

Master I: Architecture et Environnement

*Matière: Sciences Pour L'architecture*

COURS N° 01

Deuxième partie

PHYSIQUE DE LA CHALEUR

*Notions de base*

Par: Melle HAMEL khalissa

# RÉFÉRENCES

- ◎ SZOKOLAY S. V., *Introduction to Architectural Science. The Basis of Sustainable Design*. Architectural Press, AMSTERDAM, BOSTON, HEIDELBERG, LONDON, NEW YORK, OXFORD, PARIS, SAN DIEGO, SAN FRANCISCO, SINGAPORE, SYDNEY, TOKYO, 2008.
- ◎ LIÉBARD A. & DE HERDE A., Ed. *Traité d'Architecture et d'Urbanisme Bioclimatiques*, Obser'ER, Paris, 2005.
- ◎ CHATELET Alain, FERNANDEZ Pierre, LAVIGNE Pierre, *Architecture climatique, une contribution au développement durable*, Edisud, Aix-en-Provence, 1998.
- ◎ COURGEY Samuel, OLIVA Jean-Pierre, *La conception bioclimatique. Des maisons confortables et économes*, Edition terre vivante, Mens, 2006/2007. (cote : AV4/99)
- ◎ OLIVA J-P., *L'isolation écologique, conception, matériaux et mise en œuvre*, Edition terre vivante, Mens, 2001.
- ◎ GIVONI B., *L'homme, l'architecture et le climat*, Éditions du Moniteur, Paris, 1978.
- ◎ CNAM Paris – Ergonomie – Cours B1 – M. Millanvoye - 2002-2003.
- ◎ LIEBARD A. & DE HERDE A., *Guide de l'architecture bioclimatique*, Edition Systèmes solaires, Paris, 2002.
- ◎ MOREL N. & GNANSOUNOU E., *Energétique du bâtiment*, nouvelle édition du cours précédemment donné par Claude-Alain Roulet et Arnaud Dauriat, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Lausanne, 2008.
- ◎ TIXIER N., *Bases physiques*, Cours d'environnement thermique et maîtrise énergétique, Ecole d'architecture de Grenoble. (Disponible sur: [www.grenoble.archi.fr/etudes/cours-en-ligne-detail.php?ref=tixier-ambiances-thermiques](http://www.grenoble.archi.fr/etudes/cours-en-ligne-detail.php?ref=tixier-ambiances-thermiques))
- ◎ TIXIER N., *L'air en mouvement*, Cours d'environnement thermique et maîtrise énergétique, Ecole d'architecture de Grenoble. (Disponible sur: [www.grenoble.archi.fr/etudes/cours-en-ligne-detail.php?ref=tixier-ambiances-thermiques](http://www.grenoble.archi.fr/etudes/cours-en-ligne-detail.php?ref=tixier-ambiances-thermiques))

La **convection** est le phénomène physique par lequel la chaleur est transmise en mettant en jeu des **déplacements** de matière.  
Elle s'oppose à cela à la conduction dans laquelle, il n'y a **pas de déplacement** de matière.  
La convection ne peut pas exister entre deux solides, elle n'existe que grâce à un fluide : air, eau, etc.

---

Il y a deux sortes de convection : la convection libre et la convection forcée.

---

#### La convection libre (ou dite naturelle) :

C'est la forme la plus couramment observée : au contact d'un objet chaud, la température de l'air augmente, sa masse volumique décroît. L'air chaud subit, de la part de l'air non chauffé, une poussée vers le haut (poussée d'Archimède) qui crée un courant d'air ascendant. La masse d'air chaud emporte avec elle une partie de la chaleur cédée par l'objet chaud.

Le processus se poursuit car de l'air froid se substitue à l'air chaud.

Le même phénomène se produit par refroidissement, mais en sens inverse (l'air froid descend) !

---

#### La convection forcée :

C'est quand une action extérieure contribue à faire circuler le fluide.

Cela peut-être un ventilateur, une pompe, un compresseur, ou simplement le vent ou la gravité...

L'écoulement correspondant se poursuit soit dans la masse même du fluide (agitation d'une pièce par un ventilateur), soit dans des canalisations.

