

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministre de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة العربي بن مهيدي أم البواقي

Université d'Oum El Bouaghi

Faculté des sciences et des sciences appliquées

Pôle d'Aïn-Beïda



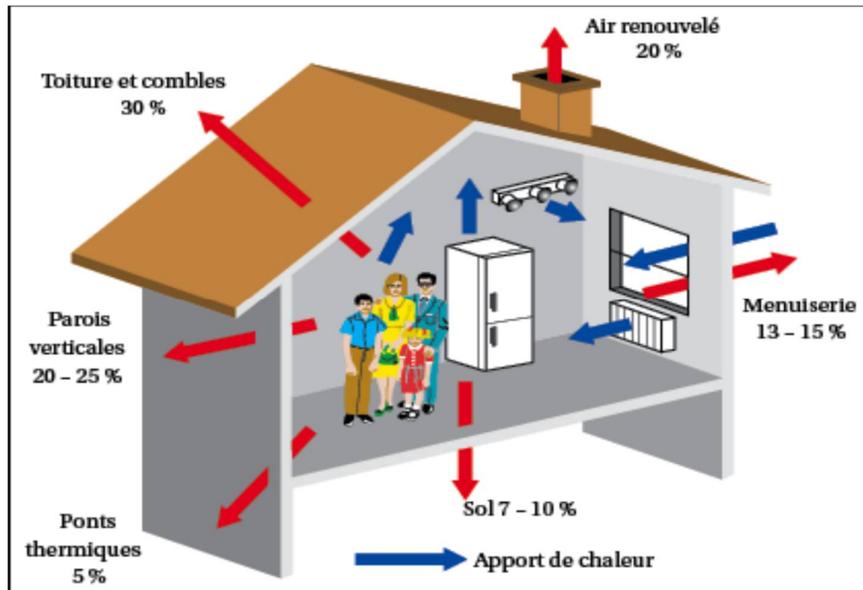
Module : Thermique du Bâtiment

1ere Année Master

Génie civile

Année universitaire 2023-2024

Préparé par : Dr. Bendada Tawfik



COURS THERMIQUE DU BATIMENT

Le module « Thermique du bâtiment » se compose de quatre (04) chapitres :

- Introduction
- Chapitre I : généralités
- Chapitre II : les transferts thermiques
- Chapitre III : le confort thermique
- Chapitre IV : isolation des parois

COURS N°1

Introduction

-Le monde entier est actuellement confronté à une augmentation flagrante de la consommation énergétique, accentuée depuis plusieurs décennies. Cette situation, a provoqué une exploitation colossale des ressources naturelles, organiques et fossiles (pétrole, gaz, charbon, etc.)

-Le secteur du bâtiment, de la construction et des travaux publics, est parmi les secteurs économiques le plus consommateur et de dévorateur de l'énergie depuis la révolution industrielle en Europe, plus d'un siècle au niveau mondial. Ceci est dû au phénomène de la réalisation accélérée des logements d'habitations, des divers équipements socioéconomiques, culturels, touristiques, éducatifs, industriels et d'infrastructures, qui ne cesse d'augmenter et de se développer d'année en année, sur l'ensemble des continents planétaires.

-En plus, il ne faut oublier que la population mondiale ne cesse d'augmenter démographiquement et plus particulièrement au niveau du continent asiatique (Inde, Chine, ...), on compte actuellement un nombre de plus de sept (07) milliards d'habitants de la planète.

-Le changement climatique enregistré depuis plus de cinquante (50) ans, ce qui a eu des conséquences désastreuses sur la consommation énergétique, sur l'écosystème, sur la faune et la flore (forêts, mers, océans, ...)

- La première réglementation thermique a pris de l'ampleur au début des années 1970, faisant suite au premier grand choc pétrolier de 1973. Elle s'appliquait en premier temps aux bâtiments neufs et modernes d'habitations, ceci en imposant un procédé d'isolation à partir de matériaux et en réglementant techniquement et en sécurisant les systèmes existants de chauffage. Les dits règlements ont une tendance dynamique qui s'intègre et s'adapte périodiquement au progrès technologique et à l'exploitation des nouveaux matériaux d'isolation et de confort thermiques des constructions.

- Donc l'enjeu et l'objectif, était de réaliser des bâtiments de plus en plus performants en mode d'isolation thermique et en mode de consommation énergétique.

Chapitre I: Généralités

Sommaire

I.1/ Généralités

I.2/ Le cas de l'Algérie

I.3/Définition de la thermique du bâtiment

I.3.1/ Les paramètres environnementaux

I.3.2/ Les paramètres fonctionnels

I.3.3/ Les paramètres matériels et composantes de la construction :

I.4/Notion de chaleur :

I.4.1/ Quelques définitions selon certaines sources

I.4.2/ La chaleur techniquement

I.5/ La notion de température

I.5.1/ Les différentes échelles de température :

I.5.2/ Les Unités de mesure de la chaleur :

