

TECHNO-FICHES

**100 FICHES
PRATIQUES**

CHAUFFAGE

*Dimensionnement • Production •
Distribution • Eau chaude sanitaire*

Patrick Agostini

DUNOD

Direction artistique : Élisabeth Hébert

Illustration de couverture : Ivan Kruk/shutterstock.com

Les figures 1.1-1.2, 2.1, 4.1, 5.1-5.2, 6.1-6.2, 7.1-7.2, 8.1, 10.1-10.2, 11.1, 12.1, 13.1-13.2, 16.1, 17.1, 20.1, 21.1, 24.1-24.3, 25.1, 26.1, 27.1-27.3, 28.1-28.3, 29.1, 31.1, 32.1, 33.1, 34.1, 35.1, 36.1-36.2, 37.1, 37.2, 38.1-38.3, 39.1-39.2, 40.1, 42.1-42.3, 43.1, 46.1, 47.1, 48.1, 50.1-50.3, 51.1, 52.1-52.3, 53.1, 57.1-57.2, 57.4, 58.1, 59.1, 60.1-60.2, 63.1, 66.1, 67.1-67.4, intro partie F, 71.1, 72.1-72.2, 73.1, 74.2, 78.2, 79.1-79.3, 81.1, 82.1-82.3, 84.1, 88.1, 90.1-90.2, 93.1-93.2 et annexe sont extraites de l'ouvrage *Pratique du chauffage en 26 fiches-outils*, Jack Bossard, Jean Hrabovsky et Philippe Ménard, Dunod, 2014.

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.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements

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. 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).



© Dunod, 2021

11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff

www.dunod.com

ISBN 978-2-10-078354-0

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° 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. 3352 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	VII
Introduction	VIII

PARTIE A

Les notions de base

1. Confort thermique	2
2. Confort hygrothermique	4
3. Températures extérieures de base	5
4. Déperditions	6
5. Calcul des déperditions de base par transmission	7
6. Déperditions par parois vitrées et ponts thermiques linéaires	9
7. Déperditions par renouvellement d'air	12
8. Aération, ventilation et acoustique	15
9. Rappels historiques sur la ventilation	17
10. Ventilation mécanique contrôlée	19
11. Ventilation double flux	21
12. Ventilation hybride et ventilation mécanique répartie	23
13. Rénovation des installations de ventilation	24
14. Choix du type de VMC	25
15. Comparatif des types de ventilation	26
16. Principaux polluants de l'air intérieur	27
17. Puits provençal ou canadien	28
18. Apports de chaleur gratuits	29
19. Estimation des consommations de chauffage	30
20. Valeurs réglementaires	31
21. Diffusion de chaleur par rayonnement ou convection	33
22. Textes réglementaires	34

PARTIE B

Les types d'installations

23. Sources d'énergie	37
24. Modes d'émission de chaleur des émetteurs	39
25. Chauffage central individuel ou collectif	40
26. Chauffage individuel centralisé	41
27. Chauffage divisé	42

28. Réseau urbain de chaleur	43
29. Anciens systèmes en thermosiphon à vase ouvert	45

PARTIE C

Classification des chaudières

30. Choix de la production de chaleur	48
31. Puissance d'une chaudière	49
32. Arrêté chaufferie	51
33. Chaudière fonte à éléments sectionnés	53
34. Chaudière acier monobloc à tubes de fumée	54
35. Chaudière acier condensation compacte	55
36. Chaudières à combustibles solides	56
37. Chaudières fioul	58
38. Chaudières gaz naturel	60
39. Installations gaz propane et gaz butane (GPL)	62
40. Brûleurs atmosphériques et à air pulsé	63
41. Chaudières à condensation – PCI-PCS	65
42. Conduits de fumée à tirage naturel – cheminée	67
43. Ventouses – chaudières étanches	69
44. Chaudière VMC gaz	70
45. Production de chaleur par systèmes électriques	71
46. Pompe à chaleur	72
47. Chauffage solaire	74
48. Géothermie	76

PARTIE D

Les appareils de production-émission

49. Solutions de production-émission	79
50. Production-émission – combustibles solides	80
51. Production-émission – combustibles liquides	82
52. Production-émission – combustibles gazeux	83
53. Production-émission – énergie électrique	84
54. Plancher chauffant rayonnant électrique	85

PARTIE E

Accessoires des installations de chauffage à eau chaude

55. Schéma de principe d'une installation de chauffage à eau chaude	88
56. Accessoires électriques d'une installation	90
57. Régulation des installations de chauffage central à eau chaude	92
58. Installation de type chaufferie	95
59. Chaudières en cascade	96
60. Pompes et circulateurs	97

61. Circulateurs	98
62. Caractéristiques électriques des pompes et circulateurs	101
63. Équilibrage des réseaux	102
64. Vitesses silencieuses de circulation de l'eau	103
65. Calcul du réseau d'eau	104
66. Accessoires du circuit de chauffage	106
67. Soupapes différentielles	108
68. Expansion	110
69. Systèmes d'expansion	111
70. Qualité de l'eau de chauffage	114

PARTIE F

Différents modes de distribution

71. Distribution en boucle de Tichelmann	117
72. Distributions monotube et monotube dérivée	118
73. Distribution bitube	120
74. Distribution hydrocâblée (en pieuvre)	121
75. Tuyauteries utilisées	122
76. Mise en œuvre des canalisations	124
77. Supports des canalisations	125
78. Dilatation thermique	127

PARTIE G

Émetteurs de chaleur

79. Émetteurs de chaleur : radiateurs	130
80. Critères de choix d'un radiateur	131
81. Puissance des radiateurs	132
82. Équipement des radiateurs : robinets	134
83. Équipement des radiateurs : tés de réglage	136
84. Plancher chauffant basse température	137

PARTIE H

Production d'eau chaude sanitaire

85. Réglementation	140
86. Composition d'un chauffe-eau électrique – effet Joule	141
87. Choix d'un chauffe-eau électrique	143
88. Production d'eau chaude sanitaire collective par électricité	145
89. Chauffe-eau thermodynamique individuel (CETI)	146
90. Installations solaires	148
91. Chaudières murales gaz : production ECS	151
92. Chaudière au sol production mixte	153
93. Production d'ECS à partir d'un primaire à eau chaude	154
94. Chauffe-eau et chauffe-bain gaz	156

