

CHAPITRE II

CONFORT HYGROTHERMIQUE

Introduction

Les enjeux s'expriment principalement à travers :

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

D'autres enjeux peuvent encore être considérés en fonction de l'usage des bâtiments; le confort pourra par exemple être relié à la notion de productivité dans le secteur tertiaire.

II.1. Les paramètres traditionnels du confort thermique

Le confort thermique est traditionnellement lié à 6 paramètres:

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 .
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° ambiante et la quantité maximale d'eau contenue à la même température.
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.

II. 2. Analyse du transfert de chaleur

II.2.1. Sens de transfert de la chaleur

Dès qu'il existe une différence de température entre deux milieux, il apparaît un flux de chaleur s'écoulant du milieu le plus chaud vers le milieu le plus froid.



Par exemple, en hiver, la chaleur est transmise depuis l'intérieur d'un local vers l'extérieur

II.2.2. Expression de la puissance transmise

La puissance transmise est proportionnelle à :

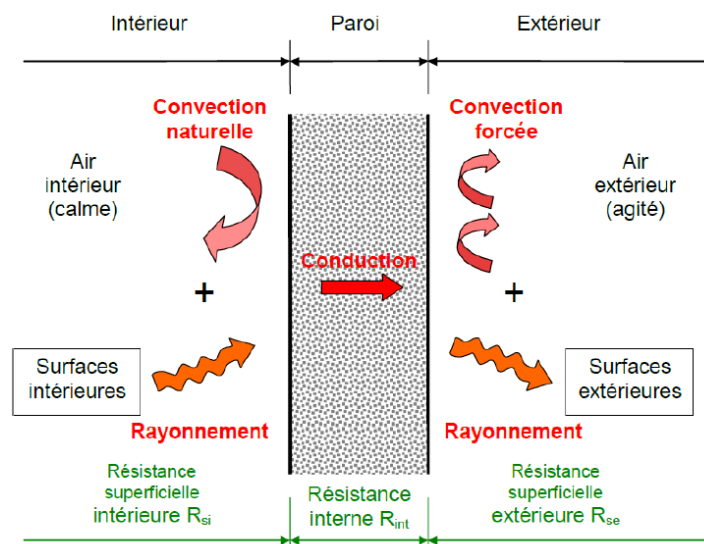
- Un coefficient de transmission qui dépend de la nature de la paroi : U ,
- La surface de paroi séparant les deux milieux : A ,
- L'écart de température entre les deux milieux : Δt .

$$P = U \cdot A \cdot (t_i - t_e)$$

ou plus généralement $P = K \cdot S \cdot \Delta t$

P	puissance transmise	W
U (ou K)	coefficient de transmission thermique	$W / m^2 \cdot ^\circ C$
A	surface	m^2
t	température	$^\circ C$

II.2.3. Analyse du transfert de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur



II 3. Différents modes de transfert de chaleur

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

II.3.1. Par rayonnement

Dans ce cas, le transfert s'effectue d'un corps à un autre par ondes électromagnétiques, donc sans contact direct (Elle n'utilise aucun support matériel). Exemple : entre les surfaces environnantes et les surfaces du mur.

II.3.2. Par évaporation ou condensation

Le phénomène d'évaporation par condensation implique un changement d'état liquide ou gazeux et produit une absorption ou une émission de chaleur.

