

UNIVERSITE DE BISKRA  
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE

Master I: Architecture et Environnement

*Matière: Sciences Pour L'architecture*

**COURS N° 02**

**CONFORT THERMIQUE**

**Première partie**

*Par: Melle Hamel khalissa*

# Références

- MAZOUZ, Said. **Confort thermique**. Département d'architecture de l'université de Biskra, 1<sup>ère</sup> Année Post-graduation, Cours, 55 p.
- BELAKEHAL, Azeddine. **Confort et maîtrise des ambiances**. [En ligne]. Biskra: Département d'architecture, Université de Biskra 2<sup>ème</sup> année, Cours, 2012, 06p. Disponible sur: <http://www.univ-biskra.dz/belakehal/Cours%20S2-6.pdf> (Consulté en Novembre 2012)
- BOUTABA, Samir Djemoui. **Confort thermique urbain entre mesure et perception**. Mémoire de Magistère en Architecture. Biskra: Département d'architecture, université de Biskra, 2007, 391p.
- **Energie+, version 7**, Architecture et Climat, Université catholique de Louvain (Belgique) 2012, réalisé avec le soutien de la Wallonie - DGO4 - Département de l'Énergie et du Bâtiment Durable. Disponible sur : <http://www.energieplus-lesite.be>.
- SAÏD, Noha. **La notion de confort thermique: entre modernisme et contemporain**, Cours [en ligne]. Grenoble: ENSA. Publication ENSAG, Cours, 2010, 60p. Disponible sur:(<http://www.grenoble.archi.fr/etudes/cours-en-ligne-detail.php?ref=said-cours>)
- CNAM Paris – Ergonomie – Cours B1 – M. Millanvoye - 2002-2003.
- 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.
- GIVONI B., **L'homme, l'architecture et le climat**, Éditions du Moniteur, Paris, 1978.
- Mazari Mohammed. Etude et évaluation du confort thermique des bâtiment à caractère public. Mémoire de Magistère en Architecture. Constantine: département d'architecture, université de Constantine. 2012. 146p.

**COURS N° 02**

## **CONFORT THERMIQUE**

Introduction

1. Bilan thermique et confort
2. Facteurs de confort
3. Mécanismes d'ajustement
4. Indices de confort, zone de confort

**COURS N° 02**

# **CONFORT THERMIQUE**

**Première partie**

Introduction

1. Bilan thermique et confort
2. Facteurs de confort

**COURS N° 02**

**CONFORT THERMIQUE**

**01**

# **INTRODUCTION**

**Département d'Architecture de Biskra.  
Enseignante: Melle HAMEL Khalissa**

## Introduction

*Un peu d'histoire...*

Le confort est une notion étroitement liée à la sensation de bien-être et qui ne possède pas de définition absolue.

- ➡ A l'époque médiévale, le terme latin *Confortare* signifiait le renforcement et la fortification.
- ➡ Au XVIII<sup>e</sup> siècle, le terme confort signifiait aux anglais un bien-être matériel.
- ➡ Le terme ne fut introduit en France qu'au XIX<sup>e</sup> et était très lié aux classes sociales de l'époque (noblesse, bourgeoisie, ouvrière).

(Source: BELAKEHAL, 2012)

## Introduction

Malgré qu'on puisse affirmer que le premier confort atteint par l'humanité a été certainement la possibilité de disposer d'un endroit clos et couvert (un vrai **abri**), la notion de **confort** demeure **plus vaste** et **ne peut se limiter** aux seules conditions physiques qui déterminent le confort de type **hygrothermique** (température, humidité...etc.), **sonore** ou **olfactif**.

➤ Cette notion **comprend** aussi les paramètres **esthétiques** et **psychologiques** (qualité de la lumière, les espaces verts, le paysage, la sécurité, le prestige...etc.).

(Source: BELAKEHAL, 2012)

## Introduction

Egalement les conditions de confort ne sont pas **figées** dans le temps et dans l'espace. Bien au contraire, elles **varient**:

- **Socialement** (selon le niveau de vie et les classes),
- **Géographiquement** (selon les régions)
- et **Historiquement** (selon les périodes).



Donc, loin d'être une valeur immanente le confort est une construction culturelle qui s'élabore et se transforme selon les mythes et les valeurs dominantes de la culture dans laquelle il se déploie.

(Source: BELAKEHAL, 2012)



## Introduction

L'homme a toujours construit pour s'abriter des aléas du climat. Nous pourrions à priori retenir quatre raisons essentielles qui ont poussé l'homme à construire:

- .Sociale
- .Symbolique
- .Fonctionnelle
- .Artistique

Mais il faut noter que l'objectif primaire de l'homme, à travers la construction, reste celui de **“modifier le climat”**. D'où le concept du ***“bâtiment comme élément modificateur du climat”***.

(Source: Mazouz, sans date)

## Introduction

## *Dimensions du Confort*

K. Slater (1985) indique que « le confort est un terme si nébuleux à définir, et si **subjectif**, qu'un consensus universel sur son sens est presque impossible à obtenir ».

Toutefois, il en précise les dimensions en le définissant comme étant 'un état agréable d'harmonie **physiologique**, **psychologique** et **physique** entre un être humain et l'environnement'.

Cet état agréable d'harmonie, comme le précise la définition du dictionnaire pour le terme confort, est l'état d'une **personne** qui **exprime** un **sentiment de bien-être**.

Introduction

*De quel confort peut-il s'agir en architecture ?*

**Confort physiologique**

Thermiques

De lumière (éclairage)

Sonore

Olfactives ...etc.

**Confort psychologique**

**Visuel** (perception de l'espace, contact avec l'extérieur, visibilité...etc.)

**non-visuel** (déroulement des activités, intimité, privacité...etc.).

(Source: BELAKEHAL, 2012)

## Introduction

*Les sensations de confort physiologiques et psychosensoriel d'un individu relèvent de phénomènes objectifs et subjectifs*



## Phénomènes objectifs

- ✓ 25 °C de température de l'air
- ✓ absence de courant d'air
- ✓ humidité relative de 40 %
- ✓ activité de détente
- ✓ habillement léger
- ✓ soleil du printemps
- ✓ 350 ppm de CO<sub>2</sub>
- ✓ éclairage naturel
- ✓ absence d'éblouissement visuel

## Phénomènes subjectifs

- ✓ ambiance d'un jardin
- ✓ présence d'un plan d'eau
- ✓ qualité architecturale du lieu
- ✓ protection visuelle du monde extérieur
- ✓ protection acoustique des bruits extérieurs
- ✓ couleurs chaudes
- ✓ odeur des plantes et des fleurs
- ✓ odeur de la cuisine
- ✓ qualité des mets
- ✓ compagnie agréable
- ✓ propreté des lieux

(Source: LIÉBARD A. & DE  
HERDE A., 2005)

Pause-déjeuner dans les jardins de la mosquée Süleymaniye à Istanbul (Turquie).

## Introduction

## *Climat, confort et santé de l'homme*

Le climat a une grande influence sur la santé et la longévité de l'homme.

- Huttington (1924) fut parmi les premiers à énumérer les effets du climat sur le développement de la civilisation. La conclusion générale tirée est que la santé de l'homme est optimale à une **température et humidité relative données**.
- Markham (1947) a démontré que les conditions climatiques idéales ne sont pas étrangères à l'occurrence des premières civilisations en Egypte, en Sumérie et en Palestine et qu'il doit exister une importante corrélation avec les conditions climatiques prévalant sous ces latitudes.
- Certaines études ont montré que l'homme ne peut passer au stade de **performance intellectuelle** sous des conditions climatiques difficiles. L'exemple de l'Europe est, à ce sujet, édifiant. Certaines recherches affirment que l'Europe n'a pu arpenter le chemin de la Modernité qu'après avoir maîtriser les technologies du chauffage qui lui ont permis d'assurer un confort minimal sous les conditions difficiles d'un climat tempéré.

(Source: Mazouz, sans date, Rayner Banham, The architecture of the well tempered environment)

# 1. Bilan thermique et confort

## 1. Bilan thermique et confort

## LA TEMPERATURE HUMAINE

## Êtres vivants

## Poïkilothermes

Ayant une température centrale variable avec celle de l'environnement extérieur et sans aucune régulation.

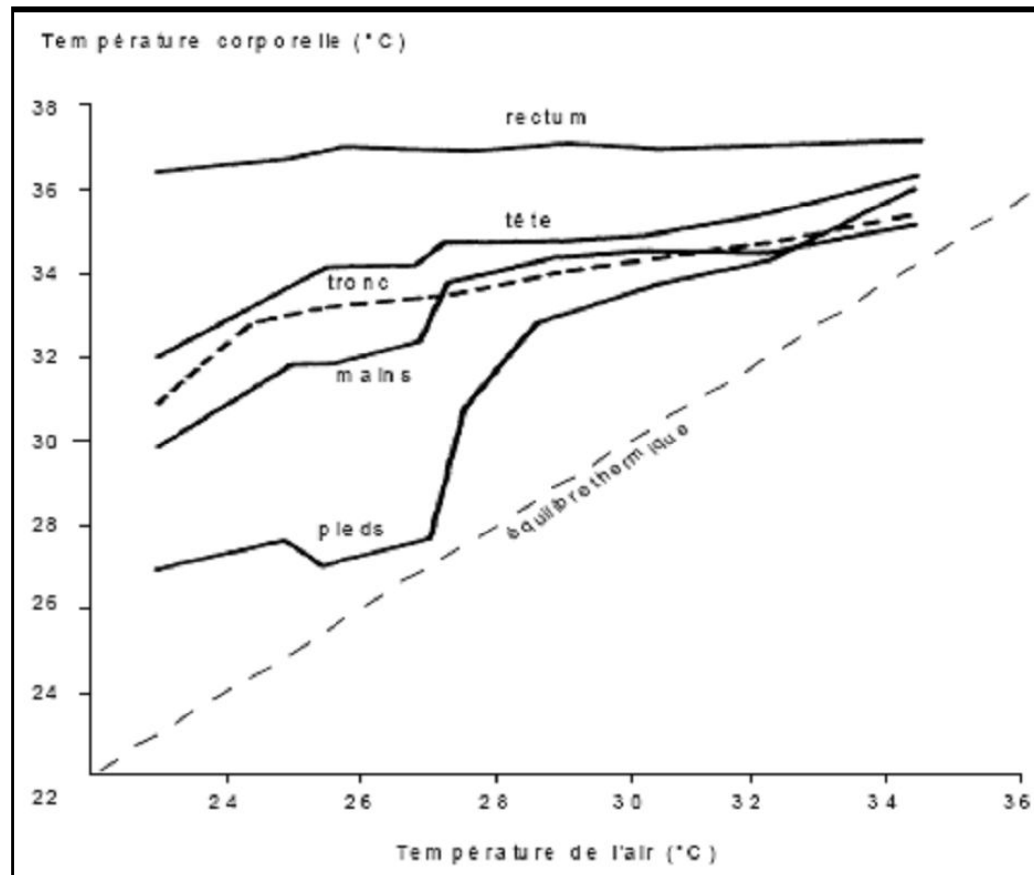
## Homéothermes

Leur température garde une certaine constance face aux conditions extérieurs (autonomie).

