

Annexe

A l'arrêté portant approbation de la méthode de calcul TH-C-E ex

Méthode de calcul

TH-C-E ex

La méthode de calcul TH-C-E ex a été développée par le
centre scientifique et technique du bâtiment

SOMMAIRE

1. GENERALITES.....	9
1.1 Objet du document	9
1.2 Coefficient Cep	9
1.3 Température Tic	11
1.4 Précisions	11
2. DEFINITIONS	12
2.1 Définitions utiles pour la segmentation des calculs	12
2.1.1 Projet	12
2.1.2 Bâtiment.....	12
2.1.3 Zone	12
2.1.4 Groupe	13
2.1.5 Cas particuliers.....	13
2.2 Données utilisées pour la segmentation temporelle	13
2.2.1 Année	13
2.2.2 Scenarios de fonctionnement.....	13
3. DONNEES D'ENTREE	14
4. ARCHITECTURE DES CALCULS	15
5. CLIMAT	16
5.1 Valeurs de référence au niveau de la mer.....	16
5.2 Correction d'altitude.....	17
6. LES SCENARIOS CONVENTIONNELS	18
6.1 Généralités et Types d'usage	18
6.2 Définition des scénarios	19
6.3 Apports internes	21
6.4 Définition de la période de chauffe et de refroidissement.....	22
7. ECLAIRAGE.....	24
7.1 Domaine d'Application	24
7.1.1 Types de bâtiments visés	24
7.1.2 Quel éclairage prendre en compte ?.....	24
7.2 Calcul de la consommation d'Energie pour l'éclairage du bâtiment.....	24
7.3 Méthode de calcul en non résidentiel	25
7.3.1 Calcul de la consommation pour le groupe	25
7.3.2 Calcul de la puissance installée	26
7.3.3 Valeurs du coefficient C1.....	27
7.3.4 Calcul du coefficient C34.....	27
7.3.4.1 Détermination de l'accès à l'éclairage naturel d'un local	27
7.3.4.2 Calcul de Einat.....	28
7.3.4.3 Calcul de C34	29
7.4 Méthode de calcul en résidentiel	30
7.5 Calcul des apports récupérables dûs à l'éclairage	30
8. BESOINS ET DISTRIBUTION DE L'ECS	31
8.1 Besoins D'Eau chaude sanitaire.....	31
8.2 Pertes brutes de distribution de l'eau chaude sanitaire.....	34
8.2.1 Production individuelle en volume habitable chauffé	34
8.2.2 Production individuelle hors volume chauffé	34
8.2.3 Production collective réseau bouclé	35
8.2.4 Production collective réseau tracé	35
8.3 Pertes récupérées de distribution de l'eau chaude sanitaire	35
8.4 Consommation des auxiliaires de distribution de l'ECS	36
8.4.1 Production individuelle en volume chauffé	36
8.4.2 Production individuelle hors volume chauffé	36
8.4.3 Production collective réseau bouclé	36
8.4.4 Production collective réseau tracé	37
9. DEPERDITIONS ET APPORTS DE CHALEUR	38
9.1 Déperditions par les parois.....	38
9.1.1 Caractérisation thermique du bâti	38
9.1.1.1 Caractéristiques au niveau du bâtiment	38
9.1.1.2 Caractéristiques du bâti au niveau de la zone	38

9.1.1.3	Caractéristiques du bâti au niveau du groupe	38
9.1.2	Valeurs par défaut.....	40
9.1.3	Calcul de Ht	40
9.1.4	Prise en compte deperditions par les parois	41
9.2	DéperditionS par renouvellement d'air – calcul des débits d'air	42
9.2.1	Caractérisation du groupe et règle de segmentation	42
9.2.2	Situation 1 : méthode pour le calcul du projet dans le cas où le système de ventilation a été modifié par rapport au système de ventilation du bâtiment initial avant travaux	43
9.2.2.1	Calcul des débits spécifiques	43
9.2.2.1.1	Introduction	43
9.2.2.1.2	Valeurs des débits à reprendre et à fournir $Q_{vasou_{spec}}$ et $Q_{varep_{spec}}$	43
9.2.2.1.3	Ventilation mécanique	43
9.2.2.1.3.1	Secteur résidentiel	44
9.2.2.1.3.2	Secteur non résidentiel	45
9.2.2.1.3.3	Coefficients de dépassement C_{dep}	45
9.2.2.1.3.4	Coefficient de fuite des réseaux C_{fres}	46
9.2.2.1.4	Ventilation naturelle par conduits.....	46
9.2.2.1.5	Ventilation hybride.....	49
9.2.2.1.6	Aération par ouverture des fenêtres pour le secteur non résidentiel.....	50
9.2.2.2	Calcul des débits échangés au travers de l'enveloppe de la zone et entre groupes	50
9.2.2.2.1	Caractérisation au niveau de la zone	50
9.2.2.2.2	Calcul des débits d'air à travers l'enveloppe.....	51
9.2.2.2.2.1	Organisation générale des calculs.....	51
9.2.2.2.2.2	Calcul des débits au travers de l'enveloppe de la zone en fonction de p_{ib}	52
9.2.2.2.2.2.1	Principe de calcul	52
9.2.2.2.2.2.2	Détermination du nombre de composants et de leur position ...	52
9.2.2.2.2.2.3	Calcul de la pression sur les façades pour un composant.....	53
9.2.2.2.2.2.4	Calcul des débits au travers des défauts d'étanchéité.....	54
9.2.2.2.2.2.5	Calcul des débits au travers des entrées d'air	54
9.2.2.2.2.2.6	Débits sur l'ensemble de la zone	55
9.2.2.2.2.2.3	Calcul de p_{ib}	55
9.2.2.2.3	Répartition de l'air entrant ou sortant par les parois extérieures pour chaque groupe	56
9.2.2.2.4	Calcul des débits entre groupes	56
9.2.3	Situation 2 : Méthode pour le calcul du bâtiment initial et pour le calcul du projet si le système de ventilation du projet est inchangé par rapport au système de ventilation du bâtiment initial.....	57
9.2.3.1	Introduction	57
9.2.3.2	Résidentiel	57
9.2.3.2.1	Calcul des débits spécifiques	57
9.2.3.2.2	Calcul des débits échangés au travers de l'enveloppe de la zone et entre groupes	57
9.2.3.2.3	Autres données conventionnelles	58
9.2.3.2.4	Récapitulatif des valeurs conventionnelles pour le résidentiel...	58
9.2.3.3	Non résidentiel	59
9.2.3.3.1	Calcul des débits spécifiques	59
9.2.3.3.2	Calcul des débits échangés au travers de l'enveloppe de la zone et entre groupes	60
9.2.3.3.3	Autres données conventionnelles	60
9.2.3.3.4	Récapitulatif des valeurs conventionnelles pour le non résidentiel	61
9.2.4	Calcul de Hv	62
9.2.5	Prise en compte des déperditions par renouvellement d'air	62
9.3	Apports solaires et internes	63
9.3.1	Apports solaires : Calculs des rayonnements solaires et de grande longueur d'onde incidents et des flux transmis	63

9.3.1.1	Rayonnement solaire global atteignant une paroi	63
9.3.1.1.1	Rayonnement solaire sur une paroi nue	63
9.3.1.1.2	Calcul du rayonnement solaire diffus	64
9.3.1.1.3	Calcul du rayonnement solaire réfléchi par le sol	64
9.3.1.2	Prise en compte des masques fixes	64
9.3.1.2.1	Nature des masques	64
9.3.1.2.2	Masque proche horizontal :	65
9.3.1.2.3	Masque lointain de type plan vertical :	66
9.3.1.2.4	Facteur d'affaiblissement global du rayonnement direct	66
9.3.1.3	Gestion manuelle des protections solaires	66
9.3.1.4	Calcul des flux solaires et de grande longueur d'onde vers la voute céleste transmis au local	67
9.3.1.4.1	Définitions et nomenclature	67
9.3.1.4.2	Flux solaires et GLO absorbés par les parois extérieures	68
9.3.1.4.3	Flux solaires transmis par les baies:	68
9.3.2	Apports internes	69
9.3.3	Prise en compte des apports internes et solaires	69
10.	EMISSION DE CHALEUR ET DE FROID.....	70
10.1	Variations spatiale et temporelle de la température de consigne	70
10.1.1	Variations spatiales	71
10.1.2	Précision de la régulation terminale (Variations temporelles)	72
10.2	Programmation	73
10.3	Consommations et apports internes dus aux émetteurs locaux	73
10.4	Calcul des débits locaux et du bilan hydrique	75
10.4.1	Présentation	75
10.4.2	Principe du calcul pour un émetteur	76
10.4.3	Application au calcul sur une heure	78
10.5	Pertes au dos des émetteurs intégrés aux parois	79
10.6	Systèmes Composites et multiples	80
10.6.1	Emetteurs chauds	80
10.6.2	Emetteurs froids	81
10.7	Prise en compte des locaux sans émetteur de refroidissement	81
10.7.1	Locaux d'entrée d'air sans système de refroidissement	81
10.7.2	Locaux de transfert et d'extraction	82
11.	DISTRIBUTION DE CHALEUR ET DE FROID : RESEAUX HYDRAULIQUES ET DE FLUIDE FRIGORIGENE.....	83
11.1	Pertes et consommations de distribution pour les réseaux hydrauliques	83
11.1.1	Calcul de la puissance nominale en chaud et froid	83
11.1.2	Éléments pour le calcul des pertes thermiques des réseaux de distribution	84
11.1.2.1	Distribution de groupe	84
11.1.2.2	Distribution intergroupes et interzones	87
11.1.3	Calcul des pertes de distribution et consommation des auxiliaires au niveau distribution par groupe en fonction de la puissance demandée dans le groupe et pour les intergroupes et interzones	89
11.1.3.1	Calcul de la température moyenne du réseau	89
11.1.3.1.1	Puissance nominale des émetteurs installés	89
11.1.3.1.2	Prise en compte de la gestion du réseau de distribution en mode chaud	90
11.1.3.2	Pertes de distribution pour les réseaux vers les émetteurs et pour les réseaux intergroupes et interzones.....	91
11.1.3.3	Calcul de la consommation des circulateurs suivant leur mode de gestion	92
11.1.3.4	Calcul des pertes de distribution récupérables.....	92
11.2	Distribution de fluide frigorigène	93
11.3	Transfert de chaleur entre locaux	93
11.3.1	Pompes à chaleur sur boucle d'eau	93
11.3.2	Les systèmes à débit de réfrigérant variable et les thermofrigopompes ..	94
12.	TRAITEMENT ET DISTRIBUTION D'AIR.....	95
12.1	Centrales double flux sans variation de débit d'air pour le refroidissement et centrales double flux hygiénique	95

12.1.1	Principe de prise en compte.....	95
12.1.2	Calcul de l'impact des composants	97
12.1.2.1	Partie extraction	97
12.1.2.2	Partie soufflage.....	97
12.2	Centrales Double flux à débit d'air variable en refroidissement.....	102
12.2.1	Principe de prise en compte.....	102
12.2.2	Calcul de l'impact des composants	103
12.2.2.1	Partie 1.....	103
12.2.2.2	Partie 2.....	105
12.3	Groupes d'extraction Simple flux.....	108
12.4	Valeur par défaut	108
13.	COMPORTEMENT THERMIQUE D'UN GROUPE ET COUPLAGE AVEC LE SYSTEME D'EMISSION ET DE DISTRIBUTION	109
13.1	Introduction	109
13.2	Description globale du modèle Thermique	109
13.3	Les équations qui régissent le modèle thermique	110
13.4	Calcul des températures extérieures équivalentes :	111
13.5	Calcul de la conductance thermique due à la ventilation et de θ_{eieq} :	112
13.6	Calcul des autres conductances.....	113
13.7	Détermination de la température d'air et de la température opérative :	113
13.8	Flux transmis aux nœuds de température.....	114
13.9	Couplage du groupe avec les systèmes d'émission et de distribution.....	115
14.	ENERGIE NECESSAIRE AUX BORNES DE LA PRODUCTION D'ENERGIE POUR LE CHAUFFAGE, LE REFROIDISSEMENT ET L'ECS.....	116
14.1	Energie nécessaire aux bornes de la production d'énergie pour le chauffage et le refroidissement.....	116
14.1.1	Prise en compte des pertes récupérées pour le chauffage	117
14.1.2	Prise en compte des pertes récupérées pour le refroidissement	117
14.2	Calcul de l'énergie nécessaire aux bornes de la production pour l'ECS	118
15.	GENERATION, STOCKAGE ET TRANSFERT DE CHALEUR, DE FROID POUR LE CHAUFFAGE, LE REFROIDISSEMENT ET L'ECS.....	119
15.1	Introduction	119
15.2	Charge de la génération.....	120
15.3	Charge de chaque générateur.....	120
15.4	Les générateurs de chaleur et de refroidissement.....	121
15.4.1	Les générateurs à combustion	121
15.4.1.1	Caractéristiques des générateurs	121
15.4.1.2	Modèle générique de calcul du rendement conventionnel annuel moyen de génération pour le chauffage $R_{conv_{chauff}}$	123
15.4.1.2.1	Profils de charge conventionnels.....	123
15.4.1.2.2	Prise en compte de la puissance installée	124
15.4.1.2.3	Prise en compte du fonctionnement en cascade des générateurs.....	125
15.4.1.2.4	Température de fonctionnement.....	126
15.4.1.2.5	Pertes à 100% de charge.....	128
15.4.1.2.6	Pertes pour une charge intermédiaire.....	128
15.4.1.2.7	Pertes au point de fonctionnement « w » situé entre la charge nulle et la charge intermédiaire	128
15.4.1.2.8	Pertes au point de fonctionnement « x »	128
15.4.1.2.9	Expression du rendement de génération pour le chauffage	128
15.4.1.3	Récapitulatif pour le calcul du rendement conventionnel annuel moyen de génération pour le chauffage	130
15.4.1.4	Calcul du rendement de génération pour l'ECS.....	133
15.4.1.5	Générateur à usage mixte chauffage et ECS - calcul des rendements de génération annuels moyens pour le chauffage et pour l'ECS	134
15.4.1.6	Calcul des pertes récupérées de génération	134
15.4.1.7	Calcul de la consommation des auxiliaires de génération.....	136
15.4.1.8	Valeurs par défaut.....	137
15.4.2	Les générateurs électriques.....	141

15.4.2.1	Générateurs à effet joule direct pour le chauffage	141
15.4.2.2	Générateurs thermodynamiques pour le chauffage et le refroidissement.....	141
15.4.2.2.1	En mode chaud	141
15.4.2.2.2	En mode froid	143
15.4.2.2.3	Coefficients de correction conventionnels CEER et CCO P.....	144
15.4.2.2.4	Détermination du coefficient $C_{air_ext_eau_CH}$ pour les machines sur air extérieur en mode chaud (cf. Tableau 81 et Tableau 82 ci-dessus).....	147
15.4.2.2.5	Effet des auxiliaires	149
15.4.2.2.5.1	Présentation	149
15.4.2.2.5.1.1	Machines à compression électrique	149
15.4.2.2.5.1.2	Machines à gaz	150
15.4.2.2.5.1.3	Côté machine.....	151
15.4.2.2.5.1.4	Côté utilisation.....	151
15.4.2.2.5.1.5	Côté extérieur.....	151
15.4.2.2.6	Puissance résiduelle, Présiduelle.....	152
15.4.2.2.7	Valeurs par défaut.....	152
15.5	Les éléments de stockage	153
15.5.1	caractéristiques des ballons de stockage (ballons de production d'eau chaude sanitaire par accumulation)	153
15.5.2	Pertes brutes de stockage	153
15.5.3	Pertes récupérées	153
15.6	Les générateurs stockeurs.....	154
15.6.1	Les accumulateurs gaz.....	154
15.6.1.1	Caractéristiques des accumulateurs.....	154
15.6.1.2	Calcul du rendement conventionnel annuel moyen global de génération pour l'ECS	154
15.6.1.2.1	Efficacité du générateur	154
15.6.1.2.2	Pertes de stockage	155
15.6.1.2.3	Expression du rendement conventionnel annuel moyen' global' de génération pour l'ECS	155
15.6.1.3	Calcul des pertes récupérées	155
15.6.1.3.1	Calcul de la consommation des auxiliaires de génération	155
15.6.1.3.2	Valeurs par défaut.....	156
15.6.2	Chauffe-eau électrique à accumulation	156
15.6.2.1	Calcul des pertes brutes de stockage	156
15.6.2.2	Calcul des pertes récupérées	157
15.7	Génération de chaleur et de refroidissement par transfert de chaleur et de froid	158
15.7.1	Réseau de chaleur.....	158
15.7.1.1	Caractérisation des produits	158
15.7.1.2	Calcul des pertes	158
15.7.1.3	Consommation des auxiliaires.....	159
15.7.2	Réseau de froid.....	159
15.8	Génération et stockage de chaleur par les systèmes solaires thermiques	160
15.8.1	Champ d'application	160
15.8.2	Structure de calcul	161
15.8.3	Définitions	161
15.8.4	Caractérisation des produits	161
15.8.4.1	Capteurs solaires	161
15.8.4.2	Chauffe-eau solaires.....	162
15.8.4.3	Ballons de stockage.....	162
15.8.4.4	Cas particulier du plancher solaire.....	163
15.8.5	Expression de la couverture solaire	163
15.8.5.1	Formule générale.....	163
15.8.5.2	Cas d'un système combiné (chauffage et ECS).....	164
15.8.5.3	Expression des paramètres.....	165
15.8.5.3.1	Efficacité de la boucle de captage	165

15.8.5.3.2	Dépense thermique de la boucle de captage ..	165
15.8.5.3.3	Écart de température conventionnel	165
15.8.5.3.4	Besoins	165
15.8.5.3.5	Coefficient correctif de stockage du système solaire	166
15.8.5.3.6	Coefficient correctif d'irrigation du stockage	166
15.8.5.3.7	Ensoleillement sur les capteurs	167
15.8.6	Calcul des pertes de transmission entre le ballon solaire et l'appoint....	167
15.8.6.1	Chauffe-eau solaire individuel	167
15.8.6.2	Installation d'eau chaude solaire collective à appoint centralisé...	168
15.8.6.3	Installation d'eau chaude solaire collective à appoints individuels	168
15.8.7	Pertes de stockage de l'appoint	168
15.8.7.1	Appoint centralisé (installation collective d'eau chaude sanitaire)	168
15.8.7.2	Appoint individuel (installation d'eau chaude sanitaire)	168
15.8.7.3	Pertes récupérables de l'appoint	168
15.8.8	Consommation de l'appoint	168
15.8.9	Consommation des auxiliaires de l'installation solaire	168
15.8.10	Références normatives	169
16.	INSTALLATION SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE	170
16.1	Domaine d'application	170
16.2	Principe de calcul	170
16.3	Méthode de calcul	170
16.3.1	Energie incidente H_i	171
16.3.2	Puissance crête P_0	173
16.3.3	Indice de performance R_p	173
16.3.4	Exemples	174
17.	CALCUL DE LA CONSOMMATION CONVENTIONNELLE D'ÉNERGIE DU BATIMENT	176
18.	CALCUL DE TIC	179
18.1	Introduction	179
18.2	Méthode de calcul	179
18.2.1	Calcul sur la journée chaude de référence	179
18.2.1.1	Transmittances thermiques	179
18.2.1.2	Détermination de la température opérative hors effet séquentiel.	179
18.2.2	Correction pour l'effet séquentiel	179
18.2.3	Calcul de T_{ic}	179
18.3	Données climatiques	180
18.3.1	Température et hygrométrie	180
18.3.1.1	Valeurs de référence au niveau de la mer	180
18.3.1.2	Correction d'altitude	181
18.3.1.3	Valeurs horaires des températures	181
18.3.2	Rayonnement solaire et rayonnement froid vers la voûte céleste	181
18.3.2.1	Données de référence	181
18.3.2.2	Rayonnements sur les parois non protégées	182
18.3.3	Vitesse du vent	182
18.4	Apports internes	182
18.5	Calcul des débits de renouvellement d'air	182
18.5.1	Approche générale	182
18.5.2	Calcul du débit d'air dû à l'ouverture des fenêtres et des ouvrants spécifiques	182
18.5.3	Calcul de la surface libre en ouverture manuelle	183
18.5.3.1	Résidentiel et Hébergement hors Etablissements sanitaires ...	183
18.5.3.2	Autres bâtiments	183
18.5.4	Calcul du débit d'air dû à l'ouverture d'ouvrants spécifiques en inoccupation pour les groupes à usage autre que d'habitation et n'assurant pas l'hébergement	184
18.5.5	Surventilation pour le confort d'été	184

18.6	Apports solaires par les baies	185
18.7	Conventions de calcul et valeurs par défaut.....	185
18.7.1	Références réglementaires et normatives à utiliser.....	185
18.7.2	Caractérisation du site.....	185
18.7.2.1	Caractéristiques climatiques	185
18.7.2.2	Masques lointains.....	185
18.7.3	Caractérisation du groupe	185
18.7.3.1	Principe général	185
18.7.3.2	Valeurs par défaut pour les masques	185
18.7.3.3	Orientations et inclinaisons pour les baies	185
18.7.3.4	Parois opaques et ponts thermiques	186
18.7.3.5	Ventilation par ouverture des fenêtres	186
18.7.3.6	Inertie	186
ANNEXE A : CALCUL DES PUISSANCES MOYENNES DE VENTILATEURS.....		187
ANNEXE B : CALCUL DES SYSTEMES D'EMISSION COMPOSITE		189
ANNEXE C : CALCUL DE LA PUISSANCE CONVENTIONNELLE DE CHAUFFAGE A PLEINE CHARGE PCC100		191

1. GENERALITES

1.1 OBJET DU DOCUMENT

La méthode de calcul TH-C-E ex 2008 a pour objet le calcul réglementaire de la consommation conventionnelle d'énergie d'un bâtiment existant pour le chauffage, la ventilation, le refroidissement, la production d'eau chaude sanitaire et l'éclairage ainsi que le calcul réglementaire de la température intérieure conventionnelle, T_{ic} , atteinte en été dans un bâtiment existant.

La méthode n'a pas pour vocation de faire un calcul de la consommation réelle du bâtiment, ni de sa température réelle atteinte en été compte tenu des conventions retenues notamment pour le climat, les apports gratuits, les températures de consigne et les horaires d'occupation.

1.2 COEFFICIENT CEP

La consommation conventionnelle d'énergie d'un bâtiment pour :

- le chauffage,
- le refroidissement,
- la production d'eau chaude sanitaire,
- les ventilateurs locaux et centraux pour le chauffage, le refroidissement et la ventilation,
- les auxiliaires de distribution et génération pour le chauffage, le refroidissement et l'eau chaude sanitaire,
- l'éclairage des locaux,

diminuée de la production d'électricité à demeure s'exprime sous forme d'un coefficient exprimé en kWh/m² d'énergie primaire, noté **Cep**.

La présente méthode permet le calcul du coefficient Cep pour :

- Le bâtiment initial. On appelle bâtiment initial le bâtiment tel qu'il existe avant les travaux de réhabilitation. Ce coefficient est alors noté **Cep_{initial}**.
- Le bâtiment en projet. On appelle bâtiment en projet le bâtiment tel que conçu suite aux travaux de rénovation. Ce coefficient est alors noté **Cep_{projet}**.
- Le bâtiment de référence. Ce coefficient est alors noté **Cep_{ref}**.

Le coefficient **Cep_{projet}** est calculé en appliquant la présente méthode de calcul et en utilisant comme données d'entrée les caractéristiques réelles du bâtiment et de ses équipements **après** travaux, ou les valeurs par défaut qu'elle fournit ainsi que les valeurs conventionnelles.

Le coefficient **Cep_{initial}** est calculé en appliquant la présente méthode de calcul et en utilisant comme données d'entrée les caractéristiques réelles du bâtiment et de ses équipements **avant** travaux, ou les valeurs par défaut qu'elle fournit ainsi que les valeurs conventionnelles.

Le coefficient **Cep_{ref}** est calculé en appliquant la méthode de calcul en utilisant comme données d'entrée les caractéristiques de référence du bâtiment et de ses équipements.

Le coefficient Cep du bâtiment, exprimé en kWh d'énergie primaire par m² par an [kWh e.p./m²/an], est obtenu par la formule suivante :

¹ La surface prise en compte est égale à la surface de plancher hors œuvre nette au sens de l'article R. 112-2 du code de l'urbanisme

$$C_{ep} = C_{ch} \cdot C_{ep\text{-}ch} + C_{fr} \cdot C_{ep\text{-}fr} + C_{ecs} \cdot C_{ep\text{-}ecs} + C_{ecl} \cdot C_{ep\text{-}ecl} + C_{vent} \cdot C_{ep\text{-}vent} + C_{aux} \cdot C_{ep\text{-}aux} - E_{pv} \cdot C_{ep\text{-}pv} \quad \text{Eq 1}$$

où :

C_{ch} est la consommation conventionnelle d'énergie pour le chauffage du bâtiment hors la consommation conventionnelle des auxiliaires de distribution et de génération de chaleur pour le chauffage et hors la consommation conventionnelle des ventilateurs locaux pour le chauffage, en kWh/m²,

C_{fr} est la consommation conventionnelle d'énergie pour le refroidissement du bâtiment hors la consommation conventionnelle des auxiliaires de distribution et de génération de froid pour le refroidissement du bâtiment et hors la consommation conventionnelle des ventilateurs locaux et centraux pour le refroidissement du bâtiment, en kWh/m²,

C_{ecl} est la consommation conventionnelle d'énergie pour l'éclairage du bâtiment en kWh/m²,

C_{ecs} est la consommation conventionnelle d'énergie du bâtiment pour l'eau chaude sanitaire hors la consommation conventionnelle des auxiliaires de distribution et de génération de l'eau chaude sanitaire en kWh/m²,

C_{vent} est la consommation conventionnelle d'énergie du bâtiment correspondant aux ventilateurs locaux et centraux pour le chauffage, le refroidissement et la ventilation, en kWh/m²,

C_{aux} est la consommation conventionnelle d'énergie du bâtiment correspondant aux auxiliaires de distribution et génération pour chauffage, le refroidissement et l'eau chaude sanitaire, en kWh/m²,

E_{pv} représente la production d'électricité à demeure, en kWh/m²,

$C_{ep\text{-}ch}$, $C_{ep\text{-}fr}$, $C_{ep\text{-}ecs}$, $C_{ep\text{-}ecl}$, $C_{ep\text{-}vent}$, $C_{ep\text{-}aux}$, $C_{ep\text{-}pv}$ sont les coefficients de transformation en énergie primaire correspondant respectivement au chauffage, au refroidissement, à l'eau chaude sanitaire, à l'éclairage, aux ventilateurs locaux et centraux, aux auxiliaires de distribution et de génération et à la production d'électricité à demeure.

Si par exemple le chauffage utilise deux énergies : le produit $C_{ch} \cdot C_{ep\text{-}ch}$ est remplacé par $C_{ch1} \cdot C_{ep\text{-}ch1} + C_{ch2} \cdot C_{ep\text{-}ch2}$; le produit d'indice 1 correspondant à l'énergie 1 et le produit d'indice 2 à l'énergie 2.

Les coefficients de transformation en énergie primaire sont donnés dans le tableau suivant:

Énergie	Coefficients de transformation en énergie primaire
Électricité et production d'électricité à demeure	2,58
Bois (ou biomasse)	0,60
Energie fournie par un réseau de chaleur et/ou de froid	1,00
Autres énergies	1,00

Tableau 1 : Coefficients conventionnels de transformation en énergie primaire

1.3 TEMPERATURE TIC

La température intérieure conventionnelle d'un bâtiment au sens de la présente méthode est la valeur maximale horaire en période d'occupation de la température opérative. Elle est notée T_{ic} et s'exprime en °C.

La présente méthode permet le calcul de T_{ic} pour :

- Le bâtiment en projet. On appelle bâtiment en projet le bâtiment tel que conçu suite aux travaux de rénovations. Elle est alors notée $T_{ic_{projet}}$. La méthode est appliquée en utilisant comme données d'entrée les caractéristiques réelles du bâtiment et de ses équipements **après** travaux ou les valeurs par défaut qu'elle fournit ainsi que les valeurs conventionnelles
- Le bâtiment de référence. Elle est alors notée $T_{ic_{ref}}$. La méthode est appliquée en utilisant comme données d'entrée les caractéristiques de référence du bâtiment et de ses équipements.
- Le bâtiment initial. On appelle bâtiment initial le bâtiment tel qu'il existe avant les travaux de réhabilitation. La méthode est appliquée en utilisant comme données d'entrée les caractéristiques réelles du bâtiment et de ses équipements **avant** travaux, ou les valeurs par défaut qu'elle fournit ainsi que les valeurs conventionnelles. La valeur peut être donnée à titre indicatif, il n'y a pas d'exigence réglementaire sur cette valeur.

1.4 PRECISIONS

La méthode n'est pas conçue pour être appliquée manuellement. Lors de son informatisation les résultats de calcul, intermédiaires ou finaux, devront être fournis avec trois chiffres significatifs.

2. DEFINITIONS

2.1 DEFINITIONS UTILES POUR LA SEGMENTATION DES CALCULS

2.1.1 PROJET

Ensemble de bâtiments et d'équipements techniques sur lesquels portent les calculs réglementaires. Le projet comporte :

- L'ensemble des bâtiments qui font l'objet des travaux de rénovation, hormis les extensions qui sont elles considérées comme parties nouvelles,
- L'ensemble des systèmes utilisés pour la génération de chaleur, de froid et d'eau chaude sanitaire,
- L'ensemble des réseaux de distribution reliant ces systèmes aux bâtiments.

Le climat est caractérisé au niveau du projet.

2.1.2 BATIMENT

Les résultats du calcul de Cep_{projet} , $Cep_{initial}$ et de Cep_{ref} sont présentés par bâtiment. Ils sont exprimés en kWh e.p./m²/an.

Les résultats du calcul de Tic_{projet} et de Tic_{ref} sont présentés par bâtiment ou par parties de bâtiment.

La surface utilisée pour le calcul de Cep est la surface hors œuvre nette (SHON).

2.1.3 ZONE

Le niveau zone permet de décrire l'usage du bâtiment.

Il permet de différencier des parties de bâtiment destinées à des activités différentes (logement, enseignement, sport...) et ayant donc des horaires d'occupation et des consignes différents.

L'ensemble des parties d'un bâtiment ayant le même type d'usage est regroupé en une seule zone, sauf pour le cas des logements collectifs s'ils présentent des caractéristiques différentes du point de vue de l'aspect traversant ou non traversant pour l'été.

On décrit la perméabilité à l'air de l'enveloppe par rapport à l'extérieur, et les centrales de traitement de l'air. On considère que les zones sont étanches entre elles. On décrit les éléments nécessaires pour le calcul des besoins d'eau chaude sanitaire.

Les calculs relatifs à la ventilation et au traitement de l'air sont effectués au niveau de la zone.

2.1.4 GROUPE

Le groupe est le niveau où l'on effectue la majorité des calculs. A ce niveau, on décrit :

- La surface utile et l'inertie,
- Les caractéristiques d'isolation et d'apports solaires pour les parois opaques ainsi que les dimensions correspondantes et les orientations,
- Les caractéristiques d'isolation, d'apports solaires et de transmission lumineuse pour les parois translucides, ainsi que les dimensions correspondantes et les orientations,
- Les caractéristiques des systèmes de chauffage, de refroidissement, de ventilation et d'éclairage.

Les calculs relatifs à l'émission et à la distribution de chaud et de froid, à la distribution d'ECS et à l'éclairage sont faits au niveau du groupe.

Dans le cas général, on considère un groupe pour l'ensemble des locaux non-climatisés et un autre pour les locaux climatisés.

Une séparation supplémentaire en groupes n'est autorisée que si le système de chauffage / refroidissement permet de valoriser les transferts de chaleur entre différentes parties de la zone.

2.1.5 CAS PARTICULIERS

Lorsqu'un groupe ou une zone a une surface inférieure à 10% de celle d'un autre groupe de la même zone ou d'une autre zone du même bâtiment, on peut considérer que ses caractéristiques sont identiques à celles de la zone ou du groupe le plus grand.

2.2 DONNEES UTILISEES POUR LA SEGMENTATION TEMPORELLE DES CALCULS

2.2.1 ANNEE

Les calculs sont menés pour une année civile non bissextile, allant du lundi 1^{er} janvier au 31 décembre.

2.2.2 SCENARIOS DE FONCTIONNEMENT

La méthode de calcul pour la détermination de l'énergie à fournir pour le chauffage, le refroidissement et l'eau chaude sanitaire et pour le calcul de la consommation correspondant à l'éclairage est une méthode au pas de temps horaire.

Des scénarios d'occupation sont définis sur une base hebdomadaire avec pour les zones à usage d'enseignement une prise en compte des périodes de vacances.

Ces scénarios sont utilisés comme base pour la description du fonctionnement des différents usages : chauffage, refroidissement, éclairage, ventilation, ECS.

3. DONNEES D'ENTREE

Toute valeur utilisée comme donnée d'entrée du calcul doit pouvoir être justifiée.

En ce qui concerne les caractéristiques des produits d'enveloppe, les valeurs à adopter sont définies dans les règles Th-bât et les règles Th-Bât-existants.

Pour les caractéristiques des systèmes, les valeurs à adopter sont définies dans la présente méthode. Pour en simplifier l'application, des valeurs par défaut sont définies et peuvent être utilisées sans qu'il soit besoin de les justifier.

Dans certains cas, indiqués dans la méthode, des valeurs par défaut sont définies pour les caractéristiques des produits anciens ou existants. Ces valeurs doivent être utilisées pour caractériser les produits ou composants qui existent dans le bâtiment avant les travaux, ou qui sont conservés suite aux travaux de rénovation. Ces valeurs ne peuvent pas être utilisées pour caractériser des nouveaux produits, équipements ou ouvrages mis en place ou remplacés lors de travaux de rénovation. Pour ces derniers, les valeurs à utiliser correspondent aux caractéristiques réelles des produits

4. ARCHITECTURE DES CALCULS

La Figure 1 présente l'architecture des calculs de la méthode TH-C-E ex

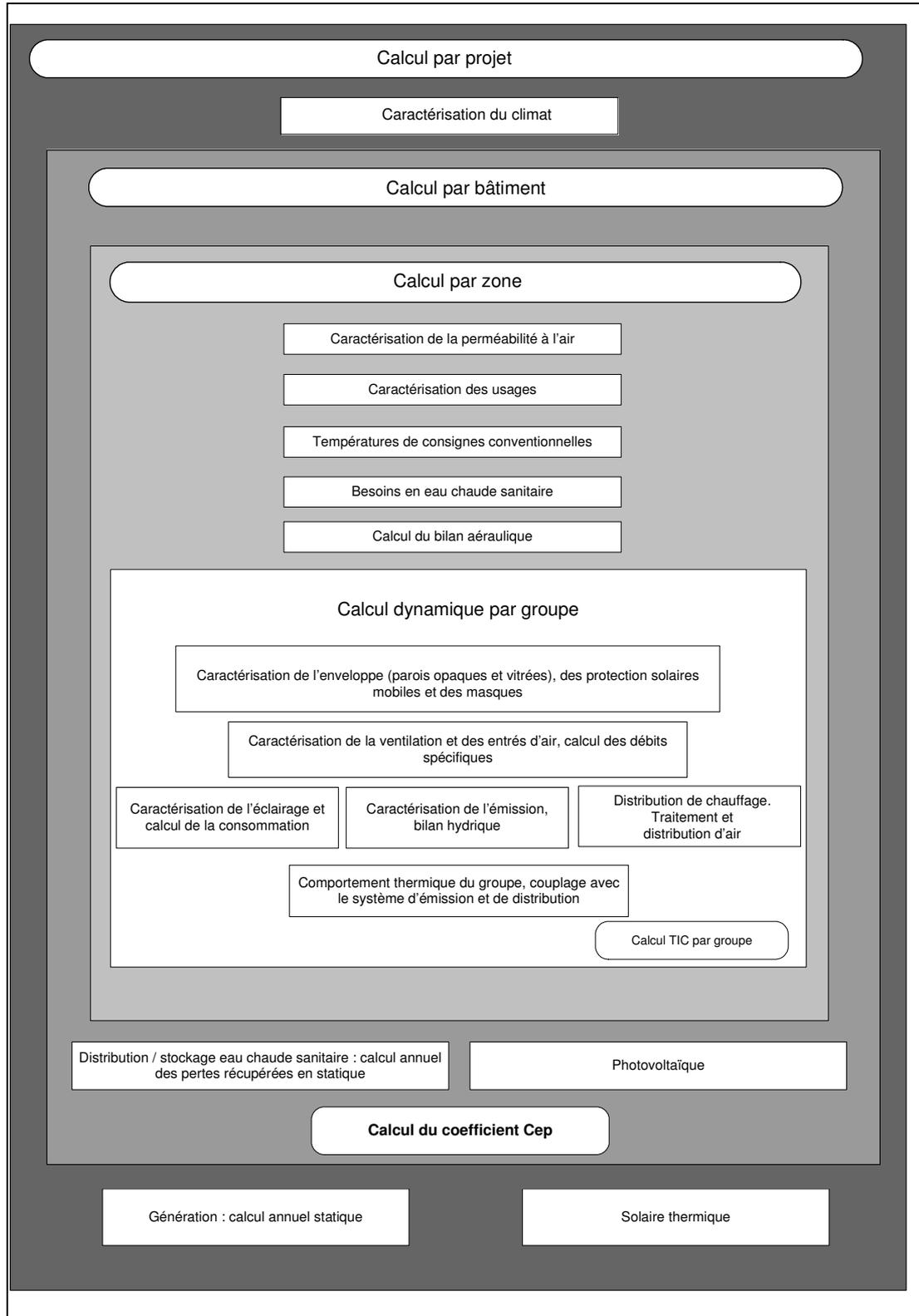


Figure 1 : Architecture de calculs pour un bâtiment

5. CLIMAT

5.1 VALEURS DE REFERENCE AU NIVEAU DE LA MER

On distingue huit zones climatiques: H1a, H1b, H1c, H2a, H2b, H2c, H2d, H3

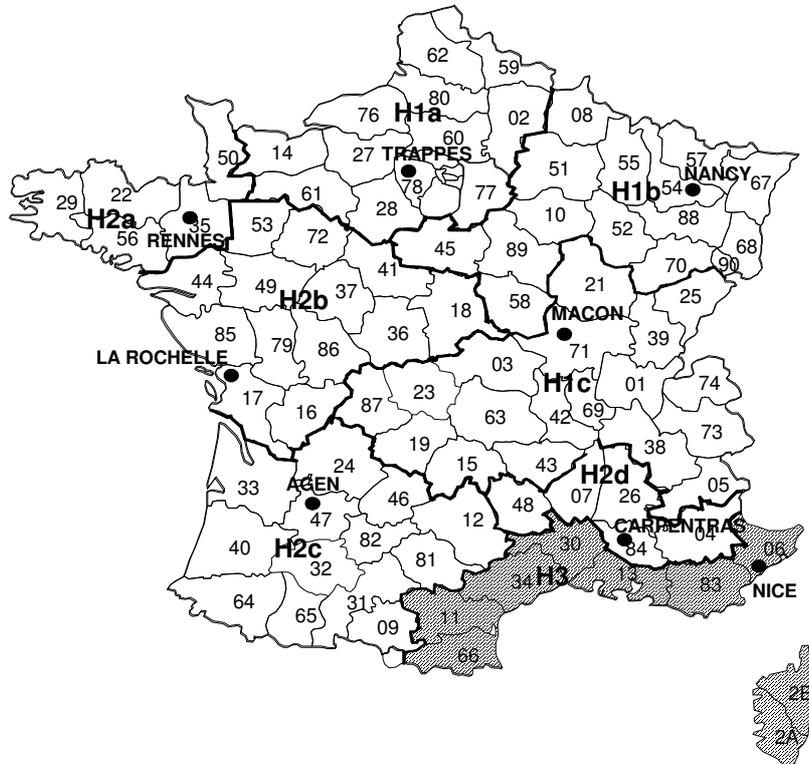


Figure 2 : Zones climatiques

Les températures extérieures conventionnelles de base, θ_{eb} , exprimées en °C sont données dans le Tableau 2.

Zone Climatique	Température extérieure conventionnelle de base, θ_{eb} (°C)
H1a, H1b, H1c	-9
H2a, H2b, H2c, H2d	-6
H3	-3

Tableau 2 : Températures conventionnelles de base en période de chauffage

Les données climatiques sont en heure solaire et les données relatives à l'occupation sont en temps légal. Le temps légal est le temps en usage en France. Il est égal au temps solaire avec une heure de plus en hiver et deux heures de plus en été. La méthode gère le passage de l'un à l'autre.

Pour chaque zone climatique, les données sont constituées d'une année météorologique complète sur une base horaire. Les données sont les suivantes :

- I_{Dn} Rayonnement direct normal exprimé en W/m^2
- I_{df} Rayonnement diffus horizontal exprimé en W/m^2
- θ_{ei} Température extérieure exprimée en °C
- T_{eiciel} Température du ciel exprimée en °C

- w_{ei} Humidité spécifique de l'air exprimée en kg/kg d'air sec
 V_e Vitesse du vent exprimée en ms^{-1}
 θ_{cw} Température d'eau froide exprimée en °C

Les fichiers contenant les données météorologiques annuelles de référence au pas horaire sont disponibles au CSTB sous l'intitulé « données météorologiques de référence Th-C-E 2005 ».

5.2 CORRECTION D'ALTITUDE

Pour l'ensemble des zones, les valeurs de référence correspondent au niveau de la mer (altitude 0). La prise en compte de l'altitude, z , sera effectuée par une diminution de la température extérieure, θ_{ei} , égale à :

Altitude	Correction
Inférieure ou égale à 400 m	0 °C
Supérieure à 400m et inférieure ou égale à 800 m	-2 °C
Supérieure à 800 m	-4 °C

Tableau 3: Correction de température

La correction d'humidité, w_m , est de -1g/kg d'air sec pour les altitudes supérieures à 400 m. Les corrections d'altitude s'appliquent également au Tableau 2.

6. LES SCENARIOS CONVENTIONNELS

6.1 GENERALITES ET TYPES D'USAGE

Un bâtiment est découpé en zones ayant des usages différents. Chaque usage définit un scénario de chauffage et un scénario de refroidissement, caractérisés par des températures de consigne et des horaires de maintien en température conventionnels.

Le Tableau 4 indique les différents types de zones.

Pour certains types de zones, la méthode de calcul néglige les consommations d'énergie pour l'eau chaude sanitaire. Le Tableau 18 indique les types de zones pour lesquelles ces consommations sont négligées ou ne sont pas calculées.

Types d'usage
Établissements sanitaires avec hébergement
Logements (bâtiments d'habitation)
Hôtellerie et autres hébergements
Locaux où il n'est pas possible pour des raisons de conservation des objets entreposés de laisser dériver sensiblement la température
Établissement sanitaire sans hébergement
Enseignement
Bureaux
Salles de spectacle, de conférence
Commerces
Restauration plusieurs repas par jour
Locaux non compris dans une autre catégorie
Établissements sportifs
Stockage
Industrie
Transport
Restauration un repas par jour

Tableau 4 : Types d'usage (types de zones)

On définit une zone différente pour chacun des types d'usage représentés dans le bâtiment. Le Tableau 5 indique le type d'horaire de maintien en température et le niveau de température de consigne conventionnelle.

Types d'usage	Horaires d'occupation	Niveau de température
Établissements sanitaires avec hébergement	Longs	Élevé
Logement Hôtellerie et autres hébergements Locaux où il n'est pas possible pour des raisons de conservation des objets entreposés de laisser dériver sensiblement la température	Longs	Moyen
Établissements sanitaires sans hébergement	Moyens	Élevé
Enseignement Bureau Salles de spectacles, de conférences Commerces Restauration plusieurs repas par jour Locaux non compris dans une autre catégorie	Moyens	Moyen
Établissement sportif Stockage Industrie Transport	Moyens	Réduit
Restauration un repas par jour	Courts	Moyen

Tableau 5 : Horaires de maintien en température et niveaux de température

6.2 DEFINITION DES SCENARIOS

Conventionnellement, les scénarios d'occupation, de consignes de température, de ventilation et d'utilisation possible de l'éclairage correspondant aux catégories définies au paragraphe précédent sont les suivants :

Horaires d'occupation	Heures par jour	Jours par semaine
Longs	16 (de 0h à 10h et de 18h à 24h)	5 (lundi au vendredi)
	24h	samedi et dimanche
Moyens	10 (8h à 18 h)	5 (lundi au vendredi)
Courts	5 (9h à 14 h)	5 (lundi au vendredi)

Tableau 6 : Scénarios d'occupation

Niveau de température	Occupation	Réduction de chauffage de moins de 48h	Réduction de chauffage de plus de 48h
Élevé	21 °C	18 °C	7 °C
Moyen	19 °C	16 °C	7 °C
Réduit	15 °C	7 °C	7 °C

Tableau 7 : Températures de consigne conventionnelles en chauffage

Occupation en logements	Occupation autres cas	Réduction de refroidissement de moins de 48h	Réduction de refroidissement de plus de 48 h
28 °C	26 °C	30 °C	30 °C

Tableau 8 : Températures de consigne conventionnelles en refroidissement

Les vacances sont prises en compte uniquement pour les zones d'enseignement ainsi que pour les zones d'hébergement et de restauration qui leur sont associées. On considère que pendant ces périodes les températures de consigne sont les mêmes que pendant les week-ends.

On considère les périodes de vacances suivantes :

Mois	Nombre de jours de vacances $n_{j,vac}$
Février	15
Avril	15
Juillet	31
Août	31
Novembre	8
Décembre	15

Tableau 9 : Périodes de vacances pour l'usage enseignement

Horaires d'occupation	Heures par jour	Jours par semaine
Longs	Permanent	7
Moyens	10 (8h à 18h)	5 (lundi au vendredi)
Moyens cuisines	4 (11h à 13h et 18h à 20h)	5 (lundi au vendredi)
Courts	5 (9h à 14h)	5 (lundi au vendredi)

Tableau 10 : Scénarios d'utilisation de la ventilation

Horaire d'occupation	Heures par jour	Jours par semaine
Longs	5 (de 7 à 9h et de 19h à 22h)	lundi au vendredi
	15 (de 7h à 22h)	samedi et dimanche
Moyens	10 (8h à 18 h)	5 (lundi au vendredi)
Courts	5 (9h à 14 h)	5 (lundi au vendredi)

Tableau 11 : Scénarios d'utilisation de l'éclairage artificiel

6.3 APPORTS INTERNES

Conventionnellement, les apports de chaleur et d'humidité uniformément répartis en période d'occupation sont les suivants :

Types d'usages	Horaires de maintien en température	Wh/h/m ² en occupation	kg/h/m ² en occupation
Établissements sanitaires avec hébergement	Longs	5	0,006
Logement	Longs	5	0,002
Hôtellerie et autres hébergements	Longs	3	0,004
Locaux où il n'est pas possible pour des raisons de conservation des objets entreposés de laisser dériver sensiblement la température	Longs	3	0,004
Établissements sanitaires sans hébergement	Moyens	7	0,004
Enseignement	Moyens	7	0,004
Bureau	Moyens	14	0,006
Salles de spectacles et conférences	Courts	28	0,012
Commerces	Moyens	14	0,006
Restauration plusieurs repas par jour	Moyens	14	0,006
Locaux non compris dans une autre catégorie	Moyens	7	0,004
Établissements sportifs	Moyens	2	0,002
Stockage	Moyens	2	0,002
Industrie	Moyens	2	0,002
Transport	Moyens	2	0,002
Restauration un repas par jour	Courts	14	0,006

Hypothèse : la production de vapeur d'eau en cuisines, WC et salles de bains n'intervient pas dans le bilan hydrique car l'extraction est considérée comme directe.

Tableau 12 : Apports de chaleur et d'humidité : valeurs correspondant aux différents usages des zones

La répartition des apports internes sensibles sous forme convective et radiative est la suivante.

Forme convective	Forme radiative
50	50

Tableau 13 : Répartition des apports sensibles

6.4 DEFINITION DE LA PERIODE DE CHAUFFE ET DE REFROIDISSEMENT

Définition de la période de chauffe et de refroidissement

La définition de la saison de chauffe et de refroidissement s'effectue au niveau du bâtiment par évaluation des besoins de chaud et de froid de chaque groupe.

Le calcul au niveau de chaque groupe est basé sur la comparaison de la moyenne glissante sur 4 semaines des besoins de chaud et de froid avec une valeur limite de 1 W/m^2 .

Au 1^{er} Janvier, on considère de manière conventionnelle que le groupe est en période de chauffage et en période de non refroidissement.

La période de chauffe s'arrête quand la moyenne glissante des besoins de chaud devient inférieure à la valeur limite et redémarre quand elle devient supérieure.

La période de froid démarre quand la moyenne glissante des besoins de froid devient supérieure à la valeur limite et s'arrête quand elle devient inférieure.

La démarche s'applique par groupe pour déterminer les périodes de chauffe et de refroidissement par zone :

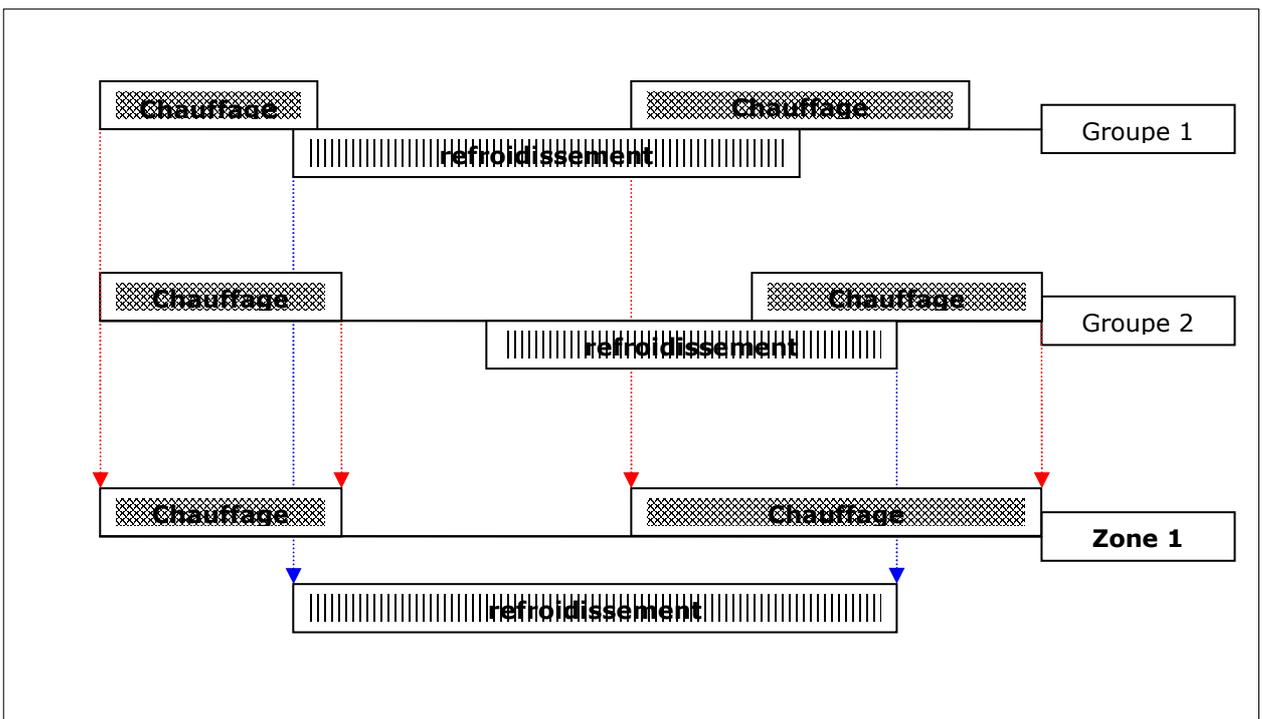


Figure 3 : Périodes de chauffe et de refroidissement au niveau de la zone

La même procédure est appliquée pour toutes les zones afin d'obtenir une période de chauffe et une période de refroidissement pour chaque bâtiment. Si un local technique dessert plusieurs bâtiments, on reprend la même procédure.

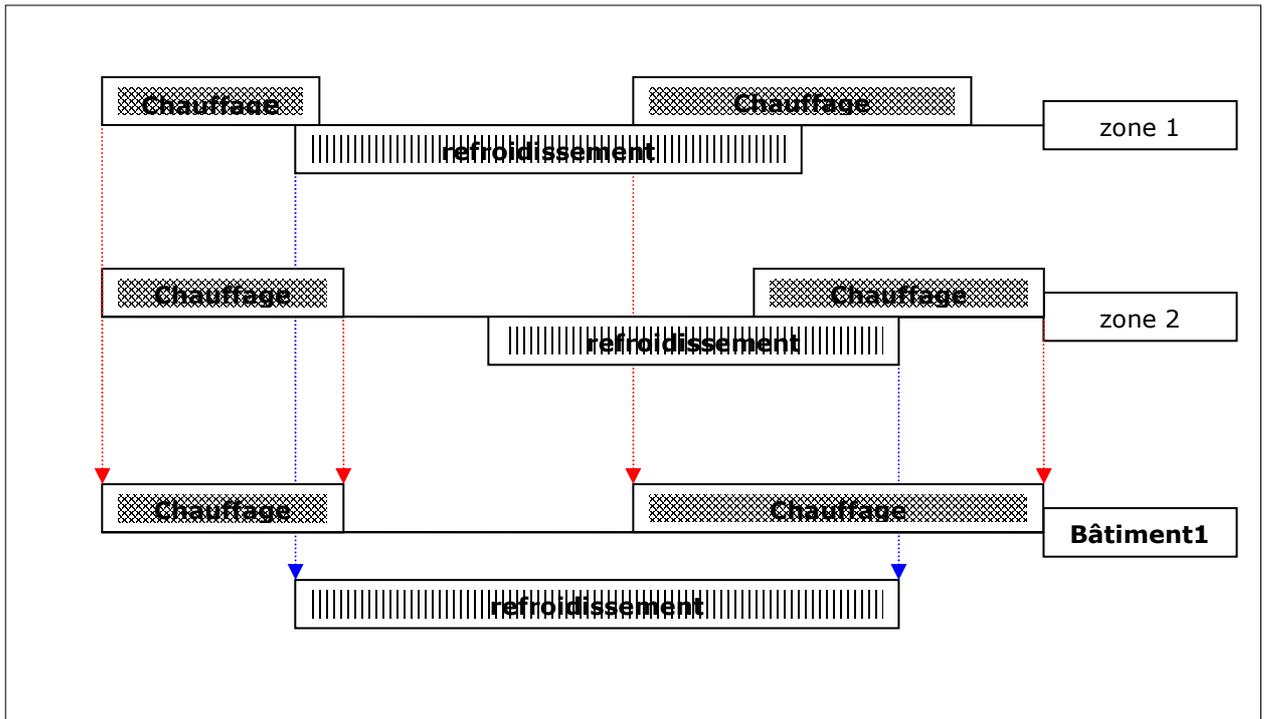


Figure 4 : Périodes de chauffe et de refroidissement au niveau du bâtiment

Cas particulier des centrales de traitement d'air avec préchauffage d'air neuf

On procède comme suit :

On calcule la valeur moyenne de la température extérieure sur les 4 dernières semaines.

La saison de chauffe définie précédemment est prolongée si besoin est jusqu'à l'heure pour laquelle cette température moyenne devient égale à 15 °C.

La reprise de la saison de chauffe est sans changement.

Hors saison de chauffe, le préchauffage d'air neuf est arrêté.

Remarque :

Dans le cas où un groupe est en demande de chauffe et que la période de chauffe ne permet pas de satisfaire ses besoins, on ne procède pas à un recalcul de la température de ce groupe, en effet dans un calcul de consommation, on néglige l'impact en évolution naturelle sur les besoins durant ces heures bien que ces besoins soient dépendants de la température de la masse de ce groupe.

7. ECLAIRAGE

7.1 DOMAINE D'APPLICATION

7.1.1 TYPES DE BATIMENTS VISES

Cette méthode est applicable à tous les bâtiments. Pour les logements et les locaux similaires (locaux privatifs dans les résidences de personnes âgées, chambres des résidences de vacances, des hôtels, des foyers), le système d'éclairage est conventionnel.

7.1.2 QUEL ECLAIRAGE PRENDRE EN COMPTE ?

Les éclairages suivants ne doivent pas être pris en compte lors de l'application de la méthode :

- L'éclairage extérieur,
- L'éclairage des parkings,
- L'éclairage de sécurité,
- L'éclairage destiné à mettre en valeur des objets ou des marchandises.

Cette dernière catégorie couvre :

- Les objets d'art tels que les peintures, les sculptures, les objets d'art avec un éclairage incorporé (lustres...) mais pas les luminaires décoratifs,
- L'éclairage localisé destiné à mettre en valeur les tables de restaurant.

En revanche, elle ne couvre pas les éléments architecturaux qui font partie du bâtiment tels que les murs, les portes, les escaliers, les plafonds.

La méthode ne couvre pas l'éclairage spécialisé destiné à la réalisation de process particulier. Il n'est pas possible de fournir une liste exhaustive de ces éclairages particuliers mais ils couvrent notamment : l'éclairage de scène dans les locaux utilisés pour le spectacle et les loisirs sous réserve que cet éclairage vienne en complément d'un éclairage général et qu'il soit commandé par un système de commande dédié accessible au seul personnel autorisé.

Tous les autres dispositifs d'éclairage doivent être pris en compte lors de l'application de la méthode.

7.2 CALCUL DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE POUR L'ECLAIRAGE DU BATIMENT

La consommation d'énergie finale pour l'éclairage d'un bâtiment sur une heure est la somme des consommations d'énergie des différentes zones qui le composent :

$$C_{\text{ecl_h}} = \sum C_{\text{ecl_zone}} \quad \text{Eq 2}$$

avec	$C_{\text{ecl_h}}$	consommation finale pour le bâtiment sur une heure	[Wh/h]
	$C_{\text{ecl_zone}}$	consommation pour la zone sur une heure	[Wh/h]

La consommation d'énergie finale sur une heure pour l'éclairage d'une zone (en Wh/h) est la somme des consommations d'énergie des différents groupes qui la composent :

$$C_{\text{ecl_zone}} = \Sigma C_{\text{ecl_GR}} \quad \text{Eq 3}$$

avec $C_{\text{ecl_GR}}$ consommation pour le groupe [Wh/h]

Le calcul annuel C_{ecl} (en Wh) s'effectue par somme des valeurs horaires $C_{\text{ecl_h}}$.

$C_{\text{ecl}} = \Sigma C_{\text{ecl_h}}$	Eq 4
---	------

Le calcul des consommations d'énergie relatif à l'éclairage d'un groupe est présenté ci-après.

