Rayonnement du corps noir

1. Introduction

Le corps noir est un corps théorique permettant de modéliser l'émission thermique de rayonnement électromagnétique. Il présente les trois propriétés suivantes :

- ▷ Le corps noir absorbe tous les rayonnements, quelque soient leur longueur d'onde et leur direction.
- ▷ Pour une température et une longueur d'onde données, le rayonnement thermique d'un corps réel est inférieur à celui du corps noir.
- ▷ Le corps noir émet de manière diffuse, c.a.d. indépendamment de la direction.

Si un corps (solide ou liquide) absorbe fortement le rayonnement sur une bande de longueur d'onde, alors il peut être modélisé par un corps noir sur cette bande.

2. Loi de Planck

La distribution spectrale de la puissance surfacique du rayonnement émis par un corps noir est donnée par la loi de Planck. La puissance surfacique émise entre les longueurs d'onde λ et $\lambda + d\lambda$ est :

$$E_\lambda(\lambda, T)d\lambda$$

où $E(\lambda, T)$ est la densité spectrale de puissance surfacique, appelé aussi exitance monochromatique. La loi de Planck est

$$E_\lambda(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5\left(\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1\right)}$$

où h est la constante de Planck, k la constante de Boltzmann et c la vitesse de la lumière dans le vide.

Définition de la fonction exitance en $W/m^2/\mu m$:

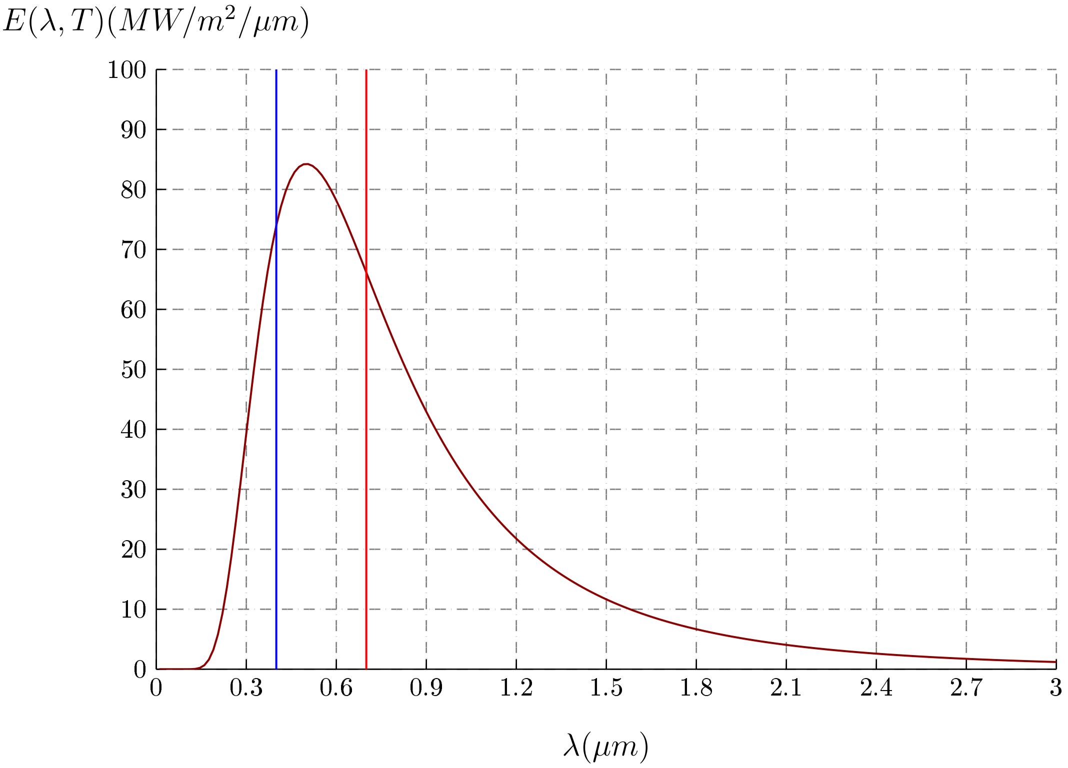
```
function E=exitance(lambda,T) // lambda en micrometres
    h=6.626e-34;
    c=299792458;
    k=1.38e-23;
    lambda = lambda * 1e-6;
    E = 2*%pi*h*c^2/(lambda^5*(exp(h*c/(lambda*k*T))-1))*1e-6
endfunction
```

