

Les étapes et les parcours de la RT 2000

Christian Cardonnel,
Bureau d'études Cardonnel,
6, rue Soddy,
Créteil parc,
94044 Créteil CEDEX,
tél. : 01 45 13 14 00,
fax: 01 45 13 14 09,
e-mail: chc@cardonnel.fr

Les grands principes de la RT 2000 sont:

- Un règlement identique pour le résidentiel et le non résidentiel neuf,
- Des exigences globales par bâtiment et non plus par logement (homogénéité),
- Un niveau d'isolation de l'enveloppe identique quelle que soit l'énergie.

Les exigences réglementaires portent sur 3 conditions:

- La **Consommation conventionnelle d'énergie** d'un bâtiment pour le chauffage, la ventilation, la climatisation (en 2003), l'eau chaude sanitaire, les auxiliaires, et pour les bâtiments autres que d'habitation d'éclairage, exprimée sous la forme du coefficient C en (kWh_{ep}) énergie primaire, devra être inférieure ou égale à une consommation conventionnelle d'énergie de référence, exprimée sous la forme du coefficient Créf.
- La **Température intérieure conventionnelle** (°C) atteinte en été par un bâtiment non climatisé, notée Tic, qui correspond à la valeur maximale de la moyenne sur trois heures consécutives de la température opérative, devra être inférieure ou égale à une température intérieure conventionnelle de référence, notée Tic réf.
- Les **Caractéristiques de l'isolation thermique** des parois, des baies, des équipements de chauffage, de ventilation, d'eau chaude sanitaire, de climatisation, d'éclairage et des protections solaires sont au moins égales aux caractéristiques thermiques minimales définies au Titre III de l'arrêté du 29 novembre 2000.
L'analyse des textes réglementaires, l'application des nouvelles normes de calcul, références, etc., conduit à

proposer de réaliser l'étude d'un projet et le contrôle de toute exigences réglementaires selon un synoptique précis avec 3 parcours et 6 points d'étape successifs.

Les 3 parcours de la RT 2000

La référence

Ce parcours trace le chemin de base et permet de définir les niveaux de référence de l'isolation, de la ventilation, des systèmes, des protections solaires pour aboutir à une valeur du coefficient C de référence. Chacune des étapes de ce parcours peut être considérée comme une borne servant de repère au positionnement des autres grandeurs de même catégorie et issues de la même méthode de calcul.

Le garde-fou

Élément par élément, Ce parcours donne les caractéristiques minimales à ne pas dépasser pour rester conforme aux exigences de la RT 2000. Il doit être considéré comme "la frontière" infranchissable. Par contre certains points d'exigence minimale sont simplement la conformité avec la référence, sans possibilité de s'en écarter.

Le projet

Étape par étape, ce parcours est réalisé par le concepteur, en fonction de ses choix pour aboutir à un projet conforme à la référence réglementaire ou à un niveau de performance souhaité (label...).

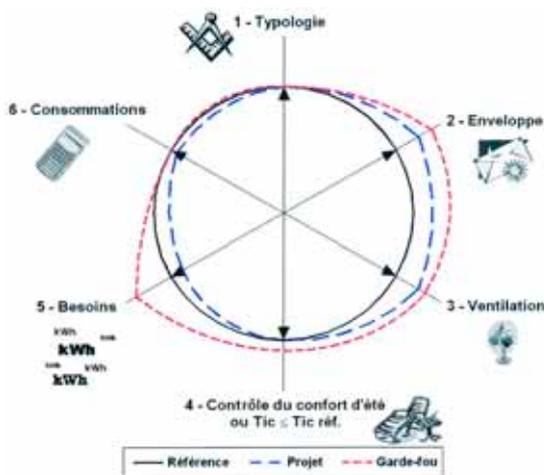


Fig. 1 : Schéma des trois parcours (document Cardonnel)

Les 6 étapes

Étape 1 : Typologie

Cette première étape permet de situer le projet dans son contexte.

Identification du projet

Réglementairement, le projet est défini comme l'ensemble des bâtiments faisant l'objet du permis de construire ainsi que le système utilisé pour la génération de chaleur et d'eau chaude sanitaire, s'il est construit en même temps que les bâtiments faisant l'objet du permis de construire et l'ensemble des réseaux de distribution reliant ce système aux bâtiments.

