

PRÉSENTATION

Cet ouvrage est consacré aux calculs des charges hygrothermiques des bâtiments, en été. Les charges sont le bilan des flux de chaleur et de vapeur d'eau échangés par l'atmosphère d'un climat artificiel avec son environnement.

La connaissance des charges hygrothermiques permet donc de déterminer les **besoins maximaux** en traitement d'air pour qu'un espace physique habité remplisse pleinement sa fonction, d'espace de confort et/ou de lieu de travail, de zone de réalisation industrielle, médicale ou autre...

Cet ouvrage utilise les bases de données et les développements théoriques les plus récents, afin de répondre aux besoins de tous ceux qui souhaitent mener des études dans les contextes suivants :

- calculs des charges thermiques des **bâtiments anciens et modernes**
- **avant-projet** sommaire ou détaillé, **projets** complets
- calculs **rapides** de charges hygrothermiques
- calculs **manuels** ou à l'aide d'un simple tableur.

Les moyens informatiques d'aujourd'hui permettent d'effectuer des calculs compliqués en des temps relativement courts et souvent économiquement intéressants. Toutefois la recherche d'un ordre de grandeur en phase d'avant-projet, ou l'étude d'un bâtiment de petite dimension (habitat individuel par exemple), ne justifie pas souvent l'emploi d'un système logiciel lourd et qui demande une saisie longue et fastidieuse des informations nécessaires au traitement.

Il est aussi quelquefois nécessaire de contrôler l'action d'un programme informatique par un calcul manuel rapide offrant la possibilité de valider celle-ci.

Les organismes de formation continue et les acteurs de la formation initiale au lycée et à l'université trouveront également dans cet ouvrage le moyen de faire effectuer à leurs étudiants des calculs simples, rapides, ne nécessitant pas d'investissement en logiciel particulier et mettant l'accent sur les mécanismes d'une méthode de calcul qui se veut pratique et didactique.

Cet ouvrage s'adresse donc à toutes les structures professionnelles, PME, artisans, bureaux d'études, établissements scolaires, organismes de formation, universités, qui souhaitent posséder et appliquer une méthode de calcul des charges hygrothermiques des locaux en été, simple et opérationnelle.

Ce livre est pensé pour faciliter le transfert des connaissances théoriques vers des applications pratiques. C'est pour cette raison qu'une étude de cas réelle y est développée et que la méthode de calcul préconisée lui est appliquée directement. Plutôt que faire un glossaire de conseils et de formules, nous avons préféré mener le lecteur pas à pas dans l'application des formules et des concepts.

On y trouvera cinq chapitres distincts et complémentaires qui permettent d'effectuer une lecture à différents niveaux.

Le **premier chapitre** est consacré à la méthode elle-même et permet d'apprendre à l'utiliser sur la base d'une étude de cas. On y calcule les charges extérieures et les charges intérieures d'un bâtiment de bureaux en appliquant les données les plus récentes (normes, publications françaises et européennes...).

Ceux et celles qui ne veulent pas en savoir plus ou qui en savent déjà beaucoup, et qui souhaitent maîtriser rapidement la méthode à des fins immédiates d'application sur un cas concret, se satisferont de ce premier chapitre : la première partie présente l'étude de cas (bâtiment de bureaux) et la deuxième est consacrée à l'application de la méthode et aux calculs. On y trouve également les tables de valeurs à utiliser, les formules pratiques, ainsi que leurs limites d'emploi.

Ceux qui souhaitent approfondir certains points théoriques ou conceptuels trouveront les réponses dans les chapitres suivants. Leur lecture n'est probablement pas à négliger, car c'est là que l'on trouve les fondements théoriques de la méthode et les références bibliographiques.

Le **chapitre deux** est consacré à la description physiologique, physique et statistique du confort humain et à l'expression des charges dues aux occupants, aux machines et aux éclairages. La norme EN ISO 7730 est largement abordée, ainsi que son application dans la méthode que nous proposons. Enfin toutes les formules utiles à l'établissement des tables de calculs des charges internes sont données. Le lecteur qui souhaite développer des calculs concernant des configurations et des projets particuliers, non prévus par les tables du livre, en a donc la possibilité.

Le **troisième chapitre** s'intéresse aux comportements des matériaux soumis aux rayonnements solaires et infrarouges. On y trouvera en particulier toutes les formules et les concepts concernant les températures équivalentes, les températures virtuelles, les inerties et les charges extérieures.

Les deux derniers chapitres ont été réalisés pour décrire et rappeler les éléments de physique qui sont utilisés implicitement lors du calcul des charges hygrothermiques des locaux. Il faut les voir comme un moyen de bien comprendre les fondements de la théorie du calcul des charges, mais également comme une ouverture vers une recherche personnelle et approfondie, de la part du lecteur, des théories existantes.

De nombreux ouvrages de thermodynamique, de physique, de thermique existent et il n'est pas du ressort de celui-ci d'aller plus loin dans ces domaines que ce qui y est fait.