I.1/ Généralités

- Le secteur du bâtiment consomme environ 35% de la totalité de la quantité de l'énergie mondiale.
- 30% des émissions de gaz carbonique proviennent du secteur du bâtiment
- Les hivers sont de plus en plus dures (les orages, la neige, les pluies diluviennes, les inondations dévastatrices, ...), incontrôlables, imprévisibles,...
- Les étés sont de plus en plus chauds accompagnés parfois d'orages très forts, de grandes précipitations, et de la chute de neige, ...
- Ce qu'il faut savoir, plus il y a augmentation de la consommation d'énergie, plus les prix unitaires des différentes ressources d'énergie augmentent, par fois d'une manière exponentielle. Le cas du prix du baril de pétrole, qui parfois dépasse la barre des cents (100) dollars.
- Des enjeux et objectifs sont pris en charge par la communauté mondiale pour remédier à cette situation qui s'aggrave de plus en plus ; on note :
 - 1/ Préserver et améliorer le confort environnementale et le bon vivre de l'Homme
 - 2/ Réduire et mieux gérer les consommations de l'énergie en adoptants les politiques d'exploitation optimale des ressources, de protection de l'environnement, qui sont adoptées et acceptées par la majorité des pays du monde
 - 3/ Réduire obligatoirement la consommation du chauffage a base de ressources naturelles, fossiles par une gestion réfléchie et exploitation des énergies nouvelles (énergie solaire, éoliennes, hydrauliques, ...).Ainsi que l'utilisation réfléchie et réglementée de la climatisation, qui actuellement consomme des quantités hallucinantes d'électricité
 - 4/ Dresser un référentiel et une feuille de route relatifs à la limitation des apports et des déperditions calorifiques des bâtiments neufs et des nouvelles constructions. En, fixant l'utilisation primordiale des nouveaux types de techniques et de technologies permettant une meilleure maîtrise et gestion des transferts de chaleurs et des déperditions calorifiques.

I.2/ Le cas de l'Algérie

En Algérie, la plus grande partie des logements existants et en cours de réalisation sont faiblement et sommairement isolés thermiquement et phoniquement. Cependant, ces constructions sont soumises à de très fortes déperditions thermiques. Ces déperditions vont automatiquement encourager une utilisation beaucoup plus importante d'énergie.

- De ce fait, il est claire d'affirmer que les paramètres et normes de l'efficacité énergétique et de confort sont modestement appliquées, sinon parfois ignorées. Dans le cas où ces normes sont prises en compte, leurs applications pratiques restent au delà de l'efficacité.
- La majorité des constructions réalisées ou qui sont en cours de réalisation en Algérie ne répondent guerre aux normes de la thermique du bâtiment, en plus elles sont chauffées en grande partie par des énergies à bases de ressources fossiles (hydrocarbures). A ce stade, il est d'urgence d'établir une feuille de route a cours et moyen termes, qui permettra l'application des programmes basées sur les normes et conditions modernes pour remédier à cette situation alarment.

.-L'élévation globale des températures et la forte consommation énergétique nécessitent l'élaboration des concepts à forte efficacité énergétique qui seront appliqués aux bâtiments. (Source : cours Dr. Aidouda.A

I.3/ Définition de la thermique du bâtiment

1/ Thermique du bâtiment est la science et la technique visant à étudier l'état, le besoin et la perte énergétique et d'énergie des constructions et bâtiments. Cette science aborde les principes d'isolations techniques et des ventilations.

2/ La thermique du bâtiment détermine les différents échanges de températures et de flux thermique entre une construction existante et son environnement immédiat. Trois grands paramètres sont à la base de ces transferts de flux thermique

I.3.1// Les paramètres environnementaux :

- La situation géographique de la construction (Altitude, coordonnées, amplitude, ...);
- L'implantation de la construction avec l'ensemble des détails ;
- La nature de la composition du sol, avec l'état géotechnique ;

I.3.2/ Les paramètres fonctionnels :

- Le type de la fonction qui exercée dans la construction ou le bâtiment (administrative, éducative, service, ...)
- Les besoins en quantités de chaleur (énergie) nécessaire au fonctionnement du bloc
- Les besoins en quantité d'eau
- Le taux d'humidité qui doit régner dans le bâtiment
- Le type d'éclairage utilisé et la quantité d'électricité nécessaire
- Les divers équipements installés et utilisés (mécanique, électrique, ...) dans la construction en question, qui consomment de l'énergie et produisent de la chaleur. Dont, il faut prendre en considération lors de la confection du bilan énergétique.

I.3.3/ Les paramètres matériels et composantes de la construction :

- Les murs et cloisonnement extérieurs, intérieurs, de séparations et de sécurité
- Les types de planchers et leurs compositions
- Les types de toitures, charpente en bois, charpente métalliques, tuiles en terre cuite, en béton, ...
- Le type de matériaux utilisé dans la confection des portes, fenêtres, baies, ...

Il faut noter que ces paramètres et aspects sont d'une importance capitale pour le détermination des échanges de chaleur et des transferts thermiques :

1/ Il faut tenir compte de l'orientation du bâtiment (Nord, Sud, Nord est, ...), des dimensions (longueur, largeur, hauteur, épaisseur, ...). Il est nécessaire d'avoir les caractéristiques et les propriétés physiques et thermiques des différents matériaux.

2/ Concernant les parties et composantes vitrées et vitrage, il est d'utilité d'avoir le niveau de transmittance et l'épaisseur des produits de vitre utilisées ainsi que le degré de transparence. La résistance au rayonnement solaire doit être connue.

3/Les parois (cloisonnement) utilisées doivent avoir des fiches techniques et des caractéristiques qui permettent d'avoir la masse, le déphasage thermique et le comportement en présence de la chaleur.

I.4/ Notion de chaleur :

I.4.1/ Quelques définitions selon certaines sources :

Définition 1 : qualité de ce qui est chaud, la sensation produite par un corps chaud. Chaleur naturelle (soleil), chaleur vitale (corps humain), chaleur animale, ...

Définition 2 : La chaleur est une forme déterminée et particulière a l'énergie.

- Définition 3 : En thermodynamique, la chaleur est l'énergie échangée lors d'un transfert thermique vers ou depuis un système thermodynamique en raison d'une différence de température.
- Définition 4 : La température plus ou moins élevée d'un corps, d'un lieu, perceptible par l'homme.
- Définition 5 : Température dispersé par le soleil, répandue dans l'atmosphère plus ou moins forte suivant le moment et le lieu (dictionnaire Trésor)
- Définition physique : Somme des énergies potentielle et cinétique, des molécules d'un corps perceptible à nos sens humaines.