Données climatiques : les zones d'hiver et d'été

La situation géographique du projet permet de définir immédiatement les constantes des calculs qui seront pris en compte.

On distingue 3 zones (H1, H2 et H3) pour l'application de la thermique d'hiver et 4 zones (Ea, Eb, Ec et Ed) pour l'application de la thermique d'été. Ces zones étant d'implantations très différentes, chaque département est caractérisé par une zone été et une zone hiver (annexe 1 de l'arrêté du 29/11/00).

Parmi les données définies par zone et pour chaque mois, on peut citer :

- La moyenne mensuelle des températures extérieures,
- La moyenne mensuelle de l'ensoleillement sur les plans verticaux sud, ouest, nord, est et horizontaux,
- La température d'eau froide,
- Les paramètres de la loi de Weibull portant sur les vitesses de vent,
- L'humidité quotidienne moyenne,
- L'écart quotidien,
- etc.

Les valeurs définies pour chaque zone sont corrigées par des facteurs en fonction de :

- l'altitude du site,
- la proximité à la mer.

Classes d'exposition au bruit

Par définition, la zone de la construction est dite calme si elle est suffisamment loin d'une infrastructure de transport classée, au titre du décret 95-1 du 9 janvier 1995.

Pour le savoir, il convient de rechercher l'information auprès de la mairie, de la Direction départementale de l'équipement ou de la préfecture.



Fig. 2 : (a) Zones climatiques d'hiver



(b) Zones climatiques d'été

La classe d'exposition de chaque baie du projet au bruit d'une infrastructure se définit en fonction de la distance à la source, la présence d'obstacles à l'exposition, l'exposition plus ou moins directe (ou vue) de la façade par rapport à la source.

Segmentation des calculs

Les calculs des coefficients C et Créf. doivent être effectués pour chaque bâtiment du projet.

Quelques définitions

- **Le bâtiment** est défini dans le code de la construction et de l'habitation.

- **La zone** est définie comme une ensemble de locaux situés dans un même bâtiment et destinés au même type d'activités. Ainsi chaque zone est caractérisée par son type d'activités et sa surface utile. Il existe 16 types d'activités répertoriés par les règles THC qui permettent de définir :

- les horaires conventionnels de maintien en température du bâtiment,
- les températures de consigne conventionnelles,
- les apports internes,
- les périodes de vacances.

- **Le groupe** est défini comme la subdivision d'une zone permettant de différencier des groupes de locaux ayant les mêmes caractéristiques d'émission, de régulation et de distribution.

- **Le local** est un volume accessible totalement séparé de l'extérieur ou d'autres volumes par des parois verticales ou horizontales, fixes ou mobiles. Un local est dit chauffé lorsque sa température normale en période d'occupation est supérieure à 12 °C.

Réglementairement, il existe deux contraintes concernant le résultat du calcul du $U_{bât}$ projet :

- respect de caractéristiques minimales des parois déperditives, ainsi
- le coefficient moyen de déperditions $U_{bât}$ ne peut excéder de plus de 30 % le coefficient moyen de déperdition de référence $U_{bât}$ réf.

$$U_{bât,ref} = \frac{\sum a_i \cdot A_i + a_i \cdot L_i}{\sum A_i}$$

a_i : coefficients réglementaires dont les valeurs sont données par l'arrêté du 29/11/00.

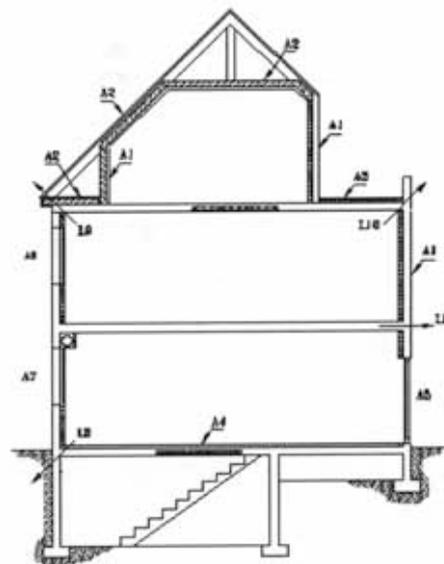


Fig. 4 : Schéma représentant les A_i et L_i (document Cardonnel)

