

## Chapitre 1 : Le confort



## Sommaire

<b>Les plages de confort</b>	<b>3</b>
Définition	3
Paramètres	3
<b>Les principaux facteurs de confort</b>	<b>5</b>
Diversité des facteurs	5
Domaines concernés	5
<b>Les facteurs de confort liés à la climatisation</b>	<b>6</b>
Cinq facteurs de confort	6
Qualité de l'air	6
Température	8
Humidité relative	12
Vitesse de l'air	12
Niveau sonore	17
<b>Les facteurs de confort liés à l'aménagement du local</b>	<b>18</b>
Trois facteurs de confort	18
Couleur	18
Espace visuel	18
Eclairage	18
<b>Les facteurs de confort liés à la conception du bâtiment</b>	<b>19</b>
Trois facteurs de confort	19
Qualité de l'air	19
Niveau sonore	19
Température	20

## Les plages de confort

### Définition

Après une série de tests auprès d'un échantillonnage de population, des chercheurs ont pu établir des **plages de confort**, c'est-à-dire des zones de température et d'humidité agréables au plus grand nombre.

### Paramètres

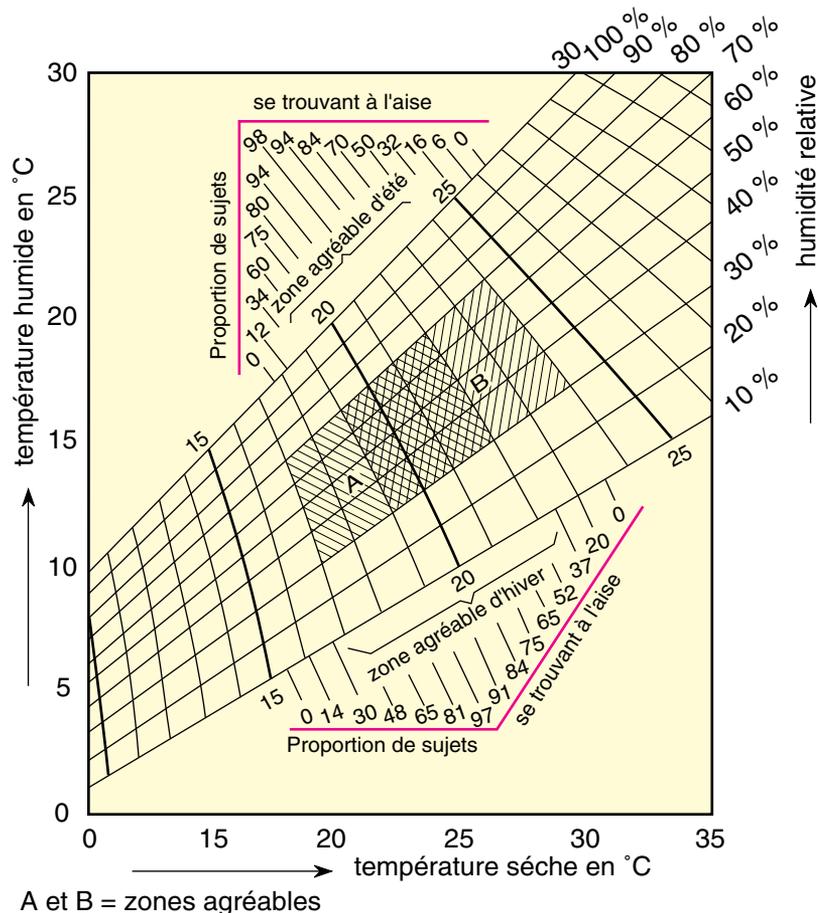
Les diagrammes suivants permettent d'identifier différentes plages de confort. Cependant ils n'établissent pas de lois car la sensation de confort reste subjective.

### Diagramme de température et d'humidité

Le diagramme de température et d'humidité indique les deux plages de confort, A en régime hiver, B en régime été.

Les paramètres retenus sont :

- la température sèche,
- la température humide (ou l'humidité relative).