95. Besoins en eau chaude sanitaire	158
96. Risque légionellose	161
97. Mitigeurs thermostatiques	163
98. Traitement de l'eau chaude sanitaire	165
99. Bouclages d'eau chaude sanitaire	167
100. Raccordement électrique et volumes des pièces d'eau	170

ANNEXES

Annexe 1 – Symboles graphiques	173
Annexe 2 – Glossaire	175
Annexe 3 – Bibliographie et références	179
Index	181

AVANT-PROPOS

Consacrées aux installations de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire, ces fiches pratiques ont pour but de présenter l'essentiel des connaissances nécessaires à leur compréhension. Elles sont destinées aux techniciens du génie climatique, et de fait aux étudiants. D'une manière plus générale, elles seront utiles à toute personne amenée à intervenir sur ces installations.

Leur objectif est d'**offrir une vision globale** et de permettre d'**accéder d'une manière simple et rapide aux informations essentielles**. Nous avons choisi de ne prendre en compte que les installations les plus représentatives, présentes dans les bâtiments d'habitation individuels ou collectifs. Ces fiches pratiques ne constituent pas un cours sur le chauffage et les installations d'eau chaude sanitaire.

L'ouvrage est composé de **100 fiches pratiques** organisées en grandes parties qui permettent d'aborder d'une manière simple les différents points clés qui caractérisent ces installations. Ces fiches abordent la question de la réglementation d'une manière générale (normes, réglementation thermique...) et ne se substituent pas aux textes réglementaires, qui sont en constante évolution. Les annexes reprennent le vocabulaire et les abréviations utilisées.

L'essentiel dans ce métier est la **connaissance** :

- Savoir que cela existe : **le principe**.
- Savoir comment cela s'appelle : **le nom**.
- Savoir à quoi cela sert : **la fonction**.
- Savoir comment cela est conçu, constitué : **les éléments**.
- Savoir comment cela fonctionne : **le fonctionnement**.

Dans un premier temps, il faut s'approprier ces nouvelles connaissances, prendre le temps de les apprendre et de les comprendre. Une fois qu'elles sont comprises, lorsque l'on peut à son tour l'expliquer à quelqu'un d'autre : on atteint la **maîtrise**.

INTRODUCTION

Avant de parler du chauffage et de la production d'eau chaude, il faut resituer ces deux fonctions essentielles dans leur contexte.

Le **génie climatique** (ou génie thermique) traite de l'ensemble des techniques utilisées pour assurer le confort thermique dans les bâtiments et satisfaire les besoins en eau chaude sanitaire. On parle aussi souvent de CVC (chauffage, ventilation et climatisation [ou conditionnement d'air]) pour décrire ces installations.

La **réglementation thermique**, de plus en plus exigeante, fait que les installations de chauffage central ne représentent plus qu'une faible partie de la puissance installée pour la production, les besoins de l'eau chaude sanitaire devenant prépondérants.

Cet ouvrage est organisé en plusieurs parties, à partir d'une démarche globale visant à faire ressortir différentes notions.

Les installations de chauffage :

- Les notions de base.
- Les différents types d'installations.
- La classification des chaudières
- Les appareils de production-émission.
- Les accessoires des installations de chauffage
- Les différents modes de distribution.
- Les émetteurs de chaleur.

La production d'eau chaude sanitaire :

- La classification et la réglementation.
- Les besoins en eau chaude.
- Le risque légionellose.
- Les mitigeurs thermostatiques
- Le traitement de l'eau chaude sanitaire.
- Les bouclages d'eau chaude sanitaire.
- Les raccordements électriques et pièces d'eau.
- Les raccordements électriques et volumes des pièces d'eau.

Il a pour objectif de donner une **vision d'ensemble** des critères de choix et des solutions possibles.

PARTIE A

LES NOTIONS DE BASE

La fonction principale d'une installation de chauffage est de compenser les déperditions de chaleur. Pour comprendre une installation de chauffage, il faut donc maîtriser plusieurs notions de base :

- La **notion de confort** thermique, qui fait la différence entre température, température ressentie et confort thermique (fiche 1).
- La notion de **confort hygrothermique**, qui fait le lien entre taux d'humidité dans l'air et température (fiche 2).
- La **température extérieure de base**, qui permet de calculer les déperditions et donc la puissance à installer (fiche 3).
- Les **déperditions**, c'est-à-dire les pertes de chaleur. Réduire les déperditions revient à réduire les besoins en chauffage (fiches 4 à 7).
- La **ventilation**, qui va définir la qualité de l'air (odeurs, humidité...) et déterminer les **pertes de chaleur** par renouvellement d'air (fiches 8 à 17).
- Les **apports de chaleur** par les occupants, les apports solaires ainsi que l'inertie des bâtiments (fiche 18). Ils sont pris en compte pour le calcul de puissance en climatisation et lors des études sur les bâtiments passifs.
- L'estimation des **consommations** de chauffage et le diagnostic de performance énergétique ou **DPE** (fiches 19 et 20).
- Le principe de **diffusion de chaleur**, rayonnement ou convection (fiche 21).
- Il faut aussi tenir compte de la **réglementation** (fiche 22).

Dans la notion de confort, il faut également faire attention au **confort acoustique** et donc au bruit des équipements (fiche 8).

1. CONFORT THERMIQUE

Le confort thermique est la sensation de bien-être (notion subjective) que l'on ressent dans un environnement, dans un bâtiment. En plus de la température mesurée, il dépend de plusieurs facteurs.

Température ressentie

Le confort thermique d'un bâtiment ne dépend pas uniquement de la température. Il faut également prendre en compte la notion de **température ressentie**. Ainsi, selon que l'on se tient à proximité d'une surface froide ou d'une surface chaude, la sensation de confort change (figure 1).