Etape 2: Enveloppe

Coefficient de déperdition spécifique par transmission

L'isolation de l'enveloppe se caractérise par le coefficient $U_{bât}$ [W/(K.m²)] qui représente les pertes par transmission pour 1 m² de surface de l'enveloppe du bâtiment et pour 1 K d'écart de température entre la température intérieure et la température extérieure.

$$U_{bât} = \frac{\sum b \cdot (U \cdot A_i + \Psi L)}{\sum A_i}$$

- B: coefficient d'espace tampon applicables vers des locaux "non chauffés" (valeurs conventionnelles)
- U [W/m².K] coefficient de transmission surfacique des parois
- A_i (m) surface des parois déperditives
- Ψ [W/m.K] coefficient de transmission linéique
- L (m) longueur des ponts thermiques

Le coefficient HT de déperditions par transmission à travers l'enveloppe du bâtiment exprimé en [W/K] est obtenu en multipliant le coefficient $U_{bât}$ par la somme des aires réceptrices (voir tableau 1 page suivante).

Perméabilité à l'air de l'enveloppe

La perméabilité à l'air de l'enveloppe représente un débit de fuite sous une pression de 4 pascal par m² de surface d'enveloppe, exprimée en [m³/(h.m²)].

La surface de l'enveloppe considérée est la surface des parois déperditives définies ciavant dont on exclut les planchers bas.

La valeur de la perméabilité des bâtiments prise en compte pour le calcul pourra être contrôlée sur le bâtiment une fois construit en utilisant la méthode définie par le projet de norme NF EN ISO 9972. Si la mesure n'est pas effectuée, il sera appliqué des valeurs de perméabilité par défaut.

Zone Climatique H				H1 - H2			H3			Valeurs U maxi [W/m²K]		
				R. Ind	R. Coll	Autres	R. Ind	R. Coll	Autres			
A1	Murs Extérieurs	W/m²K	a1	0.40			0.47			0.47		
A2	Planchers sous combles et rampants	W/m²K	a2	0.23			0.30			0.30		
A3	Toitures Terrasses en béton ou maçonnerie	W/m²K	a3	0.30			0.30			0.36		
	Autres toitures terrasse									0.47		
A4	Planchers Bas Ext/Lnc/Sol...	W/m²K	a4	0.30			0.43			0.36		
	Planchers Bas Vide Sanitaire									0.43		
A5	Portes	W/m²K	a5	1.50			1.50			pas de limite		
A6	Fen & P.Fen sans fermetures	W/m²K	a6	2.40			2.60			2.90		
	Façades rideaux									2.90		
A7	Fen & P.Fen avec fermetures	W/m²K	a7	2.00			2.35			2.90		
L8	Linéaire des planchers bas	W/mK	a8	0.50			0.50					
L9	Linéaire des planchers intermédiaires ou sous combles aménageables	W/mK	a9	0.70	0.90		0.70	0.90				
L10	Linéaires des toitures terrasses	W/mK	a10	0.70	0.90		0.70	0.90				
Valeur Psi maxi				W/mK			0.99	1.10	1.35 ⁽¹⁾	0.99	1.10	1.35 ⁽¹⁾
Rapport maxi Ubât/Ubât ref				-			1.30	-		1.30	-	
R. Ind				Maison individuelle								
R. Coll				Logements collectifs								
Autres				Bâtiments tertiaire et autres chauffés à plus de 12 °C								
(1)				Obligatoire à partir de 2004								

Tabl. 1 : Les différentes valeurs de Ubât

Facteur solaire des baies

Il est défini pour l'ensemble des baies en fonction de leur orientation (Nord, Sud, Est, Ouest, Horizontale) l'aire réceptrice équivalente à partir de chaque surface A de baie, du facteur Fs de correction pour l'ombrage et du facteur solaire S défini dans les règles Th-S.

Cette aire réceptrice équivalente, exprimée en m² permet de définir la capacité du bâtiment à capter les apports solaires en thermique d'hiver.

En thermique d'été, en revanche, le domaine d'application visé n'étant pas le même ; le calcul ayant pour effet soit l'évaluation du confort d'été, soit le calcul des consommations d'énergie des bâtiments climatisés (méthode disponible en 2002 seulement), il est tenu compte en plus des composants de la baie, de l'angle d'incidence, des protections solaires, etc.

