
Méthodologie PHPP

Sur base du PHPP 2007 1.5BE

Version 1.12

11 juillet 2014

Plate-Forme Maison Passive asbl
Boulevard Audent 15
6000 Charleroi

Table des matières

I	Besoins nets en énergie de chauffage	5
1	Besoins nets en énergie de chauffage, méthode annuelle	5
1.1	Total des déperditions par transmission et par ventilation	5
1.1.1	Déperditions annuelles par transmission	5
1.1.2	Déperditions annuelles par ventilation	6
1.2	Total des apports annuels valorisables	7
1.2.1	Gains solaires annuels	7
1.2.2	Apports internes annuels	8
2	Besoins nets en énergie de chauffage, méthode mensuelle	9
2.1	Total des déperditions mensuelles par transmission et par ventilation	9
2.2	Total des apports solaires et gratuits mensuels	10
2.2.1	Gains solaires mensuels	11
2.2.2	Apports internes	11
2.3	Coefficient mensuel de valorisation des apports gratuits	11
3	Détermination du coefficient de déperdition par transmission	13
3.1	Coefficient de transmission thermique U des parois homogènes	13
3.1.1	Cas particulier : Détermination de la conductivité thermique équivalente d'une lame d'air immobile	13
3.1.2	Cas particulier : Détermination de la valeur U d'une couche à pente intégrée (max 5%)	14
3.2	Coefficient de transmission thermique U des fenêtres et portes	14
4	Détermination du facteur de réduction pour des éléments en contact avec le sol et de la température du sol	15
4.1	Détermination du facteur de réduction	15
4.2	Détermination de la température moyenne mensuelle du sol	16
4.3	Déterminations des caractéristiques de chaque sol	17
4.3.1	Cave chauffée ou dalle sur sol enterrée	17
4.3.2	Cave non-chauffée	18
4.3.3	Dalle sur terre-plein	18
4.3.4	Dalle sur vide sanitaire	19
4.4	Correction en présence d'une nappe phréatique	20
5	Détermination du coefficient de déperdition par ventilation	21
5.1	Détermination du taux de renouvellement moyen	21
5.2	Détermination du taux de renouvellement dû aux infiltrations	21
5.3	Détermination du rendement effectif du récupérateur de chaleur sur la ventilation	21
5.3.1	Détermination de la conductance d'un conduit	22
5.3.2	Détermination des températures en sortie du groupe de ventilation	23
5.4	Détermination du rendement réel de récupération de l'échangeur géothermique	23
6	Détermination du facteur d'ombrage et des apports solaires surfaciques bruts	24
6.1	Détermination du facteur d'ombrage	24
6.2	Détermination des apports solaires surfaciques bruts	28
6.3	Apports solaires relatifs aux parois opaques	31
II	Fréquence de Surchauffe et besoin frigorifique	32
7	Fréquence de surchauffe	32
7.1	Nombre d'heures de surchauffe	32
7.2	Centre et longueur de l'intervalle de temps	33