I.4.2/ La chaleur techniquement

-La chaleur et le travail constituent le premier principe de la thermodynamique (la machine à vapeur et le concept de la locomotive). De ce fait le travail, l'énergie et la chaleur ont la même unité de mesure et de quantification : le Joule (le savant physicien. Joule).

- Lors des transferts thermiques provoqués par les décalages de températures par les effets de la convection, du rayonnement et enfin par la conduction, il en résulte les différents concepts de la chaleur et de la différence de températures.

Remarque importante : le transfert (déplacement) de chaleur d'un corps, d'un volume ou d'une substance vers une autre partie connue, se réalise sous forme d'énergie cinétique sous l'effet de mouvements et d'agitation de la composition moléculaire qui devient désordonnée et dérégulée sous l'effet de la température élevée..

.On peut conclure que le transfert d'énergie est la différence de températures entre deux corps, deux substances. La chaleur passe du corps ou la température est élevée vers le corps ou la température est basse. **Alors nous sommes en présence de l'effet de : la notion d'irréversibilité**

I.5/ La notion de température

Quelques définitions

-Définition 01 : On appelle température la grandeur physique « Mesure » qui quantifie et mesure le degré de chaleur d'un corps existant, d'un milieu et/ou d'un environnement.

- Définition 02 : La température d'un corps est une fonction de l'énergie cinétique moyenne des mouvements de ses molécules.

-Définition 03 : La température est une propriété d'un caractère thermodynamique d'une substance, elle mesure l'agitation microscopique des éléments physico-chimiques composant la matière. Source cours thermique du bâtiment Dr Aidoud

I.6/ Les différentes échelles de température :

Plusieurs échelles de températures sont utilisées a travers le monde, on citera les plus connues et utilisées :

1/ L'échelle Celsius « C », Elle a comme base de mesure la température de congélation de l'eau est à 0° C et sa température d'ébullition est à 100 °C, ce système est universel, utilisé par la grande majorité des pays du monde.

2/ L'échelle Fahrenheit « F », utilisé par les payes anglo-saxons, notamment la Suède, Le Danemark, la Finlande, l'Angleterre, l'Ecosse, Le pays de Gall, La température de congélation de l'eau est à 32° F, la température d'ébullition de l'eau est à 212° F.

3/ L'échelle Kelvin « K », Elle est utilisée dans le système international comme étant la température en thermodynamique, dans toutes les démonstrations et recherche scientifiques en physique.

La relation de passage entre l'échelle Celsius et l'échelle Kelvin est comme suit :

$$T (K) = T (°C) + 273,15$$

Remarque : les écarts de températures sont les mêmes et identiques entre l'échelle Celsius et l'échelle Kelvin,

I.7/ Les Unités de mesure de la chaleur :

Comme, il a été cité plus haut, l'unité fondamental de la quantification de la chaleur est le « Joule », cependant l'utilisation d'autres unités est importante, afin d'avoir des précisions et des exactitudes physiques. D'autres unités de mesure de la chaleur :

1/ La calorie « cal » : quantité de chaleur nécessaire pour élever la temperature de un(01) gramme d'eau de 14.5°C à 15.5°C sous une pression de un (01) Atm.

- 4.1855 J = 1 cal
- 01 Kilocalorie (Kcal) = 1000 cal
- 01 Thermie = 1000 K cal
- 01 Kilowattheure (Kwh) = énergie fournie en une (01) heure (60 min, 3600 sec)
- 01 Kilowatt (Kw) = 1000 J/sec
- 01 joule (J) = 0,2389cal
- 01 Kilowattheure (Kwh) = 3 600 000 J= 860112 cal

COURS N°2

Chapitre II : Les transferts thermiques

« Conduction- Convection-Rayonnement »

Sommaire :

II.1/ Définitions

II.2/ Transmission par conduction

II.2.1/ Définitions

II.2.2/ Les grandeurs physiques utilisées dans le système

II.2.2.1/ Flux de chaleur à travers une surface

II.2.2.2/. Densité de flux de chaleur

II.2.2.4/ Conductivité thermique

II.2.2.5/. Résistance thermique

II.2.2.6/ Conductance thermique ou Coefficient de transfert thermique

II.3/ Transmission par convection

II.3.1/ Définitions

II.3.2/ Définitions Les grandeurs physiques dans la convection

II.3.2.1/. Le flux de chaleur à travers une surface

II.3.2.2/. Le flux de chaleur à travers une paroi

II.3.2.3/ Résistance à l'échange thermique (R_{se} ou R_{si})

II.4/ Transmission par Rayonnement

II.1/ Définitions

Définition 01 : Un transfert thermique ou plus communément chaleur, est l'un des modes d'échanges d'énergie interne entre deux systèmes internes et externes (généralement le Travail).

Définition 02 : les transferts d'énergie entre deux corps sont appelés transfert thermique, c'est un rôle essentiel en thermodynamique.

Il existe trois (03) modes de transfert thermique : Par conduction, par convection et par Rayonnement

II.2/ Transmission par conduction :

II.2.1/ Définitions

Définition 01 : La conduction est le mode de transfert de chaleur existant dans un milieu donné sans qu'il y ait déplacement apparent de matière (des molécules). C'est ce qui se passe principalement dans un milieu solide homogène (métal, paroi...), mais qui se passe aussi au niveau des fluides immobiles.

.Source :

Définition 02 : C'est la transmission d'énergie de proche en proche dans la partie solide d'un corps (matériau). La chaleur se propage avec plus ou moins de facilité selon la géométrie et la résistance thermique du corps.