**L'homme fait partie de ces derniers (homéothermes) en conservant sa température centrale proche de 37 °C au repos. Cependant, cette température n'est applicable qu'au noyau car l'écorce (la peau et une épaisseur de tissu de 2.5 cm environ) reste très variable.**

## 1. Bilan thermique et confort

## LA TEMPERATURE HUMAINE



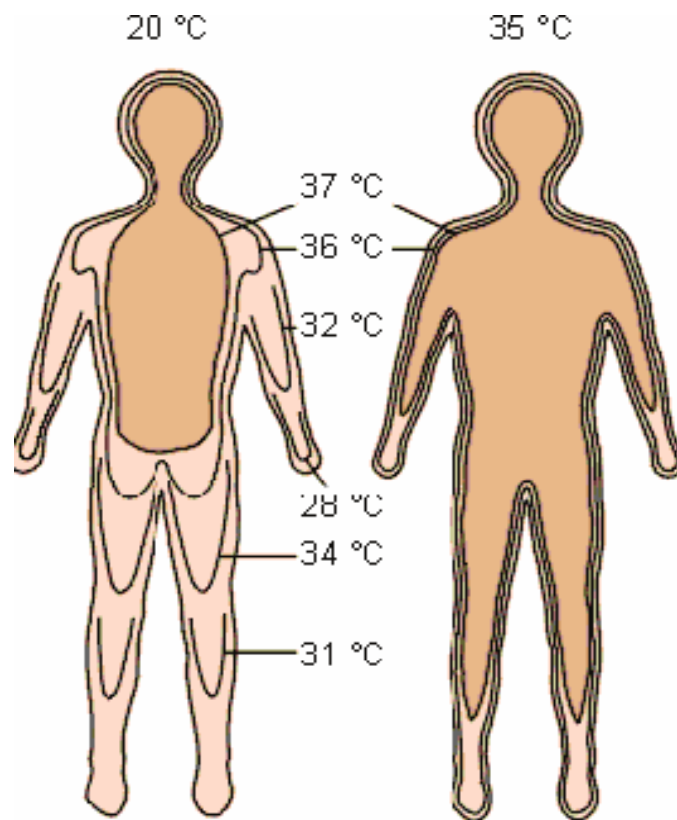
(Source: M. Millanvoye -  
2002-2003)

Température centrale et cutanée en fonction de la  
température de l'air (homme nu au repos)



## 1. Bilan thermique et confort

## LA TEMPERATURE HUMAINE



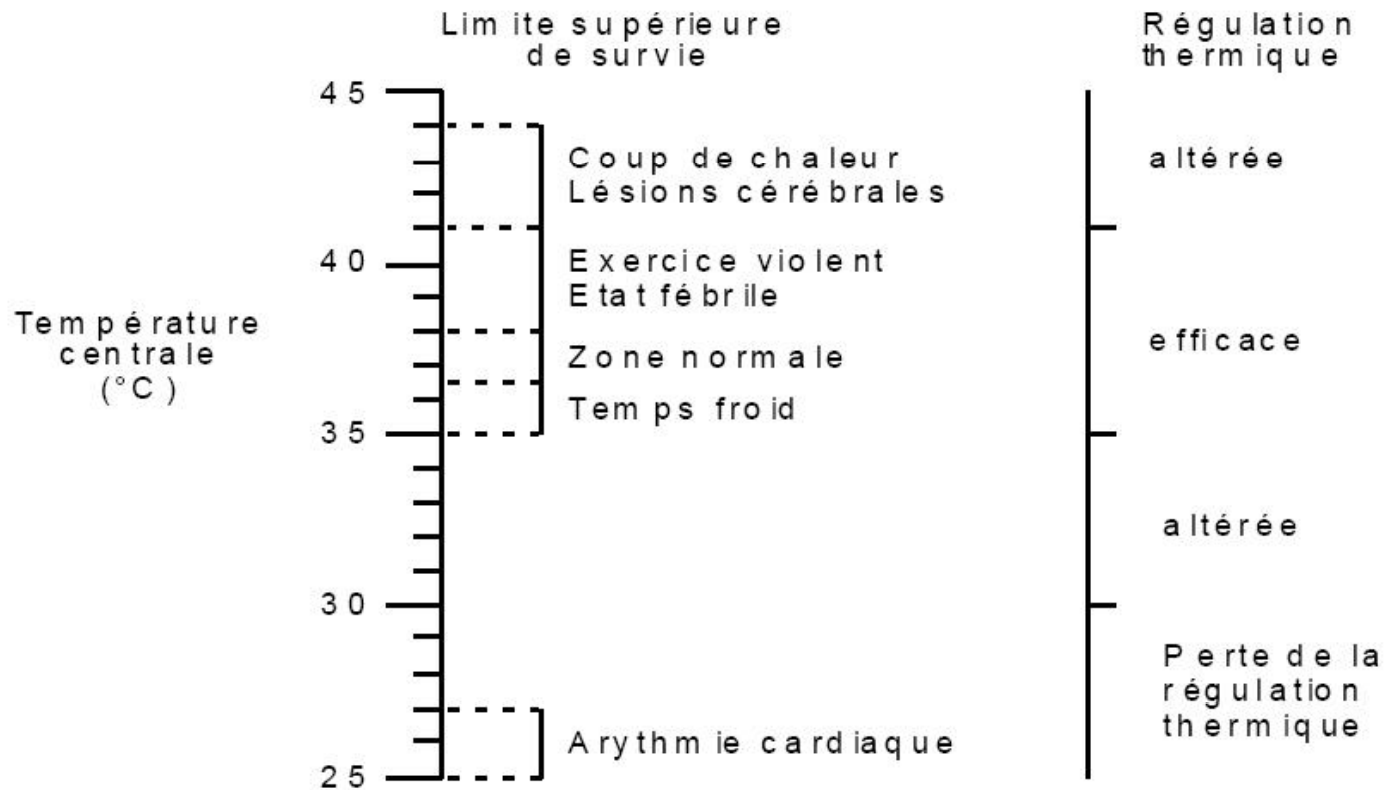
Taille du noyau central de température

Pour assurer l'équilibre thermique de l'homme autour de la température de référence, les systemes de régulation font recours à des mécanismes physiologiques (thermorégulation, régulation vasomotrice et sudorale) et comportementaux (apports hydriques, diminutions de la portion calorique, régulations vestimentaires, posturales, horaires d'activité, l'habitat).

(Source: Boutaba, 2007)

1. Bilan thermique et confort

LA TEMPERATURE HUMAINE

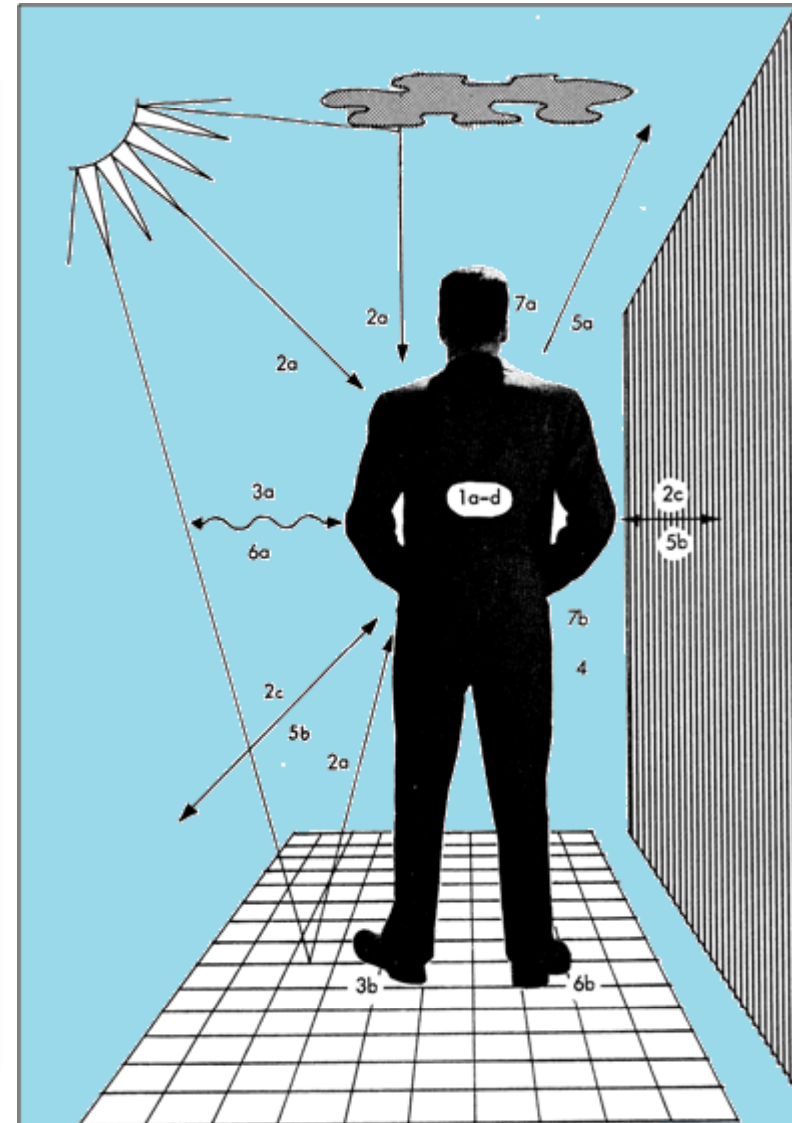


Limite de la régulation thermique, d'après Du Bois E.F.  
 (repris du polycopié d'Ergonomie, Cours B1, 1973. Wisner, A. Cnam ed.)

## 1. Bilan thermique et confort

Le confort thermique a été défini comme étant la condition dans laquelle **aucune contrainte significative** n'est imposée aux **mécanismes thermorégulateurs** du corps humain.

Le confort thermique permet l'obtention de conditions optimales pour tous les systèmes fonctionnels de l'organisme ainsi qu'un **haut niveau de capacité' de travail.**

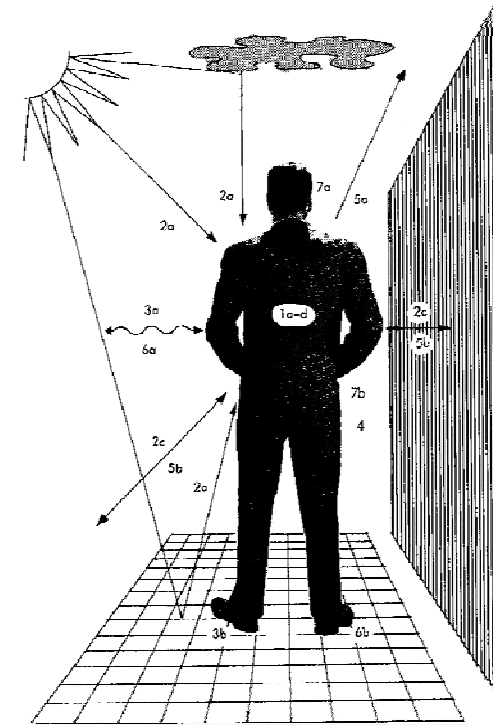


(Source: Mazouz, sans date)

## 1. Bilan thermique et confort

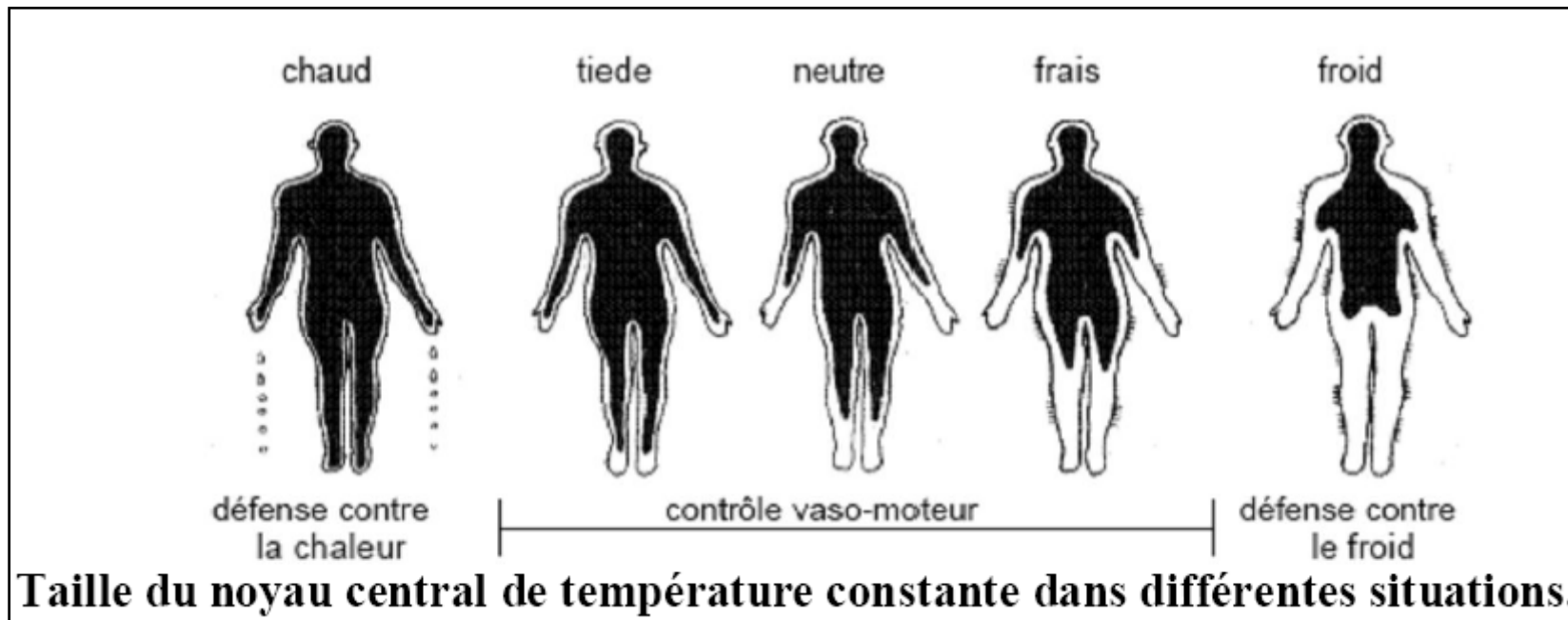
Dans sa définition, le confort thermique est considéré autant qu'une moyenne des sensations physio-psychologiques perçue par un groupe d'individus soumis à un environnement identique et ayant une même activité et un habillement semblable.

