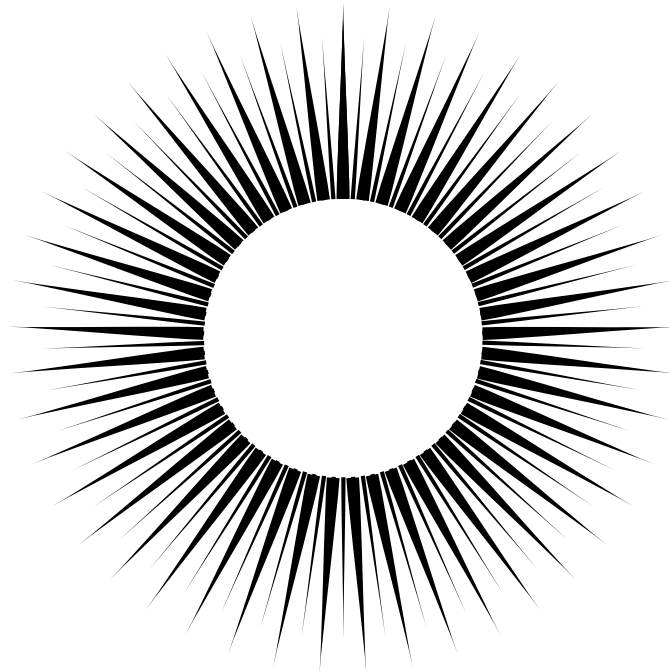


TP N°3 : TRANSFERT DE CHALEUR PAR RAYONNEMENT ET PAR CONVECTION NATURELLE



Réalisé par :

**Saddik Imad, Nemmassi Abdeljalil, El Jaouhari Reda, Ouchen Hassan, Oubarri Oumaima,
Abdennasser Mahir, Had Hamza, Chamkar Alae**

Sommaire

1. Introduction.....	1
1.1 Convection.....	1
1.2 Rayonnement.....	2
2. Corps noir.....	2
2.1 Sous vide.....	2
2.1.1 Courbes d'échauffement et de refroidissement.....	3
2.1.2 Émissivité.....	4
2.2 Avec convection.....	5
2.2.1 La méthode de tangente.....	6
2.2.2 Détermination du coefficient h.....	7
3. Conclusion.....	8

1. Introduction

Un transfert thermique, appelé plus communément chaleur, est l'un des modes d'échange d'énergie thermique entre deux systèmes. C'est une notion fondamentale de la thermodynamique. Contrairement au travail, la chaleur est un transfert d'énergie microscopique désordonnée. On distingue trois types de transfert thermique, qui peuvent coexister :

- la conduction, due à la diffusion progressive de l'agitation thermique dans la matière;
- la convection, transfert thermique qui accompagne les déplacements macroscopiques de la matière;
- le rayonnement, qui correspond à la propagation de photons.

La quantité de chaleur Q , est la quantité d'énergie échangée par ces trois types de transferts, elle s'exprime en joule (J). Par convention, $Q > 0$ si le système reçoit de l'énergie. La thermodynamique s'appuie sur le concept de chaleur pour ériger le premier et le deuxième principe de la thermodynamique.

La signification du mot chaleur dans le langage courant entretient souvent des ambiguïtés et des confusions, notamment avec la température. S'il est vrai que les transferts thermiques spontanés se font depuis les régions de température plus élevée vers les régions de température plus basse, il est néanmoins possible de réaliser un transfert thermique d'un corps froid vers le corps chaud, à l'aide d'une machine thermique comme un réfrigérateur. Par ailleurs, lors d'un changement d'état, un corps pur ne change pas de température alors qu'il échange de l'énergie sous forme de chaleur.

L'exemple le plus simple de situation mettant en jeu un transfert thermique est celui de deux corps en contact ayant des températures différentes. Le corps le plus chaud cède de l'énergie au corps le plus froid par conduction; sa température diminue, le désordre, l'agitation thermique, diminue. En contrepartie, la température du corps froid augmente, l'agitation thermique augmente en son sein.

1.1 Convection

Le transfert thermique par convection est dû au déplacement de molécules qui induit un déplacement macroscopique de l'énergie thermique : il se produit dans les fluides (liquides ou gaz) et à l'interface entre un solide et un fluide. Ces molécules se déplaçant, elles transfèrent leur énergie thermique à une autre partie du système. On peut distinguer deux types de convection.

