

## INTRODUCTION

### LE CONFORT DANS LES LOCAUX HIVER / ÉTÉ

- Le **chauffage** est un élément du confort d'hiver, il apporte les calories nécessaires pour maintenir la température à l'intérieur du local.
- La **climatisation** apporte un confort en toute saison, en luttant contre la chaleur aussi bien que le froid.

La température extérieure varie de -10°C à 30°C suivant les saisons et les régions (climat tempéré à tropical).

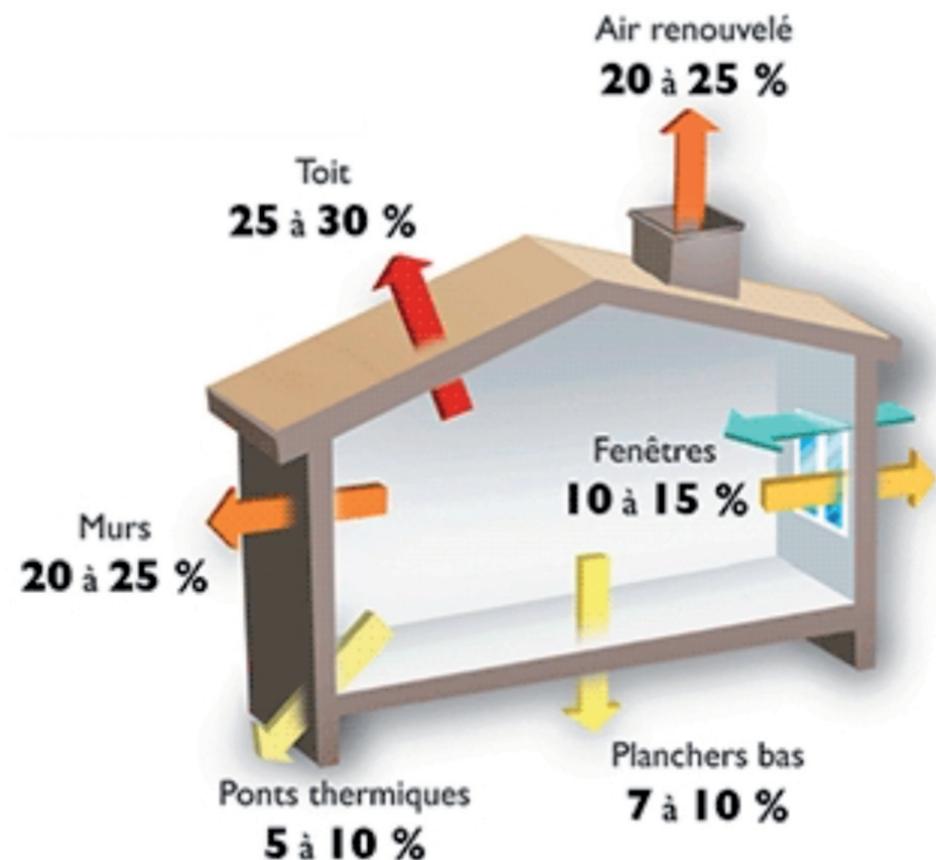
Le corps humain a besoin d'une température ambiante qui se situe autour de **21°C**. Pour éviter de trop solliciter le corps, on crée un climat artificiel à l'intérieur des locaux. Ce climat est obtenu en chauffant les locaux ou en les refroidissant.

**L'énergie dépensée pour le chauffage ou le refroidissement doit être canalisée et stockée.**



### NECESSITE D'UNE ISOLATION THERMIQUE

Remarque : la quantité de matériaux isolants à mettre en oeuvre augmente le prix de l'ouvrage, il ne faut pas sur-isoler une habitation, afin d'amortir l'isolation sur une période de 5 à 15 ans.



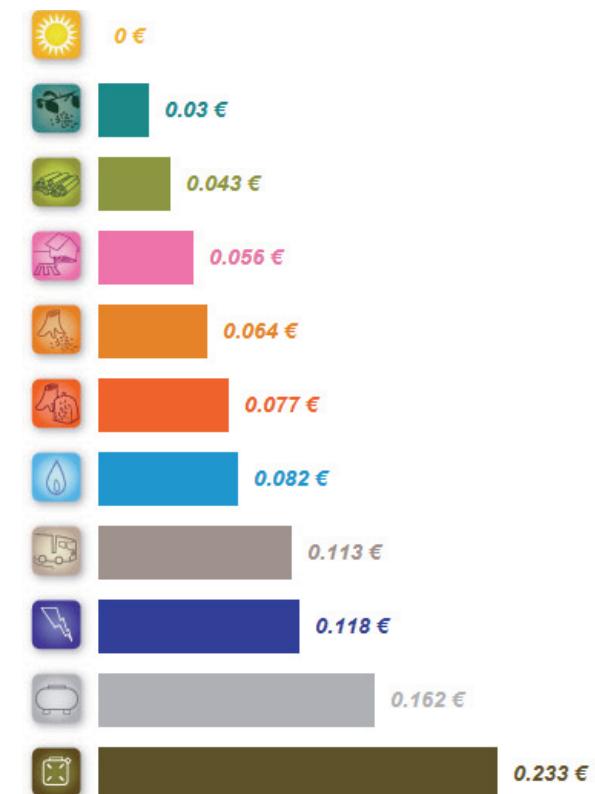
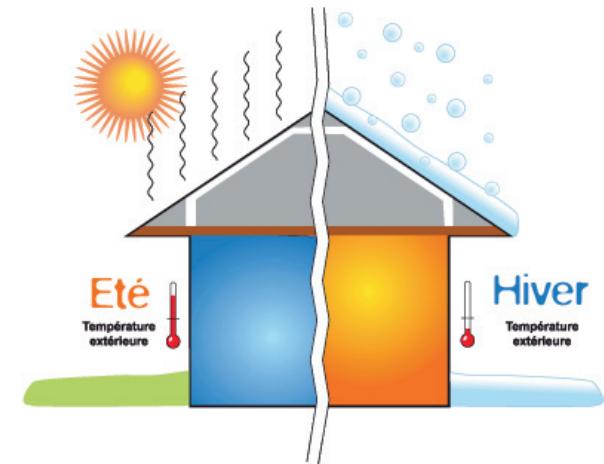
## PARTIE I : LES ENJEUX

Ils s'expriment principalement à travers :

- **le confort des occupants en toute saison**, c'est-à-dire une ambiance adaptée aux usages prévus dans le bâtiment et permettant de satisfaire le confort d'hiver comme d'été,
- **l'hygiène et la santé** des occupants (par rapport aux besoins en oxygène, à l'élimination des odeurs, fumées et gaz nocifs divers),
- **la pérennité du bâtiment et des équipements** (problèmes de condensation, de mise hors gel, ...),
- **l'économie liée aux consommations énergétiques** (le poste «chauffage» représente en moyenne 44 % dans les bâtiments autres que d'habitation),
- **la préservation de l'environnement**, par rapport à l'utilisation de ressources non renouvelables et aux émissions de polluants dans l'atmosphère.

D'autres enjeux peuvent encore être considérés en fonction de l'usage des bâtiments.

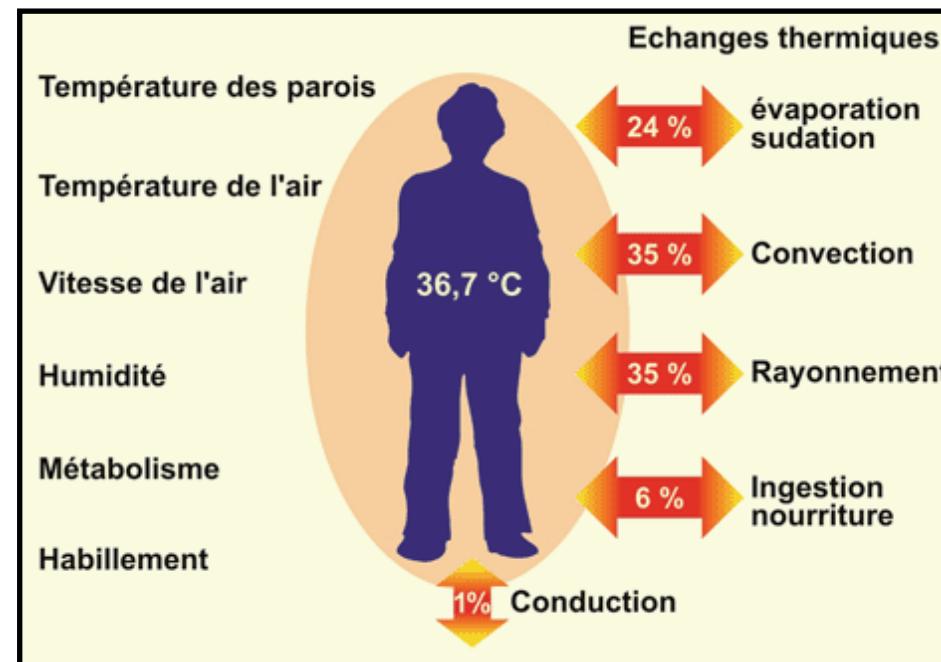
Le confort pourra par exemple être relié à la notion de productivité dans le secteur tertiaire.



