Rayonnement thermique

Dans le transfert de chaleur par rayonnement, le transfert thermique s'effectue par des vibrations électromagnétiques qui se propagent en ligne droite sans aucun support matériel.

Le rayonnement thermique (figure 1) concerne les ondes électromagnétiques dont la longueur d'onde couvre le spectre ultraviolet et le spectre infrarouge (0,01 à 100 μm) en passant par le spectre visible (0,38 à 0,76 μm).

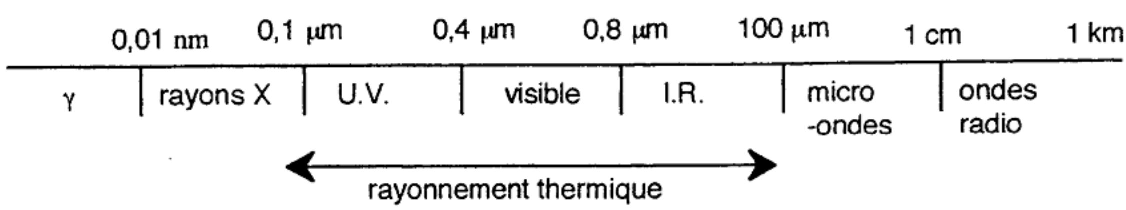


Figure 1: Spectre des ondes électromagnétiques

Le rayonnement peut être décomposé en radiations monochromatiques qui concernent une longueur d'onde déterminée. Aux températures des applications industrielles, le rayonnement est essentiellement constitué par de l'infrarouge dont son action sur la matière est surtout thermique. Ce mode de transfert se rencontre dans de nombreuses applications industrielles telles que :

- le séchage (papier, tissu, etc.),
- la stérilisation (flacons pharmaceutiques, produits alimentaires, etc.),
- la cuisson (teintures, enductions, etc.)
- etc.

I. Absorption et émission (corps noir)

Lorsqu'un rayonnement incident atteint un corps, celui-ci réfléchit une partie du rayonnement, une partie est transmise si le corps est partiellement transparent (le corps n'est pas opaque), tandis que le reste de l'énergie du rayonnement incident est absorbé par le corps. D'où, on définit pour un flux incident Φ_i les quantités suivantes (figure 2) :

• Flux réfléchi Φ_r

• Flux absorbé Φ_a

• Flux transmis Φ_t

Avec :

$$\phi_i = \phi_r + \phi_t + \phi_a$$

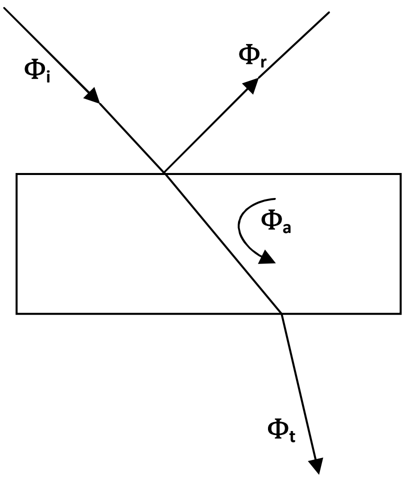


Figure 2: ray

En divisant l'équation précédente par Φi :

$$1 = \frac{\phi_r}{\phi_i} + \frac{\phi_t}{\phi_i} + \frac{\phi_a}{\phi_i}$$

On pose :

- $\rho = \Phi_r/\Phi_i$: réflectivité c'est la fraction d'énergie réfléchie par rapport à l'énergie incidente
- $\alpha = \Phi_a/\Phi_i$: absorptivité c'est la fraction d'énergie absorbée par rapport à l'énergie incidente.
- $\tau = \Phi_t/\Phi_i$: transmissivité c'est la fraction d'énergie transmise par rapport à l'énergie incidente.

$$\Rightarrow 1 = \rho + \tau + \alpha$$

<u>1er cas</u> : Corps opaque : $\tau = 0 \Rightarrow \rho + \alpha = 1$. La majorité des liquides et des solides sont des corps opaques.

- Si $\rho = 0 \Rightarrow \alpha = 1 \Rightarrow$ ce corps opaque s'appelle un corps noir
- Si $\alpha = 0 \Rightarrow \rho = 1 \Rightarrow$ c'est le cas d'un corps blanc

2ème cas : Corps totalement transparent : $\alpha = \rho = 0 \Rightarrow \tau = 1$: ce corps n'émet pas et n'absorbe pas aussi. Exemple : les gaz simples (0_2, N_2, H_2, etc.), le vide, l'air, etc.

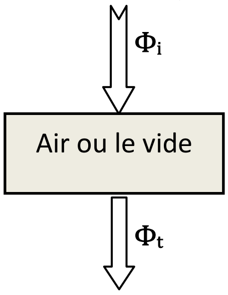


Figure 3: ray

3ème cas : Corps partiellement transparent : il y a diminution de l'énergie transportée pendant la traversée du corps. C'est le cas de certains gaz (CO_2, H_2O, CO...) et de certains solides (plastiques, verres).

Remarque :

- Un corps opaque ou partiellement transparent émet spontanément de l'énergie sous forme de rayonnement.
- Un corps qui absorbe complètement les radiations qu'il reçoit est un corps appelé corps noir. Il ne réfléchit aucun rayonnement ($\rho = 0 \Rightarrow \alpha = 1$). Le corps noir est un modèle théorique tout comme le corps blanc qui réfléchit intégralement les radiations reçues sans en absorber ($\alpha = 0 \Rightarrow \rho = 1$).

II. Loi du rayonnement du corps noir

1. Définition d'un corps noir

C'est un corps idéal qui absorberait, s'il existait, tout rayonnement qu'il recevrait, quelle que soit sa longueur d'onde. Pour qu'un corps noir reste en équilibre thermique (sa température reste constante) il doit émettre également de l'énergie par rayonnement. Son absorptivité est donc égale à 1.

L'intérêt du corps noir réside dans le fait qu'il sert de référence pour définir les propriétés radiatives d'un corps réel. Il est important de noter qu'un corps noir n'est pas forcément de couleur noire. Un corps de couleur noire est donc noir dans le visible mais peut ne pas l'être pour d'autres longueurs d'onde. On peut réaliser expérimentalement un corps noir en réalisant le montage de la figure 4 où une cavité est percée d'un petit trou qui piège les rayons entrants. Elle est équipée de résistances électriques pour réguler sa température. On doit donc retenir qu'un corps noir absorbe tout rayonnement incident mais émet suivant une loi particulière: la loi de Stefan-Boltzman.