### Note :

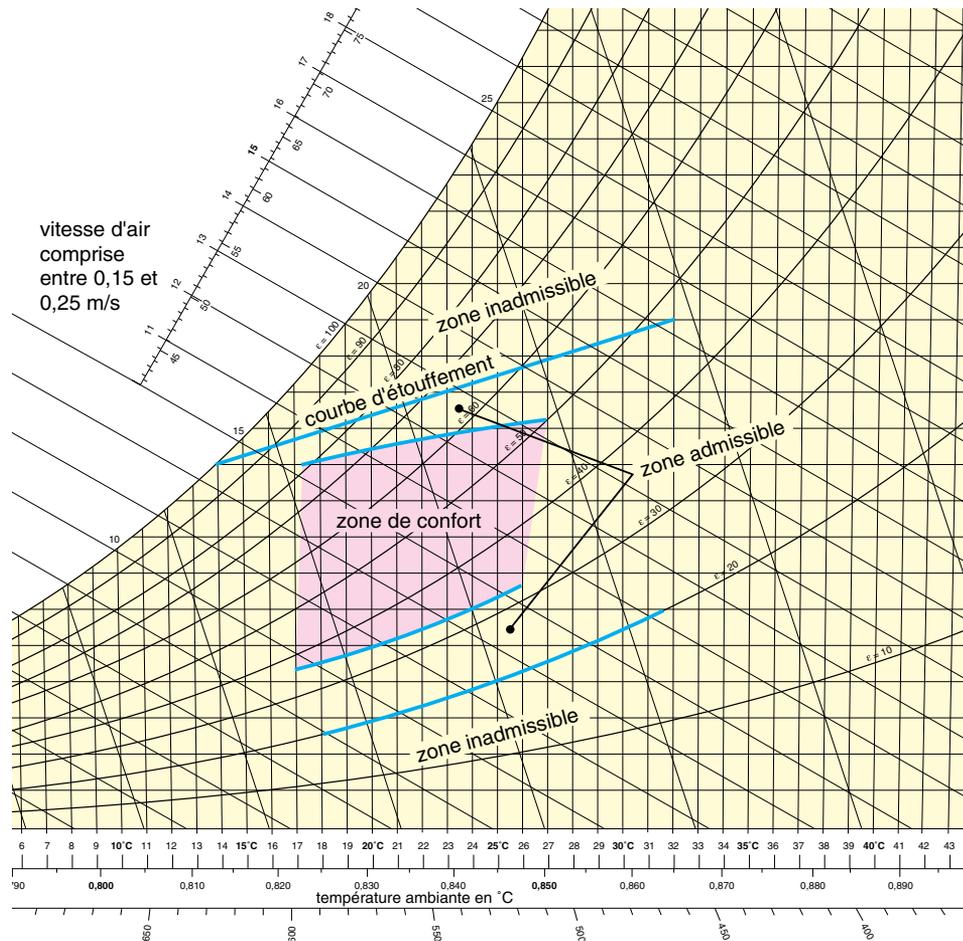
Ce diagramme doit être exploité avec précaution et seulement à titre informatif. Il ne précise pas en effet les conditions précises des tests : type de vêtements, genre d'activité, habitudes des sujets testés...

## Les plages de confort (suite)

### Paramètres (suite)

#### Diagramme de vitesse d'air

Ce deuxième diagramme indique une plage de confort liée à un autre paramètre important, celui de **la vitesse d'air**.



#### Note :

Ce diagramme doit être exploité avec précaution pour les mêmes raisons que précédemment.

#### A titre d'exemple :

Dans une piscine, l'ambiance se situe entre 26° C et 27° C avec une hygrométrie pouvant varier de 60% à 70%. Cela n'entraîne pas de sensation d'étouffement.

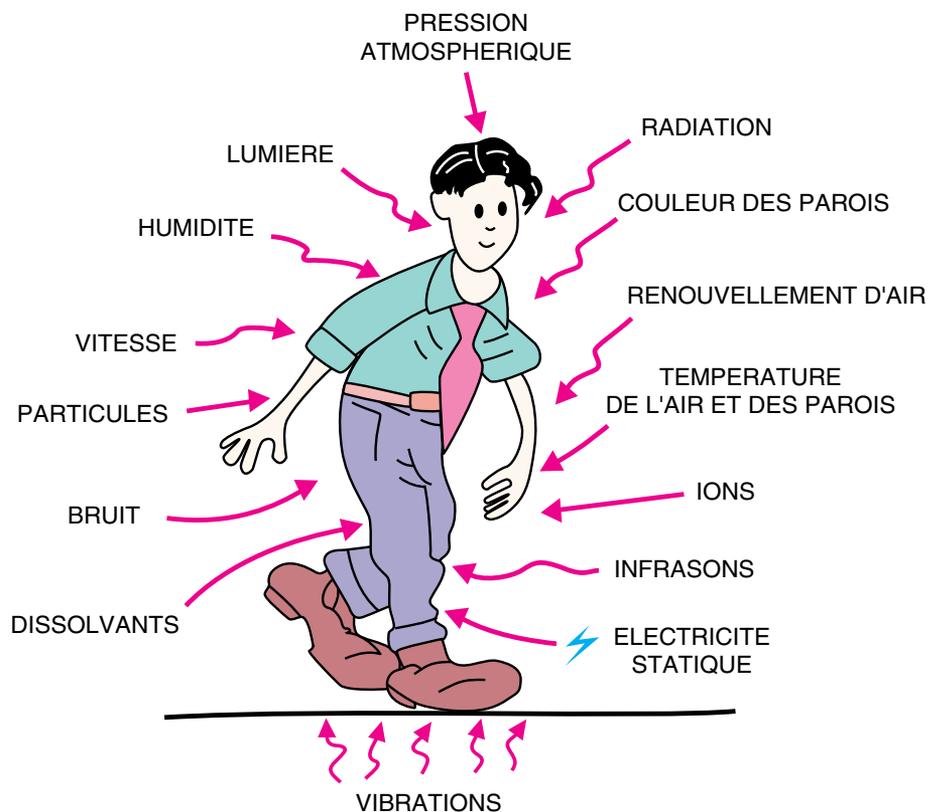
Par contre, une personne assise dans une ambiance à + 18° C avec une humidité de 70% ressent une très forte impression de froid.