## PARTIE II : LES PHÉNOMÈNES PHYSIOLOGIQUE

### 1 / BILAN THERMIQUE DU CORPS HUMAIN

Pour entretenir la vie, un **corps humain transforme de l'énergie**. Alors que la température du corps est maintenue constante à  **$37 \pm 0,8^\circ\text{C}$** , celle de la peau est de l'ordre de 32 à 33°C (mais au niveau des pieds, elle peut descendre à 15 - 20° si la température ambiante est faible, c'est-à-dire inférieure à 15°C).



La **régulation physique de la température du corps** s'effectue suivant **différents modes** : principalement par convection, rayonnement, et évaporation, et dans une moindre mesure par conduction, respiration et sécrétion.

La perte de chaleur est de l'ordre de 120 W dans des conditions de température de 18-30°C, pour un individu au repos, en air calme, et peut aller jusqu'à 500 W dans des conditions d'activité physique soutenue.

## PARTIE II : LES PHÉNOMÈNES PHYSIOLOGIQUE

### 2 / NOTION DE CONFORT HYGROTHERMIQUE

La notion de confort est intimement liée à des **adaptations ponctuelles de la régulation corporelle**, à la fois globale et locale (des extrémités du corps).

La **perception du froid et du chaud** dépend de nombreux paramètres : le sexe, l'âge, la constitution, la santé, la nourriture, les vêtements, l'activité auxquels s'ajoutent encore des paramètres psychologiques, et même socio-culturels (abstraction faite de ceux liés à l'environnement).

Il est toutefois possible de caractériser des zones moyennes de confort (définies de manière statistique), sachant que les paramètres d'ambiance les plus déterminants sont :

- . la **température de l'air** (et les gradients verticaux et horizontaux de température),
- . la **température des parois** (et les asymétries de rayonnement des parois froides/ chaudes) ainsi que le rayonnement solaire transmis à travers les parois vitrées,
- . l'**humidité**,
- . les **mouvements de l'air ambiant** (à travers les vitesses d'air).

Ces quatre données sont à considérer pour un individu moyen normalement habillé, avec un **type d'activité** donné (qu'il faut donc préalablement définir).

## PARTIE II : LES PHÉNOMÈNES PHYSIOLOGIQUE

### 3 / LES EXIGENCES DU CONFORT HYGROTHERMIQUE

Les exigences de confort hygrothermique (pour des individus «au repos», ...) sont en situation courante caractérisées par les valeurs suivantes :

- en **confort d'hiver** :  $T_{\text{air}} \sim 20^\circ$  pour une humidité de 40 à 60 %
- en **confort d'été** :  $T_{\text{air}} \sim 25^\circ$  si  $T_{\text{ext}} < 30^\circ$ , et  $T_{\text{air}} = (T_{\text{ext}} - 5^\circ)$  si  $T_{\text{ext}} > 30^\circ$  (un système de rafraîchissement ou de climatisation sera nécessaire ou non suivant les régions, les activités et les apports internes).
- l'**écart entre la température de surface des parois et la température ambiante** ne doit pas excéder :
  - 8° pour les parois vitrées
  - 5° pour les parois opaques (pour une base de  $T_{\text{extérieur}}$  de 0°C)
- la **température du sol** doit pouvoir être maintenue supérieure à 17° (15° dans tous les cas)
- dans le cas de parois **chauffantes rayonnantes**, leurs températures de surface ne doit pas excéder :
  - 27° pour les plafonds et les parois verticales
  - 24° pour les planchers
- la **variation de température avec la hauteur** ne devrait pas excéder 1° par mètre dans la zone d'occupation, et 3° dans tous les cas (sauf conditions particulières à justifier)
- la **vitesse de l'air** en tout point des zones d'occupation ne doit pas dépasser 0,3 à 0,5 m/s (selon sensibilité des occupants).

Remarques :

- en été, la  $T_{\text{air}}$  «confortable» dépend de l'humidité (pour une vitesse d'air donnée) ; si l'humidité est de 50 %,  $T_{\text{air}} < 28^\circ C$  convient, mais si l'humidité est de 70 %, il faut obtenir  $T_{\text{air}} < 26^\circ C$
- la  $T^\circ$  de confort peut varier de 17°C pour un gymnase à 22°C pour une infirmerie ou un vestiaire.

## PARTIE II : LES PHÉNOMÈNES PHYSIOLOGIQUE

### 3 / LES EXIGENCES DU CONFORT HYGROTHERMIQUE

**1**

zone à éviter  
problèmes de sécheresse,  
manque d'humidité relative

**2 et 3**

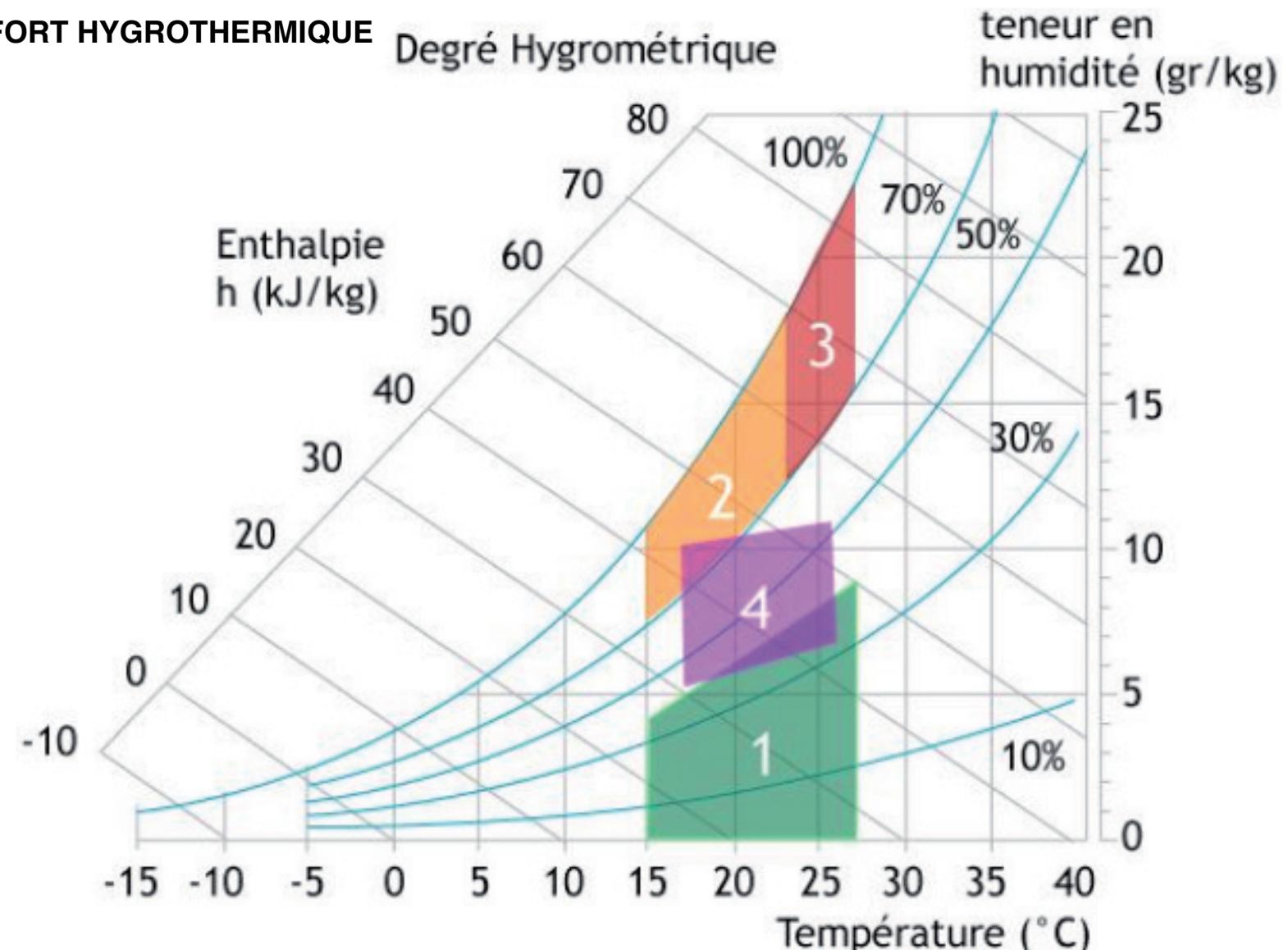
Zones de développement  
de bactéries et de  
microchampignons

