

# BILAN THERMIQUE ETE :

## CAHIER DES CHARGES POUR LE CALCUL

### D'UN BILAN THERMIQUE DE CLIMATISATION

Avant de commencer le calcul du bilan thermique, le technicien devra connaître tous les facteurs qui pourront affecter son évaluation. Des relevés précis, détaillés, complets sont à la base même du bilan. C'est à partir de la connaissance de ces éléments et si le bilan a été étudié avec soin, que l'on pourra déterminer l'installation la plus économique et la plus efficace, compte tenu des résultats à obtenir. La prise en compte de ces différents paramètres permet d'éviter d'utiliser les coefficients de sécurité lors de l'évaluation des bilans qui sont à l'origine du surdimensionnement des équipements de climatisation.

Nous citons ci-dessous les principaux éléments à prendre en considération.

- . Orientation du local : situation des locaux à conditionner par rapport aux :
  - Points cardinaux, géographique (latitude, longitude), climatiques,
  - Immeubles voisins produisant de l'ombre,
  - Surface réfléchissante : eau, sable, parking, etc.
- . Plans d'architecture, les détails montrant la structure interne de l'immeuble, les croquis à main
- . Dimensions du local : longueur, largeur, hauteur sous plafond,
- . Matériaux de construction : nature des matériaux, épaisseur des murs, toits, plafonds, plancher
- . Couleurs des matériaux : couleurs des murs et du toit,
- . Conditions extérieures au local : locaux adjacents conditionnés ou non, température des locaux non conditionnés, plancher sur sol ou sur vide sanitaire, ensoleillement maximum du local,
- . Conditions à maintenir à l'intérieur du local (température et humidité relative),
- . Destination des locaux : bureau, hôpital, boutique, magasin, atelier...,
- . Fenêtres : dimensions et emplacements, encadrement bois ou métal, type de vitrage, type de store, dimension des auvents et saillies,
- . Portes : emplacement, type, dimension, fréquence des ouvertures,
- . Occupants : activités et nombres, durée d'occupation du local,
- . Appareils ménagers, moteurs : emplacement, puissance nominale ; durée de fonctionnement et
- . Emplacement de l'équipement et réseau de distribution (tracé des canalisations d'eau et des gaines d'air)

#### CONDITION DE BASE DU CALCUL DU BILAN THERMIQUE ETE

Température moyenne (jour/nuit)(° C)													
Lat 43.63 Lon 1.37	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Moyenne annuelle
<b>Moyenne sur 10 ans</b>	<b>2.65</b>	<b>4.54</b>	<b>6.82</b>	<b>9.23</b>	<b>13.5</b>	<b>17.1</b>	<b>21.3</b>	<b>21.2</b>	<b>17.9</b>	<b>12.5</b>	<b>6.96</b>	<b>3.34</b>	<b>11.4</b>

Humidité relative moyenne (%)													
Lat 43.63 Lon 1.37	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Moyenne annuelle
<b>Moyenne sur 10 ans</b>	<b>85</b>	<b>83</b>	<b>82</b>	<b>80</b>	<b>77</b>	<b>73</b>	<b>65</b>	<b>61</b>	<b>65</b>	<b>76</b>	<b>83</b>	<b>86</b>	<b>76</b>

Température statistique été à Toulouse 26.9°C

#### Heure de charges de réfrigération maximales dans les locaux

C'est l'heure pour laquelle tous les calculs du bilan thermique seront effectués.

Pour déterminer cette heure de charges de réfrigération maximales, nous devons suivre les étapes énumérées ci-après :

**Etape 1 :** Orienter les locaux pour déterminer la pointe de réfrigération

Nous présentons sur la figure 1.1, les 31 types d'orientations possibles des locaux à climatiser. Cette figure est à utiliser avec le tableau 1.8 qui précise pour un local donné, le nombre de murs exposés et leurs différentes orientations.