## Les principaux facteurs de confort

### Diversité des facteurs

Certains auteurs citent plus d'une quinzaine de paramètres susceptibles d'influer sur la perception de confort.

La figure suivante énumère les **facteurs influents** de confort pour l'être humain :



### Domaines concernés

Ces facteurs de confort peuvent être diversement liés :

- soit à l'**installation de climatisation**,
- soit à l'**aménagement du local**,
- soit à la **conception du bâtiment et à son environnement**.

## Les facteurs de confort liés à la climatisation

### Cinq facteurs de confort

Pour être efficace, l'installation de climatisation doit prendre en compte :

- la **qualité de l'air** (pureté),
- la **température**,
- l'**humidité relative**,
- la **vitesse de l'air**,
- le **niveau sonore**.

### Qualité de l'air

#### Sources de pollution

A l'intérieur d'un local, divers éléments contribuent à la pollution de l'air :

- les **odeurs** diverses : bio-effluents d'origine humaine ou animale, odeurs de cuisine, fumée de tabac, effluves chimiques ...
- la concentration en **gaz carbonique** :  
L'activité humaine entraîne un dégagement de gaz carbonique qui varie selon le type d'activité :
  - travail lourd : 45 l/h de CO<sup>2</sup>
  - travail léger : 25 l/h
  - repos : 20 l/h(La teneur en CO<sup>2</sup> ne doit pas dépasser 0,15 %).
- la surcharge en **poussières** d'origine atmosphérique ou industrielle,
- l'amélioration de l'**étanchéité** des bâtiments récents :  
L'amélioration des bâtiments, qui limite les renouvellements d'air incontrôlés, facilite la concentration des matières plus ou moins nocives et odorantes émises dans leur enceinte.  
Il en résulte une sensation de confinement, voire d'étouffement, qui est parfois insupportable, même lorsque les normes en vigueur sont respectées.

#### Limites des moyens de contrôle

Les recherches récentes du Professeur Fanger concluent à l'existence de produits polluants dont le seuil olfactif est extrêmement bas.

Or ce seuil est capté par l'odorat humain, alors que les moyens de contrôle actuels restent inefficaces.

Ces études débouchent donc sur l'apparition d'une **source de référence** fiable en matière de pollution olfactive : l'odorat humain.

Actuellement, cette théorie est quelque peu controversée.

## Les facteurs de confort liés à la climatisation (suite)

### Qualité de l'air (suite)

#### Mesure de la pollution

Différentes unités permettent de mesurer les bio-effluents humains et les autres sources de pollution :

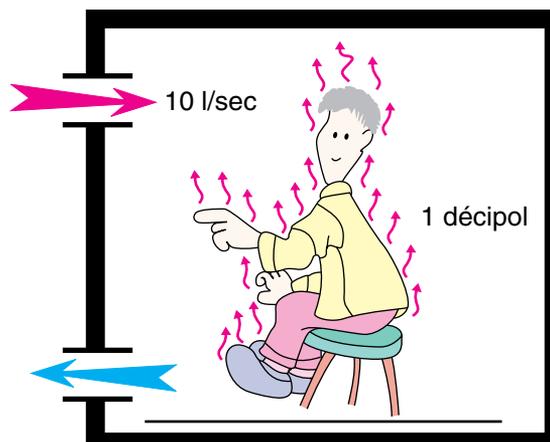
- **L'olf** est l'unité qui mesure la pollution de l'air produite par les bio-effluents d'une personne type :
  - en activité,
  - assise dans une ambiance thermique confortable,
  - respectant les conditions d'hygiène élémentaires (bain tous les 1,6 jours et changement quotidien de sous-vêtements).



- Les **pols** et **décipols** sont les unités qui mesurent l'ensemble des sources de pollution :

Le décipol est ainsi la pollution d'air perçue par une personne type :

- produisant elle-même une pollution de 1 olf,
- évoluant dans une pièce ventilée au taux de 10 l/s d'air neuf.

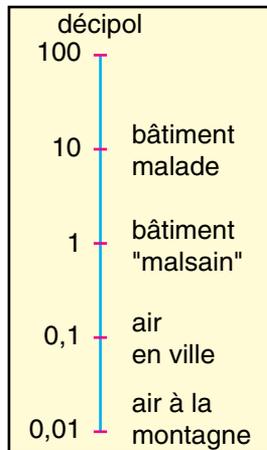


## Les facteurs de confort liés à la climatisation (suite)

### Qualité de l'air (suite)

#### Mesure de la pollution (suite)

L'échelle de pollution suivante propose quelques repères dans la mesure de la pollution :



### Température

#### Niveau de la température

Un écart entre la température de l'ambiance et celle du corps humain est nécessaire pour évacuer les calories produites par le corps :

- En été, l'écart doit être suffisant pour permettre un échange efficace.
- En hiver, il doit être limité pour diminuer les déperditions.