(Tiré du cours de Xitier Nicola)

## Convection

## 2. Le flux de chaleur

## Modes de transfert de chaleur

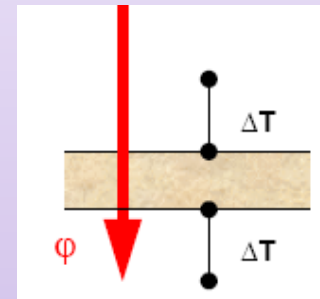
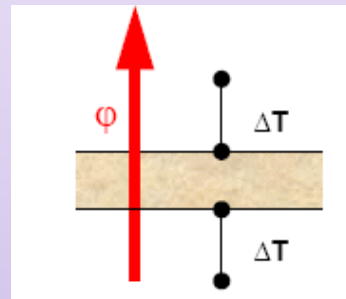
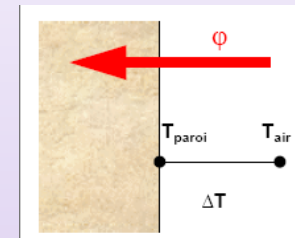
transfert de chaleur est fonction du coefficient de convection, **hc (en W/m<sup>2</sup>K)**

$$Q_v = A \times hc \times T$$

$$m^2 \times W/m^2K \times K = W.$$

L'ampleur de HC dépend de la position de la surface, la direction du flux de chaleur et la vitesse du fluide. Par exemple:

- pour les surfaces verticales (flux de chaleur horizontale): **hc = 3W/m<sup>2</sup>K**
- pour les surfaces horizontales



- Flux de chaleur vers le haut (air au plafond, le plancher à l'air ambiant) **4.3W/m<sup>2</sup>K**
- Flux de chaleur vers le bas (de l'air au sol, au plafond à l'air ambiant) **1.5W/m<sup>2</sup>K**

**(l'air chaud monte, le transfert de chaleur vers le haut est plus fort)**

Dans ce qui a précédé le débit d'air est due au transfert de chaleur uniquement. Si la surface est exposée au vent, ou mécaniquement à un mouvements d'air générés (convection forcée), alors le coefficient de convection sera beaucoup plus élevé:

$$h_c = 5.8 + 4.1 v$$

où  $v$  est la vitesse d'air en m / s.

Le transfert de chaleur par rayonnement se produit entre deux corps non en contact, ayant une température différente. C'est d'ailleurs le seul mode naturel de propagation de chaleur au travers du vide. Contrairement à la convection, ce n'est pas l'air qui transporte l'énergie mais les rayons de chaleur.

Tous les matériaux rayonnent sans arrêt de l'énergie dans toutes les directions, à la suite du mouvement continu de vibration de leurs molécules situées en surface. Alors que le rayonnement solaire comporte essentiellement des radiations de courtes longueurs d'onde émises à très hautes températures, le [rayonnement thermique](#) terrestre que nous ressentons comme échange radiatif de chaleur est principalement constitué de grandes longueurs d'onde et de l'infrarouge lointain, émises à une température bien inférieure.

Radiation  
(rayonnement)