**Le confort est la synthèse des sensations de bien-être.**



## 1. Bilan thermique et confort

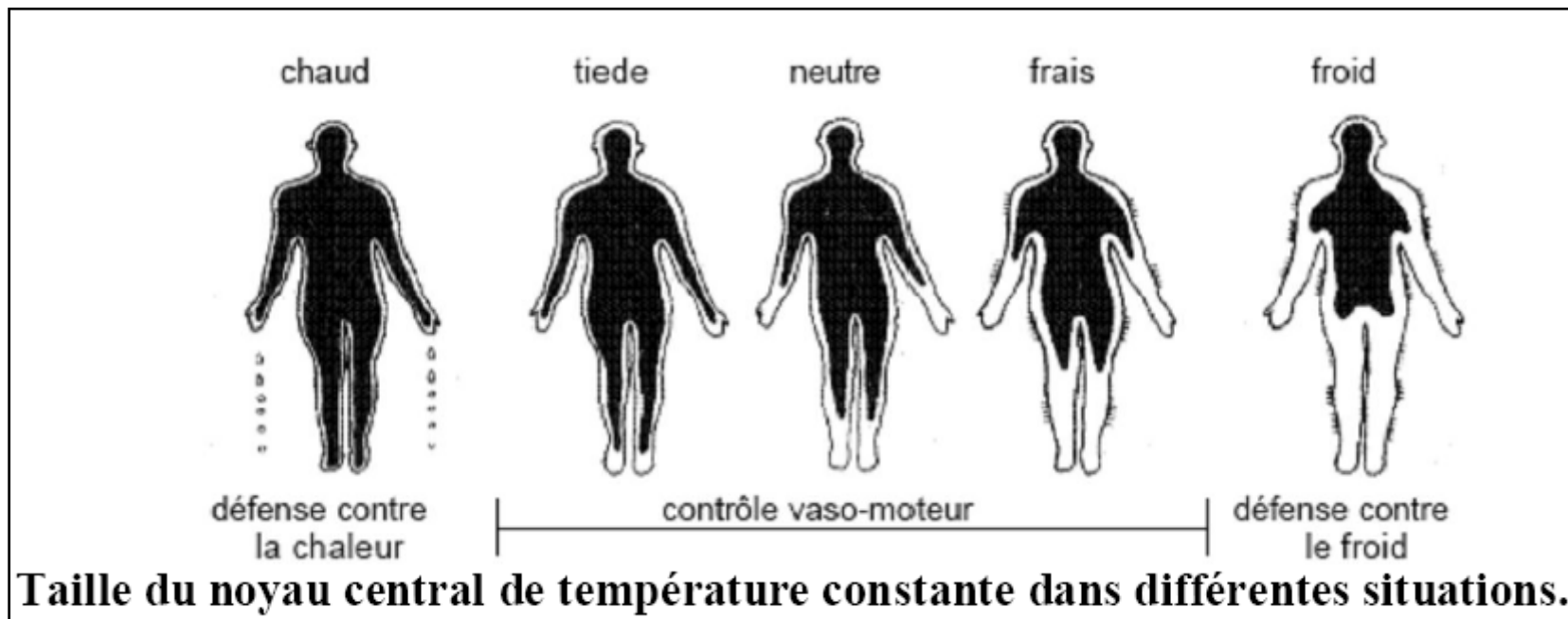
D'un point de vue physiologique, **Givoni** donne une définition plus exacte au confort qui le rattache aux conditions sous lesquelles les **mécanismes autorégulateurs** du corps sont dans un état **d'activité minimum**. Effectivement, s'il y a une diminution de la température interne, l'organisme frissonne afin de tenter de rapprocher la température à la normale. Au contraire, s'il y a une augmentation de la température interne, l'excès de chaleur va être évacué par l'organisme en augmentant sa sudation.



(Source: M. Millanvoye - 2002-2003, Boutaba, 2007)

## 1. Bilan thermique et confort

Le noyau central du corps doit maintenir sa température, la périphérie pouvant évoluer.



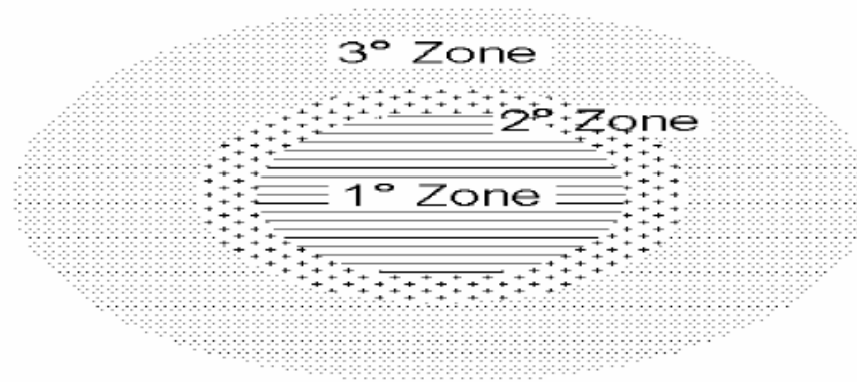
(Source: M. Millanvoye - 2002-2003, Boutaba, 2007)

## 1. Bilan thermique et confort

En revanche, l'inconfort est caractérisé par une gêne, sans pour autant nuire à la santé.

Theilier constate que le nombre d'individus satisfaits augmente à mesure qu'on s'approche de plus en plus de la zone dite de confort.

Il s'agit donc, d'une certaine **gradation du confort thermique** d'où se dégagent schématiquement trois zones. Dans la première, la majorité des gens sont satisfaits par l'ambiance qui les entoure. La seconde zone sera partagée entre satisfaits et insatisfaits. Quant à la troisième et du fait de son caractère inconfortable (chaude ou froide), la plupart des gens vont certainement la trouver intolérable.



**Les trois zones : du confort à d'inconfort thermique.**

(Source: Boutaba, 2007)

## 1. Bilan thermique et confort

***Les courbes de Wyon***

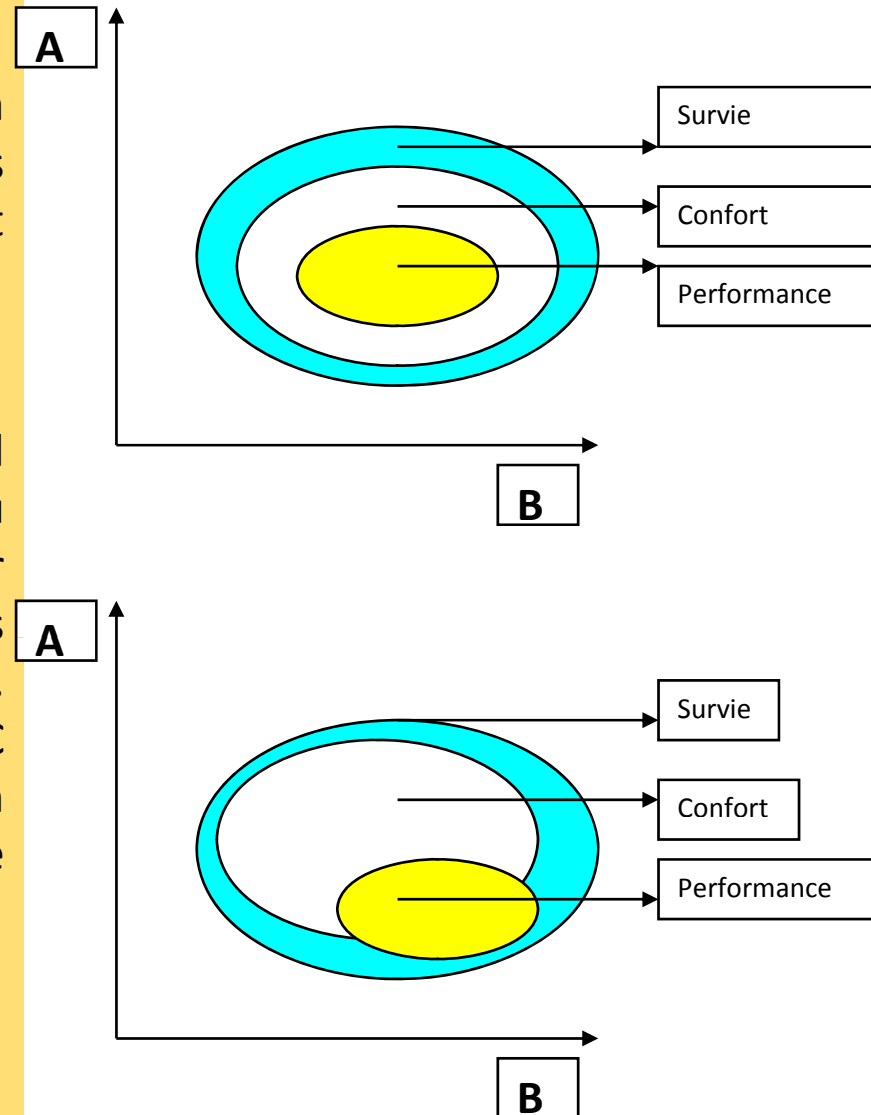
Wyon, D.P. aussi a donné une idée de la complexité de la notion de confort. Les critères donnés par Wyon viennent comme suit :

**Notion de survie :**

Maintenir 37°C au repos est le principal objectif du système thermorégulateur du corps humain. L'activité permet d'élever cette température, mais dans des conditions en dessous du confort. L'homme peut supporter un écart de 2°C pour de courtes périodes. Cette situation est perceptible sous une grande variété de climats.

**Zone de confort :**

Neutralité thermique.



(Source: Mazouz, sans date)



## 1. Bilan thermique et confort

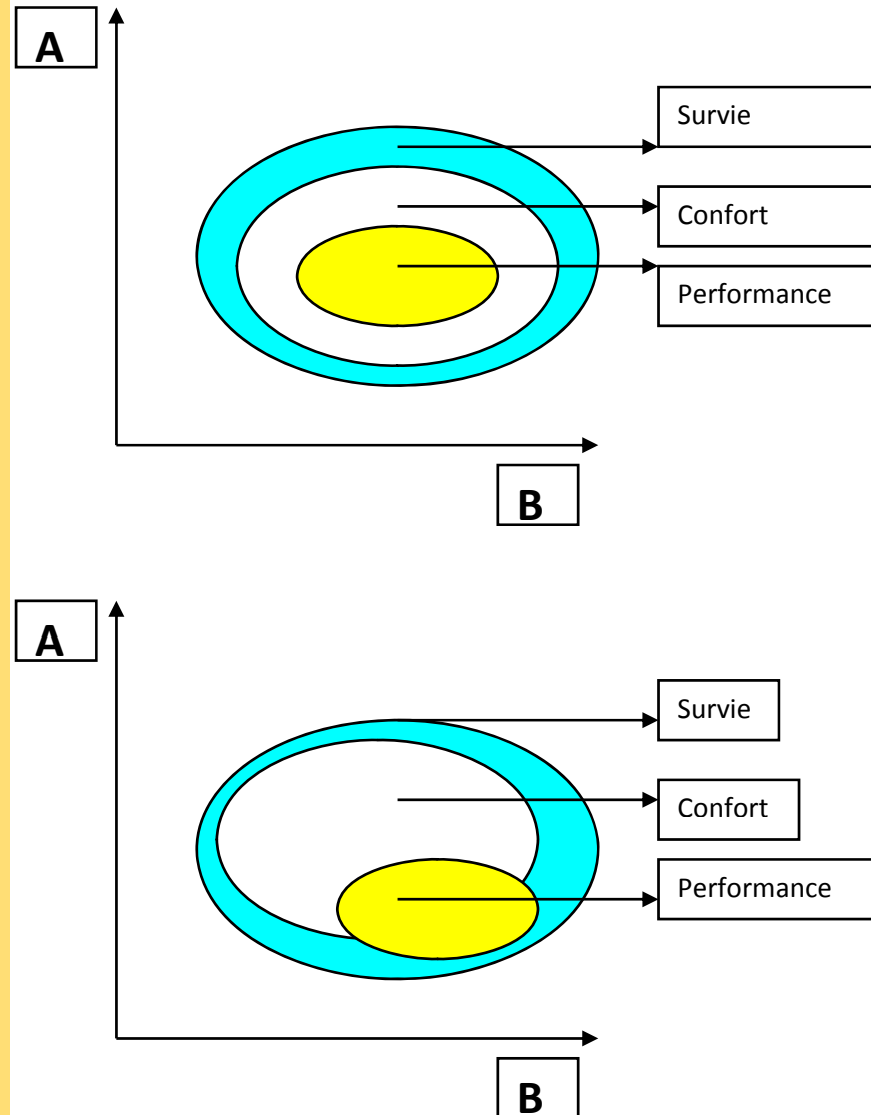
## Les courbes de Wyon

### Zone de performance

Alors qu'il est communément admis que les conditions thermiques affectent les niveaux de vigilance, fatigue, attention, ennui ou dépit, les mécanismes inhérents à cet état de fait ne sont pas encore très maîtrisés. Néanmoins, les recherches ont démontré que la zone dite de performance peut bien ne pas coïncider avec la zone de confort.