En Génie Civil, la conduction est le phénomène le plus souvent rencontré, en effet le contact omniprésent entre le bâtiment (fondation et plate forme) et le sol porteur ainsi que celui des parois de l'enveloppe et celle des autres blocs. Toutes les caractéristiques, données et géométries techniques sont connues et maîtrisées quant à leur contact avec la chaleur. La connaissance de ces sources et des liaisons thermiques constitue les conditions aux limites du système.

La relation fondamentale de la transmission de la chaleur par conduction a été proposée par **FOURIER** en 1822. Pour bien comprendre cette loi, il faut au préalable définir un certain nombre de grandeurs physiques.

$$d^2 Q = -\lambda \cdot \overline{\text{grad } T} \cdot \vec{n} \cdot dS \cdot dt$$

λ est un coefficient appelé conductivité thermique du matériau (en W/m.°C)

On a également :

$$d\Phi = \frac{d^2 Q}{dt} = -\lambda \cdot \overline{\text{grad } T} \cdot \vec{n} \cdot dS \quad (\text{flux de chaleur})$$

$$\text{et : } d\varphi = \frac{d^2 Q}{dt \cdot dS} = -\lambda \cdot \overline{\text{grad } T} \cdot \vec{n} \quad (\text{densité de flux de chaleur})$$

Des formules qu'il faudrait connaître tout simplement dans le cadre de votre formation

II.2.2/ Les grandeurs physiques utilisées dans le système :

II.2.2.1/ Flux de chaleur à travers une surface :

C'est la quantité de chaleur qui traverse la surface considérée pendant l'unité de temps. Le symbole utilisé est la lettre Φ . L'unité dans le système international est le Watt. Formule à connaître $d\Phi = d^2Q / dt$ (II-2)

II.2.2.2/. Densité de flux de chaleur :

C'est la quantité de chaleur qui traverse l'unité de surface pendant l'unité de temps. C'est donc le flux de chaleur par unité de surface. On le note par φ , unité le Watt / m².

Formule à connaître $\varphi = d\Phi / dS$ (II-3)

II.2.2.3/ Surfaces isothermes :

Surface au niveau d'un corps ou la température est la même dans un temps à l'instant t. Formule à connaître $T = f(x, y, z, t)$. x, y, z sont les variables spatiales

Remarque importante :

Deux surfaces isothermes ne peuvent se couper car on aurait alors deux températures différentes en un même point ce qui est physiquement impossible.

II.2.2.4/ Conductivité thermique :

C'est la propriété physique d'un matériau caractérisant sa qualité à conduire la chaleur, ainsi que l'aptitude du matériau à se laisser traverser par la chaleur. Elle constitue la quantité d'énergie traversant 1m² de surface d'un matériau ayant une épaisseur de 1m pour une différence de 1 degré de température. Elle s'exprime W /Mk. C'est une qualité propre aux matériaux homogènes.

En exemple : La conductivité thermique du polystyrène expansée varie de 0.04-0.03 W/(mK)

Remarque : La conductivité thermique d'un matériau est fonction de :

1. La densité : plus un matériau est léger plus il est isolant et ne permet pas le transfert de chaleur.
2. la température : plus un matériau est chaud plus il est conducteur et facilite le transfert thermique.
3. la teneur en eau (humidité) : plus un matériau est humide plus il est conducteur

II.2.2.5/. Résistance thermique :

la résistance thermique **R** désigne la capacité d'un matériau ou d'une paroi à éviter et amoindrir la transmission de la chaleur (flux thermique Φ). Son unit de mesure est exprimée en « m². K/W ».

Elle constitue en fait son pouvoir isolant qui est d'autant plus fort que le R est élevé. Elle dépend du coefficient de conductivité thermique (λ) du matériau et de son épaisseur. Son inverse est **la conductance thermique**. [11]

II.2.2.6/ Conductance thermique ou Coefficient de transfert thermique

Le coefficient de transfert thermique "**U**" d'une paroi, caractérise la quantité de chaleur traversant une paroi, en régime permanent, en unité de temps, de surface et de différence de température entre les ambiances (environnement) situées de part et d'autre de la paroi.

-U (K): Coefficient de transmission thermique en W/m². K (W : Watt, K/ Kelvin)

II.3/ Transmission par convection

II.3.1/ Définitions

Définition 01 : c'est le transport de la chaleur par une partie d'un fluide (gaz ou liquide) qui va se mélanger avec une autre partie. Ce type de transfert est propre aux fluides au moment de contacte d'un élément chaud, le fluide se met en mouvement en se déplaçant vers l'élément froid. A partir de ce contact le fluide perdra sa chaleur en créant un mouvement vertical qui va accélérer les échanges thermiques entre les deux parties. Source : Dr Zitouni.S

Définition 02 : En général, une paroi est en contact avec un fluide sur chacune de ses faces. C'est le cas par exemple d'une paroi de bâtiment qui est en contact avec l'air ou autre fluide. Quand il y a transfert de chaleur par conduction au sein de la paroi, il y a aussi un échange de chaleur entre le fluide et la surface de la paroi. Cet échange est dû principalement au mouvement du fluide le long de la paroi. Il s'agit d'un échange convectif (Source :)

II.3.2/ Définitions Les grandeurs physiques dans la convection :

II.3.2.1/. Le flux de chaleur à travers une surface :

est le flux transmis par convection à l'interface, entre la paroi et le fluide, il est proportionnel à l'écart de température entre la surface de la paroi et le fluide.

-Si l'on considère que sur la surface d'un corps solide, existe un élément d'aire dS à la température T_p .

