

# LA THERMIQUE DU BÂTIMENT

Tout le catalogue sur  
[www.dunod.com](http://www.dunod.com)




Malek Jedidi  
Omrane Benjeddou

# LA THERMIQUE DU BÂTIMENT

Du confort thermique  
au choix des équipements  
de chauffage et de climatisation

DUNOD

Illustrations intérieures : Maud Warg  
Photographie de couverture : © Alena Brozova - 123rf.com

<p>Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.</p> <p>Le Code de la propriété intellectuelle du 1<sup>er</sup> juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique</p>	 <p><b>DANGER</b> LE PHOTOCOPIAGE TUE LE LIVRE</p>	<p>d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.</p> <p>Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).</p>
--	--	--

© Dunod, 2016  
5 rue Larmignière, 75005 Paris  
www.dunod.com  
ISBN 978-2-10-074343-8

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2<sup>o</sup> et 3<sup>o</sup> a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

# Table des matières

<b>Nomenclature</b>	<b>VII</b>
<b>Avant-propos</b>	<b>IX</b>
<b>Chapitre 1 : Notions fondamentales de la thermique</b>	<b>1</b>
1.1 Les différents types de chaleur	2
1.2 Les apports d'énergie dans les bâtiments	4
1.3 L'énergie interne d'un système	5
1.4 Le flux et la densité de flux	7
<b>Chapitre 2 : Le confort thermique</b>	<b>11</b>
2.1 Confort et température	12
2.2 Confort et humidité	15
2.3 Confort et vitesse de l'air	17
2.4 Confort, activité et habillement	20
2.5 Indicateurs et plages de confort	22
<b>Chapitre 3 : Le transfert thermique</b>	<b>29</b>
3.1 Les modes de transferts thermiques	29
3.2 Le flux thermique à travers une surface	45
<b>Chapitre 4 : Les déperditions thermiques</b>	<b>51</b>
4.1 Les ponts thermiques	52
4.2 Les déperditions thermiques d'un local chauffé	54
4.3 Les déperditions thermiques par renouvellement d'air	61
4.4 Calcul et dimensionnement des radiateurs	64
4.5 La conduction à travers les parois cylindriques	73

<b>Chapitre 5 : L'hygrométrie</b>	<b>81</b>
5.1 Le diagramme de l'air humide (DAH)	82
5.2 La diffusion de la vapeur d'eau dans les parois	84
5.3 Le flux de vapeur à travers une paroi $g_v$	91
<b>Chapitre 6 : L'isolation thermique : le choix des matériaux</b>	<b>99</b>
6.1 Critères de choix d'un isolant	99
6.2 Aspects techniques d'un isolant	102
6.3 Aspects environnementaux	106
<b>Chapitre 7 : Le choix des équipements de chauffage et de climatisation</b>	<b>111</b>
7.1 Choisir un élément de chauffage	112
7.2 Choisir une source d'énergie	113
7.3 Le chauffage central individuel	113
7.4 Le chauffage divisé	129
7.5 La climatisation	130
<b>Bibliographie</b>	<b>133</b>
<b>Lexique</b>	<b>135</b>
<b>Annexes</b>	<b>143</b>
A. Conductivité thermique de différents matériaux	145
B. Détermination de la valeur U à l'aide du catalogue d'éléments de construction	167
C. Diagramme de l'air humide	195
<b>Index</b>	<b>197</b>

# Nomenclature

Désignation	Symbole	Unité
Quantité de chaleur	$Q$	Joule (J)
Puissance	$P$	W
Masse	$m$	kg
Longueur	$l$	m
Surface	$S$	m <sup>2</sup>
Volume	$V$	m <sup>3</sup>
Température	$T$	Kelvin (K)
	$\theta$	Degré Celsius (°C)
Différence de température	$\Delta T$	K
	$\Delta \theta$	°C
Épaisseur	$e$	m
Chaleur massique	$C$	J/kg.K
Conductivité thermique	$\lambda$	W/m.K
		W/m°C
Masse volumique	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>
Flux thermique	$\Phi$	W
Densité de flux	$\phi$	W/m <sup>2</sup>
Résistance thermique	$R$	m <sup>2</sup> .K/W m <sup>2</sup> °C/W
coefficient de transmission thermique par convection	$h_c$	w/m <sup>2</sup> °C
Résistance thermique d'échange superficiel intérieur	$r_{si}$	m <sup>2</sup> .K/W m <sup>2</sup> °C/W
Résistance thermique d'échange superficiel extérieur	$r_{se}$	m <sup>2</sup> .K/W m <sup>2</sup> °C/W
Emissivité	$\epsilon$	-