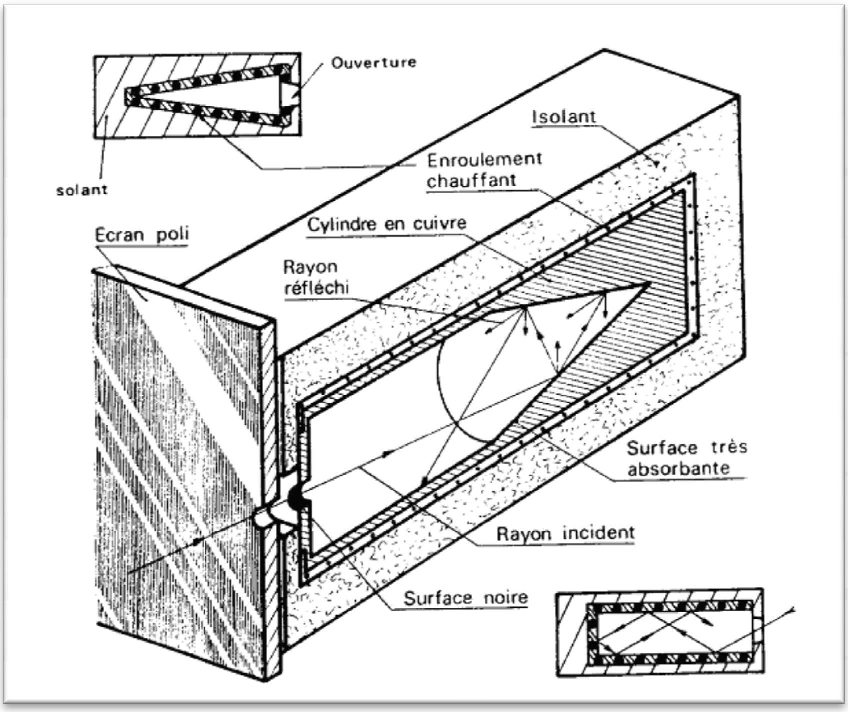


Figure 4: réalisation expérimentale d'un corps noir

2. Loi de stefan boltzmann

L'émittance du corps noir (M°) est la puissance totale émise par unité de surface en intégrant sur toutes les longueurs d'onde.

La loi de Stefan-Boltzmann lie cette grandeur à la température du corps noir :

$$M^{\circ} = \sigma\, T^4$$

Où : [M°]= Wm^{-2} ; [T]= K

σ: est la constante universelle de Stefan Boltzmann= 5, 67 10^{-8} $Wm^{-2}K^{-4}$

3. Loi de Planck

Cette loi fixe la contribution respective de chaque longueur d'onde dans l'émission du corps noir. Elle s'écrit :

$$M_{\lambda}^{\circ} = \frac{C_1}{\lambda^5 \left[exp\left(\frac{C_2}{\lambda\, T}\right) - 1\right]}$$

Avec :

- M_{λ}° : émittance monochromatique (Wm^{-3})
- C_1 = 3, 742 10^{-16} Wm^2

- $\boldsymbol{\lambda}$: longueur d'onde (m)
- $C_2 = 0,014385$ m.K

L'intégration de la formule de Planck donne l'émittance totale du rayonnement du corps noir M° équivalente à la loi de Stefan-Boltzmann:

$$\int_0^{\infty} M_\lambda^{\circ}\, d\boldsymbol{\lambda} = \boldsymbol{\sigma}\, \boldsymbol{T}^{4} = \boldsymbol{M}^{\circ}$$

La figure 5 montre l'allure de l'émittance monochromatique en fonction de la longueur d'onde pour diverses températures. Elles passent toutes par un maximum.

Remarques :

- Toutes ces courbes passent par l'origine et sont tangentes en ce point à l'axe des abscisses.
- L'axe des abscisses est l'asymptote des ces courbes lorsque la longueur d'onde tend vers l'infini.
- Ces courbes passent par un maximum qui est d'autant plus grand que la température est élevée.
- La longueur d'onde correspondant à ce maximum est d'autant plus petite que la température du corps est élevée.
- Pour une longueur d'onde donnée, l'émittance est d'autant plus élevée que la température est élevée.

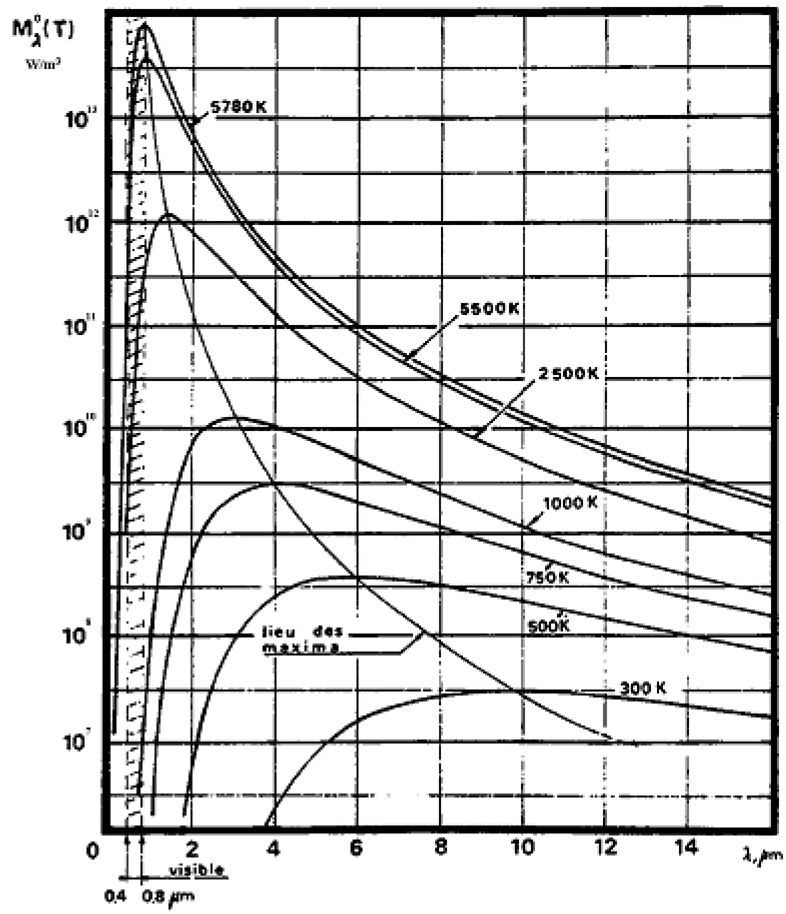


Figure 5: loi

4. Loi de Wien

1

$1^{ère}$ loi de Wien : Appelée aussi la loi du maximum d'émission, cette loi fixe le lieu de ces maximas. En annulant $\frac{dM^{0}_{\lambda}}{d\lambda}$, on trouve : λ_{max} T= 2897 μm.K

Où λ_{max} est la longueur d'onde correspondant au maximum d'énergie émise à la température T.

Application :

Un corps incandescent émet un rayonnement dont la longueur d'onde correspondant au maximum d'émission est λ_{max}=460 nm. Déterminer sa température de surface.

Solution :

D'après la loi de Wien, la température de surface d'un corps incandescent est liée à la longueur d'onde λ_{max} correspondant à son maximum d'émission par la relation :

$T(K)=2,897\times10^{-3}/\lambda_{max}(m)$

On a : λ_{max}=460 nm, soit : λ_{max}=460×10^{-9} m

On a donc :

T=$2,897\times10^{-3}$ /460×10^{-9} = $6,30\times10^{3}$ K

La température de surface de ce corps est de $6,30\times10^{3}$ K.

2ème loi de Wien :

Elle exprime la valeur de l'émittance monochromatique maximale. Pour cela, il suffit de remplacer $\boldsymbol{\lambda}_{max}$ par sa valeur dans la loi de Planck.

On obtient alors :

$$\left(M^{\circ}_{\lambda_{max}}\right)_{max} = BT^{5}$$

Avec T en Kelvin

La constante B a pour valeur numérique selon les unités :

B = 1, 28 10^{-5} [$W.m^{-3}.K^{-5}$] si [λ_{max}] = m et B = 1, 28 10^{-11} [$W.m^{-2}.\mu m^{-1}.K^{-5}$] si [λ_{max}] = µm

5. Loi de Kirchoff : relation entre absorption et émission

A une température T donnée et pour une longueur d'onde λ donnée, le rapport $\frac{M_{\lambda T}}{\alpha_{\lambda T}}$ est le même pour tous les corps.