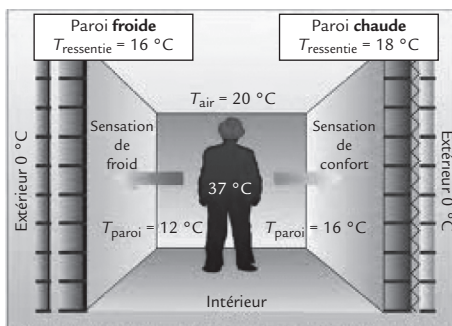


Figure 1 Température ressentie

La température ressentie se calcule à l'aide de la formule :

$$T_{ressentie} = (T_{paroi} + T_{air})/2$$

L'isolation d'une pièce est donc primordiale dans la sensation de confort, de même que le système de chauffage (radiateur, convecteur, etc.). Le chauffage par rayonnement procure une meilleure sensation de confort, qui se rapproche de la sensation que l'on ressent au soleil.

Températures de référence

Les températures de référence sont :

- 19 °C dans les locaux d'habitation, les chambres d'hôtel.
- 16 °C en cas d'absence supérieure à 24 h et inférieure à 48 h.

- 8 °C pour le mode hors gel, en cas d'absence supérieure à 48 h.
- 22 ± 2 °C dans les bureaux (soit au moins 18 °C).

Dans tous les cas, la notion de confort thermique est très personnelle. Une température idéale pour certains se révélera inconfortable pour d'autres.

Autres facteurs

D'autres facteurs influencent la notion de confort :

- L'hygrométrie (taux d'humidité de l'air).
- La vitesse de l'air (courant d'air).
- L'activité de la personne (en mouvement, assise, etc.).
- Son habillement.
- Son état de santé.

C'est pour cela que la température dans les salles de bains ou les hôpitaux doit être plus élevée que dans les autres pièces.

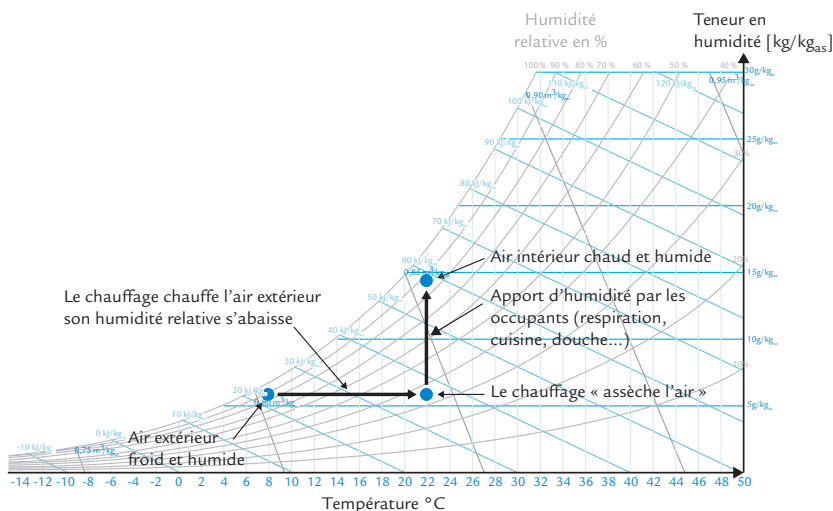


Figure 2 Évolution de l'air renouvelé dans un logement

ASSÈCHEMENT ET HUMIDITÉ

D'une manière générale, l'installation de chauffage assèche l'air (gorge sèche) et l'activité humaine (respiration) apporte de l'humidité (figure 2). En effet, chaque occupant produit en moyenne 80 g/h de vapeur d'eau. Cette humidité devra être évacuée par un système de ventilation.

2. CONFORT HYGROTHERMIQUE

L'**hygrométrie** joue un rôle important dans le ressenti de la température (figure 1). Ainsi, à 17 °C l'humidité doit être comprise entre 40 et 70 %, alors qu'à 26 °C elle doit être comprise entre 30 et 50 %. Au-dessus de 15 °C et de 70 % d'humidité, les moisissures se développent. Pour éviter la présence d'humidité, il est nécessaire de ventiler toutes les pièces (voir fiches 8 à 15).

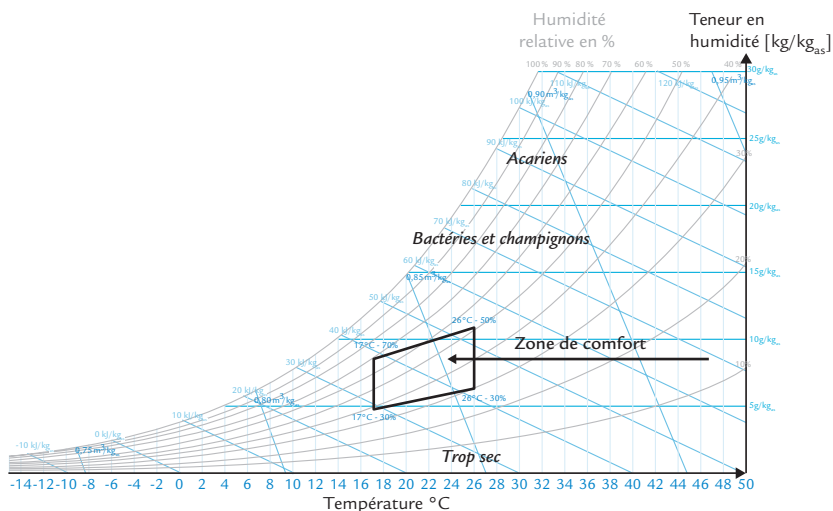


Figure 1 Diagramme psychrométrique

TAUX DE RENOUVELLEMENT DE L'AIR

Le taux de renouvellement de l'air par occupant doit être d'au moins 15 à 25 m³/h en fonction de l'activité. Ce renouvellement d'air entraîne une déperdition de chaleur (voir fiche 7).

3. TEMPÉRATURES EXTÉRIEURES DE BASE

Les températures extérieures de base permettent de calculer les déperditions. Elles sont données par les statistiques météorologiques qui tiennent compte de l'altitude et de la proximité avec la mer (pourtour méditerranéen). Ainsi, si la température de base d'une ville est $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$, cela signifie statistiquement qu'il peut faire $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant trois jours consécutifs. Il peut bien sûr y faire plus froid ponctuellement. Dans les grandes villes, les déperditions des bâtiments mal isolés font généralement remonter cette température extérieure.

