II.1Introduction :

Les panneaux solaires reçoivent l'énergie et la convertissent soit en électricité pour les panneaux photovoltaïques ou en chaleur pour les panneaux solaires thermiques ou bien en électricité et en chaleur pour les panneaux hybrides. Non toute cette énergie est convertie en électricité et/ou en chaleur puisque les panneaux ne sont pas **100%** efficaces. La majeure partie de cette énergie est perdue à l'environnement.

Cette énergie peut être transférée en général sous trois formes, transfert par conduction, par convection et par rayonnement.

II.2 Transfert par conduction :

C'est un mode de transfert de chaleur au sein d'un milieu solide, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température. La propagation de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes distincts :

- une transmission par les vibrations des atomes ou molécules.
- une transmission par les électrons libres.

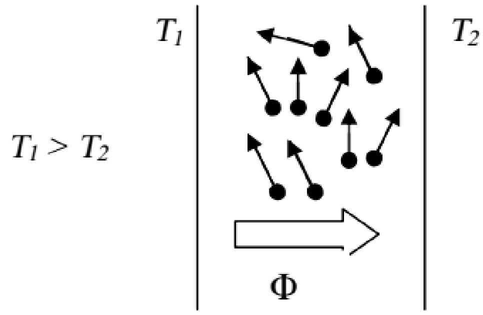

Figure. II.1 : Echange de chaleur par conduction

La théorie de la conduction repose sur l'hypothèse de Fourier. **[23]**

II.2.1 Loi de Fourier :

Il existé une relation linéaire entre la densité de flux thermique et le gradient de température. En tout point d'un milieu isotrope, la densité de flux thermique instantanée est proportionnelle à la conductivité thermique λ du milieu et au gradient de température. **[23]**

$$\Phi = -\lambda . grad(T) \qquad \text{II.1}$$

Ou sous la forme suivante :

$$\Phi = -\lambda . S \frac{\delta T}{\delta x} \qquad \text{II.2}$$

Avec :

Φ : Flux de chaleur transmis par conduction (**w**)

λ : Conductivité thermique du milieu (**w.m^{-1}. °C^{-1}**)

x : Variable d'espace dans la direction du flux (**m**)

s : Aire de la section de passage du flux de chaleur (**m^2**)

Pour un milieu isotrope, la conductivité thermique **λ** est une grandeur scalaire positive, caractéristique du milieu, fonction en général de **T**. pour un milieu isotrope et homogène **λ** ne dépend pas de **T**. dans de nombreux cas pratiques, lorsque les écarts de température ne sont pas trop élevés, on peut considérer, avec une précision suffisante, **λ** comme une constante pour un milieu donné.

II.2.2 Résistance thermique :

Considérant l'intersection d'un tube de courant par deux surfaces isothermes de températures T1 et T2, on définit la résistance thermique par la relation **[23]** :

$$T_1\text{-}T_2 = R\ \Phi \qquad \text{II.3}$$

On reconnaît dans cette équation la forme générale de la loi d'Ohm **[23]:**

$$E1\text{-}E2 = R.I \qquad \text{II.4}$$

Dans laquelle les potentiels E sont remplacés par les températures et l'intensité I par le flux Φ.

II.2.3 Equation générale de la chaleur :

Cette équation qui exprime la conservation d'énergie d'un élément infinitésimal de matière s'écrit :

$$\mathrm{div}^{\rightarrow} (\lambda.\mathrm{grad}\ T) + P = \rho.Cp.(\partial T/ \partial t) \qquad \text{II.5}$$

Où P : représente la production de chaleur en (**w/m³**)

Cp: chaleur massique en (**J/kg. °k**)

ρ : masse volumique en (**kg/m³**)

II.3 Transfert par convection :

C’est le transfert de chaleur entre un solide et un fluide, l’énergie étant transmise par déplacement du fluide **[24].** Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de Newton

$$\Phi = h\,S\,(T_p \quad T_\infty) \qquad \text{II.6}$$

Avec :

Φ : Flux de chaleur transmis par convection (w)

h : Coefficient de transfert de chaleur par convection (W m^{-2} $°C^{-1}$)

Tp : Température de surface du solide (°C)

T_∞ : Température du fluide loin de la surface du solide (°C)

S : Aire de la surface de contact solide/fluide (m^2)

La valeur du coefficient de transfert de chaleur par convection h est en fonction de la nature du fluide, de sa température, de sa vitesse et des caractéristiques géométriques de la surface de contact solide/fluide.