Le rayonnement solaire (hors absorption atmosphérique), est assez proche du rayonnement du corps noir à $T = 5800K$:

```
n=200;
```

```
lambda = linspace(0.01,3,n).';
T = 5800;
e = zeros(n,1);
for i=1:n,
    e(i) = exitance(lambda(i),T);
end
```

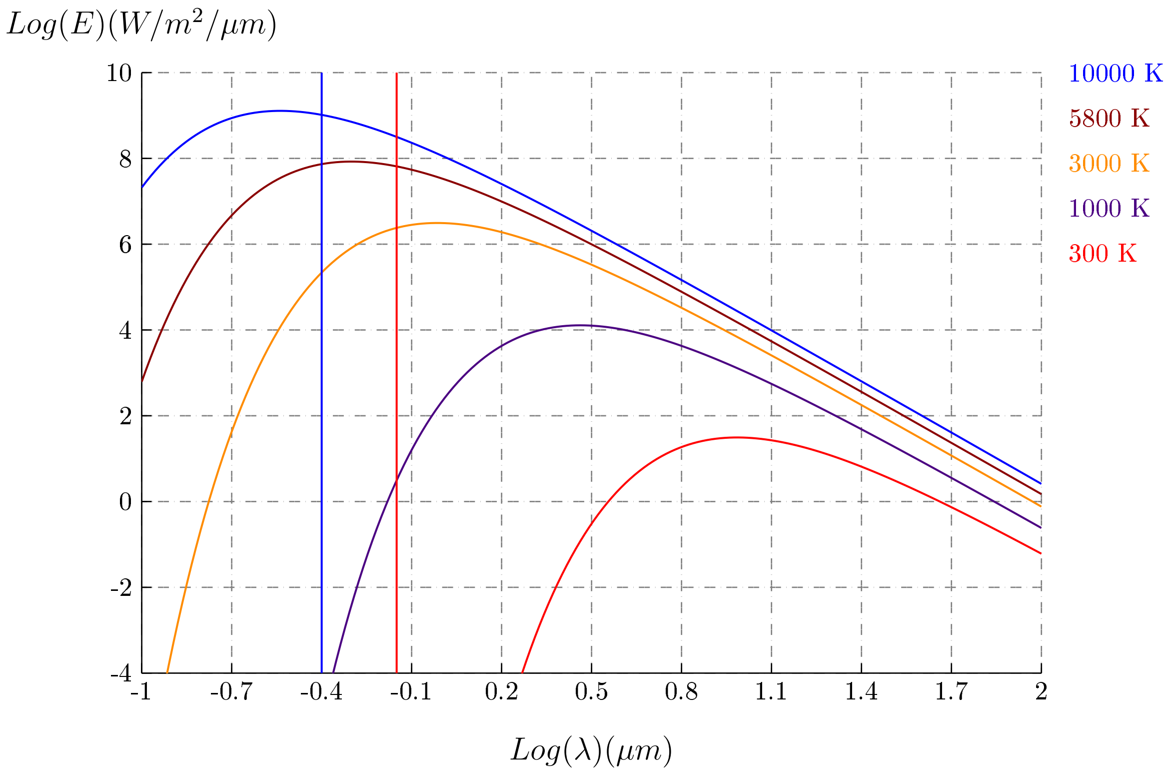
Rayonnement du corps noir à T = 5800 K



Pour tracer simultanément des températures très différentes, il faut utiliser une échelle logarithmique :

```
n=200;
lambda = logspace(-1,2,n).';
e1 = zeros(n,1); e2=e1; e3=1; e4=e1; e5=e1; L=lambda;
for i=1:n,
    e1(i)=log10(exitance(lambda(i),10000));
    e2(i)=log10(exitance(lambda(i),5800));
    e3(i)=log10(exitance(lambda(i),3000));
    e4(i)=log10(exitance(lambda(i),1000));
    e5(i)=log10(exitance(lambda(i),300));
    L = log10(lambda);
end
```

Rayonnement du corps noir



Le maximum de l'exitance en fonction de la longueur d'onde est donné par la loi de déplacement de Wien :

$$\lambda_{max} T = 2898\ \mu m \cdot K$$

3. Loi de Stefan-Boltzmann

La puissance surfacique totale émise par le corps noir est par définition :

$$E(T) = \int_0^\infty E_\lambda(\lambda, T)\, d\lambda$$

Le calcul de cette intégrale avec la loi de Planck conduit à la loi de Stefan-Boltzmann :

$$E = \sigma T^4$$

La constante de Stefan-Boltzmann est

$$\sigma = 5.670 \cdot 10^{-8}\ W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$$