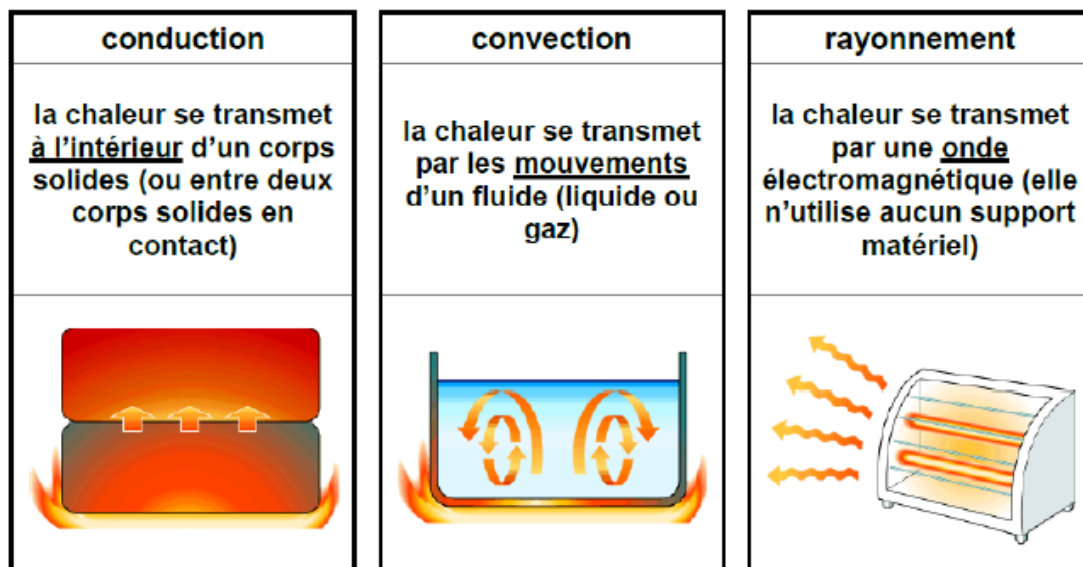
II.3.3. Par conduction

Dans ce cas, la chaleur se propage à l'intérieur de la matière (un même corps solide ou un même fluide liquide ou gazeux), de particule à particule. Exemple : dans le mur.

II.3.4. Par convection :

Dans ce cas, le transfert entre l'air et la matière solide (les surfaces du mur) résulte du déplacement des particules de l'air au niveau de l'interface. La chaleur se transmet par les mouvements d'un fluide (liquide ou gaz). On distingue deux types de convection :

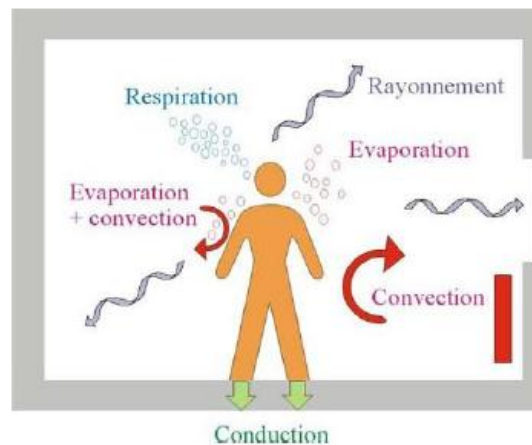
- Convection naturelle à l'intérieur,
- Convection forcée à l'extérieur,



II.4. Les phénomènes physiologiques

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

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



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

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

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

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

- | | |
|---------------------------|-----------------------------------|
| - La température de l'air | - La température des parois |
| - L'humidité relative | - Les mouvements de l'air ambiant |

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

Remarques

- On parle aussi de température résultante, représentative à la fois de la température de l'air et de la température radiante des parois.

- Les « gradients » de température sont en fait les variations de température observées suivant la hauteur (gradient vertical), la largeur ou la longueur d'un local (gradient horizontal).

Bien entendu, d'autres facteurs sont susceptibles de caractériser une ambiance donnée ; le bruit, l'éclairage, la pureté de l'air, les odeurs, l'état électrique de l'air, ...

- Le renouvellement d'air est fondamental pour l'hygiène, la santé et la sécurité des occupants ainsi que pour la pérennité du bâti. Il permet d'apporter l'oxygène nécessaire à la respiration et d'évacuer la vapeur d'eau, source de condensation et de pathologies sur le bâtiment, ainsi que les polluants et les odeurs produites par l'activité humaine, par les équipements ou par les produits de construction.

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

- **En confort d'hiver** : $T^{\circ}\text{air} \sim 20^{\circ}$ pour une humidité de 40 à 60 %
- **En confort d'été** : $T^{\circ}\text{air} \sim 25^{\circ}$ si $T_{\text{ext}} < 30^{\circ}$, et $T^{\circ}\text{air} = (T_{\text{ext}} - 5^{\circ})$ si $T_{\text{ext}} > 30^{\circ}$

(un système de rafraîchissement ou de climatisation sera nécessaire ou non suivant les régions, les activités et les apports internes).

Remarques

- **En été**, la $T^{\circ}\text{air}$ «confortable» dépend de l'humidité (pour une vitesse d'air donnée) ; si l'humidité est de 50 %, $T^{\circ}\text{air} < 28^{\circ}\text{C}$ convient, mais si l'humidité est de 70 %, il faut obtenir $T^{\circ}\text{air} < 26^{\circ}\text{C}$.

- la T° du confort peut varier de 17°C pour un gymnase à 22°C pour une infirmerie ou un vestiaire.

· L'écart entre la température de surface des parois et la température ambiante ne doit pas excéder : - 8° pour les parois vitrées et 5° pour les parois opaques (pour une base de T° extérieur de 0°C)

· La température du sol doit pouvoir être maintenue supérieure à 17° (15° dans tous les cas)

· Dans le cas de parois chauffantes rayonnantes, leurs températures de surface ne doit pas excéder : - 27° pour les plafonds et les parois verticales - 24° pour les planchers

· La variation de température avec la hauteur ne devrait pas excéder 1° par mètre dans la zone d'occupation, et 3° dans tous les cas (sauf conditions particulières à justifier)

- La vitesse de l'air en tout point des zones d'occupation ne doit pas dépasser 0,3 à 0,5 m/s (selon sensibilité des occupants).