Pour le corps noir : $\alpha_{\lambda T}$ = 1, le rapport $\frac{M_{\lambda T}}{\alpha_{\lambda T}}$ est donc égal à $M^{\circ}_{\lambda T}$ en appelant $M^{\circ}_{\lambda T}$ l'émittance monochromatique du corps noir, donc :

$$M_{\lambda T} = \alpha_{\lambda T}.M^{\circ}_{\lambda T}$$

L'émittance monochromatique de tout corps est égale au produit de son pouvoir absorbant monochromatique par l'émittance monochromatique du corps noir à la même température, d'où l'intérêt de connaître le rayonnement émis par le corps noir.

6. Energie émise par un corps noir entre deux longueurs d'onde

Si la loi de Planck permet aisément de calculer l'émittance monochromatique d'un corps pour une température donnée T et une longueur d'onde donnée λ, il est souvent nécessaire de connaître le flux énergétique émis par un corps à la température T dans un domaine de longueur d'onde donnée [λ_1- λ_2].

On exprime souvent ce flux par rapport au flux total : cela revient alors à calculer la fraction d'émittance totale :

$$F_{\lambda_1-\lambda_2} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} M_{\lambda}^{\circ} d\lambda}{\int_0^{\infty} M_{\lambda}^{\circ} d\lambda = \sigma\, T^4}$$

Que l'on peut écrire :

$$F_{\lambda_1-\lambda_2} = \frac{\int_0^{\lambda_2} M_{\lambda}^{\circ} d\lambda - \int_0^{\lambda_1} M_{\lambda}^{\circ} d\lambda}{\sigma\, T^4} = F_{0-\lambda_2} - F_{0-\lambda_1}$$

Pour connaître la valeur de cette fraction, il serait indispensable de disposer une table à une entrée (voir figure XXX) au lieu de deux (T et λ). Donc, en utilisant λT comme variable, on obtient :

$$F_{\lambda_1-\lambda_2} = F_{0-\lambda_2 T} - F_{0-\lambda_1 T}$$

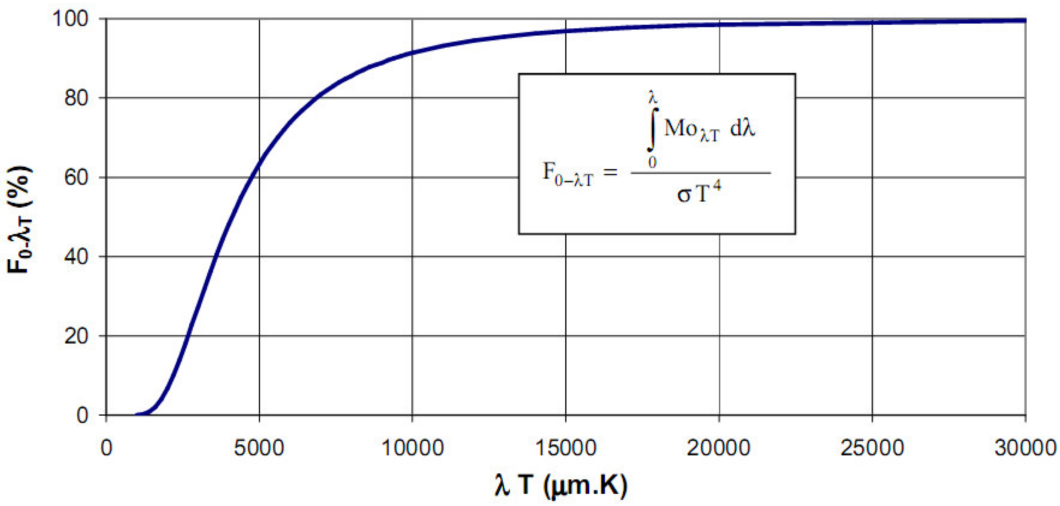


Figure 6: Fraction d'énergie F0-λT rayonnée par un corps noir entre 0 et λ

Tableau 1: table de la fonction F0-λT

a \ b	0	40	80	120	160
1 000	0,03	0,05	0,08	0,11	0,16
1 200	0,21	0,29	0,38	0,49	0,62
1 400	0,78	0,96	1,17	1,41	1,68
1 600	1,97	2,30	2,66	3,06	3,48
1 800	3,94	4,42	4,94	5,49	6,07
2 000	6,68	7,31	7,97	8,65	9,36
2 200	10,09	10,84	11,61	12,40	13,21
2 400	14,03	14,86	15,71	16,57	17,44
2 600	18,32	19,20	20,09	20,99	21,89
2 800	22,79	23,70	24,61	25,51	26,42
3 000	27,33	28,23	29,13	30,03	30,92
3 200	31,81	32,70	33,58	34,45	35,32
3 400	36,18	37,03	37,88	38,71	39,54
3 600	40,36	41,18	41,98	42,78	43,56
3 800	44,34	45,11	45,87	46,62	47,36
4 000	48,09	48,81	49,53	50,23	50,92
4 200	51,60	52,28	52,94	53,60	54,25
4 400	54,88	55,51	56,13	56,74	57,34
4 600	57,93	58,51	59,09	59,65	60,21
4 800	60,66	61,30	61,83	62,35	62,87
5 000	63,38	63,88	64,37	64,85	65,33
5 200	65,80	66,26	66,72	67,16	67,60
5 400	68,04	68,46	68,88	69,30	69,70
5 600	70,11	70,50	70,89	71,27	71,65
5 800	72,02	72,38	72,74	73,09	73,44
6 000	73,78	74,12	74,45	74,78	75,10
6 200	75,41	75,72	76,03	76,33	76,63
6 400	76,92	77,21	77,49	77,77	78,05
6 600	78,32	78,59	78,85	79,11	79,36
6 800	79,61	79,86	80,10	80,34	80,58
7 000	80,90	81,04	81,26	81,47	81,70
7 200	81,92	82,13	82,34	82,55	82,75
7 400	82,95	83,15	83,34	83,53	83,72
7 600	83,91	84,09	84,27	84,45	84,62

a \ b	0	40	80	120	160
7 800	84,80	84,97	85,14	85,30	85,47
8 000	85,63	85,78	85,94	86,10	86,25
8 200	86,40	86,55	86,69	86,83	86,98
8 400	87,12	87,25	87,39	87,52	87,66
8 600	87,80	87,92	88,04	88,17	88,29
8 800	88,41	88,53	88,65	88,77	88,88
9 000	88,89	89,11	89,22	89,33	89,44
9 200	89,55	89,65	89,76	89,86	89,96
9 400	90,06	90,16	90,26	90,35	90,45
9 600	90,54	90,63	90,72	90,81	90,90
9 800	90,99	91,08	91,16	91,25	91,33
10 000	91,42				

a \ b	0	200	400	600	800
10 000	91,42	91,81	92,19	92,54	92,87
11 000	93,18	93,48	93,76	94,02	94,27
12 000	94,50	94,73	94,94	95,14	95,33
13 000	95,51	95,68	95,84	96,00	96,14
14 000	96,29	96,42	96,54	96,67	96,78
15 000	96,89	97,00	97,10	97,19	97,29
16 000	97,37	97,46	97,54	97,62	97,69
17 000	97,77	97,83	97,90	97,96	98,02
18 000	98,08	98,14	98,19	98,24	98,29
19 000	98,34	98,38	98,43	98,47	98,51
20 000	98,55				
30 000	99,53				
40 000	99,78				
50 000	99,89				
60 000	99,93				
70 000	99,96				
80 000	99,97				
90 000	99,98				
100 000	99,98				

Utilisation :
$\lambda T = a + b$

Exemple : λT = 2720 µm.K
se lit à 2600 + 120
d'où : $F_{0-\lambda T}$ = 20,99 %

Application :

En supposant que le soleil est un corps noir à 5800K, quelle est la fraction de l'énergie qu'il émet dans le domaine visible (0,4-0,8μm).