- Si un corps est au contact d'un milieu fluide en mouvement, avec une température T_∞ , alors la quantité de chaleur dQ qui traverse dS en un temps dt , la formule de calcul peut s'écrire:

$$d^2Q = h(T_p - T_\infty)dS dt$$

II.3.2.2/. Le flux de chaleur à travers une paroi :

est l'échange thermique entre l'environnement ou une construction et l'environnement proche. Il peut s'opérer par convection et/ou par rayonnement. Il y a lieu de distinguer et faire la différence entre l'environnement l'extérieur (**Rse**) et celui de l'intérieur (**Rsi**). Ces deux aspects sont déterminées de façon expérimentale en tenant compte des paramètres ci-dessous :

- la vitesse de convection;
- le coefficient de conductivité thermique des matières;
- la rugosité de la surface;
- la température des deux surfaces;
- la situation du mur et le sens du flux thermique.

II.3.2.3/ Résistance à l'échange thermique (Rse ou Rsi) :

Nous devons établir une distinction entre l'extérieur (Rse) et l'intérieur (Rsi) du bâtiment.

Cette résistance est:

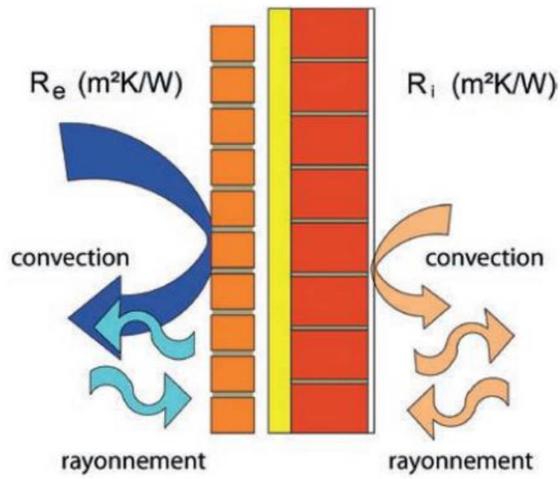
- l'inverse du coefficient d'échange thermique (h);
- fonction du sens du flux thermique;
- fonction du déplacement d'air contre le mur

II.4/ Transmission par Rayonnement

Définition 01 : Un corps chauffé émet de l'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique, sous l'exemple des rayons solaires.

Définition 02 : C'est le transfert de chaleur d'un élément à un autre par ondes électrimagnétiques sans contact direct.

Ce type de transfert ne nécessite pas de support matériel, il peut se produire même dans le vide. Plus l'émissivité du matériau est faible, moins il y aura de transfert par rayonnement.



$$R_{se} = \frac{1}{h_{se}} \quad \text{en } (m^2 \cdot K) / W$$

Cette figure, nous permet d'avoir une idée sur le principe de transfert thermique par rayonnement

COURS N°3

Chapitre III : Le confort thermique

Sommaire

III.1/ Notion de confort

III.2/ Le confort dans le bâtiment

III.3/ Le confort thermique

III.3.1/ Quelques Définitions

III.3.2/ Les facteurs liés au confort thermique

III.3.2.1/ Les facteurs liés à l'individu

III.3.2.2/ Les facteurs liés à l'environnement

III.3.3/ Données et normes du confort thermique (Echange Organisme-Ambiance ; Etre humain)

III.3.3.1/ Quelques données à connaître

III.3.3.2/ Pour un individu au repos, la température ressentie est «confortable» si

III.3.3.3/ Pour un individu au repos, la température approximative est «confortable» si

III.3.3.4/ Il existe également d'autres règles pour assurer le «confort»

III.3.3.5/ Conditions pour un bâtiment confortable

III.4/ Le bilan thermique

III.4.1/ Les charges thermiques

III.4.2/ Classement des charges thermiques

III.4.3/ Calcul du bilan thermique

III.1/ Notion de confort

Le confort est une notion étroitement liée à la sensation de bien-être de l'individu.

- A l'époque médiévale le confort est déterminé à partir du terme latin « confortar » qui signifiait le renforcement et la fortification. Plus-tard au XIX siècle en Europe, en verra l'introduction du terme qui signifiait « bien-être matériel », il était liée aux différentes classes et couches sociales de l'époque, notamment : Féodale, Bourgeoise, Noble, Ouvrière, Militaire, ...
- La notion de confort est vaste, elle ne se limite pas uniquement au cadre physique, c'est-à-dire hygrothermique (climat, température, humidité, chaleur), acoustique (sonore), olfactif. Mais elle touche évidemment d'autres préoccupations et paramètres de la vie dont en particulier l'esthétique, les déplacements, les voyages, le tourisme, la verdure, le paysage, ...
- Ce qu'il faut noter, les conditions du confort ne sont pas stationnaires, elles changent constamment suites à l'époque considérée, à la situation géographique, à l'histoire du lieu et du milieu, au développement social, scientifique, technologique, etc.
- Donc, le confort est un enjeu qui s'élabore et se développe suites aux aspirations et perspectives socioéconomiques propres à chaque époque et société.
- Depuis qu'il est sédentaire, l'Homme a presque cessé totalement les changements d'emplacements et de milieux causés par la divergence des climats saisonniers, ceci en s'adaptant au gré de son climat.

III.2/ Le confort dans le bâtiment

-L'homme a toujours voulu construire pour s'abriter des aléas climatiques, et pour répondre à certaines raisons parmi lesquelles : sociales, fonctionnelles, physiques et conditionnelles.

Sachant évidemment que l'objectif principal était de se protéger efficacement du climat qui régnait d'où la notion de modifier le climat et le concept de « bâtiment comme élément protecteur et modificateur du climat »

- Le bâtiment a un rôle de «seconde peau» permettant d'assurer le confort des habitants/utilisateurs en découplant le climat intérieur du climat extérieur.