Températures extérieures et altitudes

La carte de la figure 1 donne les températures extérieures. Elle accompagne le tableau 1, qui indique les corrections à apporter en fonction de l'altitude (extrait de la NF P52-612/CN).

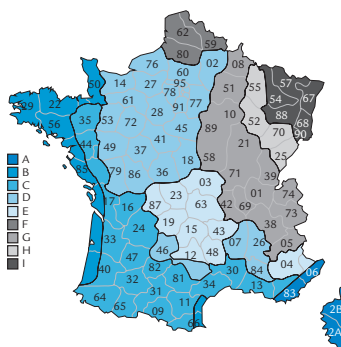


Figure 1 Carte de températures de base en fonction des zones géographiques

Tableau 1 Correction en fonction de l'altitude

Altitude	Zone								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
0 à 200 m	-2	-4	-5	-7	-8	-9	-10	-12	-15
201 à 400 m	-4	-5	-6	-8	-9	-10	-11	-13	-15
401 à 600 m	-6	-6	-7	-9	-11	-11	-13	-15	-19
601 à 800 m	-8	-7	-8	-11	-13	-12	-14	-17	-21
801 à 1 000 m	-10	-8	-9	-13	-15	-16	-17	-19	-23
1 001 à 1 200 m	-12	-9	-10	-14	-17		-19	-21	-24
1 201 à 1 400 m	-14	-10	-11	-15	-19		-21	-23	-25
1 401 à 1 600 m	-16		-12		-21		-23	-24	
1 601 à 1 800 m	-18		-13		-23		-24		
1 801 à 2 000 m	-20		-14		-25		-25		
2 001 à 2 200 m			-15		-27		-29		

4. DÉPÉRDITIONS

L'installation de chauffage sert à compenser les déperditions de chaleur. Les différentes réglementations thermiques et l'isolation des bâtiments ont permis de les faire fortement baisser.

Par convention, on considère que l'échange de chaleur se fait toujours du chaud vers le froid. Un **échange de chaleur** se crée quand il existe un écart de température entre les deux côtés d'une paroi. Il est également généré par le renouvellement d'air (figure 1).

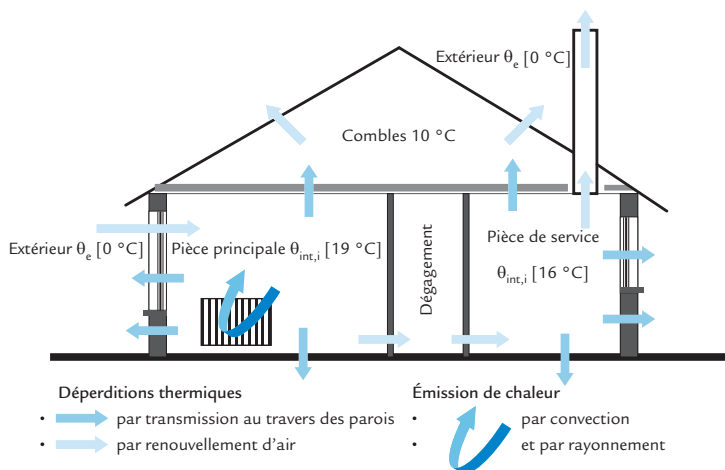


Figure 1 Déperditions de chaleur d'un bâtiment

On distingue deux types de déperditions :

- les déperditions par échange à travers les parois, appelées **déperditions de base** ;
- les **déperditions par renouvellement d'air**.

Dans les nouveaux bâtiments conformes à la réglementation thermique, les déperditions de base sont faibles. L'essentiel des déperditions se fait alors par la ventilation, d'où l'importance de prévoir, lorsque cela est possible, une ventilation double flux qui permet de récupérer plus de 90 % de la chaleur contenue dans l'air extrait.

5. CALCUL DES DÉPERDITIONS DE BASE PAR TRANSMISSION

Le calcul des déperditions est une étape nécessaire au dimensionnement de l'installation de chauffage. Il se fait en suivant la norme NF EN 12831 harmonisée au niveau européen et son complément national, la norme NF P 52-612/CN. À partir des déperditions de base, le **coefficient de performance énergétique (cep)** peut être calculé. Il permet de vérifier la conformité avec la réglementation thermique. La démarche pour calculer la puissance d'une installation est différente. On emploie les recommandations AICVF n° 01-2019 « chauffage, déperditions de base », consacrées aux dimensionnements des installations de CVC.

Déperditions de base

Les **déperditions de base** correspondent au flux de chaleur (figures 1 et 2) qui s'échappe de l'espace chauffé (vers la toiture, le sol, l'extérieur, les pièces non chauffées, etc.), en fonction des surfaces d'échange et des ponts thermiques (parties mal isolées comme les liaisons plancher – façade, etc.).

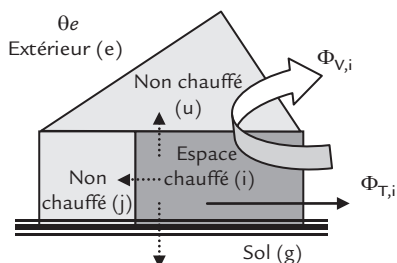


Figure 1

déperditions $\Phi_T = \sum H_T = \Delta\theta$ en W

- $\sum H_T$: somme des coefficients de déperdition.
- $\Delta\theta$: écart de température entre l'intérieur et l'extérieur = $\theta_{INT} - \theta_{EXT}$.

Coefficients de déperdition des parois

Les **coefficients de déperdition H_T** (en $W/^\circ C$) se calculent à l'aide du coefficient de transmission thermique d'une paroi (U) et en fonction des coefficients de transmission des ponts thermiques (ψ).

$$H_T = \sum A \times U + \sum \psi \times L \quad \text{en } W/^\circ C$$

- $\sum A [m^2]$: somme des surfaces des parois en contact avec l'extérieur.
- $U [W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$: coefficient de transmission thermique des parois.
- $\psi [W/(m \cdot ^\circ C)]$: coefficient de transmission du pont thermique linéaire entre deux parois.
- $L [m]$: longueur du pont thermique linéaire.