Solution :

On calcule :

- λ_1T= 0,4x5800= 2320 μm.K
- λ_2T= 0,8x5800= 4640 μm.K

Sur la figure : on lit :

- $F_{0\text{-}2320}$= 12,4%

- $F_{0\text{-}4640}$= 58, 51%

D'où, $F_{2320\text{-}4640}$= $F_{0\text{-}4640}$ - $F_{0\text{-}2320}$=58, 51-12,4= 46, 11%

Donc, 46,11% de l'énergie solaire émise est rayonnée dans le visible.

III. Emission des corps réels

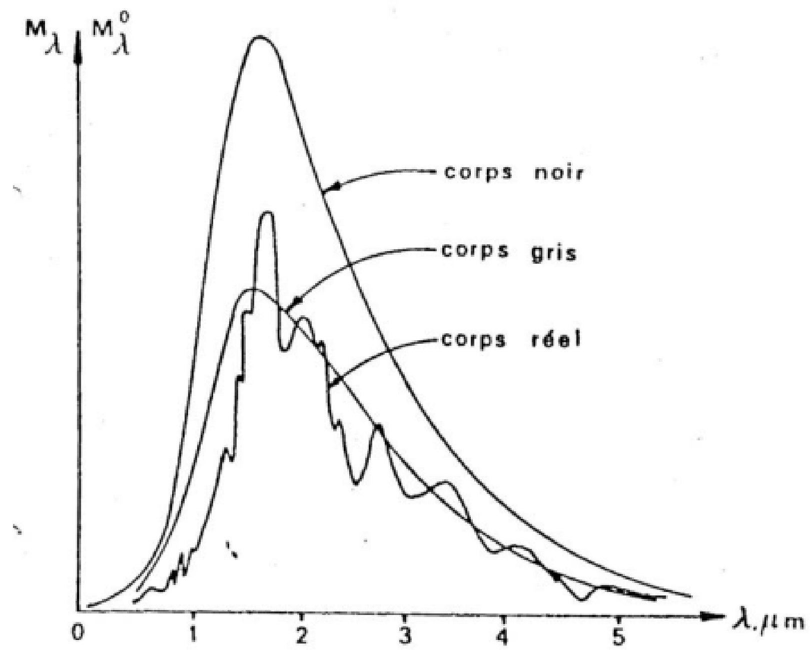
1. Facteur d'émission ou émissivité

On définit les propriétés émissives des corps réels par rapport aux propriétés émissives du corps noir dans les mêmes conditions de température et de longueur d'onde et on les caractérise à l'aide de coefficients appelés facteurs d'émission ou émissivités. Ces coefficients monochromatiques ou totaux sont définis par :

$$\varepsilon_{\lambda T} = \frac{M_{\lambda T}}{M^{\circ}_{\lambda T}} \; et \; \varepsilon_T = \frac{M_T}{M^{\circ}_T}$$

Remarque :

L'émissivité des matériaux réels est par définition plus faible que celle des corps noirs qui est maximale pour la même température de surface.



Dans le cas du corps gris, on peut généraliser la loi de Kirchoff ce qui facilite les applications. En effet pour un corps gris $\alpha_{\lambda T} = \alpha_T$, donc :

$$M_T = \int_0^\infty M_{\lambda T}\, d\boldsymbol{\lambda} = \int_0^\infty \alpha_{\lambda T}\, M^\circ_{\lambda T}\, d\boldsymbol{\lambda} = \alpha_T \int_0^\infty M^\circ_{\lambda T}\, d\boldsymbol{\lambda}$$

En appelant M°_T l'émittance totale du corps noir à la température T, nous obtenons pour un corps gris :

$$M_T = \alpha_T M^\circ_T$$

L'émittance totale M_T d'un corps gris à la température T est égal au produit de son pouvoir absorbant α_T par l'émittance totale M°_T du corps noir à la même température.

donc : D'après la loi de Kirchoff, on montre que :

$\alpha_{\lambda T} = \varepsilon_{\lambda T}$

Cas des corps gris

Ils sont caractérisés par $\alpha_{\lambda T} = \alpha_T$ soit d'après ce qui précède : $\varepsilon_{\lambda T} = \varepsilon_{\lambda T}$

Or : $M_T = \varepsilon_T M^\circ_T$, nous en déduisons l'émittance du corps gris à la température T :

$$M_T = \varepsilon_T\, \sigma\, T^4$$

Matériaux	état de surface	ε
Aluminium	poli	0,06
	oxydé	0,30
Cuivre	poli	0,04
	très oxydé	0,75
Or	pur très poli	0,02
Zinc	pur très poli	0,02
	galvanisé	0,20-0,30
Brique	ordinaire	0,93
	réfractaire (à 1000°)	0,60
Carbone (dépôt de noir de fumée)		0,95-0,98
Argile		0,90
verre ordinaire		0,94
Marbre		0,95
Peintures	Aluminium	0,30-0,60
	noire mâte	0,90
	blanche mâte	0,90-0,95
	peinture à l'huile toutes couleurs	~0,90
Papier		0,95
Bois	suivant essences	0,75-0,95

mais, pour simplifier, nous allons faire deux hypothèses :

• les corps étudiés sont gris : $\rho\lambda = \rho \ \forall\lambda$

• leur émission est diffuse (ou encore isotrope) donc indépendante de la direction d'émission.

IV. Echanges radiatifs entre surfaces

1. Echanges radiatifs entre surfaces noires

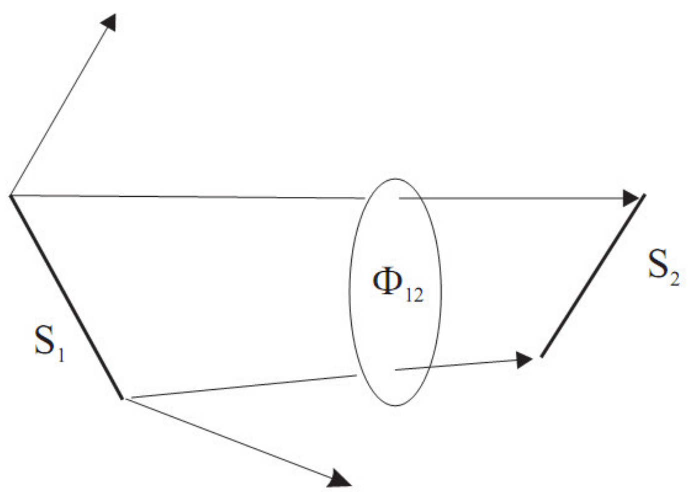
a. Facteur de forme

Afin d'étudier de façon très générale comment un ensemble de plusieurs surfaces échangent entre elles de l'énergie par rayonnement, considérons d'abord deux surfaces comme le montre la Figure XXX. La surface S1 envoie un flux total $\Phi_1 = M_1S_1$ mais seul le flux Φ_{12} touche la surface S_1. Le rapport entre le flux total émis par S_1 et le flux qui frappe effectivement S_2 s'appelle facteur de forme entre S_1 et S_2. Par définition, ce nombre est compris entre 0 et 1.

$$F_{12} = \frac{\phi_{12}}{\mathrm{M_1S_1}}$$

Ce facteur est fonction de la forme des surfaces S_1 et S_2, de leur distance, de l'angle qu'elles font entre elles, etc. Il se calcule soit par une formule analytique soit, ce qui est plus rapide, par utilisation d'abaques. De façon équivalente, on peut définir F_{21} qui sera tel que :

$$F_{21} = \frac{\phi_{21}}{\mathrm{M_2S_2}}$$



b. Relation entre les facteurs de forme

- Relation de réciprocité

La symétrie des expressions de F_{12} et F_{21} conduit à la réciprocité des facteurs de forme.

