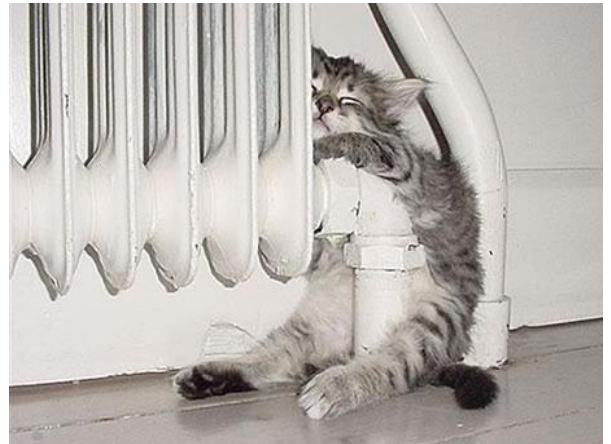


LE CONFORT THERMIQUE DANS LES BATIMENTS

1 – CONFORT ET TEMPERATURE

Le confort thermique est défini comme « un état de satisfaction du corps vis-à-vis de l'environnement thermique ».

Dans les conditions habituelles, l'homme est un homéotherme, il assure le maintien de sa température corporelle autour de 36,7°C. Cette température est en permanence supérieure à la température d'ambiance, aussi un équilibre doit-il être trouvé afin d'assurer le bien-être de l'individu.



1.1 – Bilan thermique chez l'homme

La stabilité de la température corporelle chez l'homme impose un équilibre entre la production de chaleur endogène (à l'intérieur du corps), résultat du métabolisme (M) de base, du travail physique (W) et des pertes de chaleur par échange, vers le milieu extérieur. L'équation du bilan thermique à l'équilibre met en jeu beaucoup de phénomènes interactifs. Elle peut s'écrire sous la forme :

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

H : Production de chaleur interne du corps (en W/m^2) ;

C_{res} : Echange de chaleur au niveau des voies respiratoires par convection (en W/m^2) ;

E_{res} : Echange de chaleur au niveau des voies respiratoires par évaporation (en W/m^2) ;

K : Echange de chaleur au niveau de la peau par conduction (en W/m^2) ;

C : Echange de chaleur au niveau de la peau par convection (en W/m^2) ;

R : Echange de chaleur au niveau de la peau par rayonnement (en W/m^2) ;

E : Echange de chaleur au niveau de la peau par évaporation (en W/m^2).

Au repos, la totalité de l'énergie consacrée au métabolisme M est transformée en chaleur.

Dans ce cas : $H = M$

Dans le cas d'une activité physique, une fraction de cette énergie liée à l'activité peut être transformée en travail mécanique W .

Dans ce cas $H = M - W$

Répartition approximative de la diffusion de chaleur entre l'individu et l'ambiance :

Environ 60 % 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 %).

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

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



2 – LE CONFORT THERMIQUE

C'est une appréciation subjective (sensation). La prise en compte du confort thermique dans les bâtiments se fait avec des méthodes et des outils élaborés à partir d'approches statiques, simplifiant la complexité des phénomènes interactifs.

Dans les bâtiments, les modèles du confort thermique les plus couramment utilisés sont celui de Fanger [ISO 7730: 1994], le PMV et PPD, et celui de Gagge [ASHRAE Handbook].

Le modèle de Fanger a servi de base pour la norme internationale ISO 7730 qui porte sur les conditions de confort dans les ambiances thermiques modérées, et celui de Gagge pour la norme américaine ASHRAE standard 55 qui lui aussi précise les conditions de confort thermique dans les bâtiments.

2.1 – Indice PMV (Predicted Mean Vote) et PPD (Predicted Percentage Dissatisfied)

Le **PMV** est un « *indice de vote moyen prévisible* » et le **PPD** un « *pourcentage prévu d'insatisfaits* ».

Fanger a défini trois conditions pour qu'une personne soit en situation de confort thermique :

- Un bilan thermique équilibré ;
- Une évaporation sudorale située dans les limites du confort ;
- Une température moyenne de la peau située dans les limites de confort.

Dans ces conditions, l'équation du bilan thermique obtenue n'est fonction que de 6 paramètres primaires :

- 1 - Le métabolisme M** (en W/m^2), 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 – Le clo** , l'unité d'isolement vestimentaire ($1\ clo = 0,155\ ^\circ C.m^2/W$). L'habillement 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 de rayonnement des parois T_p .**
- 5 - L'humidité relative de l'air (HR)**, qui est le rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température t_a et la quantité maximale d'eau contenue à la même température.
- 6 - La vitesse de l'air V_a** , qui influence les échanges de chaleur par convection. Dans le bâtiment, les vitesses de l'air ne dépassent généralement pas **0,2 m/s**.