La valeur de la température ambiante est fonction du **type d'activité** (repos, activité normale ou effort violent) et de la **nature des vêtements** :

Activité	Température	
	Tenue légère d'été	Tenue d'intérieur d'hiver
assis au repos	25 à 28°C	21 à 25°C
activité légère assis	23 à 26°C	19 à 23°C
activité debout (sans effort physique)	20 à 24°C	15 à 21°C
activité debout (avec effort physique modéré)	17 à 22°C	11 à 18°C

La norme NF ISO 7730 permet de calculer la température de confort pour différentes valeurs d'activité et de tenue vestimentaire types.

## Les facteurs de confort liés à la climatisation (suite)

### Température (suite)

#### Constance de la température

Des variations trop importantes de température dans l'espace ou dans le temps contribuent à la sensation d'inconfort.

- Variations de température dans l'espace :  
Le professeur Fanger a établi une "**Echelle des sensations thermiques**" basée sur une expérimentation comprenant 1300 sujets.
- Le PMV (vote moyen prévisible) est un facteur qui donne l'avis moyen d'un groupe important de personnes exprimant un vote de sensation thermique en se référant à l'échelle suivante (sept niveaux).

Niveaux	Sensations thermiques
+ 3	chaud
+ 2	tiède
+ 1	légèrement tiède
0	/
- 1	légèrement frais
- 2	frais
- 3	froid

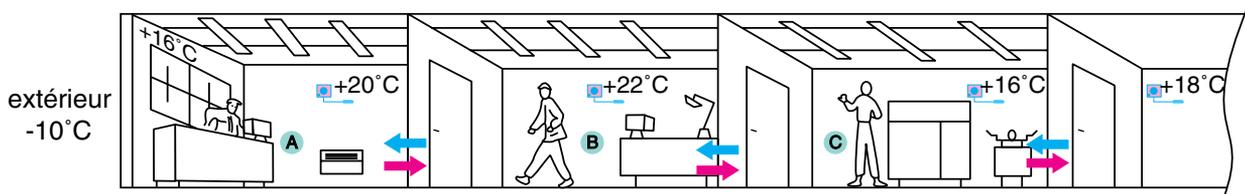
- L'indice PMV peut être déterminé lorsque l'activité (production d'énergie métabolique) et le vêtement (résistance thermique) sont estimés et lorsque les paramètres de l'environnement suivant sont mesurés :
  - température de l'air,
  - température moyenne de rayonnement,
  - vitesse relative de l'air et pression partielle de vapeur d'eau (voir norme ISO 7726).
- L'indice PMV est basé sur un bilan thermique du corps humain. L'homme est un équilibre thermique lorsque la production interne de chaleur dans le corps est égale à la perte de chaleur vers l'ambiance.
- Le corps humain est sensible aux écarts de température.
- Trois facteurs jouent un rôle important :
  - **l'uniformisation de l'ambiance** dans le volume d'évolution de l'individu,
  - la **différence de température entre des locaux contigus**, lorsque l'activité implique le passage de l'un à l'autre,
  - l'influence de la **température de paroi**, lorsque l'activité est sédentaire.

## Les facteurs de confort liés à la climatisation (suite)

### Température (suite)

#### Constance de la température (suite)

Le schéma suivant illustre la sensibilité aux écarts de température :



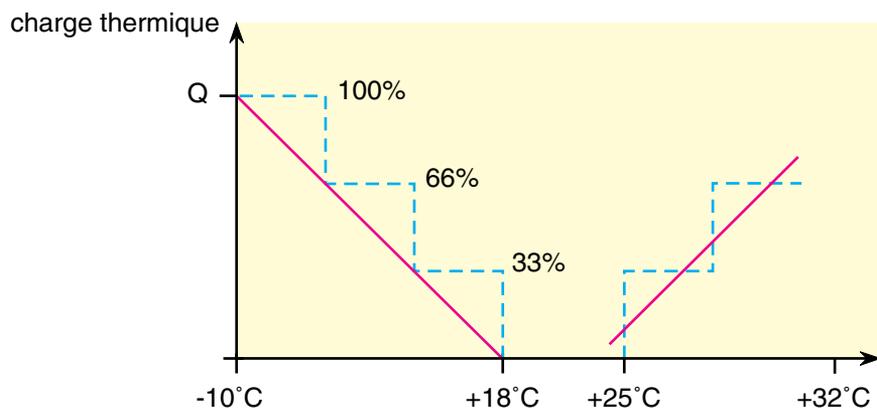
- **A**, qui est assis dos à la paroi froide (+ 16 °C), a une sensation de froid.
- **B** a une sensation de froid en passant de son bureau (+ 22°C) à celui de A (+20°C).
- **C**, qui travaille debout à un poste non sédentaire, est à l'aise dans son bureau (+ 16°C) ; en revanche, il a une sensation de chaleur en pénétrant dans le bureau de B (+22°C).

- **Variations de température dans le temps :**

Les variations brutales de température à l'intérieur d'une même enceinte sont également cause d'inconfort.