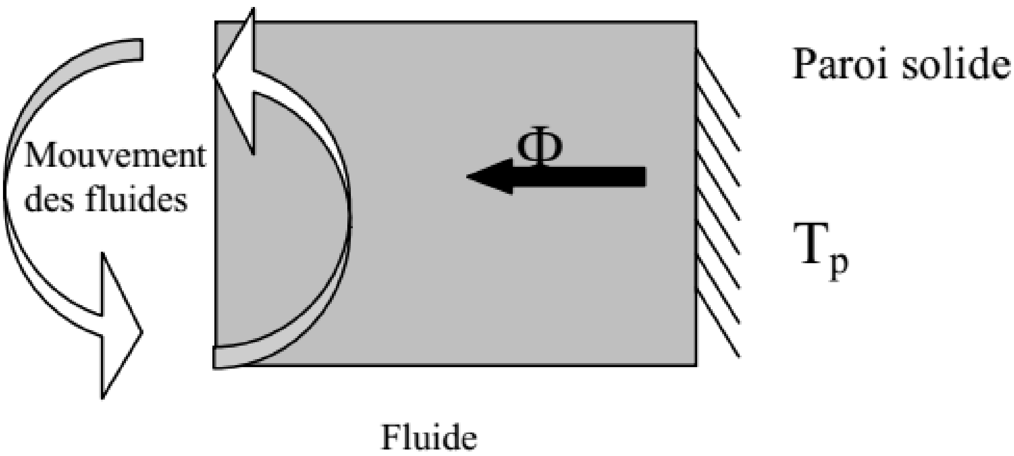

Figure. II.2 : transfert de chaleur par convection

II.3.1 Nombres sans dimension :

Nous définirons ci-dessous les nombres sans dimension rencontrés en transfert thermique par convection :

II.3.1.1 Nombre de Prandtl :

$$\mathrm{Pr} = \frac{\mu . Cp}{\lambda} = \frac{\upsilon}{a} \qquad \mathrm{II.7}$$

Avec :

λ : Conductivité thermique du milieu (**w m^{-1} °C^{-1}**)

μ : viscosité dynamique en (**PI**)

Cp: chaleur massique en (**J/kg.k**).

Ce nombre représente le rapport de la diffusivité mécanique υ à la diffusivité thermique a.

Un fluide peu visqueux mais bon conducteur thermique, aura un Pr très faible et vice-versa **[24].**

Quelques exemples du nombre de Prandtl à 100°C pour des gaz courants :

Gaz	Pr
H2	0.69
Air	0.69
Ar	0.66
CO2	0.75
CO	0.72
He	0.71
N2	0.70
O2	0.70
H2O (vapeur)	1.06

Tableau II.1: Prandtl de quelques gaz

Dans le cas des liquides, le nombre de Prandtl est beaucoup plus variable :

Liquide	T(ºC)	Pr
Eau	0 20 100	13.6 7.03 1.75
Alcool éthylique	0 30 60	21.8 13.9 12.1
Glycol	20 100	203 25
Glycérine	0 30	100’000 5’200

T**ableau II.2**: Prandtl de quelques liquides

II.3.1.2 Nombre de Nusselt :

$$\mathrm{Nu} = \frac{.L}{\lambda} \qquad \mathrm{II.8}$$

Avec

L : dimension caractéristique (**m**)

La signification physique du nombre de Nusselt est le rapport de la quantité de la chaleur échangée par convection à la quantité de chaleur échangée par conduction.

II.3.1.3 Nombre de Grashof :

$$Gr = \frac{\beta . g . \rho^2 . L^2 (T - T_F)}{\mu^2} \qquad \mathrm{II.9}$$

Ce nombre exprime le rapport entre les forces de gravite multipliées par les forces d’inertie et le carré des forces de viscosité.