2.1.1 – PMV (indice de vote prévisible)

En écrivant le bilan thermique, l'indice **PMV** (*indice de vote moyen prévisible*) décrit la sensation thermique en fonction de l'écart du flux de chaleur cédé par le corps à l'environnement par rapport à celui qui correspondent aux conditions de confort.

L'indice **PMV** donne l'avis moyen d'un groupe important de personnes (*plus de 1000*) qui exprimeraient un vote de sensation de confort thermique en se référant à l'échelle subjective comportant 7 points de « très chaud » à « très froid » :

Une valeur de **PMV** de **zéro** exprime une sensation de confort thermique optimale.

Une valeur de **PMV négative** signifie que la température est plus basse que la température idéale.

Réciproquement, une **valeur positive** signale qu'elle est plus élevée.

On considère que la zone de confort thermique s'étale de la sensation de légère fraîcheur (- 1) à la sensation de légère chaleur (+ 1), soit de -1 à + 1.

+3	chaud
+2	tiède
+1	légèrement tiède
0	neutre
-1	légèrement frais
-2	frais
-3	froid

La norme ISO 7730 comporte des tables donnant la valeur du **PMV** en fonction :

- Du métabolisme **M** (en W/m²) ;
- De l'isolement vestimentaire : le **clo** (1 clo = 0,155 °C.m²/W) ;
- De la vitesse de l'air **Va** (en m/s) ;
- De la température opérative **T_{opérative}** (en °C).

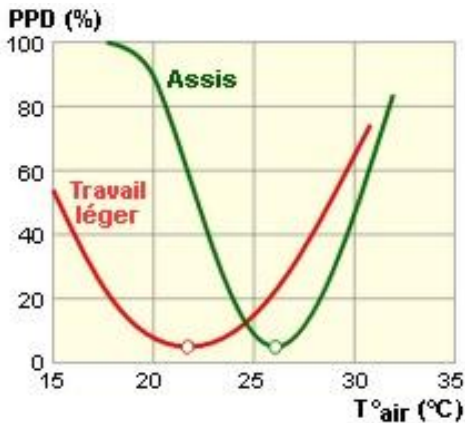
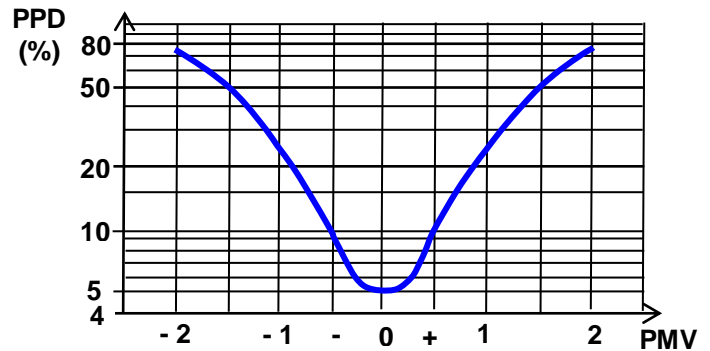
2.1.2 – PPD (pourcentage prévu des insatisfaits)

La sensation thermique n'étant pas suffisante pour exprimer le confort, Fanger a proposé un autre indice qui complète le **PMV**, le « **PPD** » (*pourcentage prévu des insatisfaits*).

$$PPD = 1 - 0,95 \exp(-0,00353 PMV^4 - 0,2179 PMV^2)$$

Cet indice permet de prévoir le pourcentage des insatisfaits à une sensation donnée en fonction du **PMV**.

Les indices **PPD** et **PMV** sont liés par une relation dont il ressort qu'aucune condition thermique ne peut satisfaire 100% des individus et que **dans le cas le plus favorable il subsiste 5% d'insatisfaits**.



La figure ci-contre représente le **PPD** en fonction de la température de l'air pour des groupes de personnes occupés soit à des travaux sédentaires (assis), soit des travaux légers, les autres paramètres étant constants.

Ces courbes montrent qu'une augmentation du métabolisme de travail se traduit par le glissement du minimum de la courbe **PPD** vers des températures plus basses (*plus de chaleur à perdre*) et l'étalement de cette courbe. On constate que pour un travail sédentaire, la température optimum se situe aux alentours de 26°C, et pour un travail léger vers 22°C.

