

1. Puissance et énergie

Introduction Le débit volumique d'un écoulement dans un conduit (gaz de ville dans une canalisation, sang dans une artère,...) est le volume de fluide (liquide ou gaz) traversant une section S du conduit par seconde.

On note D_v le débit volumique :

$$D_v = \frac{dV}{dt} \text{ avec } dV \text{ volume de fluide traversant la section } S \text{ en } dt \text{ seconde}$$

Le débit volumique caractérise l'intensité de l'écoulement. Pour un liquide (supposé incompressible) s'écoulant à vitesse uniforme on montre que $D_v = Sv$.

Au repos le débit moyen du sang dans une artère est de $5L \cdot mn^{-1}$.

Définition

La puissance d'un générateur d'énergie caractérise son aptitude à délivrer une quantité d'énergie par seconde, la puissance est donc un débit d'énergie d'unité le Watt ($W = J \cdot s^{-1}$) On définit la puissance P par la relation :

$$P(t) = \frac{dE}{dt} \Leftrightarrow E(t) - E(0) = \int_0^t P(t)dt$$

Une tranche de centrale nucléaire de $100MW$ délivre une énergie de $100 MJ$ par seconde.

Ordre de grandeur :

Centrale nucléaire $800MW$, Moteur thermique d'un véhicule automobile $80kW$, Puissance solaire reçue en été à midi sans nuage sur $1 m^2$: $1kW$, Puissance consommée par un PC : $100W$, Faisceau Laser utilisé au lycée : $2mW$,...

2. Transfert thermique

On considère le schéma suivant permettant d'illustrer les 3 modes de transfert thermique :



Le maréchal Ferrant tient une pince métallique fixant un fer à cheval placé dans la flamme. Au contact prolongé de la flamme, une partie du fer prend une teinte 'rouge' c'est une manifestation du transfert thermique radiatif. Ce phénomène intervient également dans la flamme par le transfert thermique radiatif des particules de suies **contribuant** au rayonnement de la flamme.

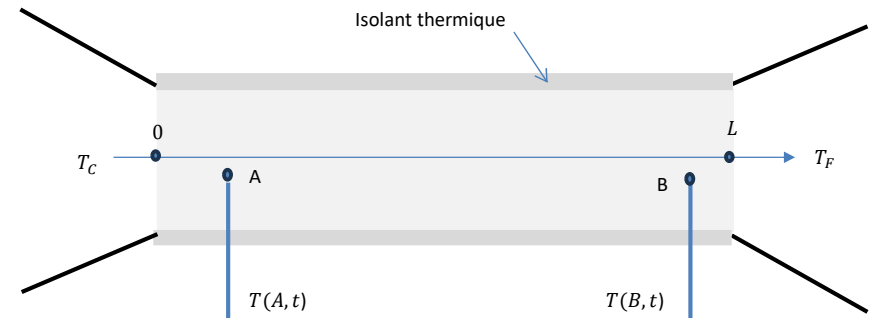
La main du maréchal situé à l'extrémité de la tige ressent au cours du temps une sensation thermique croissante dû au transfert thermique diffusé via la pince depuis le fer chauffé vers l'extrémité de la pince, c'est une manifestation du transfert thermique par conduction.

La flamme crée un différentiel de température provoquant des **mouvements convectifs** initialement ascendant d'air et de produits de réaction **responsables de transfert thermique par convection**.

Conduction thermique

On considère le dispositif suivant comprenant un cylindre de cuivre dont la partie latérale est recouverte d'un matériau adiabatique (ie isolant thermique). L'extrémité gauche est au contact avec un thermostat de température T_C et l'extrémité droite est au contact avec un thermostat de température T_F .

A l'instant initial le cylindre métallique présente une température homogène $T_0 \in]T_F, T_C[$ le cylindre est soumis à un gradient de température entre ces deux faces.



Deux thermocouples (dispositif mesurant à son extrémité la température locale dans le cylindre) sont placés.