- La vocation d'un bâtiment est de protéger ses occupants du climat ainsi que des effets et changements climatiques extérieurs. Une construction ou un bâtiment est dit confortable, quand il assure et permis aux habitants un environnement climatique intérieur agréable résistant aux conditions climatiques et météorologique du moment à l'extérieure. Il assure aussi la protection de ses occupants des conditions acoustiques par la mise en place des matériaux adéquats. Les conditions de confort sont en rapport principalement à: la température ambiante réglementaire, la quantité de chaleur nécessaire, la qualité de l'air, la quantité et le besoin en éclairage naturel et artificiel, la protection acoustique et enfin l'utilisation optimale et rationnelle de l'énergie.

Il faut toutefois insister sur le fait qu'un bon confort n'implique pas automatiquement une grande consommation d'énergie. Par une planification intelligente et intégrée, il est parfaitement possible d'assurer une excellente qualité d'environnement intérieur avec une très faible consommation d'énergie

Donc : La conception du bâtiment doit être imaginée de sorte à assurer lors de la mise en service, le confort thermique, phonique, olfactif, la résistance contre les effets climatiques, l'hygiène, la sécurité ainsi que d'être économe en consommation énergétique.

III.3/ Le confort thermique

III.3.1/ Quelques Définitions :

Définition 01 « Une définition empirique » : le confort thermique est la situation de «**ni trop chaud, ni trop froid et sans courant d'air**», cependant, il va falloir y mettre un peu de science dedans.

Définition 02 : Le confort est donc une sensation physiologique faisant intervenir plus d'un paramètre.

Le confort thermique ne tient compte que des paramètres suivants:

Définition 03: Le corps humain est globalement plongé dans un environnement à une température inférieure à la sienne, donc il cède automatiquement de l'énergie à l'environnement (+ de la vapeur d'eau et d'autres polluants parfois odorants). Il compense cette perte en «brulant» des aliments (métabolisme basal)

III.3.2/ Les facteurs liés au confort thermique

III.3.2.1/ Les facteurs liés à l'individu:

- **Le métabolisme**, qui est la production de chaleur interne au corps humain permettant de maintenir celui-ci aux alentours d'une température de 36,7°C. Le métabolisme de travail correspondant à une activité particulière s'ajoute au métabolisme de base du corps au repos.
- **L'habillement**, qui représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement immédiat.

III.3.2.2/ Les facteurs liés à l'environnement:

- **La température ambiante de l'air [Ta]** : C'est la température exigée au système de chauffage, elle est conseillée à une base est de 19 °C.
- **La température moyenne des parois [Tp]** : C'est la moyenne des températures des murs, dalles, plafonds et ouvrants. Si le bâtiment perd de la chaleur, il est donc faiblement isolé.
- **L'humidité relative de l'air (HR)** ou (Pression de vapeur d'eau) : Elle exprime le rapport en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température ambiante **Ta**, et la quantité maximale d'eau contenue à la même température (selon la nomenclature).
- **La vitesse de l'air** : la vitesse qui influe directement sur les échanges de chaleur par convection. Dans le secteur du bâtiment, les vitesses de l'air ne dépassent pas 0,2 m/s.

Remarque 1 : un organisme sait beaucoup mieux lutter contre le froid que l'excès de température car il ne dispose pas de système de rafraîchissement efficace (sudation seulement)

Remarque 2 : l'Homme (comme la plupart des mammifères) est un homéotherme avec une écorce extérieure poïkilotherme. Source : Stéphane Gibout – ENSGTI.Paris – 2016

III.3.3/ Données et normes du confort thermique (Echange Organisme-Ambiance ; Etre humain)

III.3.3.1/ Quelques données à connaître

Corps humain = Système ouvert

Les échanges thermiques empiriques :

-Par Conduction 1%

-Par Convection 35%

-Par Rayonnement 35%

-Par Evaporation 24%

- Par Ingestion 6%

- La puissance métabolique δE est convertie en :

• puissance mécanique utile (je bouge) = δW

• puissance dissipée (second principe) = δQ_m

$$\delta Q_m = \delta E - \delta W = \delta E \times (1 - \delta W / \delta E)$$

Rendement mécanique : $r = \delta W / \delta E$

	$\delta E/A$ (W/m ²)	r (%)
Sommeil	41	0
Activité mentale	58	0
Repos assis	70-80	0
Repos debout	70	0
Marche 5km/h	160	0
Travail léger 120	0.0	0.1
Travail lourd 250	0.1	0.2
Sport 250 à 400	0.0	0.1

- La surface du corps (formule de Dubois) : $A = 0.203 \times M^{0.425} \times H^{0.725}$

M=masse en kg - H=hauteur en m

-Le «Débit» de CO₂ issu de la respiration : $\delta M_{CO_2} = 1.05 \times 10^{-7}$ kg/s

-Vapeur d'eau produite par un individu : 50 g/h

-Production globale de vapeur d'eau : 2.5 l/j/pers (en moyenne dans le logement)

III.3.3.2/ Pour un individu au repos, la température ressentie est «confortable» si :

• En hiver : T ressentie $\approx 20^\circ\text{C}$

• En été :

• T ressentie $\approx 25^\circ\text{C}$ si T extérieure 30°C

• T ressentie $\approx (T \text{ extérieure} - 5^\circ\text{C})$ si T ext $> 30^\circ\text{C}$

III.3.3.3/ Pour un individu au repos, la température approximative est «confortable» si

En hiver : T apparente $\approx 20^\circ\text{C}$

- En été :
- T approximative $\approx 25^{\circ}\text{C}$ si T extérieure $< 30^{\circ}\text{C}$
- T approximative $\approx (T \text{ extérieure} - 5^{\circ}\text{C})$ si T extérieure $> 30^{\circ}\text{C}$

Mais dépend aussi de l'humidité et de la vitesse du vent...