Les sujets ayant un métabolisme de travail plus léger sont plus sensibles sur le plan du confort à de faibles variations de températures ambiantes.

2.1.3 – La température opérative T_{opérative}

De façon simplifiée, on définit une température de confort ressentie (appelée aussi "température opérative" ou "température résultante sèche") :

$$T^{\circ}_{opérative} = \frac{(T^{\circ}_{air} + T^{\circ}_{paroi})}{2}$$

Cette relation simple s'applique pour autant que la vitesse de l'air ne dépasse pas 0,2 m/s.

Ainsi, le lundi matin, la température des parois est encore basse et le confort thermique risque de ne pas être atteint malgré la température de l'air de 20 ou 21°C...

Exemple : pour une activité debout avec un métabolisme de 95 W/m², une humidité relative de 50%, une vitesse relative de 0,2 m/s, la **T_{opérative}** pour une personne vêtue d'un **clo** est d'environ 19 °C.

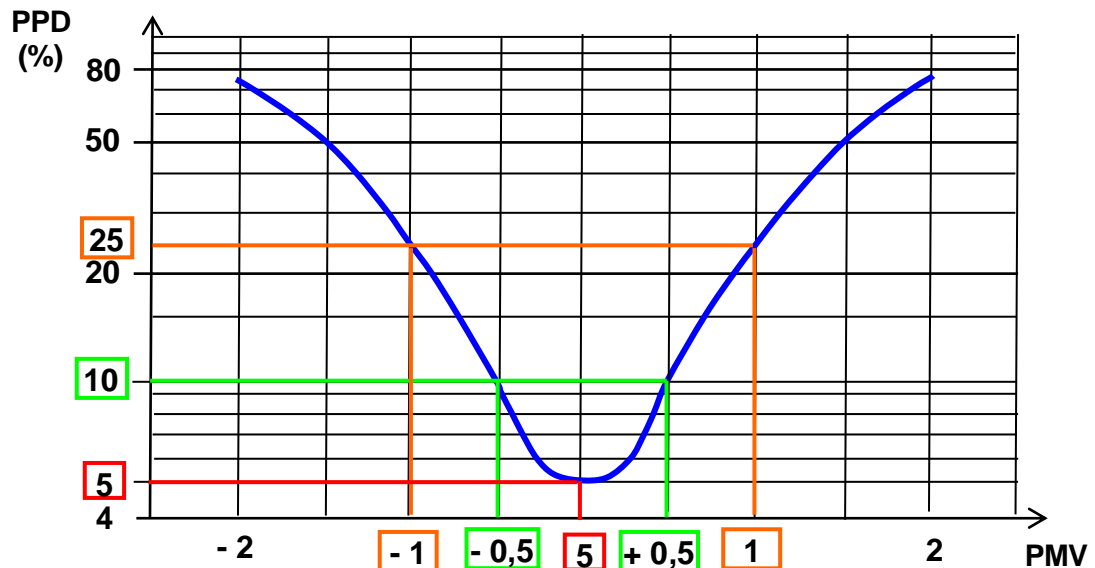
2.1.4 – Mise en évidence des zones de confort thermique

A cause de différences physiologiques, il s'avère impossible de satisfaire l'ensemble d'une population en réunissant des conditions idéales pour tous. Il est par contre possible de créer un environnement dans lequel le nombre d'insatisfait est minimum.

La figure ci-dessous montre qu'avec un **PMV** nul on arrive à satisfaire le 95% de la population, soit un état de confort thermique optimal, il y a encore 5 % d'insatisfaits.

Généralement, on se contente de satisfaire le 90% des gens (ce qui est généralement l'objectif à atteindre dans un bâtiment), ce qui veut dire que l'on accepte des valeurs du PMV comprises entre **- 0,5** et **+ 0,5**.

Un **PMV** de **- 1** ou **+ 1**, entraîne un indice d'insatisfaction de la population (**PPD**) de près de 25 %.



2.1.5 - L'estimation du niveau d'habillement

Le niveau d'habillement des occupants est caractérisé par sa résistance thermique aux échanges (en °C.m²/W). L'unité d'isolement vestimentaire est le "clo", (1 clo = 0,155 °C.m²/W).