II.5. L'influence de l'humidité et la vitesse de l'air

II.5.1. Humidité relative dans un bâtiment

L'humidité a relativement peu d'impact sur la sensation du 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 lorsque:

- L'humidité relative est inférieure à 30 % - L'humidité relative est supérieure à 70 %

.

➤ De faibles niveaux d'humidité (< 30 %) donnent lieu à certains problèmes :

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

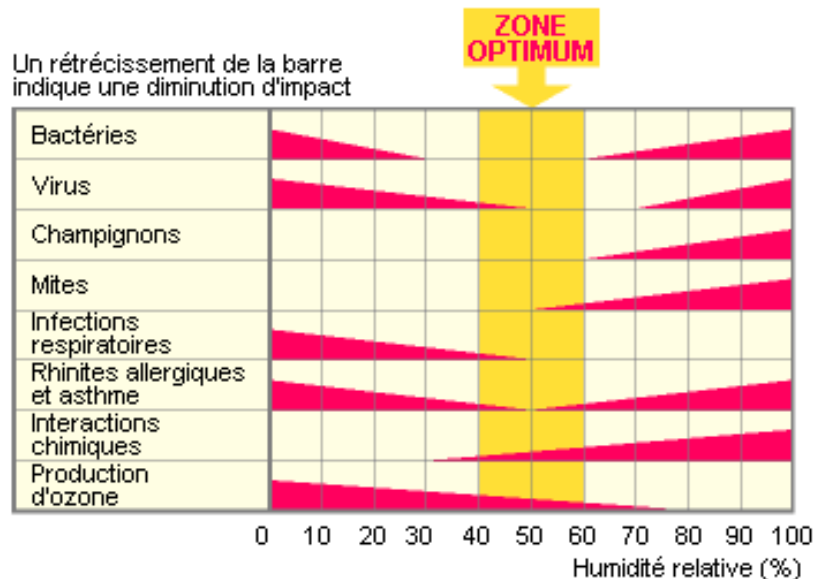
A noter que la présence de décharges électrostatiques n'est pas forcément imputable à la sécheresse de l'air (un tapis non traité à l'antistatique peut également provoquer ce type de problème), mais l'air sec (peu conducteur) renforce ce phénomène.

- Gêne et irritation accrue à la fumée de tabac (du fait d'un abaissement du seuil de perception des odeurs).
- Augmentation de la concentration en poussières dans l'air (diminution de la taille des particules) et donc de leur vitesse de sédimentation et dès lors du nombre de bactéries aéroportées, ce qui serait susceptible d'induire une augmentation de la fréquence de maladies respiratoires en hiver lorsque l'humidité de l'air est faible.

Les gains énergétiques entraînés par une diminution drastique de l'humidité de l'air doivent être comparés aux pertes entraînées par un absentéisme accru...

- 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.



II.5.2. La vitesse de l'air

La vitesse de l'air 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).

II.5.3. Le risque d'inconfort

L'être humain passe entre 80% et 90% de son temps dans un espace intérieur clos et y respire de l'air intérieur bien souvent plus pollué que l'air extérieur.

Par exemple, si le taux de ventilation d'une salle de réunion est insuffisant, l'air y est rapidement vicié par de multiples agents. En effet, le gaz carbonique (CO_2) produit par les occupants, les micro-organismes et matières odorantes dont ils sont porteurs,... maintiennent chaque personne dans une ambiance de plus en plus malsaine : la respiration est moins active, une fatigue prématurée apparaît. Le risque de contamination augmente, ...

L'homme au repos ne consomme qu'environ $0,5 \text{ m}^3$ d'air par heure pour respirer. Selon le type d'activité, ce taux peut atteindre $5 \text{ m}^3/\text{h}$, alors que pour rencontrer le niveau de qualité requis, le taux de ventilation d'un local doit être au minimum de $22 \text{ m}^3/\text{h}$ par personne.

Les diverses substances de contamination et de pollution sont d'ordre :

- Biologique : (germes pathogènes, pollens, spores),
- Physique : (particules radioactives, les poussières)
- Chimique : (composés organiques volatiles, matières odorantes, le gaz carbonique, fumée de tabac).

Certaines de ces substances peuvent être détectées immédiatement, d'autres ne sont pas décelables par les sens, même lorsque leur concentration dépasse la limite admissible.