7.3 METHODE DE CALCUL EN NON RESIDENTIEL

7.3.1 CALCUL DE LA CONSOMMATION POUR LE GROUPE

Afin de valoriser différents systèmes de gestion et l'accès à l'éclairage naturel de parties spécifiques d'un groupe, la notion de local est introduite. Un local a une puissance d'éclairage artificiel spécifique, un mode de gestion des luminaires et un accès homogène à l'éclairage naturel.

Ainsi, pour chaque local d'un groupe, les paramètres nécessaires au calcul de la consommation d'énergie relative à l'éclairage artificiel sont récapitulés dans le tableau suivant :

Dénomination du local	Puissance installée	Accès à l'éclairage naturel	Surface du local	Système de gestion du local
	En W/m ² §7.3.2	Impossible Nul effectif §7.3.4.1	§ 7.3	§ 7.3.3; § 7.3.4

Tableau 14 : Paramètres nécessaires au calcul de la consommation due à l'éclairage artificiel

La consommation d'énergie finale pour l'éclairage sur une heure d'un groupe est la somme des consommations d'énergie des différents locaux qui le composent :

$$C_{\text{ecl_GR}} = \Sigma C_{\text{ecl_local}} \quad \text{Eq 5}$$

Avec :

$C_{\text{ecl_local}}$ consommation pour le local [Wh/h]

Le calcul de la consommation d'éclairage artificiel d'un local est le produit de la puissance d'éclairage artificiel installée par sa durée d'utilisation sur une heure.

$$C_{\text{ecl_local}} = P_{\text{ecl}} \cdot P_{\text{Aecl}} \cdot A_{\text{gr}} \cdot C1 \cdot C34 \quad \text{Eq 6}$$

Avec :

$$P_{\text{Aecl}} = A_{\text{local}} / A_{\text{gr}} \quad \text{Eq 7}$$

A_{local}	surface du local en m^2
A_{gr}	surface utile du groupe en m^2
P_{ecl}	puissance installée de l'éclairage d'un local [W/m^2]

C1 coefficient correspondant au taux d'utilisation de l'éclairage en l'absence d'éclairage naturel.

C34 coefficient correctif de C1 pour les locaux bénéficiant d'éclairage naturel.

7.3.2 CALCUL DE LA PUISSANCE INSTALLEE

Elle est définie au niveau du local ou d'une partie de local.

P_{ecl} est la puissance installée pour l'éclairage intérieur des locaux. Elle inclut la puissance des lampes et accessoires y compris le système de gestion. Tous les dispositifs d'éclairage installés à poste fixe doivent être pris en compte à l'exclusion des dispositifs d'éclairage de sécurité.

Pour les installations dont le système d'éclairage n'est pas suffisant pour obtenir le niveau d'éclairement requis, on le complète par un système dont l'efficacité est de $5 \text{ W}/\text{m}^2$ pour 100 lux.

Dans le cas d'installations d'éclairage existantes, si la puissance installée n'est pas connue, on utilisera les valeurs par défaut ci-dessous ; ces valeurs par défaut sont établies pour des niveaux d'éclairement courants :

	Puissance installée en W/m^2			
	Incandescence et halogène	Fluo standard		Fluo haute performance
		Ballast ferromagnétique	Ballast électronique	
Commerce et bureaux	32	19	16	13
Enseignement, établissement sanitaire sans hébergement, salle de spectacle, salle de conférence, industrie	30	18	15	12
Établissement sanitaire avec hébergement, hôtellerie et restauration, locaux non mentionnés dans une autre catégorie	24	14,5	12	10
Établissement sportif, stockage, transport	20	12	10	8

Tableau 15 : Valeurs par défaut des puissances installées d'éclairage pour les installations existantes

7.3.3 VALEURS DU COEFFICIENT C1

Le coefficient C1 correspond à un pourcentage moyen d'utilisation qui dépend du type de gestion de l'éclairage, avec les valeurs suivantes :

Détecteur de présence	0,7
Horloge	0,8
Interrupteur manuel	0,9

Tableau 16 : Valeurs du coefficient C1

Pour les usages de commerces et de restauration, la présence d'un détecteur de présence est assimilée à une horloge.

7.3.4 CALCUL DU COEFFICIENT C34

7.3.4.1 Détermination de l'accès à l'éclairage naturel d'un local

Accès effectif

On considère que les groupes situés dans des bâtiments ayant moins de 10 m d'épaisseur et dans lesquels les seuls locaux non munis de fenêtres sont les locaux de stockage, les circulations, les locaux techniques et les sanitaires, sont entièrement en éclairage naturel.

Pour les groupes ne respectant pas ces critères, on détermine les locaux ayant un accès éventuel à l'éclairage naturel :

- par défaut, les locaux pouvant bénéficier de l'éclairage naturel sont constitués de la partie du groupe dont la profondeur est inférieure ou égale à 5 m et possédant des baies,
- sinon, ils sont constitués :
 - des groupes munis de baies et dont la profondeur est inférieure ou égale à deux fois et demie la hauteur sous linteaux (profondeur $\leq 2,5$ fois la hauteur sous linteaux),
 - pour les groupes d'une profondeur plus importante : des parties des groupes situées à une distance d'une baie inférieure à 2,5 fois la hauteur sous linteaux, sous réserve que les luminaires éclairant ces parties soient commandés de façon indépendante,
 - des parties du groupe munies de parties vitrées uniformément réparties en toiture (éclairage zénithal, sheds, lanterneaux).

On appelle profondeur la distance, perpendiculaire au centre de la paroi vitrée, entre celle-ci et une autre paroi du local.

Accès nul

L'accès à l'éclairage naturel est nul pour les parties des locaux sans baies situées à moins de 5 m des parois extérieures, si ces parois sont sans interdiction de percement par des règles d'urbanisme.

Accès impossible

L'accès à l'éclairage naturel est impossible pour les autres parties de locaux.

7.3.4.2 Calcul de Einat

L'éclairage naturel intérieur, Einat, est calculé au niveau du groupe à partir de l'éclairage incident sur la baie et des caractéristiques des baies du groupe, en prenant en compte le cas échéant la présence de protections mobiles. Il s'exprime en lux.

Il est calculé en faisant la somme sur les baies du groupe :

$$Einat = \sum_1^w (D_{fvi1} \cdot (1 - P_{lin}) + D_{fvi2} \cdot P_{lin}) \cdot Eb_{eq} \quad \text{Eq 8}$$

Avec :

Eb_{eq} éclairage total équivalent sous forme diffuse après prise en compte des masques,

D_{fvi1} facteur d'éclairage naturel pour les parties de baies pour lesquelles les protections mobiles ne sont pas en place,

D_{fvi2} facteur d'éclairage naturel pour les parties de baies pour lesquelles les protections mobiles sont en place,

P_{lin} ratio de surface des baies protection en place, §9.3.1.3.

Le calcul de l'éclairage vertical sur la baie, Eb , se compose de :

Eb_{dir} : éclairage direct = $100 \cdot Drp \cdot FfDir$

Eb_{dif} : éclairage diffus = $100 \cdot Dfp \cdot FfDiff$

Eb_{ref} : éclairage réfléchi par le sol = $100 \cdot Rrp$

Eq 9

Drp , $FfDir$, Dfp , $FfDiff$, Rrp : voir §9.3.1.2.

$$Eb_{eq} = Eb_{dif} + (0.2 \cdot Eb_{dir} + 0.6 \cdot Eb_{ref}) \cdot \quad \text{Eq 10}$$

Facteur pour la partie de la baie non protégée

$$D_{fvi1} = \frac{1,8 \cdot T_{l1} \cdot A_{baie}}{4,5 \cdot A_{eclnat} \cdot 0,75} \quad \text{Eq 11}$$

Facteur pour le rayonnement direct (partie de la baie protégée)

$$D_{fvi2} = \frac{1,8 \cdot T_{l2} \cdot A_{baie}}{4,5 \cdot A_{eclnat} \cdot 0,75} \quad \text{Eq 12}$$

T_{l1} et T_{l2} : facteur de transmission lumineuse du rayonnement diffus respectivement sans et avec protection solaire.

Par défaut on retiendra comme valeur le facteur de transmission lumineuse du rayonnement sous incidence normale transmis hémisphériquement réduit de 10%.

A_{eclnat} est la surface utile du groupe à accès effectif à l'éclairage naturel.

7.3.4.3 Calcul de C34

Pour les locaux à accès nul ou impossible, $C34 = 1$.

Pour les locaux à accès effectif, le coefficient C34 est calculé en fonction de l'éclairement naturel dans le local Einat et du type de régulation de l'éclairage : interrupteur ou gradateur.

Il est fondé sur l'approche suivante :

- pour Einat supérieur 2800 lux, l'éclairage est toujours éteint,
- pour Einat inférieur à 100 lux, l'éclairage est toujours allumé,
- pour Einat intermédiaire, on définit un point de référence Einat_{ref}, C34_{ref}.

La valeur de C34 est obtenue par interpolation linéaire entre les points suivants :

1. Einat = 0, C34 = 1
2. Einat = 100, C34 = 1
3. Einat_{ref}, C34_{ref}
4. Einat = 2800, C34 = 0

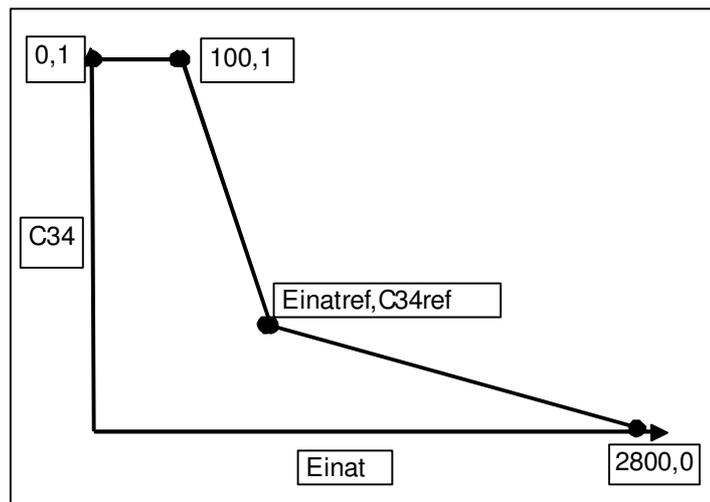


Figure 5 : Evolution de C34 en fonction de l'éclairement naturel

Les valeurs de Einat_{ref} et C34_{ref} dépendent du type de régulation de l'éclairage selon le tableau suivant :

	Einat _{ref}	C34 _{ref}
Interrupteur	700	0.3
Gradateur	500	0.1

Tableau 17 : Valeurs de Einat_{ref} et de C34_{ref}

7.4 METHODE DE CALCUL EN RESIDENTIEL

Le calcul est entièrement conventionnel. L'impact sur les consommations ne résulte donc que des caractéristiques des baies.

Les formules définies en 7.3 sont utilisées avec les valeurs suivantes :

- Puissance d'éclairage conventionnelle : 2 W/m²

Note : cette valeur résulte d'une puissance totale installée de 20 W/m² et d'un facteur de non simultanéité d'utilisation des différents points d'éclairage.

- Valeur de C1 : 0.9
- $E_{Inat_{ref}} = 200$
- $C34_{ref} = 0.05$
- Accès à l'éclairage : effectif
- Type de régulation : interrupteur

7.5 CALCUL DES APPORTS RECUPERABLES DUS A L'ECLAIRAGE

Le flux transmis s'exprime de la manière suivante :

- flux convectif,

$$Fecl_C = 0,5 \cdot C_{ecl_GR} \quad \text{Eq 13}$$

- flux radiatif,

$$Fecl_R = 0,5 \cdot C_{ecl_GR} \quad \text{Eq 14}$$

Les valeurs de **Fecl_C** et de **Fecl_R** sont ajoutées respectivement à F_{intr} , Flux convectif dû à des sources internes, et à F_{intr} , Flux radiatif dû à des sources internes, cf § 13.8 , Eq 218

8. BESOINS ET DISTRIBUTION DE L'ECS

8.1 BESOINS D'EAU CHAUDE SANITAIRE

Cette partie permet de calculer les besoins horaires d'énergie pour l'eau chaude sanitaire en fonction du type d'usage de la zone et du mois considéré.

La quantité de chaleur nécessaire pour préparer l'eau chaude ou besoin d'eau chaude vaut pour chaque système de préparation :

$$Q_w = \rho_w \cdot c_w \cdot V_{uw} \cdot (\theta_{uw} - \theta_{cw}) \cdot Rat_{ECS} \quad \text{Eq 15}$$

Elle est exprimée en Wh/h.

Avec :

- ρ_w masse volumique de l'eau, $\rho_w = 1 \text{ kg/l}$,
- c_w capacité calorifique massique de l'eau, $c_w = 1,163 \text{ Wh/(kg.K)}$,
- V_{uw} volume d'eau chaude mitigée utilisé chaque heure pendant la période normale, [l/h],
- θ_{uw} température de l'eau chaude mitigée utilisée au puisage,
- θ_{cw} température de l'eau froide entrant dans le système de préparation d'eau chaude,
- Rat_{ECS} ratio des besoins assurés par un système de production aux besoins totaux de la zone.

La température d'eau froide dépend de la zone climatique et est donnée dans le fichier météorologique.

Le volume d'eau chaude mitigée, V_{uw} , pour une heure donnée vaut (en litres/h) :

$$V_{uw} = a \cdot ah \cdot Nu \quad \text{Eq 16}$$

Avec :

- a besoins unitaires exprimés en litres d'eau à 40 °C,
- ah coefficient horaire de la clé de répartition des besoins d'ECS afférente à l'usage considéré,
- Nu nombre d'unités à considérer.

Les valeurs de a et Nu dépendent :

- de l'usage de la zone,
- dans certains cas d'un facteur complémentaire : nombre d'étoiles pour un hôtel, type de restauration.

Le Tableau 18 donne les valeurs de a et Nu , le Tableau 19 donne les valeurs de ah .

Rat_{ECS} est déterminé de la façon suivante :

$$Rat_{ECS_1} = Nu_{syst1} / Nu \quad \text{pour les logements et les autres usages}$$

Avec :

Nu surface totale ou total des lits, des repas, des chambres ou des douches selon l'usage, voir Tableau 18,

Nu_{syst1} surface ou nombre de lits, de repas, de chambres ou de douches selon l'usage alimentés par le système 1.

Type d'usages	a	Nu
Maisons individuelles ou en bande	$= (470,9 \ln (\text{Nu_moyenne}) - 1075) / \text{Nu_moyenne}$ si $\text{Nu_moyenne} > 27 \text{ m}^2$ $= 17,7$ sinon Avec $\text{Nu_moyenne} = \text{Nu}/\text{nbre maisons}$	m ² de surface habitable totale
Logements collectifs	$= (470,9 \ln (\text{Nu_lgt}) - 1075) / \text{Nu_lgt}$ si $\text{Nu_lgt} \geq 27 \text{ m}^2$ $= 17,7$ sinon Avec $\text{Nu_lgt} = \text{Nu}/\text{nbre_lgt}$	m ² de surface habitable totale
Hébergement	330	Nombre de lits
Établissement sanitaire sans hébergement	120	Nombre de lits
Établissement sanitaire avec hébergement - avec Blanchisserie.	1050	Nombre de lits
Établissement sanitaire avec hébergement - sans Blanchisserie.	665	Nombre de lits
Enseignement	Besoins d'eau chaude non pris en compte	
Bureaux		
Salles de spectacles, de conférences		
Commerces		
Restauration 2 repas par jour. Cuisine traditionnelle	255	Nombre de repas par service
Restauration 2 repas par jour. Self	95	Nombre de repas par service
Restauration 1 repas par jour. Cuisine traditionnelle	125	Nombre de repas par service
Restauration 1 repas par jour. Self	45	Nombre de repas par service
Hôtel - 1* - sans Blanchisserie	665	Nombre de chambres
Hôtel - 1* - avec Blanchisserie	830	Nombre de chambres
Hôtel - 2* - sans Blanchisserie	910	Nombre de chambres
Hôtel - 2* - avec Blanchisserie	1075	Nombre de chambres
Hôtel - 3* - sans Blanchisserie	1160	Nombre de chambres
Hôtel - 3* - avec Blanchisserie	1325	Nombre de chambres
Hôtel - 4* et GC - sans Blanchisserie	1405	Nombre de chambres
Hôtel - 4* et GC - avec Blanchisserie	1570	Nombre de chambres
Établissement sportif	1200	Nombre de douches installées
Stockage	Besoins d'eau chaude non pris en compte	
Industrie		
Transport		
Autre		

Tableau 18 : Besoins unitaires hebdomadaires d'eau chaude sanitaire à 40 °C

Le Tableau 19 présente les coefficients ah de la clé de répartition, pour chaque usage considéré et rappelle les jours de la semaine pendant lesquels ils s'appliquent.

Période	Logement & établis ^{nts} sanitaire et d'hébergement	Etablis ^{nt} sanitaire sans hébergement	Restauration cuisine traditionnelle et self		Hôtellerie	Etablis ^{nt} sportif
			1 repas par jour	2 repas par jour		
De 7 à 8 h	0,028				0,043	
De 8 à 9 h	0,029	0,05		0	0,029	0
De 9 à 10 h	0	0	0,08	0,04	0	0,05
De 10 à 11 h		0	0	0		0
De 11 à 12 h		0,05	0	0		0,05
De 12 à 13 h		0	0	0		0
De 13 à 14 h		0,05	0,12	0,06		0
De 14 à 15 h		0		0		0
De 15 à 16 h		0		0		0,05
De 16 à 17 h		0		0,04		0
De 17 à 18 h		0,05		0,06		0,05
De 18 à 19 h	0,029				0,043	
De 19 à 20 h	0				0,014	
De 20 à 21 h	0,028				0	
De 21 à 22 h	0,029				0	
De 22 à 23 h	0				0,014	
Jours par semaines	7	5 (du lundi au vendredi)	5 (du lundi au vendredi)		7	5 (du lundi au vendredi)

Tableau 19 : Coefficients horaires de soutirage et de répartition des quantités consommées

8.2 PERTES BRUTES DE DISTRIBUTION DE L'EAU CHAUDE SANITAIRE

Cette partie permet de calculer pour chaque zone les pertes brutes de distribution : énergie perdue dans le circuit de distribution de l'eau chaude sanitaire.

La distribution d'eau chaude sanitaire comprend deux parties :

- La distribution individuelle, toujours présente,
- La distribution collective bouclée ou tracée.

Les pertes de la distribution individuelle Q_{d,w_ind} et de la distribution collective Q_{d,w_col} s'additionnent pour donner les pertes de distribution $Q_{d,w}$. Les pertes peuvent avoir lieu en volume chauffé ($Q_{d,w_ind,vc}$ et $Q_{d,w_col\ vc}$) ou hors volume chauffé ($Q_{d,w_ind,hvc}$ et $Q_{d,w_col\ hvc}$).

$$Q_{d,w} = Q_{d,w_ind,vc} + Q_{d,w_ind,hvc} + Q_{d,w_col\ vc} + Q_{d,w_col\ hvc} \quad \text{Eq 17}$$

Ces pertes s'expriment en Wh/h.

Quatre cas se présentent, pour chacun on calcule des pertes thermiques.

On calcule des consommations électriques de circulateur pour le cas 3 et des consommations électriques de traçage pour le cas 4.

On définit les grandeurs suivantes :

$$R_{dist_{ECS}} = L_{vc} / A_z$$

L_{vc} : longueur en volume chauffé avec les valeurs par défaut suivantes :

$$L_{vc} = 0,2 \cdot A_z \cdot Rat_{ECS} \quad \text{en résidentiel et en hébergement}$$

$$L_{vc} = 0,05 \cdot A_z \cdot Rat_{ECS} \quad \text{pour les autres usages}$$

8.2.1 PRODUCTION INDIVIDUELLE EN VOLUME HABITABLE CHAUFFE

$$\begin{aligned} Q_{d,w_ind,vc} &= 0,5 \cdot R_{dist_{ECS}} \cdot Q_w \\ Q_{d,w_ind,hvc} &= 0 \\ Q_{d,w_col} &= 0 \end{aligned} \quad \text{Eq 18}$$

8.2.2 PRODUCTION INDIVIDUELLE HORS VOLUME CHAUFFE

$$\begin{aligned} Q_{d,w_ind\ vc} &= 0,5 \cdot R_{dist_{ECS}} \cdot Q_w \\ Q_{d,w_ind,hvc} &= 0,5 \cdot (L_{hvc} / A_z) \cdot Q_w \\ Q_{d,w_col} &= 0 \end{aligned} \quad \text{Eq 19}$$

Avec :

L_{hvc} : longueur de la partie individuelle du réseau hors volume chauffé (m). Sa valeur conventionnelle est égale à 4% de la surface desservie, $A_z \cdot Rat_{ECS}$.

A_z : surface utile de la zone (m²).

8.2.3 PRODUCTION COLLECTIVE RESEAU BOUCLE

$$Q_{d,w_ind,vc} = 0,5 \cdot R_{dist_{ECS}} \cdot Q_w$$

$$Q_{d,w_ind,hvc} = 0$$
Eq 20

La distribution collective, en réseau bouclé, est caractérisée par une circulation d'eau chaude permanente ou programmée pour maintenir en température l'ECS distribuée. Les pertes sont celles liées à l'émission de la canalisation en régime permanent.

$$Q_{d,w_col} = 0,14 \cdot Q_w$$

$$Q_{d,w_col,vc} = 0,8 \cdot Q_{d,w_col}$$

$$Q_{d,w_col,hvc} = 0,2 \cdot Q_{d,w_col}$$
Eq 21

8.2.4 PRODUCTION COLLECTIVE RESEAU TRACE

$$Q_{d,w_ind,vc} = 0,5 \cdot R_{dist_{ECS}} \cdot Q_w$$

$$Q_{d,w_ind,hvc} = 0$$
Eq 22

La distribution collective avec traçage est caractérisée par une circulation d'eau chaude avec un traceur qui est en fonctionnement permanent. Le réseau tracé ne comporte pas de circulateur. Le traceur ne contribue pas à la génération. La longueur tracée est égale à la longueur « aller » ou « départ » prise égale à la moitié de la longueur totale des canalisations d'un réseau bouclé. Les pertes thermiques de distribution sont compensées par le traceur par effet Joule.

$$Q_{d,w_col} = 0,07 \cdot Q_w$$

$$Q_{d,w_col,vc} = 0,8 \cdot Q_{d,w_col}$$

$$Q_{d,w_col,hvc} = 0,2 \cdot Q_{d,w_col}$$
Eq 23

8.3 PERTES RECUPEREES DE DISTRIBUTION DE L'EAU CHAUDE SANITAIRE

Cette partie permet de calculer pour chaque zone les pertes récupérées de distribution de l'eau chaude sanitaire.

48% des pertes brutes de distribution en volume chauffé ($Q_{d,w_ind,vc}$ et $Q_{d,w_col,vc}$) sont récupérées (60% des pertes sont récupérables avec un taux de récupération de 0,8). Les pertes hors volume chauffé ($Q_{d,w_ind,hvc}$ et $Q_{d,w_col,hvc}$) ne le sont pas.

Les pertes récupérées de distribution de l'eau chaude sanitaire sont calculées annuellement et viennent se déduire (respectivement se rajouter) aux besoins de chauffage (respectivement de refroidissement). La valeur moyenne des pertes de distribution d'ECS récupérées sur une heure a pour expression (en Wh/h) :

$$Q_{d,w_rec} = \frac{\sum (Q_{d,w_ind,vc} + Q_{d,w_col,vc}) \cdot 0,48}{(durecs - durvac_{ecs})}$$
Eq 24

Avec :

$durecs$: la durée annuelle de fonctionnement de l'ECS, elle est calculée à partir des données du Tableau 19.

$durvac_{ecs}$: durée de fonctionnement de l'ECS ramenée à la durée annuelle de vacances (en heures).

8.4 CONSOMMATION DES AUXILIAIRES DE DISTRIBUTION DE L'ECS

Cette partie permet de calculer pour chaque zone les consommations des auxiliaires de distribution de l'ECS.

8.4.1 PRODUCTION INDIVIDUELLE EN VOLUME CHAUFFE

Pas de consommation d'auxiliaires

8.4.2 PRODUCTION INDIVIDUELLE HORS VOLUME CHAUFFE

Pas de consommation d'auxiliaires

8.4.3 PRODUCTION COLLECTIVE RESEAU BOUCLE

Pour le calcul de la consommation électrique des circulateurs, on détermine la valeur par défaut de la puissance électrique des circulateurs $P_{cir_d,w}$.

Le débit au départ de la boucle (en m³/h) est égal à :

$$q_{d,w} = \left(\frac{Q_{d,w}}{1,163 \cdot \Delta\theta_{\max}} \right) \quad \text{Eq 25}$$

$\Delta\theta_{\max}$ = chute maximum de température prise égale à 5 °C.

La longueur du bouclage (en m) le plus défavorable est égale à :

$$L_{b_def} = 2 \cdot \left[2 \cdot \left(\frac{A_{zone}}{n_{niv}} \right)^{0,5} + 3 \cdot (n_{niv} - 0,5) \right] \quad \text{Eq 26}$$

La perte de charge (en kPa) dans le bouclage dépend de la longueur et est égale à :

$$\Delta p_b = 0,2 \cdot L_{b_def} + 10 \quad \text{Eq 27}$$

La puissance hydraulique (en W) du bouclage est égale à :

$$P_{hyd_b} = (q_{d,w} \cdot \Delta p_b) / 3,6 \quad \text{Eq 28}$$

L'efficacité du circulateur est égale à :

$$Eff_{cir_d,w} = P_{hyd_b}^{0,324} / 15,3 \quad \text{Eq 29}$$

La puissance électrique du circulateur (en W) est égale à :

$$P_{cir_d,w} = \max(20; P_{hyd_b} / Eff_{cir_d,w}) \quad \text{Eq 30}$$

La consommation électrique des circulateurs sur une heure (en Wh/h) est calculée par :

$$Q_{cir_d,w} = P_{cir_d,w} \quad \text{Eq 31}$$

On considère que les apports de chaleur dus au fonctionnement des circulateurs ne sont pas récupérables.

8.4.4 PRODUCTION COLLECTIVE RESEAU TRACE

La consommation électrique (en Wh/h) du traceur par effet joule direct qui permet de compenser les pertes thermiques de distribution est donnée par la formule :

$$Q_{\text{trac}_d,w} = P_{\text{trac}_d,w} \quad \text{Eq 32}$$

Avec :

$$P_{\text{trac}_d,w} = Q_{d,w_col} \quad \text{Eq 33}$$

9. DEPERDITIONS ET APPORTS DE CHALEUR

Cette partie permet le calcul des déperditions par les parois, les déperditions par renouvellement d'air et les apports internes et solaires dans le but de déterminer les besoins de chaleur et de refroidissement.

9.1 DEPERDITIONS PAR LES PAROIS

9.1.1 CARACTERISATION THERMIQUE DU BATI

Le bâtiment est séparé en zones ayant des usages différents, elles-mêmes découpées en groupes. A chaque partie du bâtiment correspond les entrées suivantes :

9.1.1.1 Caractéristiques au niveau du bâtiment

La seule donnée d'entrée est la surface hors œuvre nette (SHON).

9.1.1.2 Caractéristiques du bâti au niveau de la zone

Si la nécessité de découper la zone en plusieurs groupes ne se justifie pas alors la zone et le groupe seront confondus.

La perméabilité à l'air de l'enveloppe est une donnée caractéristique de la zone.

9.1.1.3 Caractéristiques du bâti au niveau du groupe

On caractérise l'inertie thermique pour chaque groupe par sa classe d'inertie. Les caractéristiques d'inertie quotidienne et séquentielle sont calculées selon les règles Th-I faisant partie des règles Th-bât.

La description des éléments de l'enveloppe se font au niveau du groupe. On décrit à ce niveau:

- La surface utile A_{gr} . Cette surface est prise égale à la surface habitable pour les logements et à la SHON pour les autres bâtiments.

La surface utile d'une zone A_z est la somme des surfaces utiles des groupes de la zone. La surface utile d'un bâtiment A_{bat} est la somme des surfaces utiles des zones du bâtiment

- Pour les parois opaques déperditives: la surface, le coefficient de transmission surfacique U , le coefficient de réduction de la température b , le facteur solaire S , l'inclinaison et l'orientation
- Pour les liaisons linéiques déperditives : la longueur, le coefficient de transmission linéique Ψ , le coefficient de réduction de la température b et le facteur solaire
- Pour les baies :
 - La surface, le coefficient U , le coefficient de réduction de la température b l'inclinaison et l'orientation
 - Le facteur solaire des baies sans protection solaire mobile, Sw_{sp_baie} , dont le mode de calcul est donné dans les règles Th-bât dans la partie Th-S (valeur d'hiver)
 - Le facteur de transmission lumineuse des baies sans protection solaire mobile, $TI1_baie$, calculé au § 7.3.4.2.
 - Le facteur solaire des baies avec protection solaire mobile en place, Sw_{ap_baie} , dont le mode de calcul est donné dans les règles Th-bât dans la partie Th-S (valeur d'été). Le taux de transmission lumineuse, $TI2_baie$, protection solaire mobile en place.

Par défaut $S_{w_sp_baie_hiver} = S_{w_sp_baie_été} - 0,1$

Si toutes les baies d'une même orientation n'ont pas de protection solaire mobile, alors les valeurs afférentes de $S_{w_ap_baie}$ et T_{l2_baie} prennent les valeurs de $S_{w_sp_baie}$ et T_{l1_baie} .

Les baies protégées par un masque proche identique peuvent être regroupées. Par défaut, on considère qu'il n'y a pas de masques proches.

La nécessité de distinguer différents groupes de baies de même orientation ne se justifie que lorsque l'on souhaite valoriser la présence de masques proches horizontaux.

Les masques lointains affectant une paroi vitrée sont évalués selon le § 9.3.1.2.3. Le point de référence est le centre de la baie considérée. Les masques pris en compte sont les masques existants et futurs ainsi définis :

- les masques existants sont constitués par tous les obstacles au rayonnement solaire existants à la date de calcul du projet, à l'exception de ceux situés à l'intérieur de la parcelle d'implantation du bâtiment et explicitement condamnés du fait de la réalisation du projet.
- les masques futurs sont constitués par tous les obstacles au rayonnement solaire, créés par le projet lui-même et susceptibles d'intervenir ultérieurement et de modifier les performances thermiques du groupe étudié.
- les masques dus à la présence de végétaux peuvent être pris en compte suivant les indications fournies par la fiche paysagère du permis de construire.

Remarque importante : Il est possible de caractériser différentes parois de même type et de même orientation et pour les parois vitrées pour le même type de masque proche en considérant pour chacun des paramètres la valeur moyenne pondérée par la surface des parois :

Orientation	Surface équivalente pour l'orientation X	Coefficient de transmission surfacique	Facteur solaire	Taux de transmission lumineux
Pour une orientation 'X donnée' Orientation 'X'	$A = \sum_{orientation_X} A$	$U \cdot b = \frac{\sum_{orientation_X} (A \cdot U \cdot b)}{\sum_{orientation_X} A}$	$S = \frac{\sum_{orientation_X} (A \cdot S)}{\sum_{orientation_X} A}$	$T_l = \frac{\sum_{orientation_X} (A \cdot T_l)}{\sum_{orientation_X} A}$

Tableau 20 : Caractéristiques regroupées pour une même orientation par masque proche

Le même principe de regroupement peut être appliqué pour les linéiques en remplaçant respectivement A et U par L et psi.

Valeurs conventionnelles

Paramètres	Valeur	Niveau d'application
Inclinaison des parois opaques et vitrées	Conventionnellement elles sont considérées horizontales lorsque l'angle par rapport à l'horizontale est compris entre 0 et 30 degrés inclus sinon elles sont considérées verticales	Groupe
Orientation des parois	Conventionnellement les orientations nord, sud, est et ouest correspondent aux secteurs situés de part et d'autre de ces orientations dans un angle de 45 degrés	Groupe

Tableau 21 : Valeurs conventionnelles

9.1.2 VALEURS PAR DEFAUT

Le facteur solaire par défaut des parois opaques est calculé avec un coefficient d'absorption de 0,8 pour les parois horizontales et 0,6 pour les parois verticales.

9.1.3 CALCUL DE H_T

H_T est le coefficient de déperdition par transmission entre le volume chauffé d'une part et l'extérieur, le sol et les locaux non chauffés d'autre part. Il s'exprime en W/K selon la formule suivante :

$$H_T = A_T \cdot U_{bât} \quad \text{Eq 34}$$

A_T est la surface intérieure totale des parois qui séparent le volume chauffé de l'extérieur, du sol et des locaux non chauffés (en m²).

$U_{bât}$ est le coefficient moyen de déperdition par transmission à travers les parois déperditives séparant le volume chauffé du bâtiment de l'extérieur, du sol et des locaux non chauffés. Il s'exprime en W/(m².K). Son expression est donnée selon Eq 35 ci-dessous :

$$U_{bât} = \frac{\sum_i A_i \cdot U_i \cdot b_i + \sum_j l_j \cdot \psi_j \cdot b_j + \sum_k \chi_k \cdot b_k}{\sum_i A_i} \quad \text{Eq 35}$$

Avec :

A_i : l'aire intérieure de la paroi déperditive i du bâtiment, en m²,

U_i : le coefficient de transmission thermique de la paroi déperditive i du bâtiment, il s'exprime en W/(m². K) et se désigne par :

- U_e : pour les parois opaques en contact avec le sol ou donnant sur un vide sanitaire, ou un sous sol non chauffé,
- U_p : pour autres parois opaques,
- U_w : pour les fenêtres, les portes et les portes fenêtres non équipées de fermetures,
- U_{jn} : pour les fenêtres, les portes et les portes fenêtres équipées de fermetures,
- U_c : pour les coffres de volets roulant,
- $U_{cw,tot}$: pour les façades rideaux,
- $U_{bb,jn}$: pour les blocs baies.

b : coefficient de réduction des déperditions respectivement à travers les composants i , j et k .

l_j : linéaire du pont thermique de la liaison j , en m.

ψ_j : coefficient de transmission thermique linéique du pont thermique de la liaison j, en W/(m.K) à l'exception des ponts thermiques intermédiaires des parois en contact avec le sol ou donnant sur un vide sanitaire ou sur un sous sol non chauffé.

χ_k : coefficient de transmission thermique ponctuel du pont thermique tridimensionnel k, en en W/K.

Remarque importante : le coefficient H_T est calculé au niveau du bâtiment. Ce même coefficient peut être calculé au niveau de la zone (H_{T-zone}):

$$H_{T-zone} = A_{T-zone} \cdot \frac{\sum_{i-zone} A_{i-zone} \cdot U_{i-zone} \cdot b_{i-zone} + \sum_{j-zone} l_{j-zone} \cdot \psi_{j-zone} \cdot b_{j-zone} + \sum_{k-zone} \chi_{k-zone} \cdot b_{k-zone}}{\sum_{i-zone} A_{i-zone}} \quad \text{Eq 36}$$

Les variables de l'Eq 36 sont celles citées ci-dessus mais pour les composants de la zone.

9.1.4 PRISE EN COMPTE DEPERDITIONS PAR LES PAROIS

Les déperditions par les parois sont prises en compte à chaque pas de temps par le modèle thermique décrit au § 13 à travers les conductances $H_{g_{es}}$ et $H_{g_{em}}$.

9.2 DEPERDITIONS PAR RENOUVELLEMENT D'AIR – CALCUL DES DEBITS D'AIR

Ce chapitre permet :

- de caractériser les débits extraits et soufflés dans chaque groupe par le système spécifique de ventilation,
- de caractériser la perméabilité de l'enveloppe du bâtiment au niveau des zones,
- de calculer les transferts d'air aux frontières de la zone dans son ensemble pour ce qui est de l'effet du tirage thermique et du vent sur l'enveloppe, entrées d'air comprises,
- de répartir ces transferts d'air dans chaque groupe.

L'expression du coefficient Hv (coefficient de déperdition par renouvellement d'air) est donnée en fin de paragraphe.

Dans ce qui suit, une distinction sera faite selon les deux situations suivantes :

- Situation 1 : Correspond au calcul du projet dans le cas où le système de ventilation du projet a été modifié par rapport au système de ventilation du bâtiment avant travaux. Cette situation est traitée au § 9.2.2.
- Situation 2 : correspond au calcul du bâtiment initial avant travaux et au calcul du projet dans le cas où le système de ventilation est inchangé par rapport au système de ventilation du bâtiment avant travaux. Cette situation est traitée au § 9.2.3.

9.2.1 CARACTERISATION DU GROUPE ET REGLE DE SEGMENTATION

On caractérise au niveau du groupe :

- les débits soufflés et repris mécaniquement par le ou les système(s) de ventilation associé(s) au groupe Qva_{soug} et Qva_{repg} en m^3/h sont obtenus par la somme des débits soufflés par système Qva_{sou} et repris Qva_{rep} des systèmes de ventilation présents dans le groupe.
- les modules d'entrée d'air M_{eagr} en m^3/h .

Si la zone possède plusieurs groupes dont un groupe d'extraction :

- D'une part, ce dernier doit répondre à la condition suivante : $Qva_{soug} < Qva_{repg}$
- D'autre part, il faut s'assurer que la somme des débits soufflés dans les groupes d'entrée est supérieure à la somme des débits repris dans les groupes d'entrée :

$$\sum_{groupesd'entree} Qva_{soug} > \sum_{groupesd'entree} Qva_{repg}$$

Ces conditions sont nécessaires pour s'assurer que le flux d'air respecte bien la logique suivante.

On représente les transferts d'air entre groupes en s'appuyant sur les hypothèses suivantes :

- il peut y avoir plusieurs groupes d'entrée d'air et un groupe d'extraction,
- l'air va des groupes d'entrée vers le groupe d'extraction.

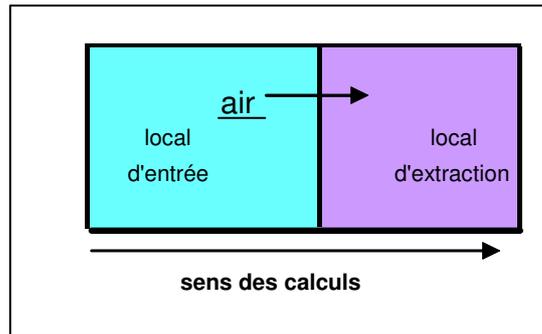


Figure 6 : Sens des calculs

Par ailleurs, on doit distinguer, comme indiqué en § 10.7, les groupes d'entrée d'air dont les locaux sont avec ou sans système de refroidissement. La catégorie CE1 CE2 du groupe d'extraction est celle du groupe d'entrée d'air de la zone de surface utile la plus grande.

Nota : Toute zone doit posséder au moins un groupe d'entrée d'air (il n'est donc pas possible de déclarer une zone comportant uniquement un groupe d'extraction).

9.2.2 SITUATION 1 : METHODE POUR LE CALCUL DU PROJET DANS LE CAS OU LE SYSTEME DE VENTILATION A ETE MODIFIE PAR RAPPORT AU SYSTEME DE VENTILATION DU BATIMENT INITIAL AVANT TRAVAUX

9.2.2.1 Calcul des débits spécifiques

9.2.2.1.1 Introduction

On distingue 4 types de systèmes :

- 1) Ventilation mécanique,
- 2) Ventilation naturelle par conduits,
- 3) Ventilation hybride,
- 4) Aération par ouverture des fenêtres.

9.2.2.1.2 Valeurs des débits à reprendre et à fournir $Q_{vasou_{spec}}$ et $Q_{varep_{spec}}$

Sauf pour la ventilation naturelle, le calcul du débit spécifique du bâtiment s'effectue à partir des débits d'air à reprendre (négatifs) ou à fournir (positifs) dans les locaux tels que définis dans le projet (ces valeurs ne peuvent être inférieures à celles découlant du respect des réglementations d'hygiène). Ces valeurs sont définies en période d'occupation et d'inoccupation au sens des scénarios de ventilation (voir Tableau 10).

Les données d'entrée doivent toujours être exprimées en valeurs absolues.

Dans le cas des cuisines professionnelles, on considère conventionnellement que le débit d'extraction est multiplié par 0,4 pour prendre en compte le temps de fonctionnement par rapport à la durée d'occupation de la zone.

9.2.2.1.3 Ventilation mécanique

On effectue le calcul des débits moyens soufflés et extraits par chaque système (en pouvant regrouper les bouches liées à un même circuit aéraulique) en période d'occupation et en période d'inoccupation.

On part **des débits spécifiques** à reprendre [$Q_{varep_{specocc}}$ et $Q_{varep_{specinocc}}$] et à fournir [$Q_{vasou_{specocc}}$ et $Q_{vasou_{specinocc}}$] que l'on corrige des coefficients suivants :

- un coefficient de régulation des débits Crdb,
- un coefficient de dépassement Cdep,
- un coefficient de fuite de réseaux Cfres.

$$Q_{\text{vasou}_{\text{occ}}} = \text{Crdb} \cdot \text{Cdep} \cdot \text{Cfres} \cdot Q_{\text{vasou}_{\text{specocc}}} \quad \text{Eq 37}$$

$$Q_{\text{vasou}_{\text{inocc}}} = \text{Crdb} \cdot \text{Cdep} \cdot \text{Cfres} \cdot Q_{\text{vasou}_{\text{specinocc}}} \quad \text{Eq 38}$$

$$Q_{\text{varep}_{\text{occ}}} = \text{Crdb} \cdot \text{Cdep} \cdot \text{Cfres} \cdot Q_{\text{varep}_{\text{specocc}}} \quad \text{Eq 39}$$

$$Q_{\text{varep}_{\text{inocc}}} = \text{Crdb} \cdot \text{Cdep} \cdot \text{Cfres} \cdot Q_{\text{varep}_{\text{specinocc}}} \quad \text{Eq 40}$$

9.2.2.1.3.1 Secteur résidentiel

Dans le secteur résidentiel, les débits d'air spécifiques sont permanents, et il n'y a pas de période d'inoccupation pour les débits soufflés et repris.

La régulation du débit est prise en compte à travers les caractéristiques du dispositif de gestion telles que décrites dans le Tableau 22; dans ce cas, le coefficient Crdb est pris égal à 1.

Les systèmes à deux débits d'extraction sont calculés pour une durée d'utilisation en grand débit (Dugd) de :

	Durée d'utilisation en grand débit (Dugd) (en h/semaine)
Dispositifs de gestion manuelle	14
Dispositifs avec temporisateur	7

Tableau 22 : Durées d'utilisation Dugd en grand débit en secteur résidentiel

Le débit moyen à reprendre, s'appliquant en occupation et en inoccupation, est calculé par :

$$Q_{\text{varep}_{\text{spec}}} = (Q_{\text{pointerep}} \cdot \text{Dugd} + Q_{\text{baserep}} \cdot (168 - \text{Dugd})) / 168 \quad \text{Eq 41}$$

Pour les systèmes double flux, le débit soufflé est le débit moyen sur la semaine.

$$Q_{\text{vasou}_{\text{spec}}} = (Q_{\text{pointesou}} \cdot \text{Dugd} + Q_{\text{basesou}} \cdot (168 - \text{Dugd})) / 168 \quad \text{Eq 42}$$

Le Tableau 22 est à utiliser si les bouches ont des fonctionnements indépendants.

Pour les bouches dont le fonctionnement n'est pas indépendant (cas par exemple d'un dispositif local commandant le passage en grand débit de toutes les bouches d'un même logement), on considère par défaut que le passage en grand débit se fait de manière non concomitante et on applique donc pour chacune des bouches le temps de fonctionnement correspondant à l'ensemble des bouches munies d'un dispositif de gestion. A titre d'exemple, si un logement est muni d'un dispositif central de passage en grand débit et qu'il est commandé par un dispositif manuel en cuisine et dans une salle de bains, le temps total de fonctionnement en grand débit sera de 14 h + 14 h = 28 h. On appliquera donc cette durée et pour la cuisine et pour la salle de bains. Ces systèmes peuvent également faire l'objet d'un Avis Technique précisant les règles de calcul à appliquer.

Pour les systèmes hygroréglables, les débits énergétiques équivalents seront calculés à partir des valeurs fournies dans les Avis Techniques. Ces valeurs prennent en compte directement la réduction des débits, le coefficient Crdb est alors égal à 1.

9.2.2.1.3.2 Secteur non résidentiel

On définit les débits nominaux à souffler dans chaque groupe par système, **Qvanomsou**, et à reprendre, **Qvanomrep**, en période d'occupation et en période d'inoccupation. Ces valeurs ne peuvent être inférieures à celles résultant de réglementations d'hygiène.

En période d'occupation, les valeurs du coefficient Crdb sont données dans le Tableau 23 ci-dessous :

	Coefficient de régulation des débits Crdb
Aucun système	1
Dispositif de détection d'utilisation du local	0,9
Dispositifs de comptage d'occupants ou sondes CO ₂	0,8

Tableau 23 : Coefficients de réduction des débits en non résidentiel Crdb

Des valeurs différentes de Crdb peuvent être issues de procédures d'Avis Technique.

La valeur par défaut de Crdb est égale à 1.

En période d'inoccupation, Crdb=1

$$Q_{\text{varepspec}_{\text{occ}}} = Q_{\text{vanomrep}_{\text{occ}}} \quad \text{Eq 43}$$

$$Q_{\text{varepspec}_{\text{inoc}}} = Q_{\text{vanomrep}_{\text{inoc}}} \quad \text{Eq 44}$$

$$Q_{\text{vasouspec}_{\text{occ}}} = Q_{\text{vanomsou}_{\text{occ}}} \quad \text{Eq 45}$$

$$Q_{\text{vasouspec}_{\text{inoc}}} = Q_{\text{vanomsou}_{\text{inoc}}} \quad \text{Eq 46}$$

9.2.2.1.3.3 Coefficients de dépassement Cdep

Le coefficient de dépassement Cdep est un facteur multiplicatif visant à prendre en compte les contraintes de dimensionnement de l'installation de ventilation et la dispersion des caractéristiques de composants.

	Valeurs de Cdep
Valeur par défaut	1,25
Composants auto réglables certifiés	1,10

Tableau 24 : Valeurs de Cdep pour la ventilation mécanique

9.2.2.1.3.4 Coefficient de fuite des réseaux Cfres

Le coefficient de fuite du réseau Cfres a pour valeur en fonction de la classe de fuite du réseau Cfres :

Classe de Cfres	Cfres1	Cfres2	Cfres3	Cfres4
Valeur de Cfres	1	1.05	1.10	1.3

Tableau 25: Valeur de Cfres en fonction de la classe Cfres

Connaissant le type de réseau et sa classe d'étanchéité au sens de la norme expérimentale NF X 10236, la valeur de classe de Cfres est la suivante :

Type de réseau	Classe d'étanchéité du réseau	Kres (m ³ /(s.m ²) sous 1 Pa) (pour mémoire)	Classe Cfres _r
Basse pression (dépression dans le réseau inférieure à 20 Pa)	A	0,027.10 ⁻³	Cfres1
	B	0,009.10 ⁻³	Cfres1
	C	0,003.10 ⁻³	Cfres1
	Valeur par défaut	0,0675.10 ⁻³	Cfres2
Autres cas et type par défaut	A	0,027.10 ⁻³	Cfres2
	B	0,009.10 ⁻³	Cfres1
	C	0,003.10 ⁻³	Cfres1
	Valeur par défaut	0,0675.10 ⁻³	Cfres3
Extracteur mécanique sur conduit de ventilation naturelle	Non concerné	Non concerné	Cfres4

Tableau 26: Classes de Cfres pour la ventilation mécanique

Par convention, si les conduits sont rigides et tous équipés d'accessoires à joints de classe C, le réseau peut-être pris en classe A.

9.2.2.1.4 Ventilation naturelle par conduits

Ce système ne s'applique qu'au secteur résidentiel.

Le calcul par défaut est mené comme suit :

La représentation de chaque conduit est fondée sur le calcul du débit dans le conduit, q_{vcond} , obtenu par résolution sur la base des pertes de charge du circuit :

- La perte de charge des bouches d'extraction, Δp_{bouche} , intégrant les fuites.
- La perte de charge des conduits, Δp_{cond} .
- La perte de charge et l'effet moteur éventuel statique des dispositifs de couronnement, Δp_{extr} .
- Les pertes de charge aux confluences, Δp_{coude} , représentées par un coude de coefficient de perte de charge, χ_{coude} , (adimensionnel) égal à 1,15.
- La hauteur de tirage thermique, h_{mot} , différence d'altitude entre le point de référence pour le calcul de p_{ib} , et le débouché de conduit.

On considère que la température dans les conduits est toujours égale à la température d'air intérieur.

On définit pour chaque conduit un conduit équivalent de la façon suivante :

- Pour un conduit shunt, le conduit équivalent a la section du conduit réel, A_{cond} , le périmètre du conduit réel, Per_{cond} , une hauteur, $h_{\text{cond}_{\text{eq}}}$, égale à la différence d'altitude entre le débouché et la moyenne des hauteurs entre la bouche d'extraction la plus haute et la bouche d'extraction la plus basse, plus la hauteur conventionnelle de la bouche par rapport au sol.

La bouche d'extraction équivalente a pour module, $M_{\text{bouche}_{\text{eq}}}$, la somme des modules des bouches raccordées au conduit. Si la bouche est à deux caractéristiques, on applique une caractéristique moyenne pondérée par les temps d'ouverture à l'identique du **Tableau 22**. La valeur par défaut est prise égale à 1,15 fois la valeur déclarée. Si la bouche est certifiée, la somme des modules est prise égale à la valeur déclarée. Les fuites du conduit, M_{fuites} , sont ajoutées au module de la bouche $M_{\text{bouches}_{\text{eq}}}$.

- Pour les conduits unitaires, on travaille conduit par conduit en fonction de leurs caractéristiques réelles.

Soit A_{cond} l'aire du conduit et per_{cond} son périmètre.

$$Deq = 4 \cdot A_{\text{cond}} / Per_{\text{cond}} \quad \text{Eq 47}$$

$$v_{\text{cond}} = 4 \cdot qv_{\text{cond}} / (3600 \cdot \rho_a \cdot \pi \cdot Deq^2) \quad \text{Eq 48}$$

$$\Delta p_{\text{bouche}} = 20 \cdot qv_{\text{cond}} \cdot \text{abs}(qv_{\text{cond}}) / (M_{\text{bouche}_{\text{eq}}} + M_{\text{fuites}})^2 \quad \text{Eq 49}$$

$$M_{\text{fuites}} = 3600 \cdot (20^{0,65}) \cdot h_{\text{cond}_{\text{eq}}} \cdot Per_{\text{cond}} \cdot K_{\text{res}_{\text{cond}}} \quad \text{Eq 50}$$

La valeur de K_{res} est donnée suivant les valeurs Tableau 26

$$\Delta p_{\text{cond}} = 0,5 \cdot \lambda (h_{\text{cond}_{\text{eq}}} / Deq) \cdot \rho_a \cdot v_{\text{cond}} \cdot \text{abs}(v_{\text{cond}}) \text{ avec } \lambda = 0,05 \quad \text{Eq 51}$$

$$\Delta p_{\text{coude}} = 0,5 \cdot \chi_{\text{coude}} \cdot \rho_a \cdot v_{\text{cond}} \cdot \text{abs}(v_{\text{cond}}) \quad \text{Eq 52}$$

Δp_{extr} est calculé comme suit :

Les extracteurs statiques sont caractérisés par leur courbe pour un vent de référence v_{ref} :

- vitesse conduit,
- leur coefficient de perte de charge.

Le principe en est de construire la courbe en trois morceaux consécutifs :

1. du débit nul au débit maximum obtenu à partir des résultats d'essais sous l'effet du vent,
2. par interpolation entre 1 et 3,
3. par la courbe débit-pression sans effet de vent.

Ceci est justifié par le fait que pour des ratios vitesse conduit / vitesse du vent élevés, l'effet du vent devient négligeable.

La partie 2 de la courbe est calculée de façon que l'ensemble de la courbe soit monotone (dans le cas contraire, on risque d'obtenir des instabilités de résolution).

La valeur de v_{ref} et celle du $C_{qvref,Uref}$ correspondante sont obtenues par interpolation linéaire à partir des valeurs mesurées suivant la procédure suivante :

- 1) Dans la plage de définition de $C_{extr,ve,ref}$, on calcule $\Delta p_{extrC,vcond}$ ($v_{cond} \cdot v_{e,ref} / v_e$)

correspondant à chaque point d'essai mesuré :

$$\Delta p_{extrC,vcond} = 0,5 \cdot \rho_a \cdot (v_e \cdot C_{extr,ve,ref} (v_{cond} \cdot v_{e,ref} / v_e)) \quad \text{Eq 53}$$

dans la plage de vitesses en conduit ainsi définie, on prend $\Delta p_{extr,vcond} = \Delta p_{extrC,vcond}$

- 2) on calcule $\Delta p_{stat,vcond} = 0,5 \cdot \rho_a \cdot \zeta \cdot v_{cond}^2$ pour 2 fois la valeur maximale de ($v_{cond} \cdot v_{e,ref} / v_e$) Eq 54
- 3) si $\Delta p_{stat,vcond}$ ainsi obtenu est supérieur à $\Delta p_{extrC,vcond}$ pour la valeur maximale de ($v_{cond} \cdot v_{e,ref} / v_e$), on calcule Δp_{extr} par interpolation linéaire entre les deux points
- 4) sinon, on reprend à l'étape 2, en prenant 3 fois, 4 fois... la valeur maximale de ($v_{cond} \cdot v_{e,ref} / v_e$)
- 5) au-dessus de la valeur retenue, on prend $\Delta p_{extr,vcond} = \Delta p_{stat,vcond}$
- 6) pour v_{cond} négatif, on prend la valeur de $\Delta p_{extr,vcond}$ correspondant à v_{cond} nul

$$\Delta p_{mot} = h_{mot} \cdot \rho_a \cdot g \cdot (T_i - T_e) / T_{ref} + p_{ib} \quad \text{Eq 55}$$

Pour les zones dont les niveaux sont étanches entre eux, le calcul s'effectue conventionnellement à mi-hauteur de la zone. En considérant une différence d'altitude de 2 m entre la bouche et le sol, on peut retenir par défaut $h_{mot} = h_{cond} \text{ eq } + 2$.

Pour les zones dont les niveaux ne sont pas étanches entre eux, on peut considérer que la sortie de toiture est située à 2 m au-dessus du plancher haut de la zone et retenir la valeur par défaut $h_{mot} = H_{zone} + 2$.

$q_{vcond,extr}$ (p_{ib}) est calculé en résolvant :

$$\Delta p_{mot} = \Delta p_{extr} + \Delta p_{cond} + \Delta p_{coude} + \Delta p_{bouche} \quad \text{Eq 56}$$

Le débit massique algébrique en kg/s : $Q_{mcond} = q_{vcond,extr} \cdot \rho_a / 3600$

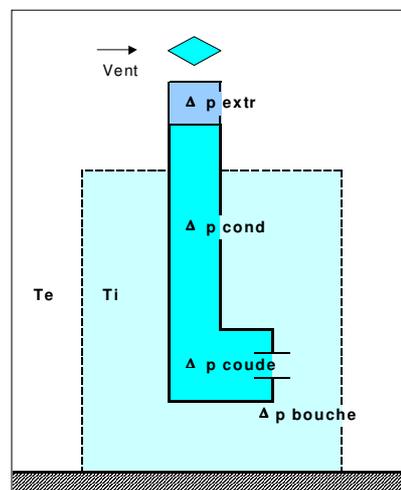


Figure 7 : Schéma de principe pour le calcul de Δp_{mot}

Le calcul par défaut peut être remplacé en tout ou partie par des résultats ou des méthodes issues de certification ou d'Avis Technique.

9.2.2.1.5 Ventilation hybride

Ce système ne s'applique qu'au secteur résidentiel.

On considère que le système bascule d'un mode mécanique à un mode naturel et inversement. On décrit donc les deux systèmes correspondant à ces modes selon les paragraphes précédents.

Le passage d'un mode à l'autre s'effectue de la façon suivante :

Le grand débit mécanique Q_{pointe} correspondant aux activités de cuisine est utilisé de la façon suivante :

	Chybcuis	Horaires
Pas de grand débit	1	Non appliqué
individuel	3	De 11h à 12 h et de 18h à 19 h
collectif	2	De 11 h à 13h et de 18 h à 20 h

Tableau 27 : Horaires d'utilisation du grand débit cuisine en ventilation hybride

Le débit de base est utilisé en définissant une valeur seuil de Vent extérieur V_{hyb} et de température T_{hyb} . On passe en mode mécanique si $T_e > T_{\text{hyb}}$ et $V_e < V_{\text{hyb}}$ (conditions de tirage insuffisante).

On applique donc la procédure suivante :

Le débit à reprendre, s'appliquant en occupation et en inoccupation, est calculé par

$$Q_{\text{varep}_{\text{spec}}} = (Q_{\text{pointe}} \cdot D_{\text{ugdh}} + Q_{\text{base}} \cdot (168 - D_{\text{ugdh}})) / 168 \quad \text{Eq 57}$$

Avec :

	Durée d'utilisation en grand débit (D_{ugdh}) (en h/semaine)
Collectif	28
Individuel	14

Tableau 28 : Durées d'utilisation par défaut (D_{ugdh}) en grand débit en secteur résidentiel et en ventilation hybride

Des valeurs différentes de durées d'utilisation peuvent être issues de procédures de certification ou d'Avis Techniques

On applique la valeur obtenue :

- 1) Aux heures indiquées par le Tableau 28
- 2) Aux heures respectant $T_e > T_{\text{hyb}}$ et $V_e < V_{\text{hyb}}$

9.2.2.1.6 Aération par ouverture des fenêtres pour le secteur non résidentiel

L'aération par ouverture des fenêtres (ventilation de base) est traitée, du point de vue des débits, comme un système de ventilation double flux dont le débit (débit entrant égal au débit sortant) est le débit d'hygiène multiplié par un coefficient Cfenb égal à 1,7. Les débits correspondant sont calculés comme suit :

$$Q_{\text{vfensou}_{\text{occ}}} = C_{\text{fenb}} (Q_{\text{vanomsou}_{\text{cocc}}} + Q_{\text{vanomrep}_{\text{occ}}}) \quad \text{Eq 58}$$

$$Q_{\text{vfensou}_{\text{inocc}}} = C_{\text{fenb}} (Q_{\text{vanomsou}_{\text{inocc}}} + Q_{\text{vanomrep}_{\text{inocc}}}) \quad \text{Eq 59}$$

$$Q_{\text{vfenrep}_{\text{occ}}} = Q_{\text{vfensou}_{\text{occ}}} \quad \text{Eq 60}$$

$$Q_{\text{vfenrep}_{\text{inocc}}} = Q_{\text{vfensou}_{\text{inocc}}} \quad \text{Eq 61}$$

On fait ici l'hypothèse que la réglementation d'hygiène impose par local soit des débits à fournir, soit des débits à extraire. Au cas (exceptionnel) où cela ne serait pas le cas, il conviendrait pour chaque local de prendre soit en extraction soit en fourniture le plus grand des débits (en valeur absolue) conforme à la réglementation d'hygiène, et de mettre l'autre à 0 avant de cumuler les débits pour le groupe.