### La santé

La santé et les conditions de confort sont très liées. Si pour une personne en bonne santé, la survie est possible même dans des conditions d'inconfort. Pour les personnes âgées ou malades la survie n'est pas possible.



(Source: Mazouz, sans date)

**1. Bilan thermique et confort**

Le bilan des échanges thermiques engendré par le milieu conditionne le confort de l'individu.

Ainsi la sensation thermique est le résultat de plusieurs facteurs dont l'harmonisation conduit à l'équilibre thermique ou neutralité thermique (constance de la température corporelle) d'où la possibilité offerte à l'homme pour exprimer finalement son bien-être.



## 1. Bilan thermique et confort

## Facteurs de sensation thermique

## Physique

Ce sont les composantes physiques du milieu, qu'elles soient stables: façades thermiques, végétation, mobilier, etc. ou variables dans le temps (éléments du climat) ;

## Physiologique

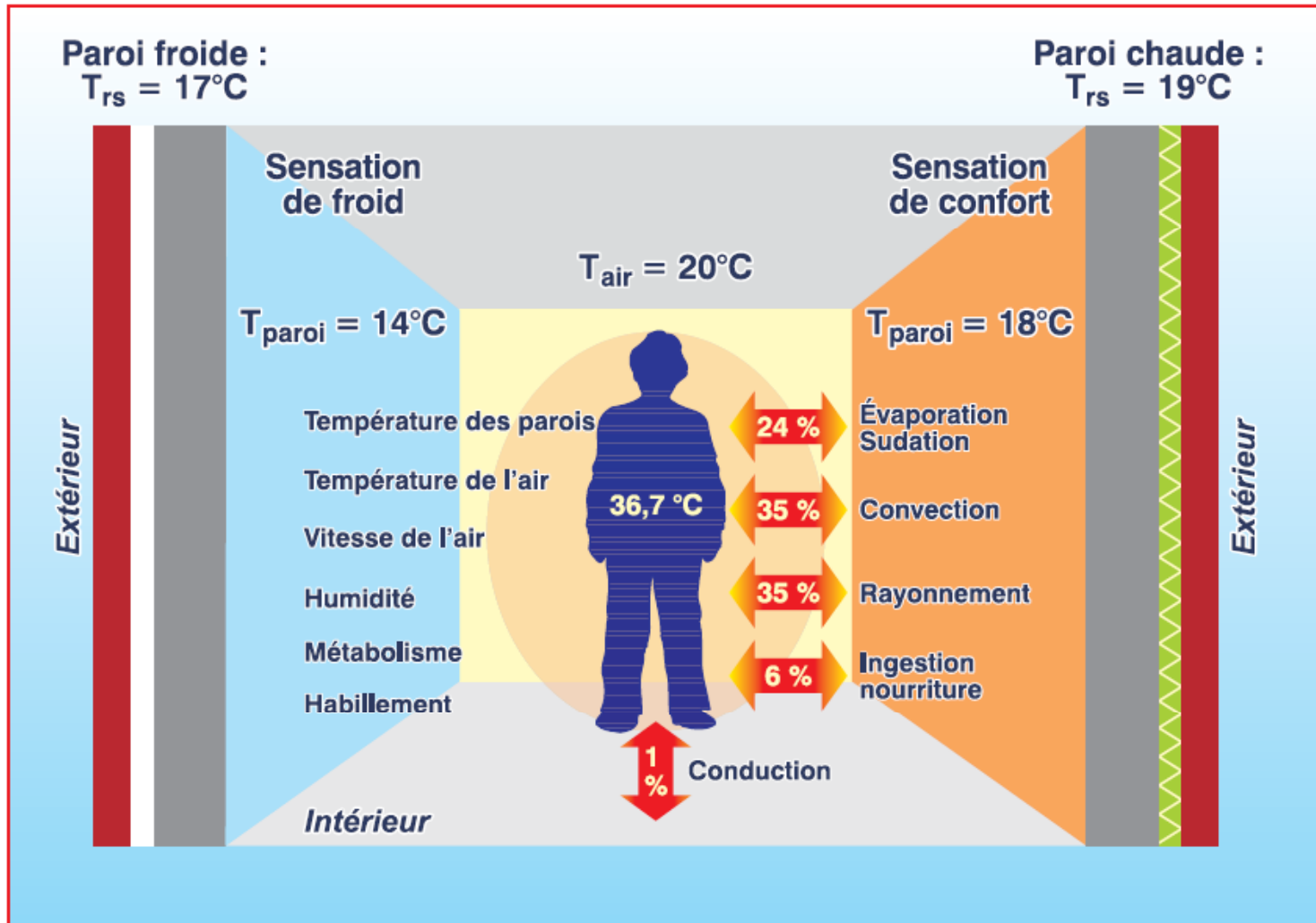
Qui représentent la faculté de l'individu à accepter en s'y adaptant ou à rejeter une situation en affichant des réflexes de régulation: sudation, frissons, etc.

## Psychologique

Caractérisés par la façon dont on perçoit et on évalue psychiquement son milieu et la situation dans laquelle on se trouve.

# 1. Bilan thermique et confort

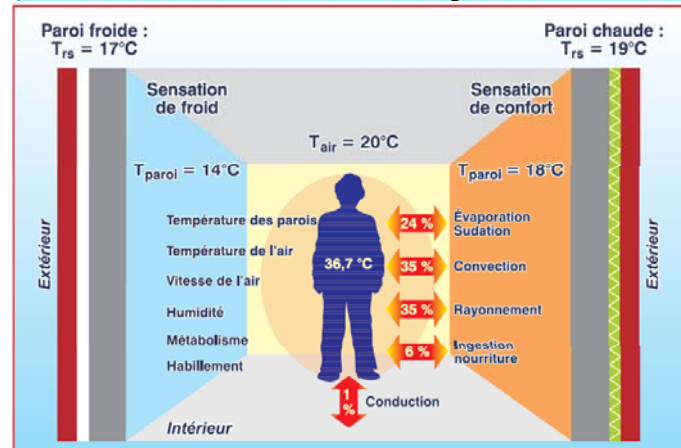
La diffusion de chaleur entre l'individu et l'ambiance s'effectue selon divers mécanismes :



Échanges thermiques entre l'homme et son environnement (Architecture et Climat).

(Source: LIÉBARD A. & DE HERDE A., 2005)

## 1. Bilan thermique et confort



(Source: LIÉBARD A. & DE HERDE A., 2005)

- Plus de 50 % des pertes de chaleur du corps humain se font par convection avec l'air ambiant (convection et évaporation par la respiration ou à la surface de la peau).
- Les échanges par rayonnement à la surface de la peau représentent jusqu'à 35 % du bilan alors que les pertes par contact (conduction) sont négligeables (< 1 %).

**Cette importance de nos échanges par rayonnement explique que nous sommes très sensibles à la température des parois qui nous environnent.**

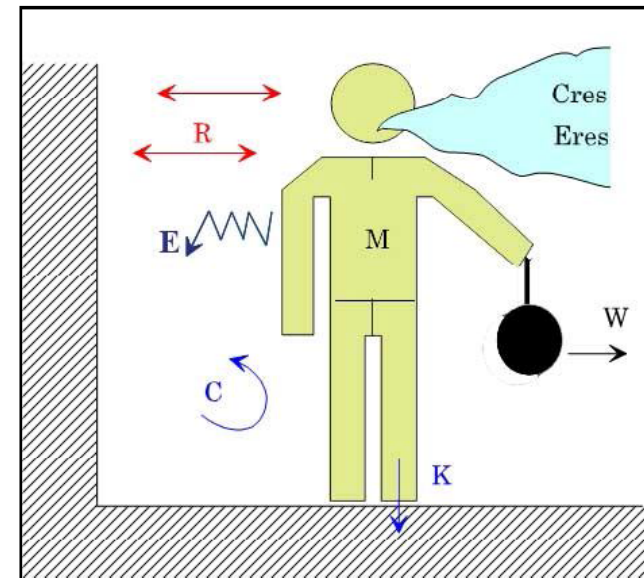
- Le corps perd également 6 % de sa chaleur à réchauffer la nourriture ingérée.

## 1. Bilan thermique et confort

## ECHANGES THERMIQUES AVEC L'AMBIANCE : LES SIX PHENOMENES

Grâce à l'équilibre qui oppose la production de chaleur endogène appelée **thermogenèse** (métabolisme de base et activités physiques) aux pertes de chaleur vers l'environnement extérieur dites **thermolyse**, **l'homme assure sa stabilité thermique corporelle (homéothermie)**, de laquelle découle une ambiance confortable.

- Cependant, s'il y a un déséquilibre au profit de la thermolyse c'est une ambiance froide qu'on va ressentir.
- Dans le cas inverse c'est une ambiance chaude qui s'installe, exhortée par une thermogenèse grandissante.



Les échanges thermiques avec l'environnement

## 1. Bilan thermique et confort

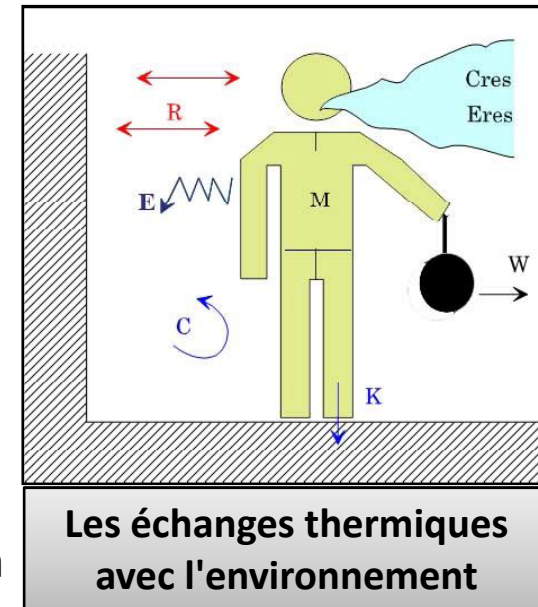
## ECHANGES THERMIQUES AVEC L'AMBIANCE : LES SIX PHENOMENES

Deux voies sont disponibles à l'organisme pour les échanges avec le milieu extérieur à savoir la peau et les voies respiratoires. Le bilan thermique à l'équilibre s'écrit comme suit :

$$C_{res} + E_{res} + K + C + R + E + H = 0$$

**H**: étant la production de chaleur interne du corps.

Au repos  $H = M$  (métabolisme) mais en exécutant un travail:  $H = M - W$  ( $W$  est le travail mécanique).

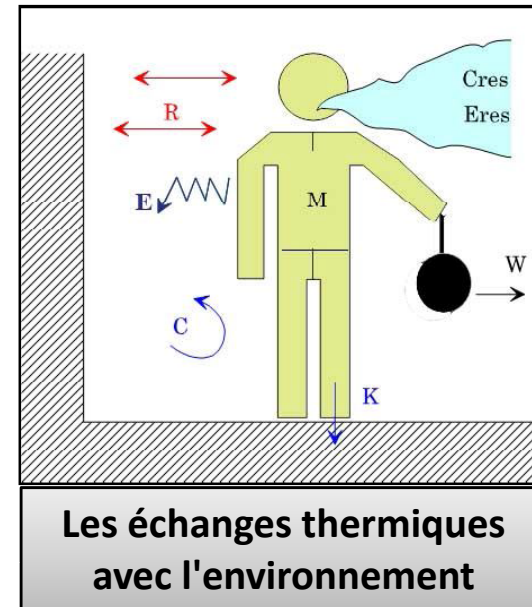


Le sens des échanges thermiques est fonction de la différence de température. Il y a des déperditions (négatif) si la température opérative est inférieure à la température cutanée, sinon c'est des gains thermiques (positif) qui s'ajoutent à l'être humain rendu échauffé par l'ambiance qui l'entoure.