Inertie thermique du bâtiment

La connaissance du niveau d'inertie thermique du bâtiment (règles TH-I) est nécessaire pour définir la capacité de récupération des apports et modéliser l'intermittence du chauffage. Toutefois une valeur moyenne peut être prise par défaut.

Etape 3 : Ventilation

Cette étape a pour objet de mener sur une base mensuelle un bilan des débits traversant le bâtiment afin de définir d'une part la quantité de chaleur nécessaire à son réchauffement et d'autre part, la consommation électrique des ventilateurs.

Il y aura donc lieu de tenir compte, en dehors des débits de ventilation par renouvellement d'air (mécanique ou naturel), des débits d'infiltration parasites dus aux défauts d'étanchéité et aux entrées d'air, des fuites du réseau de ventilation, des débits complémentaires dus à l'ouverture des fenêtres, etc.

La somme q_{ven} de ces débits traversant permet de définir le coefficient de déperdition par renouvellement d'air Hv, exprimé en [W/°C], tel que :

$$Hv = 0,34 \cdot q_{ven}$$

Concernant les systèmes de ventilation mécanique notons deux coefficients spécifiques :

- le coefficient de dépassement Cd qui permet de prendre en compte les contraintes de dimensionnement de l'installation de ventilation et la dispersion des caractéristiques des composants,

- le coefficient de fuite du réseau Cfr en fonction de sa classe au sens de la norme expérimentale NF X 10236. Par convention, le débit de fuite est fixé à 6 % du débit transitant par le conduit si celui-ci est de classe A et si le système est à dépression supérieure à 20 Pa.

S'appuyant sur l'aspect comportemental des occupants, il est tenu également compte d'un débit d'air supplémentaire dû à l'ouverture des fenêtres pendant 2 heures par jour, en complément du système spécifique de ventilation. Ce débit d'air est fonction de la température extérieure et de la vitesse du vent.

Consommation des auxiliaires de ventilation

La consommation énergétique des ventilateurs est proportionnelle à la puissance et au temps de fonctionnement en considérant l'année complète.

Commentaires

Le modèle mathématique de description de la ventilation comprend un nombre important de données et de paramètres.

Le but du modèle est de calculer les différents débits d'air entrant et sortant dans une zone en fonction de l'équipement, des conditions climatiques (températures et vent) et l'équilibre aéroulque des pressions entre l'intérieur et l'extérieur de la zone.

Les données peuvent être résumées de la façon suivante :

Données de base

- Le type de bâtiment ou zone : exposition simple ou multiple, hauteur totale, étanchéité entre niveaux qui conditionnent les coefficients Cp d'incidence du vent sur les façades et le tirage thermique.
- La surface, le nombre de niveaux et la hauteur de la zone.
- La surface de l'enveloppe extérieure (m²) et sa perméabilité (en m³/h et m² sous 4 Pa).
- La somme des entrées d'air neuf autoréglables Mea (en m³/h sous 20 Pa).
- Le coefficient Cd de dépassement des bouches d'extraction (1,15 pour un matériel certifié, 1,30 par défaut).
- Le coefficient Cfr du réseau d'extraction (coefficient de fuite du réseau = 1,00 en référence, 2,5 par défaut).

Données du moment

- T°i [° C] la température intérieure dans la zone.
- Qv rep [m³/h] le débit nominal d'air repris par les bouches de VMC.
- T°e [°C] la température extérieure du moment.
- V.vent [m/s] la vitesse du vent à l'extérieur.

Nota

Pour chaque mois, le calcul des débits de VMC doit être réalisé en intégrant l'évolution du débit d'air repris (modulation du débit) et les différentes occurrences de vent, soit dans le résidentiel 10 configurations de calcul/mois avec des durées spécifiques.

La méthode de calcul itérative conduit à rechercher l'équilibre des pressions et des débits d'air.

Les débits entrants et sortants sont décomposés en 4 postes :

- Perméabilité de l'enveloppe,
- Entrées d'air neuf,
- Extraction de base des bouches,
- Supplément d'extraction (Coef Cd et fuite réseau).

Les 2 premiers postes peuvent dans certaines conditions d'équilibre, conduire à des débits entrants et sortants. La feuille de calcul ventilation simple flux permet de comparer à un moment l'équilibre aéroulque en fonction d'une référence et d'un projet.