Le système ainsi défini n'est relié à aucun réseau.

9.2.2.2 Calcul des débits échangés au travers de l'enveloppe de la zone et entre groupes

9.2.2.2.1 Caractérisation au niveau de la zone

- La surface de ses parois déperditives, $A_{\text{Tbat-zone}}$ en m^2 , dont les planchers bas sont exclus.
- La perméabilité à l'air des parois extérieures, $Q_{4\text{Pa}_{\text{surf}}}$ en $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ sous 4 Pa, des surfaces déperditives excepté les planchers bas.

On appelle perméabilité à l'air de l'enveloppe tout défaut d'étanchéité non lié à un système de ventilation spécifique.

Elle est représentée par le débit de fuite, en $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ d'enveloppe sous une dépression de 4 Pa. La surface de l'enveloppe considérée est la surface des parois déperditives, $A_{\text{Tbat-zone}}$ définie ci avant dont on exclut les planchers bas.

La valeur par défaut de la perméabilité de l'enveloppe (en $\text{m}^3/\text{h}.\text{m}^2$ sous 4 Pa) est calculée en multipliant la surface d'enveloppe par la valeur de perméabilité donnée dans le Tableau 29.

Usage	Perméabilité par défaut (en $\text{m}^3/(\text{h}.\text{m}^2)$)
Logement, bureaux, hôtels, restauration, enseignement, établissements sanitaires	1,7
Autres usages	3,0

Tableau 29 : Valeurs par défaut de la perméabilité des parois extérieures

- la hauteur de la zone h_z en m , différence d'altitude entre le point le plus haut et le point le plus bas de la partie chauffée de la zone.
- les aspects de perméabilité horizontale et verticale.

La perméabilité horizontale traduit la perméabilité entre façades.

La perméabilité verticale traduit la perméabilité entre niveaux.

Les zones de logements collectifs sont considérées conventionnellement comme non perméables verticalement. Leur perméabilité horizontale est celle prise en compte dans la méthode Th-E.

Conventionnellement en fonction de l'usage de la zone on retiendra les indices de perméabilité interne récapitulés dans le Tableau 30 pour les autres cas.

Types de locaux	Perméable horizontalement	Perméable verticalement
Établissements sanitaires avec hébergement, hôtellerie et autres hébergements	non	non
autres locaux	oui	oui

Tableau 30 : Valeurs conventionnelles des indices de perméabilité interne

9.2.2.2.2 Calcul des débits d'air à travers l'enveloppe

Ce paragraphe permet :

- D'une part le calcul des transferts d'air aux frontières de la zone dans son ensemble pour ce qui est de l'effet du tirage thermique et du vent sur l'enveloppe, entrées d'air comprises,
- Et d'autre part leur répartition dans les différents groupes.

Il représente également les transferts d'air entre groupes.

Les débits massiques d'air sont exprimés en air sec [kg/s] que ce soit pour les calculs énergétiques, l'enthalpie s'exprimant en kJ/kg d'air sec, ou pour les bilans aérauliques, le bilan d'humidité se faisant dans le § 10.4. Les débits d'air entrant dans la zone (parois, modules d'entrée d'air, soufflé,...) sont exprimés positivement ; les débits sortants (parois, modules d'entrée d'air, repris, extrait) sont en valeur négative.

9.2.2.2.1 Organisation générale des calculs

Les calculs sont menés sur une base horaire en deux phases :

- Une première phase purement aéraulique permet de calculer les débits entrants (comptés positivement) et extraits (comptés négativement) pour chaque composant pris en compte (défauts d'étanchéité, entrées d'air). Le calcul est mené avec comme inconnue p_{ib} , pression intérieure au niveau du plancher de la zone étudiée (en prenant par convention une pression extérieure nulle au même niveau).
- Une seconde phase permet de déterminer les débits entre groupes.

- Les apports internes récupérables et les consommations de ventilateurs sont traités dans la partie systèmes.
- Les débits spécifiques sont déterminés au niveau des systèmes locaux et de la centrale de traitement d'air.

9.2.2.2.2 Calcul des débits au travers de l'enveloppe de la zone en fonction de p_{ib}

9.2.2.2.2.1 Principe de calcul

En fonction des caractéristiques de la perméabilité de l'enveloppe de la zone, perméable ou non horizontalement et verticalement, on détermine le nombre de composants, leur orientation par rapport au vent et leur hauteur.

Par application du modèle implicite de la prEN 13465 avec les hypothèses décrites dans ce qui suit, on détermine la pression à l'extérieur de chaque composant afin de calculer les débits exfiltrés au travers des défauts d'étanchéités ($q_{m_{def}}$) et des entrées d'air ($q_{m_{ea}}$) de chaque façade ou partie de façade.

Ces débits sont alors additionnés sur l'ensemble de la zone pour obtenir les débits massiques totaux traversant l'enveloppe par les défauts d'étanchéité et par les entrées d'air.

9.2.2.2.2.2 Détermination du nombre de composants et de leur position

- Les défauts d'étanchéité

Les défauts d'étanchéité sont concentrés et répartis sur les façades de la zone de la façon suivante :

Zones perméables horizontalement

Répartition de la perméabilité à l'air	Façade au vent	Façades latérales	Façade sous le vent
En haut	1/6	1/6	1/6
En bas	1/6	1/6	1/6

Tableau 31 : Répartition des défauts d'étanchéité pour les zones perméables horizontalement

Zones non perméables horizontalement

Répartition de la perméabilité à l'air	Part de la façade dite « au vent »	Part de la façade dite « sous le vent »
En haut	1/4	1/4
En bas	1/4	1/4

Tableau 32 : Répartition des défauts d'étanchéité pour les zones non perméables horizontalement

La hauteur de tirage thermique, h_{comp} , (différence de hauteur entre les défauts d'étanchéité localisés en partie haute et en partie basse) dépend de la hauteur des locaux de la zone et de son degré de cloisonnement entre niveaux. Elle est déterminée de la façon suivante :

Pour les perméabilités basses : $h_{comp\ bas} = 0$

Pour les perméabilités hautes :

- Zone non perméable verticalement $h_{comp\ haut} = 1,5$
- Zone perméable verticalement $h_{comp\ haut} = \min(h_z ; 15)/2$

- Les entrées d'air

La somme des entrées d'air de la zone est répartie sur les façades de la zone en fonction de sa perméabilité verticale et de sa perméabilité horizontale en appliquant la méthode suivante :

Cas 1 : Pour les cas où la zone est non perméable verticalement, les entrées d'air sont situées en partie haute de chaque niveau. La somme des modules est donc répartie comme suit :

Zones perméables horizontalement

Répartition des entrées d'air	Façade au vent	Façades latérales	Façade sous le vent
En haut	1/3	1/3	1/3

Tableau 33 : Répartition des entrées d'air pour les zones perméables horizontalement et non perméable verticalement

Zones non perméables horizontalement

Répartition des entrées d'air	Part de la façade dite « au vent »	Part de la façade dite « sous le vent »
En haut	1/2	1/2

Tableau 34 : Répartition des entrées d'air pour les zones non perméables horizontalement et non perméables verticalement

Cas 2 : Pour les autres cas, la somme des modules des entrées d'air est répartie comme suit :

Répartition des entrées d'air	Façade au vent	Façades latérales	Façade sous le vent
En haut	1/6	1/6	1/6
En bas	1/6	1/6	1/6

Tableau 35: Répartition des entrées d'air pour les zones perméables verticalement

Les hauteurs des entrées d'air pour l'effet du tirage thermique sont calculées comme pour les défauts d'étanchéité.

9.2.2.2.2.3 Calcul de la pression sur les façades pour un composant

On retient la vitesse du vent, donnée par les fichiers météorologiques.

En fonction de la perméabilité de la zone on détermine les coefficients de pression des composants. A cet effet, en fonction de l'usage de la zone on s'appuie sur le Tableau 30 pour déterminer conventionnellement ses niveaux de perméabilité verticale et horizontale.

On obtient alors :

Pour les zones perméables horizontalement, on modélise la zone par trois façades auxquelles on affecte à chacune les coefficients de pression suivants :

Hauteur du bâtiment	C_p façade au vent	C_p façades latérales	C_p façade sous le vent
$h_{bat} < 15$ m	+ 0,25	-0.5	- 0,5
$15 < h_{bat} < 50$ m	+ 0,45	-0.5	- 0,5
$h_{bat} > 50$ m	+ 0,60	-0.5	- 0,5

Tableau 36: C_p pour les zones perméables horizontalement

Pour les zones non perméables horizontalement, on retient quelle que soit la hauteur du bâtiment les valeurs suivantes :

C_p façade dite « au vent »	C_p façade dite « sous le vent »
+ 0,05	- 0,05

Tableau 37: Cp pour les zones non perméables horizontalement

On calcule alors la pression extérieure au niveau du composant, en considérant par convention que la pression extérieure au niveau du plancher de la zone est nulle. La pression équivalente due aux effets du vent et du tirage thermique sur un composant de façade situé à une hauteur h_{comp} par rapport au niveau du plancher de la zone est égale à :

$$P_{ext,comp} = \rho_a \cdot (0,5 \cdot C_p \cdot (0,9 v_e)^2 - h_{comp} \cdot ((\theta_i - \theta_{ei}) \cdot g / \theta_{e,ref})) \quad \text{Eq 62}$$

Avec :

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\rho_a = 1,22 \text{ kg/m}^3$$

$$\theta_{e,ref} = 283 \text{ K}$$

L'écart de pression équivalent extérieur-intérieur pour un composant donné est ainsi égal à :

$$\Delta p = P_{ext,comp} - p_{ib} \quad \text{Eq 63}$$

9.2.2.2.2.4 Calcul des débits au travers des défauts d'étanchéité

La perméabilité à l'air de l'enveloppe est répartie sur chaque composant suivant le § 9.2.2.2.2.2 en fonction des perméabilités verticale et horizontale de la zone.

Le débit $q_{v,def}$ traversant un défaut d'étanchéité de perméabilité $q_{v,4PaZ}$ (positif si débit entrant) est alors calculé de la façon suivante :

$$\begin{aligned} \text{Si } \Delta p < 0 \quad q_{v,def} &= - q_{v,4PaZ} (-\Delta p/4)^{2/3} \\ q_{m,def} &= q_{v,def} \cdot \rho_i / 3600 \\ \text{Si } \Delta p \geq 0 \quad q_{v,def} &= q_{v,4PaZ} (\Delta p/4)^{2/3} \\ q_{m,def} &= q_{v,def} \cdot \rho_e / 3600 \end{aligned} \quad \text{Eq 64}$$

Avec :

$q_{v,4Pa}$ perméabilité sous 4 Pa (m^3/h sous 4 Pa) d'une façade de la zone

Δp (Pa) différence de pression entre l'extérieur et l'intérieur ($p_e - p_i$)

ρ_i masse volumique de l'air intérieur à θ_i et w_i

ρ_e masse volumique de l'air extérieur à θ_{ei} et w_{ei}

9.2.2.2.2.5 Calcul des débits au travers des entrées d'air

La somme sur les groupes des modules des entrées d'air, Sm_{ea} , d'une zone est la somme des entrées d'air définies au niveau de chaque groupe ($Meagr$). $Smea$ est ensuite répartie sur les façades de la zone en fonction de sa perméabilité verticale et de sa perméabilité horizontale.

Les valeurs obtenues, notée M_{ea} , sont les sommes des modules des entrées d'air d'un composant d'une zone, c'est-à-dire le débit en m^3/h pour une différence de pression Δp de 20 Pa.

Les débits sont alors calculés suivant que les entrées d'air sont auto réglables ou non.

La courbe caractéristique des entrées d'air auto réglables définit une plage de débits pour une plage de pression. On retient une courbe située dans la partie supérieure de la plage de débit qui se formule de la manière suivante :

$$\begin{aligned}
 \text{Pour } \Delta p \leq 0 \text{ Pa :} & \quad qv_{ea} = -1,1.M_{ea}.(-\Delta p/20)^{0,5} \\
 & \quad qm_{ea} = qv_{ea} . \rho_i^{0,5} . \rho_a^{0,5}/3600 \\
 \text{Pour } 0 \text{ Pa} < \Delta p \leq 20 \text{ Pa :} & \quad qv_{ea} = 1,1.M_{ea}.(\Delta p/20)^{0,5} \\
 & \quad qm_{ea} = qv_{ea} . \rho_e^{0,5} . \rho_a^{0,5}/3600 \\
 \text{Pour } \Delta p > 20 \text{ Pa :} & \quad qv_{ea} = 0,55.M_{ea}.\Delta p/80 + 77.M_{ea}/80 \\
 & \quad qm_{ea} = qv_{ea} . \rho_e^{0,5} . \rho_a^{0,5}/3600
 \end{aligned}
 \tag{Eq 65}$$

Pour les entrées d'air fixes, on applique les formules suivantes :

$$\begin{aligned}
 \text{Pour } \Delta p \leq 0 \text{ Pa :} & \quad qv_{ea} = -1,1.M_{ea}.(-\Delta p/20)^{0,5} \\
 & \quad qm_{ea} = qv_{ea} . \rho_i^{0,5} . \rho_a^{0,5}/3600 \\
 \text{Pour } \Delta p > 0 \text{ Pa :} & \quad qv_{ea} = 1,1.M_{ea}.(\Delta p/20)^{0,5} \\
 & \quad qm_{ea} = qv_{ea} . \rho_e^{0,5} . \rho_a^{0,5}/3600
 \end{aligned}
 \tag{Eq 66}$$

9.2.2.2.2.6 Débits sur l'ensemble de la zone

Les débits au travers de chaque défaut d'étanchéité de la zone sont additionnés pour obtenir $Q_{m\text{def}}(p_{ib})$, en kg/s, débit massique total traversant pour une perméabilité qv_{4PaZ} .

$$Q_{m\text{def}}(p_{ib}) = \sum_{\text{composants}} qm_{\text{def}}$$

Les débits au travers de chaque entrée d'air de la zone sont additionnés pour obtenir $Q_{m\text{ea}}(p_{ib})$, débit massique total traversant les entrées d'air en kg/s :

$$Q_{m\text{ea}}(p_{ib}) = \sum_{\text{composants}} qm_{\text{ea}}$$

9.2.2.2.2.3 Calcul de p_{ib}

On écrit le système d'équations caractérisant les débits (en valeur algébrique) pour chaque composant. p_{ib} correspond à la valeur annulant la somme de ces débits.

$$Q_{m\text{def}}(p_{ib}) + Q_{m\text{ea}}(p_{ib}) + Q_{maT_{\text{sou}}} + Q_{maT_{\text{rep}}} + Q_{maT_{\text{cond}}} = 0 \tag{Eq 67}$$

Avec :

$Q_{maT_{\text{rep}}}$: débit massique total repris (kg/s) au niveau de la zone calculé au § 12,

$Q_{maT_{\text{sou}}}$: débit massique total soufflé (kg/s) au niveau de la zone calculé au § 12,

$Q_{m\text{def}}(p_{ib})$: débit massique total traversant pour une perméabilité qv_{4PaZ} (kg/s),

$Q_{m\text{ea}}(p_{ib})$: débit massique total traversant les entrées d'air (kg/s),

$Q_{maT_{\text{cond}}}$: débit massique total du aux conduits à tirage naturel (kg/s).

9.2.2.2.3 Répartition de l'air entrant ou sortant par les parois extérieures pour chaque groupe

Les débits d'air entrant ou sortant au niveau de l'enveloppe de la zone (perméabilité et entrées d'air) sont calculés à partir de la surface des parois déperditives (excepté les planchers bas du bâtiment) répartie dans chaque groupe au prorata des surfaces utiles.

On calcule d'abord les débits entrants et les débits sortants pour la zone :

$$\begin{aligned}
 q_{m_{extrdef}} &= \min(0, q_{m_{def}}) && \text{débit sortant par les défauts d'étanchéité} \\
 &&& \text{pour une façade} \\
 q_{m_{entrdef}} &= \max(0, q_{m_{def}}) && \text{débit entrant par les défauts d'étanchéité} \\
 &&& \text{pour une façade} \\
 q_{m_{extrea}} &= \min(0, q_{m_{ea}}) && \text{débit sortant par les entrées d'air pour une} \\
 &&& \text{façade} \\
 q_{m_{entrea}} &= \max(0, q_{m_{ea}}) && \text{débit entrant par les entrées d'air pour une} \\
 &&& \text{façade} \\
 Q_{m_{defextr}} &= \sum q_{m_{extrdef}} && \text{débit sortant par les défauts d'étanchéité} \\
 &&& \text{pour l'ensemble} \\
 Q_{m_{defentr}} &= \sum q_{m_{entrdef}} && \text{débit entrant par les défauts d'étanchéité} \\
 &&& \text{pour l'ensemble} \\
 Q_{m_{eaextr}} &= \sum q_{m_{extrea}} && \text{débit sortant par les entrées d'air pour} \\
 &&& \text{l'ensemble} \\
 Q_{m_{eaentr}} &= \sum q_{m_{entrea}} && \text{débit entrant par les entrées d'air pour} \\
 &&& \text{l'ensemble}
 \end{aligned}
 \tag{Eq 68}$$

Ensuite la répartition entre groupes est effectuée

$$\begin{aligned}
 Q_{m_{defextr}_{gr}} &= Q_{m_{defextr}} \cdot p_{A_{gr}} \\
 Q_{m_{defentr}_{gr}} &= Q_{m_{defentr}} \cdot p_{A_{gr}} \\
 Q_{m_{eaextr}_{gr}} &= Q_{m_{eaextr}} \cdot Mea_{gr} / S_{Mea} \\
 Q_{m_{eaentr}_{gr}} &= Q_{m_{eaentr}} \cdot Mea_{gr} / S_{Mea}
 \end{aligned}
 \tag{Eq 69}$$

Avec :

S_{mea} somme des modules des entrées d'air de la zone

9.2.2.2.4 Calcul des débits entre groupes

Le bilan des débits d'air est effectué tout d'abord pour les groupes d'entrée d'air pour obtenir le débit transitant des groupes d'entrée vers le groupe d'extraction :

$$Q_{matrans}_{(gr)} = \max(0 ; (Q_{masou}_{(gr)} + Q_{marep}_{(gr)} + Q_{m_{defextr}_{(gr)}} + Q_{m_{defentr}_{(gr)}} + Q_{m_{eaextr}_{(gr)}} + Q_{m_{eaentr}_{(gr)}}))
 \tag{Eq 70}$$

9.2.3 SITUATION 2 : METHODE POUR LE CALCUL DU BATIMENT INITIAL ET POUR LE CALCUL DU PROJET SI LE SYSTEME DE VENTILATION DU PROJET EST INCHANGE PAR RAPPORT AU SYSTEME DE VENTILATION DU BATIMENT INITIAL

9.2.3.1 Introduction

La ventilation dans la méthode de calcul est prise en compte de manière simplifiée pour le calcul du bâtiment initial (avant travaux) et aussi pour le calcul du projet dans le cas où le système de ventilation est inchangé lors des travaux.

La simplification consiste principalement à traiter l'ensemble des systèmes comme un système de ventilation mécanique et à considérer des valeurs conventionnelles pour les données qui caractérisent le système de ventilation d'une part et la perméabilité de l'enveloppe d'autre part.

La méthode est basée sur les équations du § 9.2.2 en adoptant des valeurs conventionnelles.

9.2.3.2 Résidentiel

9.2.3.2.1 Calcul des débits spécifiques

Quelque soit le système de ventilation, on le traite comme un système de ventilation mécanique :

$$Q_{vasou_{occ}} = Crdb_{conv} \cdot Cdep_{conv} \cdot Cfres_{conv} \cdot Q_{vasou_{specocc/m^2_{conv}}} \cdot A \quad \text{Eq 71}$$

$$Q_{varep_{occ}} = Crdb_{conv} \cdot Cdep_{conv} \cdot Cfres_{conv} \cdot Q_{varep_{specocc/m^2_{conv}}} \cdot A \quad \text{Eq 72}$$

Avec :

$Crdb_{conv}$: valeur conventionnelle du coefficient de régulation des débits (cf Tableau 38)

$Cdep_{conv}$: valeur conventionnelle du coefficient de dépassement (cf Tableau 38)

$Cfres_{conv}$: valeur conventionnelle du coefficient de fuite des réseaux (cf Tableau 38)

$Q_{vasou_{specocc/m^2_{conv}}}$: valeur conventionnelle du débit spécifique moyen soufflé par unité de surface habitable exprimé en $m^3/h/m^2$ (cf Tableau 38)

$Q_{varep_{specocc/m^2_{conv}}}$: valeur conventionnelle du débit spécifique moyen à reprendre par unité de surface habitable exprimé $m^3/h/m^2$ (cf Tableau 38)

A : surface habitable de la partie de la zone desservie par le système de ventilation en m^2

9.2.3.2.2 Calcul des débits échangés au travers de l'enveloppe de la zone et entre groupes

On adopte la méthode décrite dans le §9.2.2 avec :

$$S_{mea} = S_{mea_{conv}} \cdot A_z$$

$$q_{V_{4Pa}} = q_{V_{4Pa_{conv}/m^2}} \cdot A_{Tbat_z}$$

$S_{mea_{conv}}$: valeur conventionnelle de la somme des modules d'entrée d'air exprimée en $m^3/h/m^2$ de surface habitable sous 20 Pa (cf Tableau 38),

$q_{V_{4Pa_{conv}/m^2}}$: valeur conventionnelle de la perméabilité sous 4 Pa (m^3/h sous 4 Pa) de la zone par unité de surface déperditive de la zone dont les planchers bas sont exclus,

A_z : surface habitable de la zone en m^2 ,

A_{Tbat_z} : surface des parois déperditives de la zone dont les planchers bas sont exclus.

9.2.3.2.3 Autres données conventionnelles

Les autres données conventionnelles liées au système de ventilation concernent :

- l'efficacité de l'échangeur dans le cas d'un système de ventilation double flux :

$$EFF_{\text{échangeur}} = EFF_{\text{échangeur_conv}}$$

- la puissance des ventilateurs exprimée en W

$$P_{\text{ventilateur}} = P_{\text{ventilateur_conv}} / m^2 \cdot A_h$$

$EFF_{\text{échangeur_conv}}$ et $P_{\text{ventilateur_conv}} / m^2$ sont les valeurs conventionnelles données au tableau 38

9.2.3.2.4 Récapitulatif des valeurs conventionnelles pour le résidentiel

	Valeurs conventionnelles							
	$Q_{\text{varep}_{\text{sp}}}$ $\text{ecoc}/\text{m}^2_{\text{co}}$ nv $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$	$Q_{\text{vasou}_{\text{specoccc}}}$ $/\text{m}^2_{\text{conv}}$ $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$	Cr_{dbconv} [-]	C_{depconv} [-]	C_{fresconv}	S_{meaconv} $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$	$EFF_{\text{échangeur_c}}$ onv	$P_{\text{ventilateur_conv}}$ m^2 W/m^2
Ventilation par ouverture de fenêtres	1,2	1,2	1	1	1	0	-	0
Système de ventilation par entrées d'air hautes et basses	1,2	0	1,3	1,25	1,1	4	-	0
Ventilation mécanique auto réglable « avant 1982 »	1,2	0	1,15	1,25	1,1	2	-	0,5
Ventilation mécanique auto réglable « après 1982 »	1,2	0	1	1,25	1,1	2	-	0,5
Ventilation mécanique à extraction hygroréglable	1,2	0	0,75	1,25	1,1	2	-	0,5
Ventilation mécanique gaz hygroréglable	1,2	0	0,85	1,25	1,1	2	-	0,5
Ventilation mécanique à extraction et entrées d'air hygroréglables	1,2	0	0,65	1,25	1,1	1,5	-	0,5
Ventilation mécanique double flux avec échangeur(*)	1,2	1,2	1	1,25	1,1	0	0,6	1
Ventilation mécanique double flux sans échangeur	1,2	1,2	1	1,25	1,1	0	-	1
Ventilation naturelle par conduit	1,2	0	1,3	1,25	1,1	4(**)	-	0
Ventilation hybride	1,2	0	1,25	1,25	1,1	3(**)	-	0,25

Extracteur mécanique sur conduit non modifié de ventilation naturelle existante	1,2	0	1,15	1,25	1,3	4	0,5
---	-----	---	------	------	-----	---	-----

Tableau 38 : Valeurs conventionnelles des systèmes de ventilation – secteur résidentiel

(*) On considère conventionnellement que le mode de gestion de l'échangeur est un arrêt manuel ou automatique. Hors période de chauffe, on néglige la consommation des auxiliaires de l'échangeur.

(**) Si des entrées d'air hygroréglable sont présentes, diminuer la valeur de $S_{mea_{conv}}$ de $1 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$.

$Q_{V_{4Pa_{conv}/m^2}}$ en $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ sous 4 Pa Valeurs conventionnelles		
Fenêtres sans joints et cheminée sans trappe de fermeture	Fenêtres sans joints ou cheminée sans trappe de fermeture	autres cas
2,5	2,0	1,7

Tableau 39 : Valeurs conventionnelles de la perméabilité à l'air sous 4Pa – secteur résidentiel

9.2.3.3 Non résidentiel

9.2.3.3.1 Calcul des débits spécifiques

Quelque soit le système de ventilation, on le traite comme un système de ventilation mécanique :

$$Q_{vasou_{occ}} = Crdb_{conv} \cdot Cdep_{conv} \cdot Cfres_{conv} \cdot Q_{vasou_{specocc/m^2_{conv}}} \cdot A \quad \text{Eq 73}$$

$$Q_{vasou_{inocc}} = Crdb_{conv} \cdot Cdep_{conv} \cdot Cfres_{conv} \cdot Q_{vasou_{specinocc/m^2_{conv}}} \cdot A \quad \text{Eq 74}$$

$$Q_{varep_{occ}} = Crdb_{conv} \cdot Cdep_{conv} \cdot Cfres_{conv} \cdot Q_{varep_{specocc/m^2_{conv}}} \cdot A \quad \text{Eq 75}$$

$$Q_{varep_{inocc}} = Crdb_{conv} \cdot Cdep_{conv} \cdot Cfres_{conv} \cdot Q_{varep_{specinocc/m^2_{conv}}} \cdot A \quad \text{Eq 76}$$

Avec :

$Crdb_{conv}$: valeur conventionnelle du coefficient de régulation de débit (cf Tableau 41)

$Cdep_{conv}$: valeur conventionnelle du coefficient de dépassement (cf Tableau 41)

$Cfres_{conv}$: valeur conventionnelle du coefficient de fuite des réseaux (cf Tableau 41)

$Q_{vasou_{specocc/m^2_{conv}}}$: valeur conventionnelle du débit spécifique moyen soufflé par unité de surface utile de la zone en occupation exprimé en $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$. Sa valeur est donnée dans le Tableau 41) en fonction du débit $Q_{va_{specocc_{conv}}}$ (débit spécifique conventionnel) dont la valeur est donnée dans Tableau 40.

$Q_{vasou_{specinocc/m^2_{conv}}}$: valeur conventionnelle du débit spécifique moyen soufflé par unité de surface utile de la zone en inoccupation exprimé en $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$. **$Q_{vasou_{specinocc/m^2_{conv}}} = 0$.**

$Q_{varep_specocc/m^2_conv}$: valeur conventionnelle du débit spécifique moyen à reprendre par unité de surface utile de la zone en occupation exprimé en $m^3/h/m^2$. Sa valeur est donnée dans le (cf Tableau 41) en fonction du débit $Q_{va_specocc_conv}$ (débit spécifique conventionnel) dont la valeur est donnée dans Tableau 40.

$Q_{varep_specinocc/m^2_conv}$: valeur conventionnelle du débit spécifique moyen à reprendre par unité de surface utile de la zone en inoccupation exprimé en $m^3/h/m^2$. **$Q_{varep_specinocc/m^2_conv} = 0$** .

A : surface utile de la partie de la zone desservie par le système de ventilation en m^2 .

9.2.3.3.2 Calcul des débits échangés au travers de l'enveloppe de la zone et entre groupes

On adopte la méthode décrite dans le § 9.2.2.2 avec :

$$S_{mea} = S_{mea_conv} \cdot A_z$$

$$q_{V4Pa} = q_{V4Pa_conv/m^2} \cdot A_{Tbat_z}$$

S_{mea_conv} : valeur conventionnelle de la somme des modules d'entrée d'air exprimée en $m^3/h/m^2$ de surface utile sous 20 Pa (cf Tableau 41),

q_{V4Pa_conv/m^2} : valeur conventionnelle de la perméabilité sous 4 Pa (m^3/h sous 4 Pa) de la zone par unité de surface déperditive de la zone dont les planchers bas sont exclus (cf Tableau 40),

A_z : surface utile de la zone en m^2 ,

A_{Tbat_z} : surface des parois déperditives de la zone dont les planchers bas sont exclus,

9.2.3.3.3 Autres données conventionnelles

les autres données conventionnelles liées au système de ventilation concernent :

- l'efficacité de l'échangeur dans le cas d'un système de ventilation double flux :

$$EFF_{\text{échangeur}} = EFF_{\text{échangeur_conv}}$$

- la puissance des ventilateurs locaux exprimée en W

$$P_{\text{ventilateur}} = P_{\text{ventilateur_conv}} / m^2 \cdot A$$

$EFF_{\text{échangeur_conv}}$ et $P_{\text{ventilateur_conv}} / m^2$ sont les valeurs conventionnelles données au Tableau 41 pour le secteur non résidentiel.

9.2.3.3.4 Récapitulatif des valeurs conventionnelles pour le non résidentiel

Types d'usage	Valeurs conventionnelles		
	$Q_{va_{specoc_conv}}$ m ³ /h/m ²	$q_{V_{4Pa_conv}}$ m ³ /h/m ² sous 4 Pa cas 1 : fenêtres étanches (à joints)	$q_{V_{4Pa_conv}}$ m ³ /h/m ² sous 4 Pa cas 2 : Autres cas
Établissements sanitaires avec hébergement	3	3	3,5
Hôtellerie et autres hébergements	3	3	3,5
Établissement sanitaire sans hébergement	3	3	3,5
Enseignement	5	3	3,5
Bureaux	3	3	3,5
Salles de spectacle, de conférence	8	3	3,5
Commerces	4	3	3,5
Restauration plusieurs repas par jour	8	3	3,5
Restauration un repas par jour	8	3	3,5
Établissements sportifs	3	3	3,5
Stockage	0,1	3	3,5
Industrie	0,1	3	3,5
Transport	4	3	3,5
Locaux non compris dans une autre catégorie	3	3	3,5

Tableau 40 : Données conventionnelles par type d'usage des débits spécifiques et de la perméabilité à l'air sous 4Pa – secteur non résidentiel

	Valeurs conventionnelles							
	$Q_{varep_{specoc}/m^2_{conv}}$ $m^3/h/m^2$	$Q_{vasou_{specoc}/m^2_{conv}}$ $m^3/h/m^2$	$Crdb_{conv}$ [-]	$Cdep_{conv}$ [-]	$Cfres_{conv}$	$Smea_{conv}$ $m^3/h/m^2$	$EFF_{échangeur_{conv}}$	$P_{ventilateur_{conv}/m^2}$ W/m^2
Ventilation par ouverture de fenêtres	= $Q_{vaspecoc_{conv}}$ Cf Tableau 40	= $Q_{vaspecoc_{conv}}$ Cf Tableau 40	1,3	1	1	0	-	0
Ventilation mécanique simple flux	= $Q_{vaspecoc_{conv}}$ Cf Tableau 40	0	1,05	1,25	1,1	= $Q_{vaspecoc_{conv}}$ Cf tableau 40	-	=0.5 . $Q_{vaspecoc_{conv}}$ Cf Tableau 40
Ventilation mécanique double flux avec échangeur*	= $Q_{vaspecoc_{conv}}$ Cf Tableau 40	= $Q_{vaspecoc_{conv}}$ Cf tableau 40	1,05	1,25	1,1	0	0,6	= $Q_{vaspecoc_{conv}}$ Cf Tableau 40
Ventilation mécanique double flux sans échangeur	= $Q_{vaspecoc_{conv}}$ Cf Tableau 40	= $Q_{vaspecoc_{conv}}$ Cf tableau 40	1,05	1,25	1,1	0	-	= $Q_{vaspecoc_{conv}}$ Cf Tableau 40

Tableau 41 : Données conventionnelles des systèmes de ventilation – secteur non résidentiel

* On considère conventionnellement que le mode de gestion de l'échangeur est un arrêt manuel ou automatique. Hors période de chauffe, on néglige la consommation des auxiliaires de l'échangeur.

9.2.4 CALCUL DE HV

Le coefficient de déperdition par renouvellement d'air H_v du bâtiment s'exprime en W/K.

Le coefficient de déperdition par renouvellement d'air noté H_{v_z} est calculé au niveau de chaque zone en considérant la valeur moyenne annuelle des déperditions par renouvellement d'air de la zone calculées à chaque heure.

$$H_v = \sum_{zones} H_{v_z} \quad \text{Eq 77}$$

$$H_{v_z} = \text{moyenne}_{annuelle}(H_{v_z}(t))$$

$$H_{v_z}(t) = 0,34 \cdot \sum_{groupes} \text{débit}_{entrant}(t) + \text{débit}_{entrées_air}(t) + \text{débit}_{é\ tan\ chéité}(t) \quad \text{Eq 78}$$

9.2.5 PRISE EN COMPTE DES DEPERDITIONS PAR RENOUVELLEMENT D'AIR

Les déperditions par renouvellement d'air (débits d'air spécifiques et débits d'air supplémentaires) sont prises en compte à chaque pas de temps par le modèle thermique décrit au § 13 à travers la conductance H_{gei} .

9.3 APPORTS SOLAIRES ET INTERNES

Les apports sont constitués :

- D'apports solaires, calculés au § 9.3.1
- D'apports internes détaillés au § 6.3

9.3.1 APPORTS SOLAIRES : CALCULS DES RAYONNEMENTS SOLAIRES ET DE GRANDE LONGUEUR D'ONDE INCIDENTS ET DES FLUX TRANSMIS

9.3.1.1 Rayonnement solaire global atteignant une paroi

Le rayonnement solaire global atteignant la paroi s'écrit alors :

$$I_{Sr} = FfDir.Drp + FfDiff.Dfp + Rrp \quad \text{Eq 79}$$

Avec :

FfDir : facteur d'affaiblissement du rayonnement direct,

FfDiff : facteur d'affaiblissement du rayonnement diffus,

Drp : composante directe du rayonnement solaire atteignant la surface,

Dfp : composante diffuse du rayonnement solaire atteignant la surface,

Rrp : composante réfléchie du rayonnement solaire atteignant la surface.

9.3.1.1.1 Rayonnement solaire sur une paroi nue

La donnée d'entrée étant le rayonnement direct normal, I_{Dn} , on calcule l'angle entre ce rayonnement et la normale à la paroi. On en déduit le rayonnement sur le plan étudié, Drp.

$$\begin{aligned} \delta &= 23,45.\sin[(0,986.(-15+365/12.\text{mois})-80).\pi/180].\pi/180 \\ \text{asol} &= \pi(h-12)/12 \\ \gamma &= \text{Max}(10^{-5}; \text{asin}(\cos\delta.\cos(\text{lat}).\cos(\text{asol}) + \sin\delta.\sin(\text{lat}))) \\ \psi &= \text{acos}[(\cos\delta.\sin(\text{lat}).\cos(\text{asol}) - \sin\delta.\cos(\text{lat}))/\cos\gamma] \\ \theta &= \text{Min}(\pi/2; \text{acos}(\cos\gamma.\sin\beta.\cos(\psi-\alpha) + \sin\gamma.\cos\beta)) \end{aligned} \quad \text{Eq 80}$$

Le rayonnement direct sur la paroi est égal à :

$$Drp = \cos\theta . I_{Dn}$$

Nota : - Dans les formules ci-dessus, les angles sont exprimés en radians.

- en zone H1_a, latitude 48,77°,
- en zone H1_b, latitude 48,58°,
- en zone H1_c, latitude 46,3°,
- en zone H2_a, latitude 48,07°,
- en zone H2_b, latitude 46,15°,
- en zone H2_c, latitude 44,18°,
- en zone H2_d, latitude 44,08°,
- en zone H3, latitude 43,65°.

9.3.1.1.2 Calcul du rayonnement solaire diffus

Compte tenu de l'hypothèse d'isotropie du rayonnement diffus, le rayonnement atteignant la paroi, D_{fp} , n'est fonction que de son inclinaison et du rayonnement diffus isotrope, I_{di} .

$$D_{fp} = I_{di} \cdot 0,5 (1 + \cos\beta) \quad \text{Eq 81}$$

9.3.1.1.3 Calcul du rayonnement solaire réfléchi par le sol

Compte tenu de l'hypothèse d'isotropie du rayonnement réfléchi par le sol, le rayonnement réfléchi atteignant la paroi, R_{rp} , n'est fonction que de son inclinaison, de l'albédo du sol et du rayonnement global horizontal, $I_{Dh} + I_{di}$.

$$R_{rp} = (I_{Dh} + I_{di}) \cdot \text{alb} \cdot 0,5 (1 - \cos\beta) \quad \text{avec : } I_{Dh} = I_{Dn} \cdot \sin\gamma \text{ et } \text{alb} = 0,2 \quad \text{Eq 82}$$

α	: orientation de la paroi (0 : sud ; 90 : ouest ; 180 : nord ; 270 : est),
β	: inclinaison de la paroi (0 : horizontale ; 90 : verticale),
lat	: latitude,
δ	: déclinaison,
γ	: hauteur du soleil,
ψ	: orientation du soleil par rapport au sud,
θ	: angle du rayonnement solaire incident par rapport à la normale à la paroi,
Φ	: angle azimutal ($\psi - \alpha$),
h	: heure,
asol	: heure en radian,
I_{Dh}	: rayonnement direct horizontal ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$),
D_{rp}	: rayonnement direct sur la paroi ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$),
I_{Dn}	: rayonnement direct normal ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$),
I_{di}	: rayonnement diffus isotrope ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$),
D_{fp}	: rayonnement diffus sur la paroi ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$),
R_{rp}	: rayonnement réfléchi par le sol sur la paroi ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$),
I_{sr}	: rayonnement solaire global atteignant la paroi ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$).

9.3.1.2 Prise en compte des masques fixes

9.3.1.2.1 Nature des masques

La caractérisation des masques impose que l'on recherche un juste équilibre entre la précision souhaitée pour les résultats et le temps passé à les caractériser. Ainsi, seuls les masques destinés aux parois vitrées sont caractérisés. On retient deux types de masques :

- Masque proche horizontal considéré comme infini, caractérisé par l'angle entre le milieu de la paroi et le débord de masque,
- Masque lointain de type plan vertical éloigné, caractérisé par l'angle sous lequel le masque est vu.

Les masques horizontaux limités à la largeur de la paroi étudiée sont considérés comme infinis lorsque le rapport entre leur largeur et la hauteur de la partie masquée est supérieur à 1.

9.3.1.2.2 Masque proche horizontal :

On peut considérer le masque jouxtant la paroi ou en étant légèrement éloigné (ABCD est le plan vertical contenant le rayon solaire).

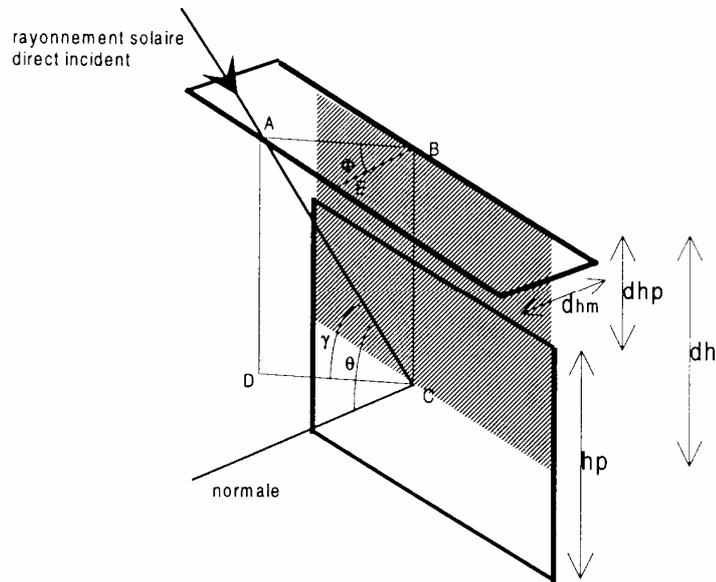


Figure 8 : Masque proche horizontal

Pour le rayonnement direct

$$\Phi = \psi - \alpha$$

$$\cos \Phi = BE/AB \quad \tan \gamma = BC/AB$$

$$d_{hm}/d_h = BE/BC = (BE/AB) \cdot (AB/BC) = \cos \Phi / \tan \gamma$$

$$d_h = \text{Max} (0 ; d_{hm} \cdot \tan \gamma / \cos \Phi)$$

$$f_h = \text{Min} [\text{Max} (0 ; [1 - (d_h - d_{hp})/h_p]) ; 1]$$

Eq 83

Pour le rayonnement diffus

Soit θ_g l'angle sous lequel le point central de la fenêtre voit le ciel :

$$\theta_g = \text{Atang}(((h_p/2) + d_{hp})/d_{hm})$$

$$F_{\text{Diff}} = \theta_g / 90$$

Eq 84

Le masque est caractérisé par l'angle ang_{mph} entre le milieu de la paroi et le débord de masque.

Les équations ci-dessus sont appliquées en prenant les valeurs suivantes :

$$d_{hp} = 0$$

$$h_p = 2$$

$$d_{hm} = \text{tang} \text{ang}_{\text{mph}}$$

9.3.1.2.3 Masque lointain de type plan vertical :

Le calcul géométrique est équivalent à celui de la protection horizontale en considérant :

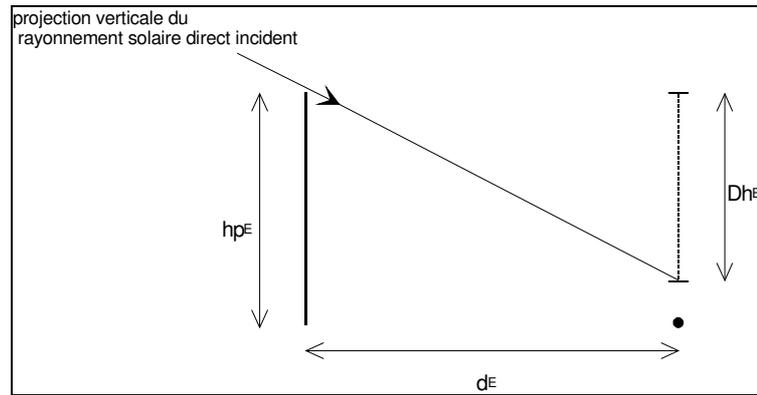


Figure 9 : Plan vertical éloigné

nous avons donc :

$$dh_E = d_E \cdot \tan \gamma / \cos \Phi$$

$$\text{si } dh_E > hp_E \quad f_E = 1$$

$$\text{si } dh_E < hp_E \quad f_E = 0$$

Eq 85

La donnée d'entrée de la méthode de calcul est l'angle ang_{ml} sous lequel le masque est vu, avec comme valeur 0 s'il n'y a pas de masque.

L'angle de masque lointain, ang_{ml} , est tel que $\tan \text{ang}_{ml} = hp_E / d_E$

Les équations ci-dessus sont appliquées en prenant :

$$d_E = 1$$

$$hp_E = \tan \text{ang}_{ml}$$

L'angle ang_{ml} sous lequel le masque est vu est égal à 20 par défaut.

Remarque :

Ce calcul peut être utilisé pour déterminer l'influence de ce même masque sur une paroi horizontale. Il faut alors donner l'orientation du masque.

9.3.1.2.4 Facteur d'affaiblissement global du rayonnement direct

Pour une paroi considérée, le facteur d'affaiblissement du direct $FfDir$ est :

$$FfDir = f_E \cdot f_h$$

Eq 86

Nota : Si β est différent de 90° (paroi non verticale), $f_h = 1$ car on considère qu'il n'y a pas de masque proche.

9.3.1.3 Gestion manuelle des protections solaires

En secteur résidentiel, on considère que les protections mobiles ne sont pas mises en place pour le calcul de C.

En secteur non résidentiel, le taux de couverture des baies par des protections solaires mobiles, P_{linr} , dépend de l'ensoleillement sur la baie, I_{sr} [W/m^2].

Si la zone est inoccupée, la position de la protection solaire retenue est celle observée en dernière heure d'occupation.

En revanche, l'expression du taux de couverture des baies par des protections solaires mobiles, est la suivante :

$$P_{lin} = \min (0,5 ; 10^{-3} \cdot I_{sr}) \quad \text{Eq 87}$$

Cette formule a été établie avec l'hypothèse d'une efficacité lumineuse du rayonnement solaire égale à 100 lm/W. Cette formule correspond à un indice de protection solaire de 0,0 en éclairement nul et à un indice de protection solaire de 0,5 pour un éclairement sur un plan vertical extérieur supérieur à 500 W/m².

Le calcul est mené sur un pas de temps horaire.

Nota : On ne tient pas compte du taux de transmission lumineux du vitrage, car on considère qu'il y a éblouissement des occupants quel que soit le taux de transmission lumineux de la baie. La réaction estimée des occupants est l'abaissement manuel des stores, aucun système de gestion n'étant pris en compte initialement.

9.3.1.4 Calcul des flux solaires et de grande longueur d'onde vers la voûte céleste transmis au local

9.3.1.4.1 Définitions et nomenclature

w : nombre de composants vitrés,

h : nombre de composants opaques,

Sf : facteur solaire de chaque composant opaque,

Sw1_{sp} : facteur solaire, composante courte longueur d'onde (directe), de la baie sans protection solaire,

Sw2_{sp} : facteur solaire, composante grande longueur d'onde + convective, de la baie sans protection solaire,

Sw3_{sp} : facteur solaire, composante liée à la lame d'air intérieure ventilée, de la baie sans protection solaire,

Sw1_{ap} : facteur solaire, composante courte longueur d'onde (directe), de la baie avec protection solaire,

Sw2_{ap} : facteur solaire, composante grande longueur d'onde + convective, de la baie avec protection solaire,

Sw3_{ap} : facteur solaire, composante liée à la lame d'air intérieure ventilée, de la baie avec protection solaire,

Isr : intensité du rayonnement solaire atteignant la surface,

Flf : facteur de perte solaire des fenêtres,

Qer : densité de flux de chaleur de l'environnement extérieur vers la voûte céleste [W/m²],

Conventionnellement les valeurs de Sw1_{sp}, Sw1_{ap} et de Flf sont prises égales à 0. Le facteur solaire global est réparti à égalité sur la composante grande longueur d'onde et convective, Sw2_{sp ou ap}, et la composante liée à la lame d'air ventilée Sw3_{sp ou ap}.

$$Sw2_{sp \text{ ou } ap} = 0,5 \cdot Sw_{sp \text{ ou } ap}$$

$$Sw3_{sp \text{ ou } ap} = 0,5 \cdot Sw_{sp \text{ ou } ap}$$

Nota : cette simplification est conforme aux §3.92 des règles Th-S.

9.3.1.4.2 Flux solaires et GLO absorbés par les parois extérieures

Le flux de chaleur transmis au local dû au rayonnement solaire absorbé et au rayonnement froid vers la voûte céleste des composants transparents est donné par :

$$\Phi_{S1} = \sum_{k=1}^w [A \cdot ((1-P_{lin} \cdot Sw2_{sp} I_{SR} + P_{lin} \cdot Sw2_{ap} \cdot I_{SR} + Q_{er} \cdot \cos\beta \cdot U_{baie}/h_e))] \cdot k \quad \text{Eq 88}$$

Avec :

$$Q_{er} = h_{re} \cdot (T_{eciel} - \theta_{ei})$$

H_{re} coefficient d'échange surfacique extérieur par rayonnement [W/(m².K)],

β angle d'inclinaison du composant externe.

$$Sw2_{sp} = Sw_{sp} - Sw3_{sp} \quad \text{Eq 89}$$

$$Sw2_{ap} = Sw_{ap} - Sw3_{ap} \quad \text{Eq 90}$$

Le rayonnement froid vers la voûte céleste d'une paroi verticale se compense avec le rayonnement réfléchi par le sol, il est donc considéré comme nul.

Le flux de chaleur transmis au local dû au rayonnement solaire absorbé et au rayonnement froid vers la voûte céleste des composants opaques est donné par :

$$\Phi_{Sh} = \sum_{k=1}^5 [A \cdot (S_f \cdot I_{SR} + Q_{er} \cdot \cos\beta \cdot U_{bat_{op}}/h_e)] \cdot k \quad \text{Eq 91}$$

Avec U_{bat_{op}} : coefficient moyen de transmission surfacique des composants opaques.

9.3.1.4.3 Flux solaires transmis par les baies:

Le flux de chaleur dû au rayonnement solaire transmis par l'augmentation de température de l'air traversant les lames d'air intérieures ventilées est donné par :

$$\Phi_{Svl} = \sum_{k=1}^w [A \cdot (Sw3_{sp}(1-P_{lin}) \cdot I_{SR} + Sw3_{ap}(P_{lin}) \cdot I_{SR})] \cdot k \quad \text{Eq 92}$$

9.3.2 APPORTS INTERNES

On distingue différents types d'apports internes :

- Apports internes dus aux occupants,
- Apports internes dus aux machines (informatique, machines électriques, etc.),
- Apports internes dus à l'éclairage,
- Apports internes dus aux pertes de distribution du système de chauffage/refroidissement,
- Apports internes dus aux pertes de distribution et de stockage de l'ECS,
- Apports internes dus aux pertes des générateurs de chaleur et de refroidissement y compris les systèmes solaires thermiques,
- Apports internes dus aux ventilateurs locaux de chauffage, refroidissement et ventilation,
- Apports internes dus aux auxiliaires de chauffage et de refroidissement.

Les apports internes sont pris en compte pour le calcul de l'énergie nécessaire aux bornes des générateurs pour la fonction chauffage et refroidissement:

- Les apports internes dus aux occupants et aux machines sont conventionnels. Ils sont pris en compte à chaque pas de temps pour le calcul des besoins de chauffage et de refroidissement (cf § 6.3),
- Une partie des apports dus à l'éclairage est récupérable. Cette partie récupérable est prise en compte à chaque pas de temps pour le calcul des besoins de chauffage et de refroidissement. Tout ou une partie de cette part récupérable est effectivement récupérée (cf § 7.5),
- Une partie des pertes brutes de distribution de chauffage et de refroidissement est récupérable en tant qu'apports internes. Cette partie récupérable est prise en compte à chaque pas de temps pour le calcul des besoins de chauffage et de refroidissement. Tout ou partie de cette part récupérable est effectivement récupérée (cf § 11.1.3.4),
- Une partie des apports dus aux ventilateurs locaux des émetteurs locaux est récupérable (cf § 10.3),
- Une partie des pertes brutes de distribution (cf § 8.3.) et de stockage (cf §15.6.2.2) de l'eau chaude sanitaire est récupérée,
- Une partie des pertes brutes par les parois des générateurs est récupérée (cf § 15.4.1.6),
- On considère que les apports dus aux auxiliaires de génération et distribution de chauffage, refroidissement et Eau chaude sanitaire ne sont pas récupérés.

9.3.3 PRISE EN COMPTE DES APPORTS INTERNES ET SOLAIRES

Les apports solaires et internes récupérables sont pris en compte à chaque pas de temps par le modèle thermique décrit au § 13 (cf § 13.8) : flux transmis aux nœuds de température.

Les apports internes récupérés sont calculés annuellement. Ils permettent de réduire (respectivement augmenter) l'énergie nécessaire aux bornes du générateur pour le chauffage (respectivement le refroidissement) à travers un ratio de réduction des besoins (respectivement d'augmentation des besoins) calculé au § 14.1.1 (respectivement 14.1.2).

10. EMISSION DE CHALEUR ET DE FROID

L'émission de chaleur et de froid prend en compte les effets suivants :

- 1) L'efficacité de l'émetteur en termes d'homogénéité des températures dans le local et de la régulation de l'émission de chaleur et de froid. Ceci est traduit par une variation spatio-temporelle de température du point de consigne.
- 2) L'impact du redémarrage du chauffage et du froid avant l'occupation des locaux. Ceci est traduit par une durée de relance avant l'occupation (modification du point de consigne).
- 3) L'impact des ventilateurs de brassage locaux. Ceci est traduit par des gains internes et une consommation d'énergie électrique.
- 4) En mode refroidissement, l'impact de la déshumidification de l'air. Ceci est traduit par une énergie supplémentaire à fournir.
- 5) Les pertes au dos des émetteurs. Ceci est traduit par une énergie supplémentaire à fournir.
- 6) L'existence de plusieurs types d'émetteurs dans un même groupe. Ceci est pris en compte par la définition d'un système équivalent.

10.1 VARIATIONS SPATIALE ET TEMPORELLE DE LA TEMPERATURE DE CONSIGNE

Les températures intérieures de consigne initiales des différentes périodes sont définies dans le Tableau 7 et le Tableau 8 comme des données d'entrée sur la base d'un scénario temporel. Dans la pratique la température réelle dépend de la capacité du couple formé par le système de climatisation et son dispositif de régulation à assurer une température homogène et ne variant pas.

La température de consigne de chauffage, θ_{ich} , est calculée par la formule suivante :

$$\theta_{ich} = \theta_{iich} + \delta\theta_{vsch} + \delta\theta_{vtch} \quad \text{Eq 93}$$

La température de consigne de refroidissement, θ_{ifr} , est calculée par la formule suivante :

$$\theta_{ifr} = \theta_{iifr} + \delta\theta_{vsfr} + \delta\theta_{vtfr} \quad \text{Eq 94}$$

Avec :

- θ_{iich} température initiale de consigne de chauffage donnée dans le Tableau 7
- θ_{iifr} température initiale de consigne de refroidissement donnée dans le Tableau 8 ,
- $\delta\theta_{vsch}$ variation spatiale de température en mode chauffage,
- $\delta\theta_{vsfr}$ variation spatiale de température en mode refroidissement,
- $\delta\theta_{vtch}$ variation temporelle de température en mode chauffage,
- $\delta\theta_{vtfr}$ variation temporelle de température en mode refroidissement.

Ce sont ces températures de consigne qui sont utilisées dans les autres calculs en lieu et place des températures initiales.

Nota : Le supplément de température dû à l'équilibrage est nul pour les systèmes de chauffage sans réseau de distribution de la chaleur. En l'absence de données suffisantes sur les valeurs en présence de réseau de distribution, ce supplément est également considéré comme nul dans cette version des règles Th-C-E 2005.

Pour les périodes de recoupement de la saison de chauffage et de la saison de refroidissement, on pose :

$$\text{Si } \theta_{ifr} < \theta_{ich} \quad \text{alors} \quad \theta_{ifr} = \theta_{ich}$$

10.1.1 VARIATIONS SPATIALES

La variation spatiale dépend du type d'émetteur utilisé et de la hauteur sous plafond.

Le Tableau 42 et le Tableau 43 indiquent la classe de variation spatiale à utiliser en fonction du type d'émetteur et de la hauteur sous plafond.

Classes de variation spatiale en chaud Cvsc	Émetteur	Variations spatiales (K)			
		locaux de moins de 4 m sous plafond	locaux de 4 à 6 m sous plafond	locaux de 6 à 8 m sous plafond	locaux de plus de 8 m sous plafond
A	Plancher chauffant	0	0	0	0
B	Soufflage d'air chaud avec reprise < 3m du sol Émetteurs avec brassage en position basse (Ventilo-convecteurs,...) Émetteurs rayonnants Émetteurs basse température Plafonds rayonnants Cassettes et tubes à plus de 4m du sol	0,2	0,8	1,2	1,6
C	Autres émetteurs	0,4	1,2	2,0	2,8

Tableau 42 : Variations spatiales par type d'émetteur et classes correspondantes en mode chauffage

Classes de variation spatiale en froid Cvsf	Émetteur	Variations spatiales (K)			
		locaux de moins de 4 m sous plafond	locaux de 4 à 6 m sous plafond	locaux de 6 à 8 m sous plafond	locaux de plus de 8 m sous plafond
A	Plancher froid	0	0,4	0,8	1,2
B	Emetteurs avec brassage en position basse et soufflage d'air en position basse	0	0,2	0,4	0,6
C	Autres émetteurs	0	0	0	0

Tableau 43 : Variations spatiales par type d'émetteur et classes correspondantes en mode refroidissement

10.1.2 PRECISION DE LA REGULATION TERMINALE (VARIATIONS TEMPORELLES)

La précision de la régulation dépend du type d'émetteur et du type de régulation qui lui est associé (couple « régulateur/émetteur »).

Caractérisation des produits .

Le Tableau 44 indique pour différents types de produits les normes applicables et les certifications utilisables pour les caractériser.

	Norme applicable	Certification	Commentaire
Émetteur électrique direct	NF EN 60 675	NF Performance catégorie C	L'arrêté impose une amplitude de régulation inférieure à 0,5 K et une dérive en charge inférieure à 1,5 K
Robinet thermostatique	NF EN 215	CENCER	Non applicable à certains produits
Thermostat d'ambiance pour unités terminales	En attente : travaux du Cen TC247	Certification EUBAC	La norme définit la valeur de la précision de la régulation (CA)
Thermostat d'ambiance	NFC 47 110	NF Performance	
Couple émetteur/régulateur particulier	Avis technique		La valeur de variation temporelle peut être donnée dans l'avis technique

Tableau 44: Normes et certifications applicables à la régulation par local

Le Tableau 45 indique la précision de la régulation en fonction du type de couple « régulateur/émetteur ». Sauf indication contraire les valeurs correspondent à une régulation par local.

Couple régulateur/émetteur	Précision de la régulation	
	En chaud	En froid
Sans système de régulation terminale	2,5	-2,5
Valeurs par défaut des régulations ne permettant pas un arrêt total de l'émission	2,0	-2,0
Valeurs par défaut des régulations permettant un arrêt total de l'émission	1,8	-1,8
Émetteur électrique direct avec thermostat intégré certifié	0,9	-----
Régulation terminale certifiée	Valeur de CA	Valeur de CA
Robinet thermostatique certifié	1,2	-----

Tableau 45 : Précision des couples régulateur/émetteur

Des valeurs différentes peuvent être prises pour des produits en cas de certification de la valeur.

Les planchers chauffants ont une forte capacité d'auto régulation et conduisent à un faible écart entre température d'air et température résultante, on leur appliquera la classe de performance indiquée dans le tableau ci-dessus même s'ils sont seulement munis d'une régulation par zone.