4. Bilan radiatif d'un corps noir

Un corps noir soumis à un flux radiatif surfacique incident ϕ_i est en équilibre thermique à la température T s'il émet un flux égal au flux incident. La condition s'écrit :

$$\phi_i = \sigma T^4$$

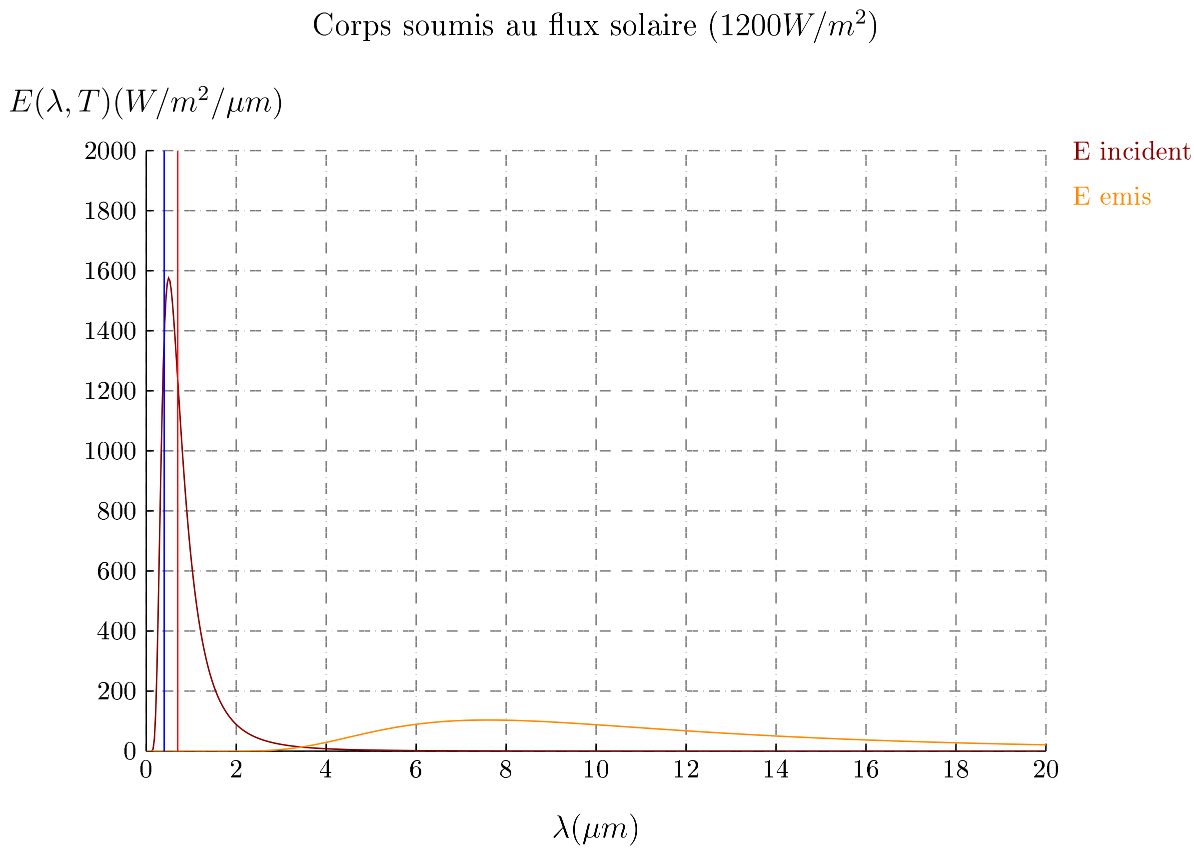
En général, la répartition spectrale du flux incident est différente de celle du flux émis par le corps. Considérons comme exemple le cas d'un corps soumis au flux solaire dans le vide. Sa température d'équilibre est :

```
phi=1200;
sigma=5.67e-8;
Tcorps=(phi/sigma)^0.25
```

```
381.41656
```

La répartition spectrale du rayonnement incident est obtenue à partir de l'exitance du Soleil, ramenée à la puissance effectivement reçue par le corps :

```
n=700;
lambda = linspace(0.01,20,n).';
Tsoleil = 5800;
eSolaire = zeros(n,1);
for i=1:n,
    eSolaire(i) = exitance(lambda(i),Tsoleil)*(Tcorps/Tsoleil)^4;
end
eCorps = zeros(n,1);
for i=1:n,
    eCorps(i) = exitance(lambda(i),Tcorps);
    if eCorps(i)<1e-99 then
        eCorps(i)=0;
    end
end
```