Coefficient de transmission thermique des parois

Le coefficient U (en $W/m^2 \cdot ^\circ C$) dépend lui-même du pouvoir isolant des matériaux, appelé résistance thermique, la valeur de U doit être la plus petite possible.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum R + R_{se}}$$

- R_{si} et R_{se} [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]: résistances superficielles intérieure et extérieure (tableau 1).
- $\sum R$ [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]: somme des résistances thermiques de chaque paroi.

Lorsque la paroi est composée de plusieurs matériaux, les résistances thermiques s'additionnent ($\sum R_i$).

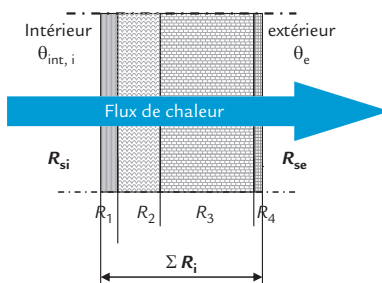


Figure 2 Échange de chaleur à travers une paroi

Résistance thermique

R (en $m^2 \cdot ^\circ C/W$) se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

- e [m]: épaisseur de la paroi.
- λ [$W/m \cdot ^\circ C$]: coefficient de conductivité thermique du matériau.

La valeur de R doit être la plus grande possible.

À RETENIR

Il faudra donc, en fonction des informations disponibles, choisir :

- λ le plus petit possible.
- R le plus grand possible.
- U le plus petit possible.

Tableau 1 Valeurs des résistances superficielles intérieures et extérieures à utiliser pour le calcul de U

Paroi et flux	Face externe	R_{si}	R_{se}
Horizontale, inclinaison $< 60^\circ$ Flux vers le haut \uparrow	Extérieur	0,1	0,04
	Non chauffé	0,1	0,1
Verticale, inclinaison $\geq 60^\circ$ Flux horizontal \rightarrow	Extérieur	0,13	0,04
	Non chauffé	0,13	0,13
Horizontale, inclinaison $< 60^\circ$ Flux vers le bas \downarrow	Extérieur	0,17	0,04
	Non chauffé	0,17	0,17

6. DÉPÉRDITIONS PAR PAROIS VITRÉES ET PONTS THERMIQUES LINÉAIRES

Les déperditions par les surfaces vitrées ont fortement diminué depuis l'apparition des doubles vitrages et des menuiseries à rupture de ponts thermiques. Elles se calculent à partir du coefficient U_w .

Coefficient U_w surfacique des parois vitrées

Pour les déperditions thermiques des fenêtres, on utilise le coefficient de transmission thermique U_w qui prend en compte :

- la partie vitrée de surface A_g [m²] et de coefficient de transmission U_g [W/m².°C] ;
- la liaison vitre/menuiserie de longueur L_g [m] et de coefficient de transmission ψ_f [W/m².°C] ;
- la menuiserie de surface A_f [m²] et de coefficient U_f [W/m².°C].

Notons que g vient de l'anglais *glass* (verre) et f de *window frame* (huisserie).

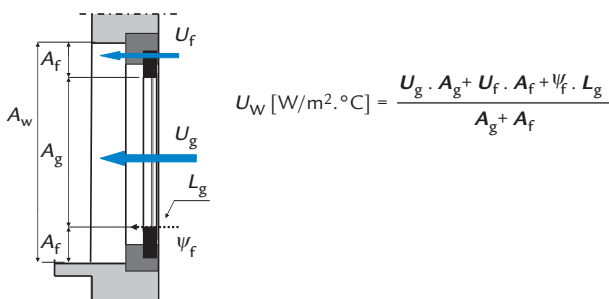


Figure 1 Coefficient de transmission U_w de la fenêtre nue

À RETENIR

Il faut que la valeur de U_w soit la plus petite possible.

Le coefficient U_w d'une fenêtre dépend fortement de celui du vitrage U_g (simple vitrage, double ou triple vitrage avec lame d'air ou de gaz argon, d'épaisseur variable à isolation renforcée ou non). Les tableaux 1 et 2 donnent quelques valeurs à titre indicatif.

Tableau 1 Coefficient U_g [$W/m^2 \cdot ^\circ C$] des vitrages

Coefficient U_g [$W/m^2 \cdot ^\circ C$] des vitrages	
Simple vitrage	5,7
	Lame d'air (ou de gaz)
	6 à 20 mm
Double vitrage	3,3 à 2,7 mm
Triple vitrage	2,3 à 1,8 mm
VIR (vitrage à isolation renforcée) Double vitrage à faible émissivité, lame d'air, d'argon ou de krypton	2,9 à 1,5 mm
	2,6 à 1,2 mm
	2,3 à 1,2 mm

Tableau 2 Coefficient U_w [$W/m^2 \cdot ^\circ C$] des fenêtres battantes

Coefficient U_w [$W/m^2 \cdot ^\circ C$] des fenêtres battantes		
Coefficient U_g [$W/m^2 \cdot ^\circ C$] vitrages		1,2 à 2,9
Fenêtres battantes U_w [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]	Bois	1,8 à 3,0
	PVC	1,6 à 3,0
	Métal (rupture de pont thermique)	2,2 à 3,0

Les déperditions par ponts thermiques ont longtemps posé un problème de construction pour les balcons. Des solutions intégrant des isolants à la structure sont apparues pour limiter ces déperditions.

Sur les bâtiments anciens, l'utilisation d'une caméra thermique permet de visualiser les déperditions des façades, notamment des ponts thermiques.

Déperditions par ponts thermiques

Les déperditions par les ponts thermiques se calculent à l'aide des coefficients linéiques ψ en $W/m \cdot ^\circ C$ et de la longueur intérieure L [m] de la liaison entre les parois.

$$H_T = \sum \psi \times L$$

Exemple. Prenons un plancher intermédiaire de 15 cm (sans chappe flottante et sans planelle en façade) donnant sur un mur extérieur en béton de 20 cm, avec une isolation par l'intérieur (figure 2). Le résultat sera $\psi = 0,83 W/m \cdot ^\circ C$

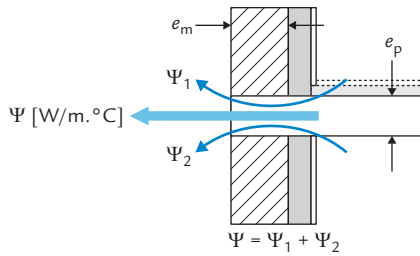


Figure 2 Pont thermique à travers un plancher sans planelle

On trouvera les autres valeurs de ψ en fonction de l'épaisseur du plancher (e_p) et de celle du mur extérieur (e_m) dans les tableaux 3 et 4.