**3**

Zones de développement  
d'acariens

**4**

Polygone de confort  
hygrothermique



## PARTIE III : LES PHÉNOMÈNES PHYSIQUES

Paroi froide

$$T_{rs} = 17 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Extérieur

Sensation de froid

$$T_{paroi} = 14 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Température des parois

Température de l'air

Vitesse de l'air

Humidité

Métabolisme

Habillement

Intérieur

$$T_{air} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Sensation de chaleur

$$T_{paroi} = 18 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Evaporation / sudation

Convection

Rayonnement

Ingestion nourriture



Conduction

Paroi chaude

$$T_{rs} = 19 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Extérieur

Isolation

24 %

35 %

35 %

6 %

## PARTIE III : LES PHÉNOMÈNES PHYSIQUES

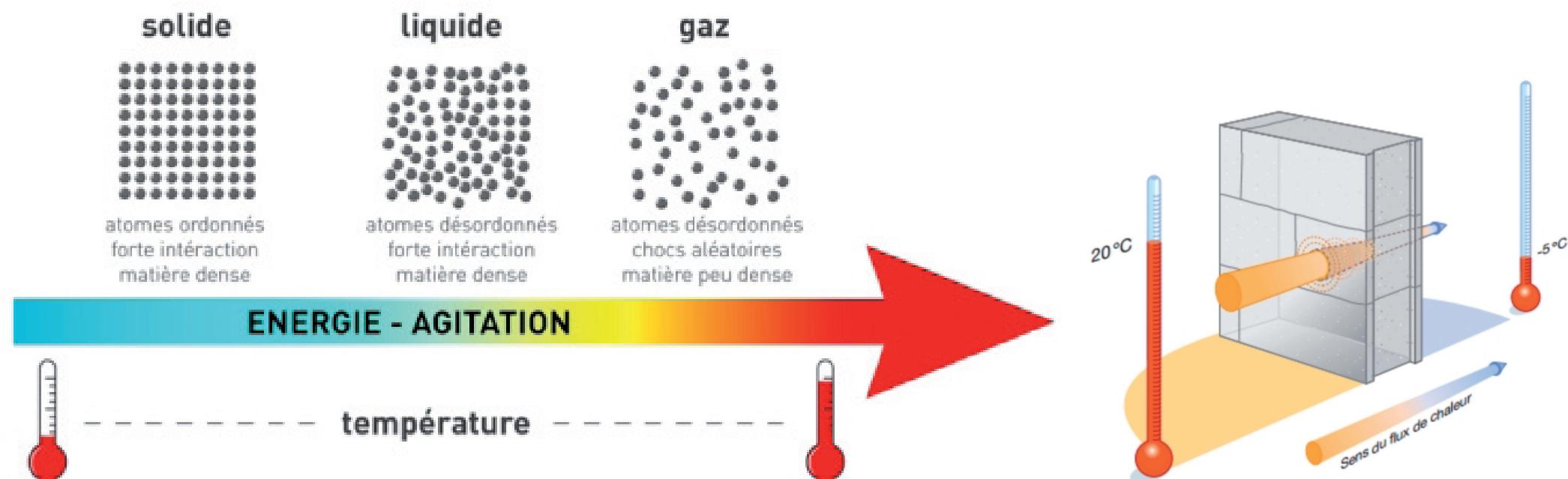
### 1 / NOTIONS DE TEMPERATURE ET DE CHALEUR

La **température** ( $^{\circ}\text{C}$  ou K) représente l'état d'échauffement d'un corps :

$$\mathbf{T\,(^{\circ}\text{C}) = T\,(K) - 273,15}$$

La **chaleur** est une **énergie** créée par l'agitation des particules d'un corps. L'agitation moléculaire augmente avec la température. Plus la température est élevée, plus les atomes ou molécules s'agitent autour de leur position.

La **quantité de chaleur** est l'énergie calorifique dégagée ou contenue par un corps.



## PARTIE III : LES PHÉNOMÈNES PHYSIQUES

### 2 / DENSITE DE FLUX DE CHALEUR

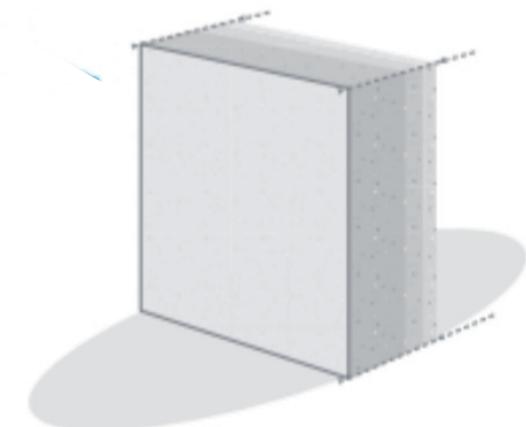
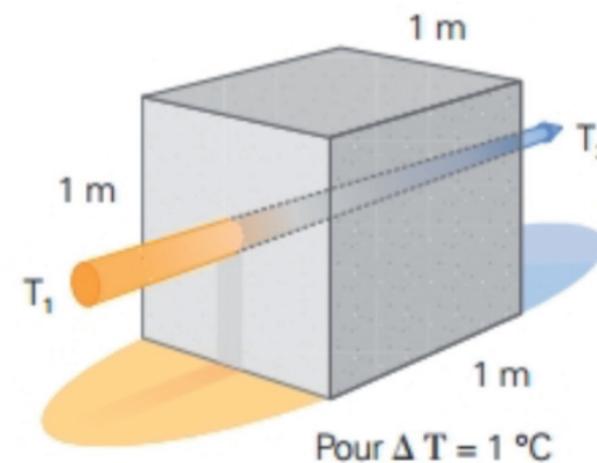
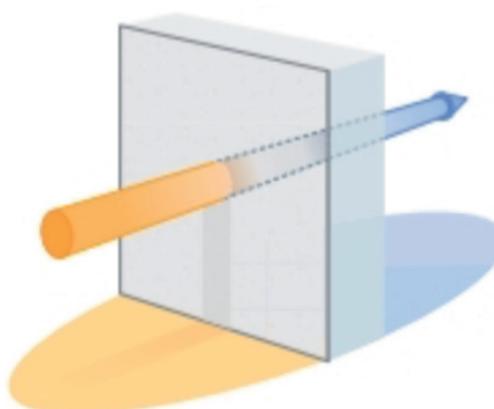
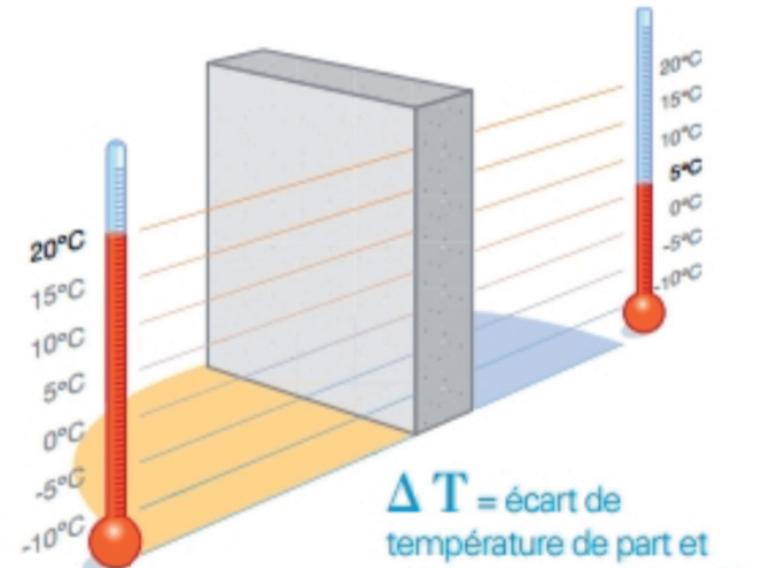
La **densité de flux de chaleur  $\phi$**  est la quantité de chaleur passant à travers **1 m<sup>2</sup>** de paroi pendant **1 seconde**.