Tenue vestimentaire	Repère en « clo »	R en m ² .°C/W
Nu	0	0
Short	0,1	0,0155
Tenue tropicale type : short, chemise à col ouvert et à manches courtes, chaussettes légères et sandales.	0,3	0,046
Tenue d'été légère (pantalon léger, chemise à col ouvert et à manches courtes, chaussettes légères et chaussures)	0,5	0,0775
Tenue de travail légère (chemise de travail en coton à manches longues, pantalon de travail, chaussettes de laine et chaussures)	0,7	0,108
Tenue d'intérieur pour l'hiver (chemise à manches longues, pantalon, pull-over à manches longues, chaussettes épaisses et chaussures)	1	0,155
Tenue de ville traditionnelle (complet avec pantalon, gilet et veston, chemise, chaussettes de laine et grosses chaussures)	1,5	0,232

2.1.6 - L'évaluation du niveau d'activité M en W/m²

Diverses valeurs du métabolisme sont indiquées ci-après pour diverses activités.

Activité	M en W/m ²	met
Repos, couché	45	0,8
Repos, assis	58	1
Repos, debout	70	1,2
Activité légère, assis (bureau, domicile, école, laboratoire)	70	1,2
Activité debout (achat, laboratoire, industrie légère)	95	1,6
Activité debout (vendeur, travail ménager, travail sur machines)	116	2,0
Activité moyenne (travail lourd sur machine, travail de garage)	165	2,8

1 *met* (équivalent métabolique) = 3,5 ml d'O²/kg par min

2.1.7 - Le calcul du niveau de confort

Les mesures étant réalisées, le niveau d'habillement et le niveau d'activités étant connus, il est alors possible de déterminer où se situe la température opérative effective par rapport à l'optimum de confort.

De façon plus précise, des tableaux repris dans la norme donnent l'indice *PMV* en fonction de la vitesse relative de l'air pour un habillement et une température opérative donnés, lorsque l'humidité relative est de 50 %. Nous reprenons ci-dessous un exemplaire de ces tableaux pour la situation la plus fréquente en hiver. Dans celui-ci est mise en évidence (zone colorée) la zone de confort thermique pour un indice *PMV* situé entre - 0,5 et + 0,5, c'est-à-dire pour 10 % d'insatisfaits.

Hab. H (clo)	Temp. opér. To (°C)	PMV suivant la vitesse relative de l'air (m/s) - Niveau d'activité M = 70 W/m ² -								
		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50
0,5 (été)	18	-2,01	-2,01	-2,17	-2,38	-2,70				
	20	-1,41	-1,41	-1,58	-1,76	-2,04	-2,25	-2,42		
	22	-0,79	-0,79	-0,97	-1,13	-1,36	-1,54	-1,69	-2,17	-2,46
	24	-0,17	-0,20	-0,36	-0,48	-0,68	-0,83	-0,95	-1,35	-1,59
	26	0,44	0,39	0,26	0,16	-0,01	-0,11	-0,21	-0,52	-0,71
	28	1,05	0,96	0,88	0,81	0,70	0,61	0,54	-0,31	-0,16
	30	1,64	1,57	1,51	1,46	1,39	1,33	1,29	1,14	1,04
1,0 (hiver)	32	2,25	2,20	2,17	2,15	2,11	2,09	2,07	1,99	1,95
	16	-1,18	-1,18	-1,31	-1,43	-1,59	-1,72	-1,82	-2,12	-2,29
	18	-0,75	-0,75	-0,88	-0,98	-1,13	-1,24	-1,33	-1,59	-1,75
	20	-0,32	-0,33	-0,45	-0,54	-0,67	-0,76	-0,83	-1,07	-1,20
	22	0,13	0,10	0,00	-0,07	-0,18	-0,26	-0,32	-0,52	-0,64
	24	0,58	0,54	0,46	0,40	0,31	0,24	0,19	0,02	-0,07
	26	1,03	0,98	0,91	0,86	0,79	0,74	0,70	0,57	0,50
28	1,47	1,42	1,37	1,34	1,28	1,24	1,21	1,12	1,06	
30	1,91	1,86	1,83	1,81	1,78	1,75	1,73	1,67	1,63	