10.2 PROGRAMMATION

On prédétermine la durée de relance éventuelle en fonction du type de programmateur.

- Horloge à heure fixe, correspondant à un décalage de courbe de chauffe en fonction de la température extérieure,
- Horloge à heure fixe avec contrôle d'ambiance,
- Optimiseur.

En cas d'absence de dispositif, le point de consigne occupation est maintenu en inoccupation

Type de programmation	Durée de relance (nuit en semaine)	Durée de relance (lundi matin)
Sans dispositif	Sans objet	Sans objet
Horloge à heure fixe	2h	6h
Horloge à heure fixe avec contrôle d'ambiance	2h	4h
Optimiseur	1h	3h pour la température de base avec une variation linéaire en fonction de la température extérieure

Tableau 46 : Durées de relance en chauffage

Type de programmation	Durée de relance (nuit en semaine)	Durée de relance (lundi matin)
Horloge à heure fixe	1h	3h
Horloge à heure fixe avec contrôle d'ambiance	1h	2h
Sans horloge ou sans dispositif	Fonctionnement permanent	Fonctionnement permanent

Tableau 47 : Durées de relance en refroidissement

Calcul de la durée de relance en présence d'optimiseur le lundi matin :

Au pas de calcul 'début de la période d'occupation - 3h' on calcule la durée de relance optimisée.

Pour cela, on considère que :

- D'une part, lorsque la température extérieure est inférieure ou égale à la température de base, la durée de relance est égale à trois heures,
- D'autre part, lorsque la température extérieure est supérieure ou égale à 15 °C, la durée de relance est nulle.

Lorsque la température extérieure est comprise entre la température de base et 15 °C, la durée de relance est calculée par interpolation linéaire en arrondissant la durée de relance trouvée à la valeur entière la plus proche.

10.3 CONSOMMATIONS ET APPORTS INTERNES DUS AUX EMETTEURS LOCAUX

La consommation électrique par heure des ventilateurs locaux (Wh/h), pour les appareils carrossés et les appareils gainés, est calculée par :

$$Q_{\text{ventloc}} = P_{\text{ventloc}} \cdot F_{\text{CRVL}}$$

P_{ventloc} : puissance du ventilateur (W). Pour les ventilateurs à plusieurs vitesses, on retient la puissance correspondant à la vitesse la plus basse,

F_{CRVL} : facteur de correction gestion et régulation des ventilateurs locaux, issu du Tableau 48 (chauffage) et du Tableau 49 (refroidissement).

L'énergie récupérable sur les ventilateurs est égale à :

$$Q_{\text{ventloc_rec}} = Q_{\text{ventloc}} \cdot \text{Tauxrec_ventloc}$$

Type de gestion ventilateur local	Tgvl	F_{CRVL}
Fonctionnement permanent possible du ventilateur en période de chauffage du bâtiment	1	1
Ventilateur arrêté pendant la phase arrêt du chauffage (intermittence de chauffage)	2	0 (pendant la phase arrêt) 1 (pendant les autres phases)
Ventilateur arrêté pendant la phase arrêt et régulé en fonction des besoins sinon	3	0 (pendant la phase arrêt) 0,5 (pendant les autres phases)

Tableau 48 : Facteur de gestion du fonctionnement des ventilateurs locaux liés au chauffage

La phase arrêt est la période d'inoccupation hors phase de relance pour laquelle la demande de chauffage du groupe est nulle.

Type de gestion ventilateur local	Tgvl	F_{CRVL}
Fonctionnement permanent possible du ventilateur en période de refroidissement du bâtiment	1	1
Ventilateur arrêté pendant la phase arrêt (intermittence du refroidissement)	2	0 (pendant la phase arrêt) 1 (pendant les autres phases)
Ventilateur arrêté pendant la phase arrêt et régulé en fonction des besoins sinon	3	0 (pendant la phase arrêt) 0,5 (pendant les autres phases)

Tableau 49 : Facteur de gestion du fonctionnement des ventilateurs locaux liés au refroidissement

La phase arrêt est la période d'inoccupation hors phase de relance pour laquelle la demande de refroidissement du groupe est nulle.

Valeurs par défaut :

Pour les ventilo-convecteurs existants, la valeur par défaut de la puissance du ventilateur est de 2,25 W/m².

10.4 CALCUL DES DEBITS LOCAUX ET DU BILAN HYDRIQUE

10.4.1 PRESENTATION

Ce paragraphe permet de calculer les débits locaux ainsi que l'évolution de l'humidité spécifique intérieure et la puissance latente correspondante pour un système en recyclage local (ventilo-convecteur par exemple).

Le bilan hydrique du groupe pour une durée donnée correspond :

- à la masse d'eau dans l'air entrant et dans l'air sortant,
- aux apports internes d'humidité,
- à la déshumidification éventuelle sur la batterie froide.

L'inertie hygroscopique des locaux est négligée.

Pour la déshumidification, la batterie est représentée à l'aide d'un facteur de bypass : l'air sortant de la batterie est considéré comme un mélange d'air à saturation à la température de la batterie, T_{batt} , et d'air non affecté par son passage.

Le débit d'air en contact direct avec la batterie, que l'on appelle le débit de recirculation requis, est dépendant de la puissance sensible à fournir au local et de la température de surface de la batterie.

Cette dernière est égale à la température de distribution augmentée de 2K pour prendre en compte le différentiel entrée sortie.

$$P_{sensref_{Req}} = P_{sys} \cdot Rat_{em} \quad \text{Eq 96}$$

$$Q_{mrecirc_{Batt}} = P_{sensref_{Req}} / (C_{pa} \cdot (T_i - T_{batt})) \quad \text{Eq 97}$$

$Q_{mrecirc_{Batt}}$	le débit de recirculation requis sur la batterie (kg/s),
P_{sys}	puissance sensible à fournir dans le groupe (Wh), issue du §13
$P_{sensref_{Req}}$	puissance sensible à fournir par un émetteur (Wh),
C_{pa}	chaleur massique de l'air sec, J/kg/K,
T_{Batt}	température de surface de la batterie, °C,
T_i	température intérieure, °C,
Rat_{em}	ratio voir §10.6

En mode refroidissement :

Le fonctionnement des émetteurs dépend du type de régulation de la batterie froide $Trbf$:

	Température de la batterie froide quand le système refroidit	$Trbf$
Alimentation en eau de la batterie régulée de façon progressive	Température variable	1
Autre cas	Température constante	0

Tableau 50: Typologie pour la régulation de la température de batterie froide

- Débit d'eau variable dans la batterie en fonction des besoins : $Trbf = 1$

Le débit d'air brassé est égal à :

$$Q_{\text{vrecircBatt}} = A_{\text{gr}} \cdot \text{Rat}_{\text{em}} \cdot 15 \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad \text{Eq 98}$$

$$Q_{\text{mrecircBatt}} = A_{\text{gr}} \cdot \text{Rat}_{\text{em}} \cdot 15 \cdot \rho_{\text{int}} / 3600 \quad [\text{kg/s}] \quad \text{Eq 99}$$

$$T_{\text{Batt}} = T_i - (\text{Psensref}_{\text{Req}} / (Q_{\text{mrecircbatt}} \cdot C_{\text{pa}})) \quad \text{Eq 100}$$

ρ_{int} la masse volumique de l'air (kg/m^3), calculée à partir de T_i et de w_{finprev} ,

A_{gr} surface du groupe (m^2).

- Autres cas (Débit d'eau constant ou tout ou rien, fonctionnement du ventilateur en tout ou rien ou modulé selon l'écart à la consigne), $\text{Trbf} = 0$

On entre T_{batt} qui correspond à la température de batterie, le débit d'eau étant constant. T_{Batt} est égale à la température moyenne de dimensionnement du Tableau 55 selon la valeur de la classe de température de distribution en froid, augmentée de 2°C.

Par défaut on retient la température basse au sens du Tableau 55.

$Q_{\text{mrecircBatt}}$ est calculé pour satisfaire les besoins, $\text{Psensref}_{\text{Req}}$, à l'aide de Eq 96,

$Q_{\text{vrecircBatt}}$ est calculé à l'aide de T_i et w_{prev} .

En mode chauffage :

Par défaut $T_{\text{Batt}} = 40$ °C.

$Q_{\text{mrecircBatt}}$ est calculé pour satisfaire les besoins, $\text{Psensref}_{\text{Req}}$, à l'aide de Eq 96 .

10.4.2 PRINCIPE DU CALCUL POUR UN EMETTEUR

La variation d'humidité spécifique dans le groupe pour chaque émetteur est égale à :

$$\frac{dw_i}{dt} = (\text{Rat}_{\text{em}} \cdot \text{Deb} \cdot (w_{\text{entr}} - w_i) + \text{Rat}_{\text{em}} \cdot a_i + Q_{\text{mrecircBatt}} \cdot \min(0; (w_{\text{sat}} - w_i))) / (\text{Rat}_{\text{em}} \cdot V \cdot \rho_{\text{int}}) \quad \text{Eq 101}$$

w_i l'humidité spécifique intérieure ($\text{kg}/\text{kg as}$),

w_{entr} l'humidité spécifique de l'air entrant ($\text{kg}/\text{kg as}$),

w_{finprev} l'humidité spécifique à la fin du pas de temps précédent ($\text{kg}/\text{kg as}$),

a_i les apports internes d'humidité (kg/s),

V le volume du groupe (m^3),

w_{sat} l'humidité spécifique à saturation pour la température de batterie ($\text{kg}/\text{kg as}$),

t temps (h),

Deb le débit d'air entrant (ou sortant) dans le groupe (kg/s). Ce débit est la somme du débit dû aux défauts d'étanchéité et aux entrées d'air, du débit issu d'autres groupes et du débit soufflé par une CTA.

On distingue alors deux cas :

quand $w_i > w_{sat}$

$$dw_i / dt = (\text{Rat}_{em} \cdot \text{Deb} \cdot (w_{entr} - w_i) + \text{Rat}_{em} \cdot ai + Q_{mrecircBatt} \cdot (w_{sat} - w_i)) / (\text{Rat}_{em} \cdot V \cdot \rho_{int}) \quad \text{Eq 102}$$

quand $w_i < w_{sat}$

$$dw_i / dt = (\text{Rat}_{em} \cdot \text{Deb} \cdot (w_{entr} - w_i) + \text{Rat}_{em} \cdot ai) / (\text{Rat}_{em} \cdot V \cdot \rho_{int}) \quad \text{Eq 103}$$

En introduisant :

$$A = (w_{entr} \cdot \text{Rat}_{em} \cdot \text{Deb} + \text{Rat}_{em} \cdot ai + Q_{mrecircBatt} \cdot w_{sat}) / (\text{Rat}_{em} \cdot \text{Deb} + Q_{mrecircBatt}) - w_{finprev} \quad \text{Eq 104}$$

$$B = (\text{Rat}_{em} \cdot \text{Deb} + Q_{mrecircBatt}) / (\text{Rat}_{em} \cdot V \cdot \rho_{int}) \quad \text{Eq 105}$$

La valeur en fin de temps T est égale à :

$$w_{fin} = w_{finprev} + A \cdot (1 - e^{-B \cdot T}) \quad \text{Eq 106}$$

et la valeur moyenne :

$$w_{moy} = w_{finprev} + A \cdot (1 - (1 - e^{-B \cdot T}) / B \cdot T) \quad \text{Eq 107}$$

A l'inverse, on peut calculer la durée requise pour atteindre une humidité spécifique donnée :

$$T = - (\ln (C)) / B \quad \text{Eq 108}$$

Le calcul n'est utile que dans le cas où C est positif (cas de transition humide-sec ou sec-humide)

$$\text{Avec } C = 1 - (w_{fin} - w_{finprev}) / A \quad \text{Eq 109}$$

10.4.3 APPLICATION AU CALCUL SUR UNE HEURE

Sur une heure, les situations suivantes peuvent se présenter :

- 1) L'humidité spécifique au début de l'heure, $w_{i_{finprev}}$, est supérieure à l'humidité spécifique à la température de la batterie, $w_{i_{sat}}$: il y a déshumidification. Celle-ci peut se poursuivre ou non pendant toute l'heure.
- 2) L'humidité spécifique au début de l'heure est inférieure à l'humidité spécifique à la batterie : il n'y a pas déshumidification. Celle-ci peut cependant intervenir pendant l'heure.

Organisation des calculs

Calcul du débit de recirculation requis, $Q_{mrecirc_{Batt}}$.

Si $w_{i_{prev}} > w_{i_{sat}}$: on calcule l'évolution de w_i en prenant en compte la déshumidification,

Si $w_{i_{fin}} > w_{i_{sat}}$: la batterie a toujours déshumidifié, on calcule :

- l'humidité spécifique moyenne, $w_{i_{moy}}$,
- l'énergie latente correspondante

$$P_{lat} = 2501000 \cdot Q_{mrecirc_{Batt}} \cdot (w_{i_{moy}} - w_{i_{sat}}) \quad \text{Eq 110}$$

Si $w_{i_{fin}} < w_{i_{sat}}$, on calcule :

- la durée de déshumidification, T_{hum} (durée permettant d'atteindre $w_{i_{sat}}$),
- $w_{i_{moy}}$ pour cette phase,
- l'énergie latente correspondante,

$$2501000 \cdot Q_{mrecirc_{Batt}} \cdot T_{hum} (w_{i_{moy}} - w_{i_{sat}})$$

- l'humidité spécifique en fin d'heure en repartant de $w_{i_{sat}}$ pour la durée restante $(1-T_{hum})$.

Si $w_{i_{prev}} < w_{i_{sat}}$, on calcule l'évolution de w_i sans déshumidification

Si $w_{i_{fin}} < w_{i_{sat}}$, il n'y a pas de déshumidification, le calcul s'arrête.

Si $w_{i_{fin}} > w_{i_{sat}}$, on calcule :

- La durée sans déshumidification, T_{sec} (durée permettant d'atteindre $w_{i_{sat}}$),
- On applique le modèle avec déshumidification pour la durée restante $(1-T_{sec})$ et on calcule la puissance latente requise et l'humidité spécifique finale,
- L'énergie latente est cumulée et dirigée vers la génération via le réseau.

10.5 PERTES AU DOS DES ÉMETTEURS INTEGRES AUX PAROIS

Dans le cas de murs, planchers, plafonds et vitrages chauffants en contact avec l'extérieur, le sol ou un espace non chauffé, une partie de la chaleur ou du froid fournis par l'émetteur est perdue. Ces pertes sont appelées pertes au dos de l'émetteur. Elles ne sont pas récupérables.

Les pertes sont un pourcentage de la quantité de chaleur ou de froid fournie par l'émetteur, X_b , (%). X_b est une entrée de la méthode. On décrit ici le mode de calcul de ces pertes.

Lorsque le système de chauffage ou de refroidissement comprend plusieurs types d'émetteurs les uns ayant des pertes au dos et les autres n'en ayant pas, il est nécessaire de les différencier pour le calcul des pertes. Il en est de même si différents émetteurs ont des pourcentages de pertes au dos différents. Ainsi pour chaque type d'émetteur :

$$Q_{\text{per_em}} = P_{\text{sys}} \cdot \text{Rat}_{\text{em}} \cdot X_b \quad \text{Eq 111}$$

Avec :

$Q_{\text{per_em}}$ pertes au dos des émetteurs, (kW), en chaud ou en froid,

P_{sys} émission, (kW), en chaud ou en froid,

Rat_{em} voir §10.6.

- X_b vaut 0 pour l'ensemble des émetteurs n'ayant pas de pertes au dos,
- X_b vaut 0 pour les planchers solaires ne comportant pas d'appoint au niveau du plancher,
- Pour les autres émetteurs X_b est calculé de la façon suivante :

Paroi donnant sur l'extérieur ou un local non chauffé :

$$X_b = 100 \cdot \frac{R_i}{\frac{1}{b \cdot U_0} - R_i} \quad \text{Eq 112}$$

Avec :

R_i résistance thermique de la paroi extérieure entre le plan chauffant et l'intérieur ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$),

U_0 coefficient de transmission thermique de la paroi, ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$),

b permet de tenir compte du fait que la paroi donne sur un local non chauffé et est tiré des règles Th-bât.

Paroi en contact avec le sol ou un vide sanitaire ou un local non chauffé en sous-sol :

$$X_b = 100 \cdot \frac{R_i}{\frac{1}{U_e} - R_i} \quad \text{Eq 113}$$

U_e coefficient de transmission surfacique équivalent défini dans les règles Th-bât ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$).

Dans le cas où le coefficient de transmission thermique U_0 correspond à une paroi donnant sur un vide sanitaire ou un sous sol, les valeurs tabulées des règles Th-bât intègrent déjà le coefficient b . Celui ci n'est donc plus à considérer.

10.6 SYSTEMES COMPOSITES ET MULTIPLES

10.6.1 EMETTEURS CHAUDS

Sont visés ici les systèmes multi émetteurs, c'est-à-dire les systèmes comportant plusieurs types d'émetteurs desservant un même groupe pour maintenir la température de consigne en mode chauffage. Ces systèmes, qui peuvent être composites sur tout ou partie de la surface du groupe, fonctionnent sur un mode spatio composite.

Chaque type d'émetteur est décrit par sa variation spatiale, sa variation temporelle, son coefficient de pertes au dos et son ratio Rat_{em} , avec :

$$Rat_{em} = Rat_{em_spatial} \cdot Rat_{em_temporel}$$

Pour un émetteur, $Rat_{em_spatial}$ est le ratio de la surface fictive traitée par cet émetteur à la surface totale du groupe et $Rat_{em_temporel}$ est le ratio d'énergie fournie par cet émetteur à l'énergie totale fournie à la surface fictive traitée par ce système. Pour les systèmes composites, $Rat_{em_temporel}$ est défini au Tableau 51, pour les autres systèmes $Rat_{em_temporel}$ est égal à 1.

Ainsi par exemple, soit un groupe comprenant :

- un système composite pour 60% de sa surface, composé d'un système₁ et d'un système₂,
- un autre système, système₃, pour le reste de la surface.

$$Rat_{em1} = Rat_{em_temporel1} \cdot 0,60 \qquad Rat_{em2} = (1 - Rat_{em_temporel}) \cdot 0,60 \qquad Rat_{em3} = 0,4$$

On considère 3 types de systèmes composites pour lesquels on nommera ci-après les deux types d'émetteur comme étant l'émetteur 1 et l'émetteur 2.

1) Système base (1) + appoint (2)

Le système fournit une base ne couvrant jamais l'intégralité des besoins. Le système 2 d'appoint est donc en permanence utilisé pour atteindre le point de consigne. Les systèmes 1 et 2 sont donc affectés de la variation spatio-temporelle du système 2.

La variation spatio-temporelle globale, entrée dans la méthode, est la somme des variations spatio-temporelles des différents émetteurs pondérées par les Rat_{em} correspondants. Dans ce calcul, pour le système composite, la variation spatio-temporelle à retenir est celle du système 2 et le Rat_{em} correspondant est la somme des Rat_{em} des systèmes 1 et 2.

2) Système 1 + complément par temps froid 2

Le système 1 est seul en fonction par temps doux et est complété par temps froid par le système 2. L'énergie utilisée par temps froid étant en général supérieure à celle par temps doux, on applique la variation temporelle du système 2 aux deux systèmes.

La variation spatio-temporelle globale, entrée dans la méthode, est la somme des variations spatio-temporelles des différents émetteurs pondérées par les Rat_{em} correspondants. Dans ce calcul, pour le système composite, la variation spatio-temporelle à retenir est celle du système 2 et le Rat_{em} correspondant est la somme des Rat_{em} des systèmes 1 et 2.

3) Système alterné

Dans ce cas les systèmes 1 et 2 sont mis en œuvre à des périodes différentes et ne sont donc jamais en fonctionnement simultanés. On applique à chaque système sa variation spatio-temporelle.

La variation spatio-temporelle globale, entrée dans la méthode, est la somme des variations spatio-temporelles des différents émetteurs pondérées par les Rat_{em} correspondants.

La méthode de calcul des parts assurées par chaque système est décrite en annexe B.

Pour les différents types de systèmes, on applique les valeurs par défaut suivantes :

	Base + appoint		Complément par temps froid			Alterné
R _{puis1}	0,7 à 1	0,5 à 0,6	0,7 à 1	0,6 à 0,7	0,5 à 0,6	
Rat _{em_temporel1}	0,72	0,69	1	0,96	0,92	0,6

Tableau 51

Avec :

R_{puis1} = Puissance maximale du système 1 / Puissance totale requise en conditions de base,

Rat_{em_temporel1} = ratio d'énergie fourni par le système 1.

Pour les systèmes composites et compte tenu de la répartition uniforme sur l'année de la fourniture d'énergie, la puissance de chacune des composantes du système composite utilisée par la méthode, donc à entrer, est une puissance apparente, P_{apparente_comp_n}, déterminée comme suit :

$$P_{\text{apparente_comp_n}} = P_{\text{comp_n}} \cdot \text{Rat}_{\text{em_temporel-n}} / R_{\text{puis_n}}$$

Avec :

P_{comp_n} : puissance de dimensionnement du système n.

10.6.2 EMETTEURS FROIDS

Dans le cas où les émetteurs d'un même groupe ont des caractéristiques de déshumidification différentes, on applique la procédure suivante :

- chaque système traite une partie du groupe,
- le calcul est conduit pour chaque système d'émission sur la base du volume qu'il traite. Ce volume est déterminé à l'aide du paramètre Rat_{em},
- l'humidité du groupe en fin de pas de temps est égale à

$$w_{\text{fin}} = w_{\text{fin1}} \cdot \text{Rat}_{\text{em1}} + \dots + w_{\text{finn}} \cdot \text{Rat}_{\text{emn}}$$

L'énergie latente totale est égale à la somme des énergies calculées par système d'émission.

10.7 PRISE EN COMPTE DES LOCAUX SANS EMETTEUR DE REFROIDISSEMENT

On distingue les locaux d'entrée d'air et les locaux de transferts et d'extraction.

Les locaux d'entrée d'air sont toujours équipés d'un système de chauffage et peuvent ou non être équipés d'un système de refroidissement.

Les locaux d'extraction peuvent ou non être équipés de chauffage et/ou de refroidissement.

10.7.1 LOCAUX D'ENTREE D'AIR SANS SYSTEME DE REFROIDISSEMENT

Ces locaux doivent faire l'objet d'un ou plusieurs groupes spécifiques.

Ces groupes devront être conformes aux exigences de thermique d'été et donc bénéficier de baies ouvrantes. On considère alors que les occupants maintiendront une température de

consigne intérieure en occupation égale à celle du Tableau 8 ². En inoccupation, on considère que les fenêtres sont fermées et que le local est en évolution libre.

10.7.2 LOCAUX DE TRANSFERT ET D'EXTRACTION

Locaux intégrés à un groupe d'entrée d'air

S'ils sont intégrés à un groupe comportant des locaux d'entrée d'air, on leur applique implicitement le même système de chauffage et refroidissement que celui des locaux d'entrée d'air. En effet dans ce cas, la somme des Rat_{em} (contributions de chaque type d'émetteur) des locaux avec émetteurs est égale à 1, et est appliqué sur toute la surface du groupe.

Exemple : Soit un groupe avec deux locaux d'entrée d'air LE1 et LE2 de surface 50 et 150 m², avec des systèmes de chauffage SC1 et SC2, et des circulations de surface 50 m² sans système de chauffage.

La clé de répartition sera égale à $50/(150+50) = 0,25$ pour le système SC1 et 0,75 pour le système SC2.

Les besoins pour SC1 et SC2 seront calculés sur la totalité du groupe.

Locaux considérés comme un groupe de transfert et d'extraction spécifique

On applique alors au groupe le système de chauffage et de refroidissement du groupe d'entrée d'air de la zone considérée ayant la plus grande surface. Si ce dernier groupe est sans refroidissement on lui applique la procédure définie pour les locaux d'entrée d'air correspondants.

² Pendant la période de chauffage, on considère que la température extérieure est suffisamment basse pour pouvoir maintenir la température intérieure à sa valeur de consigne en froid. Sans prise en compte de cet effet en occupation, on surestimerait la récupération des apports internes et solaires.

11. DISTRIBUTION DE CHALEUR ET DE FROID : RESEAUX HYDRAULIQUES ET DE FLUIDE FRIGORIGENE

Un réseau hydraulique peut être lié en aval à un ou plusieurs groupes et dans un même groupe à un ou plusieurs types d'émetteurs. Il est lié en amont à un seul système de production de chaleur et de froid, ce dernier pouvant comporter plusieurs générateurs.

Ce chapitre est consacré à la distribution hydraulique et de fluide frigorigène. Le cas des réseaux d'air est traité au § 12.

Le but de ce chapitre est :

- Le calcul des pertes thermiques des réseaux de distribution de chauffage et de refroidissement,
- Le calcul de la consommation des auxiliaires des réseaux de distribution

11.1 PERTES ET CONSOMMATIONS DE DISTRIBUTION POUR LES RESEAUX HYDRAULIQUES

11.1.1 CALCUL DE LA PUISSANCE NOMINALE EN CHAUD ET FROID

Puissance nominale en chaud : Pnc

La puissance nominale en chaud (en kW) sert uniquement à déterminer les pertes de charge des réseaux de distribution ainsi que la puissance des auxiliaires de ces réseaux. Elle est donnée par la formule suivante :

$$P_{nc} = 10^{-3} \cdot (H_T + (q_{vnom_occ} \cdot 0,34)) \cdot (\theta_a - \theta_{eb}) \quad \text{Eq 114}$$

$$\theta_a = 20^\circ\text{C}$$

En ventilation naturelle ou hybride, on prend par convention :

$$q_{vnom_occ} = 2 \cdot A_{groupe}$$

Puissance nominale en froid : Pnf

La puissance nominale en froid (en kW) sert uniquement à déterminer les pertes de charge des réseaux de distribution ainsi que la puissance des auxiliaires de ces réseaux. Elle est donnée par la formule suivante :

$$P_{nf} = 10^{-3} \cdot (H_T + (q_{vnom_occ} \cdot 0,34)) \cdot (\theta_{emaxi} - 26) + 0,03 \cdot A + 0,25 \cdot A_v \quad \text{Eq 115}$$

Avec :

A = surface du groupe (m²),

A_v = surface nette des baies vitrées quelle que soit l'orientation (m²),

0,03 = valeur estimative des apports internes et d'éclairage (kW/m²),

0,25 = apports solaires incidents par m² de baie vitrée, kW/m², (0,8 kW/m² incidents, s = 0,4 et coefficient d'amortissement et de réduction de 0,8).

$$\theta_{emaxi} = 34 \text{ }^\circ\text{C}$$

11.1.2 ÉLÉMENTS POUR LE CALCUL DES PERTES THERMIQUES DES RESEAUX DE DISTRIBUTION

11.1.2.1 Distribution de groupe

Les pertes de distribution de groupe dépendent :

- de la longueur du réseau,
- des déperditions linéiques,
- de l'écart de température de distribution utile entre le réseau et l'ambiance.

Type de réseau de distribution	Ares en résidentiel	Ares en locaux de grand volume avec batterie terminale de réchauffage	Ares en locaux autres	F _{cot}
Bitube	1	0,1	0,4	1
Centralisé	0,6		0,24	0,625 (= 2/3,2)
Monotube	0,8		0,32	0,781 (= 2,5/3,2)
Plancher Chauffant	0,2		0,08	0,156 (= 0,5/3,2)

Tableau 52 : Typologie de réseau en mode chauffage

Les locaux de grand volume sont définis comme ayant plus de 6 m de hauteur sous plafond et une surface supérieure à 100 m².

Type de réseau de distribution	Ares en résidentiel	Ares en locaux de grand volume avec batterie terminale pour le refroidissement	Ares en locaux autres	F _{cot}
Bitube	1	0,1	0,4	1
Plancher	0,2		0,08	0,156 (= 0,5/3,2)

Tableau 53 : Typologie de réseau en mode refroidissement

Température de distribution de chauffage	T de dimensionnement	ΔT nom	δθ _{dim}	Surp
Basse	35 °C	15 °C	5 °C	1
Moyenne	60 °C	40 °C	10 °C	1,15
Haute	70 °C	50 °C	15 °C	1,2

Tableau 54 : Températures de distribution de chauffage

Température de distribution de froid	T de dimensionnement	ΔT nom	δθ _{dim}	Surp
Basse	7 °C	19 °C	4 °C	1
Haute	18 °C	8 °C	4 °C	1

Tableau 55 : Températures de distribution en froid

Développement du réseau dans le groupe pour chaque émetteur

La distribution de chaleur et de froid dans un groupe pour chaque type d'émetteur est réalisée à partir d'un point de livraison.

La longueur du réseau en volume chauffé dépend de :

- $Ag_emetteur$, la surface du groupe desservie par un type d'émetteur donné (m^2),
- NbN , le nombre de niveaux (1 à minima),
- type de distribution (bitube, centralisé, monotube, plancher chauffant).

La longueur du réseau de distribution en volume chauffé, $Ldvc$, est calculée par défaut à l'aide de la formule suivante ou est saisie par l'utilisateur :

$$Ldvc = Ag_emetteur \cdot Ares \quad \text{Eq 116}$$

$Ares$ est fourni dans le Tableau 52 et Tableau 53 ci-dessus en fonction du type de distribution.

Dans le cas d'un groupe de surface supérieure à $400 m^2$, on décompose le groupe en plusieurs groupes de distribution fictifs ($Nbgdisem$) de moins de $400 m^2$ comme indiqué ci-dessous :

$$Nbgdisem = \max (1 ; Ag_emetteur/400) \quad \text{Eq 117}$$

$$Agdisem = Ag_emetteur / Nbgdisem \quad \text{Eq 118}$$

Coefficient U moyen du réseau

Le diamètre des canalisations dépend des puissances Pnc et Pnf et des conditions de dimensionnement en température.

Le U moyen [$W/(m.K)$] du réseau, en chaud puis en froid, pour un type d'émetteur est égal à :

$$U_{moyen} = Ari + Bri \cdot (Pnc \cdot Rat_{em} \cdot Surp / (Nbgdissem \cdot \Delta T \text{ nom}))^{0,4}$$

$$U_{moyen} = Ari + Bri \cdot (Pnf \cdot Rat_{em} \cdot Surp / (Nbgdissem \cdot \Delta T \text{ nom}))^{0,4} \quad \text{Eq 119}$$

Ari et Bri sont fonction du type de pose et classe d'isolant.

Pose et classe d'isolant	Ari	Bri
Nu à l'air libre	0,457	0,282
Sous Fourreau	0,048	0,852
Isolation de classe 1	0,046	0,227
Isolation de classe 2	0,036	0,205
Isolation de classe 3	0,028	0,184
Isolation de classe 4	0,021	0,163
Isolation de classe 5	0,015	0,142
Isolation de classe 6	0,011	0,122

Tableau 56 : Valeurs de Ari et de Bri

Coefficient de perte UL [W/K] du réseau pour un type d'émetteur donnée

$$UL_{dint} = Ldvc \cdot U_{moyenint} \quad \text{Eq 120}$$

$$UL_{dext} = Ldhvc \cdot U_{moyenext} \quad \text{Eq 121}$$

Avec :

$$Ldhvc = 0,1 \cdot Ldvc,$$

$U_{moyenint}$ et $U_{moyenext}$ = U des parties intérieure et extérieure calculés à l'aide de Eq 119 en chaud et en froid,

UL_{dint} et UL_{dext} = coefficients de pertes pour les parties intérieure et extérieure du réseau en chaud et en froid.

Puissance des circulateurs

Soit on saisit la puissance du circulateur, soit elle est calculée selon la méthode par défaut suivante :

1- Calcul de la perte de charge du réseau (en kPa) :

$$\Delta P_{ennom} = 0,15 \cdot Lem + \Delta Pem \quad \text{Eq 122}$$

Avec :

0,15 kPa/m de pertes de charge linéaires,

Lem la longueur du réseau le plus défavorisé,

ΔPem la perte de charge de l'émetteur prise dans le tableau ci-dessous :

Type d'émetteur	ΔPem (en kPa) en chaud	ΔPem (en kPa) en froid
Radiateurs	30 si boucle monotube 10 sinon	Non applicable
Plancher/plafond chauffant/rafraîchissant	15	15
VCV	20	20
CTA	35	35
Autres cas	35	35

Tableau 57 : pertes de charge de l'émetteur

2- Calcul de la longueur du réseau le plus défavorisé :

Il y a deux possibilités pour obtenir la longueur du réseau le plus défavorisé : soit saisie concepteur, soit calcul forfaitaire comme suit :

$$Lem = 5 \cdot F_{cot} \cdot \left(NbN + \left(\frac{Agdisem}{NbN} \right)^{0.5} \right) \quad \text{Eq 123}$$

Avec :

NbN : le nombre de niveaux du groupe,

Agdisem : la surface pour le type d'émetteur,

Fcot : pris dans le Tableau 52 ou Tableau 53.

3- Calcul de la puissance électrique du circulateur (en W) :

$$P_{circem} = \max(30; 6,44 \cdot (\Delta P_{emnom} \cdot qv_{emnom} / Nbgdisem)^{0,676} \times Nbgdisem) \quad \text{Eq 124}$$

Le débit nominal du circulateur, qv_{emnom} , en mode chaud et en mode froid étant donné par la formule ci-dessous :

$$qv_{emnom}(chaud) = \frac{P_{nc} \cdot ratem}{1,163 \cdot \delta\theta_{dim}} \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

$$qv_{emnom}(froid) = \frac{P_{nf} \cdot ratem}{1,163 \cdot \delta\theta_{dim}} \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

Eq 125

Car P_{nc} et P_{nf} sont en kW.

Avec :

$\delta\theta_{dim}$: la chute nominale de température de dimensionnement issue du Tableau 54 (chaud) ou du Tableau 55 (froid).

11.1.2.2 Distribution intergroupes et interzones

La distribution intergroupe et interzone est définie au niveau du système de génération et concerne les réseaux de distribution de chauffage et de refroidissement.

Elle ne peut être appliquée que si la surface totale des Ag_émetteurs est supérieure à 5000 m².

Pour la référence et le projet, les réseaux sont conventionnellement de type bitube.

$$qv_{ig_nom} = \sum Qv_{emnom} \quad \text{Eq 126}$$

La longueur totale du réseau (en m) est :

$$L_{tig} = 5 \cdot \left(\max(NbN) + \left(\sum (Ag_emetteur) / (\max(NbN)) \right)^{0,5} \right) \quad \text{Eq 127}$$

Avec :

NbN : nombre de niveaux décrits dans le groupe (1 à minima),

$\sum Ag_emetteur$ = somme des surfaces des groupes ou zones.

Le coefficient U_{ig} moyen [W/(m.K)] du réseau en mode chaud et en mode froid se calcule par l'équation suivante :

$$U_{ig_moyen} = Ari + Bri \cdot \left(\sum (P_{nc} \cdot Surp \cdot Rat_{em}) \cdot 5000 / (\sum Ag_emetteur \cdot \Delta T_{nom\ maxi}) \right)^{0,4} \quad \text{Eq 128}$$

$$U_{ig_{moyen}} = Ari + Bri \cdot \left(\frac{\sum(P_{nf} \cdot Surp \cdot Rat_{em}) \cdot 5000}{\sum Ag_{emetteur} \cdot \Delta T_{nom\ maxi}} \right)^{0.4} \quad \text{Eq 129}$$

Ari et Bri sont fonction du type de pose et classe d'isolant et sont issus du Tableau 56.

Pour éviter les pertes de chaleur, le réseau de distribution intergroupe doit être isolé selon les exigences minimales définies dans l'arrêté.

Le coefficient de pertes du réseau, en chaud et en froid, est (en W/K) :

$$UL_{tig} = Ltig \cdot U_{ig_{moyen}} \quad \text{Eq 130}$$

Les pertes de charge du réseau de distribution intergroupe et interzone se calculent comme suit (en kPa) :

$$\Delta P_{ig_{nom}} = 10 + \max(\Delta P_{emnom}) \quad \text{Eq 131}$$

où les ΔP_{emnom} sont les valeurs correspondant aux différents émetteurs.

Nota : en cas de circulateur individuel par groupe, on ne calcule pas $\Delta P_{ig_{nom}}$ pour les réseaux intergroupes et interzones.

$$P_{cir} = \max(30; 6,44 \cdot (\Delta P_{ig_{nom}} \cdot qv_{ig_{nom}})^{0.676})$$

11.1.3 CALCUL DES PERTES DE DISTRIBUTION ET CONSOMMATION DES AUXILIAIRES AU NIVEAU DISTRIBUTION PAR GROUPE EN FONCTION DE LA PUISSANCE DEMANDEE DANS LE GROUPE ET POUR LES INTERGROUPES ET INTERZONES

Par rapport aux conditions nominales, en fonction de :

- La puissance P demandée dans le groupe,
- Le mode d'émission et de gestion de l'eau distribuée,

il est nécessaire de déterminer :

- La température moyenne du réseau θ_m (°C),
- Le débit d'eau en circulation qv (m³/h),
- La consommation des auxiliaires (W électrique),
- Les pertes du réseau avec la part récupérable (W).

11.1.3.1 Calcul de la température moyenne du réseau

11.1.3.1.1 Puissance nominale des émetteurs installés

En mode chauffage

Selon le principe de la norme EN NF 442, $P = P50 \cdot \left(\frac{\Delta T}{50}\right)^n$

Avec :

P = Puissance émise en kW,

P50 = Puissance nominale de l'émetteur en kW à ΔT de fonctionnement 50 K,

n = Coefficient d'émission pris égale à 1,15 pour les radiateurs et à 1 pour les PCBT/PCR, les ventilo-convecteurs et les CTA.

Dans les conditions nominales :

$$P_{nc} \cdot Rat_{em_ch} \cdot Surp = P50 \cdot \left(\frac{\Delta T_{nom}}{50}\right)^n \quad Eq 132$$

On peut déduire P50.

$$P50 = P_{nc} \cdot Rat_{em_ch} \cdot Surp \cdot \left(\frac{\Delta T_{nom}}{50}\right)^{-n} \quad Eq 133$$

Cumul des puissances P50 installées dans différents groupes :

$$P50 = \Sigma (P50 \text{ des groupes}) \quad Eq 134$$

$$n = \frac{\Sigma (P50 \cdot n)}{\Sigma (P50)} \quad Eq 135$$

En mode refroidissement

L'émission est sous forme de chaleur latente et sensible et la notion de ΔT nominal n'est pas utilisée. En première approche, sur le bilan côté « eau glacée », on peut poser :

$$P_t = P_{\text{totale}} = \alpha \cdot P_{nf} \cdot \text{Surp}$$

$$\text{Avec } \alpha = \frac{P_t}{P_s} = \frac{P_s + P_l}{P_s} \geq 1,0 \quad \text{Eq 136}$$

P_s = Puissance sensible [kW],

P_l = Puissance latente [kW],

$P_t = P_s + P_l$ = Puissance totale [kW].

On pose conventionnellement un $\Delta T = 15$ K pour la différence de température entre l'ambiance et l'eau et on obtient par analogie au calcul pour le mode chaud :

$$P_{nf} \cdot \text{ratem_fr} \cdot \text{Surp} = P_{15} \cdot \left(\frac{\Delta T_{\text{nom}}}{15} \right)^n \quad \text{Eq 137}$$

avec $n = 1,00$, coefficient d'échange linéaire.

Soit :

$$P_{15} = P_{nf} \cdot \text{ratem_fr} \cdot \text{Surp} \cdot \left(\frac{\Delta T_{\text{nom}}}{15} \right)^{-1} \quad \text{Eq 138}$$

Cumul des puissances P_{15} dans les différents groupes :

$$P_{15} = \Sigma (P_{15} \text{ des groupes}) \quad \text{Eq 139}$$

$$n = \frac{\Sigma (P_{15} \cdot n)}{\Sigma (P_{15})} \quad \text{Eq 140}$$

11.1.3.1.2 Prise en compte de la gestion du réseau de distribution en mode chaud

3 modes de gestion de l'eau chaude peuvent être rencontrés :

- Température de départ régulée en fonction de la température intérieure,
- Température de départ régulée en fonction de la température extérieure,
- Température de départ constante.

On considère conventionnellement que les émetteurs sont avec Bypass.

Nota : dans la pratique, ces modes conduisent à un débit d'eau constant $q_{v_{\text{nom}}}$ dans le circuit.

Soit :

P [kW] la puissance en chaud à fournir y compris les pertes au dos des émetteurs,

θ_e [°C] la température extérieure.

Mode de gestion en fonction de la température intérieure :

En fonction de la puissance P et de la température de l'ambiance θ_a , il est nécessaire de calculer θ_d , θ_r , le débit q_v étant égal à $q_{v_{nom}}$.

$$\Delta T_{emet} = 50 \cdot \left(\frac{P}{P_{50}} \right)^{\frac{1}{n}} \text{ [K]} \quad \text{Eq 141}$$

$$C_{emet} = \frac{P}{1,163 \cdot q_{v_{nom}}} \text{ [K]} \quad \text{Eq 142}$$

$$\Delta T_o = \theta_d - \theta_a = C_{emet} \frac{\exp(C_{emet} / \Delta T_{emet})}{\exp(C_{emet} / \Delta T_{emet}) - 1} \quad \text{Eq 143}$$

$$\theta_d = \theta_a + \Delta T_o \quad \text{Eq 144}$$

$$\begin{aligned} \theta_r &= \theta_d - C_{emet} \\ q_v &= q_{v_{nom}} \end{aligned} \quad \text{Eq 145}$$

Avec :

θ_d température d'eau de départ,

θ_r température d'eau de retour.

Mode de régulation en fonction de la température extérieure ou à température constante

La température θ_d est soit constante soit fonction linéaire de la température extérieure. Dans ce dernier cas, elle est prise égale à la valeur nominale pour la température de base et égale à 20 °C pour $T_e \geq 15$ °C.

$$\begin{aligned} q_v &= q_{v_{nom}} \\ \theta_r &= \theta_d - \frac{P}{1,163 \cdot q_{v_{nom}}} \end{aligned} \quad \text{Eq 146}$$

11.1.3.2 Pertes de distribution pour les réseaux vers les émetteurs et pour les réseaux intergroupes et interzones.

$$\theta_m \text{ du réseau} = \frac{\theta_d + \theta_r}{2} \quad \text{Eq 147}$$

La perte de chaleur ou de froid du réseau de groupe est séparée en une partie en volume chauffé et une partie hors volume chauffé. Les pertes de distribution comprennent celles du réseau de groupe et celle du réseau intergroupes et interzones pour la chaleur et pour le froid :

$$\begin{aligned}
 Q_d &= 10^{-3} \cdot UL_{dint} \cdot (\theta_m - \theta_{amb}) \\
 &+ 10^{-3} \cdot UL_{dext} \cdot (\theta_m - \theta_e) \\
 &+ 10^{-3} \cdot UL_{tig} \cdot (\theta_m - \theta_e)
 \end{aligned}
 \tag{Eq 148}$$

Avec $\theta_{amb} = 20$

11.1.3.3 Calcul de la consommation des circulateurs suivant leur mode de gestion

Circulateur à vitesse constante

$$Caux = 10^{-3} \cdot P_{circem} \tag{Eq 149}$$

P_{circem} étant exprimé en W et Caux en kW.

Circulateur à vitesse variable

On applique conventionnellement une réduction de 50 % des consommations.

$$Caux = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot P_{circem} \tag{Eq 150}$$

P_{circem} étant exprimé en W et Caux en kW.

Si le circulateur est arrêté automatiquement en phase arrêt de la demande au niveau des émetteurs raccordés, sa consommation est nulle, ainsi que les pertes du réseau de distribution. Ceci définit la phase arrêt du réseau de distribution.

11.1.3.4 Calcul des pertes de distribution récupérables

Les pertes des réseaux situés en volume chauffé et liées aux groupes sont considérées comme récupérables et sont injectées dans le calcul des besoins au pas de temps de calcul suivant.

$$Q_{d_rec} = 10^{-3} \cdot UL_{dint} \cdot (\theta_m - \theta_{amb}) \tag{Eq 151}$$

Pour le chaud et pour le froid.

Les pertes des réseaux intergroupes et des circulateurs sont considérées non récupérables.

11.2 DISTRIBUTION DE FLUIDE FRIGORIGENE

Les pertes de distribution de fluides frigorigènes dans le cas de réseaux centralisés sont considérées conventionnellement comme équivalentes à celles du réseau de référence si elles ne sont pas intégrées à la détermination de l'efficacité de génération.

11.3 TRANSFERT DE CHALEUR ENTRE LOCAUX

11.3.1 POMPES A CHALEUR SUR BOUCLE D'EAU

Les pompes à chaleurs sont traitées comme des groupes frigorifiques eau / air.

La boucle d'eau, elle, assure les transferts entre PAC de groupes différents et ainsi reçoit les rejets thermiques des pompes à chaleur en mode froid et fournit de chaleur aux machines en mode chaud. Elle est reliée à une source de chaleur et à une tour de refroidissement.

Les étapes de la prise en compte de la boucle d'eau sont les suivantes :

- Calcul de la somme de rejets de chaleur et de la somme des "rejets de froid" en direction de la boucle à l'aide des besoins respectivement de froid et de chaleur des groupes, et respectivement des $EER_{\text{corrigé}}$ et des $COP_{\text{corrigé}}$ des machines,
- Calcul de la chaleur à fournir à la boucle par un dispositif externe et la chaleur à évacuer à l'aide d'une tour de refroidissement.

Ainsi après le calcul de la distribution, les aspects de transfert de chaleur entre locaux sont traités. Le principe est de considérer pour chaque pas de temps un ratio d'efficacité de transfert, Ret :

$$Ptr = \min | Prej_{ch} ; Prej_{fr} | \cdot Ret \quad \text{Eq 152}$$

Avec :

Ptr : puissance transférée entre PAC par la boucle d'eau,

$Prej_{ch}$: rejet de chaleur des PAC en mode froid,

$Prej_{fr}$: rejet de froid des PAC en mode chaud, (>0).

Conventionnellement, Ret est fixé à 0,8.

Les puissances à fournir par les équipements de la boucle sont alors égales à :

$$\text{En chauffage,} \quad P_{ch} = Prej_{fr} - Ptr \quad \text{Eq 153}$$

$$\text{En refroidissement, } (>0) \quad P_{fr} = Prej_{ch} - Ptr \quad \text{Eq 154}$$

Exemple : $Prej_{ch} = 100 \text{ kW}$ $Prej_{fr} = 50 \text{ kW}$ $Ret = 0,8$

$Ptr = \min | 100 ; 50 | \cdot 0,8 = 40 \text{ kW}$

$P_{fr} = 100 - 40 = 60 \text{ kW}$ $P_{ch} = 50 - 40 = 10 \text{ kW}$

Remarque : les valeurs de $EER_{\text{corrigé}}$ et des $COP_{\text{corrigé}}$ pour le calcul de C_{CH} et de C_{FR} sont des valeurs annuelles moyennes. On utilise ces valeurs à chaque pas de temps.

11.3.2 LES SYSTEMES A DEBIT DE REFRIGERANT VARIABLE ET LES THERMOFRIGOPOMPES

Dans ce paragraphe, est traité uniquement le système à débit de réfrigérant variable 3 tubes.

La procédure de couplage entre chaque groupe et son système d'émission décrite au § 13, permet de déterminer les besoins de chaque groupe. Les étapes sont les suivantes :

- l'énergie requise, distribution incluse, en chaud et en froid (Besoins_{CHAUD}, Besoins_{FROID}) et les consommations d'énergie correspondantes (C_{CH} , C_{FR}) sont calculés comme défini en §15.4.2.2
- en considérant conventionnellement un ratio d'efficacité de transfert de l'énergie du compresseur au fluide frigorigène, les rejets de chaleur disponibles en fonctionnement froid, Rejet_{CH}, sont calculé par :

$$\text{Rejet}_{CH} = \text{Besoins}_{FROID} + \text{Ret} \cdot C_{FR} \quad \text{Conventionnellement, Ret est fixé à 0,8.}$$

- si Rejet_{CH} est supérieur à Besoins_{CHAUD}, la fourniture de chaleur est assurée gratuitement par le fonctionnement en froid. La consommation liée au fonctionnement en chaud, C_{CH} , est alors prise nulle.

Sinon, on considère que la fourniture de froid est assurée gratuitement par le fonctionnement en chaud. La consommation C_{FR} liée au fonctionnement en froid est alors prise nulle.

Remarque : les valeurs de $EER_{\text{corrigé}}$ et des $COP_{\text{corrigé}}$ pour le calcul de C_{CH} et de C_{FR} sont des valeurs annuelles moyennes. On utilise ces valeurs à chaque pas de temps.

12. TRAITEMENT ET DISTRIBUTION D'AIR

Les systèmes à air traités ici sont des systèmes qui assurent tout ou partie des fonctions suivantes :

- Ventilation d'hygiène ou de confort
- Traitement de l'air : préchauffage, pré-refroidissement et humidification

Dans le présent chapitre, on détermine :

- Les caractéristiques de l'air entrant en termes de débit, température et humidité
- La consommation d'énergie qui permet d'assurer le traitement et la distribution de l'air.

Le § 12.1 traite des centrales double flux sans variation de débit d'air pour le refroidissement et des centrales double flux hygiénique.

Le § 12.2 traite des centrales double flux avec variation de débit d'air pour le refroidissement.

Le § 12.3 traite des groupes d'extraction simple flux.

Pour l'ensemble de ces systèmes, les pertes des réseaux aérauliques sont négligées.

12.1 CENTRALES DOUBLE FLUX SANS VARIATION DE DEBIT D'AIR POUR LE REFROIDISSEMENT ET CENTRALES DOUBLE FLUX HYGIENIQUE

12.1.1 PRINCIPE DE PRISE EN COMPTE

Les centrales à débits soufflé et extrait constants sont utilisées pour le traitement des locaux alors que les centrales double flux hygiénique n'assurent que le prétraitement et la fourniture de l'air hygiénique.

On retient une prise en compte unique sur la base des composants suivants :

- batterie antigel,
- échangeur,
- boîte de mélange
- ventilateurs,
- batteries de préchauffage et pré-refroidissement,
- humidification.

On distingue deux modes de gestion du fonctionnement des ventilateurs des centrales à débits soufflé et extrait constants, voir Tableau 48 et Tableau 49:

1. Fonctionnement permanent possible des ventilateurs en période de chauffage et en période de refroidissement du bâtiment,
2. Ventilateurs arrêtés pendant la phase arrêt du chauffage et pendant la phase arrêt du refroidissement. La phase arrêt est la période d'inoccupation au sens de la ventilation hors phase de relance pour laquelle la demande du groupe est nulle.

Pour le second mode de gestion des ventilateurs :

- tant qu'on est en phase arrêt, la centrale fonctionne avec les débits d'inoccupation sans air neuf,

- si un besoin est détecté, la centrale est mise en marche au pas suivant avec les débits d'occupation sans air neuf et la centrale reste en route jusqu'à la fin de la période d'inoccupation.

Les sorties sont :

- La consommation électrique des ventilateurs ainsi que celles des autres auxiliaires,
- Les besoins de pré-chauffage et de pré-refroidissement (intégrant la déshumidification) par type de générateur.

La consommation équivalente de chauffage de l'humidificateur est soit ajoutée à celle de la batterie de préchauffage si l'humidificateur est de type à ruissellement ou à pulvérisation, soit intégrée au comptage électrique si l'humidificateur est à vapeur.

Le débit d'air pris en compte peut varier (par exemple en occupation et inoccupation), mais doit être prédéfini.

On a négligé les déperditions thermiques par les conduits extérieurs en considérant que ce point est à traiter en termes d'exigences minimales. On a également négligé les fuites des réseaux et centrales installés à l'extérieur.

Pour les centrales double flux avec recyclage et batteries régulées en fonction de la température intérieure, pour garder une organisation simple des calculs notamment pour éviter le croisement de la droite du local avec une centrale de traitement d'air, la centrale réelle est représentée par un système équivalent du point de vue énergétique, composé :

- d'une centrale assurant la fourniture d'air neuf, le soufflage et l'extraction de l'air, ainsi que son prétraitement éventuel.

Elle calcule la consommation électrique des auxiliaires et les consommations impliquées par un prétraitement de l'air. Cette centrale fournira également les débits massiques soufflés et repris totaux pour le calcul de la pression intérieure, p_{ib} , et le calcul des débits entre groupe (§ 9.2). On intègre également les fonctions de free cooling.

- d'un système local permettant de déterminer les besoins de chauffage et refroidissement.
- d'un réseau hydraulique reliant la batterie de l'émetteur et la génération de chaleur et la génération de froid. On entre la longueur de ce réseau.
- On applique la méthode (§ 10) dans les conditions suivantes :
 - le débit d'eau est variable dans la batterie, T_{bat} est déterminé sur la base des besoins.
 - pas de calcul de consommation de ventilateur, il est pris en compte dans la CTA.

12.1.2 CALCUL DE L'IMPACT DES COMPOSANTS

12.1.2.1 Partie extraction

Le débit masse repris, Q_{ma_rep} (kg/h), est calculé à partir des débits volumiques et de la masse volumique de l'air, $\rho_{rep} = f(T_{i_prev}, w_{i_prev})$, pour l'occupation ou l'inoccupation au sens de la ventilation, selon l'heure, les débits volumiques repris étant les suivants :

$$\begin{aligned} \text{en occupation :} & \quad Q_{va_rep_occ} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \\ \text{en inoccupation :} & \quad Q_{va_rep_inocc} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \end{aligned}$$

La consommation électrique du ventilateur de reprise, P_{vent_rep} , est égale à :

$$\begin{aligned} \text{en occupation :} & \quad P_{vent_rep} = P_{vent_rep_occ} \cdot t \quad (\text{Wh}) \\ \text{en inoccupation :} & \quad P_{vent_rep} = P_{vent_rep_inocc} \cdot t \quad (\text{Wh}) \end{aligned}$$

la puissance électrique du ventilateur de reprise étant :

$$\begin{aligned} \text{en occupation :} & \quad P_{vent_rep_occ} \quad (\text{W}) \\ \text{en inoccupation :} & \quad P_{vent_rep_inocc} \quad (\text{W}) \end{aligned}$$

La température de l'air à la sortie du ventilateur de reprise, T_{s_rep} , est égale à :

$$T_{s_rep} = T_{i_prev} + p\text{-el} \cdot P_{vent_rep} / (Q_{ma_rep} \cdot 3600^{-1} \cdot C_{pa}) \quad \text{Eq 155}$$

Avec : p-el (-) ratio d'énergie du ventilateur transmise à l'air,

C_{pa} (J/kg/K) chaleur massique de l'air sec.

La valeur conventionnelle de p-el est égale à 0,8.

Remarque :

- la puissance électrique totale des ventilateurs de soufflage et de reprise de la centrale est une entrée du calcul. La puissance électrique du ventilateur de soufflage et la puissance électrique du ventilateur de reprise sont, chacune, égales à la moitié de la puissance totale,
- les débits d'air repris, en occupation et en inoccupation, sont la somme des débits repris en provenance de la partie ventilation (§ 9.2).

12.1.2.2 Partie soufflage

Calcul du débit d'air neuf

Le débit masse soufflé, Q_{ma_sou} (kg/h), est calculé à partir des débits volumiques et de la masse volumique de l'air, $\rho_{sou} = f(T_{sou_CTA_prev}, w_{sou_CTA_prev})$, pour l'occupation ou l'inoccupation au sens de la ventilation, selon l'heure, les débits volumiques soufflés étant les suivants :

$$\begin{aligned} \text{en occupation :} & \quad Q_{va_sou_occ} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \\ \text{en inoccupation :} & \quad Q_{va_sou_inocc} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \end{aligned}$$

Les débits d'air soufflé, en occupation et en inoccupation, sont la somme des débits soufflés en provenance de la partie ventilation.

Débit d'air neuf pour les centrales à double flux hygiénique

Pour les centrales double flux hygiénique sans recyclage (présence d'un échangeur et d'une sécurité antigel), le taux d'air neuf est le suivant :

$$\text{Taux} = 1$$

les centrales étant arrêtées en inoccupation au sens de la ventilation.

Débit d'air neuf pour les centrales à double flux à recyclage

Pour ces centrales on distingue deux types de fonctionnement du cycle économiseur (free cooling) ;

Dans le premier cas, le taux d'air neuf est minimal en mode refroidissement, il est calculé de la façon suivante :

$$\begin{aligned} \text{Si } T_{\text{ext}} < T_{\text{enc}} & \quad \text{Taux} = \text{Taux}_{\text{AN}} \\ \text{Si } T_{\text{ext}} > T_{\text{enf}} & \quad \text{Taux} = \text{Taux}_{\text{AN}} \end{aligned} \quad \text{Eq 156}$$

$$\text{Sinon } \text{Taux} = \text{Taux}_{\text{AN}} + (1 - \text{Taux}_{\text{AN}}) \cdot (T_{\text{ext}} - T_{\text{enc}}) / (T_{\text{enf}} - T_{\text{enc}})$$

Dans le second cas, on maintient un débit d'air neuf supérieur au débit minimal en mode froid si la température extérieure est supérieure à la température intérieure :

$$\begin{aligned} \text{Si } T_{\text{ext}} < T_{\text{enc}} & \quad \text{Taux} = \text{Taux}_{\text{AN}} \\ \text{Sinon si } T_{\text{enc}} \leq T_{\text{ext}} \leq T_{\text{enf}} & \end{aligned} \quad \text{Eq 157}$$

$$\text{Taux} = \text{Taux}_{\text{AN}} + (1 - \text{Taux}_{\text{AN}}) \cdot (T_{\text{ext}} - T_{\text{enc}}) / (T_{\text{enf}} - T_{\text{enc}})$$

$$\text{Sinon} \quad \text{Si } T_{\text{ext}} > T_{\text{enf}} \text{ et si } T_{\text{ext}} < T_{i_{\text{prev}}} \quad \text{Taux} = 1$$

$$\text{Sinon} \quad \text{Si } T_{\text{ext}} > T_{\text{enf}} \text{ et si } T_{\text{ext}} > T_{i_{\text{prev}}} \quad \text{Taux} = \text{Taux}_{\text{AN}}$$

Finalement le débit d'air neuf est calculé comme suit :

$$Q_{\text{AN}} = \text{Taux} \cdot Q_{\text{ma}_{\text{sou}}}$$

La température extérieure conventionnelle, T_{enc} , en dessous de laquelle le taux d'air neuf est minimal est égale à 15 °C.

La température extérieure conventionnelle, T_{enf} , au-dessus de laquelle le taux d'air neuf peut être minimal est égale à 25 °C.

Taux_{AN} est le taux minimal d'air neuf dans l'air soufflé en occupation au sens de la ventilation pour assurer les besoins hygiéniques. En inoccupation, Taux_{AN} est nul.