$S_1.F_{12}= S_2.F_{21}$

- Relation d'enceinte (relation d'additivité ou relation de complémentarité)

Dans une enceinte fermée, le flux émis ϕ_i par une surface i est susceptible d'être reçu par les n surfaces qui constituent la surface (la surface i comprise).

$\Phi_i= \Phi_{i1}+ \Phi_{i2}+\ldots\ldots\ldots\ldots+ \Phi_{ii}+\ldots\ldots\ldots+ \Phi_{in}$

$\Rightarrow \Phi_i = \sum_{j=1}^{n} \phi_{ij} = \sum_{j=1}^{n} F_{ij}\,\phi_i = \phi_i \sum_{j=1}^{n} F_{ij}$

D'où, $\sum_{j=1}^{n} F_{ij} = 1$

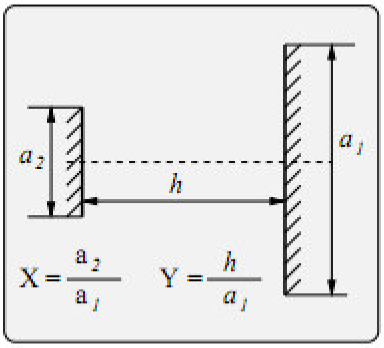
c. Estimation des facteurs de forme

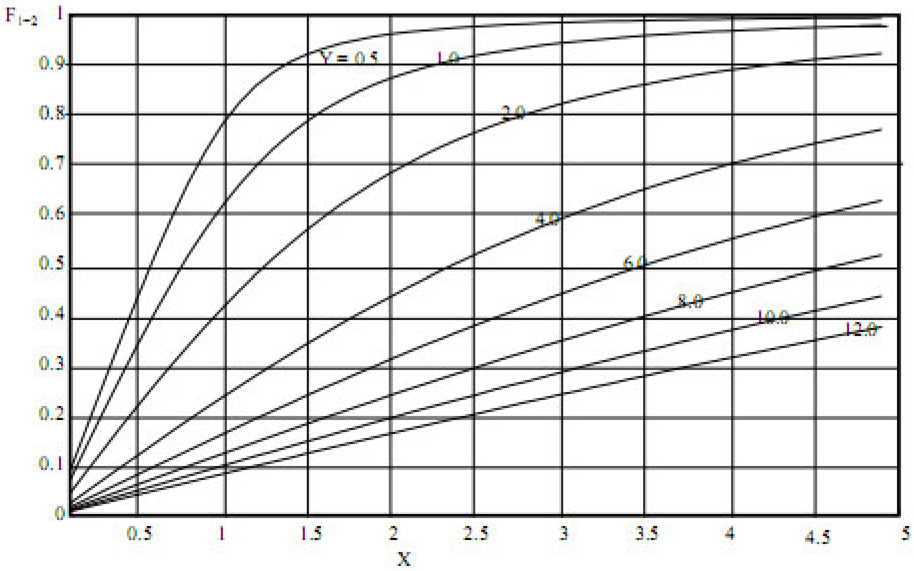
Il y a plusieurs méthodes de calcul pour estimer le facteur de forme désiré. On cite par exemple :

- Utilisation des relations de réciprocité et d'enceinte. Cette méthode n'est possible que pour des cas simples.
- Utilisation des formules et des abaques.

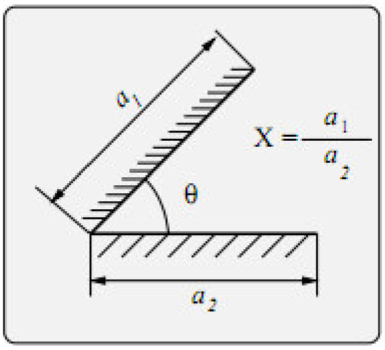
d. Calcul des facteurs de forme pour quelques configurations

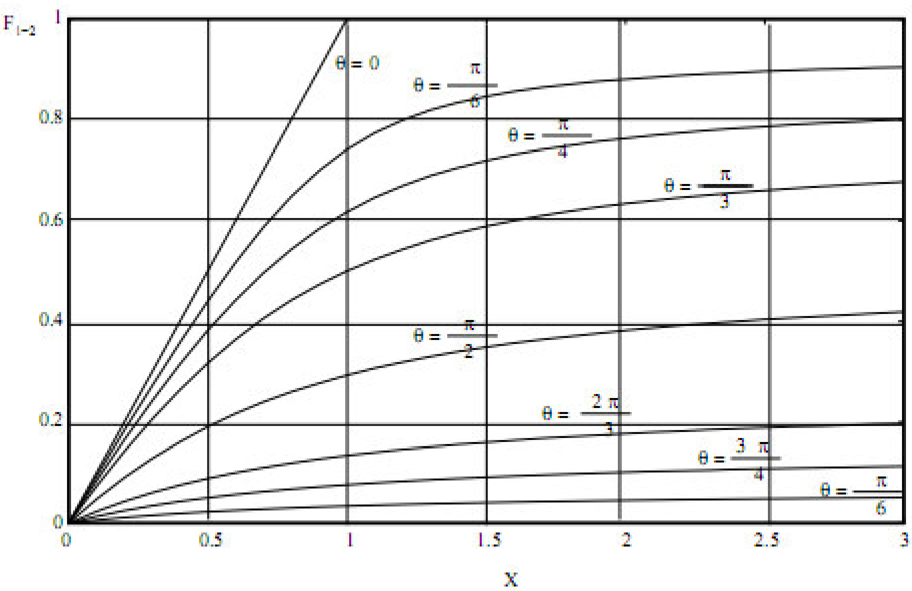
- Deux plaques parallèles, de largeurs différentes et ayant le même plan de symétrie