- La convection naturelle (ou libre) est due à la différence de masse volumique entre les particules composant le fluide. Les particules des zones chaudes, de masse volumique plus faible, montent et laissent leur place à des particules plus froides; elles cèdent une partie de l'énergie thermique et leur température diminue, ce qui les pousse à rejoindre une partie plus chaude.

- La convection forcée est due à la mise en mouvement du fluide par une action extérieure comme un l'effet d'un ventilateur. Le mouvement accélère le transfert thermique.

Dans le cas le plus simple d'une paroi solide de surface S et de température homogène T_1 en contact avec un fluide à la température T_2 à grande distance de la paroi, le flux thermique dépend du coefficient de convection thermique h du matériau ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$).

$$\phi_{1 \rightarrow 2} = hS(T_1 - T_2) = \frac{T_1 - T_2}{R_{th}}$$

1.2 Rayonnement

Le rayonnement, parfois dit thermique, est un rayonnement électromagnétique. On l'associe souvent à un rayonnement infrarouge car c'est cette partie du spectre qui est le plus souvent prépondérante dans les échanges thermiques. Quelle que soit sa température, un corps émet un rayonnement, celui-ci est plus ou moins intense selon cette température. La longueur d'onde à laquelle est émise ce rayonnement dépend aussi de cette température. Ainsi, le rayonnement thermique émis par le Soleil est situé principalement dans le visible. Des corps plus froids comme les mammifères émettent quant à eux dans l'infrarouge. Ce mode de transfert est le seul à se réaliser dans le vide, cas du rayonnement solaire arrivant sur Terre. Néanmoins, celui-ci se réalise aussi dans les matériaux transparents. Il est important de le prendre en compte dans le cas des fortes températures ou simplement en l'absence de conduction et de convection.

Le corps noir est un corps théorique capable d'absorber la totalité du rayonnement qu'il reçoit. Il présente la propriété de respecter la loi de Planck et la loi du déplacement de Wien qui permette de déterminer son spectre d'émission en fonction de sa température.

Le flux thermique surfacique, qui équivaut à une existence énergétique, s'exprime par rapport à l'émission du corps noir dans la loi de Stefan-Boltzmann :

$$\varphi = \epsilon \sigma T^4$$

Avec :

T : La température du corps en Kelvin (K).

σ : Constante de Stefan-Boltzman $5,6703 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$.

ϵ : Émissivité. Elle est égale à 1 si le corps est noir et comprise entre 0 et 1 selon l'état de surface du matériau.

Si le corps récepteur réfléchit certaines longueurs d'onde où est transparent à d'autres, seules les longueurs d'onde absorbées contribuent à son équilibre thermique. Si par contre le corps récepteur est un corps noir, c'est-à-dire qu'il absorbe tous les rayonnements électromagnétiques, alors tous les rayonnements contribuent à son équilibre thermique.

2. Corps noir

2.1 Sous vide

Dans cette partie, on va prendre une pastille qui se comporte comme un corps noir avec une émissivité de 0.95. On va établir les courbes d'échauffement et de refroidissement du corps noir sous vide. On va déterminer les pentes des courbes et on va tracer le diagramme log-log.

2.1.1 Courbes d'échauffement et de refroidissement

Dans cette expérience, on a pris les mesures à l'aide de nos portables, on a enregistré une vidéo pour enregistrer la valeur de la température en temps réels. On a choisi une période de 30 s pour remplir le tableau et après, on trace les courbes de la figure 1.

Table 1: Température d'échauffement et refroidissement d'un corps noir sous vide.

Temps (s)	Échauffement		Refroidissement	
	Température (K)	Pente Y'_R	Température (K)	Pente Y'_R
0	293.2	1.076	432.9	-0.748
30	310.2	1.026	400.1	-0.497
60	341.5	0.911	379.0	-0.365
90	367.7	0.787	361.4	-0.270
120	390.0	0.659	347.2	-0.203
150	407.8	0.539	336.5	-0.158
180	420.3	0.445	328.4	-0.127
210	430.2	0.365	321.5	-0.102
240	438.0	0.297	315.9	-0.082
270	443.4	0.248	311.1	-0.067
300	447.3	0.212	308.2	-0.058
330	450.7	0.179	305.6	-0.050
360	453.1	0.156	303.1	-0.042
390	455.3	0.134	301.3	-0.037
420	456.9	0.118	299.8	-0.033
450	458.1	0.106	299.6	-0.032
480	459.1	0.095	299.8	-0.033
510	460.2	0.084	298.6	-0.029
540	460.9	0.077	297.4	-0.026
570	461.5	0.071	296.6	-0.024
600	462.1	0.064	295.9	-0.022
630	462.5	0.060	295.6	-0.021