Sécurité antigel

$T_{\text{sech}_{\text{repLIM}}}$ est la température limite basse de sortie de l'échangeur côté rejet. La température de sortie côté rejet ne doit pas descendre en dessous de cette valeur afin d'éviter le givrage de l'échangeur. On maintient donc la température de l'air neuf à l'entrée de l'échangeur, T_{echmin} , au-dessus de la valeur donnée par la formule suivante :

$$\begin{aligned} T_{\text{echmin}} &= T_{\text{rep}} + (T_{\text{sech}_{\text{repLIM}}} - T_{\text{rep}}) / \text{Eff}_{\text{ech}} \\ \text{Avec : } \text{Eff}_{\text{ech}}, & \text{ efficacité de l'échangeur,} \\ T_{\text{sech}_{\text{repLIM}}} &= 0, \end{aligned} \quad \text{Eq 158}$$

La température d'entrée de l'échangeur côté soufflage, T_{ag} , est alors égale à :

$$T_{\text{ag}} = \max(T_{\text{ext}}, T_{\text{echmin}})$$

La consommation d'énergie due à la sécurité antigel, $P_{\text{chaud}_{\text{ag}}}$, est donnée par :

$$P_{\text{chaud}_{\text{ag}}} = Q_{\text{AN}} \cdot 3600^{-1} \cdot (\max 0 ; (T_{\text{sag}} - T_{\text{ext}})) \cdot C_{\text{pa}} \quad \text{Eq 159}$$

Echangeur de chaleur

La température de l'air en sortie de l'échangeur côté soufflage est égale à :

$$T_{\text{ech}} = T_{\text{sag}} + \text{Eff}_{\text{ech}} \cdot (T_{\text{rep}} - T_{\text{sag}}) \quad \text{Eq 160}$$

La consommation électrique des auxiliaires de l'échangeur est égale à :

$$C_{\text{elec}_{\text{ech}}} = P_{\text{elec}_{\text{ech}}} \cdot t$$

Avec : Eff_{ech} , efficacité de l'échangeur,

$P_{\text{elec}_{\text{ech}}}$, puissance électrique des auxiliaires, (W),

$t = 1$ heure.

L'efficacité de l'échangeur prend une des valeurs suivantes :

- soit la valeur issue de la certification si le produit est certifié,
- soit $\text{Eff}_{\text{ech}} = 0,9 \cdot \text{Eff}_{\text{decl}}$, Eff_{decl} étant la valeur déclarée par le fabricant.

Le by-passage de l'échangeur pour améliorer le confort d'été ou réduire les besoins de refroidissement est pris en compte par les deux modes suivants :

1) arrêt manuel ou automatique de l'échangeur hors période de chauffe. En cas d'arrêt manuel le dispositif de commande doit être situé dans le même local que le générateur et clairement identifié

2) arrêt automatique de l'échangeur en fonction de la température extérieure. La température extérieure conventionnelle au-dessus de laquelle l'échangeur est arrêté est égale à 15 °C.

Boîte de mélange

La température et l'humidité de l'air en sortie de la boîte de mélange sont égales à :

$$T_{\text{mél}} = (T_{\text{ech}} \cdot Q_{\text{AN}} + T_{\text{rep}} \cdot (Q_{\text{ma}_{\text{sou}}} - Q_{\text{AN}})) / Q_{\text{ma}_{\text{sou}}} \quad \text{Eq 161}$$

$$w_{\text{mél}} = (w_{\text{ext}} \cdot Q_{\text{AN}} + w_{\text{prev}} \cdot (Q_{\text{ma}_{\text{sou}}} - Q_{\text{AN}})) / Q_{\text{m}_{\text{sou}}} \quad \text{Eq 162}$$

Avec : w_{ext} , humidité spécifique de l'air extérieur, (kg/kg).

Ventilateur

La consommation électrique du ventilateur de soufflage, $P_{\text{vent}_{\text{sou}}}$, est égale à :

$$\text{en occupation : } P_{\text{vent}_{\text{sou}}} = P_{\text{vent}_{\text{sou}_{\text{occ}}}} \cdot t \quad (\text{Wh})$$

$$\text{en inoccupation : } P_{\text{vent}_{\text{sou}}} = P_{\text{vent}_{\text{sou}_{\text{inocc}}}} \cdot t \quad (\text{Wh})$$

la puissance électrique du ventilateur de soufflage étant :

$$\text{en occupation : } P_{\text{vent}_{\text{sou}_{\text{occ}}}} \quad (\text{W})$$

$$\text{en inoccupation : } P_{\text{vent}_{\text{sou}_{\text{inocc}}}} \quad (\text{W})$$

La température d'air à la sortie du ventilateur de soufflage, $T_{s_{sou}}$, est égale à :

$$T_{s_{sou}} = T_{s_{mel}} + p-el \cdot P_{vent_{sou}} / (Q_{ma_{sou}} \cdot 3600^{-1} \cdot C_{pa}) \quad \text{Eq 163}$$

Avec : $p-el(ad)$ ratio d'énergie du ventilateur transmise à l'air.

La valeur conventionnelle de $p-el$ est égale à 0,8.

Le ventilateur de soufflage est traité avant le préchauffage et le pré-refroidissement de façon à intégrer l'échauffement du ventilateur dans le bilan. En effet, dans la réalité la sonde de régulation étant dans le groupe, l'apport dû au ventilateur est pris en compte. Cette disposition est sans effet sur les consommations et simplifie les calculs.

Préchauffage

La température de sortie du préchauffage, $T_{s_{prechaud}}$, est calculée de la façon suivante :

$$T_{s_{prechaud}} = \max(T_{c_{prechaud}}, T_{s_{sou}})$$

$T_{c_{prechaud}}$, étant la consigne de préchauffage.

Tant que la température extérieure est inférieure à la température conventionnelle de préchauffage, fixée à 12 °C, la consigne de préchauffage est égale à 20 °C. Lorsque la température extérieure devient supérieure, le préchauffage est arrêté.

La consommation d'énergie, (Wh), est alors la suivante :

$$P_{prechaud} = Q_{ma_{sou}} \cdot 3600^{-1} \cdot C_{pa} \cdot (\max(T_{c_{prechaud}}, T_{s_{sou}}) - T_{s_{sou}}) \quad \text{Eq 164}$$

Pré-refroidissement

La déshumidification sur la batterie de refroidissement, D_w , est déterminée à partir du calcul du facteur de by-pass équivalent, BP :

$$BP = \min(1 ; (T_{c_{prerefroid}} - T_{batt}) / (T_{s_{prechaud}} - T_{batt})) \quad \text{Eq 165}$$

$$D_w = \min((w_{sat} - w_{s_{mel}}) ; 0) \cdot (1 - BP) \quad \text{Eq 166}$$

Avec : $T_{c_{prerefroid}}$, consigne de pré-refroidissement,

T_{batt} , température de surface de batterie,

$w_{s_{mel}}$, humidité en sortie de boîte de mélange, (kg/kg),

w_{sat} , humidité de l'air à saturation à la température de la batterie, déterminée à partir de T_{bat} .

La consommation d'énergie, (Wh), la température et l'humidité de sortie sont données par :

$$T_{s_{prerefroid}} = T_{s_{prechaud}} - \max(0 ; (T_{s_{prechaud}} - T_{c_{prerefroid}})) \quad \text{Eq 167}$$

$$w_{s_{prerefroid}} = w_{s_{mel}} - D_w$$

$$P_{prerefroid} = Q_{ma_{sou}} \cdot 3600^{-1} \cdot (C_{pa} \cdot (T_{s_{prerefroid}} - T_{s_{prechaud}}) + L \cdot D_w) \quad \text{Eq 168}$$

Avec : L , chaleur de vaporisation de l'eau, (J/kg).

Tant que la température extérieure est supérieure à la température conventionnelle de pré-refroidissement, fixée à 26°C, la consigne de pré-refroidissement est égale à 26°C. Lorsque la température extérieure devient inférieure, le pré-refroidissement est arrêté.

Nota: cette modélisation pourra être adaptée pour la prise en compte d'une régulation progressive de la température d'eau dans la batterie.

La valeur du facteur de by-pass conventionnel est égale à 0,8.

L'écart conventionnel de température entre la batterie et l'eau froide est égal à 2 K.

Humidification

La température de sortie est égale à :

$$T_{\text{SOU}_{\text{CTA}_r}} = T_{\text{S}_{\text{prerefroid}}}$$

L'humidité spécifique de sortie à :

$$w_{\text{SOU}_{\text{CTA}}} = w_{\text{S}_{\text{prerefroid}}} + \max(0 ; (w_{\text{cons}} - w_{\text{S}_{\text{prerefroid}}})) \quad \text{Eq 169}$$

la consommation de chauffage à :

$$P_{\text{chaudHR}} = Q_{\text{ma}_{\text{sou}}} \cdot 3600^{-1} \cdot L \cdot \max(0 ; (w_{\text{cons}} - w_{\text{S}_{\text{prerefroid}}})) \quad \text{Eq 170}$$

w_{cons} : consigne d'humidification, kg/kg.

La consigne d'humidification conventionnelle est égale à 0,005 kg/kg.

Remarques :

Les consommations électriques des auxiliaires sont cumulées séparément.

Les batteries antigel, de préchauffage, de pré-refroidissement sont reliées chacune à un générateur (électricité, chaleur, froid).

L'humidificateur est relié à un générateur selon son type : à vapeur, il est relié à un générateur électrique ; autre, il est relié au même générateur que la batterie de préchauffage.

Les unités de toiture

Les unités de toiture sont représentées par :

- une centrale à débits soufflé et extrait constants ne comportant qu'une veine de soufflage comprenant un ventilateur et un registre de mélange, la partie thermodynamique étant traitée dans la génération,
- un émetteur local (§ 12.1.1),
- un réseau hydraulique reliant l'émetteur local à la génération si la génération est centralisée. On entre alors la longueur de ce réseau.

12.2 CENTRALES DOUBLE FLUX A DEBIT D'AIR VARIABLE EN REFROIDISSEMENT

12.2.1 PRINCIPE DE PRISE EN COMPTE

Les centrales à débit d'air variable sont utilisées pour le traitement des locaux.

On distingue deux modes de gestion du fonctionnement des ventilateurs des centrales à débit d'air variable, voir Tableau 48 et Tableau 49:

- fonctionnement permanent possible des ventilateurs en période de chauffage et en période de refroidissement du bâtiment,

- ventilateurs arrêtés pendant la phase arrêt du chauffage et pendant la phase arrêt du refroidissement. La phase arrêt est la période d'inoccupation au sens de la ventilation hors phase de relance pour laquelle la demande du groupe est nulle.

Pour le second mode de gestion des ventilateurs, le débit minimal soufflé dans la zone neutre de fonctionnement de l'unité terminale (voir Figure 10) est nul.

Pour les autres éléments, on se reportera § 12.1.1.

La centrale DAV est scindée en deux parties :

- Partie 1

Calcul du débit massique minimal et du débit massique en chaud soufflé, pour tous les groupes,

Calcul du débit massique minimal et du débit massique en chaud repris, pour tous les groupes,

Calcul du débit massique minimal d'air neuf,

Calcul de la température de soufflage.

Après la partie 1 a lieu le couplage des groupes avec les systèmes d'émission, voir § 13

- Partie 2

Calcul des débits réels totaux soufflés et repris,

Calcul du débit d'air neuf, compte tenu des possibilités de cycle économiseur,

Calcul des consommations.

12.2.2 CALCUL DE L'IMPACT DES COMPOSANTS

12.2.2.1 Partie 1

Calcul des débits massiques soufflés : minimal et en mode chauffage

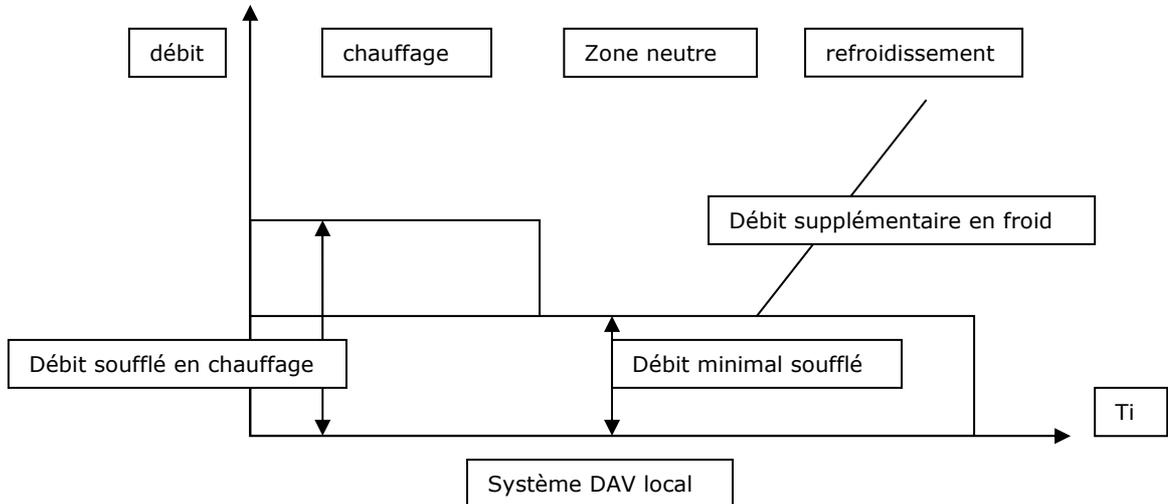


Figure 10 : Principe de fonctionnement de l'unité terminale DAV

Pour l'occupation et l'inoccupation au sens de la ventilation, les débits massiques suivants (en kg/h) sont déterminés à partir des débits volumiques pour chaque groupe alimenté par la CTA :

$$\begin{aligned} \rho_{\text{sou}} &= f(T_{\text{souCTAprev}}, \omega_{\text{souCTAprev}}), \\ Q_{\text{masougr}_{\text{mini}}} &= Q_{\text{vasougr}_{\text{mini}}} \cdot \rho_{\text{sou}} \end{aligned} \quad \text{Eq 171}$$

$$Q_{\text{masougr}_{\text{maxiCH}}} = Q_{\text{vasougr}_{\text{maxiCH}}} \cdot \rho_{\text{sou}} \quad \text{Eq 172}$$

Avec : $Q_{\text{vasougr}_{\text{mini}}}$, débit minimal soufflé dans chacun des groupes desservis, (m^3/h),

$Q_{\text{vasougr}_{\text{maxi}}}$, débit soufflé en mode chauffage dans chacun des groupes desservis quand ils sont en mode chauffage, (m^3/h).

- Calcul des débits massiques repris : minimal et en mode chauffage

$$\begin{aligned} Q_{\text{marepgr}_{\text{mini}}} &= Q_{\text{masougr}_{\text{mini}}} \\ Q_{\text{marepgr}_{\text{maxiCH}}} &= Q_{\text{masougr}_{\text{maxiCH}}} \end{aligned}$$

Les débits calculés pour chaque groupe sont additionnés, on obtient :

$Q_{\text{maTsougr}_{\text{mini}}}$ utilisé dans le couplage.

$Q_{\text{maTsougr}_{\text{maxiCH}}}$ utilisé dans le calcul des échanges à travers l'enveloppe.

$Q_{\text{maTrepgr}_{\text{maxiCH}}}$ utilisé dans le calcul des échanges à travers l'enveloppe.

- Calcul du débit massique minimal d'air neuf

$$\begin{aligned} \text{En occupation} \quad Q_{\text{m}_{\text{ANh}}} &= Q_{\text{maTsougr}_{\text{mini}}} \\ \text{En inoccupation} \quad Q_{\text{m}_{\text{ANh}}} &= 0 \end{aligned} \quad \text{Eq 173}$$

- Calcul de la température de soufflage

En occupation

La température de soufflage est donnée en Figure 11

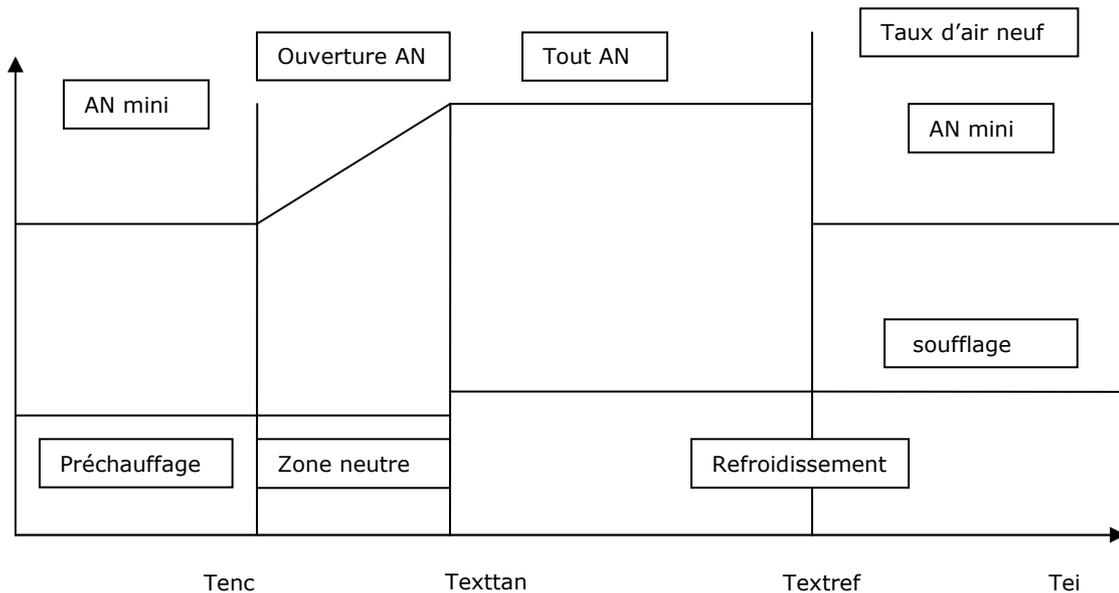


Figure 11 : Principe de fonctionnement de la centrale DAV

Si $Text < Tenc$ $T_{SOU_{CTA}} = T_{C_{prechaud}}$
 Sinon si $Text < Text_{TAN}$ $T_{SOU_{CTA}} = Text_{TAN}$
 Sinon si $Text < Tenf$ $T_{SOU_{CTA}} = T_{C_{prerefroid}}$
 Sinon si $Text \geq Textref$ $T_{SOU_{CTA}} = T_{C_{prerefroid}}$
 $WSOU_{CTA} = WSOU_{CTAprev}$

En inoccupation

Si $Text < Tenc$ $T_{SOU_{CTA}} = Ti$
 Sinon si $Text < Text_{TAN}$ $T_{SOU_{CTA}} = Text_{TAN} + (Ti_{prev} - T_{C_{prechaud}}) * (Text_{TAN} - Text) / (Text_{TAN} - Text_{nc})$
 Sinon si $Text < Tenf$ $T_{SOU_{CTA}} = T_{C_{prerefroid}}$
 Sinon si $Text \geq Textref$ $T_{SOU_{CTA}} = T_{C_{prerefroid}}$
 $WSOU_{CTA} = WSOU_{CTAprev}$

Tant que la température extérieure est inférieure à la température conventionnelle de préchauffage, Tenc fixée à 12 °C, la consigne de préchauffage est égale à 15 °C. Lorsque la température extérieure devient supérieure, le préchauffage est arrêté.

Lorsque la température extérieure est supérieure à la température conventionnelle de fonctionnement en tout air neuf, Text_{TAN} (°C) fixée à 15 °C, et inférieure à la température conventionnelle de refroidissement, Textref (°C) fixée à 25 °C, la centrale fonctionne en tout air neuf.

Lorsque la température extérieure est supérieure à la température conventionnelle de fonctionnement en tout air neuf, Text_{TAN} (°C), la centrale fonctionne en mode refroidissement, la consigne de pré-refroidissement est égale à 15 °C.

Entre Tenc et Text_{TAN} on passe du débit d'air neuf minimal à tout air neuf.

$Q_{maTsougr_{mini}}$ et $T_{sou_{CTA}}$ sont utilisés dans le module croisement.

12.2.2.2 Partie 2

Calcul des débits réels soufflés et repris : après le croisement.

Pour chaque groupe desservi on calcule le débit réel soufflé selon ses besoins :

En mode froid le débit soufflé est égal à :

$$Q_{ma_{sougrFR}} = P_{sys} / (C_p \cdot (T_i - T_{sou_{CTA}}) \cdot 3600) + Q_{ma_{sougrmini}} \quad \text{Eq 174}$$

En mode chaud :

$$Q_{ma_{sougrmaxiCH}} = \rho_{sou} \cdot Q_{va_{sougrmaxiCH}} \quad \text{Eq 175}$$

$$Q_{ma_{souCH}} = Q_{ma_{repCH}} = Q_{ma_{sougrmaxiCH}} \quad \text{Eq 176}$$

En zone neutre :

$$Q_{ma_{souZN}} = Q_{ma_{sougrmini}}$$

Le débit total soufflé par la centrale est égal à la somme des débits soufflés dans tous les groupes desservis :

$$\begin{aligned} Q_{ma_{sou}} &= Q_{ma_{sougrFR}} + Q_{ma_{sougrmaxiCH}} + Q_{ma_{souZN}} \\ Q_{ma_{rep}} &= Q_{ma_{sou}} \end{aligned} \quad \text{Eq 177}$$

Avec : $T_{sou_{CTA}}$, température de soufflage centrale,

P_{sysFR} , besoins en froid pour les groupes desservis, (Wh),

$Q_{ma_{sougrmini}}$, débit minimal soufflé dans les groupes desservis en demande de froid, (kg/h),

$Q_{va_{sougrmaxiCH}}$, débit maximal soufflé dans les groupes desservis en mode chaud, (m³/h).

- **Calcul des débits d'air neuf en occupation et en inoccupation**

Le taux d'air neuf dépend de la température extérieure, voir Figure 11 :

Si $Text < Text_{nc}$

$$Q_{AN} = Q_{m_{ANh}} \quad \text{Eq 178}$$

Sinon si $Text_{nc} \leq Text < Text_{TAN}$

$$Q_{AN} = Q_{m_{ANh}} + [(Q_{ma_{sou}} - Q_{m_{ANh}}) \cdot (Text - Text_{nc}) / (Text_{TAN} - Text_{nc})] \quad \text{Eq 179}$$

Sinon si $Text_{TAN} \leq Text < Text_{ref}$

$$Q_{AN} = Q_{ma_{sou}}$$

Sinon

$$Q_{AN} = Q_{m_{ANh}} \quad \text{Eq 180}$$

- **Partie extraction**

La consommation électrique du ventilateur de reprise, P_{vent_rep} , est égale à :

$$\text{en occupation : } P_{vent_rep} = P_{vent_nom_rep_occ} \cdot C_{vent_DAV} \cdot t \quad (\text{Annexe A})$$

$$\text{en inoccupation : } P_{vent_rep} = P_{vent_nom_rep_inocc} \cdot C_{vent_DAV} \cdot t \quad (\text{Annexe A})$$

la puissance électrique nominale du ventilateur de reprise étant :

$$\text{en occupation : } P_{vent_nom_rep_occ} \quad (\text{W})$$

$$\text{en inoccupation : } P_{vent_nom_rep_inocc} \quad (\text{W})$$

La température de l'air à la sortie du ventilateur de reprise, T_{s_rep} , est égale à :

$$T_{s_rep} = T_i + p\text{-el} \cdot P_{vent_rep} / (Q_{ma_rep} \cdot 3600^{-1} \cdot C_{pa}) \quad \text{Eq 181}$$

Avec : p-el (ad), ratio d'énergie du ventilateur transmise à l'air,

T_i (°C), température amont, égale à la température intérieure,

C_{pa} (J/kg/K), chaleur massique de l'air sec.

La valeur conventionnelle de p-el est égale à 0,8.

Remarque :

La puissance nominale électrique totale des ventilateurs de soufflage et de reprise de la centrale est une entrée du calcul. La puissance électrique du ventilateur de soufflage et la puissance électrique du ventilateur de reprise sont, chacune, égales à la moitié de la puissance totale.

- **Partie soufflage**

Boîte de mélange

La température et l'humidité de l'air à la sortie de la boîte de mélange sont égales à :

$$T_{smél} = (T_{ext} \cdot Q_{AN} + T_{s_rep} \cdot (Q_{ma_sou} - Q_{AN})) / Q_{ma_sou} \quad \text{Eq 182}$$

$$w_{smél} = (w_{ext} \cdot Q_{AN} + w_{i_prev} \cdot (Q_{ma_sou} - Q_{AN})) / Q_{m_sou} \quad \text{Eq 183}$$

Avec : w_{ext} , humidité spécifique de l'air extérieur (kg/kg).

Ventilateur

La consommation électrique du ventilateur de soufflage, P_{vent_sou} , est égale à :

$$\text{Occupation : } P_{vent_sou} = P_{vent_nom_sou_occ} \cdot C_{vent_DAV} \cdot t \quad (\text{Annexe A})$$

$$\text{Inoccupation : } P_{vent_sou} = P_{vent_nom_sou_inocc} \cdot C_{vent_DAV} \cdot t \quad (\text{Annexe A})$$

la puissance électrique nominale du ventilateur de soufflage étant :

$$\text{en occupation : } P_{vent_nom_sou_occ} \quad (\text{W})$$

$$\text{en inoccupation : } P_{vent_nom_sou_inocc} \quad (\text{W})$$

La température de l'air à la sortie du ventilateur de soufflage, T_{s_sou} , est égale à :

$$T_{s_sou} = T_{smél} + p\text{-el} \cdot P_{vent_sou} / (Q_{ma_sou} \cdot 3600^{-1} \cdot C_{pa}) \quad \text{Eq 184}$$

Avec : p-el (ad), ratio d'énergie du ventilateur transmise à l'air.

La valeur conventionnelle de p-el est égale à 0,8.

Le ventilateur de soufflage est traité avant le préchauffage et le pré-refroidissement de façon à intégrer l'échauffement du ventilateur dans le bilan. En effet, dans la réalité la sonde de régulation étant dans le groupe, l'apport dû au ventilateur est pris en compte. Cette disposition est sans effet sur les consommations et simplifie les calculs.

Préchauffage

La température de l'air à la sortie du préchauffage, $T_{sp_{prechaud}}$, est calculée de la façon suivante :

$$T_{sp_{prechaud}} = \max(T_{C_{prechaud}} ; T_{S_{sou}})$$

$T_{C_{prechaud}}$ étant la consigne de préchauffage.

La consommation d'énergie, (Wh), est alors la suivante :

$$P_{prechaud} = Q_{ma_{sou}} \cdot 3600^{-1} \cdot C_{pa} \cdot (T_{sp_{prechaud}} - T_{S_{sou}}) \quad \text{Eq 185}$$

Pré-refroidissement

La déshumidification sur la batterie de refroidissement, D_w , est déterminée à partir du calcul du facteur de by-pass équivalent, BP :

$$BP = \min(1 ; (T_{C_{prerefroid}} - T_{batt}) / (T_{sp_{prechaud}} - T_{batt})) \quad \text{Eq 186}$$

$$D_w = \min((w_{sat} - w_{mel}) ; 0) \cdot (1 - BP) \quad \text{Eq 187}$$

Avec : $T_{C_{prerefroid}}$, consigne de pré-refroidissement,

T_{batt} , température de surface de batterie,

w_{mel} , humidité en sortie de boîte de mélange, (kg/kg),

w_{sat} , humidité de l'air à saturation à la température de la batterie, déterminée à partir de T_{bat} .

La consommation d'énergie, (Wh), la température et l'humidité de sortie sont données par :

Si $T_{ext} > T_{ext_{TAN}}$

$$T_{sp_{prerefroid}} = T_{sp_{prechaud}} - \max(0 ; (T_{sp_{prechaud}} - T_{C_{prerefroid}})) \quad \text{Eq 188}$$

$$w_{sp_{prerefroid}} = w_{mel} - D_w \quad \text{Eq 189}$$

$$P_{prerefroid} = Q_{ma_{sou}} \cdot 3600^{-1} \cdot (C_{pa} \cdot (T_{sp_{prerefroid}} - T_{sp_{prechaud}}) + L \cdot D_w) \quad \text{Eq 190}$$

Sinon

$$T_{sp_{prerefroid}} = T_{sp_{prechaud}}$$

$$w_{sp_{prerefroid}} = w_{mél} \quad (\text{g/kg})$$

$$P_{prerefroid} = 0$$

Avec : L, chaleur de vaporisation de l'eau, (J/kg).

Note : cette modélisation pourra être adaptée pour la prise en compte d'une régulation progressive de la température d'eau dans la batterie.

La valeur du facteur de by-pass conventionnel est égale à 0,8.

L'écart conventionnel de température entre la batterie et l'eau froide est égal à 2 K.

Humidification

La consommation de chauffage, et l'humidité de l'air à la sortie de l'humidificateur sont données par :

$$\text{Si } T_{\text{ext}} < T_{\text{enc}} \\ W_{\text{SOU}_{\text{CTA}}} = W_{\text{S}_{\text{prerefroid}}} + \max(0 ; (w_{\text{cons}} - w_{\text{S}_{\text{prerefroid}}})) \quad \text{Eq 191}$$

$$P_{\text{chaudHR}} = Q_{\text{ma}_{\text{sou}}} \cdot 3600^{-1} \cdot L \cdot \max(0 ; (w_{\text{cons}} - w_{\text{S}_{\text{prerefroid}}})) \quad \text{Eq 192}$$

Sinon

$$W_{\text{SOU}_{\text{CTA}}} = W_{\text{S}_{\text{prerefroid}}}$$

$$P_{\text{chaudHR}} = 0$$

Avec : w_{cons} , consigne d'humidification, kg/kg,

La consigne d'humidification conventionnelle est égale à 0,005 kg/kg.

La température de l'air à la sortie est la suivante : $T_{\text{SOU}_{\text{CTA}}} = T_{\text{S}_{\text{prerefroid}}}$.

12.3 GROUPES D'EXTRACTION SIMPLE FLUX

Les groupes d'extraction simple flux sont calculés en reprenant les parties 'extraction' des deux § précédents selon les cas

12.4 VALEUR PAR DEFAUT

La valeur par défaut de la puissance des ventilateurs est donnée par :

$$1,5 \cdot \text{Préf}$$

Préf est la puissance de référence des ventilateurs

13. COMPORTEMENT THERMIQUE D'UN GROUPE ET COUPLAGE AVEC LE SYSTEME D'EMISSION ET DE DISTRIBUTION

13.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre on décrit la méthode dynamique qui permet le calcul à chaque pas de temps du flux de chaleur ou de froid à fournir par le système de climatisation (chauffage et refroidissement) au local en tenant compte des éléments suivants :

- le climat extérieur
- les scénarios d'occupation du local
- la température de consigne conventionnelle du local
- les caractéristiques des parois composant le local
- les débits de renouvellement d'air
- les apports solaires et apports internes
- les caractéristiques de l'émission de chaleur ou de froid (variations spatio-temporelles et programmation)

Cette méthode est basée sur le modèle thermique décrit ci dessous

13.2 DESCRIPTION GLOBALE DU MODELE THERMIQUE

Le modèle thermique est un modèle dynamique au pas de temps horaire, il est fondé sur les simplifications du transfert de chaleur entre les environnements intérieur et extérieur reportées sur la Figure 12 ci-dessous :

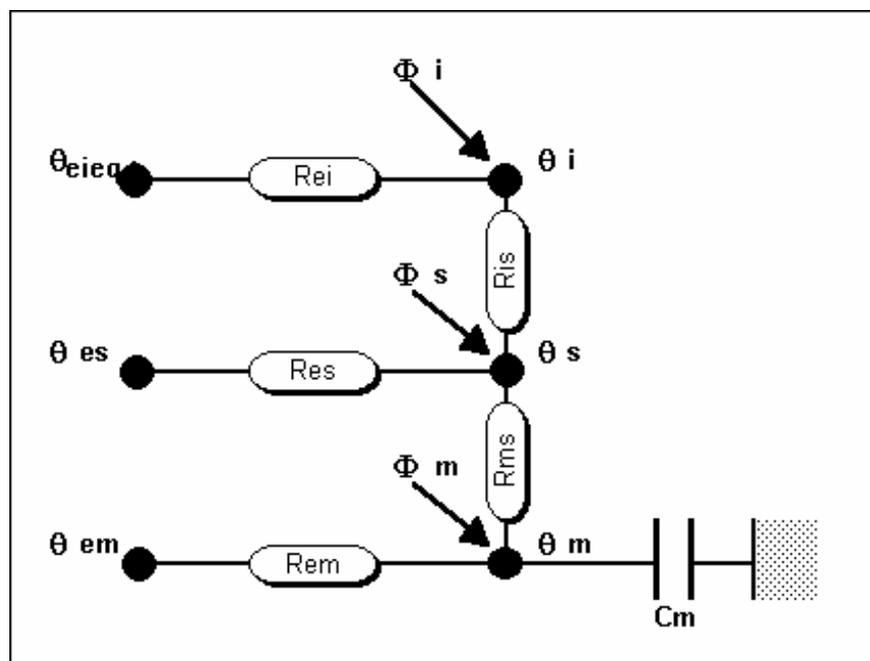


Figure 12 : Schéma du modèle de bâtiment

Selon cette représentation les composants de l'enveloppe sont répartis de la manière suivante :

- composants externes opaques,
- baies,
- composants internes.

Les nœuds associés sont définis par :

- θ_i : température de l'air intérieur,
- θ_s : moyenne de la température de l'air et de la température radiante moyenne pondérées par les coefficients d'échanges convectifs et radiatifs aux parois,
- θ_m : température de masse,
- θ_{ieq} : température de l'air entrant dans le groupe,
- θ_{es} : température d'air extérieur équivalente des baies,
- θ_{em} : température d'air extérieur équivalente des composants externes opaques.

Les conductances équivalentes et la capacité thermique sont ainsi définies :

- H_{gei} : Facteur de transmission thermique dû renouvellement d'air (= $1/R_{ei}$)
- H_{gis} : Facteur de transmission thermique dû aux échanges internes par convection et rayonnement (= $1/R_{is}$)
- H_{ges} : Facteur de transmission thermique global entre les environnements intérieur et extérieur (= $1/R_{es}$)
- H_{gms} : Facteur de transmission interne (= $1/R_{ms}$)
- H_{gem} : Facteur de transmission entre l'environnement extérieur et la surface intérieure (= $1/R_{em}$)
- C_m : capacité thermique du groupe (en kJ/K, déterminée selon la méthode décrite dans les règles Th-Bât dans leur partie inertie Th-I).

Les flux de chaleur (W) considérés sont :

- Φ_i : flux de chaleur au nœud d'air θ_i dû aux sources internes ou au rayonnement solaire direct ou aux apports de chaleur convectifs dus à la lame d'air intérieure ventilée du vitrage
- Φ_s : flux au nœud Star θ_s dû aux sources internes ou au rayonnement solaire direct
- Φ_m : flux au nœud de masse θ_m dû aux sources internes ou au rayonnement solaire direct.

13.3 LES EQUATIONS QUI REGISSENT LE MODELE THERMIQUE

La représentation du modèle thermique telle que décrite dans la figure 8 se traduit par le système d'équations suivant :

- Equation au nœud de température θ_i :

$$\left(\frac{\theta_i - \theta_{ieq}}{R_{ei}} \right) + \left(\frac{\theta_i - \theta_s}{R_{is}} \right) = \phi_i \quad \text{Eq 193}$$

- Equation au nœud de température θ_s :

$$\left(\frac{\theta_s - \theta_{es}}{R_{es}} \right) + \left(\frac{\theta_s - \theta_i}{R_{is}} \right) + \left(\frac{\theta_s - \theta_m}{R_{ms}} \right) = \phi_s \quad \text{Eq 194}$$

- Equation au nœud de température θ_m :

$$C_m \frac{d\theta_m}{dt} + \left(\frac{\theta_m - \theta_{em}}{R_{em}} \right) + \left(\frac{\theta_m - \theta_s}{R_{ms}} \right) = \phi_m \quad \text{Eq 195}$$

En écrivant les résistances sous forme de conductances, le système d'équations précédent s'écrit :

- Equation au nœud de température θ_i :

$$Hg_{ei}(\theta_i - \theta_{eieq}) + Hg_{is}(\theta_i - \theta_s) = \phi_i \quad \text{Eq 196}$$

- Equation au nœud de température θ_s :

$$Hg_{es}(\theta_s - \theta_{es}) + Hg_{is}(\theta_s - \theta_i) + Hg_{ms}(\theta_s - \theta_m) = \phi_s \quad \text{Eq 197}$$

- Equation au nœud de température θ_m :

$$C_m \frac{d\theta_m}{dt} + Hg_{em}(\theta_m - \theta_{em}) + Hg_{ms}(\theta_m - \theta_s) = \phi_m \quad \text{Eq 198}$$

13.4 CALCUL DES TEMPERATURES EXTERIEURES EQUIVALENTES :

Température d'air extérieur équivalente des baies :

$$\theta_{es} = \theta_{ei} + \Phi_{sl} / Hg_{es} \quad \text{Eq 199}$$

Température d'air extérieur équivalente des composants externes :

$$\theta_{em} = \theta_{ei} + \Phi_{sh} \cdot (1 / Hg_{em} + 1 / Hg_{ms}) \quad \text{Eq 200}$$

Avec :

Φ_{sl} : flux de chaleur dû au rayonnement solaire des composants transparents (Eq 88 cf § 9.3.1)

Φ_{sh} : flux de chaleur dû au rayonnement solaire des composants opaques (Eq 91 cf § 9.3.1)

θ_{ei} : Température extérieure exprimée en °C (cf §4)

13.5 CALCUL DE LA CONDUCTANCE THERMIQUE DUE A LA VENTILATION ET DE θ_{EIEQ} :

Les calculs qui suivent se font au niveau du groupe.

$$H_{gei} = m_{eq} \cdot (C_a + C_v \cdot \omega_{eq}) \quad \text{Eq 201}$$

Avec :

m_{eq} : la somme des débits d'air entrants au niveau des parois extérieures du groupe, du débit d'air neuf soufflé au niveau du groupe et du débit d'air en provenance d'autres groupes. Il s'agit ici de débits massiques exprimés en kg/s

ω_{eq} : l'humidité spécifique équivalente de l'air au niveau du groupe en kg/kg

$C_v = 1830 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$: chaleur massique de la vapeur d'air et $C_a = 1006 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$: chaleur massique de l'air

$$m_{eq} = \sum_j Qma_j \quad \text{Eq 202}$$

$$\omega_{eq} = \frac{\sum_j Qma_j \cdot w_j}{\sum_j Qma_j} \quad \text{Eq 203}$$

Enthalpie équivalente :

$$h_j = (C_a + C_v \cdot w_j) \cdot T_j + H_{fg} \cdot w_j \quad \text{Eq 204}$$

$$h_{eq} = \frac{\sum_j h_j \cdot Qma_j}{\sum_j Qma_j} \quad \text{Eq 205}$$

Dans l'équation Eq 204 la température de l'air entrant par les entrées d'air sur une paroi donnant sur un local non chauffé, T_j , est remplacée par $(\theta_i - b_{eq} \cdot (\theta_i - \theta_{ei}))$ dans le calcul de C_{ep} pour tenir compte de la température dans le local non chauffé où est pris l'air neuf.

Le coefficient de réduction de température b_{eq} est un coefficient équivalent pour l'ensemble des entrées d'air déterminé par $(\sum b_i \cdot \text{module}_i) / \sum \text{module}_i$. b_i est calculé conformément aux règles Th-U.

Température équivalente :

$$\theta_{eieq} = \frac{h_{eq} - H_{fg} \cdot \omega_{eq}}{(C_a + C_v \cdot \omega_{eq})} \quad \text{Eq 206}$$

13.6 CALCUL DES AUTRES CONDUCTANCES

$$Hg_{is} = A_{\text{pinterne-groupe}} / (1/h_{ci} - 1/h_{is}) \quad \text{Eq 207}$$

Avec :

$A_{\text{pinterne-groupe}}$: surface totale des parois internes d'échange au niveau du groupe

$$A_{\text{pinterne-groupe}} = 4,5 A_{GR}$$

$$\text{Et } h_{is} = h_{ci} + h_{rs}$$

Hg_{es} correspond aux fenêtres

$$Hg_{es} = \sum_{k=1}^w A_{k\text{-groupe}} \cdot U_{k\text{-groupe}} \quad \text{Eq 208}$$

$A_{k\text{-groupe}}$: Surface de la baie k du groupe

$U_{k\text{-groupe}}$: Coefficient de transmission thermique de la baie k du groupe

$$Hg_{ms} = h_{is} \cdot A_{m\text{-groupe}} \quad \text{Eq 209}$$

Avec :

$A_{m\text{-groupe}}$: Surface d'échange équivalente des parois opaques du groupe avec l'ambiance, déterminée selon la méthode décrite dans les règles Th-Bât dans leur partie inertie Th-I annexe 1.

$$Hg_{em} = 1/ (1/H_{Th\text{-groupe}} - 1/Hg_{ms}) \quad \text{Eq 210}$$

$H_{Th\text{-groupe}}$, facteur de transmission thermique, correspond aux composants opaques du groupe donnant sur l'extérieur et aux ponts thermiques les concernant.

$$H_{Th\text{-groupe}} = A_{T_op\text{-groupe}} * \frac{\sum_{i_groupe} A_{i_op} U_{i_op} b_{i_op} + \sum_{j_groupe} l_{j_op} \psi_{j_op} b_{j_op} + \sum_{k_groupe} \chi_{k_op}}{\sum_{i_groupe} A_{i_op}} \quad \text{Eq 211}$$

$A_{T_op\text{-groupe}}$ est la surface intérieure totale des parois du groupe qui séparent le volume chauffé du groupe de l'extérieur, du sol et des locaux non chauffés

L'indice « _op » indique que les variables de l'Eq 211 concernent les parois opaques ou les ponts thermiques correspondant aux parois opaques.

Nota : la transmittance d'une paroi U doit être calculée pour des valeurs de h_e et de h_i relatives aux conditions d'hiver.

$$h_{ci} = 2,5 \text{ W/m}^2/\text{K} \quad h_{ri} = 5,5 \text{ W/m}^2/\text{K} \quad h_{re} = 5,5 \text{ W/m}^2/\text{K}$$

13.7 DETERMINATION DE LA TEMPERATURE D'AIR ET DE LA TEMPERATURE OPERATIVE :

La résolution des équations Eq 196 à Eq 198 permet la détermination des températures θ_i , θ_s et θ_m .

L'algorithme de calcul utilise le schéma de Crank-Nicholson en considérant un pas de temps d'une heure. Les températures sont moyennées entre les temps t et t-1 sauf pour $\theta_{m,t}$ et $\theta_{m,t-1}$ qui sont les valeurs instantanées de la température de masse aux temps t et t-1.

Pour un pas de temps donné, $\theta_{m,t}$ est calculé à partir de la valeur précédente $\theta_{m,t-1}$ par :

$$\theta_{m,t} = [\theta_{m,t-1} (C_m / 3,6 - 0,5 \cdot (U_3 + Hg_{em})) + \Phi_{mtot}] / [C_m / 3,6 + 0,5 \cdot (U_3 + Hg_{em})] \quad \text{Eq 212}$$

Pour un pas de temps donné, les valeurs moyennes des températures aux nœuds sont données par :

$$\theta_m = (\theta_{m,t} + \theta_{m,t-1}) / 2 \quad \text{Eq 213}$$

$$\theta_s = [Hg_{ms} \cdot \theta_m + \Phi_s + Hg_{es} \cdot \theta_{es} + U_1 \cdot (\theta_{eieq} + \Phi_i / Hg_{ei})] / (Hg_{ms} + Hg_{es} + U_1) \quad \text{Eq 214}$$

$$\theta_i = [Hg_{is} \cdot \theta_s + Hg_{ei} \cdot \theta_{eieq} + \Phi_i] / (Hg_{is} + Hg_{ei}) \quad \text{Eq 215}$$

et la température opérative (moyenne entre la température de l'air et la température radiante moyenne) par :

$$\theta_{op} = P_{top} \cdot \theta_s + (1 - P_{top}) \cdot \theta_i \quad \text{Eq 216}$$

Avec :

$$P_{top} = 0,5 \cdot (1 + h_{ci} / h_{rs})$$

$$h_{rs} = 1,2 \cdot h_{ri}$$

$$U_1 = 1 / (1 / Hg_{ei} + 1 / Hg_{is})$$

$$U_2 = U_1 + Hg_{es}$$

$$U_3 = 1 / (1 / U_2 + 1 / Hg_{ms})$$

Et :

$$\Phi_{mtot} = \Phi_m + Hg_{em} \cdot \theta_{em} + U_3 \cdot [\Phi_s + Hg_{es} \cdot \theta_{es} + U_1 (\Phi_i / Hg_{ei} + \theta_{eieq})] / U_2 \quad \text{Eq 217}$$

Les flux Φ_i , Φ_s et Φ_m sont déterminés dans le paragraphe qui suit.

13.8 FLUX TRANSMIS AUX NŒUDS DE TEMPERATURE

Les flux de chaleur et/ou de froid Φ_i , Φ_s et Φ_m transmis aux nœuds de températures sont donnés par :

$$\begin{aligned} \Phi_i &= \Phi_{svl} + F_{intc} + F_{sysc} + F_{recup} \\ \Phi_s &= P_{rs} \cdot F_{intr} \\ \Phi_m &= P_{rm} \cdot F_{intr} \end{aligned} \quad \text{Eq 218}$$

Φ_{svl} : flux solaire transmis par les baies, il est déterminé par Eq 92 au § 9.3.1

F_{intc} : Flux convectif dû à des sources internes

F_{intr} : Flux radiatif dû à des sources internes

Les sources internes ($F_{intc} = F_{eclc} + F_{intc}$) se composent des apports internes dus à l'éclairage (Eq 13 et Eq 14 cf § 7.5) et des apports de chaleur dus aux occupants et aux machines (cf Tableau 12).

F_{recup} : Flux correspondant aux pertes récupérables : pertes récupérables de distribution de chauffage ou de refroidissement Q_{d-rec} (Eq 151 cf §11.1.3.4) et aux pertes récupérables des ventilateurs locaux $Q_{ventloc-rec}$ (Eq 95 cf § 10.3).

Ces parts récupérables sont réparties dans les différents groupes au prorata de leur surface.

F_{intr} : Flux radiatif dû à des sources internes

F_{sysc} : Flux requis par le système de climatisation

P_{rs} : part radiative des apports internes au nœud θ_s .

$$P_{rs} = (A_{pinterne-groupe} - A_m - H_{ges} / h_{is}) / A_{pinterne-groupe} \quad \text{Eq 219}$$

P_{rm} : part radiative des apports internes au nœud θ_m .

$$P_{rm} = A_m / A_{pinterne-groupe} \quad \text{Eq 220}$$

13.9 COUPLAGE DU GROUPE AVEC LES SYSTEMES D'EMISSION ET DE DISTRIBUTION

On fait le lien entre la demande de chaud ou de froid du groupe et les apports du système d'émission pour le respect des consignes. Dans la procédure de couplage on utilise un système parfait.

Le comportement du groupe est établi par sa droite $P_{sys} = \theta_i \cdot A + B$

A et B sont calculés à l'aide de deux points de fonctionnement, respectivement pour un flux nul (évolution naturelle) et pour un flux convectif de 10 W/m².

Soit θ_{in} , la température d'air intérieure pour une puissance émise nulle calculée avec le modèle du groupe à partir de Eq 196.

Dans la zone neutre, la puissance émise par le système est nulle, soit $\theta_{ich} < \theta_{in} < \theta_{ifr}$

avec : θ_{ich} température de consigne en chauffage

θ_{ifr} température de consigne en refroidissement

La puissance (le flux de chaleur) à injecter sur le nœud θ_i pour le respect des consignes en chaud et en refroidissement est calculée comme suit :

Si $\theta_{in} < \theta_{ich}$ $P_{sys} = \theta_{ich} \cdot A + B$ mode chauffage

Si $\theta_{in} > \theta_{ifr}$ $P_{sys} = \theta_{ifr} \cdot A + B$ mode refroidissement.

14. ENERGIE NECESSAIRE AUX BORNES DE LA PRODUCTION D'ENERGIE POUR LE CHAUFFAGE, LE REFROIDISSEMENT ET L'ECS

14.1 ENERGIE NECESSAIRE AUX BORNES DE LA PRODUCTION D'ENERGIE POUR LE CHAUFFAGE ET LE REFROIDISSEMENT

Le modèle dynamique décrit au § 13 précédent permet de calculer à chaque pas de temps l'énergie à fournir $E_{l\text{-chauff}}$ (respectivement $E_{l\text{-froid}}$) par le système de chauffage (respectivement de refroidissement) pour satisfaire les besoins du local en chaud (respectivement en froid), exprimée en Wh/h.

$E_{z\text{-chauff}}$ (respectivement $E_{z\text{-froid}}$) est l'énergie annuelle à fournir pour le chauffage (respectivement pour le refroidissement) pour l'ensemble de la zone. Elle correspond à la somme de l'énergie à fournir par les systèmes de chauffage (respectivement de refroidissement) calculée par le modèle dynamique et des pertes brutes de distribution des systèmes de chauffage (respectivement de refroidissement), elle est exprimée en Wh.

$$E_{z\text{-chauff}}^f = \sum_{\text{periode_chauffagee}} \sum_{\text{groupes_z}} (E_{l\text{-chauff}} + Q_{d,\text{chauff}} + Q_{\text{per_em_chaud}}) \quad \text{Eq 221}$$

$$E_{z\text{-froid}}^f = \sum_{\text{periode_refroidissement}} \sum_{\text{groupes_z}} (E_{l\text{-froid}} + Q_{d,\text{froid}} + Q_{\text{per_em_froid}}) \quad \text{Eq 222}$$

Groupes_z étant l'ensemble des groupes de la zone

$Q_{d,\text{chauff}}$ (respectivement $Q_{d,\text{froid}}$) sont les pertes brutes de distribution du système de chauffage (respectivement refroidissement), elles sont déterminées Eq 148 au § 11.1.3.2, exprimées en Wh/h.

$Q_{\text{per_em_chaud}}$ (respectivement $Q_{\text{per_em_froid}}$) sont les pertes au dos des émetteurs intégrés aux parois exprimées en Wh/h pour le chauffage (respectivement le refroidissement), elles sont déterminées Eq 111 au § 10.5.

On note E_{chauff} (respectivement E_{froid}) l'énergie totale à fournir pour le chauffage (respectivement pour le refroidissement) pour l'ensemble du bâtiment, elle est exprimée en Wh.

$$E_{\text{chauff}}^f = \sum_{\text{zones_b}} E_{z\text{-chauff}}^f \quad \text{Eq 223}$$

$$E_{\text{froid}}^f = \sum_{\text{zones_b}} E_{z\text{-froid}}^f \quad \text{Eq 224}$$

zones_b étant l'ensemble des zones du bâtiment.

Cette énergie E_{chauff} (respectivement E_{froid}) ne tient pas compte des pertes récupérées du système de distribution d'ECS, des pertes récupérées du stockage de l'ECS, des pertes récupérées de la génération.

L'énergie à fournir par le système de production de chaleur (respectivement de refroidissement) est l'énergie aux bornes de la génération de chaleur (respectivement de froid) notée $E_{\text{gen-chauff}}$ (respectivement $E_{\text{gen-froid}}$). Par rapport à E_{chauff} (respectivement E_{froid}), elle intègre en plus l'ensemble des pertes récupérées, elle est exprimée en Wh :

$$E_{\text{gen-chauff}}^f = R_{Q_{\text{recuperes_chauff}}} \cdot E_{\text{chauff}}^f \quad \text{Eq 225}$$

$$Ef_{gen-froid} = R_{Qrecuperes_froid} \cdot Ef_{froid} \quad \text{Eq 226}$$

$R_{Qrecuperes_chauff}$ (respectivement $R_{Qrecuperes_froid}$) étant un ratio de correction qui permet de prendre en compte les pertes récupérées en chaud (respectivement en froid), son calcul est déterminé au § 14.1.1 pour le chauffage et au § 14.1.2 pour le refroidissement.

Rappel : les apports récupérables du système d'éclairage ainsi que les pertes récupérables du réseau de distribution de chauffage et de refroidissement sont pris en compte dans le modèle dynamique pour le calcul de $Ef_{I-chauff}$ et $Ef_{I-froid}$

14.1.1 PRISE EN COMPTE DES PERTES RECUPEREES POUR LE CHAUFFAGE

Le ratio pour la prise en compte des pertes récupérées pour le chauffage se calcule ainsi :

$$R_{Qrecuperes-chauff} = \frac{Ef_{chauff} - Q_{recuperes-chauff_bat}}{Ef_{chauff}} \quad \text{Eq 227}$$

On considère que pendant la période de chauffage toutes les pertes récupérées du système d'ECS (distribution et stockage) contribuent aux besoins de chauffage.

$Q_{recupere-chauff_bat}$ étant l'ensemble des pertes récupérées au niveau du bâtiment qui contribuent à la réduction des besoins de chauffage :

$$Q_{recuperes-chauff_bat} = \sum_{zones_b} D_{chauff} \cdot \left[\left(\frac{durecs - durvac_{ecs}}{8760} \right) \cdot Q_{d,w_rec} + Q_{g,w_rec} \right] + \sum_{bat} Q_{gen_rec} \quad \text{Eq 228}$$

Avec :

D_{chauff} : durée annuelle de fonctionnement du chauffage (en heures)

$durecs$: durée annuelle de fonctionnement de l'ECS (en heures)

$durvac_{ecs}$: durée de fonctionnement de l'ECS ramenée à la durée annuelle de vacances (en heures)

Q_{d,w_rec} : pertes récupérées de distribution de l'ECS telles que calculées par Eq 24 du § 8.3 (exprimées en W)

Q_{g,w_rec} : pertes récupérées de stockage de l'ECS telles que calculées par Eq 300 du § 15.5.3 (exprimées en W)

$Q_{gen,rec}$: pertes récupérées de génération telles que calculées Eq 263 au § 15.4.1.6 (exprimées en Wh)

14.1.2 PRISE EN COMPTE DES PERTES RECUPEREES POUR LE REFROIDISSEMENT

Le ratio pour la prise en compte des pertes récupérées pour le refroidissement se calcule ainsi :

$$R_{Qrecuperes-froid} = \frac{Ef_{froid} + Q_{recuperes-froid_bat}}{Ef_{froid}} \quad \text{Eq 229}$$

On considère que,

$Q_{recuperes-froid_bat}$ étant l'ensemble des pertes récupérées au niveau du bâtiment qui contribuent à l'augmentation des besoins de refroidissement, elles intègrent les pertes récupérées de distribution d'ECS et les pertes de stockage de l'ECS mais uniquement pendant le fonctionnement du refroidissement hors période de chauffage.

$$Q_{recuperes-froid_bat} = \sum_{zones_b} D_{froid_hpc} \cdot \left[\left(\frac{durecs - durvac_{ecs}}{8760} \right) \cdot Q_{d,w_rec} + Q_{g,w_rec} \right] \quad \text{Eq 230}$$

Avec :

D_{froid_hpc} : durée annuelle de fonctionnement du refroidissement hors période de chauffage (en heures)

Remarque importante : Le ratio qui permet la prise en compte des pertes récupérées pour le chauffage ou pour le refroidissement est calculé au niveau du bâtiment, il permet aussi de calculer l'énergie aux bornes des générateurs par zone :

$$Ef_{gen-chauff_zone} = R_{Qrecuperes_chauff} \cdot Ef_{z-chauff} \quad \text{Eq 231}$$

$$Ef_{gen-froid_zone} = R_{Qrecuperes_froid} \cdot Ef_{z-froid} \quad \text{Eq 232}$$

14.2 CALCUL DE L'ENERGIE NECESSAIRE AUX BORNES DE LA PRODUCTION POUR L'ECS

L'énergie annuelle à fournir par le système de production d'ECS $Ef_{gen-ECS}$ pour l'ensemble du bâtiment est l'énergie aux bornes de la production d'ECS, en plus de l'énergie nécessaire pour satisfaire les besoins d'ECS, elle intègre les pertes brutes de distribution de l'ECS :

$$Ef_{gen-ECS} = \sum_{annee} \sum_{zones_b} (Q_w + Q_{d,w}) \quad \text{Eq 233}$$

Avec :

Q_w : Energie nécessaire pour préparer l'ECS telle que calculée Eq 15 au 8.1 exprimée en Wh/h

$Q_{d,w}$: pertes brutes de distribution de l'ECS telles que calculées Eq 17 au § 8.2 exprimée en Wh/h

15. GENERATION, STOCKAGE ET TRANSFERT DE CHALEUR, DE FROID POUR LE CHAUFFAGE, LE REFROIDISSEMENT ET L'ECS

15.1 INTRODUCTION

La chaleur ou le froid fournis au bâtiment ou à une partie de bâtiment pour le chauffage, le refroidissement et l'ECS peuvent provenir de l'une ou de plusieurs des sources ci-dessous :

- Les **générateurs** qui fournissent l'énergie directement au bâtiment ou partie de bâtiment,
- Les **générateurs « stockeurs »**, c'est le cas de certains générateurs pour l'ECS qui assurent les deux fonctions de génération et de stockage dans le même appareil,
- Les **éléments de stockage** reliés aux générateurs,
- Les **réseaux de chaleur ou de froid** qui transfèrent la chaleur ou le froid à partir d'une station,
- Les **systèmes solaires thermiques**.

Cette partie permet selon les sources citées ci-dessus de prendre en compte l'efficacité de la génération, du stockage et du transfert de chaleur de froid et d'ECS, elle est structurée en 5 sous parties, chacune d'elles est consacrée à l'une de ces sources.

Pour **les générateurs**, la méthode de calcul est décrite au § 15.4; elle prend en compte :

- L'efficacité du générateur à travers :
 - Un rendement conventionnel annuel moyen de génération pour les générateurs à combustion
 - Un rendement de génération égal à 1 pour les générateurs à effet joule direct
 - Un Coefficient de performance annuel pour les générateurs thermodynamiques
- La consommation d'énergie des auxiliaires de génération
- Les pertes récupérées du générateur

Pour **les éléments de stockage**, la méthode de calcul est décrite au §15.5, elle prend en compte :

- Les pertes de stockage
- Les pertes de stockage récupérées

Pour **les générateurs stockeurs**, la méthode de calcul est décrite au § 15.6 , elle prend en compte :

- L'efficacité du générateur-stockeur à travers un rendement conventionnel annuel moyen « global » de génération qui intègre l'efficacité du générateur et les pertes de stockage
- La consommation d'énergie des auxiliaires de génération
- Les pertes récupérées du générateur stockeur

Pour **les réseaux de chaleur et de froid**, la méthode de calcul est décrite au §15.7, elle prend en compte :

- Les pertes du système de transfert de chaleur
- Les pertes récupérées du système de transfert de chaleur

Le solaire thermique représente un cas à part, il est traité au § 15.8 .