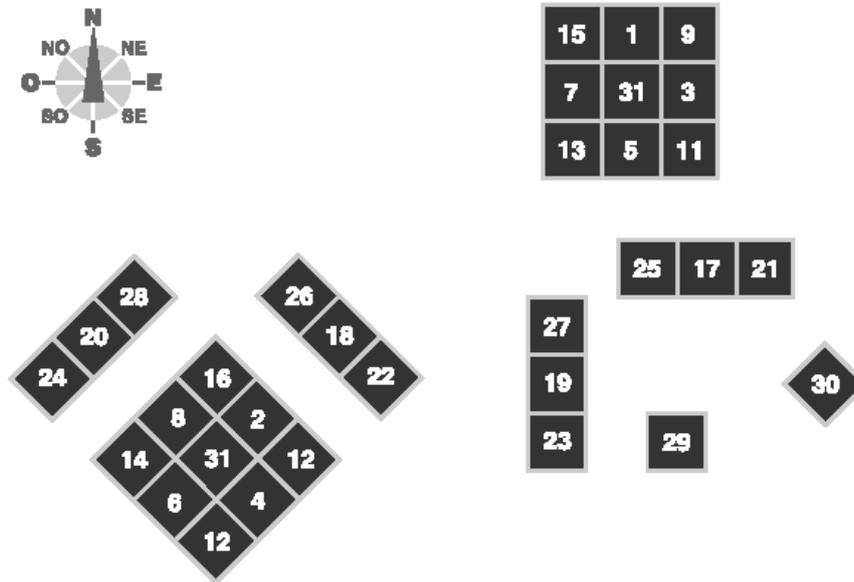


Figure 1.1 Types d'orientations des locaux à climatiser

Orientations des locaux	Nombre de murs exposés	Murs exposés
1	1	N
2		NE
3		E
4		SE
5		S
6		SO
7		O
8		NO
9	2	NE - N - E
10		NE - SE
11		SE - S et E
12		SE - SO
13		SO - S et O
14		SO - NO
15		O - N
16		NO - NE
17		N - S
18		NE - SO
19		E - O
20		NO - SE
21	3	N - E - S
22		NE - SE - SE
23		E - S - O
24		SE - SO - NO
25		S - O - N
26		SO - NO - NE
27		O - N - E
28		SO - NO - SE
29	4	N - E - S - O
30		NE - SE - SO - NO
31	Néant	

**Etape 2 :** Déterminer l'heure de charges de réfrigération maximales dans les locaux

Le bilan thermique sera effectué à l'heure où les charges de réfrigération seront maximales. Cette heure sera déterminée à partir du tableau 1.8 en combinaison avec le tableau 1.14 qui indiquera l'heure d'apport solaire maximale en fonction de l'exposition des parois du local étudié. Cette heure de réfrigération devra

coïncider avec l'heure des apports solaires maximaux et les charges internes maximales (maximum de personnes ou fonctionnement des équipements).

Si les heures d'apports maximaux des charges externes (rayonnement solaire) et internes ne coïncident pas, nous devons choisir l'heure de charges de réfrigération maximale suivant l'exploitation des locaux.

## Calcul des apports calorifiques

Nous présentons ci-dessous une méthode simplifiée de calcul permettant de déterminer les apports calorifiques dans un local.

### LE CALCUL SIMPLIFIE DU BILAN THERMIQUE -----

#### 1 Charges externes

! Apport de chaleur par transmission à travers les parois extérieures (murs, toit, plafond et plancher) et les vitrages

$$Q_{Str} = U \cdot S \cdot \Delta\theta$$

- U = coefficient de transmission thermique de la paroi ou du vitrage considéré en W/m<sup>2</sup>C (tableau 1.9)
- S = surface de la paroi ou de la fenêtre considérée (surface totale de la baie correspondant à la réservation dans le mur) (m<sup>2</sup>)
- $\Delta\theta$  = différence de température entre les deux faces de la paroi considérée [°C] (extérieur – intérieur)

#### ! Apport de chaleur par rayonnement solaire à travers les parois

La quantité de chaleur traversant le mur [Q<sub>m</sub>] :

$$Q_{SRm} = \alpha \cdot F \cdot S \cdot R_m$$

- $\alpha$  = coefficient d'absorption de la paroi recevant le rayonnement
- S = surface des parois en m<sup>2</sup>
- F = facteur de rayonnement solaire
- R<sub>m</sub> = rayonnement solaire absorbé sur la surface du mur en W/m<sup>2</sup>

Le coefficient d'absorption « $\alpha$ » dépend de la couleur et de la nature du mur (tableau 1.11)

Le facteur de rayonnement «F» indique la part de chaleur absorbée par la surface et transmise à travers le mur du local (tableau 1.12).

La valeur du rayonnement solaire «R<sub>m</sub>» sur un mur (tableau 1.14 colonne m) dépend :

- . De la latitude sous laquelle le local se trouve,
- . De l'orientation du mur,
- . De l'heure pour laquelle le calcul sera effectué.