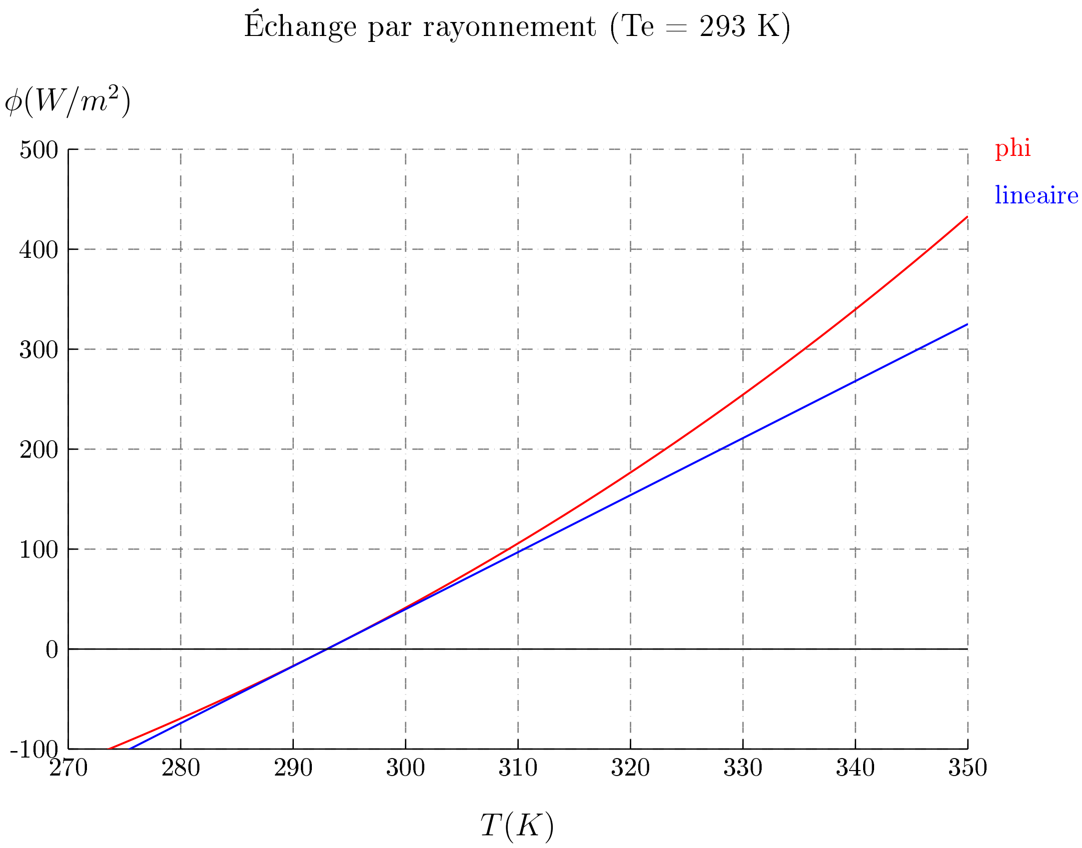
5. Échanges par rayonnement

Un corps qui n'est pas en équilibre thermique avec son environnement échange de l'énergie par rayonnement avec celui-ci. Notons T la température de surface de ce corps et T_e la température du milieu environnant. Si T est proche de $300K$ et si le corps est absorbant dans l'infrarouge alors il peut être assimilé à un corps noir. En faisant la même hypothèse pour le milieu environnant, on en déduit la puissance surfacique cédée par le corps à l'extérieur :

$$\phi = \sigma(T^4 - T_e^4)$$

```
sigma=5.67e-8;
Te=293;
n=50;
T=linspace(270,350,50).';
phi=zeros(n,1);
hr=4*sigma*Te^3
phiLin=zeros(n,1);
for i=1:n,
    phi(i)=sigma*(T(i)^4-Te^4);
    phiLin(i)=hr*(T(i)-Te);
```

```
end
```



Pour un écart ne dépassant pas $30K$, l'approximation linéaire suivante est très bonne :

$$\phi = h_r(T - T_e)$$

avec

$$h_r = 4\sigma T_e^3$$

```
hr
```

```
5.7048721
```

Ce type d'échange est à prendre en compte dans le vide ou lorsque les échanges par convection sont faibles.