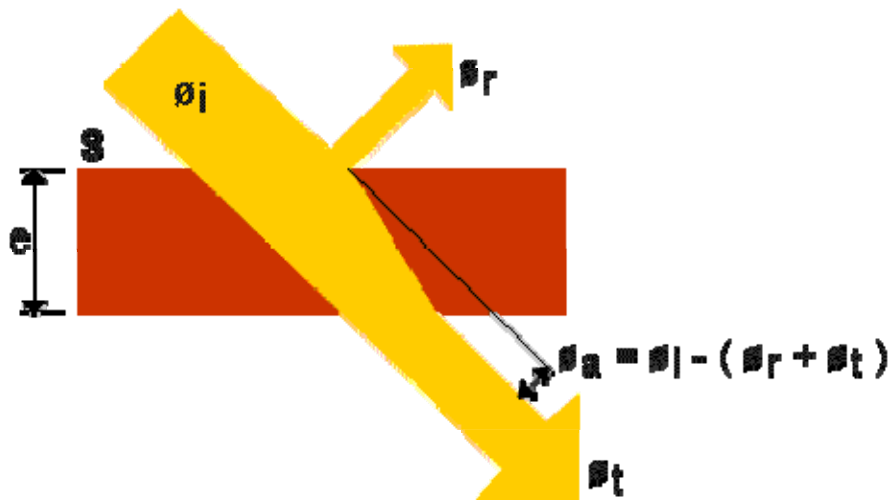
2. Le flux de chaleur

Modes de transfert de chaleur

### Comportement d'un corps récepteur

**Principes :** tout corps récepteur reçoit un rayonnement de flux incident qui se décompose:

- En **un flux réfléchi** (réflexion sur la surface S)
- En **un flux transmis** (transmission à travers l'épaisseur e)
- En **un flux absorbé** (absorption dans l'épaisseur e)



Village méditerranéen à Collioure  
(France).

Radiation  
(rayonnement)

## 2. Le flux de chaleur

## Modes de transfert de chaleur

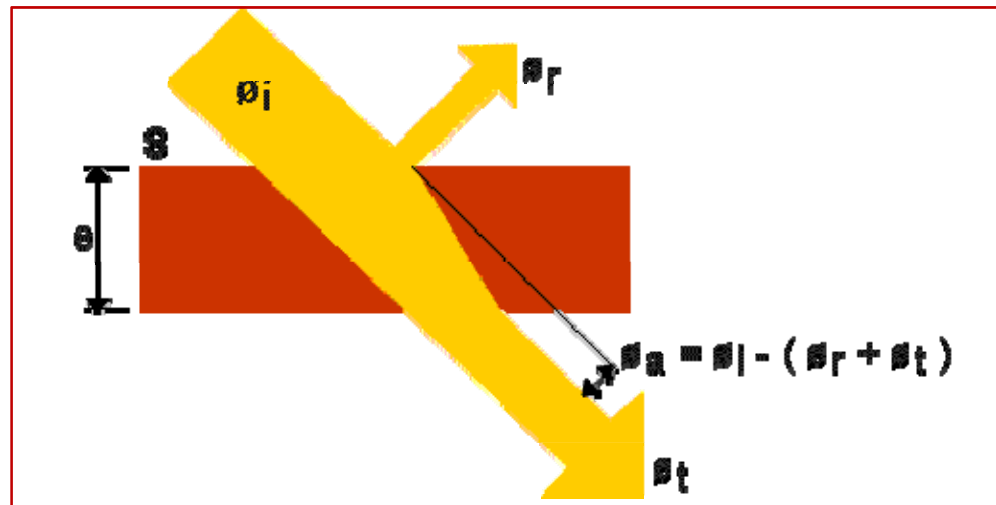
## Comportement d'un corps récepteur

On définit alors trois rapports (sans dimension) :

Le facteur d'absorption ou absorptivité ou absorbance :  $\alpha = \phi_a / \phi_i$

Le facteur de réflexion ou réflectivité ou réflectance :  $\rho = \phi_r / \phi_i$

Le facteur de transmission ou transmittivité ou transmittance :  $\tau = \phi_t / \phi_i$





Radiation  
(rayonnement)

## 2. Le flux de chaleur

## Modes de transfert de chaleur

## Comportement d'un corps récepteur

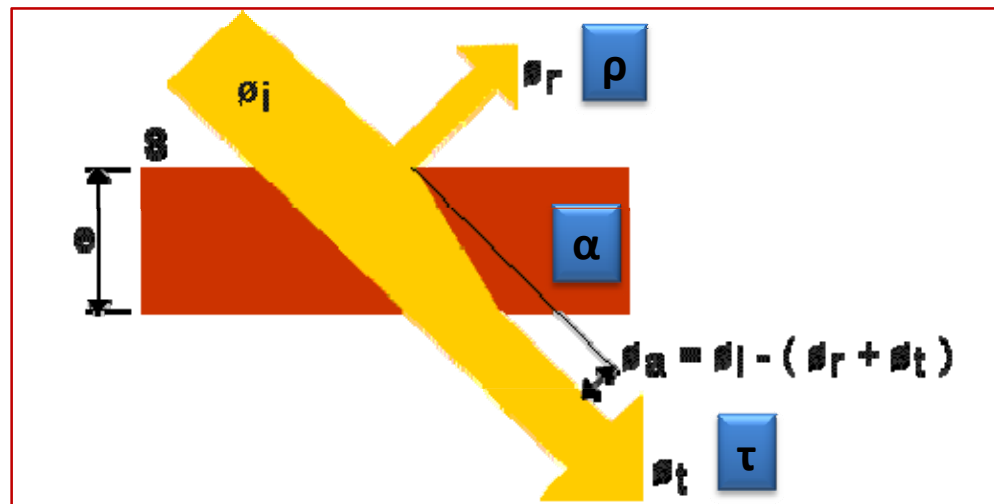
Comme:

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

On a donc :

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

On peut donc définir pour un corps un  $\alpha$ ,  $\rho$  et  $\tau$  pour chaque longueur d'onde ou pour un ensemble de longueurs d'ondes.

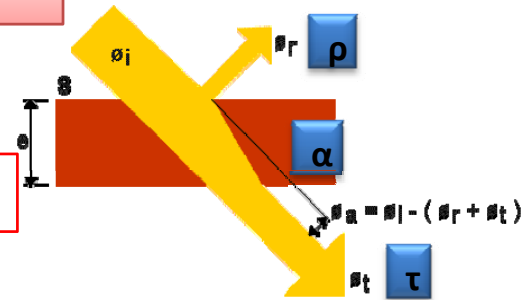


Radiation  
(rayonnement)

## 2. Le flux de chaleur

Modes de transfert de chaleur

Comportement d'un corps récepteur



Par exemple, pour un verre de 3 mm recevant le rayonnement solaire, toute longueurs d'ondes confondues, (donc du point de vue de l'énergie) on a :

$$\alpha = 0,06 \quad \rho = 0,07 \quad \tau = 0,87$$

Si on regarde le verre du point de vue de la lumière (en ne considérant que le rayonnement visible), on a :

$$\alpha = 0,01 \quad \rho = 0,08 \quad \tau = 0,91$$

Si  $\tau$  est important, le corps est **transparent**

Si  $\tau = 0$  le corps est **opaque**

Si  $\alpha$  est important, le corps est **absorbant**

Si  $\rho$  est important, le corps est **réfléchissant**

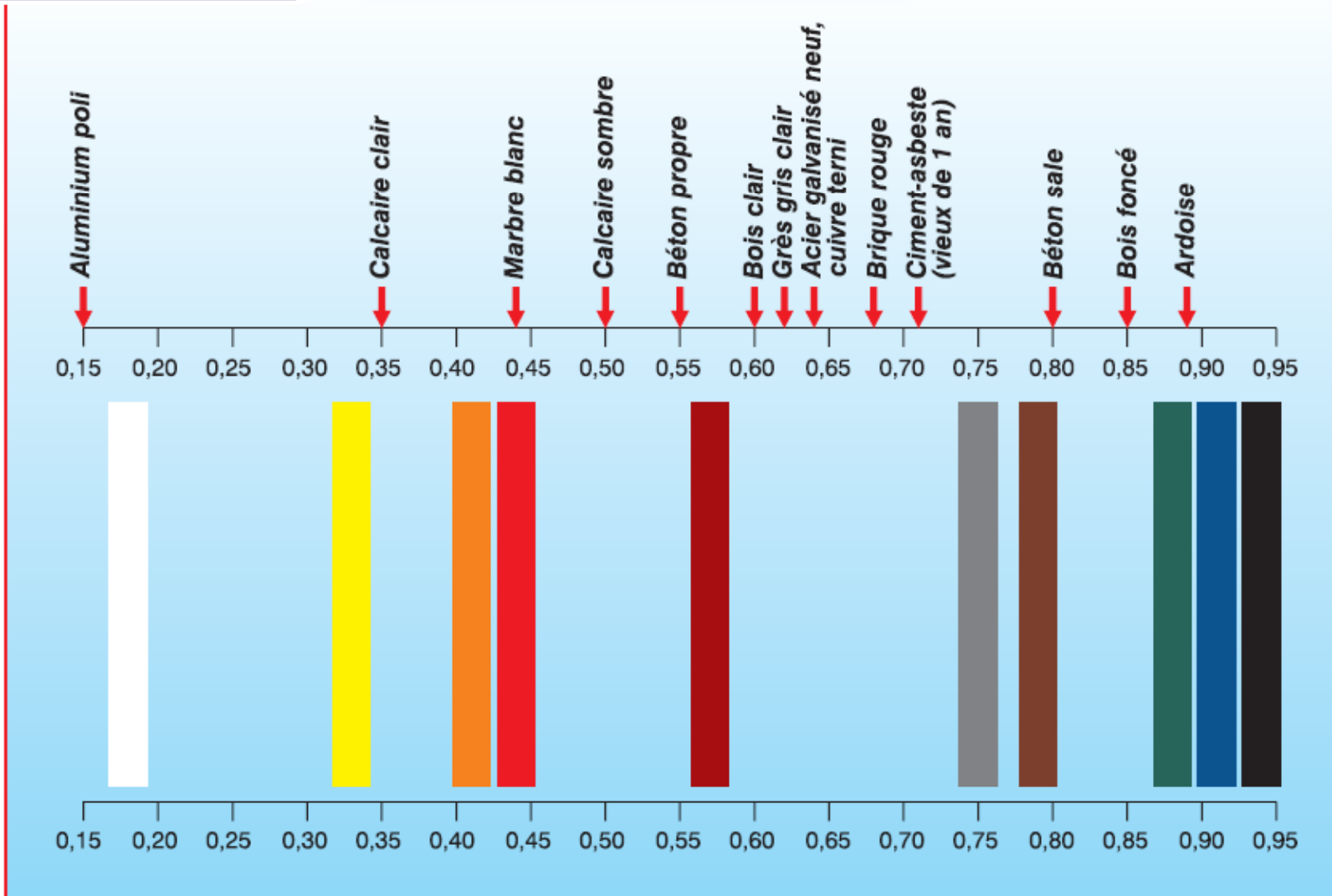
On définit un corps noir (théorique, absorbe totalement le rayonnement incident)

quand  $\alpha = 1$

2. Le flux de chaleur

Radiation  
(rayonnement)

Modes de transfert de chaleur

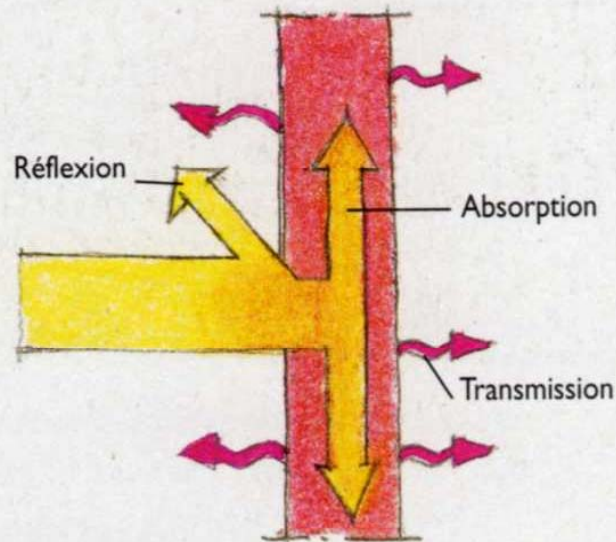


Coefficients d'absorption pour différents matériaux et différentes couleurs.

Radiation  
(rayonnement)