Exemple :

Lors de la réduction de puissance d'une thermo-frigo-pompe en détente directe, l'étagement des puissances fournies n'est pas toujours en adéquation avec l'évolution des charges thermiques :

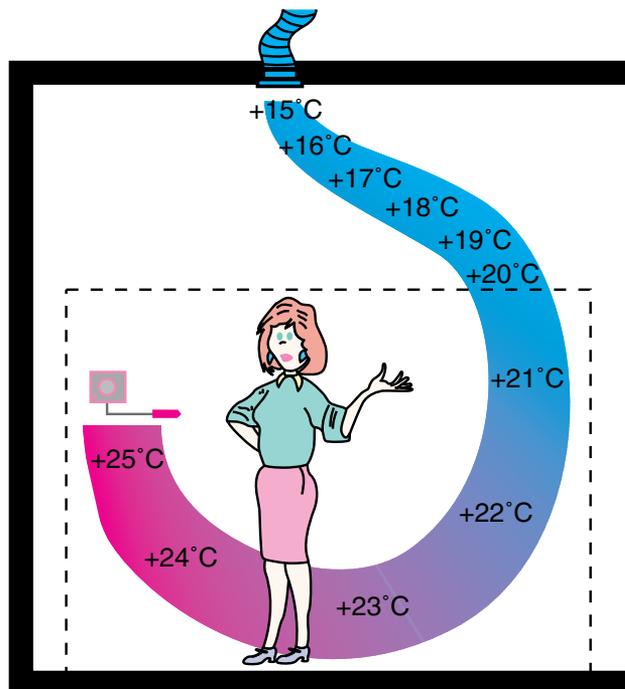


## Les facteurs de confort liés à la climatisation (suite)

### Température (suite)

#### Température de l'air soufflé

L'échelle des sensations thermiques (voir page 9), fondée sur la perception de l'air au niveau du sujet, interfère avec la "température de soufflage". Autrement dit, elle interfère avec **l'évolution du gradient de température** entre le soufflage et le volume dans lequel évolue le sujet. L'air chaud monte vers le plafond. Il réchauffe rapidement l'air froid soufflé par les bouches. La température dans le volume où évolue le sujet doit se situer dans la plage de confort.



**Important** : Il apparaît immédiatement que la **répartition des charges thermiques** et le **mode de diffusion de l'air** vont jouer un rôle essentiel dans la sensation de confort.

## Les facteurs de confort liés à la climatisation (suite)

### Humidité relative

L'humidité relative est perçue différemment selon la température du local :

Température	Effets de l'humidité relative
Température moyenne	L'humidité relative a une influence limitée dans les températures de la zone moyenne de confort (20 à 30°C) où elle peut varier de 40 à 60 %.
Haute température	<ul style="list-style-type: none"><li>• Une humidité relative haute crée une sensation d'étouffement.</li><li>• Une humidité relative basse provoque une sensation de dessèchement, surtout au niveau des muqueuses.</li></ul>
Basse température	<ul style="list-style-type: none"><li>• Une humidité relative haute provoque une réaction frileuse.</li><li>• Une humidité relative basse dessèche la gorge.</li></ul>

Par ailleurs, une ambiance très sèche (humidité absolue basse) favorise le phénomène d'électricité statique.

### Vitesse de l'air

Le corps humain est excessivement sensible à la vitesse de l'air et notamment à la sensation de **courant d'air**.

#### Données de l'expérience

Nous savons par expérience que la sensation de courant d'air dépend :

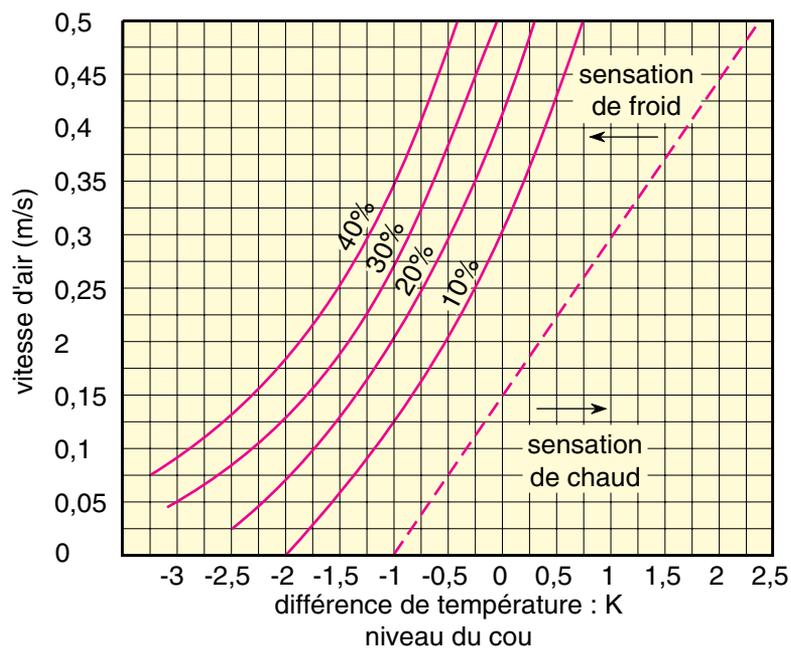
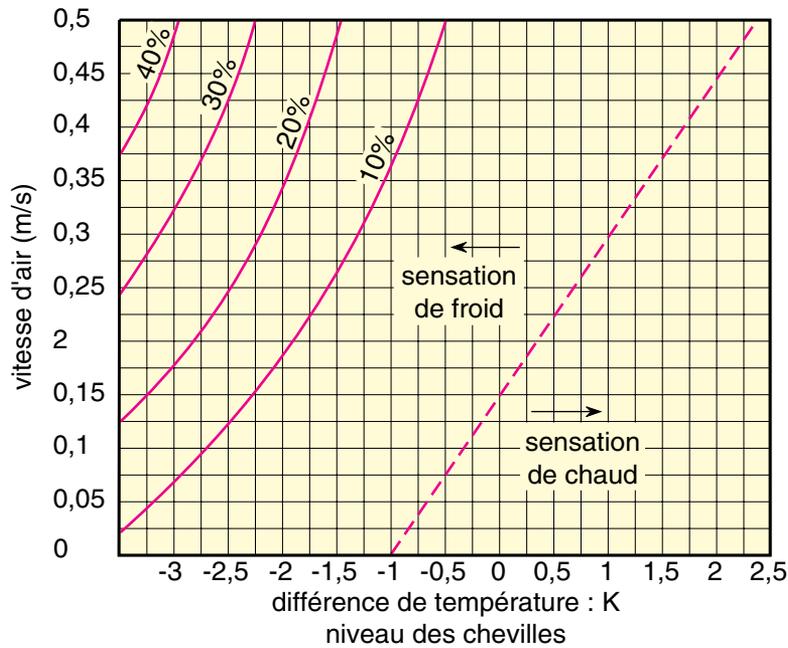
- du **type d'activité** : une personne assise est beaucoup plus sensible aux courants d'air qu'une autre en mouvement,
- du **type de vêtement** porté : la protection en est plus ou moins efficace.