Tableau 3 Valeurs de ψ en W/m.°C – mur en béton plein

$e_m \backslash e_p$	Sans chape flottante			Avec chape flottante		
	15	20	25	15	20	25
$15 \leq e_m \leq 20$	0,83	0,99	1,14	0,74	0,88	0,99
$20 < e_m \leq 25$	0,80	0,97	1,09	0,72	0,85	0,96
$25 < e_m \leq 30$	0,78	0,92	1,05	0,70	0,82	0,93

Tableau 4 Valeurs de ψ en W/m.°C – mur en maçonnerie courante

$e_m \backslash e_p$	Sans chape flottante			Avec chape flottante		
	15	20	25	15	20	25
$20 \leq e_m \leq 25$	0,67	0,82	0,96	0,62	0,74	0,86
$25 < e_m \leq 30$	0,63	0,77	0,93	0,59	0,70	0,81

Si la résistance de l'isolant sous la chape flottante est inférieure à $1 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, ψ doit être majoré de 4 %.

REMARQUES

Dans la RT 2005, on utilisait le coefficient moyen de déperdition à travers les parois ($U_{bât}$) pour évaluer le niveau global d'isolation d'un bâtiment neuf. Il est encore utilisé pour les bâtiments existants. Depuis 2012, il est remplacé par le **Bbio** (besoin bioclimatique) qui tient compte des besoins en chauffage, en climatisation et en éclairage du bâtiment.

7. DÉPÉRDITIONS PAR RENOUELEMENT D'AIR

Les déperditions par renouvellement d'air Φ_V [W] se calculent à l'aide de la formule :

$$\Phi_V = H_V \times (\theta_{\text{int}} - \theta_{\text{ext}}) \quad [\text{W}]$$

- H_V [W/°C] : déperditions nominales par renouvellement d'air.

Déperditions nominales

Les déperditions nominales par renouvellement d'air, qui tiennent compte de la réduction de température, se calculent à l'aide de la formule :

$$H_V = 0,34 \times V_i$$

- V_i [m³/h] : débit d'air dans l'espace chauffé.

S'il n'y a pas de système de ventilation, on se basera sur le taux minimal N_{min} [h⁻¹] de renouvellement en air extérieur du volume de la pièce V [m³] de la pièce considérée (tableau 1).

$$V_i = N \times V \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

Tableau 1 Taux minimal N_{min} [h⁻¹] de renouvellement en air extérieur en fonction du type de local

Type de local	N_{min} [h ⁻¹]
Pièce d'habitation	0,5
Cuisine, WC, salle de bains	1,5
Bureau	1,0
Salle de réunion	2,0

Exemple de calcul des déperditions de base

À partir des informations données dans les fiches 5 à 7, nous pouvons calculer les déperditions de base.

Considérons le plan fictif d'un bâtiment (figures 1 et 2) ayant pour caractéristiques les valeurs suivantes (tableau 2) :

Tableau 2 Caractéristiques thermiques d'une maison individuelle à un niveau sur sous-sol avec comble perdu.
Températures de base 18 °C par – 7 °C

Parois		Caract. therm.
Murs extérieurs	Brique creuse ($R = 0,20$), isolation intérieure ($R = 2,00$), enduit extérieur ép. 0,01 $\lambda = 0,48$; $R_{si} = 0,13$ et $R_{se} = 0,04$ $1/U = 0,13 + 2,00 + 0,20 + (0,01/0,48) + 0,04$	$U = 0,42$ [W/m ² .°C]
Cloisons intérieures	Négligées	-
Plancher haut sous comble perdu $b_u = 0,9$	Plaque de plâtre ép. 0,10, $\lambda = 0,48$; laine de verre ép. 0,20 $\lambda = 0,041$, $R_{si} = 0,10$; $R_{se} = 0,10$ $1/U = 0,10 + (0,10/0,48) + (0,20/0,041) + 0,10$	$U = 0,16$ [W/m ² .°C]
Plancher bas sur sous-sol $b_u = 0,8$	Entrevous polystyrène $R = 0,90$ et chape ép. 0,05 $\lambda = 1,30$ $R_{si} = 0,17$; $R_{se} = 0,17$ $1/U = 0,17 + (0,05/1,30) + 0,90 + 0,17$	$U = 0,78$ [W/m ² .°C]
Liaisons mur/pl. bas	Mur à isolation intérieure ép. 0,20, plancher ép. 0,20 avec en bout planelle $R_p = 0,20$ Suivant règles Th-U fascicule 5	$\psi = 0,75$ [W/m.°C]
Liaisons mur / pl. haut	Négligées	
Fenêtres	Fenêtre bois avec double vitrage à faible émissivité Suivant règles Th-U fascicule 3 ou avis technique	$U_w = 2,20$ [W/m ² .°C]
Porte d'entrée	Bois avec double vitrage Suivant règles Th-U fascicule 3 ou avis technique	$U = 3,50$ [W/m ² .°C]

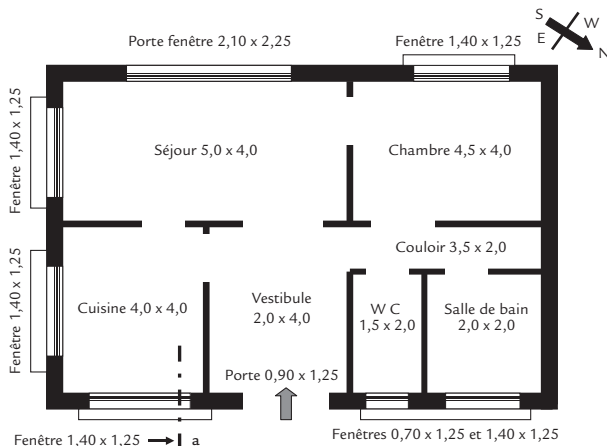


Figure 1 Plan vue dessus

Les calculs de déperdition se font pour chaque pièce à l'aide des longueurs, surfaces calculées à partir des plans. Ils sont résumés dans le tableau 3. Les calculs permettent de trouver la puissance à installer pour chaque pièce et la puissance de la chaudière (fiche 31).