8	Températures	34
8.1	Calcul de la température moyenne	34
8.2	Calcul de la température de départ	34
8.3	Calcul de la température finale existante et de la capacité de décharge	34
8.4	Constante de temps hors ventilation	35
8.4.1	Capacité thermique et conductances	35
8.5	Température finale infinie	35
9	Coefficients de déperdition	37
9.1	Coefficient de déperdition de chaleur par Transmission avec l'extérieur (hors sol)	37
9.2	Coefficient de déperdition de chaleur par Transmission avec le sol	37
9.3	Coefficient de déperdition de chaleur par Ventilation par l'extérieur	37
9.4	Coefficient de déperdition de chaleur par Ventilation au niveau de l'échangeur géothermique	37
10	Renouvellements d'air	38
10.1	Renouvellement d'air relatif à l'extérieur	38
10.2	Renouvellement au niveau de l'échangeur géothermique	38
11	Apports solaires et apports internes	39
11.1	Facteur d'ombrage en régime été	39
11.2	Apports solaires surfaciques bruts pour les mois fictifs	44
11.3	Apports solaires relatifs aux parois opaques	45
12	Déperditions par aération	46
12.1	Déperditions nettes par aération nocturne (ventilation mécanique intensive de nuit)	46
12.2	Déperditions nettes par aération par les fenêtres (ventilation naturelle intensive de nuit par ouverture des fenêtres)	47
12.3	Température intérieure pour ventilation de la période i	47
12.4	Déperditions maximales par ventilation estivale constante de la période i	48
12.5	t de fin de ventilation estivale	48
13	Constantes de temps	49
13.1	Constante de temps hors ventilation	49
13.2	Constante de temps avec ventilation	49
13.3	Constante de temps de l'aération par fenêtre pour la période i	49
14	Besoin frigorifique, méthode mensuelle	51
14.1	Degré d'utilisation des déperditions	51
14.2	Déperditions totales	51
15	Appareils frigorifiques	53
15.1	Refroidissement par air neuf	53
15.2	Refroidissement par convection	55
15.3	Déshumidification supplémentaire	58
15.4	Refroidissement surfacique	59
III	Energie primaire	60
16	Calcul de l'énergie primaire	60
16.1	Consommation en électricité (sans pompe à chaleur)	61
16.2	Consommation de la pompe à chaleur	62
16.3	Consommation du système multi-intégré	62
16.4	Consommation de la chaudière	62
16.5	Consommation du système de chauffage urbain	62
16.6	Consommation d'un autre système de chauffage	62
16.7	Consommation du système de refroidissement avec pompe à chaleur électrique	63

17 Eau chaude sanitaire et Distribution	64
17.1 Besoin de chaleur spécifique pour le système d'ECS	64
17.1.1 Déperditions annuelles de la boucle de distribution d'ECS	64
17.1.2 Déperditions annuelles des tuyauteries des conduites de puisage d'ECS	65
17.1.3 Déperditions annuelles du ballon de stockage	66
17.2 Efficience de la distribution de chaleur de chauffage	67
17.3 Calcul annexe du coefficient de déperdition de chaleur des conduites	68
18 Eau chaude sanitaire solaire	70
18.1 Apport solaire spécifique en ECS fourni par les panneaux solaires thermiques	70
18.1.1 Calcul du paramètre intermédiaire Y	70
18.1.2 Calcul du paramètre intermédiaire Xc	74
18.2 Calcul annexe de la puissance des déperditions de chaleur moyennes du ballon solaire	76
18.3 Fraction solaire relative à l'ECS Lave-Linge et Vaisselle	76
19 Electricité résidentielle	78
19.1 Besoin spécifique en électricité des appareils électroménagers	78
19.2 Besoin de chaleur non renouvelable non électrique pour l'ECS lessive et vaisselle	82
19.3 Besoin de chaleur pour la cuisson et le séchage au gaz	82
20 Electricité non résidentielle	83
20.1 Besoin spécifique en électricité des appareils	83
20.1.1 Besoin annuel en électricité pour l'éclairage	83
20.1.2 Besoin annuel en électricité pour les équipements de bureau	87
20.1.3 Besoin annuel en électricité pour la cuisine	88
20.2 Besoin de chaleur spécifique non renouvelable non électrique	89
20.3 Besoin de chaleur spécifique pour la cuisson au gaz	89
21 Electricité des auxiliaires	91
21.1 Electricité des auxiliaires de l'installation de ventilation	91
21.2 Electricité des auxiliaires de l'installation de chauffage	92
21.3 Electricité des auxiliaires de l'installation d'eau potable	93
21.4 Electricité des auxiliaires d'une autre installation technique	95
21.5 Contribution de l'électricité des auxiliaires aux apports internes	95
22 Système multi-intégré	97
22.1 Détermination des productions de chaleur	97
22.2 Détermination des COP moyens	104
23 Chaudière	108
23.1 Calcul du rendement des chaudières au fuel et gaz	108
23.1.1 Efficience de la production de chaleur pour le chauffage	108
23.1.2 Efficience de la production de chaleur pour l'eau chaude sanitaire	110
23.1.3 Valeurs standards caractérisant les chaudières au gaz ou au fuel	110
23.2 Calcul du rendement d'une production de chaleur par biomasse	111
23.2.1 Efficience de la production de chaleur pour le chauffage	111
23.2.2 Efficience de la production de chaleur pour l'eau chaude sanitaire	112
23.2.3 Valeurs standards caractérisant les chaudières par biomasse	113
24 Chauffage urbain	114
24.1 Consommation spécifique en énergie finale	114
24.2 Conversion en énergie primaire et émissions de CO ₂ -équivalent	114

Première partie

Besoins nets en énergie de chauffage

Cette première partie décrit la méthodologie utilisée pour la détermination des besoins nets en énergie de chauffage par le PHPP.