#### ! Apport de chaleur par rayonnement solaire sur les vitrages

La quantité de chaleur traversant le vitrage (Q<sub>v</sub>) :

$$Q_{SRv} = \alpha \cdot g \cdot S \cdot R_v [W]$$

- $\alpha$  = coefficient d'absorption du vitrage (tableau 1.11)
- g = facteur de réduction (tableau 1.13) est fonction du mode de protection de la fenêtre contre le rayonnement solaire
- S = surface vitrée (m<sup>2</sup>)
- R<sub>v</sub> = intensité du rayonnement solaire sur les vitrages W/m<sup>2</sup> ; elle est définie de la même manière que R<sub>m</sub> et est donnée par le même tableau 1.14 dans la colonne «v».

#### ! Apport de chaleur par renouvellement d'air et infiltration

Le renouvellement d'air dans un local climatisé est nécessaire pour des problèmes hygiéniques. Il se fait en règle générale par la ventilation (naturelle ou mécanique) des locaux ainsi que par infiltration, introduisant de l'air extérieur dans le local climatisé. Il est source d'apport de chaleur sensible et latent dans le local à conditionner.

Gains sensibles par renouvellement d'air :

$$Q_{Sr} = q_v \cdot (\theta_e - \theta_i) \cdot 0,34 (W)$$

Gains latents par renouvellement d'air :

$$Q_{Lr} = q_v \cdot (\omega_e - \omega_i) \cdot 0,84 (W)$$

- $q_v$  = débit d'air extérieur de renouvellement [m<sup>3</sup>/h]
- si la ventilation est naturelle, on peut considérer que le renouvellement d'air est égal à un volume de la pièce par heure (1vol/h),
- si la ventilation est mécanique, on relèvera les valeurs dans le tableau 1.15
- $\theta_e$  = température extérieure de base
- $\theta_i$  = température intérieure de base
- $\omega_e$  = teneur en eau de l'air extérieur g/kg<sub>air sec</sub>
- $\omega_i$  = teneur en eau de l'air intérieur g/kg<sub>air sec</sub>

Types de parois	Types d'enduits	Epaisseurs [cm]			
		10	15	20	
Parpaings creux (agglomérés creux)	Aucun	2,80	2,65	2,43	
	Enduit extérieur et intérieur au béton	2,37	2,20	2,09	
	Plâtres ou carreaux	2,55	2,38	2,26	
	Lattes de bois	1,69	1,64	1,59	
	Panneaux isolants	1,30	1,24	1,18	
Béton coulé	Aucun	1,75	1,41	1,18	
	Enduit extérieur et intérieur au béton	1,69	1,36	1,14	
	Plâtres ou carreaux	1,59	1,30	1,08	
	Lattes de bois	1,24	1,02	0,84	
	Panneaux isolants	1,02	0,90	0,79	
Briques de terre		<b>11</b>	<b>22</b>	<b>33</b>	
	Aucun	3,25	2,20	1,62	
	Enduit extérieur et intérieur au béton	3,10	2,50	1,80	
Portes en bois		<b>2,5</b>	<b>3,2</b>	<b>3,8</b>	<b>4,4</b>
	Châssis simple	3,94	3,36	3,00	2,90
	Châssis double	1,97	1,86	1,94	1,74
Toitures	Tuiles – ardoises – Fibrociment	Sans solivage		5,80	
		Avec solivage		4,06	
	Tôle galvanisée ondulée	Sans solivage		9,28	
		Avec solivage		4,64	
Vitrage simple	Châssis en bois			5,0	
	Châssis métallique			5,8	
Vitrage double	Avec lame d'air de 6mm	Châssis en bois		3,3	
		Châssis métallique		4,0	
	Avec lame d'air de 8mm	Châssis en bois		3,1	
		Châssis métallique		3,9	
	Avec lame d'air de 10mm	Châssis en bois		3,0	
		Châssis métallique		3,8	

Tableau 1.9 Coefficients globaux de transmission thermique  $\bar{U}$  des parois (murs – planchers toitures – vitrages – terrasses – portes) en W/m<sup>2</sup>°C