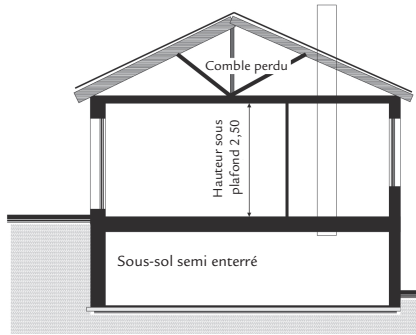


Figure 2 Vue en coupe

Tableau 3 Calculs de déperdition d'une habitation

Pièce	Paroi ou volume	A, L ou VI	U, ψ ou 0,34	$\theta_L - \theta_C$	bu ou N	U*A* ou bu* (ti-te)	Déperditions [W]	Majoration Intermittence	Déperditions totales [W] retenues
Séjour 20 m ²	Mur ext. / NE	7,77	0,42	25	1,0	82			
	Fenêtre / NE	4,73	2,20	25	1,0	260			
	Mur ext. / SE	6,50	0,42	25	1,0	68			
	Fenêtre / SE	1,75	2,02	25	1,0	88			
	Pl. haut / Combie	20,00	0,16	25	0,9	72			
	Pl. bas / Sous sol	20,00	0,78	25	0,8	312			
	Laison mur ext. / pl. bas	9,00	0,75	25	1,0	169			
	Renouvellement d'air	50,00	0,34	25	0,5	213			
Total déperditions							1 264	220	1 500
Cuisine 16 m ²	Mur ext. / SE	9,12	0,42	25	1,0	96			
	Fenêtre / SE	0,88	2,02	25	1,0	44			
	Mur ext. / NE	6,50	0,42	25	1,0	68			
	Fenêtre / NE	1,75	2,02	25	1,0	88			
	Pl. haut / Combie	16,00	0,16	25	0,9	58			
	Pl. bas / Sous sol	16,00	0,78	25	0,8	250			
	Laison mur ext. / pl. bas	8,00	0,75	25	1,0	150			
	Renouvellement d'air	40,00	0,34	25	1,5	510			
Total déperditions							1 264	176	1 400
Vestibule et couloir	Mur ext. / EN	2,97	0,42	25	1,0	31			
	Mur ext. / NW	2,00	0,42	25	1,0	21			
	Porte	2,03	3,50	25	1,0	178			
	Pl. haut / Combie	15,00	0,16	25	0,9	54			
	Pl. bas / Sous sol	15,00	0,78	25	0,8	234			
	Laison mur ext. / pl. bas	4,00	0,75	25	1,0	75			
	Renouvellement d'air	37,50	0,34	25	0,5	159			
	Total déperditions							752	165
WC	Mur ext. / EN	2,88	0,42	25	1,0	30			
	Fenêtre / EN	0,88	2,02	25	1,0	44			
	Pl. haut / Combie	3,00	0,16	25	0,9	11			
	Pl. bas / Sous sol	3,00	0,78	25	0,8	47			
	Laison mur ext. / pl. bas	1,50	0,75	25	1,0	28			
	Renouvellement d'air	7,50	0,34	25	1,50	95			
Total déperditions							256	33	300

8. AÉRATION, VENTILATION ET ACOUSTIQUE

Le **renouvellement de l'air** apporte un air neuf pour la respiration et évacue les polluants et les odeurs pouvant s'accumuler dans les logements ou provenant d'une activité ponctuelle. Il réduit également l'excès d'humidité (provoquant de la condensation) et fournit aux éventuels appareils à combustion l'oxygène dont ils ont besoin pour un fonctionnement sans danger pour les occupants.

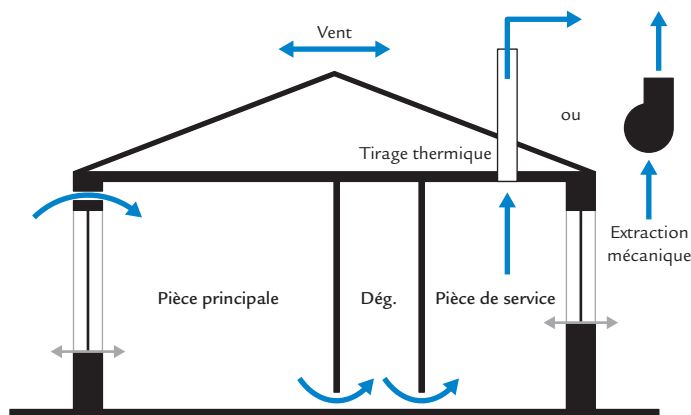


Figure 1 Entrées et sorties d'air dans les différentes pièces d'un logement

Réglementation sur l'aération

L'**arrêté du 24 mars 1982 modifié** relatif à l'aération des logements prévoit quelques principes généraux :

- Aération générale et permanente en hiver, mais aussi en toute saison lorsqu'il y a isolation acoustique.
- Circulation d'air des pièces principales vers les pièces de service (figure 1).
- Entrées d'air en pièces principales et sorties d'air en pièces de service.
- Débits d'air minimaux.
- En cas d'installation d'appareils à combustion dans un logement, le système d'aération doit pouvoir assurer les débits nécessaires à leur bon fonctionnement.

L'étanchéité à l'air des nouveaux bâtiments nécessite de porter une attention particulière à la conception et au dimensionnement de la ventilation. La réglementation acoustique (NRA) doit être respectée.

Acoustique

Les bouches d'entrée d'air vont introduire les nuisances sonores extérieures à l'intérieur de l'habitat. Il existe des bouches de ventilation acoustiques qui réduisent ces nuisances sonores.

De même, les caissons de ventilation devront être choisis en fonction de leur intensité sonore (en décibel A [dB A] mesuré à 1 m). Il faudra faire attention à la transmission des bruits dus aux vibrations du moteur par les supports.

Une augmentation de + 3dB correspond à un bruit 2 fois plus important. On peut représenter les valeurs courantes sur une échelle de bruit (figure 2).