Désignation	Symbole	Unité
Constante de Stephan Boltzmann	$\sigma$	$W/m^2K^4$
Facteur solaire	$FS$	-
Coefficient de déperdition thermique surfacique	$U$	$W/m^2K$ $W/m^2C$
Coefficient d'échange d'une menuiserie de fenêtre	$U_f$	$W/m^2.K$
Coefficient d'échange d'une fenêtre	$U_w$	$W/m^2.K$
coefficient de déperdition thermique linéique	$\Psi$	$W/m.K$ $W/m^{\circ}C$
Déperditions thermiques	$D$	$W/^{\circ}C$
Déperditions thermiques par renouvellement d'air	$D_R$	$W/^{\circ}C$
Débit d'air	$q_v$	$m^3/h$
Taux de renouvellement en air	$\eta$	$h^{-1}$
Coefficients choisis en fonction des normes d'isolation	$U_{bat}$	$W/m^2K$ $W/m^2C$
Température humide	$\theta_h$	$^{\circ}C$
Température de rosé	$\theta_r$	$^{\circ}C$
Humidité absolue	$r$	$Kg_{eau}/Kg_{as}$
Humidité relative ou degré hygrométrique	$\Psi$ $H_r$	%
Enthalpie spécifique	$h$	$KJ/Kg_{as}$
Volume spécifique	$v$	$m^3/Kg_{as}$
perméabilité à la vapeur d'eau	$\pi$	$kg/m.s.Pa$
Flux de vapeur	$g_v$	$kg/m^2.s$



# Avant-propos

La thermique du bâtiment est l'ensemble des sciences et techniques visant à étudier les besoins énergétiques des bâtiments. Elle aborde principalement les notions d'isolation thermique et de ventilation afin d'offrir le meilleur confort thermique aux occupants.

La thermique du bâtiment décrit les échanges thermiques qui se réalisent entre un bâtiment et son environnement. Cette analyse va reposer sur toute une série de facteurs qui sont :

- ▶ les facteurs environnementaux : l'emplacement géographique d'un bâtiment (longitude, latitude, altitude) et les données climatiques afférentes, l'implantation générale du bâtiment ainsi que la nature du sol ;
- ▶ les facteurs fonctionnels : deux bâtiments ne sont pas identiques par leur fonction, la chaleur à délivrer, l'eau à chauffer, l'humidité à évacuer varient d'une affectation à l'autre. Dans le cas de l'éclairage, l'usage de machines et ordinateurs, les équipements électroménagers produisent plus ou moins de chaleur, qu'il faut ajouter au bilan thermique ;
- ▶ les facteurs liés à la nature des matériaux et composants employés dans la construction du bâtiment : les parois extérieures, murs, planchers et toitures sont considérés comme des surfaces d'échange thermique que l'on doit considérer relativement à leur orientation, leur dimension physiques, les matériaux de construction employés considérés dans leur épaisseur et leurs propriétés thermiques. Lorsqu'il s'agit de surfaces vitrées, on doit tenir compte de la transmittance des vitres et d'envisager l'exposition au soleil. En effet, les parois sont considérées plus ou moins étanches ou perméables à l'air, sources de déperdition thermique. Dans le cas des parois intérieures, elles sont considérées dans leur masse et elles contribuent à ce qu'on appelle l'inertie thermique et le déphasage thermique, c'est-à-dire la capacité à accumuler et d'autre-part à restituer à court ou moyen terme la chaleur accumulée.

Une étude thermique est réalisée par un thermicien qui va s'appuyer sur des réglementations thermiques locales, des données délivrés par des organismes officiels, des fabricants de matériaux, des organismes de certification, pour aboutir à un document qui établit qu'un bâtiment rentre dans telle classe d'isolation officiel, ou correspond à tel label énergétique.