## 1. Bilan thermique et confort

## ECHANGES THERMIQUES AVEC L'AMBIANCE : LES SIX PHENOMENES

$$C_{res} + E_{res} + K + C + R + E + H = 0$$



Les échanges thermiques avec l'environnement

**$C_{res}$**  : Echanges de chaleur au niveau des voies respiratoires par convection : fonction des débits ventilatoires et de la différence de température entre l'air inspiré et l'air expiré ;

**$E_{res}$**  : Echanges de chaleur au niveau des voies respiratoires par évaporation,

fonction de l'écart entre la pression partielle de vapeur d'eau dans l'air inspiré et l'air expiré et du débit ventilatoire ;

(Source: Boutaba, 2007)

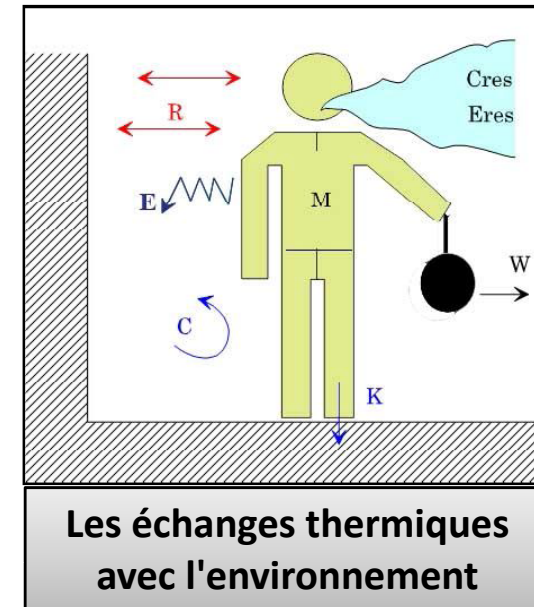


## 1. Bilan thermique et confort

## ECHANGES THERMIQUES AVEC L'AMBIANCE : LES SIX PHENOMENES

$$C_{res} + E_{res} + K + C + R + E + H = 0$$

**K** : Echanges de chaleur au niveau de la peau par conduction,



observés entre cette dernière et les **vêtements serrés**, les **chaussures** et les **points d'appui**. Ils sont conditionnés par la température moyenne de la peau et du matériau en contact ainsi que le coefficient d'échange par conduction (conductibilité thermique du matériau). Ces échanges sont considérés généralement comme négligeables. Pratiquement pour un homme debout, la plante des pieds est considérée comme le seul endroit susceptible de lui faire échanger un peu de chaleur avec le sol ;

(Source: Boutaba, 2007)

## 1. Bilan thermique et confort

## ECHANGES THERMIQUES AVEC L'AMBIANCE : LES SIX PHENOMENES

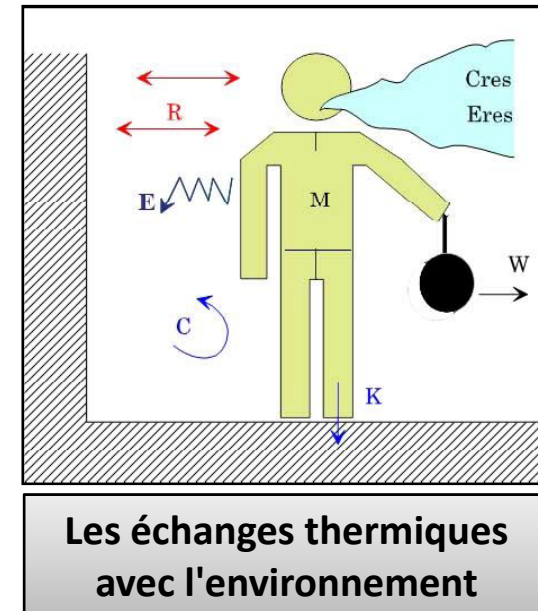
$$C_{res} + E_{res} + K + C + R + E + H = 0$$

**C** : Echanges de chaleur au niveau de la peau par convection

à travers le contact de cette dernière avec l'air ambiant ou l'air confiné sous les vêtements. Les échanges se maximisent en fonction de la grandeur de la surface de peau en contact avec l'air (membres écartés et étendus), mais quand on se replie, la convection devient alors minimale. Ce phénomène s'amplifie par la vitesse du vent.

En ambiance chaude, il faut se méfier de la température de l'air quand elle est supérieure à la température cutanée (température opérative  $\geq 35$  °C.), car au lieu qu'elle joue un rôle refroidisseur, la convection va participer à l'élévation de la température corporelle.

(Source: Boutaba, 2007)



## 1. Bilan thermique et confort

## ECHANGES THERMIQUES AVEC L'AMBIANCE : LES SIX PHENOMENES

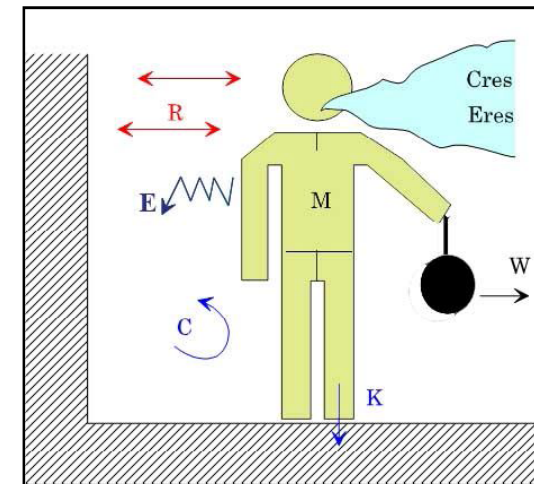
$$C_{res} + E_{res} + K + C + R + E + H = 0$$

**R : Echanges de chaleur au niveau de la peau par rayonnement**

qui sont dépendants de la différence de température entre le corps humain, les surfaces environnantes et la distance qui les sépare et le pouvoir d'absorption et d'émission de rayonnement électromagnétique.

Autrement dit, une résultante proportionnellement à l'émission et à la réception du corps, dépendant de la température cutanée et la température opérative. Si cette dernière est supérieure à 35 °C, un échauffement par l'ambiance est inévitable.

(Source: Boutaba, 2007)



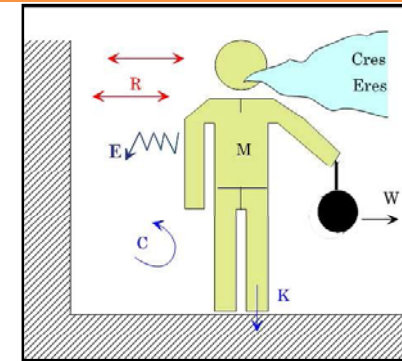
Les échanges thermiques avec l'environnement

## 1. Bilan thermique et confort

## ECHANGES THERMIQUES AVEC L'AMBIANCE : LES SIX PHENOMENES

$$C_{res} + E_{res} + K + C + R + E + H = 0$$

**E** : Echanges de chaleur au niveau de la peau par évaporation de la sueur



Les échanges thermiques avec l'environnement

Considérée comme le moyen le plus performant pour perdre de la chaleur du corps humain. Elle est fonction:

1. de la température moyenne de la peau,
2. de l'humidité (pour un air saturé en humidité, l'évaporation est impossible),
3. et la vitesse de l'air
4. de la surface mouillée du corps
5. et de la perméabilité du vêtement
6. ainsi que l'eau corporelle disponible.

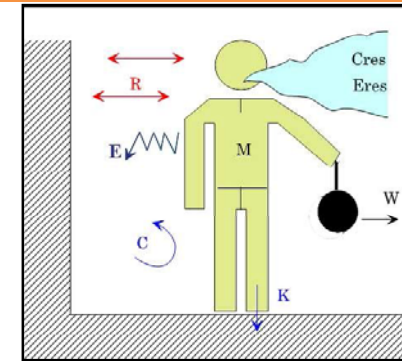
(Source: Boutaba, 2007)

## 1. Bilan thermique et confort

## ECHANGES THERMIQUES AVEC L'AMBIANCE : LES SIX PHENOMENES

$$C_{res} + E_{res} + K + C + R + E + H = 0$$

**E** : Echanges de chaleur au niveau de la peau par évaporation de la sueur



Les échanges thermiques avec l'environnement

- La sudation est l'élément clef de la lutte contre la chaleur de l'espèce humaine (Un gramme de sueur consomme 2.4 kJ).
- Dans des conditions neutres ou froides, le débit sudoral est nul.
- Quant aux glandes sudoripares, elles couvrent la totalité du corps mais d'une façon inégale (au cm<sup>2</sup> on trouve : 620 sur la plante des pieds, 180 sur le front, 64 sur le dos, etc.).

(Source: Boutaba, 2007)

## 1. Bilan thermique et confort

## ECHANGES THERMIQUES AVEC L'AMBIANCE : LES SIX PHENOMENES

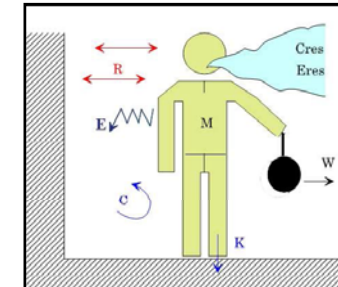
$$C_{res} + E_{res} + K + C + R + E + H = 0$$

**E** : Echanges de chaleur au niveau de la peau par évaporation de la sueur

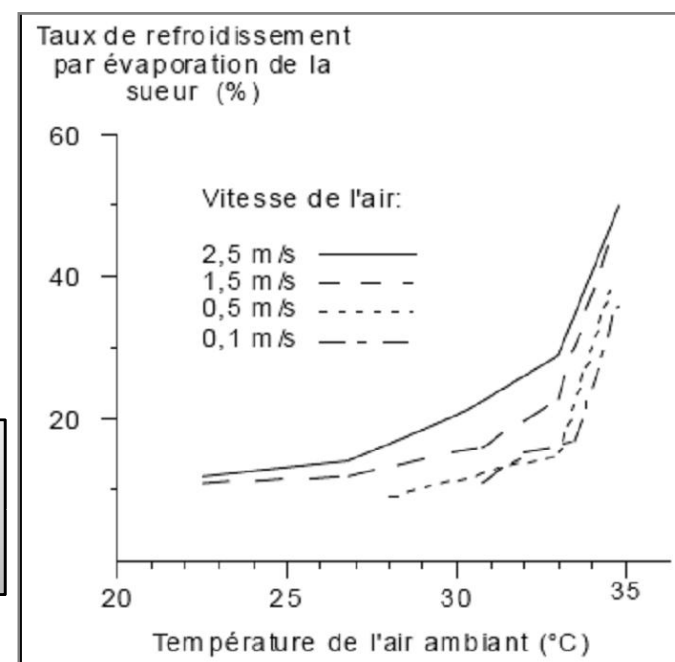
Le vêtement s'il est imperméable peut empêcher l'évaporation de la sudation. L'évaporation est favorisée par la circulation de l'air même si l'ambiance conserve une température et une humidité relative stable. Ce que fait apparaître le graphe suivant :

**Influence de la vitesse de l'air et de la température ambiante sur le taux de refroidissement par évaporation de la sueur**

(Source: Boutaba, 2007)