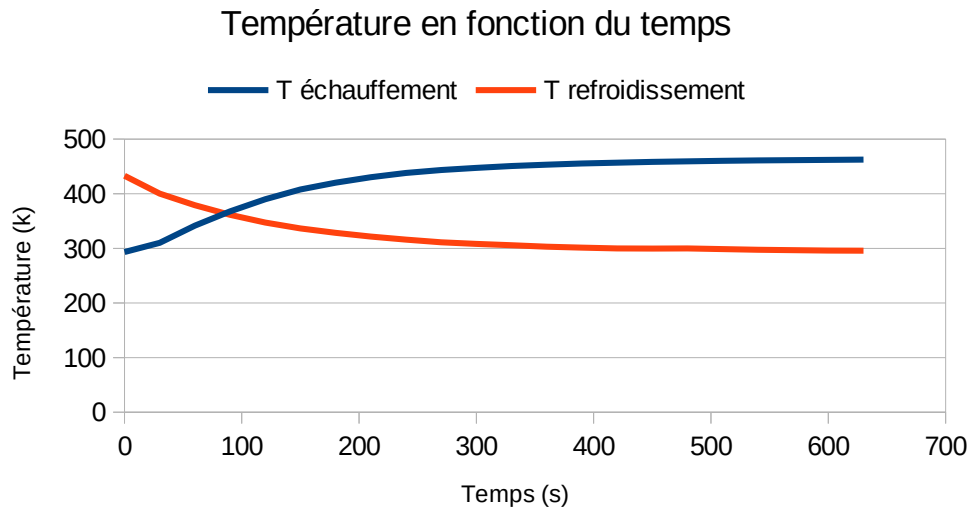


Figure 1: Courbes d'échauffement et refroidissement sous vide.

2.1.2 Émissivité

Dans cette partie, on va essayer de déterminer la valeur de l'émissivité de notre corps à l'aide des valeurs obtenues dans la partie précédente.

Table 2: Valeurs pour le cas d'échauffement.

Température (K)	Pente Y'_R	$T_e^4 - T^4$	Température (K)	Pente Y'_R	$T_e^4 - T^4$
293.2	1.076	4.06E+10	450.7	0.179	6.71E+09
310.2	1.026	3.87E+10	453.1	0.156	5.82E+09
341.5	0.911	3.44E+10	455.3	0.134	5.00E+09
367.7	0.787	2.97E+10	456.9	0.118	4.39E+09
390.0	0.659	2.48E+10	458.1	0.106	3.93E+09
407.8	0.539	2.03E+10	459.1	0.095	3.55E+09
420.3	0.445	1.68E+10	460.2	0.084	3.12E+09
430.2	0.365	1.37E+10	460.9	0.077	2.85E+09
438.0	0.297	1.12E+10	461.5	0.071	2.61E+09
443.4	0.248	9.32E+09	462.1	0.064	2.37E+09
447.3	0.212	7.94E+09	462.5	0.060	2.22E+09

D'après la figure 2, et en faisant la régression linéaire, on trouve que la pente β vaut 2.646714×10^{-11} .

$$\text{Et on a : } \beta = \frac{\epsilon \sigma S}{MC} \Rightarrow \epsilon = \frac{\beta MC}{\sigma S}$$

$$A.N : \epsilon = \frac{2.646714 \cdot 10^{-11} \cdot 1.16 \cdot 10^{-3} \cdot 386}{5.6703 \cdot 10^{-8} \cdot 2.2 \cdot 10^{-4}} \approx 0.95$$