Cet ouvrage présente les différents aspects technologiques et fonctionnels des équipements en thermique du bâtiment. Il est destiné aux techniciens et aux ingénieurs de la construction afin d'acquérir et mettre en pratique les connaissances indispensables dans ce domaine.

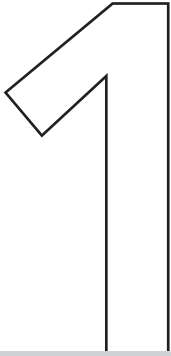
C'est pourquoi la première et la deuxième partie de cet ouvrage s'intéressent au confort thermique, qui est défini comme un état de satisfaction du corps vis-à-vis de l'environnement thermique. En effet, la thermique du bâtiment doit considérer l'homme comme un instrument de mesure subjectif : le confort thermique repose sur la notion complexe de sensation de chaud à laquelle nous associons la notion de température. Dans un environnement idéal, le corps ne doit jamais éprouver des sentiments incommodants de froid ou de chaud excessifs.

La troisième partie de l'ouvrage traite des notions fondamentales régissant les transferts de chaleur (conduction, convection, rayonnement). La connaissance et la maîtrise de ces transferts thermiques permettent une gestion de la facture énergétique d'un bâtiment. Nous nous sommes volontairement limités à l'étude des régimes permanents qui sont utilisés dans la plupart des projets.

La quatrième partie de l'ouvrage est consacrée au bilan thermique des locaux par la détermination de la puissance de chauffage afin de choisir les techniques et les systèmes de chauffage et climatisation.

La cinquième partie de l'ouvrage étudie la condensation des parois sous l'effet de la transformation de la vapeur d'eau contenue dans l'air en eau liquide. Cette condensation peut être superficielle et provoquer le gonflement et le décollement du revêtement, comme elle peut être interne et provoquer la diminution de la résistance thermique des parois.

La dernière partie de cet ouvrage illustre par des photos l'ensemble des matériaux isolants pour réaliser le confort thermique et faciliter à l'étudiant et au technicien leur adaptation aux nouvelles techniques du génie climatique.



# Notions fondamentales de la thermique

L'énergie thermique est l'énergie cinétique d'un objet, qui est due à une agitation désordonnée de ses molécules et de ses atomes. Les transferts d'énergie thermique entre corps sont appelés transferts de chaleur et jouent un rôle essentiel en thermodynamique. Ils atteignent un équilibre lorsque la température des corps en contact est égale.

Lors de la mise en contact entre deux corps, un échange d'énergie thermique se produit. Le point d'équilibre est atteint lorsque les deux corps ont atteint la même température. La notion d'équilibre est une notion transitive. Si un corps A est en équilibre avec B, et que ce corps B est en équilibre avec un corps C, alors A et C sont aussi en équilibre. A, B et C ont la même température. Au début du  $xx^e$  siècle, il a été jugé que cette loi, qui semble tenir du simple bon sens, méritait d'être formulée comme le principe de la thermodynamique.

Bien que difficile à définir formellement, la température est une notion utilisée dans la vie courante, car facile à observer. Pour mesurer la température d'un corps, il suffit de le mettre en contact avec un thermomètre (par exemple un thermomètre à mercure), et d'en mesurer la graduation à l'équilibre thermique.

## 1.1 Les différents types de chaleur

### 1.1.1 La chaleur sensible

Quand on chauffe l'eau de  $\theta_1 = 25\text{ °C}$  à  $\theta_2 = 70\text{ °C}$ , on remarque que la température monte au fur et à mesure que de la chaleur y est ajoutée sans que l'état de l'eau change. La hausse de chaleur est appelée chaleur sensible. De la même manière, quand de la chaleur est enlevée d'un objet et que sa température baisse, la chaleur retirée est également appelée chaleur sensible.