II.3.1.4 Nombre de Rayleigh :

Il s’écrit sous la forme suivante :

$$Ra = Pr.Gr = \frac{\beta.g..L^3(T - T_F)}{a\upsilon} \qquad \text{II.10}$$

Où il caractérise l'écoulement en convection naturelle.

β : coefficient de dilatation du fluide (**k^{-1}**)
L : dimension caractéristique de la surface d'échange (**m**)
g : accélération de la pesanteur (**m/s^2**)
μ : viscosité dynamique du fluide (**kg/m.s**)
υ : viscosité cinématique (**m^2/s**)
ρ : masse volumique en (**kg/m^3**)
a : Diffusivité thermique en (**m^2/s**)

II.3.1.5 Nombre de Reynolds :

Est de la forme de :

$$\text{Re} = \frac{\rho.u.L}{\mu} = \frac{u.L}{\upsilon} \qquad \text{II.11}$$

Ce nombre exprime le rapport des forces d'inertie sur les forces de viscosité **.**

II.3.2 Flux de chaleur en convection forcée :

L'application de l'analyse dimensionnelle montre que la relation liant le flux de chaleur transféré par convection aux variables dont il dépend peut être recherchée sous la forme d'une relation entre trois nombres adimensionnels :

$$\text{Nu} = f(\text{Re}, \text{Pr}) \qquad \text{II.12}$$

Avec : **Nu** : nombre de Nusselt, **Re** : nombre de Reynolds et **Pr** : nombre de Prandtl

Le calcul d'un flux de chaleur transmis par convection forcée s'effectue donc de la manière suivante :

- Calcul des nombres adimensionnels de Reynolds et de Prandtl ;
- Suivant la valeur de Re et la configuration → choix de la corrélation ;
- Calcul de Nu par application de cette corrélation ;

- Calcul de h (Coefficient de transfert de chaleur) : h = λ Nu/d et de Φ = h S (Tp   T).

II.3.3 Le flux de chaleur en convection naturelle :

L'application de l'analyse dimensionnelle montre que la relation liant le flux de chaleur transféré par convection aux variables dont il dépend peut être recherchée sous la forme d'une relation entre trois nombres adimensionnels :

$$Nu = f\,(Gr, Pr) \qquad \text{II.13}$$

Avec : **Nu** : nombre de Nusselt, **Pr** : nombre de Prandtl et **Gr** : nombre de Grashof.

Le flux de chaleur transmise par convection naturelle s'effectue donc de la manière suivante:

- Calcul des nombres adimensionnels de Grashof et de Prandtl ;
- Suivant la valeur de Gr et la configuration → choix de la corrélation ;
- Calcul de Nu par application de cette corrélation ;
- Calcul de h (Coefficient de transfert de chaleur) : h = λ Nu/D et de Φ = h S (Tp   T) ;

II.4 Transfert par rayonnement :

Contrairement aux deux autres modes d'échange qui sont la conduction et la convection, le rayonnement ne nécessite pas l'existence d'un support matériel. Il se propage dans l'espace, comme dans tout type de milieu. Si ce milieu est homogène, il se propage en ligne droite.

Le rayonnement c'est un transfert d'énergie électromagnétique entre deux surfaces (même dans l'espace).

II.4.1 L'émittance (totale) :

C'est le flux total émis par unité de surface de la source. On considère globalement la puissance **dΦ** émise par un élément de surface **dS** dans l'ensemble des directions où il peut rayonner (hémisphère limite par le plan tangent à **dS** en son centre), et on divise ce flux par l'aire de **dS**. L'émittance est notée par M. Son unité est le **w/m²** :

$$M = d\Phi/dS \qquad \text{II.13}$$

II.4.2 Le corps noir :

C'est un corps idéal vis-à-vis du rayonnement qui, par définition, absorbe tout le rayonnement qu'il reçoit quelque soit la fréquence et la direction. A l'équilibre thermique, il émet autant de rayonnement qu'il en absorbe de sorte qu'un corps noir rayonne le maximum d'énergie de façon uniforme dans toute la direction.