On traite selon le type du générateur, le chauffage des locaux, le refroidissement des locaux et la production d'ECS. On traite également le cas de générateurs mixtes qui assurent le chauffage et l'ECS.

15.2 CHARGE DE LA GENERATION

La charge de la génération s'obtient en additionnant l'ensemble des besoins des émetteurs et des pertes de distribution correspondant aux circuits de chauffage, de refroidissement et d'eau chaude sanitaire.

On additionne donc,

1) Pour le chaud (chauffage + ECS) :

- les besoins de chauffage,
- les besoins de préchauffage des centrales de traitement d'air,
- les besoins d'eau chaude sanitaire,
- les pertes au dos des émetteurs,
- les pertes de distribution de chauffage.

2) Pour le refroidissement :

- les besoins de refroidissement,
- les besoins de pré-refroidissement des centrales de traitement d'air
- les pertes au dos des émetteurs,
- les pertes de distribution de refroidissement.

15.3 CHARGE DE CHAQUE GENERATEUR

La répartition des charges entre les générateurs dépend de leur mode de gestion. On distingue les modes de gestion :

- Sans priorité : Les générateurs sont utilisés simultanément : La puissance fournie par chaque générateur est le rapport entre la puissance que doit fournir la génération et le nombre de générateurs.
- Avec priorité : On utilise prioritairement les générateurs les plus performants. Ceci conduit à avoir un certain nombre de générateurs fonctionnant à pleine charge, d'autres à charge partielle et le reste ne fournissant aucune puissance.

15.4 LES GENERATEURS DE CHALEUR ET DE REFROIDISSEMENT

15.4.1 LES GENERATEURS A COMBUSTION

On traite ici :

- les chaudières au gaz ou au fioul,
- les chaudières bois,
- les générateurs d'air chaud fonctionnant au gaz,
- les panneaux et tubes radiants gaz,
- les radiateurs gaz à ventouse,
- les chauffe-eau gaz

On utilise pour le calcul du rendement conventionnel annuel moyen de génération, pour le calcul des pertes récupérées et pour le calcul de la consommation des auxiliaires de génération, les données spécifiques fournies par l'utilisateur :

- les caractéristiques des générateurs telles que décrites ci-dessous pour chaque type de générateur
- le mode de gestion de la génération
- le coefficient de surdimensionnement qui est le rapport entre la puissance nominale du générateur et les déperditions conventionnelles de base de la partie de bâtiment qu'il dessert
- la position de la génération (en volume chauffé ou hors volume chauffé)

15.4.1.1 Caractéristiques des générateurs

- **Chaudières gaz ou fioul**

	Unité ou possibilités	Norme de référence
Puissance nominale P_n en kW pour une température de 70 °C	kW	En 297; EN 303.1; EN 303.2, EN 303.3; EN 304; EN 483; EN 656, EN 677
Type de Chaudière	Standard Basse température Condensation	
Présence de ventilateur ou autre dispositif de circulation d'air ou de produit de combustion dans le circuit de combustion (brûleur à air soufflé, brûleur à air soufflé automatique, brûleur à prémélange total, brûleur atmosphérique assisté d'un ventilateur, ventilateur d'extraction, extracteur des produits de combustion...)	oui/non	
Rendement sur PCI à 100% de charge pour une température d'eau de 70 °C R_{pn}	%	Idem
Rendement sur PCI à charge partielle pour une température d'eau θ_{mes} : R_{Pint}	%	Idem
Pertes à charge nulle pour un écart de température de 30 °C Q_{p0}	W	Idem
Puissance électrique des auxiliaires de génération : $P_{cir.g}$	W	
Température minimum de fonctionnement θ_{min}	°C	

Tableau 58 : Caractérisation des chaudières au gaz et au fioul

Remarque : Pour les chaudières de puissance inférieure à 400 kW le marquage CE est considéré comme une certification. Pour les chaudières de puissance supérieure à 400 kW la mesure du rendement par un organisme accrédité est équivalente à une certification.

En absence de normes européennes, les normes nationales équivalentes peuvent être la référence d'une certification.

- **Chaudières bois**

	Unité ou possibilités	Norme de référence
Puissance nominale P_n en kW pour une température de 70 °C	kW	NF EN303-5; PrEN 12809
Type de Chaudière	Classe 3 Classe 2 Classe 1	
Rendement sur PCI à 100% de charge R_{Pn}	%	Idem
Charge utile minimale P_{min}	W	NF EN303-5
Rendement sur PCI à charge minimale R_{Pint}	%	NF EN303-5
Type de tirage	Naturel / air pulsé	
Type d'alimentation	Automatique/manuelle	
Puissance électrique des auxiliaires de génération : $P_{cir.g}$	W	

Caractérisation des chaudières bois

- **Générateurs d'air chaud**

	Unité ou possibilités	Norme de référence
Puissance nominale P_n en kW pour une température de 70 °C	kW	NF EN 1196; NF EN 778; PrEN 1319; NF EN 621; NF EN 1020; EN 525
Type de générateur	Générateur d'air chaud à condensation Générateur d'air chaud sans condensation Panneau ou tube radiant	
Type de brûleur	Atmosphérique Air pulsé	
Rendement sur PCI à 100% de charge R_{Pn}	%	Idem
Puissance à débit minimal P_{int}	kW	Idem
Rendement sur PCI à charge minimale R_{Pint}^*	%	Idem
Pertes à charge nulle : Q_{p0}^{**}	W	
Puissance électrique des auxiliaires de génération : $P_{cir.g}$	W	
Température minimum de fonctionnement θ_{min}	°C	

Tableau 59 : Caractérisation des générateurs d'air chaud

* Ces valeurs n'apparaissent que pour les systèmes avec régulation modulante ou tout ou peu.

** Cette valeur n'est aujourd'hui pas mesurée. On aura donc recours aux valeurs par défaut décrites plus loin. Elle n'est introduite ici que pour permettre une évolution ultérieure.

- **Tubes et panneaux radiants**

	Unité ou possibilités	Norme de référence
Puissance nominale P_n	kW	NF-E31-401 ; E31-402 ; E31-403-1
Rendement sur PCI R_{Pn}	%	Idem
Avec ventilateur côté émission	Oui/non	
Puissance ventilateur côté émission	W	

Tableau 60 : Caractérisation des tubes et panneaux radiants

- **Radiateurs gaz**

	Unité ou possibilités	Norme de référence
Puissance nominale P_n	kW	pr EN613 ; pr EN 1266
Rendement sur PCI R_{Pn}	%	idem
Avec ventilateur côté combustion	Oui/non	
Puissance ventilateur côté combustion	W	
Avec ventilateur côté émission	Oui/non	
Puissance ventilateur côté émission	W	

Tableau 61 : Caractérisation des radiateurs gaz

- **Chauffe-eau gaz**

	Unité ou possibilités	Norme de référence
Puissance nominale P_n en kW pour une température de 70 °C	kW	EN 26
Rendement sur PCI à 100 % de charge R_{Pn}	%	EN 26

Tableau 62 : Caractérisation des chauffe-eau gaz

15.4.1.2 Modèle générique de calcul du rendement conventionnel annuel moyen de génération pour le chauffage $R_{conv_{chauff}}$

Ce modèle basé sur un profil de charge conventionnel calcule le rendement conventionnel annuel moyen de génération pour le chauffage à partir des pertes calculées au point de fonctionnement x qui font intervenir les pertes aux points de fonctionnement mesurés et à partir des pertes pendant la période de non demande.

Ce modèle s'applique à tous les générateurs à combustion.

15.4.1.2.1 Profils de charge conventionnels

Pour les générateurs à combustion, le calcul du rendement conventionnel annuel moyen pour un générateur donné est basé sur la prise en compte de valeurs conventionnelles de profils de charge.

Le profil de charge conventionnel donne pour chaque intervalle de taux de charge le coefficient de pondération correspondant.

On distingue trois profils de charge conventionnels différents selon le type d'horaire d'occupation tels que définis au Tableau 6 :

- Profil de charge dit 'long ' qui correspond au type d'horaires d'occupation « long».
- Profil de charge dit 'moyen ' qui correspond au type d'horaires d'occupation « moyen ».
- Profil de charge dit 'court ' qui correspond au type d'horaires d'occupation « court»

On rappelle que les types d'horaires d'occupation dépendent du type d'usage de la zone cf. Tableau 5.

Le Tableau 63 ci-dessous décrit les 3 profils de charge conventionnels cités ci-dessus :

Type d'horaires d'occupation	Taux de charge : Tch									
	0 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %
de	0 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %
à	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %	100 %
longs	0,1	0,25	0,2	0,15	0,1	0,1	0,05	0,025	0,025	0
moyens	0,1	0,2	0,2	0,15	0,1	0,075	0,05	0,025	0,025	0,075
courts	0,075	0,2	0,175	0,125	0,1	0,075	0,05	0,025	0,025	0,15

Tableau 63 : Coefficients de pondération (coeff_pond) en fonction du taux de charge (Tch) et du type d'horaires d'occupation

Pour les modalités de calcul, les taux de charge pris en compte sont calculés en milieu de classe, (5 %; 15 % ...) ;

Le coefficient de pondération noté **coeff_pond_x** est affecté au taux de charge noté **Tch_x** qui correspond à l'intervalle [Tch_x-5 % Tch_x+5 % [.

Pour un générateur desservant des zones à types d'horaires d'occupation différents, le profil de charge à retenir est celui qui correspond au type d'usage majoritaire (type d'horaires d'occupation majoritaire) en terme de surface desservie. Dans le cas où la surface desservie est identique, on retiendra le plus long profil (type d'horaires d'occupation : moyens si profils moyens et courts et type d'horaires d'occupation longs si profils moyens et longs ou si profils courts et longs).

15.4.1.2.2 Prise en compte de la puissance installée

Pour une meilleure évaluation des charges partielles dans le calcul du rendement conventionnel des générateurs à combustion, on introduit le coefficient de dimensionnement relatif noté **Cdimref**.

Le coefficient Cdimref est calculé pour l'ensemble des générateurs à combustion desservant une zone de bâtiment, un ensemble de zones de bâtiment ou un ensemble de zones de différents bâtiments.

$$C_{dimref} = \frac{\sum_{gen_i=1}^{gen_N} Pn_{gen_i}}{PCC100} \quad \text{Eq 234}$$

Pn_{gen_i} est la puissance installée du générateur à combustion i , $\sum_{gen_i=1}^{gen_N} Pn_{gen_i}$ est la puissance totale des N générateurs à combustion desservant la zone en question ou l'ensemble de zones en question. (Les zones pouvant appartenir à des bâtiments différents)

PCC100 est la puissance conventionnelle pour le chauffage calculée selon l'annexe C pour la zone de bâtiment ou pour l'ensemble des zones de bâtiments desservies par les N générateurs à combustion. Cette puissance conventionnelle tient compte de la présence éventuelle d'autres sources de chaleur provenant de générateurs autres qu'à combustible.

Dans le cas où un ensemble de générateurs dessert différents bâtiments, le coefficient Cdimref sera calculé pour l'ensemble de ces bâtiments (PCC100 calculée pour l'ensemble des bâtiments).

Le profil de charge conventionnel décrit au § précédent est alors modifié pour la prise en compte du coefficient Cdimref : le coefficient **coeff_pond_{x-dim}** est alors affecté au taux de charge **Tch_{x-dim}**

$$\text{coeff_pond}_{x-dim} = \text{coeff_pond}_x$$

$$Tch_{x-dim} = Tch_x / Cdimref$$

$$\text{Eq 235}$$

Remarque importante : le taux de charge $Tch_{95\%}$ correspondant à la plage [90 % 100 %] n'est pas corrigé par le coefficient de surdimensionnement afin de prendre en compte la relance du chauffage à la puissance nominale disponible. Ainsi, quelque soit la valeur du coefficient $Cdimref$:

$$\mathbf{Tch_{95\%-dim} = Tch_{95\%}} \quad \text{Eq 236}$$

Ce nouveau profil de charge $\{Tch_{x-dim} \text{ coeff_pond}_{x-dim}\}$ sera ensuite corrigé pour prendre en compte un éventuel fonctionnement en cascade du générateur.

15.4.1.2.3 Prise en compte du fonctionnement en cascade des générateurs

Le principe est de gérer successivement la mise en marche des N générateurs à combustion en cascade en fonction du taux de charge du système qui prend en compte le coefficient $Cdimref$: $\mathbf{Tch_{x-dim}}$ et en fonction du mode de gestion des priorités entre générateurs.

La donnée d'entrée est la puissance relative du générateur i notée $Prel(gen_i)$ par rapport à la puissance globale fournie par le système global (les N générateurs en cascade) :

$$Prel(gen_i) = \frac{Pn(gen_i)}{\sum_{i=1}^{i=N} Pn(gen_i)} \quad \text{Eq 237}$$

$Pn(gen_i)$ étant la puissance nominale du générateur i

En partant des valeurs faibles de $\mathbf{Tch_{x-dim}}$ et en fonction du mode de gestion des priorités entre générateurs et de leur puissance relative $Prel(gen_i)$, on détermine pour chaque point de fonctionnement x et pour chaque générateur i :

- sa contribution $\mathbf{CTch_{x-dim}(gen_i)}$ au taux de charge du système Tch_{x-dim}

Cas 1 : gestion avec priorité des N générateurs en cascade (le générateur i-1 étant prioritaire par rapport au générateur i).

$$CTch_{x-dim}(gen_i) = \min(Prel(gen_i) ; Tch_{x-dim} - \sum_{p=1}^{i-1} CTch_{x-dim}(gen_p)) \quad \text{Eq 238}$$

Cas 2 : gestion sans priorité des N générateurs en cascade, chaque générateur i apporte la même contribution au taux de charge du système.

$$CTch_{x-dim}(gen_i) = Tch_{x-dim} / N \quad \text{Eq 239}$$

- son taux de charge final :

$$Tch_{x_final}(gen_i) = \min(1; \frac{CTch_{x-dim}(gen_i)}{Prel(gen_i)}) \quad \text{Eq 240}$$

- son coefficient de pondération final :

$$coeff_pond_{x_final}(gen_i) = \frac{(CTch_{x-dim}(gen_i) / Tch_{x-dim}).coeff_pond_{x-dim}(gen_i)}{\sum_{x=0\%}^{x=100\%} [(CTch_{x-dim}(gen_i) / Tch_{x-dim}).coeff_pond_{x-dim}(gen_i)]} \quad \text{Eq 241}$$

Pour chaque générateur, le profil de charge noté $\{Tch_{x-final} \text{ coeff_pond}_{x-final}\}$ sera utilisé pour le calcul du rendement conventionnel annuel moyen de génération pour le chauffage.

Remarque importante : la part de l'énergie à fournir par chaque générateur i pour le chauffage est :

$$Part_Ef_{chauff}(gen_i) = \sum_{x=0\%}^{x=100\%} (CTch_{x-dim}(gen_i) / Tch_{x-dim}) \cdot coeff_pond_{x-dim} \quad \text{Eq 242}$$

15.4.1.2.4 Température de fonctionnement

La température de fonctionnement de la génération dépend de son mode de gestion. On distingue deux modes de gestion :

- à température constante,
- en fonction de la température extérieure ou de la température intérieure.

Compte tenu de la faible différence entre les impacts des régulations extérieures et des régulations intérieures, on propose de retenir une seule variation de la température de fonctionnement de la génération sur les bases suivantes :

- A 0% de charge, la température de fonctionnement de la génération pour le chauffage est Tgen0. Tgen0 vaut Tgenmin (limite basse de fonctionnement) ou 20°C si la température limite basse n'est pas définie.
- A 100% de charge, la température de fonctionnement de la génération pour le chauffage est la température de dimensionnement conventionnelle Tgen100, fonction du réseau de distribution et des émetteurs associés,
- Entre les deux taux de charge (0% et 100%), la température de fonctionnement de la génération en chauffage est une interpolation linéaire entre Tgen0 et Tgen100 sous contrôle de la limite basse de fonctionnement Tgenmin.

Pour les chaudières sans régulation (température constante), la limite basse de fonctionnement est prise égale à Tgen100. La température de fonctionnement est donc constante et égale à Tgen100.

Le Tableau 64 ci-dessous, donne les valeurs de Tgenmin pour les chaudières standards, à basse température et à condensation,

Type de chaudière	Température limite basse de fonctionnement Tgenmin
Condensation	20
Basse température	35
Standard depuis 1994	45
Standard jusqu'en 1993	50

Tableau 64 : Température limite basse de fonctionnement Tgenmin pour certains types de chaudières

La valeur de Tgen100 dépend de la température de distribution

La température de distribution dépend des types d'émetteurs, elle a connu une évolution en fonction du temps. Le Tableau 65 donne les valeurs de Tgen100 pour différents types d'émetteurs de chaleur à différentes périodes.

Température de distribution/ Type d'émetteur	Période		
	Avant 1980	Entre 1981 et 2000	Après 2000
Basse/ Plancher basse température	60	35	35
Moyenne/ Radiateur à chaleur douce	80	70	60
Haute/ Autres émetteurs	80	70	70

Tableau 65 : Température de fonctionnement des chaudières à 100 % de charge Tgen100

Si un système de génération alimente des réseaux de distribution de températures différentes, la température de fonctionnement est prise égale à la température maximale.

15.4.1.2.5 Pertes à 100% de charge

Pour tous les types de générateurs on connaît le rendement à pleine charge, R_{Pn} en %, et la puissance nominale P_n exprimée en kW.

Les pertes à 100 % de charge s'expriment par la formule suivante :

$$Q_{P100} = \frac{(100 - R_{Pn})}{R_{Pn}} \cdot P_n \quad [\text{kW}] \quad \text{Eq 243}$$

15.4.1.2.6 Pertes pour une charge intermédiaire

La charge intermédiaire P_{int} s'exprime en fonction de P_n

Les pertes à charge intermédiaire s'expriment par la formule suivante :

$$Q_{Pint} = \frac{(100 - R_{Pint})}{R_{Pint}} \cdot P_{int} \quad [\text{kW}] \quad \text{Eq 244}$$

15.4.1.2.7 Pertes au point de fonctionnement « w » situé entre la charge nulle et la charge intermédiaire

Les pertes au point « w » (w % de charge) notées QP_w sont calculées ainsi :

$$QP_w = QP_{int} \cdot (\text{taux de charge } w / \text{taux de charge intermédiaire}) \quad [\text{kW}] \quad \text{Eq 245}$$

15.4.1.2.8 Pertes au point de fonctionnement « x »

En ce qui concerne le chauffage, au point de fonctionnement x [taux de charge x], P_x est la puissance moyenne à fournir par le générateur et QP_x sont les pertes.

QP_x est donnée selon les Eq 246 suivantes :

- QP_x est linéaire entre 0 % de charge et le point de fonctionnement « w »

$$QP_x = [(QP_w - QP_0) / w] \cdot x + QP_0$$

- QP_x est linéaire entre le point « w » et le point à charge intermédiaire « int »

Eq 246

$$QP_x = [(QP_{int} - QP_w) / (int - w)] \cdot x + QP_w - [(QP_{int} - QP_w) / (int - w)] \cdot w$$

- QP_x est linéaire entre le point à charge intermédiaire « int » et le point à 100 % de charge

$$QP_x = [(QP_{100} - QP_{int}) / (1 - int)] \cdot x + QP_{int} - [(QP_{100} - QP_{int}) / (1 - int)] \cdot int$$

15.4.1.2.9 Expression du rendement de génération pour le chauffage

Pour le calcul du rendement conventionnel annuel moyen de génération pour **le chauffage**, on procède en deux étapes :

1. On calcule les puissances moyennes consommées (P_{mcons}) et fournies (P_{mfou}), ce calcul correspond aux heures pendant lesquelles le générateur est en demande de chaleur
2. On prend en compte les pertes pendant la période de non fourniture de chaleur et la présence éventuelle de veilleuse.

Calcul des puissances moyennes consommées et fournies – générateur en fonctionnement

Le profil de charge final à partir duquel le rendement conventionnel annuel du générateur est calculé tient compte du coefficient de surdimensionnement C_{dimref} et du mode de gestion du générateur, on le note : $\{Tch_{x_final} \text{ coeff_pond}_{x_final}\}$, cf Eq 240 et Eq 241.

Pour chaque taux de charge Tch_{x_final} au point de fonctionnement x :

- on calcule dans un premier temps les puissances fournies $P_{fou_{x-fonc}}$ et consommées $P_{cons_{x-fonc}}$ au point de fonctionnement x

$$P_{fou_{x-fonc}} = P_x \cdot \text{coeff_pond}_{x_final} \quad \text{Eq 247}$$

$$P_{cons_{x-fonc}} = P_{fou_{x-fonc}} \cdot \frac{P_x + QP_x}{P_x} \quad \text{Eq 248}$$

avec $P_x = P_n \cdot Tch_{x_final}$

- on calcule ensuite les puissances **moyennes** fournies P_{mfou} et consommées P_{mcons}

$$P_{mfou} = \sum_{x=0\%}^{x=100\%} P_{fou_{x-fonc}} \quad \text{Eq 249}$$

$$P_{mcons} = \sum_{x=0\%}^{x=100\%} P_{cons_{x-fonc}} \quad \text{Eq 250}$$

Prise en compte des pertes à l'arrêt pendant la période de non demande de chaleur et prise en compte de la veilleuse

On considère que pendant une partie du temps de la période de non fourniture de chaleur, les pertes du générateur sont égales à QP_0 . On exprime cette partie du temps par un ratio $Tauxnf$. $Tauxnf$ est le ratio de temps pendant lequel le générateur a des pertes alors qu'il est hors demande au temps de fourniture de chaleur.

On considère la consommation de la veilleuse de puissance P_{veil} pendant un temps de fonctionnement qu'on exprime par un ratio $Tauxveil$. $Tauxveil$ est le ratio de temps de fonctionnement de la veilleuse au temps de fourniture de chaleur.

Les valeurs de $Tauxnf$ et $Tauxveil$ sont données de manière conventionnelle selon le Tableau 66 qui suit :

	Tauxnf	Tauxveil
Générateur maintenu en température	0.6	1
Générateur non maintenu en température	0.3	1

Tableau 66 : Valeurs conventionnelles de Tauxnf et Tauxveil

Calcul du rendement conventionnel annuel moyen de génération de chauffage :

$R_{conv_{chauff}}$

$$R_{conv_{chauff}} = \frac{P_{mfou}}{P_{mcons} + Tauxnf \cdot QP_0 + Tauxveil \cdot P_{veil}} \quad \text{Eq 251}$$

15.4.1.3 Récapitulatif pour le calcul du rendement conventionnel annuel moyen de génération pour le chauffage

L'expression du rendement conventionnel annuel moyen de génération de chauffage donnée par Eq 251 ci-dessus est générique pour l'ensemble des générateurs à combustion.

Dans le tableau qui suit, on indique s'il y a lieu les spécificités à prendre en compte pour le calcul de $R_{conv_{chauff}}$ en fonction des types de générateurs à combustion.

	Chaudière gaz ou fioul	Chaudière bois	Générateurs d'air chaud gaz	Radiateurs gaz	Tubes et panneaux radiants
Point int En %	30%	Ce n'est pas une caractéristique produit. Déterminé à partir de P_{min} : $[P_{min}/P_n].100$	Ce n'est pas une caractéristique produit. Par défaut : 50%	Pas nécessaire	Pas nécessaire
P_{int}	$0,3P_n$	P_{min} : caractéristique produit	$0,5P_n$	Pas nécessaire	Pas nécessaire
$R_{P_{int}}$	C'est une donnée d'entrée = caractéristique produit ou valeur par défaut Correction de cette donnée d'entrée selon Eq 253	C'est une donnée d'entrée = caractéristique produit ou valeur par défaut	C'est une donnée d'entrée = caractéristique produit ** ou valeur par défaut	Pas nécessaire	Pas nécessaire
$Q_{P_{int}}$	Cf modèle générique	Cf modèle générique	Cf modèle générique	Pas nécessaire	Pas nécessaire
Point w	<ul style="list-style-type: none"> • 15% [BT et cond] ** • Int [autres] 	int	int	Pas nécessaire	Pas nécessaire
P_w	<ul style="list-style-type: none"> • $0,15 P_n$ [BT et cond] • Pint [autres] 	Pint	Pint	Pas nécessaire	Pas nécessaire
Q_{P_0}	$Q_{P_{030}}$ est une donnée d'entrée = caractéristique produit ou valeur par défaut Q_{P_0} : cf. Eq 254	Q_{P_0} n'est pas une caractéristique produit Son expression est donnée selon Eq 255	Donnée d'entrée = caractéristique produit ou valeur par défaut	Pas nécessaire	Pas nécessaire
R_{P_n}	Donnée d'entrée = caractéristique produit ou valeur par défaut Correction de cette donnée d'entrée selon Eq 252	Donnée d'entrée = caractéristique produit ou valeur par défaut	Donnée d'entrée = caractéristique produit ou valeur par défaut	Donnée d'entrée = caractéristique produit ou valeur par défaut	Donnée d'entrée = caractéristique produit ou valeur par défaut
$Q_{P_{100}}$	cf. modèle générique	cf. modèle générique	cf. modèle générique	cf. modèle générique	cf. modèle générique
Q_{P_x}	cf. Eq 246 du modèle générique			expression selon Eq 256	
$R_{conv_{chauf}}$	Cf modèle générique				

Tableau 67 : Récapitulatif pour le calcul du rendement conventionnel annuel moyen de génération pour le chauffage – générateurs à combustion

Chaudières gaz et fioul correction de R_{pn} , R_{pint} et Q_{P0}

- Le rendement à 100% est mesuré pour une température de la chaudière de 70°C. On considère que le rendement augmente de 1% chaque fois que la température de la chaudière baisse de 10°C. Le rendement R_{pn} de Eq 243 est donc remplacé par :

$$R_{pn} + 0,1 \cdot (70 - \theta_{wh,g}) \quad (\%) \quad \text{Eq 252}$$

Avec $\theta_{wh,g}$ température de fonctionnement de la chaudière

- Le rendement à 30% est mesuré pour une température de la chaudière donnée dans le Tableau 68, les conditions d'essai étant issues de la directive rendement 92 / 42 CEE article 5.

On considère que le rendement augmente de 1 % chaque fois que la température de la chaudière baisse de 5°C pour les chaudières à condensation et de 10°C pour les autres chaudières.

Le rendement R_{pint} Eq 244 est donc remplacé par :

$$R_{pint} + a \cdot (\theta_{mes} - \theta_{wh,g}) \quad (\%) \quad \text{Eq 253}$$

où a et θ_{mes} sont donnés dans le Tableau 68 ci-dessous :

Type de chaudière	θ_{mes}	a
Standard	50	0,1
Basse température	40	0,1
Condensation	33	0,2

Tableau 68 : Paramètres pour correction de R_{pint} pour les chaudières gaz et fioul

- Les pertes à l'arrêt notées Q_{PO30} sont mesurées pour un écart de température de 30 °C.

On corrige ces pertes selon la formule :

$$Q_{P0} = \frac{Q_{PO30}}{R_{pn} / 100} \cdot \left(\frac{\theta_{wh,g} - \theta_{amb}}{30} \right)^{1,25} \quad [\text{kW}] \quad \text{Eq 254}$$

Avec :

$\theta_{amb} = 20$ °C et $\theta_{wh,g}$: température de fonctionnement de la chaudière

Q_{PO30} en kW : pertes à l'arrêt pour un écart de température de 30°C.

Chaudières bois expression des pertes à charge nulle Q_{p0}

Pour les chaudières bois, les pertes à charge nulle ne sont pas mesurées. Q_{p0} n'est donc pas une caractéristique produit.

La valeur par défaut des pertes thermiques à l'arrêt est donnée dans le projet de norme PrEN15316-4.7 en fonction de la puissance de la chaudière et pour une température moyenne dans la chaudière de 70 °C:

$$Q_{p0} = P_n \cdot \frac{c_5}{100} \cdot (P_{n_limit})^{c_6} \quad [\text{kW}] \quad \text{Eq 255}$$

Avec :

P_n puissance nominale en kW ;

P_{n_limit} puissance nominale en kW ; limitée à une valeur maximale de 400 kW. Si la puissance nominale est supérieure à 400 kW, cette valeur (400kW) est adoptée dans l'Équation 255

c_5, c_6 paramètres fournis dans le Tableau 69 ci-dessous.

Type de chaudière	Année de fabrication	c_5 %	c_6 -
Chaudière atmosphérique à biomasse	avant 1978	8,0	-0,27
	de 1978 à 1994	7,0	-0,3
	après 1994	8,5	-0,4
Chaudière à biomasse assistée par ventilateur	avant 1978	9,0	-0,28
	de 1978 à 1994	7,5	-0,31
	après 1994	8,5	-0,4

Tableau 69 : Paramètres de calcul des pertes à l'arrêt pour les chaudières bois

Radiateurs gaz, tubes radiants et panneaux radiants

Les pertes au point de fonctionnement x (à la charge P_x) s'expriment par la formule suivante :

$$Q_{Px} = f_{maj} \cdot \frac{(100 - R_{pn})}{R_{pn}} \cdot P_x \quad [\text{kW}] \quad \text{Eq 256}$$

où :

f_{maj} est un coefficient de majoration qui tient compte du fait que les radiateurs fonctionnent en moyenne à une puissance inférieure à leur puissance nominale. Cette majoration est liée aux pertes par balayage et à la diminution du rendement de combustion.

f_{maj} est donné dans le Tableau 70 pour les radiateurs en fonction de la présence ou non d'un ventilateur de combustion et du mode d'évacuation des fumées pour les radiateurs.

f_{maj} est donné dans le Tableau 71 pour les tubes et panneaux radiants.

Radiateur gaz		
Ventilateur côté combustion	Évacuation des fumées	f_{maj}
Oui	Tout type	1,02
Non	Par micro ventouse	1,04
Non	Par une cheminée	1,06

Tableau 70 : Coefficient de majoration des pertes pour les radiateurs gaz

Tubes et panneaux radiants	f_{maj}
Panneaux radiants	1,00
Tubes radiants	1,06

Tableau 71 : Coefficient de majoration des pertes pour les générateurs radiants.

15.4.1.4 Calcul du rendement de génération pour l'ECS

Le calcul du rendement conventionnel annuel moyen de génération pour l'ECS est basé sur la prise en compte conventionnelle des pertes.

On considère par convention qu'en mode production d'ECS, le générateur a un rendement équivalent égal à R_{pn} (rendement à 100% de charge).

On considère que le générateur a des pertes à l'arrêt :

- pendant toutes les heures de demande d'ECS (durecs) en dehors des vacances ($durvac_{ecs}$: durée de fonctionnement de l'ECS ramenée à la durée de vacances) si le générateur n'est pas maintenu en température [ceci correspond conventionnellement à l'énergie nécessaire lors des phases de remise en température à chaque puisage]
- pendant toute l'année en dehors des vacances ($durvac$) si le générateur est maintenu en température

En cas de présence de veilleuse, on considère qu'elle fonctionne :

- pendant toute l'année en dehors des vacances ($durvac$) et en dehors des heures de demande (durecs)

On considère que la température de fonctionnement du générateur est de :

- 50°C pour les générateurs à fourniture instantanée (non reliés à des éléments de stockage)
- 70°C pour les autres générateurs

Le rendement conventionnel annuel moyen de génération d'ECS a pour expression :

- **Si le générateur n'est pas maintenu en température :**

$$R_{conv_{ecs}} = 1/[1/R_{pn} + ((durecs - durvac_{ecs}) \cdot Q_{p0} / E_{f_{gen-ECS}}) + ((8760 - durecs - durvac) \cdot P_{veil} / E_{f_{gen-ECS}})] \quad \text{Eq 257}$$

- **Si le générateur est maintenu en température :**

$$R_{conv_{ecs}} = 1/[1/R_{pn} + ((8760 - durvac) \cdot Q_{p0} / E_{f_{gen-ECS}}) + ((8760 - durecs - durvac) \cdot P_{veil} / E_{f_{gen-ECS}})] \quad \text{Eq 258}$$

Remarque: pour les chaudières au gaz ou au fioul, les pertes Q_{p0} prennent en compte la correction en fonction de la température de fonctionnement du générateur, cf. Eq 254

$E_{f_{gen-ECS}}$ est l'énergie annuelle à fournir par le générateur pour l'ECS cf. équation Eq 233

durecs : nombre annuel d'heures de fonctionnement de l'ECS déterminé à partir du Tableau 19.

durvac : nombre annuel d'heures de vacances déterminé à partir du Tableau 9.

durvac_{ecs} : durée de fonctionnement de l'ECS ramenée à la période de vacances.

P_{veil} : puissance de la veilleuse.

15.4.1.5 Générateur à usage mixte chauffage et ECS - calcul des rendements de génération annuels moyens pour le chauffage et pour l'ECS

On applique Eq 251 pour le fonctionnement chauffage et Eq 257 ou Eq 258 pour le fonctionnement ECS.

Toutefois :

- Si en fonctionnement ECS le générateur est maintenu en température en permanence, on ne compte pas les pertes Q_{p0} en fonctionnement chauffage.
- Veilleuse : la puissance de la veilleuse est affectée au fonctionnement chauffage pendant la période de chauffe on effectue donc le calcul pour ce fonctionnement avec la puissance réelle de la veilleuse. Hors saison de chauffage, la puissance de la veilleuse est affectée au fonctionnement ECS, en considérant conventionnellement pour cette application une saison de chauffage de 6 mois, on prend en compte en fonctionnement ECS la veilleuse pour moitié de sa puissance réelle.

Ainsi pour les générateurs à combustible à usage mixte (chauffage et ECS) :

- Si en fonctionnement ECS le générateur est maintenu en température en permanence :

$$Rconv_{chauff} = \frac{Pmfou}{Pmcons + Tauxveil.Pveil} \quad \text{Eq 259}$$

$$Rconv_{ecs} = 1 / [1/R_{pn} + ((8760 - durvac) \cdot Q_{p0} / Ef_{gen-ECS}) + ((8760 - durecs - durvac) \cdot 0,5 \cdot Pveil / Ef_{gen-ECS})] \quad \text{Eq 260}$$

- Si en fonctionnement ECS le générateur n'est pas maintenu en température en permanence :

$$Rconv_{chauff} = \frac{Pmfou}{Pmcons + Tauxnf.QP_0 + Tauxveil.Pveil} \quad \text{Eq 261}$$

$$Rconv_{ecs} = 1 / [1/R_{pn} + ((durecs - durvac_{ecs}) \cdot Q_{p0} / Ef_{gen-ECS}) + (8760 - durecs - durvac) \cdot 0,5 \cdot Pveil / Ef_{gen-ECS}] \quad \text{Eq 262}$$

15.4.1.6 Calcul des pertes récupérées de génération

Seules les pertes par les parois des générateurs situés en volume chauffé sont considérées comme récupérables.

Pour les générateurs d'air chaud fonctionnant au gaz, les panneaux et tubes radiants gaz ainsi que les radiateurs gaz à ventouse, les pertes récupérables par les parois sont nulles.

Pour les chaudières au gaz ou au fioul ainsi que les chaudières bois, les pertes récupérées sont calculées annuellement, elles sont exprimées en Wh selon l'expression :

$$Q_{gen_rec} = Q_{par_recupere} \quad \text{Eq 263}$$

$Q_{par_recupere}$: pertes récupérées par les parois (cf. Eq 265)

Les pertes par les parois sont une part ($p_{-Qp.g}$). des pertes à l'arrêt Q_{p0} . Cette part dépend du type de brûleur :

	$P_{-Qp.g}$
Absence de ventilateur ou autre dispositif de circulation d'air ou de produit de combustion dans le circuit de combustion	0,50
Présence de ventilateur ou autre dispositif de circulation d'air ou de produit de combustion dans le circuit de combustion	0,75

Tableau 72 : Pertes par les parois selon le type de brûleur

Les pertes par les parois (en W) valent donc :

$$Q_{par} = Q_{p0} \cdot p_{-Qp.g} \quad [W] \quad \text{Eq 264}$$

On considère que 48 % des pertes par les parois sont récupérées (60 % des pertes par les parois sont récupérables avec un taux de récupération de 80 %) :

$$Q_{par_recupere} = 0.48 \cdot Q_{par} \cdot D_{par_recupere} \quad [Wh] \quad \text{Eq 265}$$

$D_{par_recupere}$ étant la durée pendant laquelle les pertes par les parois sont récupérées.

$D_{par_recupere}$ est différente selon que les générateurs sont dédiés uniquement au chauffage (cf. Eq 266 ci-dessous), uniquement à l'eau chaude sanitaire (cf. Eq 267 et Eq 268) ou qu'ils sont mixtes : assurant le chauffage et l'eau chaude sanitaire (cf. Eq 269). Cette durée ne peut excéder la durée de fonctionnement de chauffage notée ci-dessous D_{chauff} (exprimée en h).

- générateurs assurant la production uniquement pour le chauffage :

$$D_{par_recupere} = \min\left(D_{chauff}; \frac{E_{f\ chauff} \cdot (1 + Tauxnf)}{0.3 \cdot P_n}\right) \quad [h] \quad \text{Eq 266}$$

$E_{f\ chauff}$: énergie requise pour le chauffage en [Wh] (cf Eq 223)

Tauxnf : cf. Tableau 66

P_n : puissance nominale du générateur [W]

- Générateurs assurant la production uniquement pour l'eau chaude sanitaire :

durvac étant la durée annuelle des vacances (cf Tableau 9)

- si le générateur est maintenu en température

$$D_{par_recupere} = D_{chauff} - durvac \quad [h] \quad \text{Eq 267}$$

- si le générateur n'est pas maintenu en température

$$D_{par_recupere} = D_{chauff} \cdot \frac{durecs - durvac_{ecs}}{8760} \quad [h] \quad \text{Eq 268}$$

- Générateurs mixtes assurant la production pour le chauffage et pour l'eau chaude sanitaire :

$$D_{par_recupere} = \min(D_{par_recupere_{chauff}} + D_{par_recupere_{ECS}} ; D_{chauff}) \quad [h] \quad \text{Eq 269}$$

$D_{par_recupere_{chauff}}$: valeur de $D_{par_recupere}$ pour le fonctionnement chauffage issue de l'équation Eq 266

$D_{par_recupere_{ECS}}$: valeur de $D_{par_recupere}$ pour le fonctionnement ECS issue de l'équation Eq 267 ou de l'équation Eq 268

15.4.1.7 Calcul de la consommation des auxiliaires de génération

Ne sont considérés comme auxiliaires de génération que les auxiliaires nécessaires à la génération (exemple : ventilateur de combustion, pompes fioul, ventilateur d'extraction, etc.). Les pompes de circulation, même si elles servent aussi à maintenir un débit nominal dans le générateur, sont prises en compte dans le calcul des pertes de distribution.

La consommation (en Wh) est considérée proportionnelle à l'énergie à fournir pour le chauffage

$$Q_{cir.g} = (E_{f_{gen-chauff}} / P_n) \cdot P_{cir.g} / 1000 \quad [Wh] \quad \text{Eq 270}$$

Avec

$E_{f_{gen-chauff}}$: énergie requise aux bornes du générateur pour le chauffage en [Wh]
(cf. Eq 225)

P_n : puissance nominale du générateur [kW]

$P_{cir.g}$: Puissance du circulateur en [W]

15.4.1.8 Valeurs par défaut**Chaudières gaz et fioul**

Le Tableau 73 (respectivement Tableau 74) ci-dessous donne les valeurs par défaut du rendement sur PCI à 100 % de charge (R_{Pn}), du rendement sur PCI à 30% de charge (R_{Pint}) et les pertes à l'arrêt (Q_{P0} en % de la puissance nominale P_n) pour des chaudières gaz (respectivement fioul) en fonction de leur ancienneté et en fonction de leur type. Pour les chaudières gaz, les valeurs par défaut de la puissance de la veilleuse (P_{veil}) sont reportées dans le Tableau 73.

Chaudières gaz- valeurs par défaut R_{Pn}, R_{Pint} et Q_{P0}						
type	Ancienneté	Puissance nominale P_n (kW)	Rendement (PCI) R_{Pn} (%)	Rendement (PCI) R_{Pint} (%)	Q_{P0} en % puissance nominale P_n	Puissance veilleuse en W (si veilleuse)
Classique	Avant 1980	<14	79 %	74 %	4 %	240
		=23	82 %	77 %	4 %	240
	1981 - 1985	=23	85 %	80 %	2 %	150
	1986 - 1990	=23	86 %	83 %	1.5 %	150
standard	1991 - 2000	23	87 %	84 %	1.2 %	120
		P_n	$84 + 2\log P_n$	$80 + 3\log P_n$	1.2 %	120
	Après 2000 *	23	87 %	84 %	1 %	NA
		P_n	$84 + 2\log P_n$	$80 + 3\log P_n$	1 %	NA
BT	1991 - 2000	23	89.5 %	89.5 %	1.2 %	120
		P_n	$87.5 + 1.5\log P_n$	$87.5 + 1.5\log P_n$	1.2 %	120
	Après 2000 *	23	89.5 %	89.5 %	1 %	NA
		P_n	$87.5 + 1.5\log P_n$	$87.5 + 1.5\log P_n$	1 %	NA
Condensation	1981 - 1985	23	93 %	98 %	1 %	150
		P_n	$91 + 1\log P_n$	$97 + 1\log P_n$	1 %	150
	1986 - 2000	23	93 %	98 %	1 %	120
		P_n	$91 + 1\log P_n$	$97 + 1\log P_n$	1 %	120
	Après 2000 *	23	93 %	98 %	1 %	NA
		P_n	$91 + 1\log P_n$	$97 + 1\log P_n$	1 %	NA

Tableau 73 : Chaudières gaz- valeurs par défaut de R_{Pn} , R_{Pint} , Q_{P0} , et P_{veil}

Type	Ancienneté	Puissance nominale P_n (kW)	Rendement (PCI) R_{Pn} (%)	Rendement (PCI) R_{Pint} (%)	Q_{P0} en % puissance nominale P_n
Classique	Avant 1970	23	77 %	67 %	4 %
	1970 - 1975	23	80 %	75 %	3 %
	1976 - 1980	23	81 %	80 %	2 %
	1981 - 1990	23	83 %	82 %	1 %
standard	Depuis 1991	23	87 %	84 %	1 %
		P_n	$84 + 2\log P_n$	$80 + 3\log P_n$	
BT	Depuis 1991	23	89.5 %	89.5 %	1 %
		P_n	$87.5 + 1.5P_n$	$87.5 + 1.5P_n$	
Condensation	Depuis 1996	23	92.5 %	98 %	1 %
		P_n	$91 + 1\log P_n$	$97 + 1\log P_n$	

Tableau 74 : Chaudières fioul – valeurs par défaut de R_{Pn} , R_{Pint} et Q_{P0}

* les valeurs de la base ATITA peuvent être utilisées

Remarques :

R_{Pn} est donné pour une température de 70 °C, l'équation Eq 252 s'applique telle quelle.

$R_{P_{int}}$ est donné pour une température de 50°C, l'équation Eq 253 s'applique en considérant $\theta_{mes} = 50 \text{ °C}$ et $a = 0,001$

Q_{P_0} sont données pour écart de température de 30°C, l'équation Eq 254 s'applique telle qu'elle.

Chauffe-eau gaz

	$P_n < 10 \text{ kW}$		$P_n > 10 \text{ kW}$		
Ancienneté	Rendement (PCI) R_{P_n} (%)	Q_{P_0} en % puissance nominale P_n	Rendement (PCI) R_{P_n} (%)	Q_{P_0} en % puissance nominale P_n	Puissance veilleuse en W (si veilleuse)
Avant 1980	70.0 %	4.0 %	70.0 %	4.0 %	150
1981-1989	75.0 %	2.0 %	75.0 %	2.0 %	120
1990 - 2000	81.0 %	1.2 %	82.0 %	1.2 %	120
Après 2000*	82.0 %	1.0 %	84.0 %	1.0 %	100

Tableau 75 : Chauffe-eau gaz– valeurs par défaut de R_{P_n} , Q_{P_0} et puissance veilleuse

* les valeurs de la base ATITA peuvent être utilisées

Chaudières bois, générateurs d'air chaud, radiateurs gaz, tubes et panneaux radiants

- Cas 1 : produits récents, valeurs par défaut à utiliser uniquement si ces produits sont mis en place ou remplacés

En l'absence de connaissances sur les produits, on utilisera les valeurs données dans les tableaux suivants ; il est possible, si on ne connaît que certaines valeurs pour un produit donné, d'utiliser ces valeurs et d'utiliser les valeurs par défaut pour les caractéristiques inconnues.

Les pénalités pour non-certification ne s'appliquent pas aux valeurs par défaut.

Pour les quatre variables ci-dessous les quatre tableaux suivants fournissent les valeurs à introduire dans les formules de calcul :

$$R_{P_n} = A + B \cdot \text{Log } P_n \quad \text{Eq 271}$$

$$R_{P_{int}} = C + D \cdot \text{Log } P_n \quad \text{Eq 272}$$

$$Q_{P_0} = P_n \cdot (E + F \cdot \text{Log } P_n)/100 \quad \text{Eq 273}$$

$$P_{cir.g} = G + H \cdot P_n \quad \text{Eq 274}$$

où :

P_n est exprimée en kW

$P_{cir.g}$ = puissance des auxiliaires de la génération

	R_{Pn}		R_{Pint}	
	A	B	C	D
Chaudières bois				
Classe 3	67	6	68	6
Classe 2	57	6	58	6
Classe 1	47	6	48	6
Radiateurs gaz				
$P_n < 5$ kW	80			
$P_n > = 5$ kW sans ventilateur côté combustion	82			
$P_n > = 5$ kW avec ventilateur côté combustion	84			
Générateurs d'air chaud gaz				
Standard	84		77	
Condensation	90		83	
 Tubes et panneaux radiants gaz				
Tubes radiants	85			
Panneaux radiants	90			

Tableau 76 : Paramètres pour valeurs par défaut rendements R_{Pn} , R_{Pint}

Les cases en grisé correspondent à des produits pour lesquels ces valeurs ne sont pas nécessaires.

	E	F
Générateurs d'air chaud	1,75	-0,55

Tableau 77 : Paramètres pour valeurs par défaut des Pertes à charge nulle Q_{P0}

	G (W)	H (W/kW)
Chaudières bois		
Tirage naturel alimentation manuelle	0	0
Air pulsé alimentation manuelle	73,3	0,52
Tirage naturel alimentation automatique	0	10
Air pulsé alimentation automatique	73,3	10,52
Générateurs d'air chaud		
Sans ventilateur côté émission	0	4
Avec ventilateur côté émission	0	54
Tubes radiants		
Avec ventilateur côté émission	0	54
Radiateurs à gaz		
Par ventilateur (on compte séparément les ventilateurs côté combustion et côté émission)	40	0

Tableau 78 : Paramètres pour valeurs par défaut des puissances d'auxiliaires de génération

Pour les générateurs d'air chaud, ces équations sont valables pour une puissance nominale inférieure ou égale à 300 kW. On conservera les valeurs pour $P_n = 300$ kW si $P_n > 300$ kW.

Pour les chaudières bois, ces équations sont valables pour une puissance nominale inférieure ou égale à 70 kW. On conservera les valeurs pour $P_n = 70$ kW si $P_n > 70$ kW.

- Cas 2 : produits anciens, valeurs par défaut à utiliser uniquement pour les produits existants non changés .

- Chaudières bois de classe 1 ou de classe 2 : valeurs par défaut cf. Eq 271, Eq 272, Eq 274, Tableau 76 et Tableau 78

- Radiateurs à gaz :

$$R_{P_n} = 70 \% \text{ si } P_n < 5 \text{ kW}$$

$$R_{P_n} = 72 \% \text{ si } P_n > 5 \text{ kW et sans ventilateur côté combustion}$$

$$R_{P_n} = 74 \% \text{ si } P_n > 5 \text{ kW et ventilateur côté combustion}$$

$$P_{\text{cir.g}} = G + H \cdot P_n \text{ cf. Tableau 78}$$

- Générateurs d'air chaud standards :

$$R_{P_n} = 74 \%$$

$$R_{P_{\text{int}}} = 77 \%$$

$$Q_{p0} = P_n \cdot (E + F \cdot \text{Log } P_n)/100, \text{ cf. Tableau 77}$$

$$P_{\text{cir.g}} = G + H \cdot P_n \text{ cf. Tableau 78}$$

- Tubes radiants

$$R_{P_n} = 75 \%$$

$$P_{\text{cir.g}} = G + H \cdot P_n \text{ cf. Tableau 78 si ventilateur côté émission}$$

- Panneaux radiants

$$R_{P_n} = 80 \%$$

15.4.2 LES GENERATEURS ELECTRIQUES

15.4.2.1 Générateurs à effet joule direct pour le chauffage

Pour les appareils de chauffage par effet joule direct, c'est-à-dire sans fluide intermédiaire, ce qui est le cas par exemple des convecteurs, des planchers chauffants, des plafonds chauffants, le rendement annuel moyen de génération pour le chauffage est égal à 1.

15.4.2.2 Générateurs thermodynamiques pour le chauffage et le refroidissement

L'objet de cette partie est la prise en compte des systèmes de génération thermodynamiques de chaleur et de froid par les machines à compression et par les machines à absorption.

15.4.2.2.1 En mode chaud

Le principe est le suivant :

les besoins de chaleur du bâtiment sont calculés au pas de temps horaire, la consommation énergétique en énergie finale du système de génération thermodynamique de chaleur est alors calculée à partir d'un coefficient de performance énergétique corrigé, des consommations des auxiliaires et des consommations d'attente :

$$C_{CH} = \text{Besoins}_{CHAUD} / \text{COP}_{\text{corrigé}} \quad \text{Eq 275}$$

$$C_{\text{aux_CH}} = \text{Besoins}_{CHAUD} / \text{COP}_{\text{aux}} \quad \text{Eq 276}$$

$$C_{\text{aux_gene_CH}} = P_{\text{aux_gene_CH}} \cdot C_{\text{marche_CH}} \quad \text{Eq 277}$$

$$C_{\text{att_CH}} = P_{\text{résiduelle_CH}} \cdot C_{\text{attente_CH}} \quad \text{Eq 278}$$

Avec :

$$\text{Besoins}_{CHAUD} = Ef_{\text{gen-chauff}}$$

C_{CH} : consommation horaire de la génération de chaleur en énergie finale [kWh]

$C_{\text{aux_CH}}$: consommation des auxiliaires du côté extérieur du générateur de chaleur en énergie finale [kWh],

$C_{\text{aux_gene_CH}}$: consommation des auxiliaires de génération de chaleur non comptés dans le COP_{nom} en énergie finale [kWh],

$C_{\text{att_CH}}$: consommation d'attente du générateur de chaleur en énergie finale [kWh],

Besoins_{CHAUD} : besoins de chaleur aux bornes du générateur [kWh],

$\text{COP}_{\text{corrigé}}$: performance énergétique corrigée de la génération de chaleur [-],

COP_{aux} : effet des auxiliaires de production de chaleur du côté extérieur, pompes de captage par exemple, sur l'efficacité nominale,

$P_{\text{aux_gene_CH}}$: puissance électrique des auxiliaires internes de la machine non comptés dans le COP_{nom} [kW],

$P_{\text{résiduelle_CH}}$: puissance électrique résiduelle de la génération de chaleur en attente [kW],

$C_{\text{marche_CH}}$: est égal à 1 si les $\text{Besoins}_{CHAUD} > 0$ et si fonctionnement en mode chauffage, est égal à 0 sinon,

$C_{\text{attente_CH}}$: est égal à 1 si les $\text{Besoins}_{CHAUD} = 0$ et si fonctionnement en mode chauffage, est égal à 0 sinon.

La génération est en attente lorsqu'elle est en mode chauffage et sous tension sans produire de chaleur.

La performance énergétique corrigée est déterminée en tenant compte :

- des caractéristiques du générateur à pleine charge aux conditions nominales,
- de l'impact du fonctionnement à pleine charge aux conditions non nominales,
- de l'impact des charges partielles,
- de l'impact de la typologie des systèmes.

Ainsi :

$$\text{COP}_{\text{corrigé}} = \text{COP}_{\text{nom}} \cdot \text{C}_{\text{COP}} \quad \text{Eq 279}$$

Avec :

COP_{nom} : performance énergétique aux conditions de fonctionnement nominales à pleine charge, comprenant éventuellement la puissance des pompes et des ventilateurs nécessaire à vaincre la perte de charge des échangeurs, en fonction des modalités d'essais utilisées, voir NF EN 14511.

C_{COP} : coefficient de correction conventionnel.

Le coefficient COP_{nom} prend une des valeurs suivantes :

- valeur déclarée par le fabricant $\text{COP}_{\text{nomdec}}$ $\text{COP}_{\text{nom}} = 0,9 \cdot \text{COP}_{\text{nomdec}}$
- valeur certifiée COP_{nom} certifié peut être utilisé.

15.4.2.2.2 En mode froid

Le principe est le suivant :

les besoins de froid du bâtiment sont calculés au pas de temps horaire, la consommation énergétique en énergie finale du système de génération de froid est alors calculée à partir d'une efficacité énergétique corrigée, des consommations des auxiliaires et des consommations d'attente :

$$C_{FR} = \text{Besoins}_{\text{FROID}} / \text{EER}_{\text{corrigé}} \quad \text{Eq 280}$$

$$C_{\text{aux_FR}} = \text{Besoins}_{\text{FROID}} / \text{EER}_{\text{aux}} \quad \text{Eq 281}$$

$$C_{\text{aux_gene_FR}} = P_{\text{aux_gene_FR}} \cdot C_{\text{marche_FR}} \quad \text{Eq 282}$$

$$C_{\text{att_FR}} = P_{\text{résiduelle_FR}} \cdot C_{\text{attente_FR}} \quad \text{Eq 283}$$

Avec :

$$\text{Besoins}_{\text{froid}} = E f_{\text{gen-froid}}$$

C_{FR} : consommation horaire du générateur de froid en énergie finale [kWh],

$C_{\text{aux_FR}}$: consommation horaire des auxiliaires du côté extérieur du générateur de froid en énergie finale [kWh],

$C_{\text{aux_gene_FR}}$: consommation horaire des auxiliaires internes de la machine non comptés dans le EER_{nom} en énergie finale [kWh],

$C_{\text{att_FR}}$: consommation horaire d'attente du générateur de froid en énergie finale [kWh],

$\text{Besoins}_{\text{FROID}}$: besoins horaires de froid aux bornes du générateur [kWh],

$\text{EER}_{\text{corrigé}}$: efficacité énergétique corrigée de la génération de froid [-],

EER_{aux} : effet des auxiliaires de production, tour de refroidissement par exemple, sur l'efficacité nominale,

$P_{\text{aux_gene_FR}}$: puissance électrique des auxiliaires internes de la machine non comptés dans le EER_{nom} [kW],

$P_{\text{résiduelle_FR}}$: puissance électrique résiduelle de la génération de froid en attente [kW],

$C_{\text{marche_FR}}$: est égal à 1 si les $\text{Besoins}_{\text{FROID}} > 0$ et si fonctionnement en mode froid,
est égal à 0 sinon,

$C_{\text{attente_FR}}$: est égal à 1 si le $\text{Besoins}_{\text{FROID}} = 0$ et si fonctionnement en mode froid,
est égal à 0 sinon,

La génération est en attente lorsqu'elle est en mode froid et sous tension sans produire de froid.

L'efficacité énergétique corrigée est déterminée en tenant compte :

- des caractéristiques du générateur à pleine charge aux conditions nominales,
- de l'impact du fonctionnement à pleine charge aux conditions non nominales,
- de l'impact des charges partielles,
- de l'impact de la typologie des systèmes.

Ainsi :

$$EER_{\text{corrigé}} = EER_{\text{nom}} \cdot C_{\text{EER}} \quad \text{Eq 284}$$

Avec :

EER_{nom} : efficacité énergétique aux conditions de fonctionnement nominales à pleine charge, comprenant éventuellement la puissance des pompes et des ventilateurs nécessaire à vaincre la perte de charge des échangeurs, en fonction des modalités d'essais utilisées, voir NF EN 14511.

C_{EER} : coefficient de correction conventionnel.

Le coefficient EER_{nom} prend une des valeurs suivantes :

- Valeur déclarée par le fabricant EER_{nomdec} $EER_{\text{nom}} = 0,9 \cdot EER_{\text{nomdec}}$
- Valeur certifiée EER_{nom} certifié peut être utilisé.

15.4.2.2.3 Coefficients de correction conventionnels CEER et CCOP

Les coefficients de correction conventionnels sont le produit de 3 termes :

- L'effet du type de régulation combiné à l'inertie de l'émission sur la performance, C_{regul} ,
- L'effet d'une loi d'eau, $C_{\text{loi_eau}}$,
- L'effet de la température de l'air extérieur ou de l'eau côté extérieur sur la performance, $C_{\text{air_ext_eau}}$.

$$C_{\text{EER}} = C_{\text{regul_FR}} \cdot C_{\text{loi_eau_FR}} \cdot C_{\text{air_ext_eau_FR}} \quad \text{Eq 285}$$

$$C_{\text{COP}} = C_{\text{regul_CH}} \cdot C_{\text{loi_eau_CH}} \cdot C_{\text{air_ext_eau_CH}} \quad \text{Eq 286}$$

- Effet du type de régulation

Le comportement d'un système de génération pour ce qui est de sa régulation dépend de l'inertie de l'émission associée, ainsi :

- Trois types de régulation de la génération sont définis :
 - régulation tout ou rien,
 - régulation progressive de 70% à 100% de charge,
 - régulation progressive de 40% à 100% de charge,
- Deux types d'émetteurs sont définis au plan de leur inertie :
 - les planchers à eau,
 - les autres systèmes d'émission.

On distingue donc 6 cas :

Type de régulation	Type d'émetteur	
	Planchers	Autres émetteurs
Tout ou rien (valeur par défaut)	0,95	0,85
Prog 70 - 100 %	1,05	0,95
Prog 40 - 100 %	1,05	1,05

Tableau 79 : Coefficients de correction pour la régulation $C_{\text{regul_FR}}$ et $C_{\text{regul_CH}}$

- Effet d'une loi d'eau

Une loi d'eau a pour effet d'augmenter la performance des systèmes :

Loi d'eau	1,05
Pas de loi d'eau (valeur par défaut)	1

Tableau 80 : Coefficients de correction pour une loi d'eau Cloi_eau_FR et Cloi_eau_CH

- Effet de la température de l'air extérieur ou de l'eau

Les coefficients Cair_ext_eau_FR et Cair_ext_eau_CH correspondant à cet effet sont donnés colonne [impact air ext, eau ext] des tableaux suivants.

Machines à compression

Pour les machines à compression et pour les différents impacts proposés, la nature du moteur, à gaz ou électrique, important peu, les coefficients du Tableau 81 ci-dessous sont généralisés aux machines à compression quelle que soit l'énergie consommée.