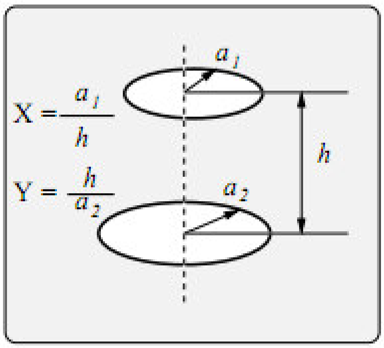


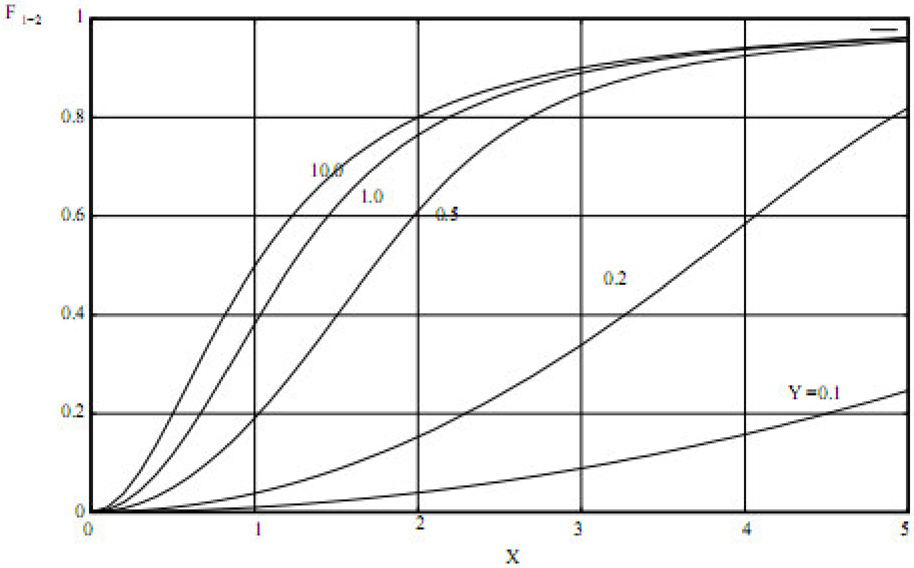
➢ Deux plaques ayant une arête commune et faisant un angle θ



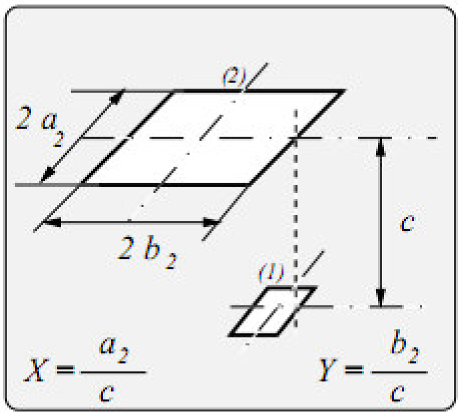


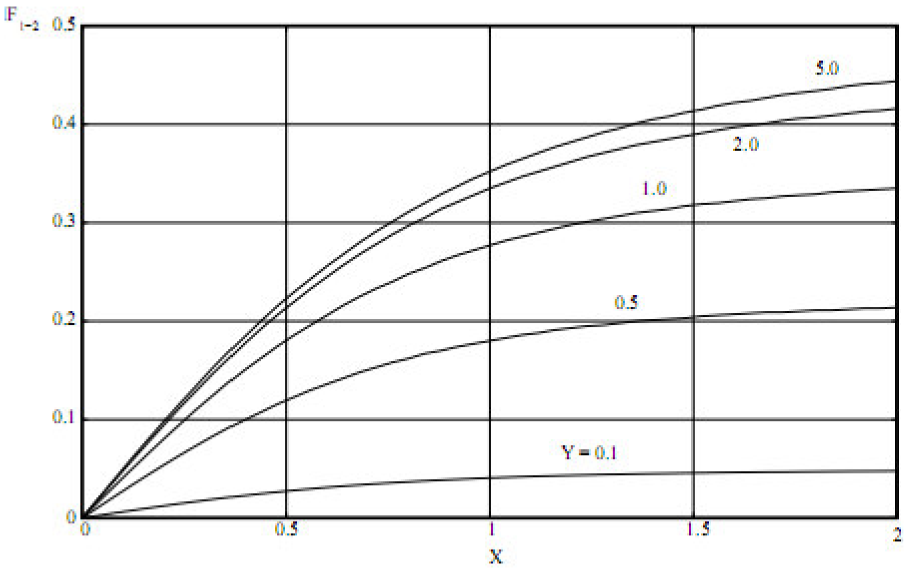
➢ Deux disques coaxiaux

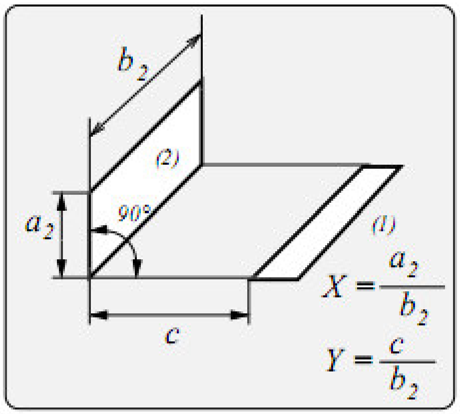




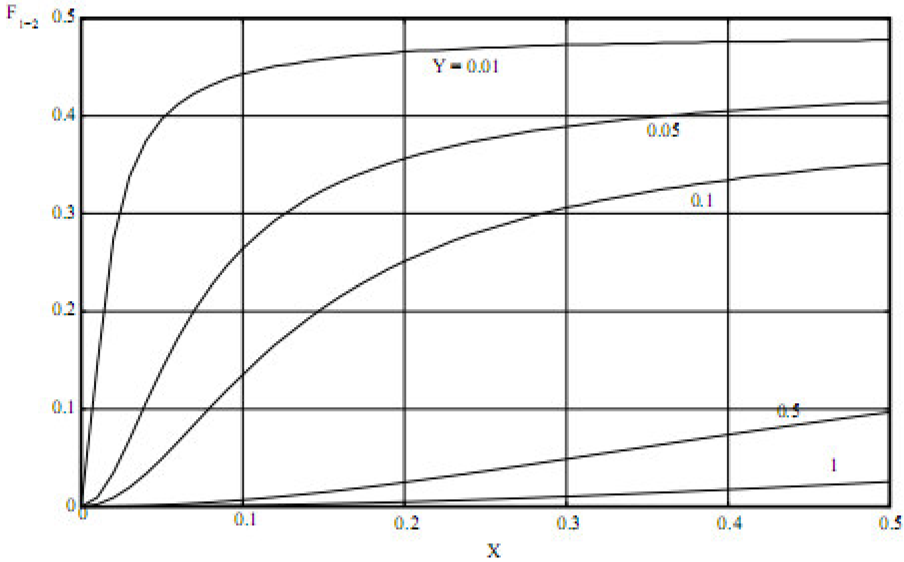
➢ Surface élémentaire parallèle à un rectangle de dimensions finies (position selon schéma)



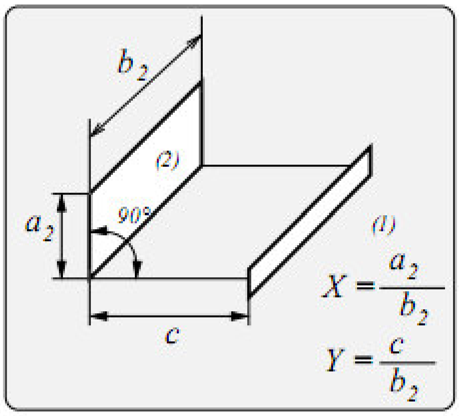


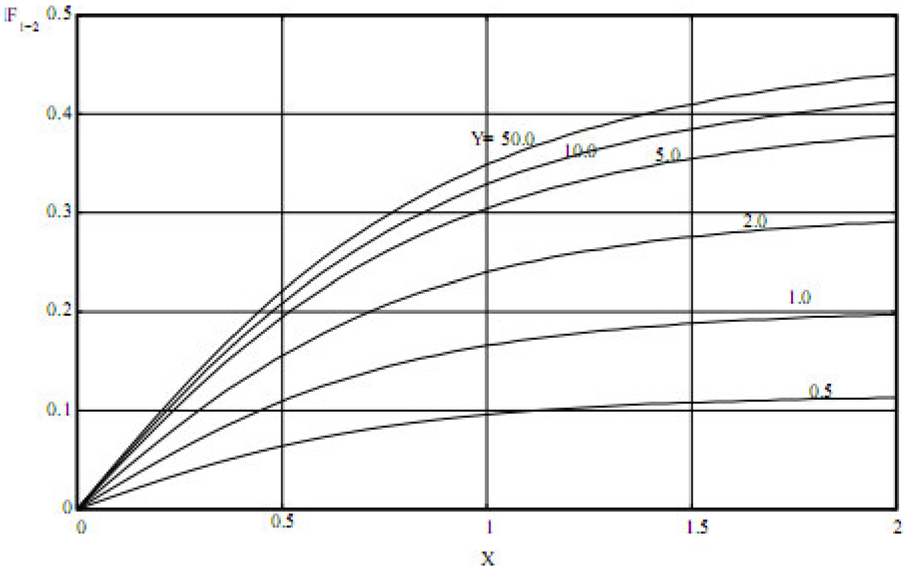


➢ Bande élémentaire perpendiculaire à un rectangle de dimensions finies (position selon schéma)