Il s'exprime en **W/m<sup>2</sup>** et est compté positif du chaud vers le froid.

$$\phi = \lambda \cdot \frac{\Delta T}{e}$$

$\Delta T$  = écart de température entre les côtés de la paroi (°C)  
 $e$  = épaisseur de la paroi (mètres)

$\phi$  = flux de chaleur (W/m<sup>2</sup>)  
 $\lambda$  = conductivité thermique en (W/m.K)



## PARTIE III : LES PHÉNOMÈNES PHYSIQUES

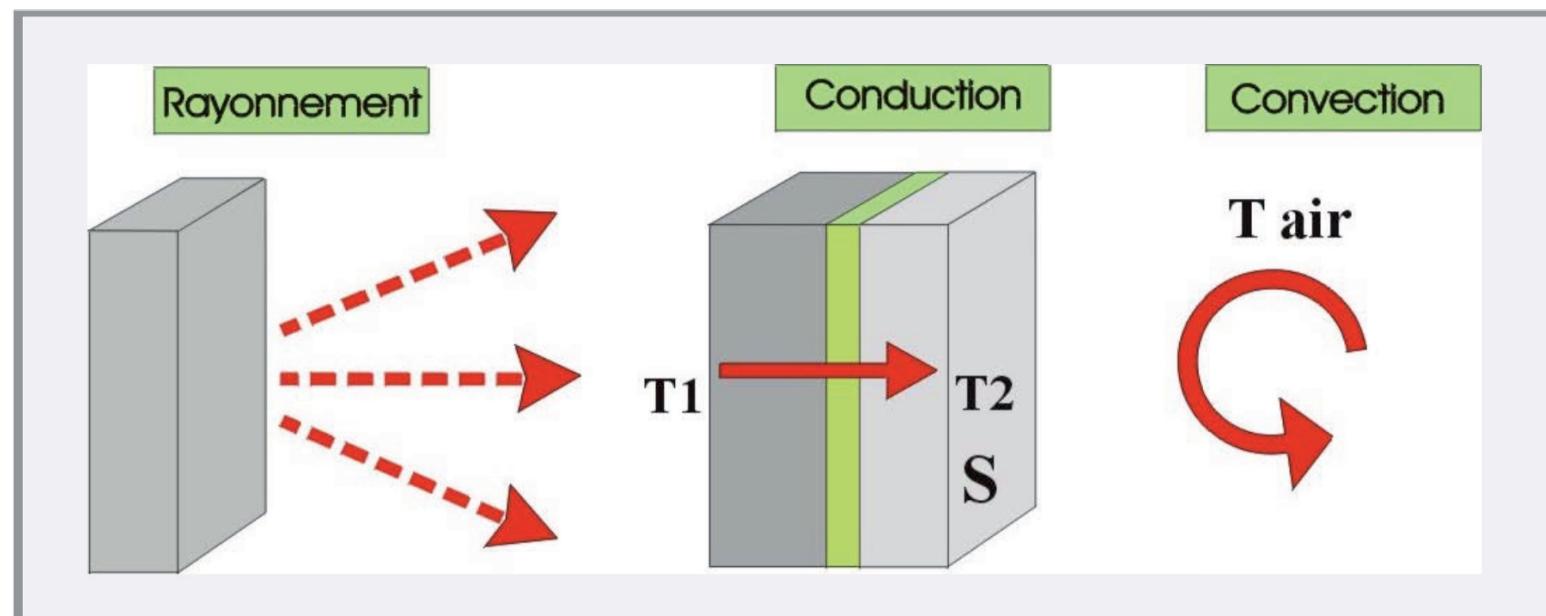
Les échanges de chaleur entre le bâtiment et son environnement (comme pour le corps humain avec l'environnement) s'effectuent suivant trois modes :

### 3 / DEFINITIONS : RAYONNEMENT, CONDUCTION et CONVECTION

**RAYONNEMENT** : Transfert thermique d'un corps à un autre par ondes électromagnétiques, donc sans contact direct.

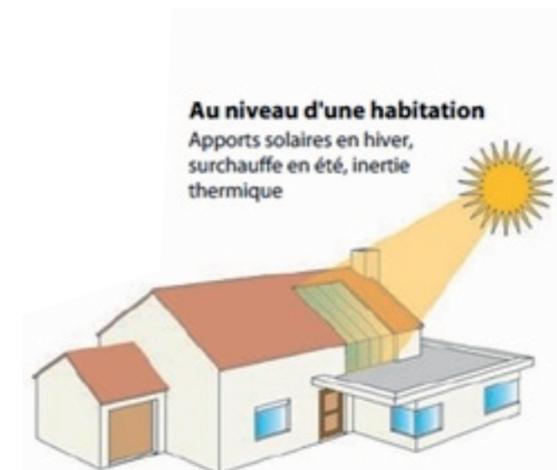
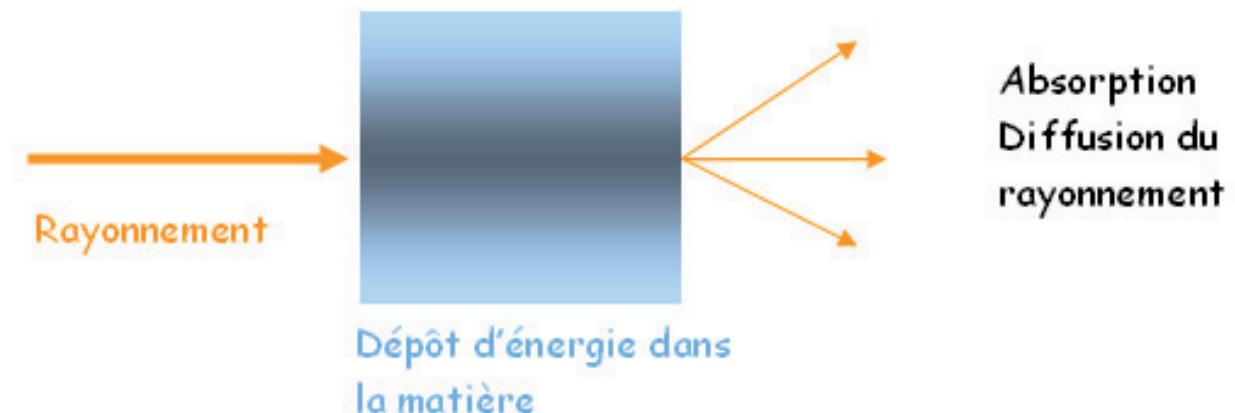
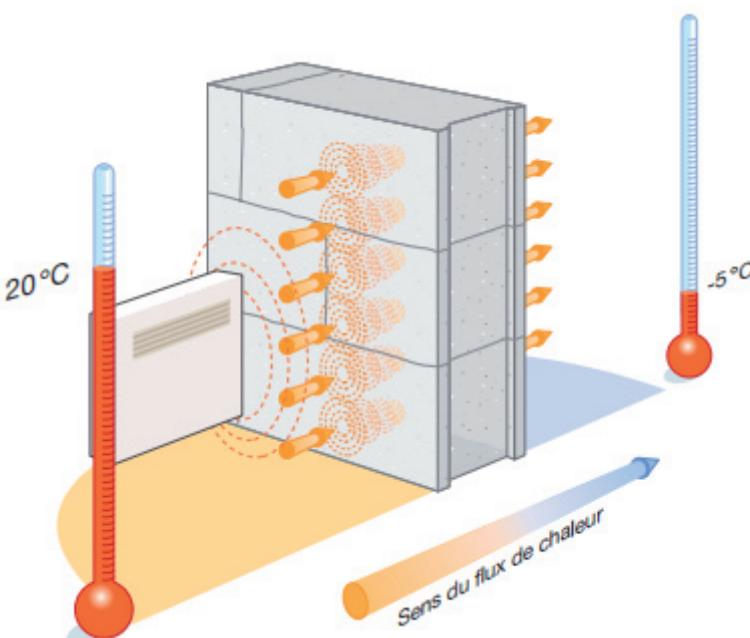
**CONDUCTION** : Propagation de la chaleur, de particule à particule à l'intérieur de la matière (d'un même corps solide ou un même fluide liquide ou gazeux).

**CONVECTION** : Transfert entre l'air et la matière solide résultant du déplacement des particules (de l'air) au niveau de l'interface.