## Les facteurs de confort liés à la climatisation (suite)

### Vitesse de l'air (suite)

#### Courbes de Houghten

Les diagrammes ci-après indiquent le pourcentage d'insatisfaits en fonction de la différence de température et en fonction de la vitesse d'air dirigé au niveau des chevilles pour le premier diagramme et au niveau du cou pour le second.



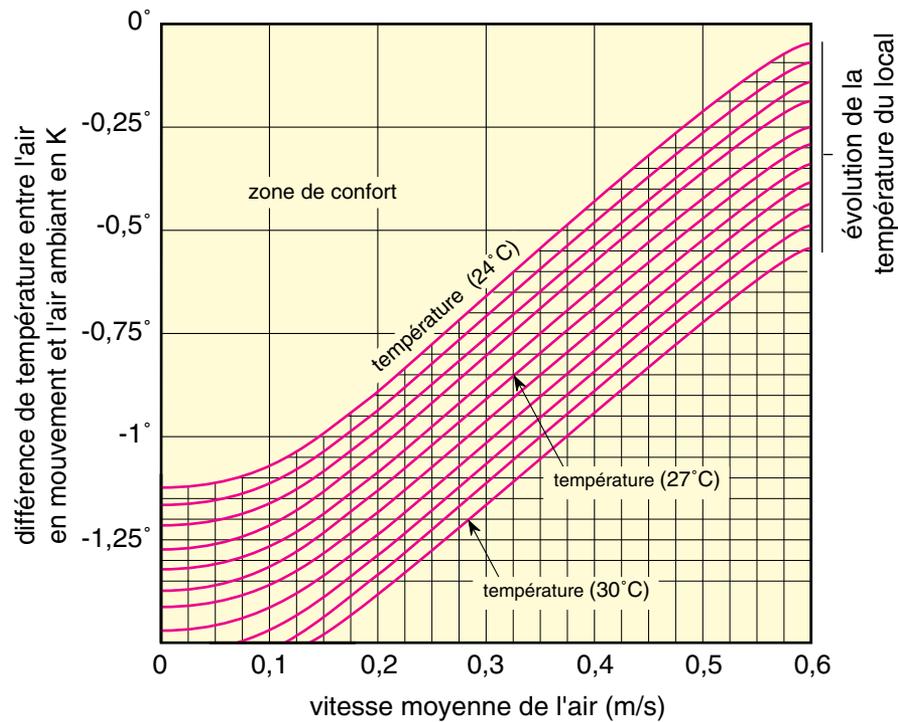
## Les facteurs de confort liés à la climatisation (suite)

### Vitesse de l'air (suite)

#### *Courbes de Nelson et Stewart*

On constate, sur le diagramme suivant, que pour une différence de température de 0,5 K la **vitesse maximale admissible** de l'air est de :

- 0,5 m/s pour une ambiance de 27 °C
- 0,375 m/s pour une ambiance de 24°C



#### Note :

Cette expérience doit être exploitée avec précaution car elle est incomplète : échantillonnage limité et peu diversifié, observations insuffisantes.