Dans le **chapitre quatre** sont traités les éléments qui décrivent les caractéristiques et les comportements de l'air humide et de ses composants. On y trouve aussi la définition de la droite de soufflage caractérisant, dans le diagramme de l'air humide, l'action thermodynamique des charges d'un local sur l'air.

Le **chapitre cinq** rappelle, quant à lui, les lois des transferts de chaleur et de masse, les formules qui régissent les mouvements solaires et précise les caractéristiques des flux de chaleur engendrés par le soleil.

D'une manière générale, toutes les formules de calcul des valeurs données dans les tables sont fournies dans l'ouvrage. Cela permettra à chacun d'élargir le champ d'étude, volontairement restreint, offert par les tables.

Pour l'élaboration des tables, nous avons limité les dates à celles des 15 juin, 15 juillet, 15 août et 15 septembre, les orientations des parois à nord, nord-est, est, sud-est, sud, sud-ouest, ouest, nord-ouest et les inclinaisons des parois à celles qui sont verticales, horizontales et normales (perpendiculaires) au rayonnement solaire.

Les données sont valables pour la France métropolitaine.

SOMMAIRE

Chapitre 1 : Méthode de calcul	9
1. Analyse de l'étude de cas	9
2. Méthode de calcul des charges hygrothermiques	11
2.1. Caractéristiques générales des locaux	11
2.2. Les charges extérieures	11
2.2.1. Bases de temps – temps solaire et temps légal	
2.2.2. Conditions thermiques extérieures	
2.2.3. Note de calculs	
2.2.4. Inertie des parois extérieures	
2.2.5. Les charges dues à l'ensoleillement des parois vitrées	
2.2.5.1. Charges brutes	
2.2.5.2. Charges nettes dues aux ombres	
2.2.6. Les charges dues à l'ensoleillement des parois opaques	
2.2.7. Les charges de conduction/convection	
2.2.8. Charges extérieures totales	
2.3. Les charges intérieures	69
2.3.1. Les charges dues aux occupants	
2.3.2. Les charges dues aux éclairages	
2.3.3. Les charges dues aux machines	
2.3.4. Charges intérieures totales	
2.4. Charges dues à l'air extérieur	81
2.4.1. Renouvellement d'air	
2.4.2. Infiltrations	
2.4.3. Préparation des calculs	
2.4.4. Application à l'étude de cas	
2.5. Charges totales	85
Annexe A : Charges extérieures, résultat de l'étude de cas	87
Chapitre 2 : Description des charges intérieures	119
1. Paramètres du confort	119
1.1. Facteurs humains	
1.2. Facteurs liés à l'air	
1.3. Facteurs liés aux parois et aux matériaux solides	
1.4. Besoins concernant les machines	
2. Notion de confort humain	119
2.1. Définition du confort	
2.2. Flux de chaleur	
2.2.1. Flux internes	
2.2.2. Flux externes	
2.2.3. Equations du confort	
2.3. Critères de confort – La norme NF EN ISO 7730	
2.3.1. PMV – Vote moyen prévisible	
2.3.2. PPD – Pourcentage d'insatisfaits	
2.3.3. Turbulence	

3. Le métabolisme et sa régulation.	125
3.1. Définition du métabolisme	
3.2. La régulation du métabolisme	
4. Influence de l'environnement sur la sensation de confort	128
4.1. Influence de la température sèche de l'air ambiant.	
4.2. Influence de la vêtue et de la température sèche de l'air	
4.2.1. Isolement vestimentaire	
4.2.2. Facteur d'accroissement de surface	
4.2.3. Température de surface des vêtements	
4.2.4. Echanges de chaleur sensible	
4.3. Influence des parois	
4.3.1. Les échanges par rayonnement – description théorique	
4.3.2. Les échanges par rayonnement – formule pratique	
4.4. Influence des gradients de température	
4.4.1. Phénomène	
4.4.2. Valeurs limites	
4.5. Influence de l'humidité	
4.5.1. L'humidité absolue de l'air humide	
4.5.2. Chaleur latente par transpiration (situation de confort)	
4.5.3. Chaleur latente par diffusion à travers la peau par perspiration	
4.5.4. Les échanges de chaleur latente par la respiration	
4.5.5. L'humidité relative de l'air humide	
4.6. Influence des mouvements d'air	
4.7. Les températures de confort	
5. Charges dues aux occupants	140
5.1. Principe de calcul des flux globaux échangés	
5.2. Données pour le calcul	
6. Charges dues aux éclairages et aux machines	143
6.1. Charges dues aux éclairages	
6.2. Charges dues aux machines	
6.2.1. Charges dues à la bureautique	
6.2.2. Charges dues aux appareils d'électroménager	
6.2.3. Charges dues aux moteurs électriques	
Chapitre 3 : Description des charges extérieures	145
1. Les matériaux opaques au rayonnement solaire	145
1.1. Composition des parois	
1.1.1. Les matériaux qui ne sont pas des isolants thermiques	
1.1.2. Les matériaux isolants thermiques	
1.2. Caractéristiques des parois opaques vis-à-vis du rayonnement solaire	
1.3. Caractéristiques vis-à-vis du transfert de chaleur par conduction	
1.4. Régime permanent établi – Température équivalente	
1.5. Les écrans	
2. Les matériaux transparents au rayonnement solaire	165
2.1. L'air	
2.2. Les verres non traités	
2.3. Les verres traités	
2.4. Les doubles vitrages	
2.4.1. Modèle	
2.4.2. Etude de la conduction et de la convection	
2.4.3. Etude du rayonnement infrarouge entre les deux carreaux de verre	