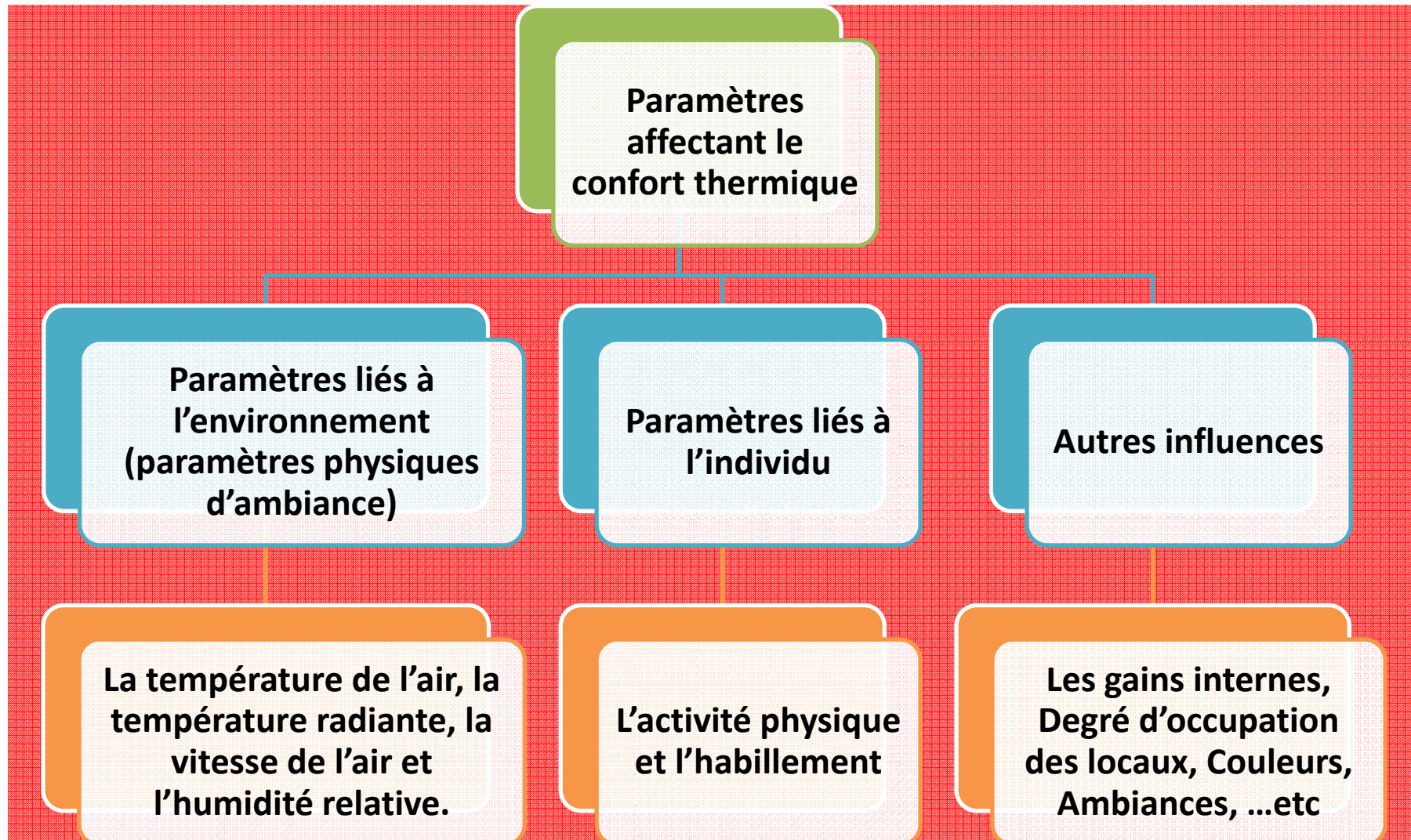


Les échanges thermiques avec l'environnement



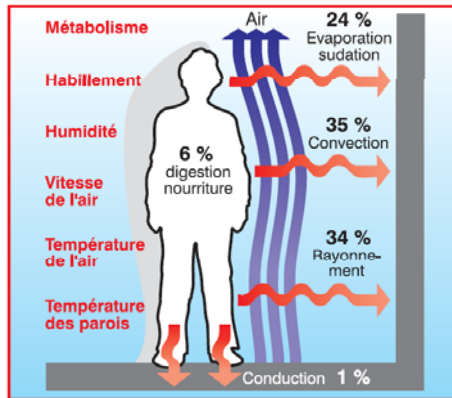
## 2. Facteurs de confort

## 2. Facteurs de confort



(source: Mazari, 2012)





## 2. Facteurs de confort

*Le confort thermique dépend de 6 paramètres majeurs: Physiologique, comportementaux et environnementaux*

1. **Le métabolisme**, qui est la production de chaleur interne au corps humain permettant de maintenir celui-ci autour de 36,7°C. Un métabolisme de travail correspondant à une activité particulière s'ajoute au métabolisme de base du corps au repos.
2. **L'habillement**, qui représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement.
3. **La température ambiante** de l'air  $T_a$ .
4. **La température moyenne des parois**  $T_p$ : ou température radiante.
5. **L'humidité relative** de l'air (HR)
6. **La vitesse de l'air**, qui influence les échanges de chaleur par convection. Dans le bâtiment, les vitesses de l'air ne dépassent généralement pas 0,2 m/s.

**Les mécanismes d'autorégulation du corps humain laissent apparaître une zone où la variation de confort thermique est faible: c'est la plage de confort thermique.**

(Source: Energie+, 2012)

## 2. Facteurs de confort

### LE METABOLISME : UNE PRODUCTION DE CHALEUR INTERNE

**Le métabolisme est l'ensemble des réactions chimiques qui se produisent dans le corps humain.**



Continuellement le corps vivant produit de l'énergie physiologique indispensable à l'animation musculaire, à l'exercice des organes et à la pérennité de la vie des cellules. A cause de la faible transformation de l'énergie produite en **efforts** fournis par l'homme, **75 à 99 %** de cette dernière prend la forme de chaleur en effectuant un travail. Cependant, si l'être humain est au **repos**, la part transformée en chaleur atteint **100 %**.



Le métabolisme est fonction de la quantité de cellules actives, varie avec **l'âge, la taille et l'activité entreprise** par l'individu.

(Source: Boutaba, 2007)

## 2. Facteurs de confort

## LE METABOLISME : UNE PRODUCTION DE CHALEUR INTERNE

Le métabolisme est exprimé généralement par la quantité de chaleur rapportée à l'unité de la surface de la peau.

Activité	Taux métabolique [M]	
S'asseoir se détendre	58 W/m <sup>2</sup>	1.0 Met
être debout décontracté	70 W/m <sup>2</sup>	1.2 Met
Conduite de voiture	80 W/m <sup>2</sup>	1.4 Met
Marche plane, 2 km/h	110 W/m <sup>2</sup>	1.9 Met
Marche plane, 5 km/h	200 W/m <sup>2</sup>	3.4 Met
Sports : courir , 15 km/h	550 W/m <sup>2</sup>	9.5 Met

## Valeurs du métabolisme suivant l'activité

(Source: Boutaba, 2007)

**2. Facteurs de confort****Le métabolisme**

L'activité est un paramètre essentiel pour la sensation thermique de l'individu, définissant directement le métabolisme de l'individu, c'est-à-dire la quantité de chaleur produite par le corps humain.

Dans le cas d'une très forte activité, elle peut être responsable de sensations d'inconfort chaud, même en présence de condition météorologiques très favorable. Il est à noter toutefois que, dans le cas d'une activité classique de bureau, les plages de variation du métabolisme demeurent limitées.

(source: Mazari, 2012)

## 2. Facteurs de confort

### L'habillement: l'isolement vestimentaire est une couche tampon

Le port de vêtements influence les échanges de chaleur avec l'environnement. Sous la couche vestimentaire se crée une zone tampon d'un microclimat ayant sa propre température, humidité et vitesse du vent qui diffèrent des conditions climatiques extérieures, mais qui restent dépendants de la ventilation naturelle sous cette couche (effet de pompage).

L'habit par ses caractéristiques d'isolement, de sa faculté à réfléchir le rayonnement incident et de sa possibilité d'extraire la vapeur d'eau produite par la peau pour la rendre ensuite au milieu extérieur, favorise ou gêne la thermorégulation.

Le vêtement est classé selon sa valeur d'isolement. L'unité habituellement utilisée pour sa mesure est le "**clo**". L'échelle des clo est conçue afin qu'une personne nue ait une valeur de 0.0 et quelqu'un qui porte un costume typique a une valeur de 1.0.

(Source: Boutaba, 2007)

## 2. Facteurs de confort

### L'habillement: l'isolement vestimentaire est une couche tampon

La valeur de l'isolement d'une tenue en clo peut être calculée en additionnant les valeurs unitaires respectives de chaque élément composant cet habillement.

Description du vêtement	Clo
Chemisier léger, manche courte	0.09
Chemise légère, manches longues	0.15
Shorts	0.06
Pantalon léger	0.20
Pantalon normal	0.25
Pull-over mince	0.20
légère veste d'été	0.25
Chaussette	0.02
Chaussette cheville, épaisse	0.05
Chaussure, semelle fine	0.02
Chaussure, semelle épaisse	0.04
Jupe légère, 15 centimètres au-dessous des genoux	0.18
Robe légère sans ma <sup>n</sup> ches	0.25

**Le tableau suivant donne les valeurs de l'isolement thermique vestimentaire pour quelques habits.**

(Source: Boutaba, 2007)

## 2. Facteurs de confort

L'habillement: l'isolement vestimentaire est une couche tampon

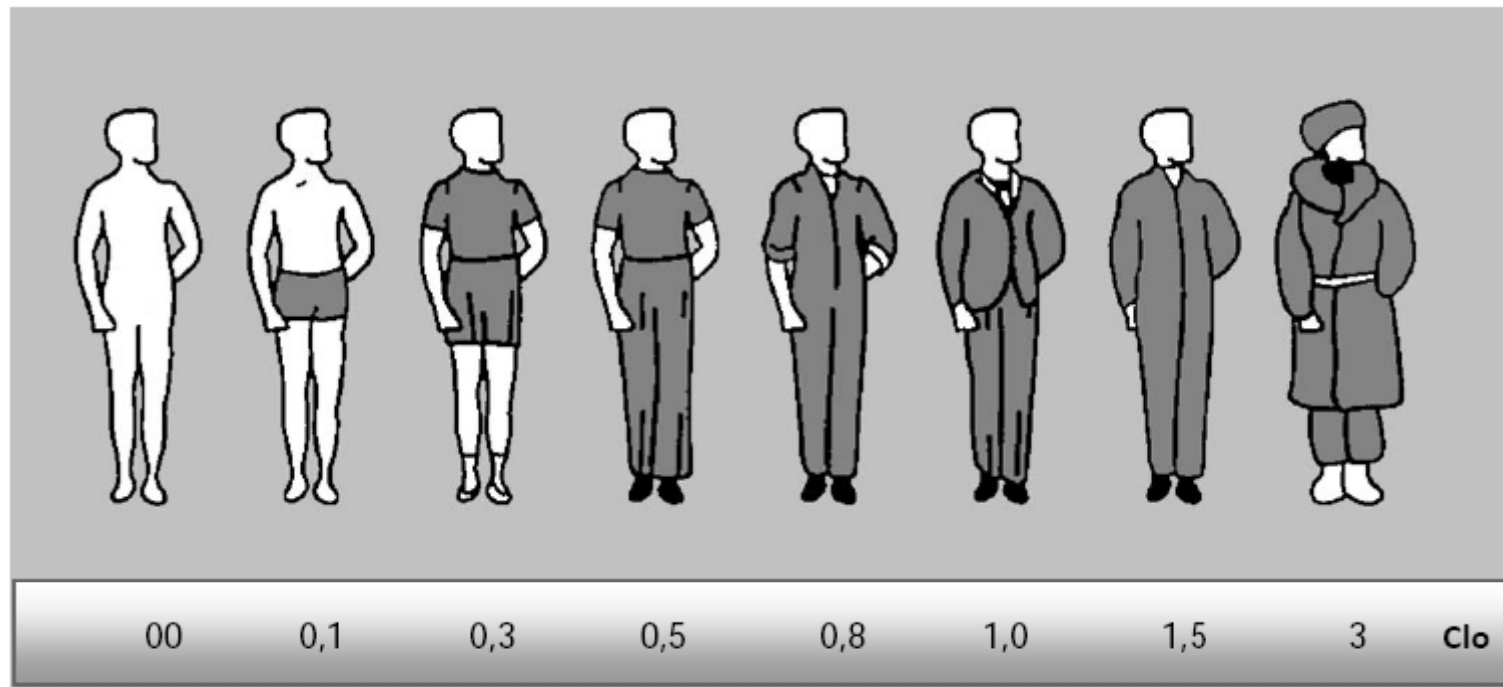


Figure I.1 : valeurs exprimées en Clo des tenues vestimentaires

(source: Mazari, 2012)

## 2. Facteurs de confort

### L'humidité relative (%)

L'humidité couplée à la température ambiante donne déjà une idée du confort d'ambiance interne.

L'intervalle de confort, bien que dépendant d'autres paramètres dont la température et la vitesse de l'air, peut aller de: 20 à 80 %.

Au-dessous de **20%** l'air devient trop sec au point de provoquer des irritations aux lèvres et aux yeux notamment.

Au-dessus de **80%**, l'air devient trop humide.

(Source: Mazouz, sans date)



## 2. Facteurs de confort

### L'humidité relative (%)

#### L'incidence sur la transpiration

L'humidité relative ambiante influence la capacité de notre corps à éliminer une chaleur excédentaire.

Ainsi, une température extérieure de 24°C et une humidité relative de 82 % (après une pluie en période de forte chaleur), entraîne une forte impression de moiteur, due à l'impossibilité pour la peau d'évaporer l'eau de transpiration et donc de se rafraîchir.

Par contre, une température de 24°C conjointe à une humidité relative de 18 % (climat estival méditerranéen) permet de refroidir la peau par l'évaporation de l'eau de transpiration. La chaleur nous paraît " très supportable ".