À courte durée d'exposition, ces polluants peuvent provoquer irritations, nausées, maux de tête, ... Mais à longue durée d'exposition, ils peuvent entraîner des pathologies plus graves et aller jusqu'au développement de certains cancers. En plus, actuellement, les effets combinés de ces polluants sont très peu connus.

La qualité de l'air à l'intérieur du bâtiment est influencée principalement par :

1. L'environnement extérieur ;
2. Les matériaux de construction : revêtements, installations techniques, ...
3. L'occupation du bâtiment : respiration, entretien, ...
4. Le mobilier et les appareils électroménagers.

II.6. Notions élémentaires appliquées au bâtiment

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

II.6.1. Les conditions climatiques

Ils sont évaluées à travers :

- L'ensoleillement (diagramme solaire, durées moyennes d'ensoleillement, ...),
- La température de l'air (et ses variations quotidiennes et mensuelles),
- L'hygrométrie qui caractérise l'humidité de l'air (et sa variation mensuelle),
- L'orientation et la fréquence des vents dominants
- Les degrés jours (somme des écarts positifs entre une T° conventionnelle, égale à 18° en général, et la T° extérieure moyenne journalière).

II.6.2. Les dispositions constructives

Ces conditions influent à travers :

L'orientation, les masques, les matériaux, les isolants, la volumétrie.

II.6.3. les équipements techniques

Les équipements influent à travers les systèmes de production et de distribution de chaleur et de froid, la régulation, le système de ventilation.

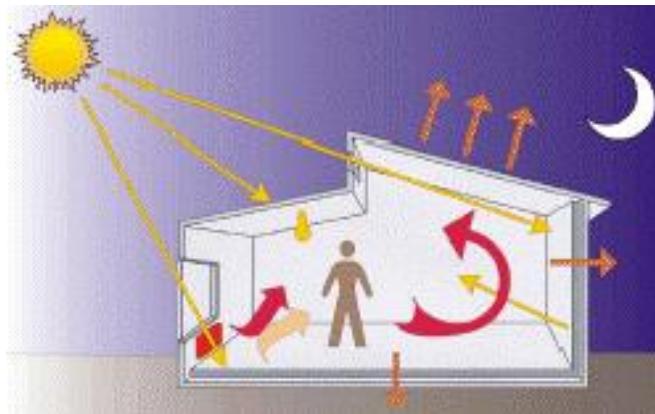
II.6.4. Les apports internes

Les apports internes sont obtenus à travers la chaleur produite par les occupants et par les divers équipements.

Remarque : Les équipements présents dans certains bureaux peuvent apporter jusqu'à 40% des besoins thermiques d'hiver, et induisent des besoins de rafraîchissement en été.

Exemple : L'Ordre de grandeur de la chaleur produite par un ordinateur : 200 W.

L'ensemble de ces paramètres est à analyser en fonction des caractéristiques de l'occupation (effectifs, taux d'occupation, répartition par locaux, ...) pour apprécier l'adéquation entre besoins et conception.



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

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

Parallèlement, pour assurer une qualité d'air satisfaisante aux occupants, conserver le bâtiment et permettre le fonctionnement des appareils à combustion en toute sécurité, les locaux doivent être ventilés suivant le principe du «balayage»; consistant à introduire de l'air

neuf (air provenant de l'extérieur) dans les locaux les moins pollués et à faire circuler ce flux d'air jusqu'aux locaux les plus pollués, où l'air vicié est extrait et évacué vers l'extérieur.

On parle de « locaux à pollution non spécifique », où la pollution n'est liée qu'à la présence humaine, et de « locaux à pollution spécifique » (cuisines, salles d'eau, sanitaires, locaux techniques).

Certains locaux dont la pollution est particulière (présence de produits dangereux, émission de gaz de combustion) peuvent avoir un système de ventilation indépendant pour des contraintes de sécurité.

La maîtrise du renouvellement d'air nécessite un dimensionnement et une localisation adaptés des entrées d'air, des orifices de sorties d'air, et le cas échéant des systèmes mécaniques assurant la circulation d'air, ainsi que des performances minimales en étanchéité à l'air de l'enveloppe globale du bâtiment.

La conception et le dimensionnement de la ventilation d'un bâtiment repose principalement sur les caractéristiques de l'occupation (nombre, durées d'occupation, activités et polluants), tout en étudiant les éventuelles sources de pollution de l'environnement extérieur.

L'enjeu de conception consiste, tout en répondant aux besoins, à :

- limiter la gêne des occupants et/ou des activités due aux courants d'air,
- limiter les déperditions thermiques liées à l'apport d'air froid,
- limiter les transmissions ou émissions de bruit par les conduits, les orifices et les appareils mécaniques associés à la ventilation.