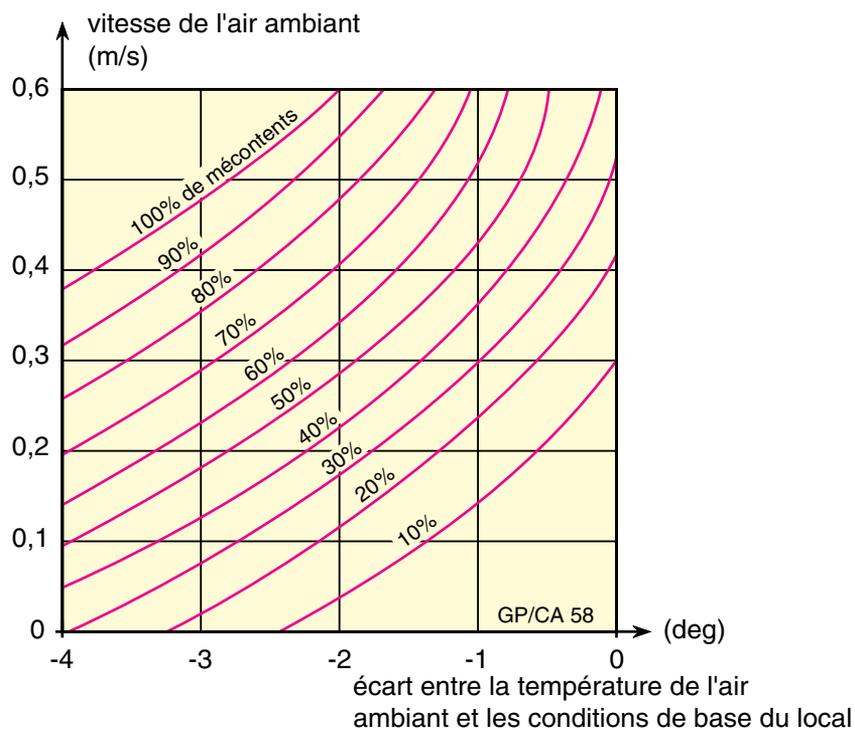
## Les facteurs de confort lié à la climatisation (suite)

### Vitesse de l'air (suite)

#### *Courbes de Houghten et Reinmann*

Les chercheurs Houghten et Reinmann associent la sensation de courant d'air aux **variations de la température d'air soufflé**.

Le diagramme suivant montre l'évolution du pourcentage de sujets mécontents en fonction de la vitesse et de l'écart de température d'air soufflé.



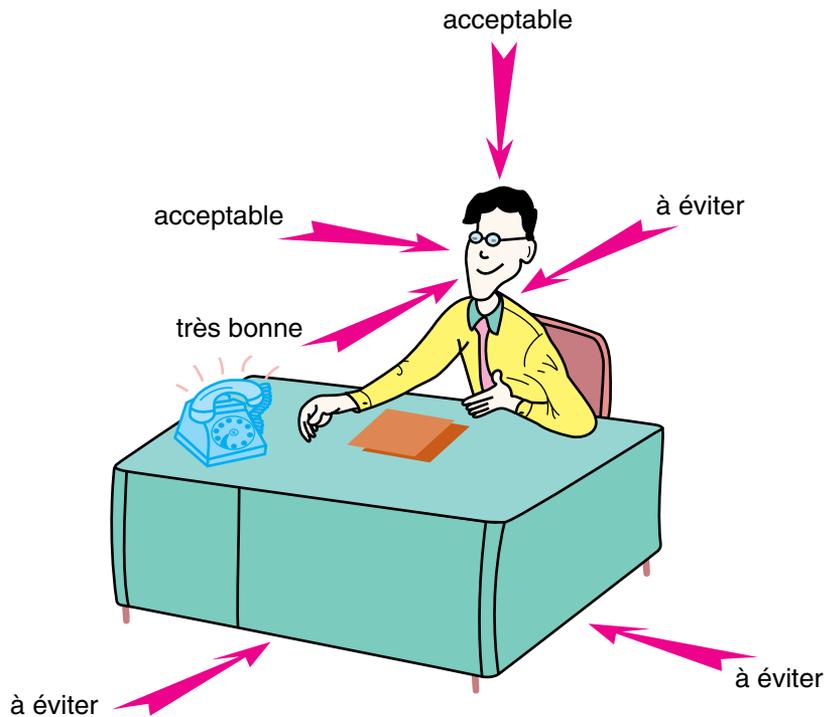
Note : dans certains pays tropicaux, les ventilateurs plafonniers utilisés provoquent un brassage qui entraîne une augmentation de la vitesse d'air. Il en résulte une intensification de l'évaporation cutanée qui provoque un rafraîchissement du corps.

## Les facteurs de confort lié à la climatisation (suite)

### Vitesse de l'air (suite)

**Remarque** Avec la notion de vitesse d'air, intervient celle des **zones sensibles** du corps humain. Certaines parties du corps non protégées par des vêtements sont particulièrement fragiles et sensibles aux courants d'air : chevilles, nuque, cheveux...

La disposition des bouches de diffusion doit tenir compte du phénomène.



## Les facteurs de confort liés à la climatisation (suite)

---

### Niveau sonore

#### *Sources de nuisance*

L'installation de climatisation peut parfois entraîner une nuisance sonore :

- bruit **d'air**,
- bruit **d'eau**,
- bruit **mécanique**.