On observe :

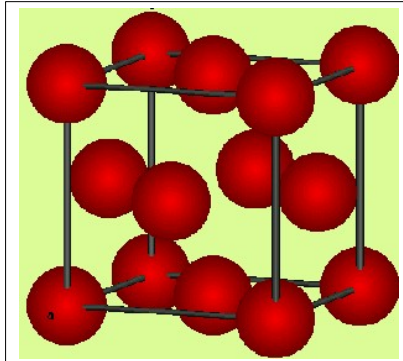
- au bout d'un certain temps (*), simultanément une augmentation de la température en A et une température en B constante égale à T_0 .
- puis une augmentation continue des deux températures finissant par se stabiliser à des valeurs $T(A)_{limite}$ et $T(B)_{limite}$ vérifiant : $T_C > T(A)_{limite} > T(B)_{limite} > T_F$.

Un gradient de température (ie température non uniforme dans le cylindre) s'est établi dans le métal.

(* ce temps dépend de l'abscisse du point A, du métal et du gradient de température $(T_C - T_F)/L$ imposé.

On interprète ces résultats par un transfert thermique microscopique au niveau des atomes du métal.

A l'échelle atomique, les atomes de cuivre occupent les sommets et les centres des faces d'un cube (arête $\approx 4.10^{-10}m$). Chaque atome est modélisé par un oscillateur et son énergie est la somme de son énergie cinétique et de l'énergie potentielle d'interaction électrique avec les autres atomes du cristal.



Maille d'un cristal de cuivre contenant un atome de cuivre à chacun de ses 8 sommets et un atome de cuivre au centre de chacune de ces 6 faces



Cristal de cuivre à l'état natif (ie à l'état naturel)

Les chocs des molécules (présentent dans le thermostat de température T_C) sont responsables d'un transfert d'énergie mécanique microscopique (énergie cinétique et potentielle d'interaction électrique) aux atomes de cuivre situées à la surface du cuivre. Ces atomes de cuivre présentent alors une amplitude de vibration plus importante et transfèrent à leur tour aux atomes de cuivre proches une d'énergie mécanique microscopique.

De proche en proche il y a diffusion thermique.

La conduction thermique est un mode de transfert thermique irréversible s'établissant dans les solides dans le sens des températures décroissantes et tendant à homogénéiser la température du solide. Ce mode de transfert thermique ne s'accompagne pas de transfert macroscopique de matière.

La conduction thermique d'un matériau est caractérisée par sa conductivité thermique λ en $W \cdot m^{-1}K^{-1}$

	gaz	liquide	béton	verre	Laine de verre	Cuivre	Autres métaux que le cuivre
λ	0,01 à 0,1	0, 1 à 1	1	1,2	0,05	400	20 (acier) à 200

Les métaux sont de bons conducteurs thermiques, les gaz au repos sont des isolants thermiques.

Convection thermique

Le document représente un récipient contenant de l'eau soumis à un gradient de température verticale. L'eau en contact avec la surface chauffée reçoit un transfert thermique diffusé par le fond métallique du récipient. Ce transfert thermique provoque une dilatation de l'eau du fond dont la densité diminue (la masse volumique diminue lorsque la température augmente) il s'établit un gradient de masse volumique dans le fluide. Ce gradient de masse volume provoque la montée du fluide en contact avec le fond et la descente simultanée du fluide en contact avec l'air.