2.2 - Exemple

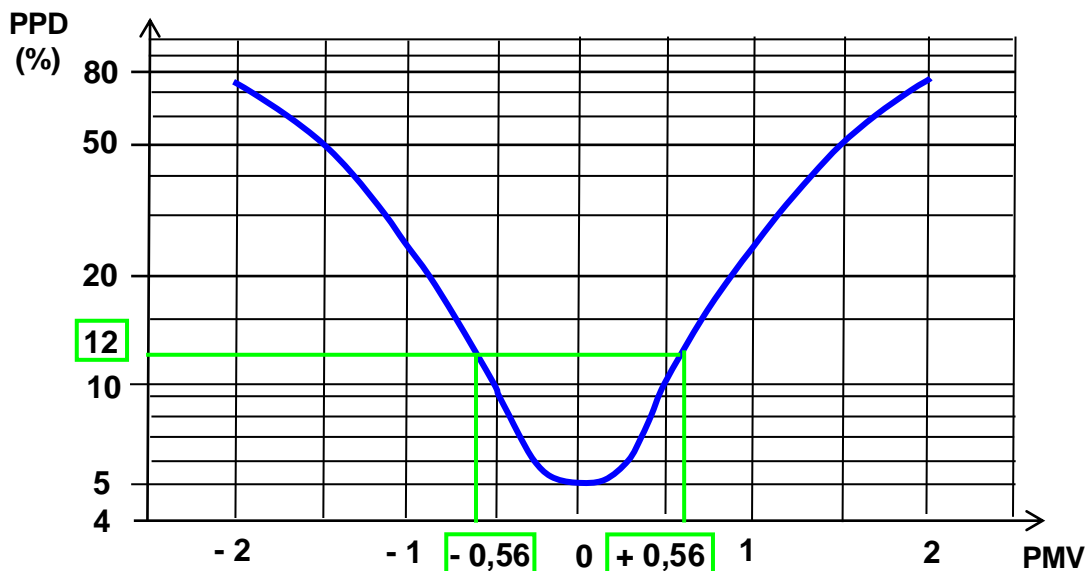
Dans un local de bureau où l'activité est légère et s'effectue en position assise, le métabolisme est supposé être de 70 W/m^2 ou $1,2 \text{ met}$. Supposons être en présence d'une personne en tenue d'intérieur pour l'hiver correspondant à un habillement de 1 clo . Les différentes mesures des paramètres physiques de l'ambiance donnent 20°C pour la température de l'air, 19°C pour la température moyenne de surface des parois, une humidité relative de 50% et une vitesse de l'air de $0,15 \text{ m/s}$.

$$T^{\circ}_{\text{opérative}} = \frac{(20 + 19)}{2} = 19,5^\circ\text{C}$$

En se référant au tableau de la norme ci-dessus, on en déduit que l'indice PMV :

$$PMV = -0,88 + 1,5 \left(\frac{0,88 - 0,45}{2} \right) = -0,557$$

Pour cette valeur, le diagramme **PPD/PMV** donne une prévision de 12% de personnes insatisfaites par rapport à l'ambiance thermique du local.



Cherchons le confort optimal :

Dans le cas de la détermination de la température d'ambiance optimale, l'objectif est de déterminer la température opérative optimale qui correspond à l'indice $PMV = 0$. Ensuite, la zone de confort thermique peut alors être établie pour un pourcentage de personnes insatisfaites donné.

En reprenant les mêmes hypothèses que l'exemple ci-dessus, la norme donne un indice $PMV = 0$ pour une température opérative optimale de 22°C . En admettant un écart de 1°C entre T°_{air} et $T^{\circ}_{\text{parois}}$ (ce qui n'est pas beaucoup) :

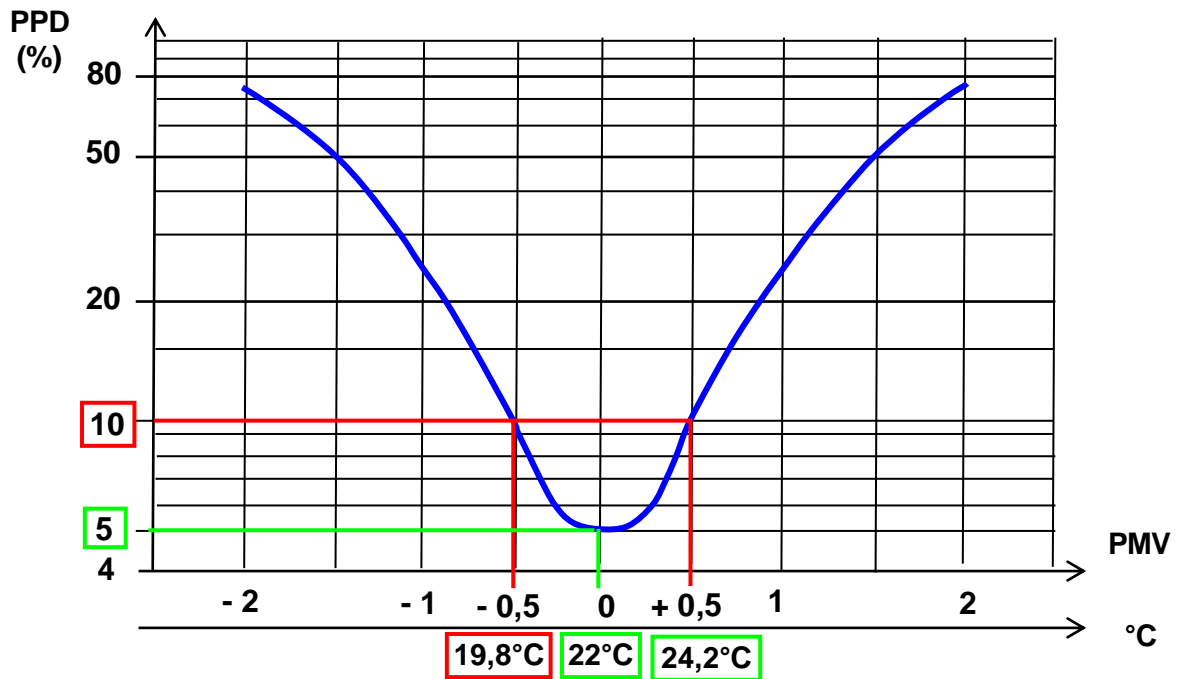
$$T^{\circ}_{\text{opérative}} = \frac{(T_{\text{air}} + T_{\text{paroi}})}{2} = 22^\circ\text{C} \Rightarrow T^{\circ}_{\text{air}} = 22,5^\circ\text{C}$$