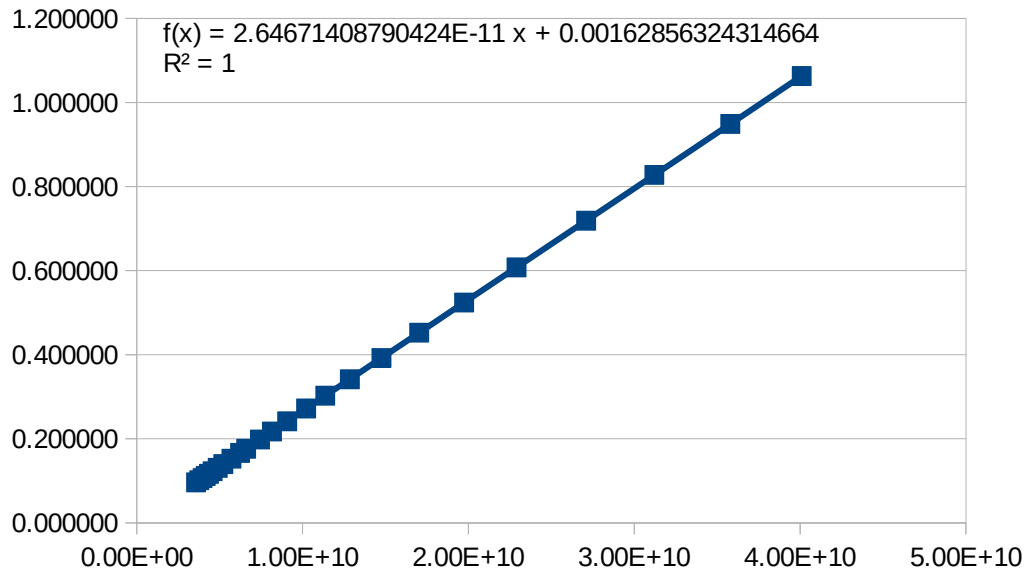


Figure 2: Y'_R en fonction de $T_e^4 - T^4$.

2.2 Avec convection

Dans cette expérience, on a plus le vide, il y a la présence de la convection naturelle. On a pris les mesures à l'aide de nos portables comme l'expérience précédente, on a enregistré une vidéo pour enregistrer la valeur de la température en temps réels. On a choisi une période de 30 s pour remplir le tableau et après, on trace les courbes de la figure 3.

Table 3: Température d'échauffement et refroidissement d'un corps noir avec convection.

Temps (s)	Échauffement		Refroidissement	
	Température (K)	Pente Y'_R	Température (K)	Pente Y'_R
0	297.9	1.063	419.3	-0.637
30	332.2	0.949	416.4	-0.614
60	359.8	0.828	387.7	-0.417
90	380.1	0.719	366.6	-0.297
120	397.9	0.608	350.9	-0.220
150	409.9	0.524	338.8	-0.168
180	419.4	0.452	329.7	-0.132
210	426.9	0.392	322.0	-0.103
240	432.9	0.342	316.5	-0.084
270	437.4	0.303	312.3	-0.071
300	440.8	0.272	308.5	-0.059

330	444.1	0.242	305.2	-0.048
360	446.7	0.217	303.0	-0.042
390	448.7	0.198	301.4	-0.037
420	451.0	0.176	300.0	-0.033
450	452.0	0.167	298.8	-0.030
480	453.4	0.153	297.6	-0.026
510	454.7	0.140	296.8	-0.024
540	455.6	0.131	296.0	-0.022
570	456.4	0.123	295.6	-0.021
600	457.0	0.117	295.1	-0.020
630	457.5	0.112	294.5	-0.018

Échauffement et refroidissement avec convection.

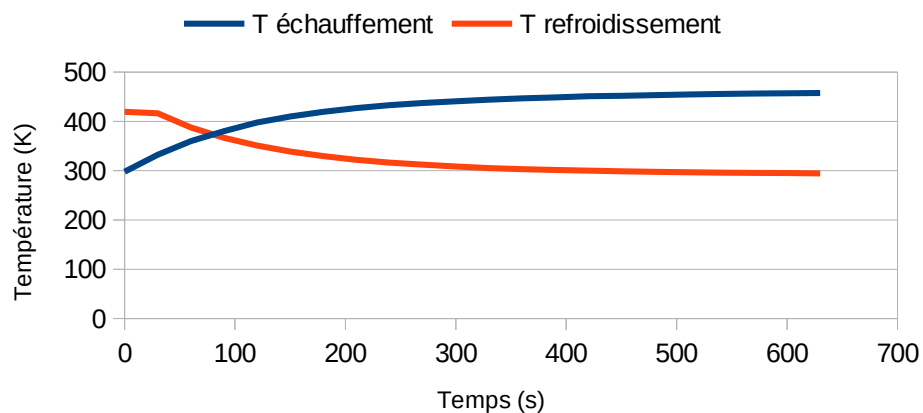


Figure 3: Courbes d'échauffement et refroidissement avec convection.