Mode	Côté extérieur	*Côté intérieur	Impact air ext, eau ext	Possibilité de loi d'eau
Chaud	Air extérieur Air rejeté Air rejeté	Air recyclé Air recyclé Air extérieur	Cair_ext_eau_CH** 1 1,10	Non Non Non
	Air extérieur Air rejeté	Eau VCV Eau VCV	Cair_ext_eau_CH** 1	Oui Oui
	Air extérieur Air rejeté	Eau plancher Eau plancher	Cair_ext_eau_CH** 1	Oui Oui
	Eau Boucle d'eau	Air recyclé Air recyclé	1 1,05	Non Non
	Eau Eau glycolée Capteurs enterrés	Eau VCV Eau VCVr	1 1,10	Oui Oui
	Eau glycolée Capteurs enterrés	Eau plancher Eau plancher	1 1,10	Oui Oui
	Sol Sol	Eau VCV Eau plancher	1,10 1,10	Oui Oui
	Sol	sol	1,10	Non
Froid	Air extérieur Air rejeté Air rejeté	Air recyclé Air recyclé Air	1,10 1 0,90	Non Non Non
	Air extérieur	Eau VCV	1,10	Oui
	Air extérieur	Eau plancher	1,10	Oui
	Eau Boucle d'eau	Air recyclé Air recyclé	1 1,05	Non Non
	Eau Eau glycolée Capteurs enterrés	Eau VCV Eau VCVr	1 1	Oui Oui
	Eau glycolée Capteurs enterrés	Eau plancher Eau plancher	1 1	Oui Oui
	Sol	Air recyclé	1,10	Non

Tableau 81 : Coefficients de correction conventionnels pour les machines à compression

* : est mentionné le type d'émetteur à titre d'exemple

** : La valeur de Cair_ext_eau_CH est donnée au § 15.4.2.2.4 qui suit

Machines à absorption

Mode	Côté extérieur	Côté intérieur	Impact air ext, eau	Possibilité de loi d'eau
Chaud	Air extérieur	Eau VCV	Cair_ext_eau_CH**	Oui
	Air extérieur	Eau plancher	Cair_ext_eau_CH**	Oui
	eau Eau glycolée (capteurs enterrés)	Eau VCV Eau VCV	1 1,10	Oui Oui
	Air extérieur Eau glycolée (capteurs enterrés)	Eau plancher Eau plancher	1 1	Oui Oui
Froid	Air extérieur	Eau VCV	1,10	Oui
	Air extérieur	Eau plancher	1,10	Non
	eau Eau glycolée (capteurs enterrés)	Eau VCV Eau VCV	1 1	Oui Oui
	Air extérieur Eau glycolée (capteurs enterrés)	Eau plancher Eau plancher	1 1	Oui Oui

Tableau 82 : Coefficients de correction conventionnels pour les machines à absorption

** : La valeur de Cair_ext_eau_CH est donnée au § 15.4.2.2.4 qui suit

Nota : dans le Tableau 81 et Tableau 82 le terme "eau" signifie eau de tour et eau de nappe.

En l'absence d'information sur la nature du système mis en œuvre, les valeurs par défaut pour le calcul des coefficients de correction sont les suivants.

	C _{COP}	C _{EER}
Machines à compression	Cregul_CH = 0,85 Cloi_eau_CH = 1 Cair_ext_eau_CH = 1	Cregul_FR = 0,85 Cloi_eau_FR = 1 Cair_ext_eau_FR = 0,90
Machines à absorption gaz	Cregul_CH = 0,85 Cloi_eau_CH = 1 Cair_ext_eau_CH = 1	Cregul_FR = 0,85 Cloi_eau_FR = 1 Cair_ext_eau_FR = 1

Tableau 83 : Valeurs par défaut des coefficients de correction**15.4.2.2.4 Détermination du coefficient Cair_ext_eau_CH pour les machines sur air extérieur en mode chaud (cf. Tableau 81 et Tableau 82 ci-dessus)**

De même que pour les autres machines, le COP_{corrigé} est une valeur annuelle moyenne.

Comme la performance des machines sur air extérieur dépend de la température de l'air extérieur et afin d'aboutir à une valeur moyenne annuelle du COP_{corrigé}, le coefficient Cair_ext_eau_CH est alors donné en valeur annuelle moyenne. Pour sa détermination, on procède en deux étapes :

- 1 - Calcul de la performance en fonction de la température extérieure : COP_{θe}
- 2 - Calcul du coefficient Cair_ext_eau_CH en valeur moyenne annuelle

Calcul de la performance en fonction de la température extérieure : COP_{θe}

Le COP_{θe} est calculé comme suit :

$$COP_{+3} = 0,96 \cdot \left[\frac{(COP_{+7} - COP_{-7,deg\ iv})}{14} \cdot (3 - 7) + COP_{+7} \right] \quad \text{Eq 287}$$

Au-delà de 7°C :

$$COP_{\theta e} = \frac{(COP_{+7} - COP_{-7,ss\ deg\ iv})}{14} \cdot (\theta e - 7) + COP_{+7} \quad \text{Eq 288}$$

de 3 °C à 7°C :

$$COP_{\theta e} = \frac{(COP_{+7} - COP_{+3})}{4} \cdot (\theta e - 7) + COP_{+7} \quad \text{Eq 289}$$

en dessous de 3°C :

$$COP_{\theta e} = \frac{(COP_{+3} - COP_{-7,deg\ iv})}{10} \cdot (\theta e + 7) + COP_{-7,deg\ iv} \quad \text{Eq 290}$$

Pour ces systèmes, les caractéristiques à 7°C, - 7°C et aux autres conditions sont déterminées en partant des conditions d'essai décrites dans la norme EN 14511 ou dans des conditions d'essai identiques si les matériels ne relèvent pas de cette norme.

Les valeurs obtenues à - 7°C prennent en compte le dégivrage. Les valeurs sans dégivrage s'obtiennent par les formules suivantes :

$$COP_{-7,ssdegiv} = COP_{-7,degiv} / 0,93 \quad \text{Eq 291}$$

Si les performances à -7°C sont inconnues, on peut appliquer les valeurs par défaut suivantes :

$$COP_{-7,ssdegiv} = 0,80 \cdot COP_{+7} \quad \text{Eq 292}$$

$$COP_{-7,degiv} = 0,93 \cdot COP_{-7,ssdegiv} \quad \text{Eq 293}$$

Calcul du coefficient $C_{air_ext_eau_CH}$ en valeur moyenne annuelle

$$C_{air_ext_eau_CH} = \frac{\sum_{\theta_e} COP_{\theta_e} \cdot coeff_{\theta_e}}{COP_{nom}} \quad \text{Eq 294}$$

Les coefficients de pondération $coeff_{\theta_e}$ sont donnés dans le Tableau 84 qui suit, on considère pour θ_e la valeur de milieu de plage :

Plages de variation de θ_e	[-5 -2,5[[-2,5 0[[0 2,5[[2,5 5[[5 7,5[[7,5 10[[10 12,5[[12,5 15[
Zone H1	0,03	0,05	0,20	0,26	0,24	0,13	0,07	0,02
Zone H2	0,00	0,05	0,06	0,17	0,29	0,27	0,13	0,03
Zone H3	0,00	0,00	0,00	0,06	0,20	0,41	0,26	0,07

Tableau 84 : Valeurs conventionnelles du coefficient de pondération $coeff_{\theta_e}$

15.4.2.2.5 Effet des auxiliaires**15.4.2.2.5.1 Présentation**

Selon la nature des machines thermodynamiques, les normes de détermination des performances intègrent tout ou partie seulement des auxiliaires nécessaires au bon fonctionnement des machines, voire aucun pour les matériels gaz.

Ces auxiliaires sont :

- le système de contrôle commande,
- les pompes de tout type (eau, frigorigène, solution),
- les ventilateurs,
- ceux du brûleur le cas échéant.

Dans les systèmes refroidis par eau il faut également intégrer les systèmes de refroidissement.

15.4.2.2.5.1.1 Machines à compression électrique

La puissance des systèmes de contrôle commande est prise en compte lors de la mesure des performances. Pour les pompes et les ventilateurs :

- Machines air / air
 - comprennent la puissance des ventilateurs des machines non gainées,
 - comprennent seulement la part de la puissance des ventilateurs pour vaincre les pertes de charge des échangeurs des machines gainées.
- Machines air / eau
 - comprennent la puissance des ventilateurs des machines non gainées,
 - comprennent seulement la part de la puissance des ventilateurs pour vaincre les pertes de charge des échangeurs des machines gainées.
 - comprennent seulement la part de la puissance des pompes pour vaincre les pertes de charge de l'échangeur que les pompes soient intégrées ou non à l'appareil.

- Machines sol / eau
 - comprennent seulement la part de la puissance des pompes pour vaincre les pertes de charge de l'échangeur, la pompe étant généralement intégrée. Si ce n'est pas le cas, il convient d'en tenir compte dans les calculs.
- Machine sol / sol
 - pas d'auxiliaires pris en compte.
- Machines sol / air
 - comprennent la puissance des ventilateurs, ces machines étant généralement non gainées. Si elles le sont, il convient d'en tenir compte dans les calculs.
- Machines eau / air
 - comprennent la puissance des ventilateurs des machines non gainées,
 - comprennent seulement la part de la puissance des ventilateurs pour vaincre les pertes de charge des échangeurs des machines gainées,
 - comprennent seulement la part de la puissance des pompes pour vaincre les pertes de charge de l'échangeur que les pompes soient intégrées ou non à l'appareil.

En cas de condenseur séparé, la puissance électrique afférente n'est pas comptée, il convient donc d'en tenir compte dans les calculs.
- Machines eau / eau
 - comprennent seulement la part de la puissance des pompes pour vaincre les pertes de charge de l'échangeur que les pompes soient intégrées ou non à l'appareil.

En cas de condenseur séparé, la puissance électrique afférente n'est pas comptée, il convient donc d'en tenir compte dans les calculs.

15.4.2.2.5.1.2 Machines à gaz

La mesure des performances concerne l'utilisation du gaz seulement.

- Les auxiliaires non affectés au déplacement des mediums en contact externe avec l'évaporateur, le condenseur et l'absorbeur.

Ces auxiliaires sont notamment le système de contrôle commande, et le cas échéant le brûleur, les pompes de solution, les pompes de réfrigérant.

La consommation de ces dispositifs doit être comptée intégralement.

- Les pompes et les ventilateurs

Aucune puissance n'est intégrée à la détermination des performances des machines. Il convient d'en tenir compte dans les calculs.

Remarque :

Afin d'harmoniser la prise en compte des auxiliaires, la puissance des auxiliaires nécessaire à vaincre les pertes de charge des échangeurs et celle des ventilateurs intégrés des machines non gainées qui ne seraient pas prises en compte dans la détermination des performances devraient être divisées par les coefficients C_{COP} ou C_{EER} selon la méthode de caractérisation.

15.4.2.2.5.1.3 Côté machine

Les auxiliaires non affectés au déplacement des mediums en contact externe avec l'évaporateur, le condenseur et l'absorbeur, notamment le système de contrôle commande, et le cas échéant le brûleur, les pompes de solution, les pompes de réfrigérant, non pris en compte dans les performances doivent être comptés intégralement.

Ces auxiliaires sont pris en compte par $C_{aux_gene_FR}$ et $C_{aux_gene_CH}$.

15.4.2.2.5.1.4 Côté utilisation

Deux cas se présentent :

- la détermination des COP_{nom} et des EER_{nom} intègre la puissance des auxiliaires pour vaincre les pertes de charge des échangeurs. La puissance des auxiliaires du côté utilisation à prendre en compte dans le réseau de distribution aéraulique ou hydraulique est la part nécessaire à la circulation du fluide dans le réseau de distribution.

- la détermination des COP_{nom} et des EER_{nom} n'intègre pas la puissance des auxiliaires pour vaincre les pertes de charge des échangeurs. La puissance des auxiliaires côté utilisation à prendre en compte dans le réseau de distribution aéraulique ou hydraulique est la puissance totale nécessaire à la fois à la circulation du fluide dans le réseau de distribution et à vaincre les pertes de charge des échangeurs.

15.4.2.2.5.1.5 Côté extérieur

Les auxiliaires côté extérieur ne concernent que les machines eau / eau et les machines eau / air. Ils peuvent être constitués soit d'une tour de refroidissement et d'un réseau de refroidissement, soit d'un système par eau de captage.

La consommation de ce réseau est prise en compte dans les calculs grâce à une efficacité additionnelle, COP_{aux} ou EER_{aux} .

- Cas des systèmes de refroidissement par eau avec tours de refroidissement

Les tours (ventilateurs, pompes de recirculation, régulation) et les pompes du réseau d'eau de refroidissement peuvent être représentées de la façon suivante:

Avec : $P_r = P_f + P_c \cdot \eta$

Où η est la part de l'énergie consommée qui doit être évacuée par la tour : égale à 1 pour les machines à compression électrique, à 0,9 pour les machines à absorption gaz et 0,8 pour les machines à compression gaz.

$P_t = P_p + P_{tour}$

P_p : puissance électrique des pompes du réseau de refroidissement permettant également de vaincre les pertes de charge de l'échangeur de l'appareil,

P_{tour} : puissance électrique des différents éléments de la tour.

Il s'agit de prendre en compte ces systèmes sous forme d'une efficacité EER_{aux} :

$EER_{aux} = P_f / P_t$

La consommation est alors égale à :

$$C_{aux_FR} = \Sigma \text{Besoins}_{\text{FROID}} / EER_{aux} \quad \text{Eq 295}$$

En admettant que la puissance électrique du système de refroidissement soit liée à la puissance à évacuer, on pose :

$$P_t = \alpha \cdot P_r$$

$$P_t = \alpha \cdot (P_f + P_c \cdot \eta)$$

L'efficacité devient alors :

$$EER_{aux} = P_f / (\alpha \cdot (P_f + P_c \cdot \eta))$$

$$EER_{aux} = EER_{corrigé} / (\alpha \cdot (EER_{corrigé} + \eta))$$

Eq 296

Le coefficient α prend la valeur suivante :

part des ventilateurs de la tour : 0,04
part des pompes de recirculation : 0,04
valeur totale : $\alpha = 0,08$

- Cas des systèmes de refroidissement par eau de captage

De la même façon que pour les systèmes de refroidissement avec tour, l'effet des pompes de captage peut être pris en compte sous forme d'une efficacité additionnelle qui s'applique tant en mode chaud qu'en mode froid avec $\alpha = 0,08$.

En mode froid

$$EER_{aux} = EER_{corrigé} / (\alpha \cdot (EER_{corrigé} + \eta))$$

Eq 297

En mode chaud

$$COP_{aux} = COP_{corrigé} / (\alpha \cdot (COP_{corrigé} - \eta))$$

Eq 298

15.4.2.2.6 Puissance résiduelle, Présiduelle

Les calculs des C_{EER} et des C_{COP} sont conduits sur les périodes pendant lesquelles il y a une demande de froid ou de chaud. En dehors de ces périodes dans la saison (chauffage, refroidissement), les machines peuvent être sous tension sans fourniture d'énergie conduisant à une consommation supplémentaire d'énergie dont il faut tenir compte.

Conventionnellement, la puissance résiduelle des générateurs thermodynamiques est égale à 1 % de la puissance électrique des machines. La consommation résiduelle est comptée chaque heure où il n'y a pas de demande.

15.4.2.2.7 Valeurs par défaut

Les valeurs par défaut ci-dessous sont à utiliser pour les pompes à chaleur et systèmes de refroidissement existants uniquement, il s'agit de valeurs nominales :

Type de produit	EER (valeur nominale)		COP (valeur nominale)	
	Avant 2000	Après 2000	Avant 2000	Après 2000
Climatiseurs 12-45 kW	2,4	2,5	2,8	3,0
Climatiseurs > 45 kW	2,3		2,8	2,7
Chillers à condensation par air 20-80 kW	2,5		2,7	
Chillers à condensation par air > 80 kW	2,6		2,8	
Chillers à condensation par eau 20-80 kW	4,0	3,8	3,4	
Chillers à condensation par eau > 80 kW	3,7	4,2	2,9	3,6

Tableau 85 : Valeurs par défaut de COP et EER

15.5 LES ELEMENTS DE STOCKAGE

On traite ici les ballons de stockage d'eau chaude sanitaire

Cette partie permet de calculer :

- les pertes de stockage,
- les pertes de stockage récupérées.

Les pertes des ballons d'un volume inférieur à 10 l sont négligées.

15.5.1 CARACTERISTIQUES DES BALLONS DE STOCKAGE (BALLONS DE PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE PAR ACCUMULATION)

Les ballons d'ECS dissociés de la production ne sont pas caractérisés. Les valeurs de C_r prises en compte sont les valeurs par défaut.

Les valeurs par défaut sont les suivantes :

Ballon d'eau chaude	$4,2 \cdot V_s^{-0,45}$
---------------------	-------------------------

Tableau 86 : Valeurs par défaut des constantes de refroidissement, C_r

15.5.2 PERTES BRUTES DE STOCKAGE

Les pertes brutes de stockage s'expriment en Wh selon l'Eq 299 ci-dessous en considérant une durée de stockage en heures égale à 8760-durvac, durvac étant la durée des vacances :

$$Q_{g,w} = [V_s \cdot C_r \cdot (\theta_{ecs} - \theta_{amb}) / 24] \cdot (8760 - \text{durvac}) \quad \text{Eq 299}$$

avec :

V_s = volume de stockage (l)

C_r = constante de refroidissement (Wh/l.K.jour)

θ_{ecs} = température de stockage d'ECS, prise à 65 °C

θ_{amb} = température du local où est situé le stockage, prise égale à 20 (°C)

15.5.3 PERTES RECUPEREES

On considère que 48 % des pertes brutes de stockage sont récupérées (60 % des pertes brutes sont récupérables avec un taux de récupération de 80 %) pendant la durée de fonctionnement de chauffage notée ci-dessous D_{chauff} (exprimée en h). elles s'expriment ci desous en Wh/h :

$$Q_{g,w_rec} = 0,48 \cdot (Q_{g,w} / (8760 - \text{durvac})) \quad \text{Eq 300}$$

$Q_{g,w}$, résulte de l'Eq 299.

Ces pertes récupérées sont calculées annuellement sur une période D_{chauff} (cf. Eq 228).

15.6 LES GENERATEURS STOCKEURS

On considère ici les générateurs qui assurent la production et le stockage en même temps. Ils sont généralement destinés à la production d'ECS

On traite ici :

- Les accumulateurs gaz
- Les chauffe-eau électriques à accumulation

15.6.1 LES ACCUMULATEURS GAZ

Ce générateur est destiné à la production et au stockage de l'ECS.

On calcule :

- un rendement 'global' conventionnel annuel moyen de génération d'ECS. Ce rendement global prend en compte l'efficacité du générateur et les pertes de stockage
- la consommation d'énergie des auxiliaires de génération
- les pertes récupérées du générateur

15.6.1.1 Caractéristiques des accumulateurs

Les caractéristiques des accumulateurs sont les suivantes :

	Unité ou possibilités	Norme de référence
Débit calorifique nominal P_n	kW	EN89
Volume de stockage V_s	l	EN89
Rendement sur PCI R_{pn}	%	EN89
Consommation d'entretien C_e	Wh/h	EN89
Type	À condensation Autres	
Vitesse de montée en température	Appareils de plus de 200 l avec temps de montée en température < 45 min Autres	

Tableau 87 : Caractéristiques des accumulateurs gaz

15.6.1.2 Calcul du rendement conventionnel annuel moyen global de génération pour l'ECS

Le calcul du rendement conventionnel annuel moyen 'global' de génération pour l'ECS est basé sur la prise en compte conventionnelle des pertes de génération et des pertes de stockage

15.6.1.2.1 Efficacité du générateur

On utilise la même démarche que pour les générateurs à combustion, le rendement de génération conventionnel annuel moyen pour l'ECS est calculé selon les mêmes formules (par Eq 257 et Eq 258 précédemment décrites) dans lesquelles on prend en compte en plus les pertes de stockage.

15.6.1.2.2 Pertes de stockage

On calcule les pertes de stockage $Q_{g,w}$ (en Wh) à partir des pertes d'entretien C_e :

$$Q_{g,w} = C_e \cdot (8760 - \text{durvac}) \quad \text{Eq 301}$$

La consommation d'entretien C_e est donnée dans le tableau qui suit, avec P_n en Watts :

	Consommation d'entretien en Wh/h : C_e
Appareils de plus de 200 l avec temps de montée en température inférieur à 45 min	$9 \cdot V_s^{2/3} + 0,017 \cdot P_n$
Autres appareils	$11 \cdot V_s^{2/3} + 0,015 \cdot P_n$

Tableau 88 : Consommation d'entretien des accumulateurs gaz

15.6.1.2.3 Expression du rendement conventionnel annuel moyen' global' de génération pour l'ECS

Comme le générateur assure également le stockage, il est donc maintenu en température. Le rendement conventionnel annuel moyen de génération d'ECS a pour expression :

$$R_{\text{conv}_{\text{ECS}}} = 1 / [1 / R_{P_n} + ((8760 - \text{durvac}) \cdot Q_{p0} + Q_{g,w}) / E_{f_{\text{gen-ECS}}} + ((8760 - \text{Durecs} - \text{durvac}) \cdot P_{\text{veil}} / E_{f_{\text{gen-ECS}}})] \quad \text{Eq 302}$$

R_{P_n} : rendement à 100 % de charge

$E_{f_{\text{gen-ECS}}}$ est l'énergie annuelle à fournir par le générateur pour l'ECS en Wh

durecs : nombre annuel d'heures de fonctionnement de l'ECS en h

durvac : nombre annuel d'heures de vacances en h

P_{veil} : puissance de la veilleuse en W

15.6.1.3 Calcul des pertes récupérées

Seules les pertes de stockage des générateurs stockeurs situés en volume chauffé sont considérées comme récupérables.

On considère que 48 % des pertes de stockage sont récupérées (60 % des pertes par les parois sont récupérables avec un taux de récupération de 80 %). Elles s'expriment en Wh/h selon la formule ci-dessous :

$$Q_{g,w_{\text{rec}}} = 0,48 \cdot Q_{g,w} / (8760 - \text{durvac}) \quad \text{Eq 303}$$

ces pertes récupérées sont calculées annuellement sur une période D_{chauff} (cf. Eq 228)

15.6.1.3.1 Calcul de la consommation des auxiliaires de génération

La consommation des auxiliaires de génération (en Wh) pour les générateurs stockeurs est considérée proportionnelle à l'énergie à fournir pour l'ECS

$$Q_{\text{cir.g}} = (E_{f_{\text{gen-ECS}}} / P_n) \cdot P_{\text{cir.g}} \quad \text{Eq 304}$$

Avec :

$E_{f_{gen-ECS}}$: énergie à fournir par le générateur pour l'ECS (Wh)

P_n : puissance nominale du générateur W

$P_{cir.g}$: Puissance du circulateur en W

15.6.1.3.2 Valeurs par défaut

Le Tableau 89 qui suit donne les valeurs par défaut du rendement à 100 % de charge et de la puissance de la veilleuse pour les accumulateurs gaz en fonction de leur ancienneté

Ancienneté	Type	R_{pn} (rendement PCI à 100 % de charge)	Pveil (Puissance de la veilleuse) W
Avant 1989	Classique	81 %	200
1990 - 2000		84 %	150
Après 2000		84 %	150
1996-2000	A condensation	98 %	NA
Après 2000 *			

Tableau 89 : Valeurs par défaut de R_{pn} et de Pveil pour les accumulateurs Gaz

* les valeurs de la base ATITA peuvent être utilisées

15.6.2 CHAUFFE-EAU ELECTRIQUE A ACCUMULATION

Ce générateur est destiné à la production et au stockage de l'ECS

Le rendement conventionnel annuel moyen de génération vaut 1

On calcule pour ce générateur stockeur :

- les pertes de stockage
- les pertes récupérées

15.6.2.1 Calcul des pertes brutes de stockage

Les pertes brutes de stockage s'expriment en Wh selon l'Eq 305 ci-dessous en considérant une durée de stockage en heures égale à : 8760-durvac, durvac étant la durée des vacances :

$$Q_{g,w} = [V_s \cdot C_r \cdot (\theta_{ecs} - \theta_{amb}) / 24] \cdot (8760 - \text{durvac}) \quad \text{Eq 305}$$

Avec :

V_s = volume de stockage (l)

C_r = constante de refroidissement (Wh/l.K.jour)

θ_{ecs} = température de stockage d'ECS, prise à 65 °C

θ_{amb} = température du local où est situé le stockage, prise égale à 20 (°C)

Les ballons électriques sont caractérisés par les pertes exprimées en kWh par jour selon la norme NF EN 60379.

Les valeurs par défaut des appareils anciens et récents correspondent à l'exigence minimale de catégorie A de la marque NF électricité performance soit, en fonction de volume de stockage aux valeurs suivantes :

Type de chauffe-eau	Qp,r
Chauffe-eau à accumulation horizontal	0,939 + 0,0104 V
Chauffe-eau à accumulation vertical de volume supérieur ou égal à 75 l	0,224 + 0,0663 V ^{2/3}
Chauffe-eau à accumulation vertical de volume inférieur à 75 l	0,1474 + 0,0719 V ^{2/3}

Tableau 90 : Valeurs par défaut des pertes Qp,r en kWh/jour

La constante de refroidissement exprimée en Wh/(l.K.jour), est calculée par la formule suivante :

$$Cr = 1000 \cdot (Q_{pr} / (45 \cdot V)) \quad \text{Eq 306}$$

Où

Qp,r sont les pertes en kWh/jour (cf. tableau) .

V est le volume du ballon en l.

15.6.2.2 Calcul des pertes récupérées

On considère que 48 % des pertes de stockage sont récupérées (60 % des pertes de stockage sont récupérables avec un taux de récupération de 80 %) Elles s'expriment en Wh/h selon la formule ci-dessous :

$$Q_{g,w_rec} = 0,48 \cdot (Q_{g,w} / (8760 - d_{urvac})) \quad \text{Eq 307}$$

ces pertes récupérées sont calculées annuellement sur une période D_{chauff} (cf. Eq 228)

15.7 GENERATION DE CHALEUR ET DE REFROIDISSEMENT PAR TRANSFERT DE CHALEUR ET DE FROID

15.7.1 RESEAU DE CHALEUR

Dans le cas où le bâtiment est relié à un réseau de chaleur il n'y a pas à proprement parler de pertes de génération. Il y a en revanche des pertes liées à l'échangeur du réseau de chaleur.

15.7.1.1 Caractérisation des produits

On caractérise les sous-stations d'échange en fonction du niveau d'isolation de leurs composants. Ce niveau est décrit selon la norme prEN 15316-4-5 qui définit des classes d'isolation. On considère dans tous les cas que le réseau primaire est isolé avec une isolation supérieure d'une classe à celle du réseau secondaire.

On considère que tous les composants de la sous-station sont isolés à l'exception des organes de régulation.

15.7.1.2 Calcul des pertes

Les pertes liées à la station d'échange sont calculées par la formule suivante :

$$Q_{ss} = H_{ss} \cdot (\theta_{ss} - \theta_{amb}) \quad \text{Eq 308}$$

où :

H_{ss} est le coefficient d'échange de la sous-station,

θ_{ss} est la température moyenne de l'échangeur,

θ_{amb} est la température du local où est situé l'échangeur calculé comme pour une génération

$$H_{ss} = B_{ss} \cdot (P_{Ess}/1000)^{1/3} \quad \text{Eq 309}$$

où :

B_{ss} est un coefficient qui dépend du type de réseau et de l'isolation des composants. B_{ss} est donné au Tableau 92,

P_{Ess} est la puissance d'échange de la chaufferie dans les conditions nominales, en kW.

$$\theta_{ss} = D_{ss} \cdot \theta_{prs} + (1 - D_{ss}) \cdot \theta_{wh,ss} \quad \text{Eq 310}$$

où :

D_{ss} est un coefficient qui dépend du type de réseau. D_{ss} est donné au Tableau 91 : Température primaire et coefficient D_{ss} en fonction du type d'échangeur,

θ_{prs} est la température au primaire de l'échangeur qui est donnée au Tableau 91 : Température primaire et coefficient D_{ss} en fonction du type d'échangeur,

$\theta_{wh,ss}$ est la température de l'eau au secondaire de l'échangeur qui est calculée comme si on avait un générateur

Type de réseau	Température primaire $\theta_{\text{prs}} \text{ } ^\circ\text{C}$	D_{ss}
Eau chaude basse température	105	0,6
Eau chaude haute température	150	0,4
Vapeur basse pression	110	0,5
Vapeur haute pression	180	0,4

Tableau 91 : Température primaire et coefficient D_{ss} en fonction du type d'échangeur

		Classe d'isolation des composants de la sous-station selon le prEN 15316-4-5			
		4	3	2	1
Isolation réseau secondaire		4	3	2	1
Isolation réseau primaire		5	4	3	2
Type réseau	Eau chaude basse température	3,5	4,0	4,4	4,9
	Eau chaude haute température	3,1	3,5	3,9	4,3
	Vapeur basse pression	2,8	3,2	3,5	3,9
	Vapeur haute pression	2,6	3,0	3,3	3,7

Tableau 92 : Coefficient B_{ss} en fonction du type d'isolation et de la catégorie d'isolation

15.7.1.3 Consommation des auxiliaires

Les consommations sont prises conventionnellement nulles.

15.7.2 RESEAU DE FROID

Les pertes liées à la station d'échange sont négligées.

Les consommations des auxiliaires sont prises conventionnellement nulles.

15.8 GENERATION ET STOCKAGE DE CHALEUR PAR LES SYSTEMES SOLAIRES THERMIQUES

Cette partie permet de calculer chaque heure :

- les apports de l'installation solaire pour les besoins de chauffage et/ou d'eau chaude sanitaire.
- la consommation d'énergie des auxiliaires du système solaire.

On considère que les installations solaires sont en fonctionnement pendant toute l'année. Les apports sont considérés comme «gratuits» et sont soustraits aux besoins totaux du/des bâtiment(s). On utilise pour ce calcul des données provenant d'autres parties :

- besoins de chaleur et d'ECS du/des bâtiment(s),

et des données spécifiques fournies par l'utilisateur :

- caractéristiques des composants de l'installation solaire (capteur, ballon de stockage, chauffe-eau),
- caractéristiques de l'installation.

Le calcul de la référence se fera avec une installation ayant une surface de capteur nulle, c'est-à-dire, sans installation solaire. L'appoint, associé à l'installation solaire, servira à déterminer le type d'énergie du système de référence.

15.8.1 CHAMP D'APPLICATION

On traite ici de plusieurs systèmes de production d'eau chaude et de chauffage solaires :

Chauffe-eau solaire, préfabriqué en usine et répondant aux exigences de la norme EN 12976,

Installation de production d'eau chaude solaire individuelle ou collective associant des capteurs solaires à un ballon de stockage de courte durée (un jour ou deux),

Installation de chauffage et de production d'eau chaude solaires associant des capteurs solaires à un stockage à eau de courte durée – les ballons de stockages pour le chauffage et l'eau chaude pouvant être séparés,

Installation de chauffage et d'eau chaude solaires associant des capteurs solaires à des planchers chauffants ayant aussi une fonction de stockage pour le chauffage et à un ballon de stockage de courte durée pour l'eau chaude sanitaire dans un logement individuel.

La méthode présentée ici ne s'applique pas :

- aux chauffe-eau solaires monoblocs extérieurs, notamment aux capteurs autostockeurs,
- aux systèmes de chauffage et de production d'eau chaude combinés autres que ceux mentionnés plus haut,
- aux installations de capteurs solaires à air,
- aux installations de pompes à chaleur couplées à des capteurs atmosphériques.

Pour les deux premières catégories, des extensions de la méthode sont cependant prévues dans le futur.

15.8.2 STRUCTURE DE CALCUL

Les calculs passent par les étapes suivantes :

- Calcul de la couverture solaire pour le chauffage et/ou l'ECS,
- Calcul des pertes de transmission de l'installation solaire (entre stockage et appoint),
- Calcul des pertes de stockage de l'appoint,
- Calcul des pertes potentiellement récupérables de l'appoint,
- Calcul des consommations des auxiliaires du système solaire.

15.8.3 DEFINITIONS

Le tableau suivant indique pour les variables principales utilisées, le symbole, la définition et l'unité.

A	Superficie de capteurs solaires	m ²
A _p	Superficie de plancher solaire	m ²
a ₁	coefficient de pertes du premier ordre d'un capteur solaire	W/(m ² .K)
a ₂	coefficient de pertes du deuxième ordre d'un capteur solaire	W/m ² .K ²
A _C *	Superficie de captage équivalente d'un chauffe-eau solaire	m ²
c _{OS}	coefficient correctif de stockage	-
C _S	capacité de stockage d'un chauffe-eau solaire	MJ/K
c _W	coefficient correctif d'irrigation du stockage	-
D _{ens}	durée d'ensoleillement mensuelle	heures
F	taux de couverture solaire pour le chauffage ou l'eau chaude sanitaire	-
f _{aux}	fraction effective concernée par l'appoint	-
I _{SC}	ensoleillement sur le plan des capteurs en moyenne mensuelle	W/m ²
Q	besoins de chauffage ou d'eau chaude sanitaire	Wh
t _{mois}	durée du mois	heures
UA	coefficient de pertes d'un ballon de stockage	W/K
U _C	coefficient de pertes de captage rapporté à la superficie de capteurs	W/(m ² .K)
U _C *	coefficient de pertes de captage rapporté à la superficie équivalente de captage	W/(m ² .K)
UL	coefficient de pertes des tuyauteries de la boucle primaire	W/K
U _S	coefficient de pertes de stockage d'un chauffe-eau solaire	W/K
V _n	volume de stockage nominal	litres
V _S	volume de stockage solaire	litres
ΔT	écart de température conventionnel	K
η ₀	rendement optique d'un capteur solaire	-
η _p	efficacité de la boucle de captage	-

Tableau 93

15.8.4 CARACTERISATION DES PRODUITS

15.8.4.1 Capteurs solaires

Les caractéristiques sont : la superficie A (m²), le rendement optique η₀, les coefficients de pertes a₁ (W/(m².K)) et a₂ (W/m².K²) selon la norme NF EN 12975-2.

A est la superficie d'entrée ou la superficie hors tout, en cohérence avec les autres paramètres.

Dans ce qui suit on négligera le coefficient de pertes du second ordre a_2 et on n'utilisera que les valeurs η_0 et a_1 . Si l'on ne connaît que B et K on assimilera η_0 à B et a_1 à K.

Si on ne connaît pas les caractéristiques thermiques du capteur, on adopte les valeurs par défaut pénalisantes suivantes :

$$\eta_0 = 0,6$$

$$a_1 = 10 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K}) \text{ (capteur vitré)}$$

$$a_1 = 30 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K}) \text{ (capteur non vitré),}$$

ces valeurs étant rapportées à la superficie hors tout des capteurs.

15.8.4.2 Chauffe-eau solaires

On traite dans ce paragraphe des chauffe-eau solaires préfabriqués en usine et caractérisés dans leur ensemble (EN 12976, Avis technique). A défaut de cette caractérisation, on peut définir un chauffe-eau solaire par ses composants, capteur, ballon et tuyauteries de la boucle primaire.

Les caractéristiques dimensionnelles du chauffe-eau solaire sont la superficie de capteurs A (m^2) et le volume de stockage nominal V_n (litres).

Les caractéristiques thermiques sont :

la superficie de captage équivalente $AB\eta_p$, la masse en eau M (kg), le coefficient de pertes de captage K/B ($\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$) et le coefficient de pertes de stockage D_n (W/K) selon les résultats d'essais pris en compte dans l'Avis technique,

ou la superficie de captage équivalente A_c^* (m^2), la capacité de stockage CS (MJ/K), le coefficient de pertes de captage U_c^* ($\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$) et le coefficient de pertes de stockage U_s (W/K), plus la fraction effective concernée par l'appoint : f_{aux} , déterminés selon les spécifications de la norme NF EN 12976-2.

On utilise les notations de la norme NF EN 12976-2. La correspondance entre les deux jeux de caractéristiques est donnée par les relations suivantes :

$$A_c^* = AB\eta_p ; C_s = M \cdot c_p \quad (\text{avec } c_p = 0,00418 \text{ MJ}/\text{kg}.\text{K}) ; U_c^* = K/B ; U_s = D_n$$

Si on ne connaît pas les caractéristiques thermiques du chauffe-eau, mais seulement la superficie de capteurs A (m^2) et le volume de stockage nominal V_n (litres), on adopte les valeurs forfaitaires pénalisantes suivantes :

$$A_c^* = 0,4 \cdot A \quad [\text{m}^2]$$

$$U_c^* = 17 + 8/A \quad [\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})]$$

15.8.4.3 Ballons de stockage

Le ballon de stockage est caractérisé par son volume nominal V_n (litres) et son coefficient de pertes UA (W/K) déterminé selon la norme EN 12977-3 ou donné dans un Avis technique concernant un chauffe-eau qui comporterait ce ballon. Si l'on ne connaît pas UA mais la constante de refroidissement C_r ($\text{Wh}/\text{l}.\text{K}.\text{jour}$). On utilise la relation :

$$UA = C_r \cdot V_n/24 \quad [\text{W}/\text{K}]$$

On note que la méthode de calcul ne s'applique que si la constante de refroidissement du ballon est inférieure ou égale à la valeur par défaut du ballon d'eau chaude, c'est-à-dire : $C_r \leq 4,2 \cdot V_n^{-0.45}$ (Tableau 86 : Valeurs par défaut des constantes de refroidissement, C_r)

Le volume de stockage solaire V_S est obtenu par la relation suivante :

$$V_S = V_n \cdot (1 - f_{aux}) \quad [\text{litres}]$$

où f_{aux} est la fraction effective concernée par l'appoint intégré éventuel. Si le ballon ne comporte pas d'appoint intégré, f_{aux} est nulle. Si le ballon comporte un appoint intégré :

- 1) f_{aux} peut-être connue directement par des essais réalisés selon les spécifications de la norme NF EN 12976-2.
- 2) On considère le volume chauffé par l'appoint (compris entre le haut du ballon et le bas de la résistance électrique ou de l'échangeur) V_{ap} et on applique la formule :

$$f_{aux} = x \cdot V_{ap}/V_n \quad [-]$$

où x est un coefficient de gestion égal à :

. 0,9 si l'appoint est une résistance électrique alimentée en permanence ou un échangeur raccordé à une chaudière fonctionnant en permanence,

. 0,6 dans le cas contraire (appoint en fonctionnement de nuit ou utilisation de l'appoint en secours).

Par défaut on prend pour f_{aux} la valeur 0,5 dans le cas d'un ballon vertical et 2/3 dans le cas d'un ballon horizontal.

15.8.4.4 Cas particulier du plancher solaire

Dans le cas où l'installation comporte un plancher chauffant ayant une fonction de stockage, qu'on désigne par "plancher solaire", celui-ci est caractérisé par sa superficie A_p ainsi que par le diamètre et l'écartement des tubes.

15.8.5 EXPRESSION DE LA COUVERTURE SOLAIRE

15.8.5.1 Formule générale

On calcule un taux de couverture solaire F_{ecs} pour les besoins d'eau chaude et un taux de couverture solaire F_{ch} pour les besoins de chauffage. La formule générale est la suivante³ :

$$F = c_w \cdot (aY + bX + cY^2 + dX^2 + eY^3 + fX^3) \quad [-]$$

Si le résultat de la formule est négatif alors $F = 0$, s'il est supérieur à 1, $F = 1$.

où :

c_w est un coefficient correctif d'irrigation du stockage calculé au paragraphe 15.8.5.3.6.

a , b , c , d , e et f sont des coefficients dépendant du type de stockage comme indiqué dans le tableau suivant :

Coefficient	Stockage à eau	Plancher solaire
a	1,029	0,863
b	-0,065	-0,147
c	-0,245	-0,263
d	0,0018	0,008
e	0,0215	0,029
f	0	0,025

Tableau 94

X et Y sont deux paramètres sans dimensions. X est le rapport des pertes de captage conventionnelles aux besoins, avec des corrections éventuelles (coefficient c_{os}). Y est le rapport de l'énergie solaire absorbée aux besoins.

³ Formule empruntée à la méthode f-chart

Dans le cas d'un chauffe-eau solaire préfabriqué en usine dont les performances sont connues :

$$X = A_C^* \cdot U_C^* \cdot \Delta T \cdot t_{\text{mois}} \cdot c_{OS} / Q \quad [-]$$

$$Y = A_C^* \cdot I_{SC} \cdot t_{\text{mois}} / Q \quad [-]$$

Dans les autres cas :

$$X = A \cdot U_C \cdot \eta_p \cdot \Delta T \cdot t_{\text{mois}} \cdot c_{OS} / Q \quad [-]$$

$$Y = A \cdot \eta_0 \cdot \eta_p \cdot I_{SC} \cdot t_{\text{mois}} / Q \quad [-]$$

Dans les formules qui précèdent, t_{mois} est la durée du mois en heures.

L'efficacité de la boucle de captage η_p , le coefficient de déperdition thermique de la boucle de captage U_C , l'écart de température conventionnel ΔT , les besoins Q , le coefficient correctif de stockage c_{OS} et l'ensoleillement sur le plan des capteurs I_{SC} sont déterminés dans le §15.8.5.3.

Les paramètres A , η_0 , A^* et U_C^* sont des caractéristiques des produits définis au §15.8.4.

Conventionnellement, on considère pour le mois de janvier que F_{ecs} et F_{ch} sont égaux à 0,2, les pertes récupérables étant nulles.

Remarque: Le taux de couverture solaire des besoins de chauffage est calculé indépendamment des phases de chauffage. Le coefficient $(1 - F_{\text{ch}})$ s'applique aux besoins de chauffage quelle que soit la phase.

Le calcul du taux de couverture solaire tient compte des pertes de génération du système solaire.

15.8.5.2 Cas d'un système combiné (chauffage et ECS)

Pour un système combiné, on calcule successivement un taux de couverture solaire F_{ecs} pour les besoins d'eau chaude et un taux de couverture solaire F_{ch} pour les besoins de chauffage. La formule générale donnée au paragraphe 15.8.5.1 s'applique en supposant que chaque mois, une partie de la superficie de captage est consacrée au chauffage et l'autre partie à l'eau chaude, au prorata des besoins de chauffage et d'eau chaude.

S'il y a un stockage unique pour le chauffage et pour l'eau chaude on affecte de la même manière une partie du volume au chauffage et l'autre partie à l'eau chaude, au prorata des besoins de chauffage et d'eau chaude.

Dans les formules qui précèdent, donnant les paramètres X , Y et c_{OS} , la superficie de captage est multipliée par le coefficient P_{arch} pour le calcul de la couverture solaire des besoins de chauffage et par le coefficient P_{arecs} pour le calcul de la couverture solaire des besoins d'eau chaude. S'il y a lieu le volume de stockage est multiplié par le coefficient P_{arch} pour le calcul de la couverture solaire des besoins de chauffage et par le coefficient P_{arecs} pour le calcul de la couverture solaire des besoins d'eau chaude.

$$P_{\text{arch}} = Q_{\text{ch}} / (Q_{\text{ch}} + Q_{\text{ecs}}) \quad [-]$$

$$P_{\text{arecs}} = Q_{\text{ecs}} / (Q_{\text{ch}} + Q_{\text{ecs}}) \quad [-]$$

15.8.5.3 Expression des paramètres

15.8.5.3.1 Efficacité de la boucle de captage

η_p est l'efficacité de la boucle de captage, dont on retiendra la valeur unique :

$$\eta_p = 0,8$$

Remarque : dans le cas des chauffe-eau, la valeur de η_p est intégrée au coefficient A_c^* (cf. §15.8.4.2).

15.8.5.3.2 Déperditions thermiques de la boucle de captage

La boucle de captage est caractérisée par son coefficient de déperditions thermiques U_c ($W/(m^2.K)$), ramené à la superficie de capteurs. Il s'obtient en ajoutant au coefficient de déperditions thermiques du premier ordre du capteur a_1 (cf §15.8.4.1), le terme UL/A , où UL est le coefficient de déperditions thermiques équivalent des tuyauteries du circuit des capteurs.

$$U_c = a_1 + UL/A \quad [W/(m^2.K)]$$

UL est le produit de la longueur des tuyauteries par leur coefficient d'émission calculé comme indiqué au § 13.1.2 des règles Th-C-E. Faute de faire ce calcul on retiendra la valeur suivante de UL :

$$UL = 5 + 0,5 \cdot A \quad [W/K]$$

Remarque : dans le cas des chauffe-eau préfabriqués en usine, les pertes de la boucle de captage sont caractérisées par le coefficient U_c^* rapporté à la superficie équivalente de captage et non à la superficie de capteurs (cf. § 15.8.4.2).

15.8.5.3.3 Écart de température conventionnel

L'écart de température ΔT pour le calcul des pertes conventionnelles du capteur est déterminé comme suit :

$$\Delta T = \theta_{rf} - \theta_e \quad [K]$$

où θ_e est la température extérieure moyenne du mois en °C et où θ_{rf} est égale à :

17,2°C dans le cas du chauffage avec un plancher à accumulation solaire

100°C dans le cas du chauffage avec un ballon de stockage

$11,6 + 1,18 \cdot \theta_{uw} + 3,86 \cdot \theta_{cw} - 2,32 \cdot \theta_e$ dans le cas d'un calcul de couverture solaire des besoins d'eau chaude sanitaire

avec θ_{uw} est la température de l'eau chaude utilisée au puisage prise égale à 40°C

θ_{cw} est la température de l'eau froide entrant dans le système de préparation d'eau chaude.

15.8.5.3.4 Besoins

Q prend la valeur Q_{ecs} dans le cas du calcul de la couverture solaire des besoins d'eau chaude et Q_{ch} dans le cas du calcul de la couverture solaire des besoins de chauffage.

Q_{ecs} sont les besoins pour l'eau chaude en Wh comptés en aval de l'appoint (donc en amont de la distribution) :

$$Q_{ecs} = Q_w + Q_{d,w} \quad [Wh]$$

Q_w et $Q_{d,w}$ sont les besoins d'eau chaude et les pertes de distribution (cf. 8).

Q_{ch} est égal aux besoins de chauffage augmentés des pertes au dos des émetteurs et des pertes de distribution.

$$Q_{ch} = Q_h + Q_{per_em} + Q_{d_ch} \quad [Wh]$$

Dans le cas du plancher solaire, si le plancher n'est pas utilisé pour l'émission de l'énergie d'appoint, Q_{per_em} est nul.

15.8.5.3.5 Coefficient correctif de stockage du système solaire

Dans le cas d'un stockage à eau, le coefficient correctif de stockage c_{OS} est donné par la formule suivante :

$$c_{OS} = (V_{conv}/V_S)^{0,25} \quad [-]$$

V_S est le volume de stockage solaire. Dans le cas des chauffe-eau, on utilise la formule :

$$V_S = C_S / \rho_w \cdot c_p \quad [litres]$$

où ρ_w est la masse volumique de l'eau (1 kg/l), c_p est la capacité calorifique de l'eau (0,00418 MJ/kg.K).

V_{conv} est un volume conventionnel égal à 75 litres par m² de capteurs.

Dans le cas d'un plancher solaire, le coefficient correctif de stockage c_{OS} est donné par la formule suivante :

$$c_{OS} = (55 \cdot A / A_p)^{0,03} \quad [-]$$

A et A_p étant respectivement la superficie de capteurs et la superficie du plancher solaire.

15.8.5.3.6 Coefficient correctif d'irrigation du stockage

Dans le cas d'un système de chauffage solaire à stockage à eau ou de production d'eau chaude sanitaire solaire :

$$c_w = 1 \quad [-]$$

Dans le cas d'un plancher solaire les valeurs de c_w sont données dans le tableau ci-dessous en fonction de l'écartement et du diamètre des tubes :

Écartement des tubes en cm	Diamètre des tubes en mm			
	Jusqu'à 17	de 18 à 22	de 23 à 27	28 et plus
Jusqu'à 17	1	1,01	1,03	1,04
de 18 à 22	0,98	1	1,01	1,03
de 23 à 27	0,96	0,98	1	1,01
28 et plus	0,94	0,95	0,97	1

Tableau 95 : Valeurs des coefficients c_w

Si on ne connaît pas les valeurs de l'écartement des tubes et leur diamètre, on adopte la valeur pénalisante $c_w = 0,94$.

De même si on a un système comportant plusieurs planchers ayant différentes caractéristiques, on prendra la valeur pénalisante $c_w = 0,94$.

15.8.5.3.7 Ensoleillement sur les capteurs

I_{SC} est l'ensoleillement sur le plan des capteurs en moyenne mensuelle exprimé en W/m^2 .

Deux configurations d'orientation des capteurs sont possibles :

1) Dans le cas où les capteurs sont orientés entre le sud-est et le sud-ouest, inclinés entre 40 et 50° sur l'horizontale, et sans obstacle susceptible de les masquer, les valeurs de I_{SC} sont données dans le tableau ci-dessous pour les trois zones climatiques.

Ces valeurs intègrent une minoration d'environ 6% pour tenir compte de l'angle d'incidence (la performance d'un capteur vitré diminue lorsque l'angle d'incidence s'écarte de l'incidence normale). Cette minoration n'étant valable que pour les capteurs vitrés, il faut diviser les valeurs du tableau par $0,94$ en cas de capteurs non vitrés.

	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
H1a	52	84	119	153	183	187	184	187	157	104	61	41
H1b	46	80	117	156	183	193	199	189	148	98	58	40
H1c	65	98	146	174	190	207	221	212	178	117	74	59
H2a	59	85	119	153	184	193	190	185	159	110	75	52
H2b	70	105	154	187	210	214	203	207	208	124	77	64
H2c	84	121	159	183	198	206	218	210	183	123	85	69
H2d	110	149	181	207	227	246	259	256	219	156	115	99
H3	124	136	180	199	215	233	244	245	216	161	122	116

Tableau 96 : Valeurs mensuelles de l'ensoleillement corrigé sur des capteurs vitrés inclinés à 45° et orientés vers le sud (W/m^2)

2) Si l'on n'est pas dans le cas précédent, on applique un coefficient de réduction de $0,8$ aux valeurs du tableau pourvu que l'orientation des capteurs soit comprise entre -90 et $+90^\circ$ (sud = 0°) et que la hauteur moyenne des obstacles sur l'horizon soit inférieure à 20° .

Pour toutes les autres configurations, on ne tient pas compte du système solaire dans les calculs du coefficient C.

15.8.6 CALCUL DES PERTES DE TRANSMISSION ENTRE LE BALLON SOLAIRE ET L'APPOINT

Dans le cas d'une installation d'eau chaude sanitaire les pertes de transmission entre le ballon solaire et l'appoint sont ajoutées aux pertes de distribution en aval de l'appoint et sont donc aussi multipliées par $(1 - F)$ pour le calcul de la consommation d'appoint.

Dans le cas d'une installation de chauffage solaire à stockage à eau les pertes de transmission entre le ballon solaire et l'appoint sont négligées.

15.8.6.1 Chauffe-eau solaire individuel

Dans le cas de l'appoint intégré, ces pertes sont nulles.

Dans le cas d'un chauffe-eau solaire individuel à appoint séparé les pertes Q_{dwsa} entre le ballon solaire et l'appoint se calculent avec la formule suivante :

$$Q_{dwsa} = F_{ecs} \cdot (0,005 \cdot l_{satot} + 0,08 \cdot l_{sahvc}) \cdot Q_{ecs} \quad [Wh]$$

F_{ecs} est le taux de couverture solaire pour l'eau chaude sanitaire.

l_{satot} est la longueur totale en mètres de la tuyauterie entre ballon solaire et appoint, l_{sahvc} étant la longueur située hors volume chauffé.

Si l'on ne connaît pas ces longueurs on prend :

$$Q_{dwsa} = 0,05 F_{ecs} \cdot Q_{ecs} \quad [Wh]$$

15.8.6.2 Installation d'eau chaude solaire collective à appoint centralisé

On prend : $Q_{dwsa} = 0,02 F_{ecs} \cdot Q_{ecs}$ si la tuyauterie est isolée, [Wh]

$Q_{dwsa} = 0,05 F_{ecs} \cdot Q_{ecs}$ si la tuyauterie n'est pas isolée. [Wh]

15.8.6.3 Installation d'eau chaude solaire collective à appoints individuels

Lorsque les appoints individuels sont reliés au ballon solaire par un réseau bouclé dont le retour s'effectue dans le ballon solaire, les pertes du réseau bouclé sont de même nature que celles du ballon solaire et ne sont pas comptées ici.

Sinon on prend

$Q_{dwsa} = 0,25 F_{ecs} \cdot Q_{ecs}$ si la tuyauterie est isolée, [Wh]

$Q_{dwsa} = 0,4 F_{ecs} \cdot Q_{ecs}$ si la tuyauterie n'est pas isolée. [Wh]

15.8.7 PERTES DE STOCKAGE DE L'APPOINT**15.8.7.1 Appoint centralisé (installation collective d'eau chaude sanitaire)**

Les pertes de stockage sont calculées comme au § 15.5.2.

15.8.7.2 Appoint individuel (installation d'eau chaude sanitaire)

Si l'appoint est séparé, les pertes de stockage sont calculées comme au § 15.5.2 mais en introduisant le coefficient minorateur c_a (coefficient d'arrêt) qui tient compte de l'arrêt de l'appoint pendant les périodes où l'énergie solaire est suffisante. Il est déterminé comme suit :

si $F_{ecs} < 0,75$: $c_a = 1$ [-]

si $F_{ecs} \geq 0,75$: $c_a = 4 (1 - F_{ecs})$ [-]

Si l'appoint est intégré dans le ballon solaire, on procède comme ci-dessus après avoir multiplié le volume de stockage total par le facteur f_{aux} (cf. 15.8.4.3).

On note que le calcul du coefficient minorateur n'intervient pas dans le calcul de la récupération de chaleur pour le chauffage.

15.8.7.3 Pertes récupérables de l'appoint

Les pertes récupérables concernent la part appoint du ballon. Les pertes récupérables sont égales aux pertes multipliées par un coefficient de récupération.

15.8.8 CONSOMMATION DE L'APPOINT

$C_{app_ECS} = (Q_{ecs} + Q_{dwsa}) \cdot (1 - F_{ecs}) + Q_{gw_app} \cdot C_{nbjocc}$

Q_{gw_app} étant les pertes du stockage d'appoint § 15.8.7.

C_{nbjocc} est le ratio du nombre mensuel de jours occupés au nombre total de jours du mois.

15.8.9 CONSOMMATION DES AUXILIAIRES DE L'INSTALLATION SOLAIRE

Pour un chauffe-eau à thermosiphon, la consommation des auxiliaires est nulle.

Pour une installation à circulation forcée on ne considère que les circulateurs ou pompes solaires (en négligeant notamment la consommation de la régulation). Si P_{ax} est la puissance consommée par le circulateur ou les pompes, exprimée en W, la consommation des auxiliaires de l'installation solaire a pour valeur :

$$C_{ax} = P_{ax} \cdot D_{fonc} \quad [Wh]$$

La durée de fonctionnement D_{fonc} est donnée par la formule suivante :

$$D_{fonc} = D_{ens} \cdot \min [1 ; (Q_{ch} + Q_{ecs}) / (I_{sc} \cdot A \cdot 0,4 \cdot t_{mois})] \quad [h]$$

Dans cette formule, on considère que, en hiver, lorsque l'ensoleillement récupérable est inférieur aux besoins, la pompe primaire fonctionne tant que le soleil brille. Inversement, en été, la pompe fonctionne proportionnellement au rapport entre les besoins et l'ensoleillement récupérable (ce dernier est estimé en prenant en compte un rendement moyen du capteur solaire égal à 40%).

	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
H1a	57	81	202	150	181	208	246	205	156	103	59	47
H1b	54	71	112	187	198	214	252	202	160	89	79	56
H1c	68	91	165	145	167	213	277	261	186	122	69	57
H2a	89	76	205	162	188	248	231	217	146	111	84	81
H2b	78	118	188	205	244	290	340	251	234	145	119	119
H2c	107	124	169	183	191	255	291	295	179	113	119	80
H2d	142	195	262	242	236	315	376	326	248	197	160	156
H3	138	104	212	235	288	282	334	285	245	201	203	154

Tableau 97 : Durées mensuelles d'ensoleillement en heures

Faute de connaître P_{ax} on adopte la valeur :

$$P_{ax} = 50 + 5 \cdot A \quad [W]$$

A étant la superficie des capteurs en m^2 .

Si $A = 0 m^2$ alors $P_{ax} = 0 W$. Cette valeur est utilisée pour le calcul des consommations des auxiliaires dans le cas de la référence.

15.8.10 REFERENCES NORMATIVES

			Indice de classement	Titre	Publ
NF	EN	12975-2	P 50-530-2	Installations solaires thermiques et leurs composants - Capteurs solaires - Partie 2 : Méthodes d'essai	2002
NF	EN	12976-1	P 50-531-1	Installations solaires thermiques et leurs composants - Installations préfabriquées en usine - Partie 1 : Exigences générales	2002
NF	EN	12976-2	P 50-531-2	Installations solaires thermiques et leurs composants - Installations préfabriquées en usine - Partie 2 : Méthodes d'essai	2002

Tableau 98 : Références normatives

16. INSTALLATION SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

16.1 DOMAINE D'APPLICATION

L'installation solaire photovoltaïque est prise en compte dans le calcul du coefficient C uniquement si elle est prévue dans le permis de construire.

Elle ne couvre donc pas les installations indépendantes sur châssis (champs photovoltaïques) ou mobilier urbain en périphérie du bâtiment.

La méthode de calcul vise les installations photovoltaïques connectées à un point du réseau électrique de distribution basse, moyenne ou haute tension, selon les termes de l'arrêté du 13 mars 2002, et fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations utilisant l'énergie radiative du soleil telles que visées au 3° de l'article 2 du décret n°2000-1196 du 6 décembre 2000.

La méthode de calcul :

Concerne uniquement les systèmes en connexion pure. C'est-à-dire les installations dont l'objectif est de pouvoir revendre tout ou partie de sa production sur le réseau électrique. Aucun système de stockage de l'énergie n'est donc considéré,

Ne concerne pas les installations photovoltaïques à concentration,

Ne permet pas de prise en compte spécifique pour les installations photovoltaïques hybrides,

Ne traite pas spécifiquement les couplages des systèmes photovoltaïques et des façades double peau.

16.2 PRINCIPE DE CALCUL

Le principe de calcul est le suivant :

L'énergie électrique E_{pv} produite par les modules photovoltaïques est calculée au niveau du bâtiment.

On affecte à la contribution photovoltaïque E_{pv} un coefficient de conversion $C_{ep,pv}$ égal à celui de l'électricité. Cette contribution corrigée est alors soustraite au coefficient C du bâtiment.