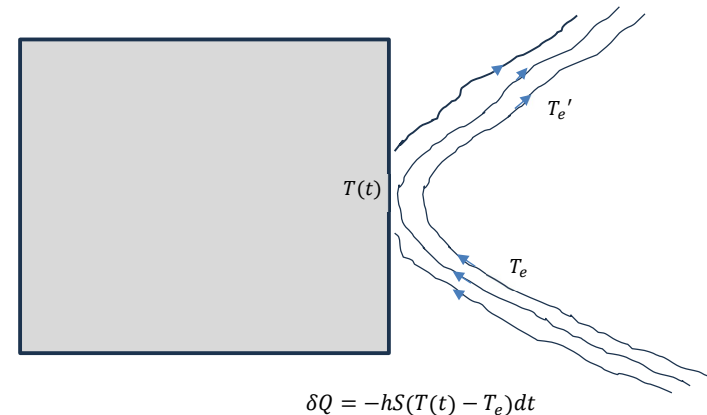


Plus généralement la convection thermique est un transfert d'énergie thermique au sein d'un fluide en mouvement ou entre un fluide en mouvement et la surface d'un solide.

Si le mouvement est du à une cause naturelle on parle de convection naturelle et si le mouvement du fluide est du à un dispositif tel que ventilateur, pompe,...) on parle de convection forcée.

Le four à convection, le chauffage par le sol, les ventilateurs pour l'unité centrale d'un ordinateur sont des exemples d'application de la convection. On peut citer également des phénomènes naturels tel que les courants marins ou les courants magmatiques dans lesquels interviennent la convection.

Loi de Newton C'est une loi empirique régissant la convection thermique entre un fluide en mouvement et la paroi d'un solide :



$$\delta Q = -hS(T(t) - T_e)dt$$

$T(t)$ température de la surface supposée homogène, S surface de contact avec le fluide en mouvement, T_e température du fluide avant le contact, h coefficient conducto-convectif du fluide. h dépend en particulier de la vitesse du fluide : h augment lorsque la vitesse du fluide augmente. δQ transfert thermique échangé entre les instants t et $t + dt$ par le solide avec le fluide : $\delta Q < 0$ le transfert thermique s'effectue du solide vers le fluide.

Transfert radiatif

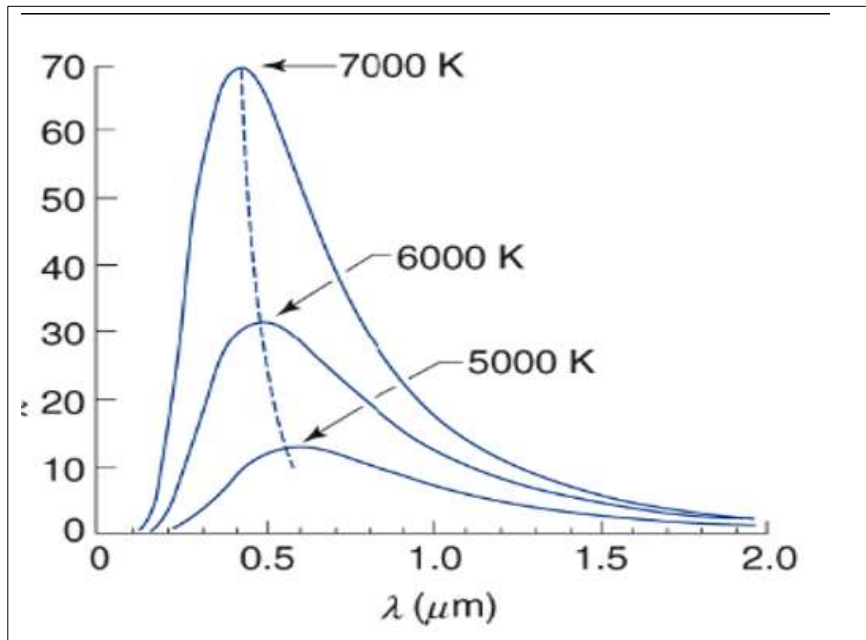
Le rayonnement thermique est un rayonnement électromagnétique dû à l'agitation thermique des atomes, molécules constitutives de la surface d'un système physique.

Le spectre du rayonnement est généralement situé dans le domaine s'étendant des micro-ondes aux UV.

Le modèle du corps noir permet de modéliser le spectre du rayonnement thermique. Le corps noir est un système idéal absorbant toutes les ondes électromagnétiques qu'il reçoit.