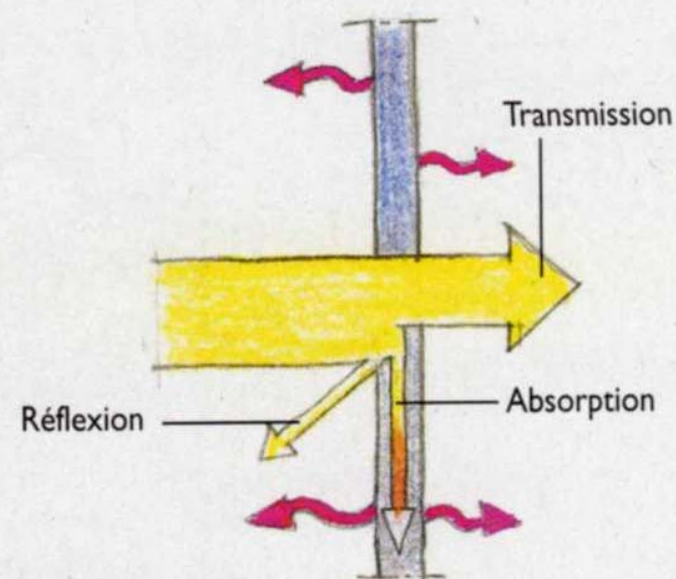
## 2. Le flux de chaleur

## Modes de transfert de chaleur

**Matériau absorbant.**

Lorsque les rayons du soleil frappent une paroi opaque, une partie de l'énergie solaire est absorbée sous forme de chaleur tandis que le reste est réfléchi. Il n'y a pas de transmission directe.

La partie de l'énergie solaire absorbée est restituée de part et d'autre de la paroi par rayonnement avec un certain déphasage par rayonnement.

**Matériau transparent.**

Le rayonnement solaire frappant un élément transparent est partiellement réfléchi, partiellement absorbé, et sa plus grande partie est transmise. La fraction absorbée est ensuite réémise de part et d'autre de la paroi transparente par rayonnement.

Radiation  
(rayonnement)

## 2. Le flux de chaleur

## Modes de transfert de chaleur

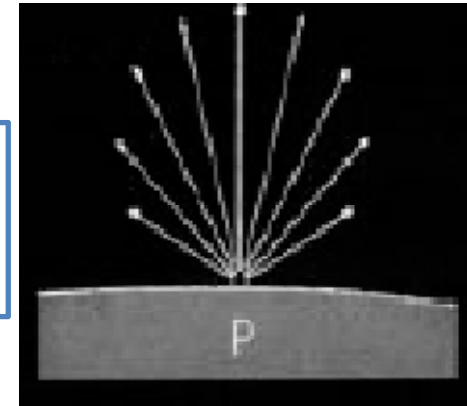
## Comportement d'un corps émetteur

Chaque point P d'une surface émet un rayonnement.  
Le corps émet une densité de flux ( $W / m^2$ ) que l'on nomme émittance énergétique H.

L'émittance énergétique totale d'un corps quelconque dépend du **facteur d'émission** ou **émissivité** ( $\epsilon$  sans dimension)

Il a été démontré (et c'est étonnant !) que l'émissivité d'un corps est égale à son absorptivité:

$$\epsilon = \alpha$$



Radiation  
(rayonnement)

2. Le flux de chaleur

Modes de transfert de chaleur

Comportement d'un corps émetteur

**Loi de Stefan-Boltzmann :**

Elle définit **l'émittance totale d'un corps quelconque** :

$$H = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \text{ (W / m}^2\text{)} \quad \text{avec la constante de Stefan } \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ [ W/m}^2\text{(}^\circ\text{K)}^4 \text{ ]}$$

L'émissivité d'un corps est mesurable, ainsi que sa température.

Par exemple, l'émissivité du béton aux températures courantes ( environ 300 °K ) est

$$\epsilon = 0,9 \quad \text{En conséquence à } 20^\circ\text{C : } 273 + 20 = 293^\circ\text{K}$$

L'émittance énergétique du béton est

$$H = 0,9 \times 5,67 \cdot 10^{-8} \times 293^4 = 376 \text{ W / m}^2$$

Cette valeur est importante... On devrait être chauffé naturellement alors par la présence de matériaux ! Mais c'est oublier que notre corps émet aussi et que seul le bilan de ce qui est reçu et perdu compte pour notre confort...

(Tiré du cours de Xitier Nicola)

Le calcul de l'échange de chaleur rayonnante est compliqué, mais il est assez simple pour l'effet qui est plus important pour les bâtiments: le rayonnement solaire. Si la densité du flux de rayonnement incident est connu (dénommé rayonnement global, G) alors le taux de chaleur radiante (solaire) entrée (input) serait:

$$Q_s = A \times G \times \alpha \quad \text{m}^2 \times \text{W/m}^2 \times \text{sans unité} = \text{W}$$