En admettant 10% d'insatisfaits (PMV compris entre $-0,5$ et $+0,5$), la température opérative varie entre :

$$20 - \left(\frac{(20 - 18)}{(0,88 - 0,45)} \right) \times (0,5 - 0,45) = 19,8^\circ\text{C} \text{ et } 24 + \left(\frac{(26 - 24)}{(0,91 - 0,46)} \right) \times (0,5 - 0,46) = 24,2^\circ\text{C}.$$

Soit pour la température de l'air : une zone de confort thermique de $4,4^\circ\text{C}$, allant de $20,3^\circ\text{C}$ à $24,7^\circ\text{C}$ (zone de couleur jaune du tableau).

Autrement dit, en hiver, dans un bureau bien isolé (T° parois élevées), on admettra un confort basé sur une température d'air de 20,5°C. Mais si la température des parois est faible (simples vitrages, par exemple), il faudra apporter un air à 21, voire 22°C pour assurer le confort.



2.3 - Le confort thermique en fonction des individus

La zone théorique de confort étant déterminée, la sensation de confort peut aussi être influencée par d'autres éléments comme l'état de santé, l'âge ou l'état psychologique de l'individu. Dans chacun de ces cas, il faudra admettre une température d'ambiance différente qui peut être située hors de la zone de confort thermique. De plus, la qualité ou "chaleur" humaine qui entoure l'individu participe à la sensation de confort ou d'inconfort. Enfin, la possibilité d'une intervention personnelle sur les caractéristiques de l'ambiance de son lieu d'activité est importante si on veut éviter tout sentiment de frustration ou d'enfermement et donc d'inconfort.

2.4 - Le confort thermique au niveau des pieds

2.4.1 – Sensation du chaud et du froid

Lorsqu'on pose la main sur une plaque d'acier, on ressent une sensation de plus grande fraîcheur que si on la pose sur une table en bois (la plaque et la table étant à la même température : celle de la pièce).

L'explication physique réside dans la valeur de la température de contact différente dans les deux cas due à la différence entre les effusivités thermiques des deux solides en contact.

2.4.2 – Diffusivité et effusivité

La diffusivité thermique D exprime la capacité d'un matériau à transmettre (rapidement) une variation de température.

$$D = \frac{\lambda}{\rho \cdot C} \text{ en m}^2/\text{s}$$

λ : conductivité thermique en $\text{W}/\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}$;

ρ : masse volumique en kg/m^3 ;

C : chaleur massique en $\text{J}/\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$;

$\rho \cdot C$: chaleur volumique en $\text{J}/\text{m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$.

D évolue dans le même sens que λ , mais en sens inverse de $\rho \cdot C$

L'effusivité thermique E exprime la capacité d'un matériau à absorber (ou restituer) une puissance thermique.

$$E = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot C} \text{ en } \text{J}/^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$$

E évolue dans le même sens que λ et $\rho \cdot C$.