Types de parois	$\Delta\theta$ [°C]
Murs extérieurs ensoleillés	$\Delta\theta = \theta_e - \theta_i$
Murs en contact avec les locaux non conditionnés	$\Delta\theta = \theta_e - \theta_i - 3^\circ\text{C}$
Plafond sous comble ventilé	$\Delta\theta = \theta_e - \theta_i + 3^\circ\text{C}$
Plafond sous comble non ventilé	$\Delta\theta = \theta_e - \theta_i + 12^\circ\text{C}$
Plancher sur terre pleine	$\Delta\theta = +20^\circ\text{C} - \theta_i$
Mur en contact avec la cuisine	$\Delta\theta = \theta_e - \theta_i + 18^\circ\text{C}$

Tableau 1.10 Différence de température entre les différentes faces des parois

Couleurs et nature de la surface		$\alpha$
Surfaces très claires	Pierre blanche - surface blanche, claire ou crème ciment très clair	0,4
Surfaces foncées	Fibrociment - bois non peint - pierre brune - brique rouge - ciment foncé - staff rouge, vert ou gris	0,7
Surfaces très foncées	Toitures en ardoises foncées - cartons bitumés très sombre	0,9
Verres (fenêtres ou lanterneaux)	Vitrage simple	1
	Vitrage double	0,9
	Vitrage triple	0,8

Tableau 1.11 Coefficient d'absorption «  $\alpha$  » pour murs, toits et fenêtres

$U$ coefficient de transmission thermique de la paroi considérée [W/m <sup>2</sup> °C]	F coefficient du rayonnement solaire
0	0
1	0,05
2	0,1
3	0,15
4	0,20

N.B : Interpoler pour les coefficients intermédiaires

Tableau 1.12 Facteur de rayonnement solaire

Fenêtres protégées	Couleurs	g
Stores extérieurs en toile	Ecru	0,28
Stores extérieurs en toile	Aluminium	0,22
Stores intérieurs entièrement baissés	Aluminium	0,45
Stores intérieurs à moitié baissés	Blanc ou crème	0,63
Persiennes entièrement baissées à l'intérieur des fenêtres	Aluminium	0,58
Persiennes entièrement baissées à l'extérieur des fenêtres	Aluminium	0,22

Tableau 1.13 Facteur de réduction « g » pour fenêtres protégées

h	NE		E		SE		S		H		h
	m	v	m	v	m	v	m	v	m	v	
6	325	290	370	335	195	150			80	50	18
7	450	390	595	535	370	320			275	195	17
8	415	330	665	585	515	440	70	17	470	395	16
9	275	175	585	505	550	471	205	110	620	550	15
10	95	25	435	375	520	390	330	205	755	675	14
11			230	130	465	325	370	265	835	740	13
12					275	185	400	290	860	765	12
h	m	v	m	v	m	v	m	v	m	v	h

Tableau 1.1.4 Latitude 45° (Toulouse 43°)

h est en heure solaire, m est le coefficient de rayonnement solaire absorbé par une paroi opaques en W/m<sup>2</sup>, v est le coefficient de rayonnement solaire absorbé par les vitrages en W/m<sup>2</sup>

Désignation des locaux	Débit minimum d'air neuf sans fumeur [m <sup>3</sup> /h/personne]	Densité d'occupation [personne/m <sup>2</sup> ]
Locaux d'enseignement	15 - 18	0,67
Dortoirs, chambres collectives	18	0,25
Bureaux et locaux assimilés	18	0,10
Salles de réunion, spectacle	18	0,31
Boutiques, supermarchés	22	0,08
Cafés, bars, restaurant...	22	0,50
Locaux à usage sportif	18	0,80

Tableau 1.15 Débit de renouvellement d'air nécessaire dans les locaux climatisés et nombre de personne au m<sup>2</sup> par type de locaux

## 2 Charges internes

### ! Apport de chaleur par les occupants

Elle est donnée en fonction de la température intérieure et du degré d'activités. On distingue deux sortes de gains générés par les occupants :

Gains sensibles occupants :

$$Q_{\text{Soc}} = n \cdot C_{\text{Soc}} [\text{W}]$$

Gains latents occupants :

$$Q_{\text{Loc}} = n \cdot C_{\text{Loc}} [\text{W}]$$

- $n$  = nombre d'occupants
- $C_{\text{Soc}}$  = chaleur sensible des occupants (W) ; (tableau 1.16)
- $C_{\text{Loc}}$  = chaleur latente des occupants (W) ; (tableau 1.16)

Les valeurs de la table 1.16 sont valables pour un homme adulte. On devra minorer les valeurs de ce tableau par les coefficients suivants :

- . pour les femmes : -20%
- . pour les enfants : -20 à -40%
- . pour un public mixte : -10%

### ! Apport de chaleur par l'éclairage

Il constitue une source de chaleur sensible et dépend du type de lampe (tableau 1.17) :

Lampe fluorescente

$$Q_{\text{Secl.}} = 1,25 P [\text{W}]$$

Lampe incandescente

$$Q_{\text{Secl.}} = P [\text{W}]$$

- $P$  = puissance de la lampe [W]

Dans le cas de la lampe fluorescente, les 25% supplémentaires représentent la chaleur dégagée par le ballast électromagnétique.