II.4.3 Loi du rayonnement thermique :

II.4.3.1 Loi de Planck : émittance monochromatique du corps noir :

L'émittance monochromatique d'un corps noir **M°λ,T** à la longueur d'onde λ et la température **T**, est donnée par la loi de Planck **[25]:**

$$M°_{\lambda,T} = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{\exp(\frac{c_2}{\lambda T}) \quad 1} \qquad \text{II.14}$$

Ou **M°λ, T** est le flux énergétique émis par la surface dans tout l'hémisphère et ramène à l'unité de longueur d'onde **λ**, la surface étant à la température **T. M°λ**, **T** est exprimé en **w/m3** ou, dans le cas où **λ** est exprimé en microns **(µm), M°λ, T** sera en **w/ (m2.µm).**

Les constantes c1, c2 sont égale à :

c_1 =3,74.108 **w.µm^4/m^2**
c_2 =1,44.104 **µm°k**

II.4.3.2 Loi de Stefan Boltzmann :

Cette loi fournit l'émittance totale du rayonnement du corps noir dans l'espace en fonction de sa température absolue (sur tout le spectre de longueur d'onde). Elle s'écrit :

$$M° = \sigma . T4 \ (w/m^2) \qquad \text{II.15}$$

Avec : σ : est la constante de Stefan Boltz mann
σ =5,67.10 -8 **(w/(m2°k4))** .**[26]**

II.4.4 Transfert par rayonnement entre surface :

1) petit objet convexe placé dans une enceinte large (S1<<<S2)

   $\phi = \sigma \varepsilon_p S(T_p^4 - T_\infty^4)$ Exprimé en (**W**)

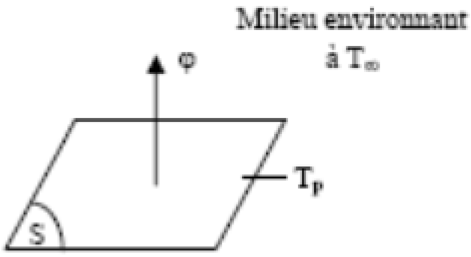

Figure. II.3 Transfert de chaleur par rayonnement

2) deux plans parallèles infinis :

$$\Phi = \frac{\sigma(T_1^4 \quad T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1}+\frac{1}{\varepsilon_2} \quad 1} \qquad \text{III. 16}$$

Avec : **Φ** Flux de chaleur transmis par rayonnement exprimé en **W**

σ Constante de Stephan (5,67.10 $^{-8}$ **W.m^{-2} K^{-4}**)

εp Facteur d'émission de la surface

Tp Température de la surface en **K**

T∞ Température du milieu environnant la surface en **K**

S Aire de la surface en **m^2**

II.4.5 Réception du rayonnement par un solide :

Quand un rayon d'énergie incident F i frappe un corps à la température T, un partie **Φ_r ρ** de l'énergie incidente est reflétée par la surface **S**, une autre partie **Φ_a α** est absorbée par le corps qui s'échauffe et le reste **Φ_t τ** transmis et continue son chemin **[27]** :

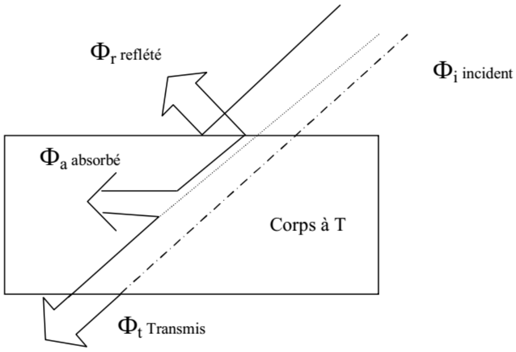

Figure II.4 : Réception du rayonnement

On a évidemment : $\Phi_i = \Phi_r\,\rho + \Phi_a\,\alpha + \Phi_T\,\tau$ d'où : $\rho + \alpha + \tau = 1$