2.4.4. Résistance thermique du double vitrage – sans flux solaire	
2.4.5. Comportement du double vitrage vis-à-vis du rayonnement solaire	
2.5. Le facteur solaire	
2.6. Le verre et l'effet de serre	
3. Inertie thermique	175
3.1. Déphasage et Amortissement	
3.2. Inertie des parois extérieures	
3.3. La température extérieure virtuelle	
3.4. Classes d'inertie des locaux	
4. Les apports solaires par les vitrages	181
4.1. Les charges solaires brutes	
4.2. Les charges solaires nettes	
Chapitre 4 : L'air humide	185
1. Fonction de l'air humide en génie climatique	185
2. Caractéristiques thermodynamiques de l'air sec	185
2.1. Composition	
2.2. Masse molaire	
2.3. Equation d'état	
2.4. Constante thermodynamique de l'air sec	
2.5. Chaleurs massiques	
3. Caractéristiques thermodynamiques de la vapeur d'eau	187
3.1. Masse molaire de la vapeur d'eau	
3.2. Changement de phases	
3.2.1. Relation pression/température	
3.2.2. Equilibre entre deux phases d'un même corps pur	
3.3. Caractéristiques des changements d'état	
3.3.1. L'évaporation	
3.3.2. La condensation	
3.4. Constante thermodynamique de la vapeur d'eau	
3.5. Chaleur massique de l'eau et de sa vapeur	
3.6. Tables de vapeur	
4. Caractéristiques de l'air humide	190
4.1. Volume spécifique	
4.2. Humidité spécifique	
4.3. Degré de saturation et titre de vapeur d'eau.	
4.4. Humidité relative	
4.5. Relation entre humidité spécifique et humidité relative	
4.6. Températures caractéristiques de l'air humide	
4.6.1. La température sèche	
4.6.2. La température humide	
4.6.3. La température de rosée	
4.7. Pressions de l'air	
5. Caractéristiques volumiques et massiques pratiques	197
5.1. Masse volumique de l'air sec	
5.2. Masse volumique de la vapeur d'eau	
5.3. Masse volumique de l'air humide	
5.3.1. Détermination de la masse volumique	
5.3.2. Comparaison des masses volumiques de l'air humide et de l'air sec	

5.4. Volume massique de l'air sec	
5.5. Volume massique de la vapeur d'eau	
6. L'enthalpie	198
6.1. Définition	
6.2. Enthalpie de l'air sec	
6.3. Enthalpie de l'eau	
6.3.1. L'eau « liquide »	
6.3.2. La vapeur d'eau	
6.3.3. L'eau solide (glace)	
6.4. Enthalpie de l'air humide	
7. Diagramme de l'air humide	201
7.1. Construction et fonction	
7.2. Modélisation des transferts air-eau	
7.2.1. Situer l'état de l'eau pure sur le DAH	
7.2.2. Condensation ou évaporation ?	
7.2.3. Etat de l'eau à la fin du processus d'échange	
7.3. Droite de soufflage	
8. Conditions hygrothermiques extérieures	206
8.1. Les différents climats extérieurs	
8.2. Variation de la température extérieure	
8.2.1. Evolution horaire de la température extérieure	
8.2.2. Variation de la température extérieure en fonction de l'altitude	
Chapitre 5 : Les transferts de chaleur et de masse	211
1. Les transferts de chaleur sensible	211
1.1. Conduction	
1.1.1. Supports de la conduction	
1.1.2. Lois de la conduction	
1.2. Convection	
1.2.1. Supports de la convection.	
1.2.2. Lois de la convection	
1.3. Rayonnement thermique	
1.3.1. Nature du rayonnement thermique	
1.3.2. Lois du rayonnement	
1.4. Transmission globale de la chaleur	
1.4.1. Cas d'un mur	
1.4.2. Cas d'une tuyauterie	
1.5. Le rayonnement solaire	
1.5.1. Le soleil	
1.5.2. Caractéristiques géométriques du rayonnement solaire	
1.5.3. Formules et valeurs caractérisant la position du soleil	
1.5.4. Energie solaire disponible au sol	
2. Les transferts de masse	240
2.1. Diffusion en milieu libre	
2.1.1. Exemple des piscines	
2.1.2. Exemple des occupants d'un local	
2.2. Diffusion en milieu poreux	
2.3. Exemple des canalisations d'eau glacée	
2.3.1. Transferts de masse en milieu libre	
2.3.2. Transferts de masse en milieu poreux	
Bibliographie	243