## PARTIE III : LES PHÉNOMÈNES PHYSIQUES

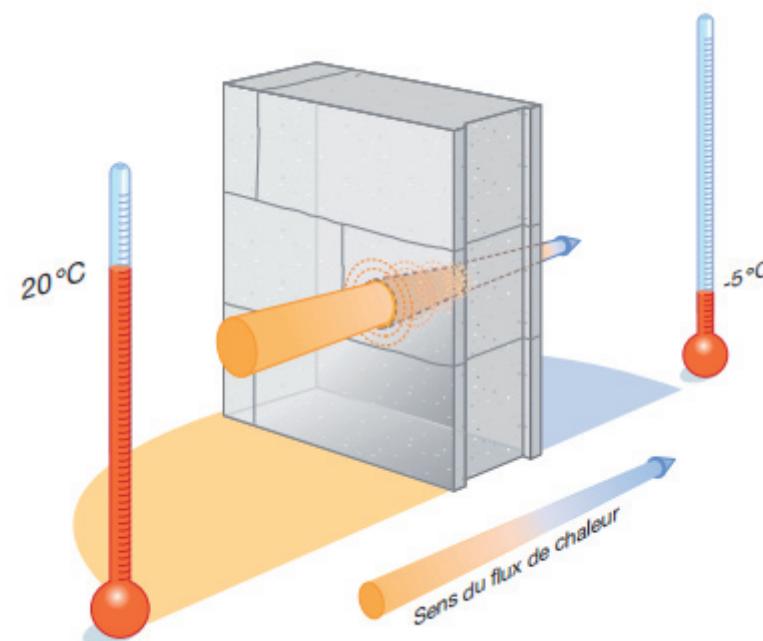
**RAYONNEMENT :** Le rayonnement ne chauffe pas la pièce. Il dépose de l'énergie dans les parois et ce sont ensuite ces parois qui vont émettre de la chaleur (vibrations).



*Au niveau d'une paroi, un chauffage rayonne et dépose de l'énergie dans les parois qui elles vont émettre de la chaleur.*

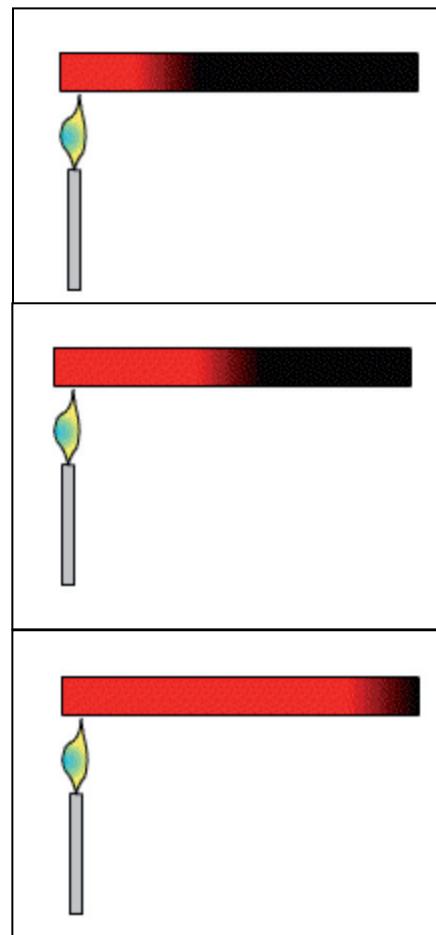
## PARTIE III : LES PHÉNOMÈNES PHYSIQUES

**CONDUCTION :** Elle peut s'interpréter comme la transmission de proche en proche de l'agitation thermique : un atome (ou une molécule) cède une partie de son énergie cinétique à l'atome voisin.

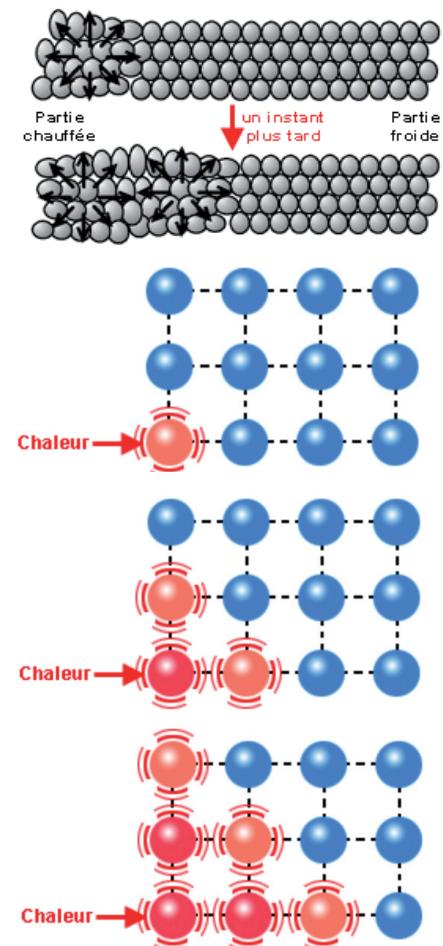


Flux de chaleur à travers une paroi d'un local chauffé vers l'extérieur.

Echelle macroscopique :



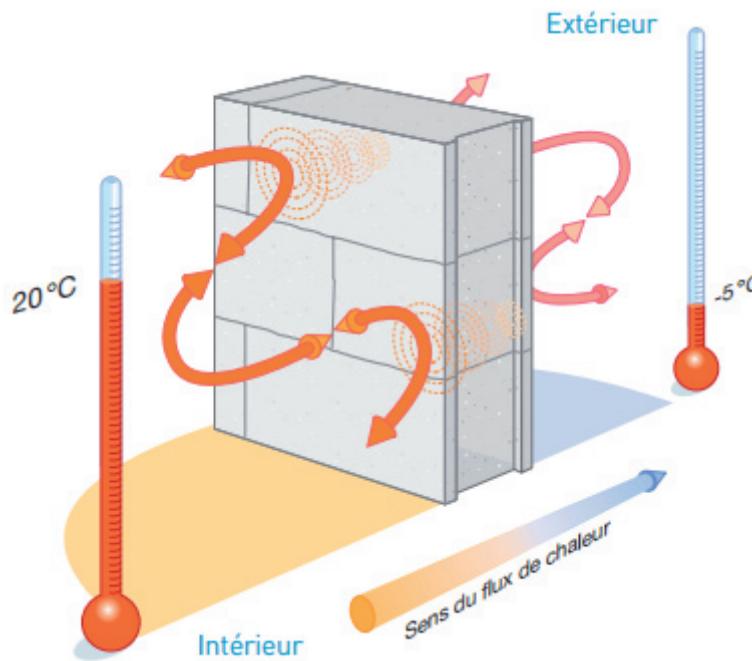
Echelle microscopique :



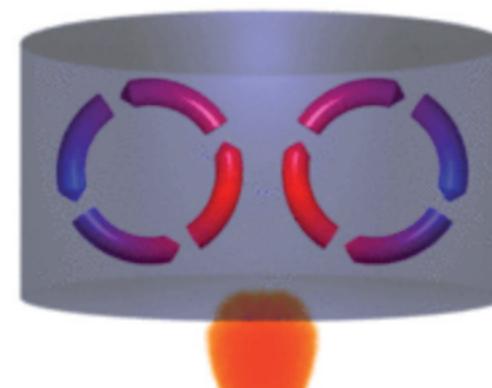
## PARTIE III : LES PHÉNOMÈNES PHYSIQUES

**CONVECTION :** Exemple 1 : durant la cuisson de pâtes, l'eau se met en mouvement spontanément. Les groupes de particules de fluide proches du fond de la casserole sont chauffés, se dilatent donc deviennent moins denses (masse volumique) et montent. Ceux de la surface de la casserole sont refroidis par le contact de la surface avec un milieu moins chaud, se contractent donc gagnent en densité et plongent.

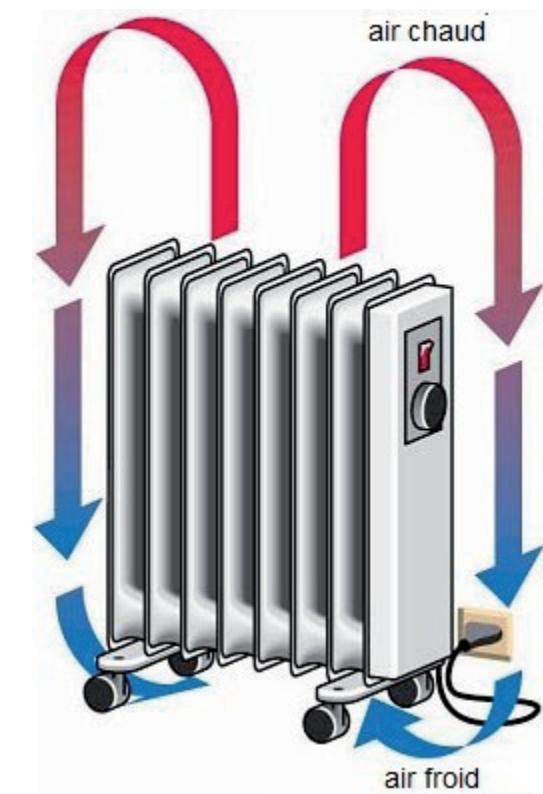
Exemple 2 : échanges de chaleur par convection d'un convecteur électrique.



Echange thermique au niveau d'une paroi de température différente de celle de la pièce.