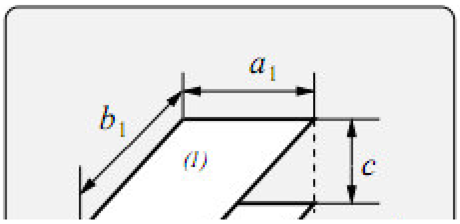


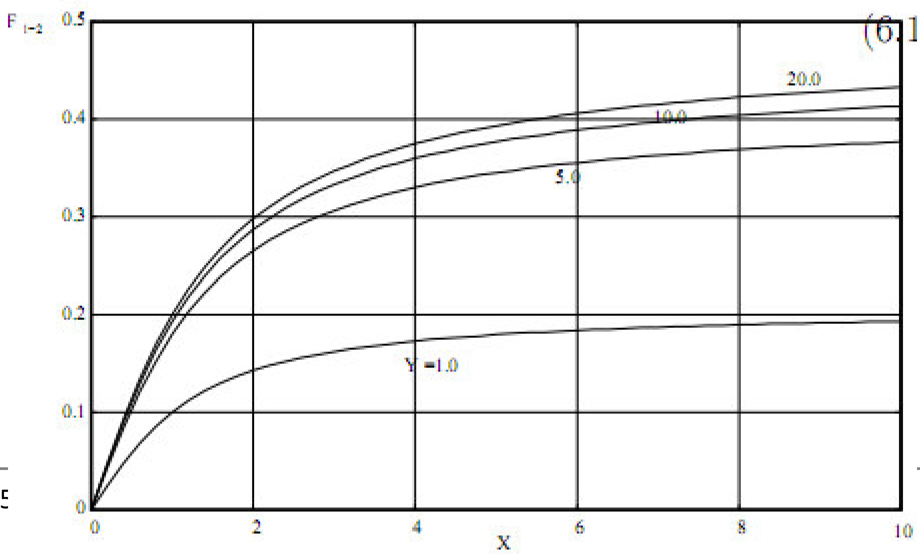
➢ Bande élémentaire parallèle à un rectangle de dimensions finies (position selon schéma)



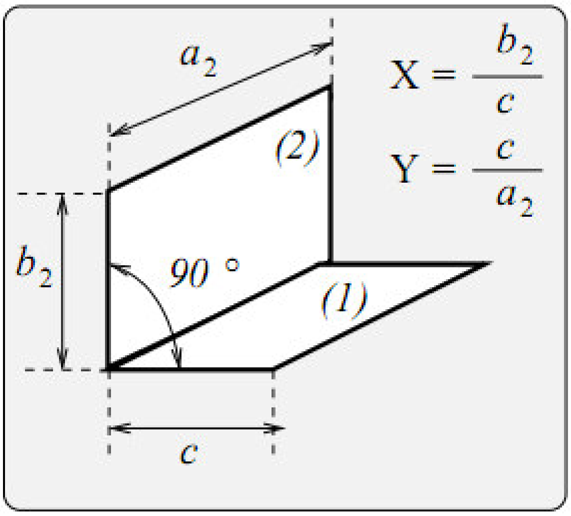


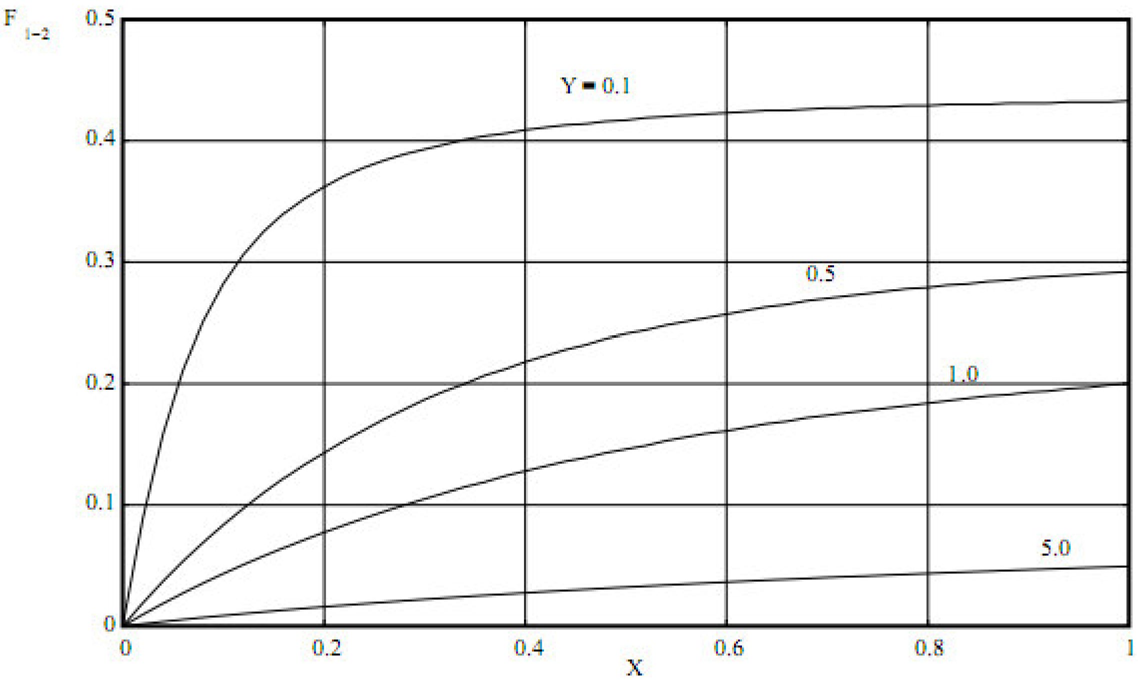
➢ Rectangles identiques se faisant face (position selon schéma)