L'énergie produite par les modules photovoltaïques apparaît donc comme une réduction directe du coefficient C_{ep} . En revanche, dans le calcul de la référence la contribution des modules photovoltaïques est nulle.

16.3 METHODE DE CALCUL

La formule de la quantité d'énergie annuelle produite par le système photovoltaïque est donnée par :

$$E_{pv} = H_i \cdot P_0 \cdot R_p$$

Avec

E_{pv} : énergie totale délivrée par le système photovoltaïque [kWh]

H_i : énergie incidente annuelle dans le plan des modules [kWh/m²]

P_0 : puissance crête [kWc] d'après NF C 57-100

R_p : Indice de performance

Note : la puissance crête [kWc] représente la puissance d'un module de surface A_{pv} , maintenu à 25 °C sous un ensoleillement de 1000 W/m².

16.3.1 ENERGIE INCIDENTE H_i

La détermination de l'énergie incidente annuelle (mensuelle) dans le plan des modules est donnée par la formule :

$$H_i = H_{\text{hor,zone}} \cdot FT$$

Avec :

$H_{\text{hor,zone}}$: énergie incidente annuelle sur un plan horizontal par région géographique [kWh/m²],

FT : Facteur de transposition.

Pour le calcul de l'énergie incidente annuelle sur un plan horizontal par région géographique $H_{\text{hor,zone}}$, on adopte par convention la répartition suivante :

PACA, Languedoc-Roussillon : 1500 kWh/m²

Rhône-Alpes, Midi-Pyrénées : 1350 kWh/m²

Pays de la Loire, Poitou-Charentes, Aquitaine, Limousin, Auvergne : 1250 kWh/m²

Bretagne, Basse-Normandie, Centre, Bourgogne, Franche Comté : 1150 kWh/m²

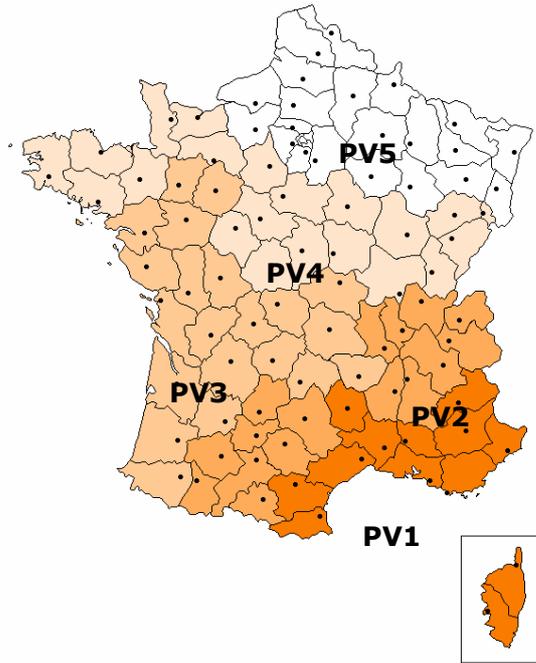
Nord-Pas-de-Calais, Haute-Normandie, Picardie, Ile de France, Champagne-Ardenne, Lorraine, Alsace : 1050 kWh/m²

Le facteur de transposition FT traduit la variation d'énergie incidente dans un plan incliné par rapport à l'énergie incidente dans un plan horizontal. Les valeurs du tableau ci-dessous ont été calculées par le logiciel PVSYST et représentent la moyenne arithmétique obtenue pour différentes stations météorologiques d'une même zone. Ces valeurs sont calculées par la formule :

$$FT = H_{i,\text{inclinaison, orientation}} / H_{i,\text{horizontal,sud}}$$

Zone	Régions associées	Départements	Energie solaire sur plan horizontal [kWh/m ² /an]
PV1	PACA, Languedoc-Roussillon Corse ??	04-05-06-13-83-84 11-30-34-48-66	1500
PV2	Rhône-Alpes, Midi-Pyrénées	01-07-26-38-42-69-73-74 09-12-31-32-46-65-81-82	1350
PV3	Pays de la Loire, Poitou-Charentes, Aquitaine, Limousin, Auvergne	44-49-53-72-85 16-17-79-86 24-33-40-47-64 19-23-87 03-15-43-63	1250
PV4	Bretagne, Basse-Normandie, Centre, Bourgogne, Franche Comté	22-29-35-56-14-50-61 18-28-36-37-41-45 21-58-71-89-25-39-70-90	1150
PV5	Nord-Pas-de-Calais, Haute- Normandie, Picardie, Ile de France, Champagne-Ardenne, Lorraine, Alsace	59-62-27-76 02-60-80 77-78-91-92-93-94-95+Paris 08-10-51-52 54-55-57-88-67-68	1050

Tableau 99 : Valeurs de $H_{\text{hor,zone}}$



FT – Zone PV1		Orientation				
Inclinaison		Ouest	Sud-Ouest	Sud	Sud-Est	Est
	0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	30°	0,93	1,09	1,15	1,09	0,93
	45°	0,87	1,06	1,13	1,06	0,87
	60°	0,79	0,99	1,06	0,99	0,79
90°	0,59	0,74	0,77	0,74	0,59	

FT – Zone PV2		Orientation				
Inclinaison		Ouest	Sud-Ouest	Sud	Sud-Est	Est
	0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	30°	0,93	1,06	1,10	1,06	0,93
	45°	0,87	1,02	1,08	1,02	0,87
	60°	0,79	0,95	1,00	0,95	0,79
90°	0,60	0,70	0,71	0,70	0,60	

FT – Zone PV3		Orientation				
Inclinaison		Ouest	Sud-Ouest	Sud	Sud-Est	Est
	0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	30°	0,93	1,07	1,13	1,07	0,93
	45°	0,87	1,05	1,11	1,05	0,87
	60°	0,79	0,98	1,04	0,98	0,79
90°	0,60	0,73	0,76	0,73	0,60	

FT – Zone PV4		Orientation				
Inclinaison		Ouest	Sud-Ouest	Sud	Sud-Est	Est
	0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	30°	0,93	1,06	1,11	1,06	0,93
	45°	0,87	1,03	1,09	1,03	0,87
	60°	0,79	0,96	1,02	0,96	0,79
90°	0,60	0,72	0,74	0,72	0,60	

FT – Zone PV5		Orientation				
Inclinaison		Ouest	Sud-Ouest	Sud	Sud-Est	Est
	0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	30°	0,94	1,06	1,11	1,06	0,94
	45°	0,88	1,03	1,08	1,03	0,88
	60°	0,80	0,96	1,01	0,96	0,80
90°	0,61	0,72	0,74	0,72	0,61	

Tableau 100 : Valeurs de FT

16.3.2 PUISSANCE CRÊTE P₀

La valeur de la puissance crête P₀ des modules photovoltaïques (cristallins ou amorphes) est déterminée conformément aux normes :

IEC 61215 : "Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval", pour les modules cristallins.

IEC 61646 : "Thin Film terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval", pour les modules amorphes.

La valeur de la puissance crête P₀ est obtenue sous des Conditions de Test "Standard" (STC) : T_{ref} = 25 °C ± 2 °C, G_{ref} = 1000 W/m² avec la répartition spectrale de l'éclairement solaire de référence.

Deux cas sont distingués :

On dispose d'un procès verbal d'essai émanant d'un laboratoire accrédité selon la norme EN 45011 par le Comité français d'accréditation (COFRAC) ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord multilatéral pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation (European Cooperation for Accreditation, ou ECA)", On utilise la valeur de P₀ indiquée sur le procès verbal,

On ne dispose pas d'un tel procès verbal. P₀ est calculée en multipliant la valeur de R_s donnée dans le tableau suivant en fonction du type de module par la surface S du module, en excluant le cadre de celui-ci.

Type de module	R _s [Wc/m ²]
Mono cristallin	125
Multi cristallin	115
Silicium Amorphe	55
Couches Minces	35

Tableau 101 : Valeurs par défaut de la puissance crête par m²

$$P_0 = R_s \cdot S$$

16.3.3 INDICE DE PERFORMANCE R_p

La valeur de l'indice de performance R_p qui est un facteur de correction du rendement global des modules photovoltaïques, dépend :

du système de conversion DC/AC,

- de la température réelle de fonctionnement des modules,
- du type d'intégration des modules dans le bâtiment.

Dans ce dernier cas, on peut distinguer différents types d'intégration en fonction de la catégorie de ventilation des modules :

non ventilés ou isolés (tout type d'intégration)

ventilés ou faiblement ventilés (pose sur toiture)

très ventilés ou ventilation forcée (pose sur toiture terrasse, brise-soleil, double peau)

Les valeurs prises dans la méthode de calcul sont :

	R _p
Modules non ventilés	0,70
Modules ventilés ou faiblement ventilés	0,75
Modules très ventilés ou ventilation forcée	0,80

Tableau 102 : Valeurs de R_p

16.3.4 EXEMPLES

Données du projet	Exemple 1	Exemple 2	Exemple 3
Région administrative	Rhône-Alpes PV2	Languedoc- Roussillon PV1	Ile de France PV5
Orientation	Sud	Sud	Sud
Inclinaison	30°	90°	60°
Technologie	Mono-cristallin	Multi-cristallin	Amorphe
Puissance crête [kWc]	1,1	10	22
Ventilation des modules	Non ventilés	Ventilation forcée	Ventilés faiblement
Calculs préliminaires	Exemple 1	Exemple 2	Exemple 3
$H_{hor,zone}$ [kWh/m ² /an] <i>selon Tableau 1</i>	1350,0	1500,0	1050,0
FT <i>selon Tableau 2</i>	1,10	0,77	1,01
Hi [kWh/m ² /an] <i>selon Equation 2</i>	1485,0	1155,0	1060,5
Rp <i>selon Tableau 4</i>	0,70	0,80	0,75
Résultats Règles TH-C	Exemple 1	Exemple 2	Exemple 3
E _{pv} [kWh/an] <i>selon Equation 1</i>	1143,5	9240,0	17498,3
A _{pv} [m ²] <i>selon Equation 6</i>	8,80	86,96	400,00

Tableau 103

Rappel des normes de l'industrie photovoltaïque

IEC 61173 Ed. 1.0	Overvoltage protection for photovoltaic (PV) power generating systems – Guide
IEC 61194 Ed. 1.0	Characteristic parameters of stand-alone photovoltaic (PV) systems
IEC 61277 Ed. 1.0	Terrestrial photovoltaic (PV) power generating systems - General and guide
IEC 61683	Photovoltaic systems - Power conditioners - Procedure for measuring efficiency
IEC 61702 Ed. 1.0	Rating of direct coupled photovoltaic (PV) pumping systems
IEC 61724 Ed. 1.0	Photovoltaic system performance monitoring - Guidelines for measurement, data exchange and analysis
IEC 61725 Ed. 1.0	Analytical expression for daily solar profiles
IEC 61727 Ed. 1.0	Photovoltaic (PV) systems - Characteristics of the utility interface
IEC 61829 Ed. 1.0	Crystalline silicon photovoltaic (PV) array - On-site measurement of I-V characteristics
IEC 61836 TR2 Ed. 1.0	Solar photovoltaic energy systems - Terms and symbols
IEC/PAS 62111 Ed. 1.0	Specifications for the use of renewable energies in rural decentralised electrification
IEC 61427	Secondary cells and batteries for solar photovoltaic energy systems - General requirements and methods of test
IEC 62124	Photovoltaic stand-alone systems – Design qualification and type approval
IEC 61723	Safety guidelines for grid connected photovoltaic (PV) systems mounted on buildings
IEC 61836-2	Solar photovoltaic energy systems - Terms and symbols - Part 2
IEC 62078	Certification and accreditation program for photovoltaic (PV) components and systems - Guidelines for a total quality system
IEC 62109	Electrical safety of static inverters and charge controllers for use in photovoltaic (PV) power systems
IEC 62093	Balance of System for Photovoltaic stand-alone systems - Design qualification and type approval
IEC 61721 Ed. 1.0	Susceptibility of a photovoltaic (PV) module to accidental impact damage (resistance to impact test)
IEC 61701 Ed. 1.0	Salt mist corrosion testing of photovoltaic (PV) modules
IEC 61646 Ed. 1.0	Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval
IEC 61345 Ed. 1.0	UV test for photovoltaic (PV) modules
IEC 61215 Ed. 1.0	Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval
IEC 60904-10 Ed. 1.0	Photovoltaic devices - Part 10: Methods of linearity measurement
IEC 60904-9 Ed. 1.0	Photovoltaic devices - Part 9: Solar simulator performance requirements
IEC 60904-8 Ed. 2.0	Photovoltaic devices - Part 8: Measurement of spectral response of a photovoltaic (PV) device
IEC 60904-7 Ed. 2.0	Photovoltaic devices - Part 7: Computation of spectral mismatch error introduced in the testing of a photovoltaic device
IEC 60904-6 Ed. 1.0	Photovoltaic devices - Part 6: Requirements for reference solar modules, Amendment 1
IEC 60904-5 Ed. 1.0	Photovoltaic devices - Part 5: Determination of the equivalent cell temperature (ECT) of photovoltaic (PV) devices by the open-circuit voltage method
IEC 60904-3 Ed. 1.0	Photovoltaic devices. Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data
IEC 60904-2 Ed. 1.0	Photovoltaic devices. Part 2: Requirements for reference solar cells, Amendment 1
IEC 60904-1 Ed. 1.0	Photovoltaic devices. Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics
IEC 60891 Ed. 1.0	Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics of crystalline silicon photovoltaic devices, Amendment No. 1

Tableau 104 : Normes de l'industrie photovoltaïque

17. CALCUL DE LA CONSOMMATION CONVENTIONNELLE D'ÉNERGIE DU BATIMENT

Comme indiqué au § 1.2 , La consommation conventionnelle d'énergie d'un bâtiment pour :

- le chauffage,
- le refroidissement,
- la production d'eau chaude sanitaire,
- les ventilateurs locaux et centraux pour le chauffage, le refroidissement et la ventilation
- les auxiliaires de distribution et génération pour le chauffage, le refroidissement et l'eau chaude sanitaire
- l'éclairage des locaux

diminuée de la production d'électricité à demeure s'exprime sous forme d'un coefficient exprimé en kWh/m² d'énergie primaire, noté **C_{ep}** , il est obtenu par l' Eq 1 du § 1.2:

$$C_{ep} = C_{ch} \cdot C_{ep-ch} + C_{fr} \cdot C_{ep-fr} + C_{ecs} \cdot C_{ep-ecs} + C_{ecl} \cdot C_{ep-ecl} + C_{vent} \cdot C_{ep-vent} + C_{aux} \cdot C_{ep-aux} - E_{pv} \cdot C_{ep-pv}$$

où :

C_{ch} est la consommation conventionnelle d'énergie pour le chauffage du bâtiment hors la consommation conventionnelle des auxiliaires de distribution et de génération de chaleur pour le chauffage et hors la consommation conventionnelle des ventilateurs locaux pour le chauffage, en kWh/m².

L'expression de C_{ch} dépend du type de générateur de chauffage :

Type de générateur pour le chauffage	Energie à fournir pour le chauffage aux bornes du générateur 'i' pour l'ensemble du bâtiment Cf § 14.1 Eq 225	Efficacité du générateur	Consommation de chauffage par type de générateur C_{ch}
Générateur à combustion assurant seulement le chauffage	$Ef_{gen-chauff}(gen_comb_i)$: Energie à fournir pour le chauffage aux bornes du générateur à combustion i	$Rconv_{chauff}(gen_comb_i)$: rendement conventionnel annuel moyen du générateur à combustion i Cf § 15.4.1.5 Eq 251	$\sum_i \frac{Ef_{gen-chauff}(gen_comb_i)}{Rconv_{chauff}(gen_comb_i)}$
Générateur à combustion assurant le chauffage et l'ECS	$Ef_{gen-chauff}(gen_comb_i)$: Energie à fournir pour le chauffage aux bornes du générateur à combustion i	$Rconv_{chauff}(gen_comb_i)$: rendement conventionnel annuel moyen du générateur à combustion i Cf § 15.4.1.5 Eq 259 ou Eq 261	$\sum_i \frac{Ef_{gen-chauff}(gen_comb_i)}{Rconv_{chauff}(gen_comb_i)}$
Générateur à effet joule direct	$Ef_{gen-chauff}(gen_joule_i)$: Energie à fournir pour le chauffage aux bornes du générateur à effet joule direct i	1	$\sum_i Ef_{gen-chauff}(gen_joule_i)$
Générateur thermodynamique pour le chauffage	$Ef_{gen-chauff}(gen_thermo_i)$: Energie à fournir pour le chauffage aux bornes du générateur thermodynamique i	$COP_{corrige}(gen_thermo_i)$: performance énergétique annuelle moyenne corrigée du générateur thermodynamique i Cf §15.4.2.2 Eq 279	$\sum_i \frac{Ef_{gen-chauff}(gen_thermo_i)}{COP_{corrige}(gen_thermo_i)}$
Réseau de chaleur	$Ef_{gen-chauff}(gen_RC_i)$: Energie à fournir aux bornes du Réseau de chaleur i	Il ne s'agit pas ici d'efficacité mais de pertes en Wh : $Q_{ss}(gen_RC_i_j)$: pertes liées à la station d'échange j du RC i Cf 15.7.1.2 Eq 308.	$\sum_i [Ef_{gen-chauff}(gen_RC_i) + \sum_j Q_{ss}(gen_RC_i_j)]$

C_{fr} est la consommation conventionnelle d'énergie pour le refroidissement du bâtiment hors la consommation conventionnelle des auxiliaires de distribution et de génération de froid pour le refroidissement du bâtiment et hors la consommation conventionnelle des ventilateurs locaux pour le refroidissement du bâtiment, en kWh/m².

L'expression de C_{fr} dépend du type de générateur de refroidissement:

Type de générateur pour refroidissement	Energie à fournir aux bornes du générateur pour l'ensemble du bâtiment Cf § 14.1 Eq 226	Efficacité du générateur	Consommation de chauffage par type de générateur C_{ch}
Générateur thermodynamique pour le refroidissement	$E_{f_{gen-froid}(gen_thermo_i)}$: Energie à fournir pour le refroidissement aux bornes du générateur i	$EFF_{corrigé}(gen_thermo_i)$	$\sum_i \frac{E_{f_{gen-froid}(gen_thermo_i)}}{EFF_{corrigé}(gen_thermo_i)}$
Réseau de froid	$E_{f_{gen-froid}(gen_RF_i)}$: Energie à fournir pour le refroidissement aux bornes du réseau de refroidissement i		$\sum_i E_{f_{gen-froid}(gen_RF_i)} \text{ froid ?}$

C_{ecs} est la consommation conventionnelle d'énergie du bâtiment correspondant à l'eau chaude sanitaire hors la consommation conventionnelle des auxiliaires de distribution et de génération de l'eau chaude sanitaire en kWh/m².

L'expression de C_{ecs} dépend du type de générateur pour la production d'ECS.

Type de générateur pour l'ECS	Energie à fournir pour l'ECS aux bornes du générateur pour l'ensemble du bâtiment Cf § 14.2 équation Eq 233	Efficacité du générateur	Consommation de chauffage par type de générateur C_{ecs}
Générateur à combustion assurant uniquement l'ECS + élément de stockage	$Ef_{gen-ECS}(gen_comb_i)$: Energie à fournir pour l'ECS aux bornes du générateur à combustion i	$Rconv_{ecs}(gen_comb_i)$: rendement conventionnel annuel moyen du générateur à combustion i Cf § 15.4.1.4 Eq 257 ou Eq 258	$\sum_i \frac{Ef_{gen-ecs}(gen_comb_i)}{Rconv_{ecs}(gen_comb_i)} + \sum_j Q_{g,w}(j)$ $Q_{g,w}(j)$ étant les pertes de stockage de l'élément de stockage j calculé au § 15.5.2
Générateur à combustion assurant le chauffage et l'ECS + élément de stockage	$Ef_{gen-ECS}(gen_comb_i)$: Energie à fournir pour l'ECS aux bornes du générateur à combustion i	$Rconv_{ecs}(gen_comb_i)$: rendement conventionnel annuel moyen du générateur à combustion i Cf § 15.4.1.5 Eq 260 ou Eq 262	$\sum_i \frac{Ef_{gen-ecs}(gen_comb_i)}{Rconv_{ecs}(gen_comb_i)} + \sum_j Q_{g,w}(j)$ $Q_{g,w}(j)$ étant les pertes de stockage de l'élément de stockage j calculé au § 15.5.2
Accumulateur gaz	$Ef_{gen-ecs}(gen_acc_i)$: Energie à fournir pour l'ECS aux bornes de l'accumulateur gaz i	$Rconv_{ecs}(gen_acc_i)$: rendement conventionnel annuel moyen de l'accumulateur gaz (intègre les pertes de stockage) Cf § 15.6.1.2.3 Eq 302	$\sum_i \frac{Ef_{gen-ecs}(gen_acc_i)}{Rconv_{ecs}(gen_acc_i)}$
Chauffe-eau électrique à accumulation	$Ef_{gen-ecs}(gen_elec_i)$: Energie à fournir aux bornes du chauffe-eau électrique i		$\sum_i Ef_{gen-ecs}(gen_elec_i) + \sum_i Q_{g,w}(i)$ $Q_{g,w}(i)$ étant les pertes de stockage du chauffe-eau électrique à accumulation i calculées au § 15.6.2.1

C_{ecl} est la consommation conventionnelle d'énergie pour l'éclairage du bâtiment en kWh/m²,

C_{ecl} est calculée au § 7 cf. Eq 4

C_{vent} est la consommation conventionnelle d'énergie du bâtiment correspondant aux ventilateurs locaux et centraux pour le chauffage, le refroidissement et la ventilation, en kWh/m²,

C_{vent} est calculé au § 10.3 et au § 12

C_{aux} est la consommation conventionnelle d'énergie du bâtiment correspondant aux auxiliaires de distribution et génération pour le chauffage, le refroidissement et l'eau chaude sanitaire, en kWh/m²,

Les consommations des auxiliaires de distribution pour l'ECS sont calculées au § 8.4

Les consommations des auxiliaires de distribution pour le chauffage et le refroidissement sont calculées au § 11.1

Les consommations des auxiliaires de génération pour le chauffage, le refroidissement et la production d'ECS sont calculées selon le type de générateur aux § 15.4.1.7, § 15.6.1.3.1, au § 15.7.1.3, au § 15.8.9

E_{pv} représente la production d'électricité à demeure, en kWh/m²,

E_{pv} est calculée au § 16.3

$C_{ep\cdot ch}$, $C_{ep\cdot fr}$, $C_{ep\cdot ecs}$, $C_{ep\cdot ecl}$, $C_{ep\cdot vent}$, $C_{ep\cdot aux}$, $C_{ep\cdot pv}$ sont les coefficients de transformation en énergie primaire correspondant respectivement au chauffage, au refroidissement, à l'eau chaude sanitaire, à l'éclairage, aux ventilateurs locaux, aux auxiliaires de distribution et de génération et au photovoltaïque.

18. CALCUL DE TIC

18.1 INTRODUCTION

La méthode TH-C-E ex a pour objet de calculer la température intérieure conventionnelle atteinte en été Tic:

- Pour le bâtiment après travaux (appelé aussi bâtiment projet), Ticprojet
- Pour le bâtiment de référence, Ticref

18.2 METHODE DE CALCUL

Le calcul de l'évolution des températures intérieures d'un groupe est mené sur une journée chaude de référence au pas de temps horaire et corrigé par un effet séquentiel. La valeur de Tic en °C est arrondie à la valeur la plus proche à 0,1°C.

Le calcul est mené sur 7 jours en commençant le lundi avec une température initiale de masse de 26°C.

Pour le résidentiel, on retient les résultats du 7^e jour et pour les autres cas du 5^e jour (vendredi).

18.2.1 CALCUL SUR LA JOURNEE CHAUDE DE REFERENCE

18.2.1.1 Transmittances thermiques

La transmittance des parois est identique à celle prise en compte pour le calcul de Cep.

18.2.1.2 Détermination de la température opérative hors effet séquentiel

La température opérative hors effet séquentiel est identique à celle prise en compte pour le calcul de Cep.

18.2.2 CORRECTION POUR L'EFFET SEQUENTIEL

L'effet séquentiel est pris en compte par le biais de la constante de temps séquentielle du volume étudié, CTP, et de l'écart de température, Eseq, entre la moyenne de la journée chaude de référence et la moyenne mensuelle. On calcule un abaissement de température DTI qui est ensuite appliqué aux valeurs horaires calculées sur la journée chaude de référence.

$$DTI = 0,75 \cdot E_{seq} \cdot \left(1 - \left[\frac{(1 + 4,76 \cdot 10^{-4} \cdot C_{TP}^2 \cdot (1 - B1)^2)}{1 + 4,76 \cdot 10^{-4} \cdot C_{TP}^2} \right]^{\frac{1}{2}} \right)$$

avec :

$$B1 = 1/(1 + Rms \cdot H)$$

$$CTP = 0,278 \cdot Cms / H$$

Cms capacité thermique séquentielle telle que définie dans les règles Th-I en kJ/K

H déperditions moyennes par les parois et le renouvellement de l'air du groupe :

$$H = H_{th} + H_{es} + H_{ei} \quad \text{comme pour le calcul de Cep}$$

18.2.3 CALCUL DE TIC

Dans le résidentiel, Tic est la valeur maximale des températures opératives obtenues pour toute la journée (24 h).

Dans le non résidentiel, Tic est la valeur maximale des températures opératives obtenues en période d'occupation, période définie dans le Tableau 6.

18.3 DONNEES CLIMATIQUES

18.3.1 TEMPERATURE ET HYGROMETRIE

18.3.1.1 Valeurs de référence au niveau de la mer

L'objectif de la méthode est la détermination des conditions intérieures de températures obtenues lors d'une journée chaude de référence, définie comme la journée dont la température moyenne n'est dépassée, en moyenne, que cinq jours par an. La caractérisation de cette journée n'est cependant pas suffisante : les effets d'inertie séquentielle peuvent dans certains cas entraîner une amélioration sensible du confort, dont il est nécessaire de tenir compte.

De plus l'hygrométrie de l'air extérieur est nécessaire pour caractériser l'efficacité des systèmes de rafraîchissement adiabatique de l'air éventuellement utilisés.

Les caractéristiques météorologiques retenues sont les suivantes :

Eseq écart de température entre la moyenne de la journée chaude de référence et la moyenne mensuelle (°C),

Tqm température quotidienne moyenne (°C),

Eq écart (demi amplitude) quotidien (°C),

wm humidité quotidienne moyenne (g/kg d'air sec).

Les valeurs de référence sont données dans le tableau suivant :

Zones		Eseq	Jour chaud de base (dépassé 5 jours/été)			
			Tqm	Eq	wm	
H2a, H1a sauf les départements 28, 75, 77, 78, 91, 92, 93, 94, 95	Littoral	4	21,5	5,5	11	
	Intérieur	4	21,5	7,0	10	
Départements 28, 75, 77, 78, 91, 92, 93, 94, 95. H1b, H2b sauf les départements 16, 17	Littoral	4	23	6,5	11	
	Intérieur	4	23	7,5	10	
Départements 16, 17 H2c, H1c sauf le département 05	Littoral	4	24,5	6,5	12	
	Intérieur	Zone Ouest (32, 40, 47, 64 et 82)	4	24,5	6,5	12
		Zone Est autres Dépts	4	24,5	8	10
H3, H2d et le département 05	Littoral	Zone Est (06, 83, 2A et 2B)	3	26	4	14
		Zone Ouest (11, 13, 30, 34 et 66)	3	26	4	12
	Intérieur	3	26	8	10	

Tableau 105 : Caractéristiques climatiques des zones

Le littoral est défini par une distance à la mer inférieure ou égale à 10 km, l'intérieur des terres par une distance à la mer supérieure à 10 km.

18.3.1.2 Correction d'altitude

Elle est indiquée au §5.2.

18.3.1.3 Valeurs horaires des températures

La courbe de variation horaire de température extérieure, en temps solaire vrai, est déterminée en fonction de T_{qm} et E_q suivant la formule : $\theta_{ei}(h) = T_{qm} + E_q \cdot C(h)$ avec :

h	C(h)	H	C(h)	h	C(h)	h	C(h)
0 à 1	- 0,6585	6 à 7	- 0,7085	12 à 13	0,8350	18 à 19	0,5320
1 à 2	- 0,7715	7 à 8	- 0,4050	13 à 14	0,9165	19 à 20	0,2605
2 à 3	- 0,8890	8 à 9	- 0,0615	14 à 15	0,9365	20 à 21	- 0,0130
3 à 4	- 0,9820	9 à 10	0,2620	15 à 16	0,9660	21 à 22	- 0,2465
4 à 5	- 1,0045	10 à 11	0,5235	16 à 17	0,9025	22 à 23	- 0,4220
5 à 6	- 0,9170	11 à 12	0,7105	17 à 18	0,7560	23 à 24	- 0,5500

Tableau 106 : Valeurs de C(h)**18.3.2 RAYONNEMENT SOLAIRE ET RAYONNEMENT FROID VERS LA VOUTE CELESTE****18.3.2.1 Données de référence**

Les valeurs moyennes horaires des rayonnements I_{di} et I_{Dn} en W/m^2 sont données dans le tableau suivant, les heures étant exprimées en temps solaire vrai.

Les calculs sont menés pour les conditions suivantes :

Zones H1a, H1b, H2a, H2b sauf les départements 16 et 17 : 25 Juillet ; latitude 49 degrés,

Zones H1c, H2c, H2d, H3 et les départements 16 et 17 : 27 Juillet ; latitude 45 degrés.

heures		Zones H1a, H1b, H2a, H2b sauf les départements 16 et 17			zones H1c, H2c, H2d, H3 et les départements 16 et 17		
		direct normal (I_{Dn})	diffus isotrope (I_{di})	rayon. froid horiz.	direct normal (I_{Dn})	diffus isotrope (I_{di})	rayon. froid horiz.
de	à	W/m^2	W/m^2	W/m^2	W/m^2	W/m^2	W/m^2
0	1	0	0	-70	0	0	-70
1	2	0	0	-70	0	0	-70
2	3	0	0	-70	0	0	-70
3	4	0	0	-70	0	0	-70
4	5	50	12	-70	30	7	-70
5	6	132	69	-70	150	62	-70
6	7	288	124	-70	332	114	-70
7	8	432	153	-70	520	139	-70
8	9	528	174	-70	653	145	-70
9	10	600	182	-70	745	150	-70
10	11	633	193	-70	788	141	-70
11	12	644	199	-70	793	147	-70
12	13	644	199	-70	793	147	-70
13	14	633	193	-70	788	141	-70
14	15	600	182	-70	741	150	-70
15	16	528	174	-70	653	145	-70
16	17	432	153	-70	520	139	-70
17	18	288	124	-70	332	114	-70
18	19	132	69	-70	150	62	-70
19	20	50	12	-70	30	7	-70
20	21	0	0	-70	0	0	-70
21	22	0	0	-70	0	0	-70
22	23	0	0	-70	0	0	-70
23	24	0	0	-70	0	0	-70

Tableau 107 : Rayonnements solaires et froids conventionnels

La valeur conventionnelle de l'albédo est de 0,2.

18.3.2.2 Rayonnements sur les parois non protégées

Le calcul est conduit comme dans §9.3.1.1.

18.3.3 VITESSE DU VENT

La valeur conventionnelle utilisée est 1 m/s.

18.4 APPORTS INTERNES

Les apports internes et les apports dus à l'éclairage, $A_i(h)$, sont répartis à égalité sous formes convective et radiative. Les valeurs totales (convectif + radiatif) sont déterminées suivant la procédure adoptée pour le calcul du Cep (§ 7). La semaine de calcul est considérée comme n'étant pas en période de vacances.

18.5 CALCUL DES DEBITS DE RENOUVELLEMENT D'AIR

18.5.1 APPROCHE GENERALE

Pour chaque heure, le débit de ventilation par le système spécifique est déterminé de la même manière que pour le calcul de Cep (cf. § 9.2), y compris l'impact des défauts d'étanchéité.

Un débit additionnel q_{vete} est ajouté comme indiqué pour l'ouverture des baies dans la méthode Th-C-E (donc sans impact sur le calcul d'infiltration). Ce débit est calculé par :

$$q_{vete}(h) = \max(q_{vouvete}(h) ; q_{vsurvete}(h))$$

avec :

$q_{vouvete}$: débit dû à l'ouverture des fenêtres et ouvrants spécifiques,

$q_{vsurvete}$: surdébit dû à un système spécifique de surventilation.

18.5.2 CALCUL DU DEBIT D'AIR DU A L'OUVERTURE DES FENETRES ET DES OUVRANTS SPECIFIQUES

Pour une heure donnée, le débit est calculé comme suit :

$$q_{vouvete}(h) = 1800.A_{ouvete}(h).R_{ouvete}(h-1).((C_{ntte} + 0,0035.H_{ttf}.abs(\theta_{ei} - \theta_i))^{0,5})$$

avec :

R_{ouvete} : ratio d'ouverture dépendant de la température intérieure.

R_{ouvete} est régi par la valeur de la température intérieure opérative, θ_{op} , et est proportionnel à cette dernière sur une bande $\theta_{opmin} - \theta_{opmax}$ avec $\theta_{opmin} = 20$ °C et $\theta_{opmax} = 24$ °C.

Pour $\theta_{op} < \theta_{opmin}$, $R_{ouvete} = 0$

Pour $\theta_{op} > \theta_{opmax}$, $R_{ouvete} = 1$

On considère un temps de réaction d'une heure. La détermination de R_{ouvete} est donc fonction de la valeur de θ_{op} calculée au pas de temps précédent.

C_{ntte} : coefficient de prise en compte de l'aspect traversant (TE) non traversant (NTE) pour l'été.

Traversant	0,01
Non traversant	0,001

Tableau 108 : Valeur de C_{ntte}

Commentaire: les aspects traversant d'hiver et traversant d'été mettent en jeu des débits très différents. Pour le premier cas un détalonnement des portes intérieures rend un groupe traversant. Pour l'été, il faut que les portes puissent être ouvertes.

Httf : hauteur pour le tirage thermique,

Dans le cas des locaux pour lesquels la différence d'altitude entre le point bas de leur ouverture la plus basse et le point haut de leur ouverture la plus haute est égale ou supérieure à 4 m, Httf a pour valeur cette différence d'altitude.

Pour les maisons individuelles on applique la différence d'altitude entre la partie inférieure de l'ouvrant le plus bas et la partie supérieure de l'ouvrant le plus haut.

Pour les autres locaux, on applique une valeur conventionnelle de 1,5 m.

θ_{ei} : température de l'air extérieur,

θ_i : température de l'air intérieur.

18.5.3 CALCUL DE LA SURFACE LIBRE EN OUVERTURE MANUELLE

Aouvete est la surface libre d'ouverture disponible pour les baies (fenêtres ou ouvrant spécifiques).

$$A_{ouvete}(h) = \Sigma b \cdot C_{pr}(b,h) \cdot R_{ouvmax} \cdot A_{baie}$$

Pour chaque baie, ou groupe de baies :

Abaie est la surface de la baie comptée en tableau,

Rouvmax = valeur conventionnelle de ratio ouverture maximale / surface en tableau,

$C_{pr}(b,h)$ est un coefficient prenant en compte la plage horaire et l'exposition au bruit.

18.5.3.1 Résidentiel et Hébergement hors Etablissements sanitaires

On applique les valeurs suivantes :

$$R_{ouvmax} = 0,7$$

$C_{pr}(b,h)$ est défini dans le tableau suivant :

	Nuit : de 18h à 5h (soit 20h à 7h temps légal),	Matinée : de 5h à 7h (soit 7h à 9h temps légal),	Journée : de 7h à 18h (soit 9h à 20h temps légal).
BR1	1	1	0
BR2-3	0,3	0,7	0

Tableau 109 : Valeurs des coefficients $C_{pr}(b,h)$ en résidentiel

On considère conventionnellement les maisons individuelles comme traversantes.

Pour les logements collectifs, la donnée traversant-non traversant est une entrée de la méthode.

18.5.3.2 Autres bâtiments

$$R_{ouvmax} = 0,3$$

$C_{pr}(b,h)$ est défini dans le tableau suivant :

	Inoccupation	Occupation
BR1	0	1
BR2-3	0	1

Tableau 110 : Valeurs des coefficients $C_{pr}(b,h)$ en non résidentiel

Les valeurs conventionnelles de Ctnte sont les suivantes :

Établissements sanitaires avec hébergement	NTE
Établissements sanitaires sans hébergement	NTE
Enseignement	NTE
Bureaux	NTE
Salles de spectacle, de conférence	NTE
Commerces	TE
Restauration plusieurs repas par jour	NTE
Établissements sportifs	TE
Stockage	TE
Industrie	TE
Transport	TE
Restauration un repas par jour	NTE
Locaux non compris dans une autre catégorie	NTE

Tableau 111 : Valeurs conventionnelles de Ctnte

18.5.4 CALCUL DU DEBIT D'AIR DU A L'OUVERTURE D'OUVRANTS SPECIFIQUES EN INOCCUPATION POUR LES GROUPES A USAGE AUTRE QUE D'HABITATION ET N'ASSURANT PAS L'HEBERGEMENT

Rouvete = 1

Aouvete est l'aire maximale des ouvertures spécifiques commandée automatiquement en inoccupation

18.5.5 SURVENTILATION POUR LE CONFORT D'ETE

Le débit effectif q_{survete} est calculé comme suit :

$$q_{\text{survete}}(h) = R_{\text{survete}}(h) \cdot q_{\text{survetedis}}$$

R_{survete} est régi par la valeur de la température d'air intérieure, θ_i , et est proportionnel à cette dernière sur une bande $\theta_{i_{\text{min}}} - \theta_{i_{\text{max}}}$ avec $\theta_{i_{\text{min}}} = 20 \text{ °C}$ et $\theta_{i_{\text{max}}} = 24 \text{ °C}$.

Pour $\theta_i < \theta_{i_{\text{min}}}$, $R_{\text{survete}} = 0$.

Pour $\theta_i > \theta_{i_{\text{max}}}$, $R_{\text{survete}} = 1$.

La détermination de R_{survete} est fonction de la valeur de θ_i au pas de temps considéré.

Commentaire : on considère que la régulation s'effectue avec une sonde de température d'air intérieure.

$q_{\text{survetedis}}$ (m^3/h) est le débit disponible de surventilation d'été (donnée d'entrée). Si un débit est déjà calculé pour la détermination du Cep, il convient bien d'indiquer ici le surdébit disponible.

Ce débit est appliqué conventionnellement de 22h00 à 8h00 en heure légale.

18.6 APPORTS SOLAIRES PAR LES BAIES

Pour les bâtiments dont les baies comportent des protections solaires mobiles, on considère que les protections solaires sont en place en permanence les jours les plus chauds. Le facteur solaire pris en compte est donc le facteur solaire protection solaire en place et calculé dans les conditions d'été, $S_{w_ap_baie}$, dont le mode de calcul est donné dans les règles Th-bât dans la partie Th-S.

En l'absence de protections solaires mobiles, on utilise le facteur solaire sans protection, calculé dans les conditions d'été, $S_{w_sp_baie}$, dont le mode de calcul est donné dans les règles Th-bât dans la partie Th-S.

18.7 CONVENTIONS DE CALCUL ET VALEURS PAR DEFAULT

On rappelle que le calcul de Ticref doit être mené pour les valeurs du projet pour tout paramètre ne faisant pas l'objet d'une référence. Les valeurs par défaut doivent être utilisées de façon identique dans la référence et dans le projet.

18.7.1 REFERENCES REGLEMENTAIRES ET NORMATIVES A UTILISER

Les calculs relatifs aux déperditions par les parois, aux facteurs solaires et à l'inertie sont respectivement précisés dans les règles Th-C, Th-U, Th-S et Th-I. Les valeurs d'été des facteurs solaires sont à utiliser en particulier.

18.7.2 CARACTERISATION DU SITE

18.7.2.1 Caractéristiques climatiques

On utilise les valeurs par défaut suivantes, en particulier si la seule information disponible est la zone climatique définie précédemment (§ 5):

Situation : intérieur,

Altitude : 0

18.7.2.2 Masques lointains

L'angle ang_{ml} sous lequel le masque est vu est égal à 20°.

18.7.3 CARACTERISATION DU GROUPE

18.7.3.1 Principe général

On effectue le calcul par groupe.

En cas de présence d'une véranda :

- si les baies de la véranda peuvent être considérées comme ouvertes en été (ce qui implique qu'elles ne participent pas le cas échéant à l'isolement acoustique) le volume enveloppe sur lequel porte le calcul est la partie du logement hors véranda,
- dans le cas contraire, le volume comprend la véranda.

18.7.3.2 Valeurs par défaut pour les masques

On considère par défaut qu'il n'y a pas de masques proches.

18.7.3.3 Orientations et inclinaisons pour les baies

L'orientation et l'inclinaison des baies sont identiques à celles utilisées précédemment pour le calcul du Cep.

18.7.3.4 Parois opaques et ponts thermiques

La répartition par orientation des parois opaques est identique à celle utilisée pour la détermination du Cep.

Le facteur solaire par défaut des parois opaques est le suivant :

Parois	Facteurs solaires pour le confort d'été
Planchers hauts en béton ou en maçonnerie et toitures en tôles métalliques étanchées	0,020
Planchers hauts en couverture en tôles métalliques	0,025
Autres planchers hauts	0,015
Murs en contact avec l'extérieur ou avec le sol et ponts thermiques	0,020

On retient un coefficient d'absorption par défaut de 0,8 pour les planchers hauts et un coefficient d'absorption par défaut de 0,6 pour les murs.

18.7.3.5 Ventilation par ouverture des fenêtres

H_{ttf} est toujours calculé suivant le § 18.5.2

18.7.3.6 Inertie

L'inertie quotidienne et séquentielle du groupe est déterminée par les règles Th-I.

Pour l'inertie quotidienne, la démarche est présentée dans les règles Th-I faisant partie des règles Th-bât.

Pour l'inertie séquentielle les démarches suivantes sont possibles :

- prendre par défaut C_{ms} = C_m
- déterminer la « classe d'inertie séquentielle » à partir des « points d'inertie séquentielle » des parois ou par le nombre de planchers lourds,
- déterminer C_{ms} par le calcul.

Annexe A : Calcul des puissances moyennes de ventilateurs

SYSTEMES A DEBIT D'AIR CONSTANT

La puissance des ventilateurs est déterminée pour un débit d'air correspondant au débit d'hygiène augmenté de 10 % en prenant en compte si nécessaire le taux de recyclage.

En occupation la puissance électrique moyenne du moteur du ventilateur est égale à sa puissance nominale en occupation, en inoccupation la puissance électrique est égale à la puissance nominale en inoccupation.

On applique la même règle au soufflage et à la reprise.

SYSTEMES A DEBIT VARIABLE

BATIMENTS AUTRES QUE D'HABITATION

La puissance des ventilateurs est déterminée pour un débit d'air correspondant au débit d'hygiène augmenté de 10 % en prenant en compte si nécessaire le taux de recyclage.

En occupation, la puissance électrique moyenne du moteur du ventilateur est égale à sa puissance nominale en occupation pondérée par une constante, C_{vent_DAV} , dépendant du débit minimal possible véhiculé et du type de variation de vitesse.

En inoccupation, la puissance électrique moyenne du moteur du ventilateur est égale à sa puissance nominale en inoccupation pondérée par une constante, C_{vent_DAV} , dépendant du débit minimal possible véhiculé et du type de variation de vitesse.

On distingue trois classes de débit minimal :

- débit minimal possible inférieur à 40% du débit nominal,
- débit minimal possible entre 40 et 70% du débit nominal,
- débit minimal possible entre 70 et 100% du débit nominal.

Les constantes, identiques en occupation et en inoccupation, sont présentées ci-dessous.

C_{vent_DAV}	Débit minimal possible / Débit nominal		
	< 40 %	de 40 % à 70 %	> 70 %
Type de variation de vitesse			
Variation électronique de vitesse	0,6	0,8	1
Hélicoïde à pales variables			
Inclinéur et moteur à 2 vitesses	0,7	1	1
Registre avec ventilateur à action	0,8	1	1
Autres	1	1	1

On applique la même règle au soufflage et à la reprise.

BATIMENTS D'HABITATION COLLECTIFS

La puissance des ventilateurs est déterminée pour un débit d'air égal au débit d'hygiène augmenté de 10 %, c'est-à-dire pour $C_{fres} = 1,1$ et $C_{dep} = 1$.

VMC AUTO RÉGLABLE

$$P_{ventmoy} = ((Dugd \cdot P_{vent} \cdot [1,1 \cdot Q_{vpointe}] + (168 - Dugd) \cdot P_{vent} \cdot [1,1 \cdot Q_{vbase}])) / 168$$

Avec : Dugd : durée d'utilisation en grand débit cuisine en h par semaine (cf. §9.2.2.1.3.1)

$Q_{vpointe}$: somme des grands débits

Q_{vbase} : somme des débits de base

VMC HYGRO REGLABLE

$$P_{ventmoy} = ((Dugd/Ratfois) \cdot P_{vent} \cdot [1,1 \cdot Q_{vmax}] + (168 - (Dugd/Ratfois)) \cdot P_{vent} \cdot [1,1 \cdot Q_{vrep}])) / 168$$

Avec

Dugd : durée d'utilisation en grand débit cuisine (cf. §9.2.2.1.3.1)

Ratfois : ratio de foisonnement éventuel si précisé dans l'Avis Technique. Le ratio de foisonnement est le rapport entre le débit maximal pris en compte pour le ventilateur et la somme des débits maximaux par logement.

Q_{vmax} : débit max pour le dimensionnement du ventilateur selon l'avis Technique

Q_{vrep} : défini en Avis Technique Cd non inclus

MAISONS INDIVIDUELLES**VMC AUTO REGLABLE**

$$P_{ventmoy} = ((Dugd \cdot P_{vent} \cdot C_{fres} \cdot Q_{vpointe}) + (168 - Dugd) \cdot P_{vent} \cdot C_{fres} \cdot Q_{vbase}) / 168$$

Avec :

$Q_{vpointe}$: grand débit

Q_{vbase} : débit de base

VMC HYGRO REGLABLE

$$P_{ventmoy} = ((Dugd \cdot P_{vent} \cdot C_{fres} \cdot Q_{vpointe}) + ((168 - Dugd) \cdot P_{vent} \cdot C_{fres} \cdot Q_{vrep})) / 168$$

Avec

Q_{vmax} : débit max défini en Avis Technique

Q_{vrep} : défini en Avis Technique Cd non inclus

Annexe B : Calcul des systèmes d'émission composite

GENERALITES

Pour les systèmes d'émission composites, composé d'un système 1 et d'un système 2, on définit par classe de température la part assurée par le système 1 pour les classes et valeurs de référence de température extérieure suivantes :

min	-5	-2,5	0	2,5	5	7,5	10	12,5
max	-2,5	0	2,5	5	7,5	10	12,5	15
Teref	-3,75	-1,25	1,25	3,75	6,25	8,75	11,25	13,75

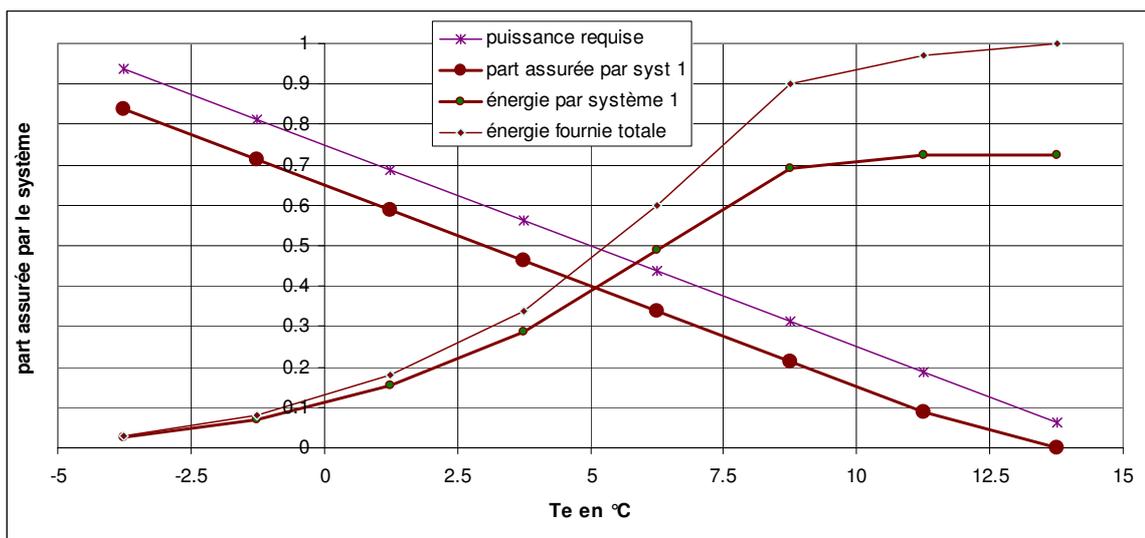
La part assurée par le système 1 est obtenue par application des coefficients de pondération suivants :

Limite de classes de Te	-5	-2,5	0	2,5	5	7,5	10	12,5
	-2,5	0	2,5	5	7,5	10	12,5	15
Coefficients de pondération	0,03	0,05	0,10	0,16	0,26	0,30	0,07	0,03

L'application aux systèmes les plus courants est la suivante :

SYSTEME BASE PLUS APPOINT

On considère conventionnellement que dans le cas où il n'est pas limité, le chauffage de base assure 90% des besoins en conditions de base. Ceci correspond à une différence de température des points de consigne apparents entre système 1 et système 2 de l'ordre de 2 K permettant d'assurer la priorité au système 2.



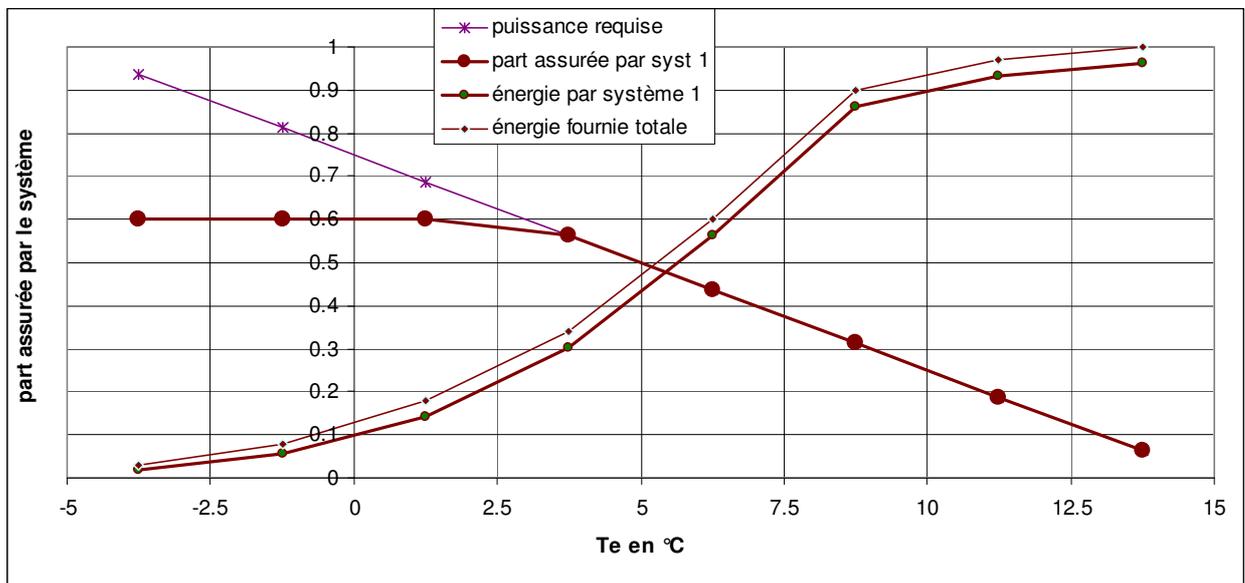
La part d'énergie fournie par le système 1 est de 0,72.

Si la puissance du système 1 est limitée les résultats obtenus sont les suivants :

Puissance système 1 / puissance requise en conditions de base	0,9	0,7	0,5	0,3
Part d'énergie apportée par le système 1	0,72	0,72	0,69	0,57

COMPLEMENT PAR TEMPS FROID

Si le système 1 peut fournir 0,6 fois la puissance de dimensionnement, la part d'énergie assurée est de 0,96.



Pour d'autres valeurs, on obtient les résultats suivants :

Puissance système 1 / puissance requise en conditions de base	0,9	0,7	0,6	0,5
Part d'énergie apporté par le système 1	1,00	0,99	0,96	0,92

SYSTEME ALTERNE

On applique simplement les coefficients de pondération cumulés en fonction de la température extérieure pour laquelle le système 1 est arrêté.

Limites de classe de Te	-5	-2,5	0	2,5	5	7,5	10	12,5
	-2,5	0	2,5	5	7,5	10	12,5	15
Coefficients de pondération	0,03	0,05	0,1	0,16	0,26	0,3	0,07	0,03
Coefficients cumulés	0,03	0,08	0,18	0,34	0,60	0,90	0,97	1

En cas de mise en œuvre en saison froide, on applique conventionnellement une part de 60% assurée par le système 1.

VALEURS PAR DEFAUT

Pour les différents types de systèmes, on applique les valeurs par défaut suivantes :

R_{Puis1} = Puissance maximale du système 1 / P_{total} requise en conditions de base

Rat_{em1} = ratio d'énergie fournie par le système 1

	Base + appoint		Complément par temps froid			Alterné
R_{Puis1}	0,7 à 1	0,5 à 0,6	0,7 à 1	0,6 à 0,7	0,5 à 0,6	
Rat_{em1}	0,72	0,69	1	0,96	0,92	0,6

Annexe C : Calcul de la puissance conventionnelle de chauffage à pleine charge PCC100

OBJET

Cette annexe a pour objet le calcul conventionnel de la puissance de chauffage à pleine charge pour l'évaluation de l'impact des charges partielles pour les générateurs à combustion. Ce calcul ne se substitue pas au calcul conventionnel de dimensionnement des installations et ne peut être utilisé à cet effet en particulier du fait que par rapport à l'objet du calcul, le surdimensionnement requis pour la remise en température après une période d'arrêt ou de réduit n'est pas pris en compte.

PUISSANCE CONVENTIONNELLE DE CHAUFFAGE A PLEINE CHARGE PCC100

Le calcul de PCC100 ne concerne que les parties de bâtiment desservies par des générateurs à combustion

$$PCC100 = H_{tot} \cdot (\theta_{iich} - \theta_{eb})$$

H_{tot} déperditions totales en W/K

θ_{iich} : température intérieure de consigne pour le chauffage (cf. Tableau 7)

θ_{eb} : température extérieure conventionnelle de base pour le chauffage (cf. Tableau 2)

$$H_{tot} = H_T + H_{Vent} + H_{perm}$$

H_T : coefficient de déperdition thermique par transmission à travers les parois calculé selon § 9.1.3

H_{vent} : coefficient de déperdition thermique par renouvellement d'air dû au système de ventilation calculé ainsi :

$H_{vent} = 0,34 \cdot Q_{varep}$ (cf. § Valeurs des débits à reprendre et à fournir $Q_{vasou_{spec}}$ et $Q_{varep_{spec}}$) avec Q_{varep} , les débits d'air extraits

H_{perm} : déperditions par renouvellement d'air dû à la perméabilité à l'air du bâtiment calculé suivant la norme PREN 15242 (voir paragraphe suivant) et selon les conventions additionnelles suivantes

- Vitesse du vent : 3 m/s
- Perméabilité Q4Pa calculée suivant TH-C-E ex 8.3 en ajoutant les entrées d'air ramenées à 4 Pa

$Q_{4Pa \text{ tot}}$ (m³/h sous 4 Pa) = $Q_{4Pa \text{ env}} + 0.45 \cdot SMEA \cdot A_{hab}$ ainsi :

$$H_{perm} = 0,34 \cdot q_{vinf}$$

Le calcul de PCC100 et donc de H_{tot} se fait pour un ensemble de zones de différents bâtiments desservies par la même génération « G » qui comporte un ou plusieurs générateurs à combustion « gen_{comb} ».

$$H_{tot} = \sum_{zone_i_genG} H_{tot \text{ zone_i_genG}}$$

$H_{tot\ zone_i_genG}$ étant le coefficient de déperdition total de la zone i desservie par la génération « G »

Si la zone i est desservie par une autre production que celles de la génération « G », alors le coefficient $H_{tot\ zone_i_genG}$ est pondéré par le coefficient 'ratemG' qui prend en compte la part de la génération « G » par rapport aux autres générations.

CALCUL DES DEBITS EXFILTRÉS (NORME PREN 15242)

La méthode comporte les étapes suivantes :

1. Calculer le débit d'air dû au vent et au tirage thermique passant à travers l'enveloppe sans considérer les débits d'air mécanique ou de combustion

$$q_{V-tirage} = 0,0146 \cdot Q_{4Pa} \cdot (h_{tirage} \cdot \text{abs}(\theta_e - \theta_i))^{0,667}$$

La valeur conventionnelle de H_{tirage} est égale à 0,7 de la hauteur de zone (70% de la hauteur de la zone)

$$q_{V-vent} = 0,0769 \cdot Q_{4Pa} \cdot (dcp \cdot v_{site}^2)^{0,667}$$

La valeur conventionnelle de dcp (différence de Cp entre le côté au vent et le côté sous le vent) est 0,75.

2. Calculer le débit d'air résultant

$$q_{V-sw} = \max(q_{V-tirage} ; q_{V-vent}) + 0,14 \cdot q_{V-tirage} \cdot q_{V-vent} / Q_{4Pa}$$

Comme première approximation, la partie infiltrée de q_{V-inf} est égale à la somme de q_{V-sw} et de la différence entre l'air extrait et l'air fourni (sans vent et sans effet de tirage).

$$q_{V-inf} = (\max(0 ; -q_{V-diff}) + q_{V-sw})$$

Avec

$$q_{V-diff} = q_{V-fourni} + q_{V-rej} + q_{V-comb}$$

Note : Les débits d'air entrant dans la zone sont comptés positifs.

Cette approche simplifiée ne prend pas en compte le fait que s'il existe une différence entre l'air fourni et l'air extrait, alors la zone est en dépression ou en surpression, ce qui réduit la valeur de q_{V-sw}

La réduction de l'infiltration, $q_{V-infred}$, peut être estimée comme suit :

$$q_{V-infred} = \max(q_{V-sw} ; [q_{V-tirage} \cdot \text{abs}(q_{V-diff} / 2) + q_{V-vent} \cdot 2 \cdot \text{abs}(q_{V-diff} / 3) / (q_{V-tirage} + q_{V-vent})])$$

$$q_{V-inf} = \max(0 ; q_{V-sw} - q_{V-infred})$$