D'après la figure 3, on voit clairement que la température d'échauffement atteint la valeur 186°C et se stabilise, pour le cas de refroidissement, la température atteint la valeur 21.5°C.

2.2.1 La méthode de tangente

La méthode de tangente va nous servir pour déterminer la valeur de la pente pour chaque point de la courbe notée Y'_R . Le tableau suivant regroupe les valeurs de la pente.

Température (K)	Pente Y'_R	Y'_{C+R}	Température (K)	Pente Y'_R	Y'_{C+R}
297.9	1.063	N/A	444.1	0.242	0.11
332.2	0.949	1.14	446.7	0.217	0.09
359.8	0.828	0.92	448.7	0.198	0.07
380.1	0.719	0.68	451.0	0.176	0.08

397.9	0.608	0.59	452.0	0.167	0.03
409.9	0.524	0.40	453.4	0.153	0.05
419.4	0.452	0.32	454.7	0.140	0.04
426.9	0.392	0.25	455.6	0.131	0.03
432.9	0.342	0.20	456.4	0.123	0.03
437.4	0.303	0.15	457.0	0.117	0.02
440.8	0.272	0.11	457.5	0.112	0.02

2.2.2 Détermination du coefficient h

La puissance échangée par convection naturelle s'écrit :

$$P_c = (Y'_{C+R} - Y'_R) MC \text{ Pour le cas d'échauffement.}$$

$$P_c = (Z'_{C+R} - Z'_R) MC \text{ Pour le cas de refroidissement.}$$

La puissance échangée par convection s'écrit :

$$P_c = hS(T_0 - T)$$

Maintenant pour déterminer le coefficient d'échange par convection h, on va tracer P_c en fonction de la température et puis par la détermination de la valeur de la pente, on peut déduire le h.

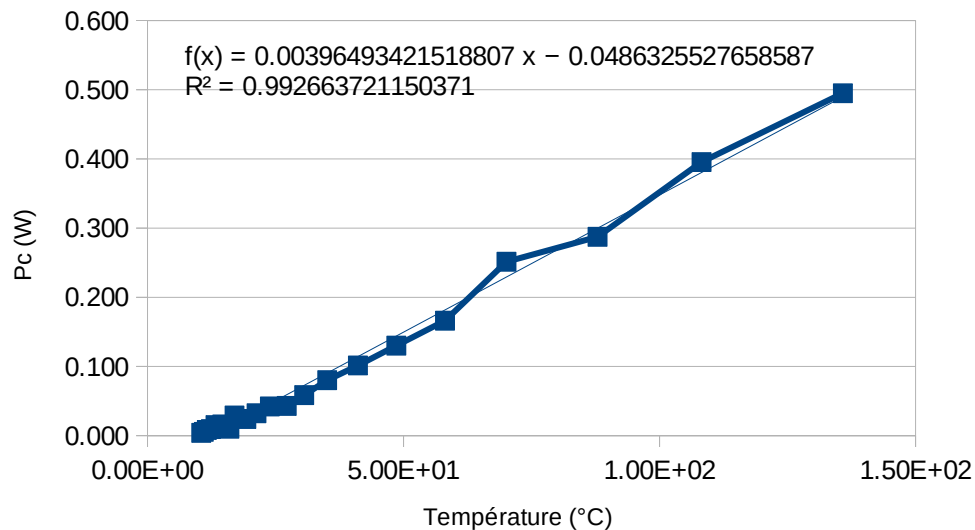


Figure 4: P_c en fonction de la température.

D'après la régression linéaire, on trouve que la pente égale à $\alpha = 0.0039649 \text{ W}/^\circ\text{C}$. Cette valeur égale aussi $\alpha = hS$.

$$\text{Alors : } h = \frac{\alpha}{S} = \frac{0.0039649}{2.2 \times 10^{-4}} = 18.02 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$$

3. Conclusion

Dans cette séance de TP, on a travaillé sur le rayonnement ainsi que la convection naturelle. On sait maintenant comment un corps peut émettre ou absorber une quantité d'énergie à travers le vide pour le cas de rayonnement ou bien dans la présence d'un fluide pour le cas de la convection naturelle ou forcée. On sait à présent différencier entre un corps noir et les autres corps dont l'émissivité est inférieure strictement à 1.