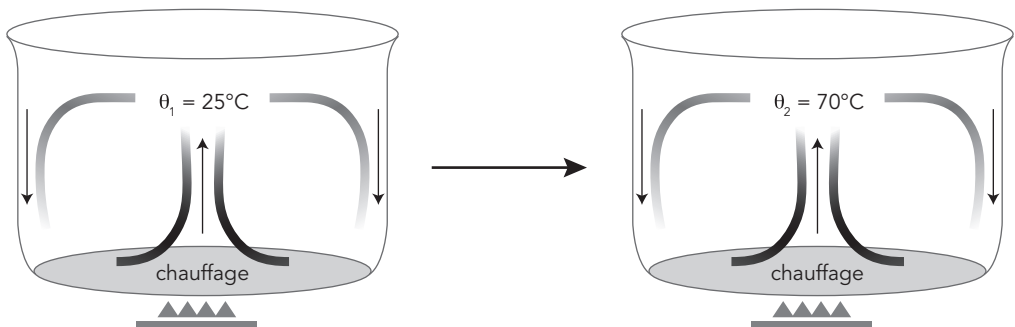


Figure 1.1 La chaleur sensible

La chaleur qui provoque une modification de la température d'un objet sans modifier son état est appelée chaleur sensible.

### 1.1.2 La chaleur latente

Tous les corps purs sont capables de modifier leur état. Les solides peuvent devenir des liquides (glace en eau) et les liquides peuvent devenir des gaz (eau en vapeur), mais ces transformations nécessitent l'ajout ou le retrait de chaleur. La chaleur qui provoque ces transformations est appelée chaleur latente.

Cependant la chaleur latente n'affecte pas la température d'une substance (par exemple, l'eau reste à  $100\text{ °C}$  quand elle bout). La chaleur ajoutée pour maintenir l'eau en ébullition est la chaleur latente.

La chaleur qui provoque un changement d'état sans modifier la température est appelée chaleur latente.

Une substance peut changer d'état physique de plusieurs façons, il existe donc plusieurs chaleurs latentes :

## 1.1 Les différents types de chaleur

- ▶ chaleur latente de liquéfaction : quantité de chaleur pour passer de l'état solide à l'état liquide ;
- ▶ chaleur latente de vaporisation : quantité de chaleur pour passer de l'état liquide à l'état gazeux ;
- ▶ chaleur latente de condensation : quantité de chaleur pour passer de l'état gazeux à l'état liquide ;
- ▶ chaleur latente de solidification : quantité de chaleur pour passer de l'état liquide à l'état solide.

### Exemple : évolution d'un kilogramme de glace à la pression atmosphérique

Pour augmenter ou diminuer la température d'un corps nous devons soit retirer, soit ajouter une certaine quantité d'énergie, l'unité qui permet de quantifier cette énergie est le Joule (J), et plus exactement le kilojoule (kJ).

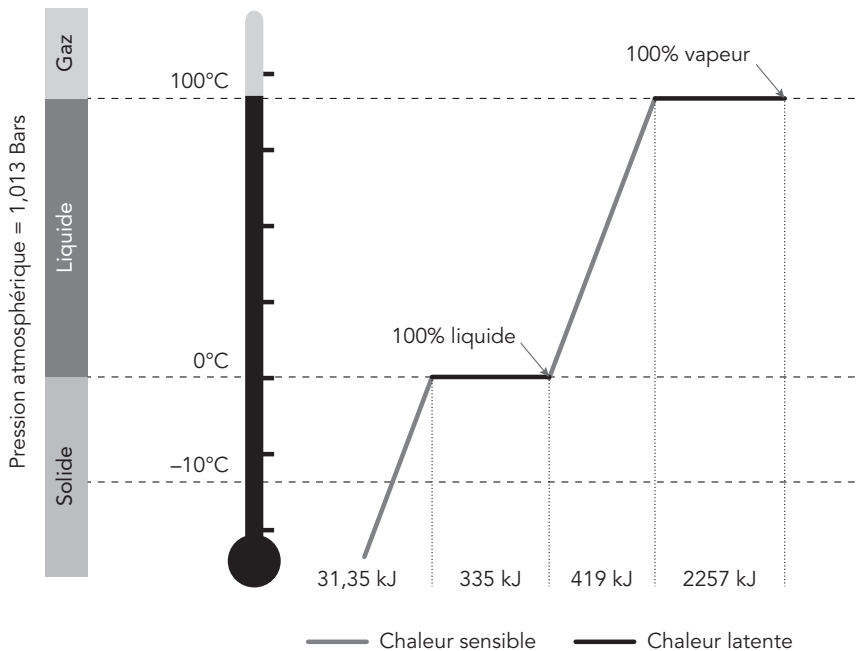


Figure 1.2 Évolution d'un kilogramme de glace à la pression atmosphérique