(Source: Energie+, 2012)

## 2. Facteurs de confort

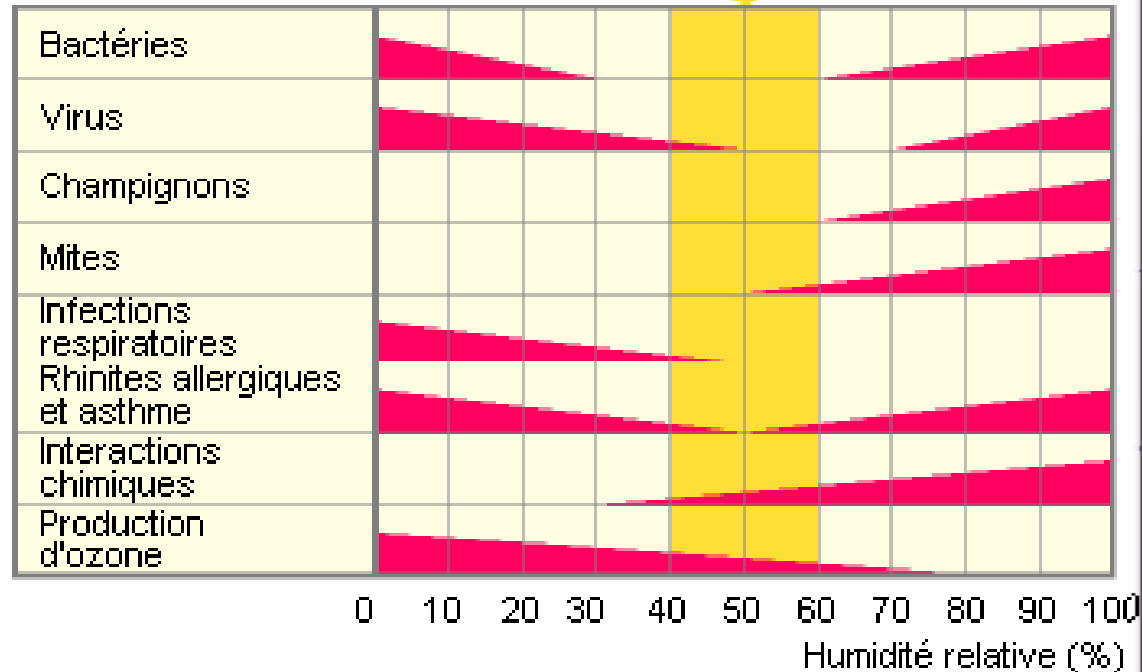
## L'humidité relative (%)

De hauts niveaux d'humidité (au-delà 70 % HR) donnent lieu à une **croissance microbienne** importante et à des **condensations** sur les surfaces froides :

C'est ce qu'indique le diagramme ci-dessous, précisant la plage de taux d'humidité ambiante optimale d'un point de vue hygiénique.

(d'après Scofield et Sterling)  
(Doc. Dri-Steem/Pacare).

Un rétrécissement de la barre indique une diminution d'impact



(Source: Energie+, 2012)

© J. Flémal - Architecture et Climat - UCL

## 2. Facteurs de confort

### La température de l'air ambiant (°C)

La température de l'air ambiant est le premier paramètre à contrôler. Néanmoins, pris séparément, il ne peut donner une idée précise du confort prévalant dans une ambiance quelconque.

La température de l'air ambiant ou température sèche est mesurée par un thermomètre au bulbe sec. Le thermomètre doit être protégé du rayonnement solaire et du rayonnement des parois du local.

L'intervalle de confort va généralement de **18 à 25 C°**.

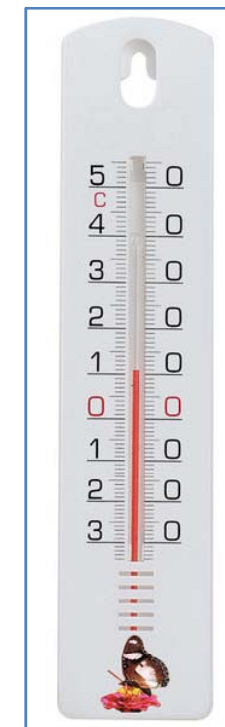
(Source: Mazouz, sans date)

## 2. Facteurs de confort

### La température de l'air ambiant (°C)

#### Appareils de mesure :

1. Thermomètres à dilatation de liquides (mercure, alcool)
2. Thermomètres électriques ou électroniques basés sur la modification des caractéristiques d'un composant (résistance, semi-conducteur) exposé à la chaleur. Ces thermomètres sont très précis, très sensibles et, avantage non négligeable, possèdent une constante de temps très courte.



## 2. Facteurs de confort

### La température des parois

La température des parois est un indicateur important du confort intérieur d'un local. Car c'est cette dernière qui donne une idée sur la nature de l'isolation ou de l'inertie thermique d'une paroi.

La température de surface d'une paroi ( $T_{\text{parois}}$ ) se fait à l'aide d'une **sonde de contact** ou **sonde à rayonnement infrarouge**.

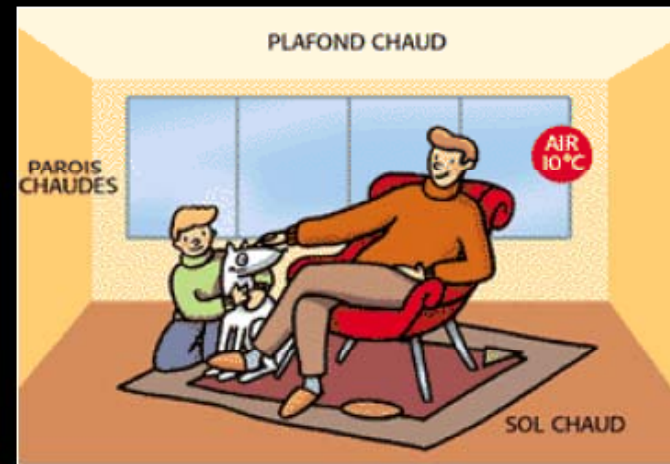
Ainsi une paroi mal isolée présente souvent une température radiante trop inférieure par rapport à la température de l'air ambiant. ce qui conduit souvent à ressentir un inconfort dû à la différence de température en question.

Il suffit d'imaginer, pour comprendre ce phénomène, à l'ambiance interne d'une tente implantée dans une région froide en plein hiver. Ainsi, dans ces conditions, même si l'on dispose d'un instrument de chauffage, on sent toujours le froid dans le dos.

(Source: Mazouz Said, sans date, SAÏD Noha, 2010)

2. Facteurs de confort

La température des parois (température radiante)



Expérience réalisée au Massachusetts Institut of Technology.  
(Source: [www.promodul.org](http://www.promodul.org))

## 2. Facteurs de confort

### La température des parois (température radiante)

Dans un bâtiment en dur, les désagréments peuvent être nombreux dont ceux causés par la condensation superficielle et ses effets néfastes sur les meubles, les revêtements intérieurs.

Pour un architecte, la température radiante n'est très difficile à contrôler. Il suffit de **choisir des matériaux** de construction et de les agencer de façon à obtenir une paroi présentant **un coefficient de conductibilité thermique valable (égale ou inférieur à 1,2)** et à toujours veiller à ce que **la différence de température entre la paroi et l'air ambiant ne dépasse pas les cinq degrés Celsius (05 °C)**.

(Source: Mazouz, sans date)

## 2. Facteurs de confort

### La température des parois (température radiante)

#### Appareils de mesure :

On utilise un thermomètre contact, conçu pour la mesure des températures de surface. Il suffit de placer la sonde thermométrique au contact de la surface à mesurer (il est important d'avoir un bon contact entre la sonde et la paroi, mettre une goutte d'huile, au besoin, pour parfaire celui-ci) et de lire la température.





## 2. Facteurs de confort

### *La plage de confort température-humidité*

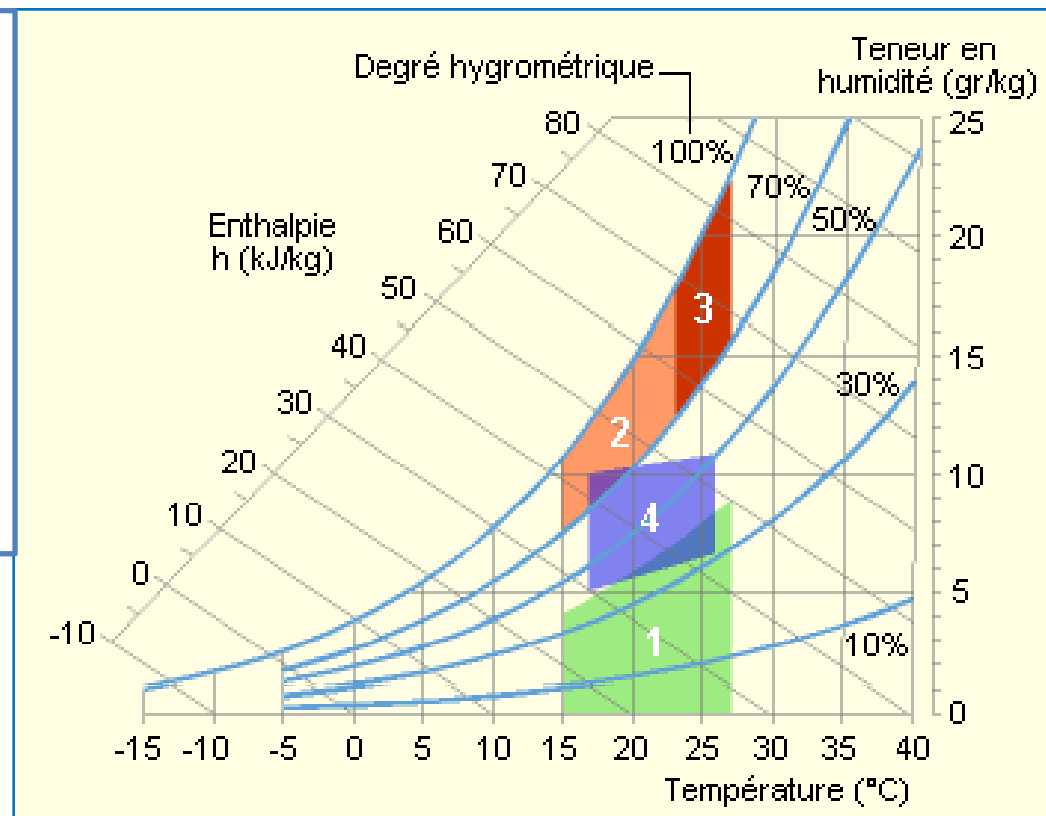
Pour un confort optimal et pour une température de l'air aux environs de 22°C, on peut dès lors recommander que l'humidité relative soit gardée entre 40 et 65 %.

Plus précisément, on peut définir une plage de confort hygrothermique dans le diagramme suivant:

1. Zone à éviter vis-à-vis des problèmes de sécheresse.
2. et 3: Zones à éviter vis-à-vis des développements de bactéries et de microchampignons.
3. Zone à éviter vis-à-vis des développements d'acariens.
4. Polygone de confort hygrothermique

(extrait de l'article de R. Fauconnier "L'action de l'humidité de l'air sur la santé dans les bâtiments tertiaires" paru dans le numéro 10/1992 de la revue Chauffage Ventilation Conditionnement)

(Source: Energie+, 2012)



© J. Flémal - Architecture et Climat - UCL

## 2. Facteurs de confort

### La vitesse de l'air (m/s)

La **vitesse de l'air** (et plus précisément la vitesse relative de l'air par rapport à l'individu) est un paramètre à prendre en considération car elle influence les échanges de chaleur par convection et augmente l'évaporation à la surface de la peau.

A l'intérieur des bâtiments, on considère généralement que l'impact sur le confort des occupants est négligeable tant que la vitesse de l'air ne dépasse pas 0,2 m/s.

A titre de comparaison : se promener à la vitesse de 1 km/h produit sur le corps un déplacement de l'air de 0,3 m/s.

Le mouvement de l'air abaisse la température du corps, facteur recherché en été mais pouvant être gênant en hiver (courants d'air).