Exemple 1 : L'eau de la casserole



Exemple 2 : Convecteur électrique

## PARTIE IV : NOTIONS APPLIQUEES AU BATIMENT

### 1 / PARAMETRES DU CONFORT HYGROTHERMIQUE

Les éléments à considérer pour agir sur les paramètres du confort hygrothermique sont principalement :

- . les **conditions climatiques**, à travers :
  - l'**ensoleillement** (diagramme solaire, durées moyennes d'ensoleillement, ...),
  - la **température de l'air** (et ses variations quotidiennes et mensuelles),
  - l'**hygrométrie** (et sa variation mensuelle),
  - l'**orientation** et la **fréquence des vents dominants**,
  - les **degrés-jours** (somme des écarts positifs entre une  $T^\circ$  conventionnelle, égale à  $18^\circ$  en général, et la  $T^\circ$  extérieure moyenne journalière). Ordre de grandeur des degrés-jours en France (sur la base de  $18^\circ$ ) : de 1600 °j (ex- trême sud-est) à 3200 °j (en région est) environ.
- . les **dispositions constructives**, à travers l'orientation, les masques, les matériaux, les isolants, la volumétrie.
- . les **équipements techniques** : systèmes de production et de distribution de chaleur et de froid, la régulation, le système de ventilation.
- . les **apports internes**, chaleur produite par les occupants et par les équipements divers.

La définition des exigences de confort hygrothermique et la recherche de dispositions techniques adaptées ne doivent pas perdre de vue la dimension de **développement durable**, en veillant à :

- **réduire au maximum le recours à des systèmes actifs** (c'est-à-dire nécessitant un apport d'énergie),
- choisir des **équipements économies**,
- **optimiser les puissance installées**,
- privilégier les **ressources locales**, dont les **énergies renouvelables**,
- considérer dans une **analyse multicritère** l'impact global écologique pour le choix des produits et systèmes.

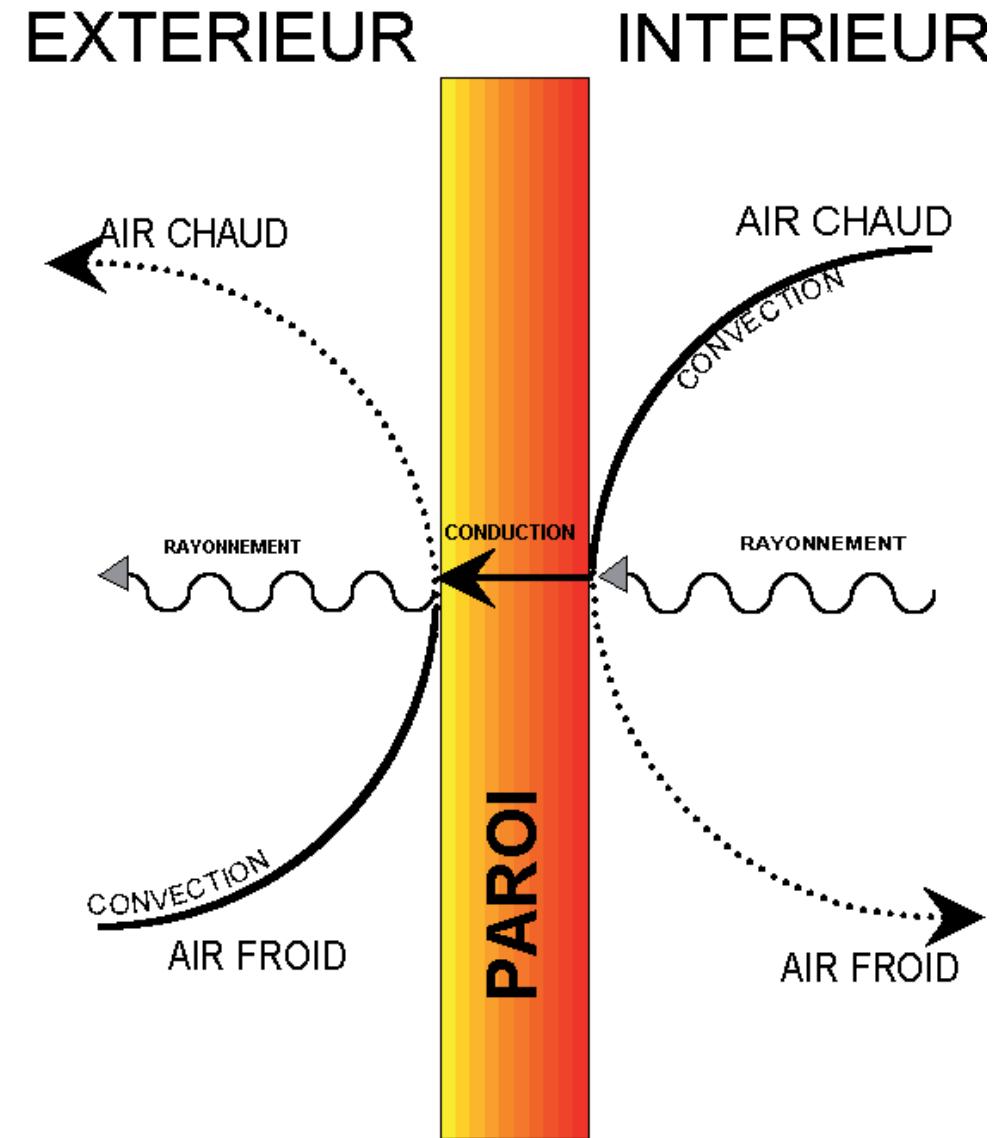
## PARTIE IV : NOTIONS APPLIQUEES AU BATIMENT

### 2 / RESISTANCE THERMIQUE D'UNE PAROI :

Dans le domaine du bâtiment, la résistance thermique sert en général à désigner la **qualité isolante d'une paroi** et sa faculté à s'opposer à la transmission de la chaleur qui la traverse.

Les échanges thermiques à l'intérieur d'une paroi s'effectuent :

- dans la masse par **conduction** à travers la paroi,
- superficiellement par **convection et rayonnement** sur les faces de la paroi.



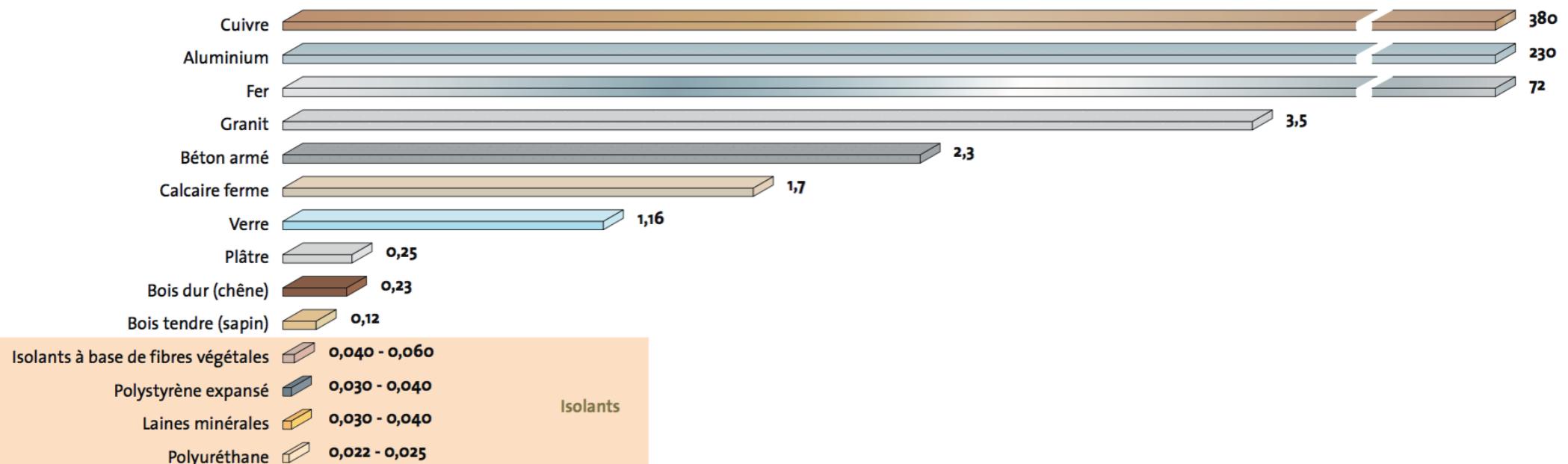
## PARTIE IV : NOTIONS APPLIQUEES AU BATIMENT

### 3 / LA CONDUCTIVITE THERMIQUE DU MATERIAU ( $\lambda$ )

La **conductivité thermique** est la **quantité d'énergie** traversant **1m<sup>2</sup>** de matériau d'un mètre d'épaisseur et, pour une différence de 1 degré de température entre les deux faces. La conductivité thermique n'est jamais égale à 0 car il y a toujours un transfert de chaleur. Elle s'exprime en **W/(m.K)**. Elle représente l'**aptitude du matériau à se laisser traverser par la chaleur**. C'est une caractéristique constante intrinsèque aux **matériaux homogènes**.