<i>matériaux</i>	λ en W/m.°C	$\rho.C$ en kg/m ³	D en m ² /s	E en J/°C.m ² .s ^{1/2}
Acier	52	34,32.10 ⁵	1,52.10 ⁻⁵	13360
Béton armé	1,65	21,50.10 ⁵	7,67.10 ⁻⁷	1883
Peau humaine	0,60			1800
Béton	1,15	17.10 ⁵	6,76.10 ⁻⁷	1313
Bois lourd	0,20	21,60.10 ⁵	9,26.10 ⁻⁸	657
Bois léger	0,14	12,96.10 ⁵	1,08.10 ⁻⁷	425
Fermacell	0,36	14,10.10 ⁵	2,55.10 ⁻⁷	712
Plaque Ba13	0,25	8,25.10 ⁵	3,03.10 ⁻⁷	454
Enduit terre-pisé	1,2	20.10 ⁵	6.10 ⁻⁷	1550
Enduit Plâtre courant	0,6	11,5.10 ⁵	5,22.10 ⁻⁷	830
Laine de chanvre	0,06	0,64.10 ⁵	9,37.10 ⁻⁷	62
Panneau laine de bois	0,042	2,38.10 ⁵	1,76.10 ⁻⁷	100
Laine de roche 70 kg/m ³	0,042	0,721.10 ⁵	5,83.10 ⁻⁷	55
Laine de mouton 35 kg/m ³	0,060	5,6.10 ⁴	1,07.10 ⁻⁶	58
Polystyrène expansé	0,039	0,248.10 ⁵	15,7.10 ⁻⁷	31
Mousse polyuréthane	0,029	0,493.10 ⁵	5,88.10 ⁻⁷	38
Air immobile	0,023	1,2.10 ³	1,91.10 ⁻⁵	5,25
Argon	0,017	0,925.10 ³	1,84.10 ⁻⁵	4

2.4.3 – Modélisation simple du phénomène

Bien que dans les échanges thermiques, les pertes par contact (conduction) soient négligeables (< 1 %), une problématique courante réside dans le fait qu'avec certains types de plancher, on aura froid aux pieds et non avec d'autres. On admet en général que, pour un pied non chaussé, une température de contact inférieure à 26°C soit désagréable.

Lorsqu'un objet à une température T_1 est mis en contact avec un objet à une température T_2 , la surface de contact se mettra à une température comprise entre les deux précitées.

En régime dynamique, on montre que la « température de contact » T est donnée par l'expression :

$T = \frac{T_1 \times E_1 + T_2 \times E_2}{E_1 + E_2}$	T_i : Température respective des deux solides en contact ; E_i : Effusivité respectives des deux solides en contact.
---	---

Calculez la température de contact main-acier ; main-bois dur ; main-laine de mouton (tapis) ?

Hypothèses température de la main : 37 °C

température de la table bois ou acier ou du tapis de laine : 20 °C

Température de contact main-acier :
$$T = \frac{37 \times 1800 + 20 \times 13360}{1800 + 13360} = 22,01 \text{ °C}$$

Température de contact main-bois :
$$T = \frac{37 \times 1800 + 20 \times 657}{1800 + 657} = 32,45 \text{ °C}$$

Par conséquent, l'acier paraît plus « froid » au contact que le bois.

Température de contact main-laine :
$$T = \frac{37 \times 1800 + 20 \times 58}{1800 + 58} = 36,47 \text{ °C}$$

C'est encore mieux avec de la laine, d'où cette sensation de confort lorsqu'on dispose d'un tapis au sol.

La chaleur de la main se diffuse plus facilement dans l'acier que dans le bois; la perte de chaleur est donc plus sensible avec l'acier, ce qui provoque un refroidissement plus fort de la peau. Il n'y a pratiquement pas de refroidissement avec de la laine

Ainsi, si on touche un objet en acier dont la température est inférieure à $-4,9^{\circ}\text{C}$, la température de contact sera inférieure à 0°C . Ceci explique pourquoi, si en période de gel, vous touchez avec la langue un garde-corps de pont en acier par exemple, celle-ci adhèrera par le gel.

Il ressort, que pour toutes les températures courantes, un tapis est suffisamment chaud aux pieds. De même, un plancher en bois ne fera généralement pas l'objet de plaintes pour autant que la température de surface ne descende pas sous 19°C .

Par contre, un revêtement de sol en béton ou en dalles ne sera chaud aux pieds que si la température est au moins de 24°C . C'est pourquoi ces types de planchers font souvent l'objet de plaintes auxquelles on ne peut remédier que par la pose d'un tapis ou l'installation d'un système de chauffage par le sol.