### ! Apport de chaleur par les machines et appareillages

La plupart des appareils constituent à la fois une source de chaleur sensible et latente. Le tableau 1.18 donne les apports de chaleur par les machines et appareillages ( $Q_{\text{Séq.}}$ ). Les valeurs de ces tables ont été déterminées d'après les indications de divers fabricants.

On doit minorer les apports de ces machines et appareillages (par un coefficient de pondération) en fonction de leurs durées de fonctionnement. On ne considère par exemple qu'un appareil ne fonctionnant qu'une demi-heure par heure dégage la moitié de sa puissance électrique nominale en apport de chaleur.

Activités	Application	Température ambiante [°C]						Emission thermique totale [W]
		25 °C		26 °C		27 °C		
		Chaleur sensible [W]	Chaleur latente [W]	Chaleur sensible [W]	Chaleur latente [W]	Chaleur sensible [W]	Chaleur latente [W]	
Assis au repos	Ecole, théâtre	65	37	62	40	60	42	102
Travail léger	Bureau, hôtel, appartement	67	49	63	59	56	60	116
Debout, marche lente	Magasin, boutique	68	63	63	68	57	74	131
Repas	Restaurant	77	84	71	90	64	97	161
Travail facile	Atelier	80	140	72	148	67	153	220
Danse	Boite de nuit	88	161	80	169	75	174	249
Travaille difficile	Usine	149	277	142	284	136	290	426

Tableau 1.16 Chaleur dégagée par les personnes [W]

Destination du local ou type d'activité	Puissance raccordée [W/m²]	
	Lampe à incandescence	Lampe fluorescente
Entrepôts, habitat, restaurant, théâtres	25	8
Bureau, salle de cours, hall d'entrée avec caisse et guichet	65	16
Salle de lecture, d'ordinateur, laboratoire, magasin, hall d'exposition	110	24
Supermarché, très grand bureau, amphithéâtre sans fenêtre, travaux de précision		45

Tableau 1.17 Chaleur dégagée par l'éclairage

Types d'appareils	Puissance nominales [W]	Gain à admettre [W]	
		Chaleur sensible	Chaleur latente
Friteuse 5litres d'huile	2575	464	696
Friteuse 10l d'huile	6954	1102	1653
Chauffe pains	435	319	29
Moules à gaufrettes	2192/719	899/319	609/203
Percolateur 2l	993	394	104
Chauffe eau	146	116	29
Cuisine électrique et machine à laver	3000	1450	1550
Aspirateur	200	50	
Essoreuse	100	15	
Congélateur 200 l	175	500	
Fers à repasser	500	230	270
Chaîne stéréophonique	40	40	0
Téléviseur	175	175	0
Séchoir cheveux	500/1000	175/350	75/250
Plaque de cuisson	500/1000	120/250	130/250
Grill à viande	3000	1200	300
Stérilisateur	150	175	325
Ordinateur	400	250	0
Cafetière	500/3000	750	300
Photocopieuse		750	
Imprimante à jet d'encre		52	
Imprimante laser		15	
fax		62	

Tableau 1.18 Appareillages électriques et à gaz

### Les charges thermiques totales

Le bilan thermique total ( $Q_T$ ) est la somme de toutes les charges externes et internes. Il est plus pratique de faire la somme des charges sensibles ( $Q_s$ ) et latentes ( $Q_L$ ). D'où :

$$Q_T = Q_s + Q_L$$

#### Charges sensibles totales

Ce sont les apports de chaleur sensible dans le local, dus à la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur ; on a :

$$Q_s = Q_{Str} + Q_{SRm} + Q_{SRv} + Q_{Sr} + Q_{Soc} + Q_{Sécl.} + Q_{Séquip.}$$

#### Charges latentes totales

Ce sont les apports de chaleur latente dus à la différence de quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air extérieur et intérieur.

$$Q_L = Q_{Lr} + Q_{Loc} + Q_{Léquip}$$