**$\lambda$  (W/m.K) = Plus la conductivité est faible plus un matériau est isolant**

#### Illustration de la différence de conductivité thermique de quelques matériaux usuels



## PARTIE IV : NOTIONS APPLIQUEES AU BATIMENT

### 4 / LA RESISTANCE THERMIQUE DU MATERIAU (R)

La **résistance thermique** d'un matériau caractérise sa **capacité à ralentir ou s'opposer au transfert de chaleur**. Pour les matériaux homogènes, elle est **égale au rapport de l'épaisseur du matériau en mètres par sa conductivité thermique**. R s'exprime en **m<sup>2</sup>.K/W** avec *e* : *épaisseur du matériau en mètre* et *λ* : *conductivité thermique du matériau en W/(m.K)*;

$$R = e / \lambda$$

**Plus R est important, plus la paroi est isolante. On peut augmenter R en augmentant l'épaisseur du matériau.**

**Epaisseur équivalente pour obtenir avec différent matériaux une résistance thermique de R= 2,5 m<sup>2</sup>.K/W**



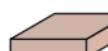
**5,5 cm - Polyuréthane -  $\lambda = 0,022 \text{ W/(m.K)}$**



**8 cm - Polystyrène expansé -  $\lambda = 0,032 \text{ W/(m.K)}$**



**8 cm - Laine minérale -  $\lambda = 0,032 \text{ W/(m.K)}$**



**12,5 cm - Isolants à base de fibres naturelles -  $\lambda = 0,05 \text{ W/(m.K)}$**



**30 cm - Béton cellulaire -  $\lambda = 0,12 \text{ W/(m.K)}$**



**55 cm - Bois -  $\lambda = 0,22 \text{ W/(m.K)}$**



**437 cm - Béton -  $\lambda = 1,75 \text{ W/(m.K)}$**



**450 cm - Granit -  $\lambda = 3,5 \text{ W/(m.K)}$**

## PARTIE IV : NOTIONS APPLIQUEES AU BATIMENT

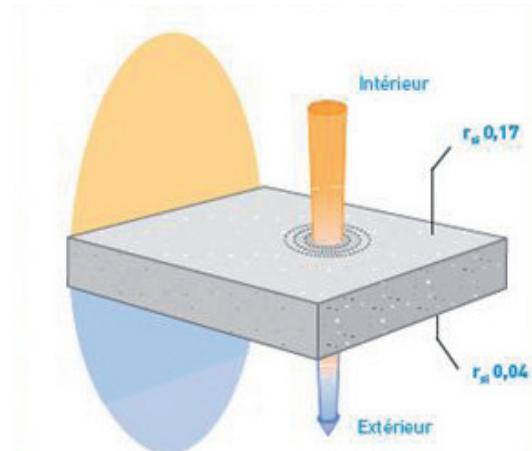
### 5 / LA RESISTANCE SUPERFICIELLE D'UNE PAROI ( $R_{se}$ et $R_{si}$ )

La **résistance superficielle** d'une paroi caractérise la part des **échanges thermiques qui se réalisent à la surface des parois** par convection et rayonnement.

Elle dépend du **sens du flux de chaleur** et de l'**orientation de la paroi**.

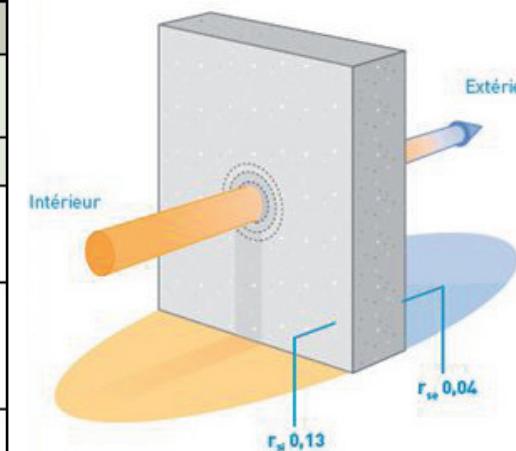
**Rsi** pour les échanges sur la **surface de paroi interne** et **Rse** pour les échanges sur la **surface de paroi externe**.

Elle s'exprime en **m<sup>2</sup>.K/W**.

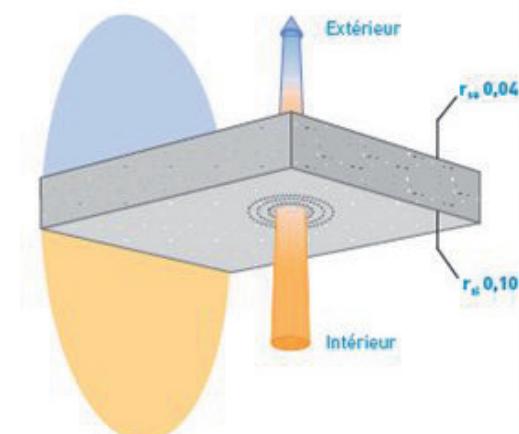


Flux descendant  $\sum r_s = 0,21 \text{ m}^2.\text{K/W}$

Résistances superficielles (en m <sup>2</sup> .K/W)						
Sens du flux	Paroi donnant sur l'extérieur			Paroi donnant sur un local non chauffé		
	R <sub>si</sub>	R <sub>se</sub>	R <sub>si</sub> + R <sub>se</sub>	R <sub>si</sub>	R <sub>se</sub>	R <sub>si</sub> + R <sub>se</sub>
Horizontal	0,13	0,04	0,17	0,13	0,13	0,26
Ascendant	0,10	0,04	0,14	0,10	0,10	0,20
Descendant	0,17	0,04	0,21	0,17	0,17	0,34



Parois verticales  $\sum r_s = 0,17 \text{ m}^2.\text{K/W}$



Flux ascendant  $\sum r_s = 0,14 \text{ m}^2.\text{K/W}$

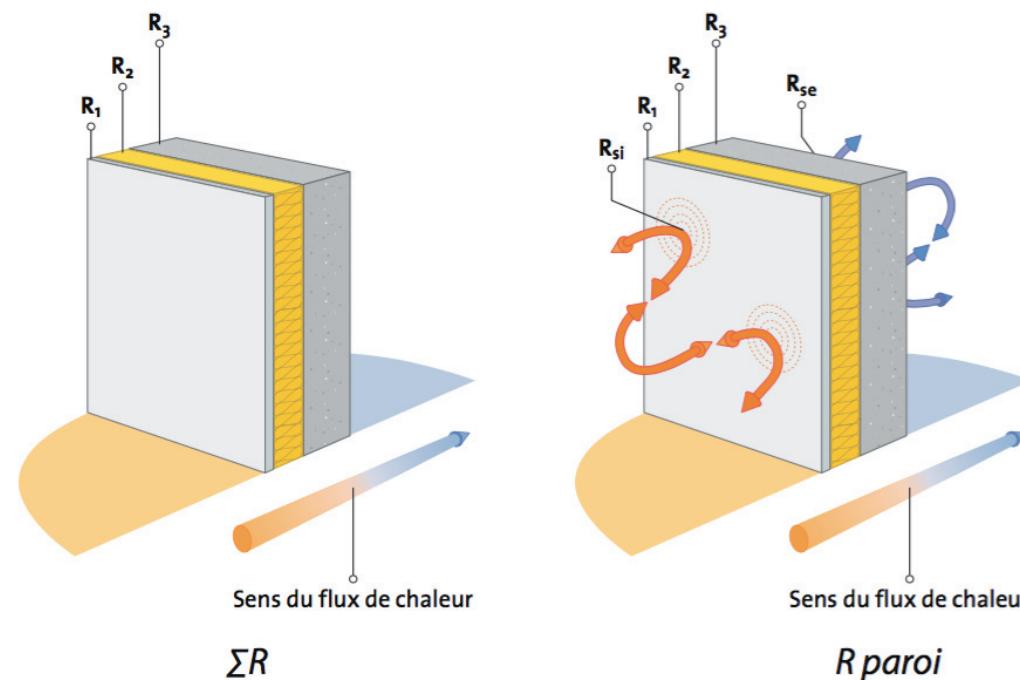
## PARTIE IV : NOTIONS APPLIQUEES AU BATIMENT

### 6 / LA RESISTANCE THERMIQUE D'UNE PAROI HETEROGENE ( $R_{totale}$ )

La **résistance thermique d'une paroi hétérogène  $R_{totale}$**  est égale à la **somme des résistances thermiques de chaque composant** et des **résistances superficielles**. La  $R_{totale}$  s'exprime en **m<sup>2</sup>.K/W**