III.3.3.4/ Il existe également d'autres règles pour assurer le «confort» :

- La différence de température entre l'ambiance et une paroi ne doit pas dépasser 8°C pour une surface vitrée et 5°C pour une paroi opaque
- La température du sol doit être maintenue au moins à 17°C
- Pour les parois chauffantes, il ne faut pas dépasser 24°C pour les planchers et 27°C pour les autres parois.
- Le gradient thermique vertical ne doit pas dépasser $1^{\circ}\text{C}/\text{m}$
- La vitesse de l'air ne doit pas dépasser 0.3 à 0.5 m/s

En première approximation, la température ressentie est la moyenne entre la température de l'ambiance et celle des parois.

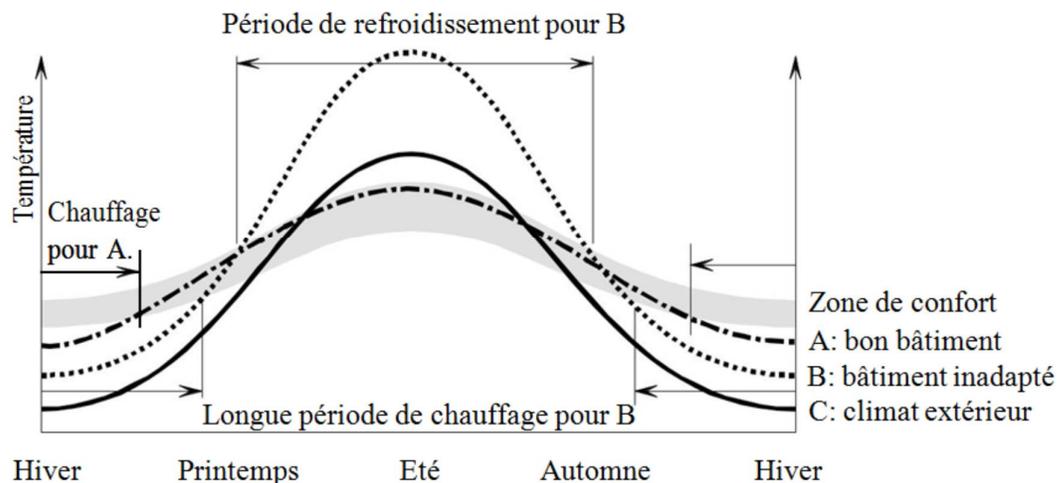
Exemple, avec une ambiance à 20°C et des parois

- à 18°C sous 19°C ressentie \rightarrow Confort
- à 14°C sous 17°C ressentie \rightarrow Froid

III.3.3.5/ Conditions pour un bâtiment confortable

Le bâtiment devrait être confortable

Un bâtiment devrait assurer, sans aucune consommation d'énergie, un confort au moins équivalent à celui régnant à l'extérieur.



Source : cours thermique du bâtiment, Dr Aidoud. A

Cette figure représente : l'évolution des températures dans des bâtiments au cours de l'année, sans les effets des installations techniques de chauffage ou climatisation existantes. La bande grise représente la position de confort souhaitait ainsi que la zone soumise aux exigences de confort.

C : représente la température extérieure,

A : un bâtiment bien conçu

B : un bâtiment inadapté à son climat. [7]

Remarque primordiale : Un bâtiment inadapté à son climat a tendance à surchauffer en saison chaude et à être glacial en saison froide. Ces bâtiments consomment de grandes quantités d'énergie pour assurer un confort, cependant il est important de réunir les conditions et paramètres, permettant d'avoir une consommation énergétique étudiée et optimale.

III.4/ Le bilan thermique

Introduction

Tous les projets en thermique du bâtiment ont pour objectif le calcul et la détermination des apports et déperditions de l'énergie calorifiques. Les résultats des calculs réalisés sont globalement en liés a la périodicité choisi, en effet, pendant la saison estivale, les bilans thermiques sont presque toujours positifs, l'équipement à mettre en service pour y remédier, devra réduire au maximum ces apports positifs pour avoir un environnement confortable et agréable.

Par contre, pendant la saison hivernale, les calculs des bilans thermiques sont en grande partie négatifs, de ce fait, il est primordial e mettre en place des installations (matériel) qui devra répondre aux besoins en énergie dus aux pertes thermiques. Bien sur pour retrouver le confort thermique voulu.

Remarque : Il y a lieu de placer sur place les équipements adéquats pour mettre à niveau les apports et les déperditions causés par le transfert thermique. Nous citons en exemple : climatiseurs, radiateur de chauffage, pompes à chaleur réversible, batterie à eau chaude,

- Actuellement les méthodes et démarches de calcul et de déterminations des apports et des déperditions sont très développés, a base de logiciels et surtout par le biais de l'intelligence artificielle. De ce constat, la maitrise des bilans thermiques est d'une importance capitale.

III.4.1/ Les charges thermiques :

On appelle " charges " les facteurs et événements physiques situés à l'intérieurs du bâtiment et extérieurs qui agissent et perturbent le niveau de température et de l'hygrométrie d'un bâtiment. Ces charges sont d'une importance dans le calcul et l'estimation des besoins en «énergie » pour l'installation de la climatisation et du chauffage. Les équipements et les matériaux qui devront être installés doivent avoir les puissances nécessaires pour remédier à d'éventuelles et fortes perturbations pendant les saisons difficiles (hiver, été). Source :

Le calcul des charges thermiques doit être basé sur le choix des moments les plus vulnérables et les plus critiques, afin de prévoir un calcul fiable et efficace qui permettra de faire face aux charges maximales.

Il est important de savoir que, les charges intermédiaires représentent l'adaptation et la régulation de la puissance des équipements installés ceci face aux conditions instantanées.