Les impacts du système mis en œuvre ne sont pas toujours simples à définir, seul le bilan annuel permet une approche de la pertinence technico-économique de la ventilation.

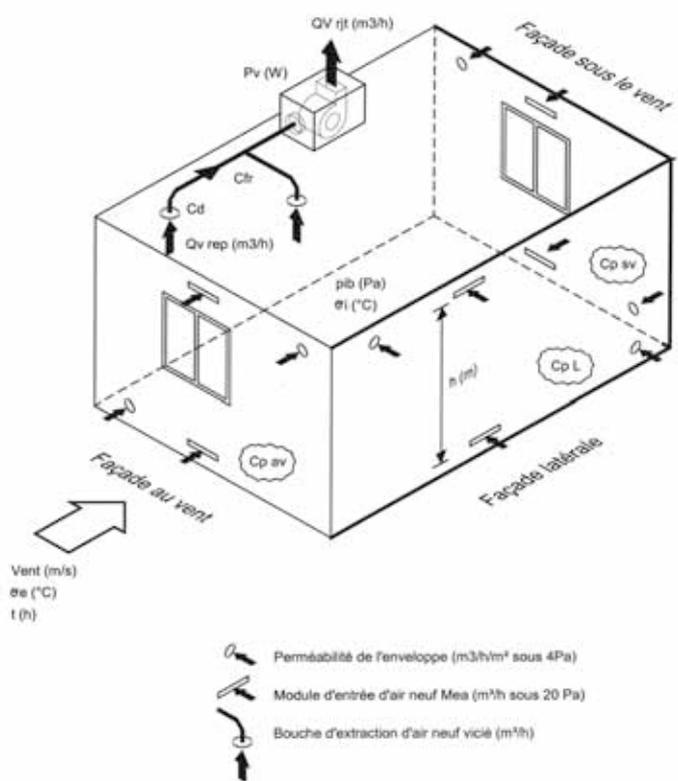


Fig. 5 : Ventilation mécanique contrôlée simple flux (document Cardonnel)

Etape 4 : contrôle du confort d'été

Avant d'avancer plus avant dans le calcul des consommations, il est temps de vérifier la conformité du bâtiment sur le plan de la thermique d'été. En effet, en cas de non conformité, l'une des possibilités est de modifier les caractéristiques des parties vitrées (U ou facteur solaire), pose de protections solaires (les volets sont aussi des occultations nocturnes prises en compte dans la thermique d'hiver), etc.

Deux méthodes sont disponibles :

Méthode sans calcul

Le principe consiste à s'assurer que les performances des protections solaires de chaque baie sont au moins égales aux caractéristiques minimales définies dans l'arrêté. Ces caractéristiques minimales dépendent de l'inertie quotidienne du bâtiment, de la zone climatique d'été, de l'exposition au bruit et de la position de la baie supposée sans masque proche.

Méthode avec calcul

Le calcul de la température intérieure conventionnelle T_{ic} et de la température intérieure conventionnelle de référence $T_{ic\text{ réf.}}$ est fait à partir de la méthode de calcul Th-E. La température intérieure conventionnelle est la valeur maximale de la moyenne sur trois heures consécutives de la température opérative.

Etape 5: besoins**Besoins de chauffage**

Le calcul des besoins de chauffage de chaque zone est effectué à partir de la température intérieure équivalente pour chaque sous période: il s'agit de définir une température intérieure constante qui donnera les mêmes déperditions que celles obtenues avec un chauffage intermittent au cours de cette sous-période.

Les sous-périodes utilisées sont les suivantes: normal, nuit, week-end et vacances.

Un calcul doit être fait pour chaque sous-période et chaque mois.

Selon le principe que la température intérieure de consigne affichée dépend de la capacité du couple formé par le système de chauffage et son dispositif de régulation à assurer une température homogène et ne variant pas, la température initiale sera corrigée comme suit:

- une première variation de température "spatiale" $\delta\theta_{vs}$, exprimée en K, sera fonction du type d'émetteur utilisé et de la hauteur sous plafond.
- une seconde variation de température "temporelle" $\delta\theta_{vt}$, exprimée en K, sera fonction du mode de régulation terminale et du niveau de certification.