Isoler, à sa face inférieure, un plancher en matériau pierreux afin d'augmenter le confort du pied est généralement peu judicieux. Quelle que soit l'isolation, des températures superficielles de 24°C ou plus ne peuvent être atteintes qu'avec une température de l'air de 27°C , ce qui crée par ailleurs un certain inconfort.

3 – CONFORT ET HUMIDITE

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 ".

L'impact de l'humidité relative dans un bâtiment

L'humidité a relativement peu d'impact sur la sensation de confort d'un individu dans un bâtiment. Ainsi, un individu peut difficilement ressentir s'il fait 40 % ou 60 % d'humidité relative dans son bureau.

L'inconfort n'apparaît que dans des situations extrêmes :

- soit une humidité relative inférieure à 30 % ;
- soit une humidité relative supérieure à 70 %.

De faibles niveaux d'humidité (en deçà de 30 %) donnent lieu à certains problèmes :

Augmentation de l'électricité statique (petites décharges lors du contact avec des objets métalliques),

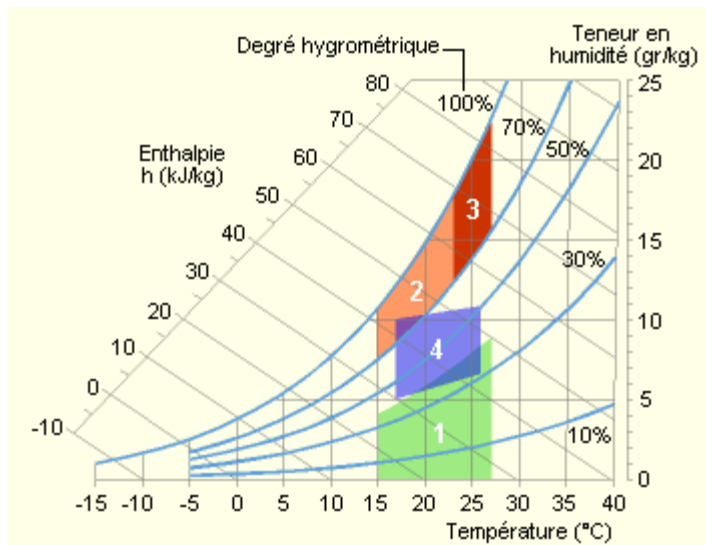
A noter que la présence de décharges électrostatiques n'est pas forcément imputable à la sécheresse de l'air (un tapis non traité à l'antistatique peut également provoquer ce type de problème), mais l'air sec (peu conducteur) renforce ce phénomène.

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

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 (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)



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 micro-champignons.

3 : Zone à éviter vis-à-vis des développements d'acariens.

4 : Polygone de confort hygrothermique

4 – CONFORT ET VITESSE DE L'AIR

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).

Condition hivernales :

De façon plus précise :

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

La fourniture d'air frais pour la ventilation d'un local n'entraîne en principe qu'un mouvement très faible de l'air.

Exemple :

Soit 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 : $4\,500 \times 1/50 = 90 \text{ m/h} = 0,025 \text{ m/s}$!

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

En réalité, ce débit est fourni généralement par des bouches de pulsion de section nettement plus faible où la vitesse est beaucoup plus rapide. De plus, en climatisation, cet air peut être pulsé à une température nettement plus faible que l'ambiance...

Le confort est donc directement lié à la qualité de la diffusion de l'air dans la pièce, afin d'assurer une vitesse réelle inférieure à 0,25 m/s au droit des occupants.

Conditions estivales

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

Voici les valeurs extraites du "*Guide pratique de ventilation - Woods*", valable pour des conditions moyennes d'humidité et d'habillement :

L'importance du mouvement d'air nécessaire pour obtenir un effet rafraîchissant peut être évaluée dans une certaine mesure par l'expérience personnelle des vitesses extérieures de l'air. La sensation de fraîcheur produite par un vent léger soufflant par une fenêtre par une chaude journée est familière à chacun. La vitesse généralement désignée par "brise légère" est de l'ordre de 2,5 m/s.

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

6ème congrès Européen de Science des Systèmes Paris 19-22 septembre 2005, Complexité du confort thermique dans les bâtiments - Dr R.Cantin, B. Moujalled, Dr HDR G. Guarracino -

ISO 7730:1994, Ambiances thermiques modérées – Détermination des indices PMV et PPD et spécifications des conditions de confort thermique. AFNOR. Paris.

ASHRAE Handbook. (1997). ASHRAE Handbook of Fundamentals. Chapter 8 : Thermal comfort. ASHRAE Atlanta.