A partir de cette seule hypothèse on montre que le spectre d'émission du corps noir obéit à la loi de Planck qui précise l'intensité émise par la surface d'un corps noir en fonction de la longueur d'onde :

$$I_\lambda(\lambda, T) = K \frac{\lambda^{-5}}{e^{\frac{hc}{\lambda T}} - 1} \text{ en } W \cdot m^{-2} (\mu m)^{-1}$$



Ci-dessus la représentation de la fonction $I_\lambda(\lambda, T)$ pour une température T fixée (5000K, 6000K et 7000K), on remarque que l'existence d'un maximum d'intensité pour une longueur d'onde λ_m qui dépend de la température T .

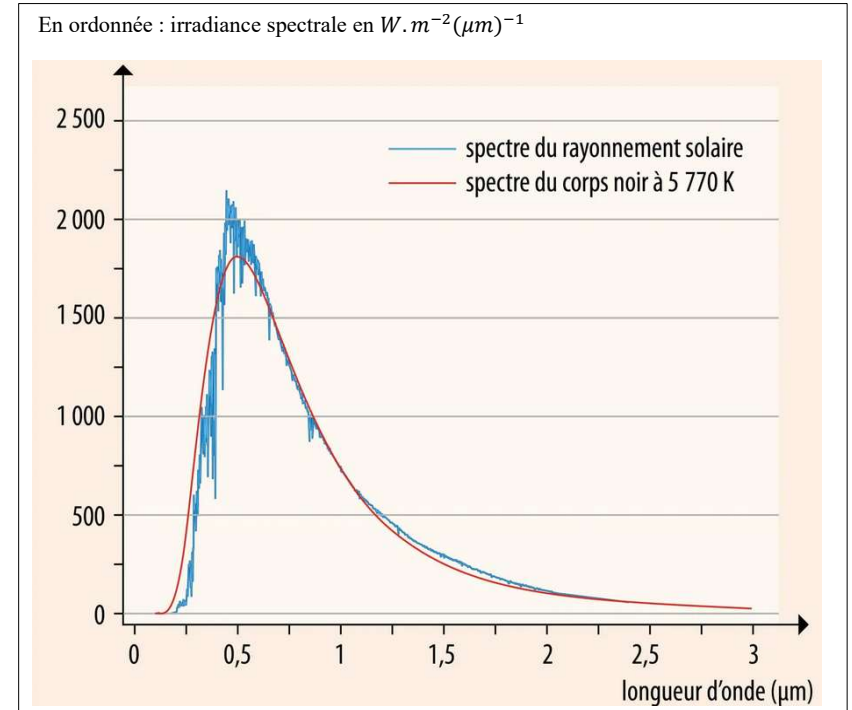
La loi de Wien traduit cette dépendance entre λ_m et T :

$$\lambda_m T = \text{constante} = 2898 \mu m K$$

La loi de Stefan traduit la relation entre la puissance totale P du rayonnement électromagnétique émis par la surface S du corps noir et la température T de sa surface

$$P = \sigma S T^4 \text{ avec } \sigma \text{ constante de Stefan de valeur } 5,67 \cdot 10^{-8} W \cdot m^{-2} K^{-4}$$

Application du modèle au rayonnement émis par le soleil



Le graphique montre le spectre émis par le soleil (mesuré au dessus de l'atmosphère terrestre) et le spectre calculé avec le modèle du corps noir de température 5770K pour $\lambda \in [0; 3 \mu m]$. Le maximum de l'intensité émise s'obtient pour une longueur d'onde du spectre visible dans le 'jaune-vert'. L'accord est correct surtout pour les grandes longueurs d'onde.

Revenons à l'image du début de ce fascicule, la moitié du fer nous apparaît rouge, le modèle du corps noir nous permet de postuler que le maximum d'intensité du spectre émis se trouve dans la zone rouge (😊).



Un tableau résumant la dénomination générale des ondes électromagnétiques.