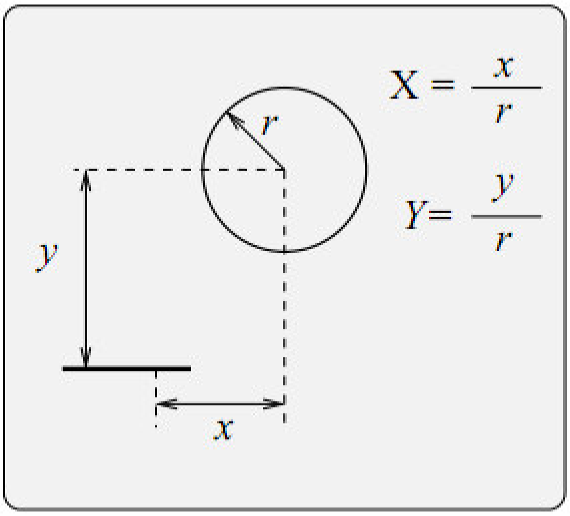


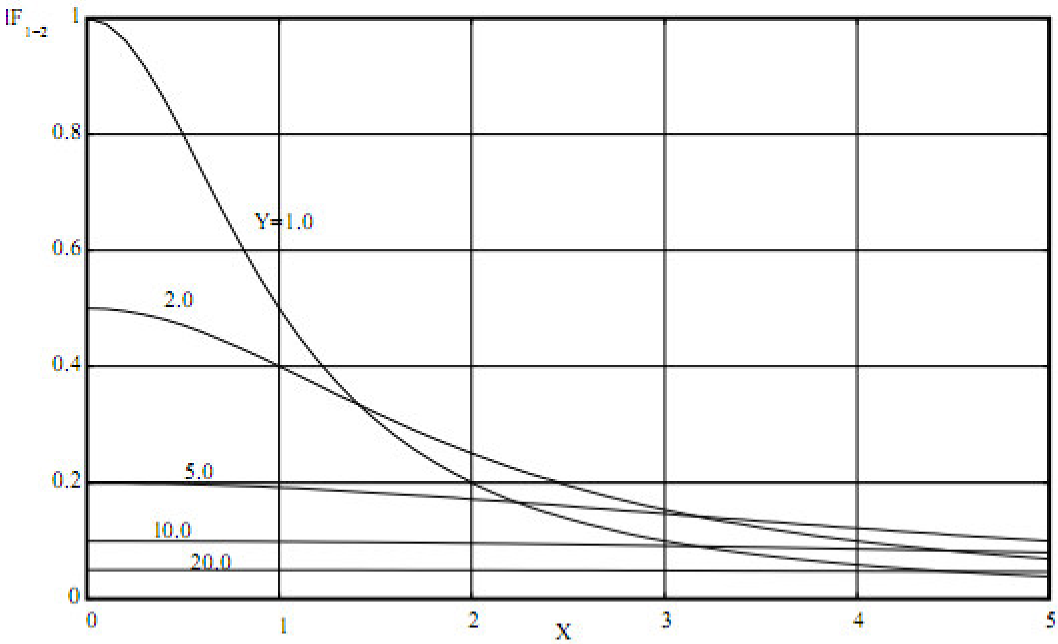
➢ Rectangles perpendiculaires ayant une arête commune (position selon schéma)





- Bande de largeur élémentaire, parallele a l'axe d'un cylindre de longueur infnie





d. Notion du flux net

Toutes les surfaces émettent du rayonnement et reçoivent du rayonnement qui est totalement absorbé dans le cas d'un corps noir.

Si ϕ_i est le flux émis et $\sum_{j=1}^{n} \phi_{ji}$ les flux reçus provenant des autres surfaces, le flux net relatif à la surface Si correspond à la différence du flux émis moins le flux absorbé.

D'où, $\phi_{net,i} = \phi_i - \sum_{j=1}^{n} \phi_{ji} = \phi_i - \sum_{j=1}^{n} F_{ji}\phi_j$

Comme les surfaces sont noires, on peut exprimer ces flux en fonction des émittances.

⇨ $\phi_{net,i} = M_i^{\circ} S_i - \sum_{j=1}^{n} F_{ji} S_j M_j^{\circ}$

En tenant compte de la réciprocité des facteurs de forme c'est-à-dire $S_j F_{ji} = S_i F_{ij}$ et de la loi d'enceinte ($\sum_{j=1}^{n} F_{ij} = 1$), on peut écrire :

$$\phi_{net,i} = M_i^{\circ} S_i - \sum_{j=1}^{n} F_{ji} S_j M_j^{\circ} = \sum_{j=1}^{n} F_{ij}\, M_i^{\circ} S_i - \sum_{j=1}^{n} F_{ij} S_j M_j^{\circ}$$

$$\phi_{net,i} = \sum_{j=1}^{n} S_i F_{ij} \left(M_i^{\circ} - M_j^{\circ}\right)$$

Remarque :

- Suivant le signe de $\phi_{net,i}$, il est possible de savoir si la surface perd de l'énergie par rayonnement ($\phi_{net} > 0$), si elle en gagne ($\phi_{net} < 0$) ou si les pertes sont compensées par les gains ($\phi_{net} = 0$). Dans ce dernier cas, la surface est adiabatique vis-à-vis de l'extérieur.
- Le flux échangé par rayonnement entre deux surfaces noires est :

$$\phi_{12} = S_1 F_{12}\left(M_1^{\circ} - M_2^{\circ}\right) = \frac{M_1^{\circ} - M_2^{\circ}}{\dfrac{1}{S_1 F_{12}}}$$

Le flux échangé par rayonnement entre deux surfaces noires Φ_{12} est égal à la différence entre les émittances de deux surfaces noires $\left(M_1^{\circ} - M_2^{\circ}\right)$ divisée par la résistance radiative $\frac{1}{S_1 F_{12}}$.

- On sait que l'émittance totale hémisphérique d'un corps noir est liée à sa température à partir de la relation de Stefan - Boltzmann :

$$M^{\circ} = \sigma T^4$$

Par conséquent, le flux net échangé entre deux corps noirs 1 et 2 de surface respective S1 et S2 et de température respective T_1 et T_2 est :

$$\phi_{12} = S_1 F_{12} \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

- On remarque que si : $\phi_{12} = \phi_{1\to2} - \phi_{2\to1}$ alors $\phi_{21} = \phi_{2\to1} - \phi_{1\to2} = -\phi_{12}$.

En d'autres termes, le flux net entre 1 et 2 est l'opposé du flux net entre 2 et 1. Lorsque les deux corps sont à la même température, on voit bien que le flux émis par chaque corps est le même et que c'est bien le flux net échangé qui s'annule.

Le flux net échangé entre 1 et 2 est par définition la différence entre le flux émis par 1 et absorbé par 2 et celui émis par 2 et absorbé par 1.

2. Echanges radiatifs entre surfaces grises opaques

Les échanges radiatifs entre surfaces grises sont plus complexes, car les surfaces réfléchissent par rayonnement et il apparaît alors dans une enceinte fermée des multiréflexions. Une nouvelle notion est utilisée : c'est la radiosité J.

La radiosité de la surface est la somme du flux émis et du flux réfléchi par unité de surface.

$$J = \frac{\phi_i}{S} + \frac{\rho\phi_i}{S}$$

⇨

$$J.S = \phi_i + \frac{\rho\phi_i}{S}$$

La loi de Stefan permet de déterminer le flux de chaleur Φ (W) émis sous forme de rayonnement par un corps de surface S (m2) dans toutes les directions de l'espace:

$\Phi = \sigma . \varepsilon . S . \theta 4$

où ε est le facteur d'émission du corps, θ la température absolue du corps et σ la constante de Stefan ($\sigma = 5,67 . 10^{-8}$ $W.m^{-2}.K^{-4}$).

On observe que si la température du corps s'élève son émission de chaleur par rayonnement augmente également.

.

Dans le cas d'un corps noir ε = 1 donc ε = 1 = α.

Pour la plupart des corps α est compris entre 0 et 1: une partie seulement de

l'énergie reçue est absorbée. Si cette fraction est identique pour toutes les longueurs

d'onde, les corps sont appelés des corps gris; on montre que pour les corps gris on

a: ε = α