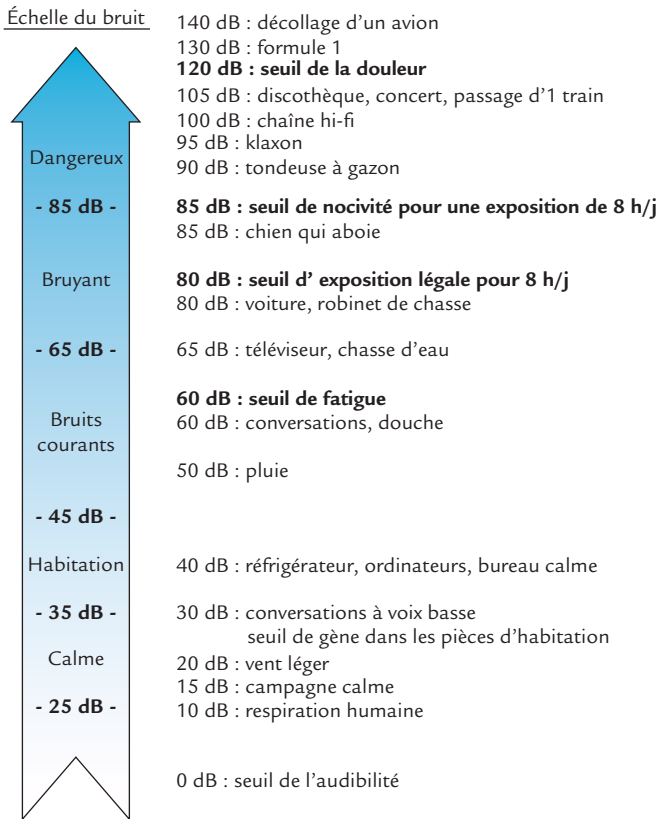


Figure 2 Exemple de valeurs sur une échelle de bruit

9. RAPPELS HISTORIQUES SUR LA VENTILATION

Il est important de connaître les évolutions des réglementations pour bien comprendre le fonctionnement des bâtiments dans lesquels une intervention est nécessaire.

Les immeubles construits avant 1937

En 1904 a paru le tout premier règlement sanitaire communal. Il précisait que les **cuisines** ainsi que les « chambres servant à l'habitation de jour ou de nuit, **pourvues d'un appareil de chauffage et en général les locaux renfermant des poêles, fourneaux de cuisine ou calorifère, devront être ventilés** ». En dehors de ces pièces, les défauts d'étanchéité des portes et fenêtres et les conduits de fumée représentaient l'essentiel de l'aération des logements. Notons que lorsque les flux d'air ne sont pas contrôlés, on parle de **ventilation naturelle**.

Les immeubles construits entre 1937 et 1955

En 1937, le ministre de la Santé publique fixe un modèle de règlement sanitaire départemental type que chaque préfet doit adapter localement. Il prescrit une ventilation par pièce d'habitation, des conduits de fumée en cuisine et dans les pièces principales, ainsi que des orifices d'entrée et de sortie d'air dans les pièces de service et certaines pièces principales (présence d'appareils à combustion).

Les immeubles construits entre 1955 et 1970

Le décret du 22 octobre 1955 précise que l'aération a pour objet d'assurer « **en permanence le renouvellement d'air des pièces principales et des cuisines**, de telle manière que soient maintenues de bonnes conditions de salubrité en ce qui concerne l'**air respiré et les condensations** ». Il précise les sections et les hauteurs des amenées et des sorties d'air. L'article 3 précise : « Dans les pièces principales, lorsque toutes les baies d'un logement ouvrent sur une seule façade, et dans les pièces dont les baies sont équipées de manière à fermer hermétiquement, le renouvellement de l'air doit être assuré de façon permanente par des **ouvertures d'évacuation de l'air et par des ouvertures d'entrée d'air** convenablement disposées et aménagées et de **section suffisante**... Les sections doivent être établies en fonction du volume du local, de l'orientation et du caractère particulier ; plus ou moins dégagé du site

environnant. Toutefois pour les pièces équipées de cheminées à feu ouvert, seules les ouvertures d'entrées d'air sont obligatoires. »

Les immeubles construits entre 1970 et 1982

À partir du 1^{er} juillet 1970 (décret 69-596) apparaissent les notions de **ventilation permanente** par balayage (pendant la période où la température oblige à maintenir les fenêtres fermées), par **ventilation naturelle** par conduits à tirage naturel ou par **ventilation mécanique**. « Qu'elles soient par tirage naturel ou par ventilation mécanique, les **entrées d'air doivent être positionnées dans les pièces principales** et les **sorties d'air doivent être positionnées dans les pièces de service** – cuisine, salle d'eau, WC, douche, etc. – l'air doit circuler librement des pièces principales aux pièces de service. Des dérogations d'aération par pièce existent pour les maisons individuelles et pour des immeubles collectifs de certains départements. »

Le renouvellement du volume d'air des pièces principales est fixé à un volume par heure.

Les immeubles construits après 1982/1983

Les règles précisent, pour les constructions neuves, le **débit total minimal selon le nombre de pièces principales**. L'aération est assurée par un **dispositif mécanique** afin que les taux de pollution de l'air intérieur ne représentent aucun danger pour la santé et que puissent être évitées les condensations, sauf de façon passagère. Le débit minimum en fonction du nombre de pièce (35 m³/h pour une pièce, 60 m³/h pour deux pièces, 75 m³/h pour trois pièces, 90 m³/h pour quatre pièces, etc.) peut être réduit selon la zone climatique. Depuis, les réglementations thermiques et l'étanchéité à l'air sont venues compléter et modifier ces dispositions.

Le dimensionnement des installations dépend du type de logement (habitation individuelle, immeuble collectif, tertiaire, etc.). On se reportera aux textes réglementaires et aux recommandations RAGE.

REMARQUES

Lors de la rénovation complète de bâtiments non conformes à la réglementation thermique, il faut faire appel à un bureau d'étude spécialisé.

En cas de remplacement des fenêtres, il faut rester attentif aux questions de ventilation (présence d'entrées d'air sur les châssis).

Attention, dans tous les cas, il faut tenir compte de la présence ou de l'absence d'appareils gaz.