (vieux souvenir de gymnase normalement).

Soit une fonction f(x). Un développement limité au premier ordre signifie que l'on fait l'approximation suivante :

$$f(x) \approx f(x_0) + f'(x_0) \cdot (x - x_0) \quad (f' = \text{dérivée de} f)$$

Cette approximation est d'autant plus correcte que x est proche de x_0.

Appliquons donc un tel développement à la fonction $f(T) = T^4$ autour de la valeur $x_0 = \bar{T}$ qui est la température moyenne des deux surfaces. On obtient donc :

$$T_1^4 \approx \bar{T}^4 + 4\bar{T}^3 \cdot (T_1 - \bar{T})$$
$$T_2^4 \approx \bar{T}^4 + 4\bar{T}^3 \cdot (T_2 - \bar{T})$$

En introduisant ces expressions dans (*) on obtient alors :

$$\Delta I = \left[\frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1}+\frac{1}{\varepsilon_2}-1} \cdot 4 \cdot \sigma \cdot \bar{T}^3 \right] \cdot (T_1 - T_2)$$

où l'on identifie clairement $h_{rayonnement}$ comme étant le terme entre crochets.