Parfois même, l'intermittence du bruit augmente la nuisance car elle crée un effet de surprise.

#### *Matériels d'installation concernés*

Cette nuisance sonore est à prendre en considération pour tous les types d'installation :

- matériel de climatisation implanté **à l'extérieur** des bâtiments (risque de gêne pour le voisinage et pour l'utilisateur),
- matériel de climatisation installé **à l'intérieur** des locaux (risque de gêne pour les locaux desservis, ou pour des locaux non desservis traversés par les gaines ou les tuyauteries).

## Les facteurs de confort liés à l'aménagement du local

---

### Trois facteurs de confort

L'aménagement intérieur d'un local contribue beaucoup au confort de ses occupants mais reste indépendant de l'installation de climatisation.

Trois facteurs concourent au bien-être :

- la **couleur**,
- l'**espace visuel**,
- l'**éclairage**.

---

### Couleur

Les couleurs chaudes ou froides des peintures et des revêtements muraux jouent un rôle essentiel sur le plan psychologique.

---

### Espace visuel

L'impression d'espace visuel résulte :

- des dimensions du local et de ses proportions,
- de la présence ou non de la lumière du jour (des locaux "aveugles" ou des fenêtres "condamnées" sont souvent très désagréables).

---

### Eclairage

La luminosité du local et le choix des appareils d'éclairage contribuent non seulement au confort, mais aussi à l'efficacité du travail et à la sécurité.

## Les facteurs de confort liés à la conception du bâtiment

---

### Trois facteurs de confort

Les facteurs de confort liés à la conception d'un bâtiment sont, en grande partie, ceux de l'installation de climatisation évoqués précédemment :

- la **qualité de l'air**,
- le **niveau sonore**,
- la **température**.

C'est pourquoi, dès l'étude préalable à la construction, il faut vérifier l'adéquation entre le futur bâtiment et le type de climatisation que l'on veut installer - surtout s'il s'agit d'une installation industrielle de précision.

---

### Qualité de l'air

La qualité des **huisseries** et l'étanchéité des **parois** réduisent la pollution externe.

---

### Niveau sonore

La composition des **parois** et l'inertie des **matériaux** de revêtement ont également un effet sur le niveau sonore.

Il est important d'aborder ce sujet dès l'origine de la démarche.

Par exemple, la réalisation d'un studio d'enregistrement ou d'un auditorium suppose un bâtiment qui, au niveau de sa conception architecturale prend en compte tous les aspects acoustiques. Si les parois ne permettent pas de stopper la majeure partie des bruits extérieurs, il y a lieu de reprendre l'étude acoustique du bâtiment.

Cette démarche doit, de préférence, avoir lieu avant même de concevoir l'installation de climatisation.

Elle incombe généralement à l'architecte et à l'acousticien du maître d'ouvrage.

## Les facteurs de confort liés à la conception du bâtiment (suite)

### Température

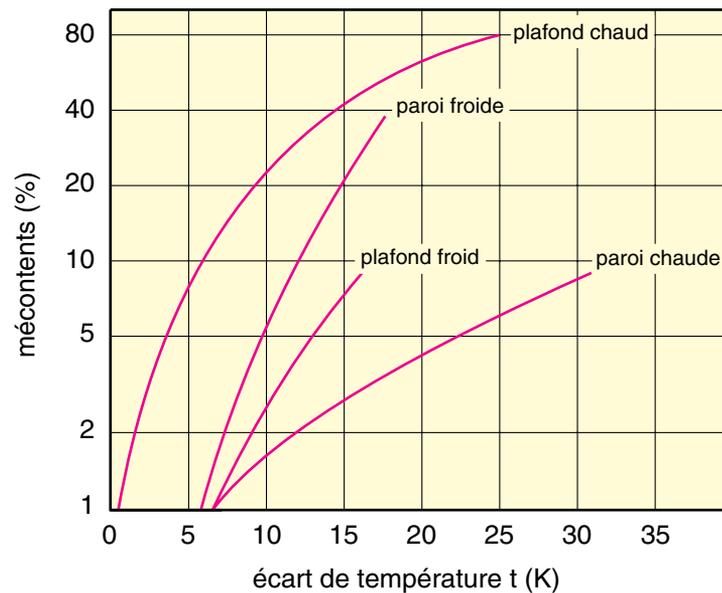
L'**isolation thermique** du bâtiment, ainsi que l'épaisseur et la nature des **vitrages** ont une conséquence directe sur la température ambiante. L'insolation directe à travers les vitrages est à étudier (notion de stores).

### Effet de rayonnement des parois

En outre, il est indispensable d'attirer l'attention des concepteurs sur l'effet de **rayonnement des parois** du local :

- Les parois froides ont un effet de refroidissement par rayonnement.
- L'asymétrie de rayonnement, c'est-à-dire l'incidence de surfaces à des températures différentes, est mal supportée, notamment en cas de plafond chaud.

Le diagramme ci-dessous indique le taux de mécontentement des occupants d'un local en fonction de la température de rayonnement des parois et des plafonds :



Il est donc important de connaître la nature des parois et de l'isolation pour calculer les températures de surface des parois.