$$R_{totale} = R_{si} + \Sigma R + R_{se}$$

**Plus la résistance thermique de la paroi est élevée plus la paroi est isolante**



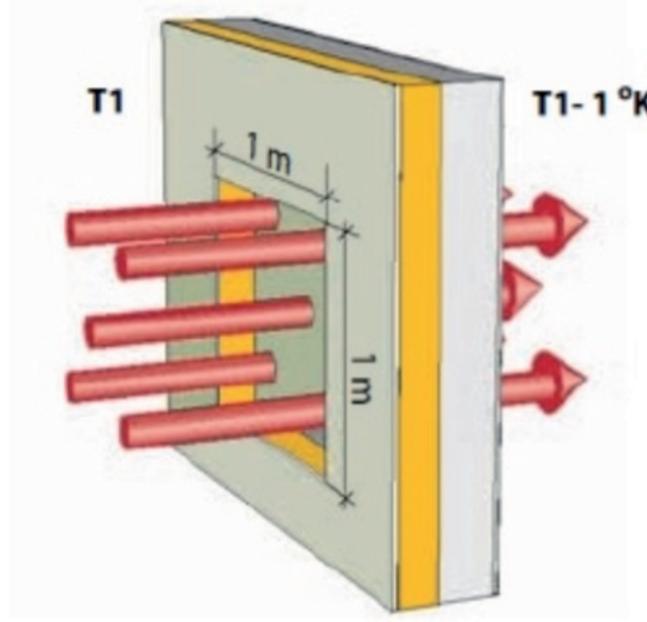
## PARTIE IV : NOTIONS APPLIQUEES AU BATIMENT

### 7 / LE COEFFICIENT DE TRANSMISSION SURFACIQUE (U)

Le **coefficient de transmission surfacique** est la **quantité de chaleur** qui traverse **1 m<sup>2</sup>** de paroi pour une **différence de 1°C** entre deux ambiances séparées par cette paroi. Il caractérise l'aptitude du matériau à se laisser traverser par la chaleur. C'est cette valeur utilisée internationalement que nous utiliserons. Il est noté :

$$U = 1 / R_T$$

Plus la valeur de U est basse, plus la construction sera isolée



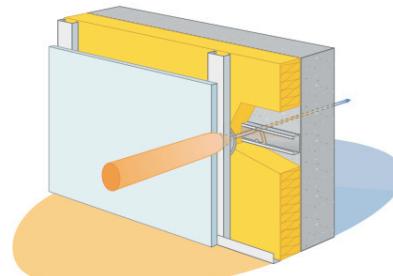
## PARTIE IV : NOTIONS APPLIQUEES AU BATIMENT

### 8 / PONTS THERMIQUES INTEGRES ET PONTS THERMIQUES DES LIAISONS

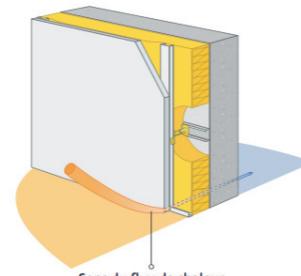
Les **ponts thermiques intégrés** rassemblent les ponts thermiques créés dans la paroi par des éléments tels que les ossatures métalliques, appuis et autres accessoires. Ils s'expriment en **W/ (m.K)**.

Ils ne doivent pas être confondus avec les **ponts thermiques des liaisons** qui caractérisent eux les interfaces de parois.

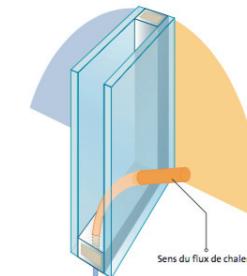
Ponts thermiques intégrés



Appui métallique

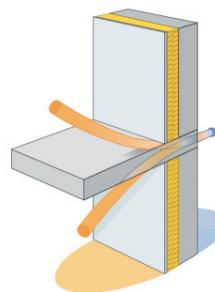


Rail métallique

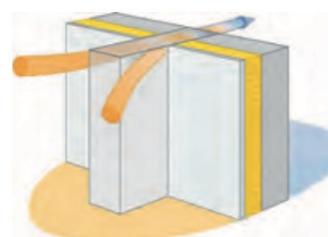


Espaceur de vitrage

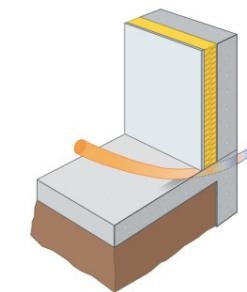
Pont thermiques des liaisons



Plancher intermédiaire



Mur de refend



Plancher bas

## PARTIE V : LES REGLEMENTATIONS

### 1 / DOM : RTAADOM

THERMIQUE

ACOUSTIQUE

AÉRATION

#### Ventilation naturelle de confort

- Ouvertures spécifiques sur au moins deux façades d'orientations différentes et dans chaque pièce principale
- Taux d'ouverture minimal des façades
- Exigences sur les ventilateurs de plafond

#### Protection solaire

- Facteurs solaires maximaux pour les parois opaques et les baies
- Interdiction des fenêtres en toiture

#### Énergie solaire

- Utilisation de panneaux solaires pour l'eau chaude sanitaire

#### Protection contre les bruits intérieurs

- Isolation acoustique des murs séparatifs et des planchers
- Distance minimale entre les baies des logements
- Niveaux sonores maximaux pour les équipements

#### Protection contre les bruits extérieurs

- Exigences sur l'isolation acoustique des bâtiments

#### Ventilation naturelle

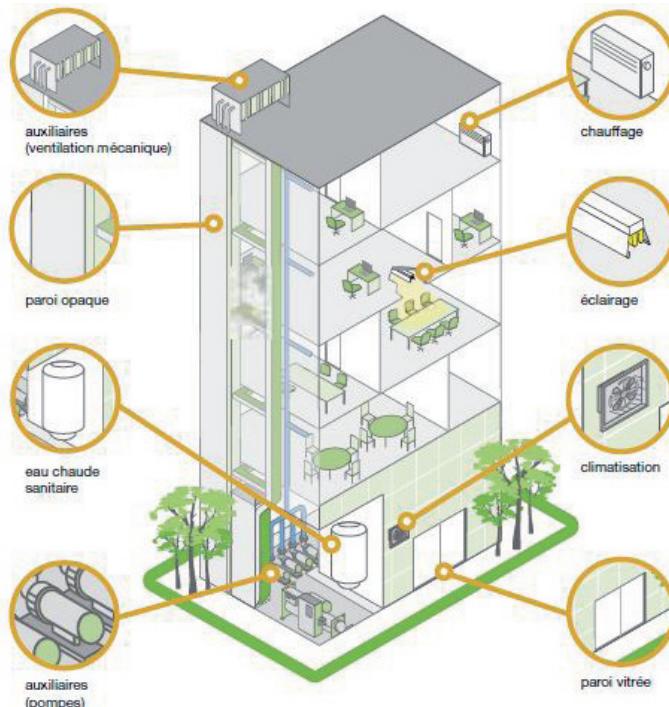
- Surface minimale d'ouverture des baies dans les pièces de service
- Présence d'entrées d'air en façade

#### Prise en compte de l'isolation acoustique

- Débits minimaux d'air extérieur entrant

## PARTIE V : LES REGLEMENTATIONS

### 2 / France Métropolitaine : RT2012 - un engagement fort du Grenelle de l'environnement



L'indice « Bbio » permet de caractériser l'impact de la conception bioclimatique sur la performance énergétique du bâti. Une exigence d'efficacité énergétique minimale du bâti est introduite : le « Bbio » du bâtiment considéré doit être inférieur à une valeur maximale «  $Bbio_{max}$  ».

$$Bbio \leq Bbio_{max}$$

L'indice « Tic » propre au bâtiment, caractérise sa température intérieure conventionnelle. L'exigence relative au confort d'été est maintenue : le « Tic » du bâtiment considéré doit être inférieur à une valeur de référence «  $Tic_{ref}$  »

$$Tic \leq Tic_{ref}$$



L'indice « Cep », propre au bâtiment, caractérise sa consommation d'énergie primaire. La RT 2012 pose une exigence de consommation conventionnelle maximale d'énergie primaire du bâti : l'indice « Cep » du bâtiment considéré doit être inférieur à une valeur maximale «  $Cep_{max}$  ».

$$Cep \leq Cep_{max}$$