(Source: Energie+, 2012)

## 2. Facteurs de confort

## La vitesse de l'air (m/s)

Vitesses résiduelles	Réactions	Situation
0 à 0.08 m/s	Plaintes quant à la stagnation de l'air	Aucune
0.13 m/s	Situation idéale	Installation de grand confort
0.13 à 0.25 m/s	Situation agréable mais à la limite du confort pour les personnes assises en permanence	Installation de confort
0.33 m/s	Inconfortable, les papiers légers bougent sur les bureaux	Grandes surfaces et magasins
0.38 m/s	Limite supérieure pour les personnes se déplaçant lentement	Grandes surfaces et magasins
0.38 à 0.5 m/s	Sensation de déplacement d'air important	Installations industrielles et usines où l'ouvrier est en mouvement

(Source: Energie+, 2012)

## 2. Facteurs de confort

## La vitesse de l'air (m/s)

Calcul de la vitesse de l'air pour un espace

**Exemple :**

Considérant un local dont l'air est renouvelé toutes les 10 minutes (soit un taux de renouvellement de 6) par circulation transversale :

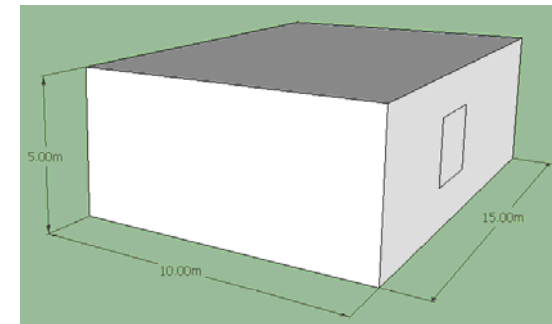
Volume local :  $10 \times 5 \times 15 = 750 \text{ m}^3$

Débit d'air :  $750 \times 6 = 4\,500 \text{ m}^3/\text{h}$

Section déplacement :  $10 \times 5 = 50 \text{ m}^2$

Vitesse de l'air :  $4\,500 \times 1/50 = 90 \text{ m/h} = 0,025 \text{ m/s}$

Mais ce calcul sous-entend un déplacement uniforme de l'air dans la pièce.



## 2. Facteurs de confort

### La vitesse de l'air (m/s)

Pour les températures de locaux comprises entre 21 et 24°C, un déplacement d'air à la vitesse de 0,5 à 1 m/s donne une sensation rafraîchissante confortable à des personnes assises n'ayant que de faibles activités.

Mais lorsqu'on fournit un travail musculaire dans des endroits chauds, des vitesses d'air de 1,25 à 2,5 m/s sont nécessaires pour apporter un soulagement.

On produit parfois des vitesses plus élevées lorsque des hommes sont soumis pour de courtes périodes à une chaleur rayonnante intense. Ce mouvement d'air sera obtenu à l'aide de ventilateurs.

L'effet rafraîchissant ressenti peut être exprimé en fonction de la diminution de la température de l'air qui donnerait le même effet rafraîchissant en air calme.

(Source: Energie+, 2012)

## 2. Facteurs de confort

## La vitesse de l'air (m/s)

Les valeurs données dans le tableau ci-dessous sont extraites du « *Guide pratique de ventilation – Woods* ». Elles sont valables pour des conditions moyennes d'humidité et d'habillement :

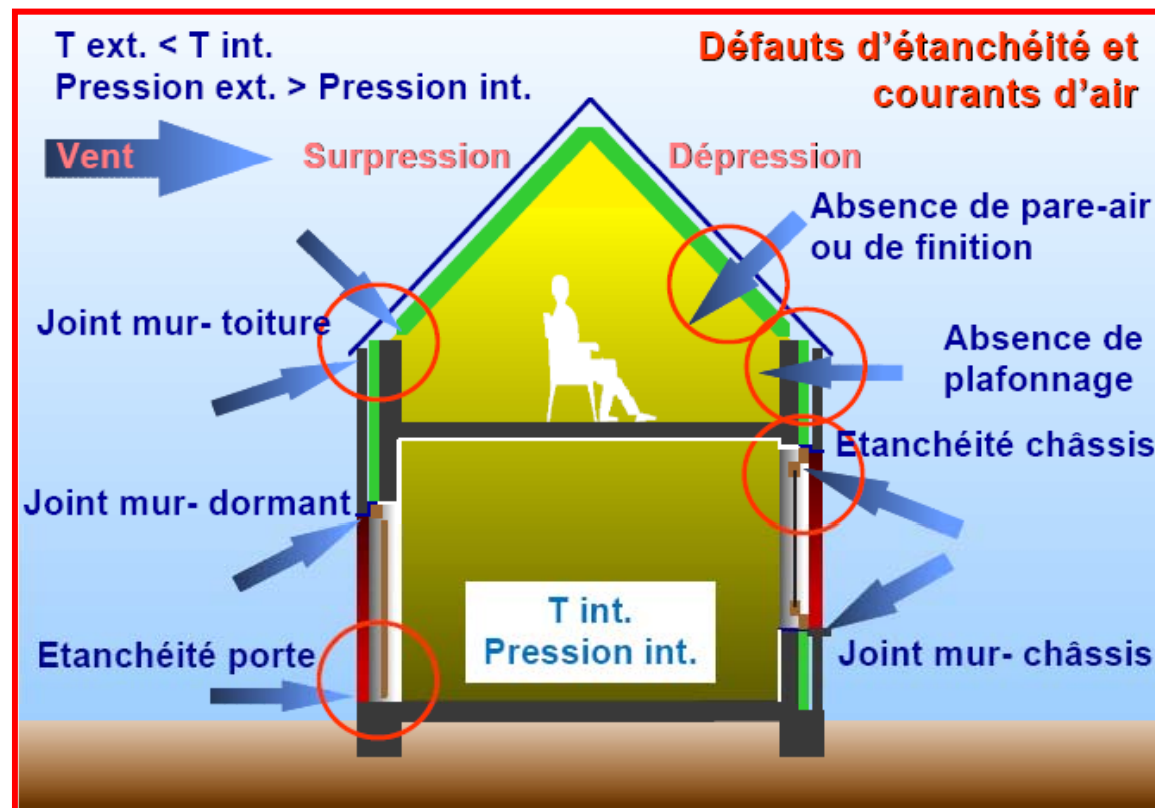
Vitesse de l'air [m/s]	Refroidissement équivalent [°C]
0.1	0
0.3	1
0.7	2
1.0	3
1.6	4
2.2	5
3.0	6
4.5	7
6.5	8

(Source: Energie+, 2012)

## 2. Facteurs de confort

## La vitesse de l'air (m/s)

Le confort des occupants d'un espace peut être considérablement affecté par les défauts d'étanchéité du bâtiment. Car ces défauts sont des sources de courants d'air inconfortable.



(Source: LIÉBARD A. & DE HERDE A., 2005)

## 2. Facteurs de confort

### La vitesse de l'air (m/s)

#### Appareils de mesure :

1) **Anémomètre à fil chaud** : on mesure la quantité d'électricité nécessaire pour que le fil reste à la même température malgré les pertes (valable de 0,05 à 1 m/s).

2) **Anémomètre à palette ou à ailette** : utilisable seulement pour les vitesses élevées (> 1 m/s). Il a une grande inertie et est très directionnel. Il n'est pas utilisable en cas de courants d'air tourbillonnants.





**2. Facteurs de confort****Paramètres liés aux gains thermiques internes**

Les apports internes comprennent toute quantité de chaleur générée dans l'espace par des sources internes autres que le système de chauffage.

Avec l'essor de la technologie et des besoins électriques (éclairage, électroménager,...), les apports de chaleur internes ont fortement augmenté.

Les appareils électriques transforment toute l'énergie qu'ils consomment en chaleur, les postes informatiques sont également de vraies sources de chaleur et les occupants constituent aussi une autre source d'apports internes par leur métabolisme.

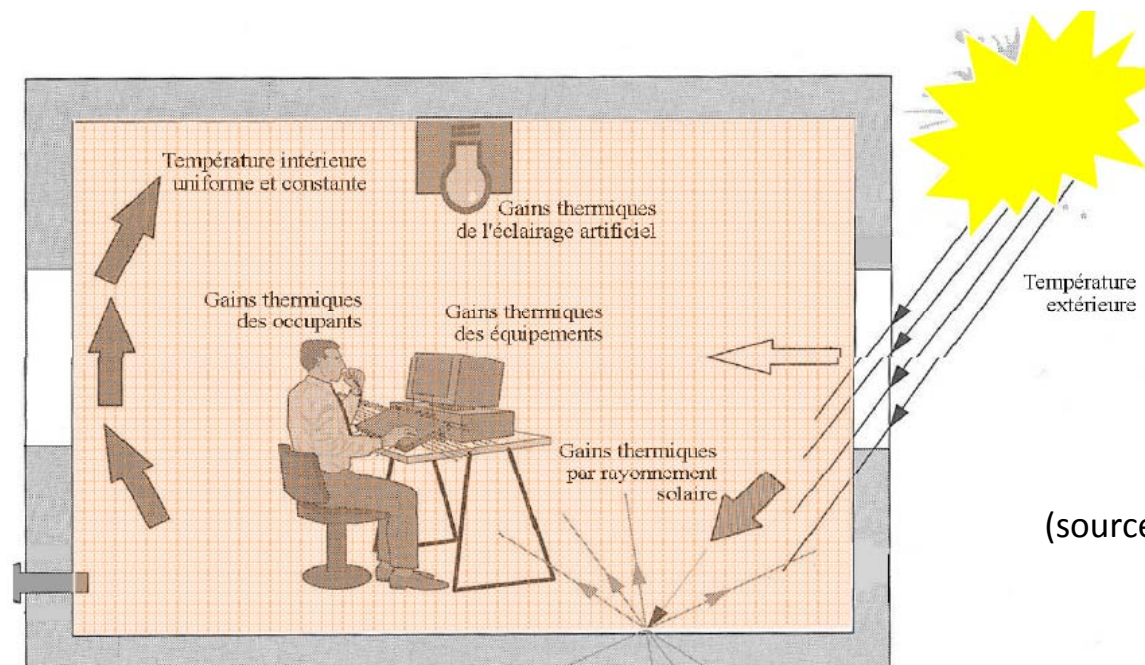
(source: Mazari, 2012)

## 2. Facteurs de confort

### Paramètres liés aux gains thermiques internes

Ces gains de chaleur dépendent du type de bâtiment, du nombre des utilisateurs et de son usage.

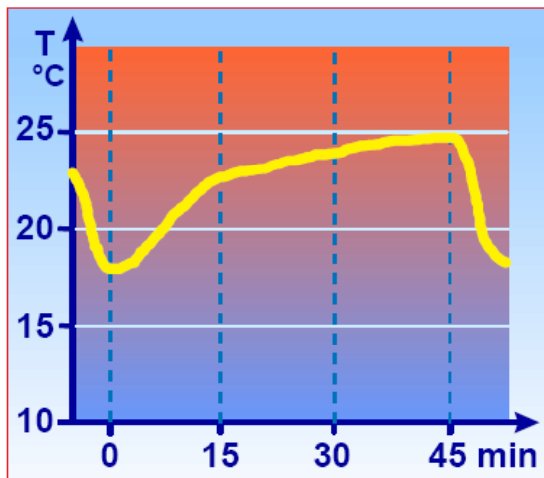
Ces apports sont variables selon le comportement des occupants, et qu'ils constituent un facteur d'aggravation de l'inconfort chaud. Seuls, une bonne ventilation et un comportement adéquat de l'occupant peuvent réduire ces apports.



(source: Mazari, 2012)

## 2. Facteurs de confort

## Paramètres liés aux gains thermiques internes



Evolution des températures due à la présence des occupants, dans une salle de classe.

Les sources de chaleur liées à l'environnement intérieur sont : les occupants, l'éclairage, les appareils électriques ou au gaz et l'évaporation de l'eau.

Par personne :

	W	g/h
assis au repos	114	37
debout au repos	128	46
assis, travail modéré	145	61
debout, travail léger	174	99
travail modéré	197	116
travail actif	232	141
travail intense	290	213
travail pénible	406	319

	W/m <sup>2</sup>	
	inc.	fluo.
résidentiel	10	
écoles	25	12
bureaux	30	16

### Estimation des apports internes

	W	g/h
four électrique	3 000	880
grille-pain	500	140
réfrigérateur	100	-
mach. à laver (5 kg)	6 000	4 320
fer à repasser	500	400
sèche-cheveux	500	230
ordinateur personnel	200	-
machine à écrire	100	-

Estimation des apports internes : chaleur métabolique et équipements.

## 2. Facteurs de confort

### Echelle de variation de la sensation thermique

Cette notion de confort thermique a cependant suscité de nombreuses études visant à la conception d'indices de tolérance ou de confort relatifs à l'ambiance thermique, permettant de prévoir les réactions des individus (confort, inconfort, évolution physiologique) selon les conditions thermiques.

Ceci est particulièrement important pour la conception des postes de travail et du chauffage des bâtiments.

Certaines de ces études ont abouti à la création d'une échelle de variation de la sensation thermique allant du chaud au froid en 7 étapes), différant d'environ 3°C. La zone de confort de cette échelle est susceptible de varier entre 17 et 31°C (sinon davantage) selon les conditions climatiques et l'activité de l'opérateur.

## 2. Facteurs de confort

## Echelle de variation de la sensation thermique

Echelle Bedford	Echelle ASHRAE	Indice numérique
beaucoup trop chaud	chaud	7
trop chaud	tiède	6
confortablement tiède	légèrement tiède	5
confortable	neutre	4 } zone de confort
confortablement frais	légèrement frais	3 }
trop frais	frais	2
beaucoup trop frais	froid	1

Echelles de sensation thermique