III.4.2/ Classement des charges thermiques

Les charges thermiques sont classées en deux (02) catégories:

Les charges intérieures et les charges extérieures

- Occupants et habitants du bâtiment
- Machines qui sont installées à l'intérieur du bâtiment
- Eclairage naturel et artificiel touchant et à l'intérieur du bâtiment
- Evaporation due à la chaleur et aux rayonnements
- Ensoleillement et aspiration des rayons solaires
- Infiltration d'air chaud et froid à l'intérieur et à l'extérieur de la construction
- La transmission par Conduction
- La transmission par Convection
- La transmission par rayonnement

III.4.3/ Calcul du bilan thermique :

Plusieurs méthodes de calcul des charges existent et sont en globalité appliquées. Parmi ces méthodes nous citons : AshraE, Carrier, Aicvf...etc.

Les principaux paramètres, qu'il faut prendre en considération lors des calculs des charges .:

- L'orientation du local vis-à-vis de la position du Nord ainsi que les données géographiques et géodésiques (altitude, latitude, longitude, ...)
- Points cardinaux, géographique (latitude, longitude), climatiques ;
- Position des immeubles limitrophes qui donnent de l'ombre sur le bâtiment ;
- Les surfaces planes qui réfléchissent les plans d'eau, de sable, parking, etc.
- Les dossiers d'architecture (Plan, coupes, façades, volumétrie, perspectives, 3D, ...) ainsi que l'ensemble des détails techniques et de réalisation montrant la structure porteuse interne de l'immeuble,
- Les mesures et dimensions du bâtiment et du local en question : longueur, largeur, hauteur, nombre de marches, inclinaison, angle,
- Les différents types de matériaux de construction utilisés, et leurs différentes caractéristiques techniques, chimiques et mécaniques ainsi que les épaisseurs et dimensions des murs, parois, des toitures, des soutènements, de la charpente en bois ou métallique. Couleurs des matériaux : couleurs des murs et du toit ;
- Les conditions des effets extérieurs « ensoleillement, l'humidité, variation de la température », l'état des constructions mitoyennes, ... ;
- Conditions à maintenir à l'intérieur du local (température et humidité relative) ;

- Destination fonctionnelle du bâtiment ainsi que le détail de l'utilisation spécifiques des différents locaux qui le composent : administrations, médicales et préventives, commerces, atelier de production ou de maintenance, industrielle, sportives, culturelles, éducatives, etc.
- Les spécificités des ouvertures existantes au niveau du bâtiment : portes, fenêtres (toutes catégories confondus) : orientations, dimensions, type du local, fréquence d'utilisations, types de matériaux (bois, pvc, aluminium, carbone, vitrage, rideau et stores, etc. ;
- Les activités et fonctions de l'ensemble des occupants et habitants du bâtiment, sans oublier la périodicité et la durée d'occupation ;
- Les appareils ménagers (électroménagers, mécaniques, électrique, moteurs et même manuelle) sans oublier d'incérer les données techniques correspondantes (puissance, la perte de charge, consommation énergétique, ...)
- Emplacement de l'équipement et réseau de distribution (tracé des canalisations d'eau et des gaines d'air).

Les Abréviations rencontrées en thermiques du bâtiment

T : La température [$^{\circ}\text{C}$ ou K]

ΔT : La différence de température [$^{\circ}\text{C}$ ou K]

m : La masse [kg]

C_p : La capacité thermique massique [J/(kg . K)]

IDE : L'indice de Dépense d'Énergie [MJ/m²]

h: Le coefficient d'échange de chaleur [W/m². $^{\circ}\text{C}$ ou W/m².K]

Φ : La quantité de chaleur ou Flux de chaleur [W]

φ : La densité de flux [W/m²]

t : Le temps [s]

gradT : Le gradient de température

dS : La surface élémentaire [m²]

n : La normale unitaire.

λ : Le coefficient de conductivité thermique [W/m. $^{\circ}\text{C}$ ou W/m.K]

R : La résistance thermique [m². K /W]

U (K): Le coefficient de transmission thermique [W / m². K]

e : épaisseur du matériau [m]

ΔU : Différence de potentiel

I : Courant électrique (Intensité)

R_{se} : La résistance à l'échange thermique extérieur [m². K /W]

R_{si} : La résistance à l'échange thermique intérieur [m². K /W]

R_g: La résistance des couches d'air non ventilées [m². K /W]

c : la vitesse de propagation de l'onde ou célérité [m/s]

U.V : Le spectre ultraviolet [μm]

IR : Le spectre infrarouge [μm]

M : L'émittance [W/m²]

E : L'éclairement [W/m²]

ρ : Le coefficient de réflexion

α : Le coefficient d'absorption

τ : Le coefficient de transmission

σ : La constante de Stefan Boltzmann [Wm⁻² K⁻⁴]

PMV : L'indice de vote moyen prévisible

PPD : Le pourcentage prévisible d'insatisfaits

F : Le facteur de rayonnement solaire

R_m : Le rayonnement solaire absorbé sur la surface du mur [W/m²]

g : Le facteur de réduction

R_v : L'intensité du rayonnement solaire sur les vitrages [W/m²]

q_v : Le débit d'air extérieur de renouvellement [m^3/h]

θ_e : La température extérieure de base [$^{\circ}C$ ou K]

θ_i : La température intérieure de base [$^{\circ}C$ ou K]

ω_e : La teneur en eau de l'air extérieur [g/kg air sec]

ω_i : La teneur en eau de l'air intérieur [g/kg air sec]

Nbre : Le nombre d'occupants

CSoc : La chaleur sensible des occupants [W]

CLoc : La chaleur latente des occupants [W]

P : La puissance de la lampe [W]

PUR : le polyuréthane

PE : le polystyrène