Les déperditions Q_l de chaque zone sont calculées pour chaque mois, pour les-souspériodes normales, de réduit de nuit et si nécessaire de week-end.

Afin d'établir les besoins de chauffage nets, il y a lieu de tenir compte des apports gratuits (solaires et internes) assortis d'un taux d'utilisation h , ainsi que des pertes récupérables des différents systèmes.

Le besoin de chauffage, exprimé en kWh, est calculé pour chaque mois et par zone.

Besoins d'eau chaude sanitaire

La quantité de chaleur nécessaire pour préparer l'eau chaude sanitaire est calculée de façon hebdomadaire en fonction du type d'usage de la zone et du mois considéré.

On utilise donc pour cela des données d'entrée telles que des ratios d'utilisation d'eau chaude sanitaire par type d'activité et une température mensuelle d'eau froide.

Besoins pour l'éclairage

Le calcul des consommations pour l'éclairage est réservé aux bâtiments non résidentiel.

Le calcul s'effectue par zone, à l'exclusion de l'éclairage extérieur, l'éclairage des logements de fonction, l'éclairage des parkings, l'éclairage de sécurité et l'éclairage destiné à mettre en valeur des objets ou des marchandises.

Le nombre d'heures d'utilisation de l'éclairage dépend de l'utilisation des locaux, de l'accès à l'éclairage naturel, de la zone climatique et des dispositifs de gestion mis à la disposition des occupants.

Les valeurs d'impact des dispositifs de gestion et de temps d'utilisation sont issues d'analyses bibliographiques et de simulations et devront être affinées par des retours d'expérience.

La compensation ou la pénalisation de la consommation d'éclairage par rapport à la référence ne peut de toute façon dépasser $\pm 10\%$.

Etape 6: consommations**Consommation pour le chauffage**

On calcule pour chaque mois et pour chacune des phases de chauffage, les pertes nettes de distribution de chauffage, les pertes au dos des émetteurs ainsi que les consommations des auxiliaires de distribution de chauffage.

Ces éléments sont calculés successivement pour chaque partie du réseau de distribution: réseau de groupe-réseau intergroupes-réseau interzones-réseau interbâtiments.

La caractérisation du réseau permet de différencier quatre types de distribution: bitube, pieuvre, monotube dérivé, plancher et plafond chauffants, toutefois les calculs ne permettent pas de valoriser un système par rapport à un autre puisque les longueurs à prendre en compte sont les mêmes entre le projet et la référence.

En revanche la température moyenne de distribution peut être valorisée par rapport à la référence ($\theta_{wm} 70\text{ °C}$).

La consommation des auxiliaires de distribution de chauffage est la somme des consommations des pompes de chauffage et des ventilateurs locaux.

Le calcul des pertes nettes de génération et de consommation d'énergie des auxiliaires de génération, effectué pour chaque mois et pour chaque phase de chauffage, passe par le calcul de la charge de la génération, de la température de fonctionnement (suivant le mode de gestion, à température constante ou à température variable), des pertes du ou des générateurs.

Les performances des générateurs déduite du calcul des pertes en valeur absolue (et non en rendement) sont exprimées par trois niveaux de charge:

- les pertes à 100 % de charge
- les pertes à 30 % de charge, charge partielle
- les pertes à 0 % de charge, pertes à l'arrêt.

Pour les produits certifiés, les valeurs spécifiées dans les PV d'essai seront prises en compte.

Consommation pour l'eau chaude sanitaire

Le calcul de la consommation pour l'eau chaude sanitaire est similaire à celui de la consommation pour le chauffage dans la mesure où l'on va s'intéresser à la distribution, au bouclage et au stockage.

Les pertes récupérables sont calculées pour chaque mois et sont égales à la somme des pertes de distribution des parties collectives et individuelles situées

en volume chauffé et d'une part des consommations des circulateurs situés en volume chauffé. Les pertes des ballons récupérables dépendent également de l'emplacement de stockage.

Coefficient C du bâtiment

Le coefficient C du bâtiment est exprimé en kWh d'énergie primaire par an. Il est obtenu en faisant la somme des consommations de chauffage, d'eau chaude sanitaire, d'éclairage et d'auxiliaires de l'ensemble du bâtiment en kWh, majorées chacune des coefficients de transformation en énergie primaire fonction du type d'énergie utilisée.