La méthodologie présentée dans ce document est réalisée sur base de la version 1.5 du logiciel PHPP2007.

1 Besoins nets en énergie de chauffage, méthode annuelle

La méthode implémentée dans le PHPP est directement issues de la procédure décrite par la norme EN13790.

$$Q_H = Q_V - Q_G \quad (1)$$

où Q_H [kWh/a] : besoins annuels nets en énergie de chauffage ;

Q_V [kWh/a] : total des déperditions annuelles par ventilation et par transmission ;

Q_G [kWh/a] : total des apports annuels valorisables.

1.1 Total des déperditions par transmission et par ventilation

Les déperditions de chaleur par transmission et par ventilation sont déterminées comme suit :

$$Q_V = (Q_T + Q_L) \cdot f \quad (2)$$

où Q_T [kWh/a] : déperditions annuelles par transmission ;

Q_L [kWh/a] : déperditions annuelles par ventilation ;

f [-] : facteur de réduction d'intermittence des nuits et week-end (valant toujours 1).

1.1.1 Déperditions annuelles par transmission

On détermine les déperditions annuelles par transmission de la manière suivante :

$$Q_T = H_t \cdot G_t \quad (3)$$

où H_t [W/K] : coefficient de déperdition par transmission ;

G_t [kKh/a] : intégrale temps de la différence de température (degré-heure) par an.

Le coefficient de déperdition par transmission est calculé comme suit :

$$H_t = \sum_i A_i \cdot U_i \cdot f_{T_{a,i}} + \sum_i l_i \cdot \Psi_i \cdot f_{T_{a,i}} \quad (4)$$

où A_i [m²] : surface de déperditions de la paroi i ;

U_i [W/(m².K)] : coefficient de déperdition par transmission thermique U de élément de construction i , tel que défini au chapitre 3.1 ;

l_i [m] : longueur du pont thermique i ;

Ψ_i [W/(m².K)] : coefficient de déperdition du pont thermique i ;

$f_{T_{a,i}}$ [-] : facteur de réduction pour une différence de température réduite pour l'élément de construction i en méthode annuelle.

Les surfaces de déperditions A_i sont mesurées par rapport aux dimensions extérieures des éléments de construction.

Cinq catégories de facteurs de réduction pour une différence de température réduite pour l'élément de construction i $f_{T_{a,i}}$ sont implémentés dans le logiciel PHPP en fonction des conditions d'ambiance suivantes :

- Zone de température A : correspond aux parois en contact avec l'air extérieur, le facteur $f_{T_{a,i}}$ vaut alors 1 ;
- Zone de température B : correspond aux parois en contact avec le sol au sens général, la détermination de facteur $f_{T_{a,i}}$ est décrite dans la chapitre 4 ;
- Zone de température X : correspond aux parois en contact avec un espace adjacent dont la température n'est pas défini dans les autres catégories, le facteur $f_{T_{a,i}}$ devra alors être encodé par l'utilisateur ;
- Zone de température P : correspond aux périmètres en contact avec le sol au sens général, la détermination de facteur $f_{T_{a,i}}$ est décrite dans la chapitre 4 ;

- Zone de température I : correspond aux parois en contact avec les mitoyens, aucune déperdition n'est alors prise en compte, le facteur $f_{T_{a,i}}$ vaut alors 0.

L'intégrale temps de la différence de température par an est calculée pour une température ambiante standard de 20°C. Il est néanmoins possible de modifier la température intérieure dans certaines circonstances justifiées. Les formules suivantes sont implémentées dans la méthode PHPP.

$$G_t = G_{t_{clim}} + (T_{int} - 20) \cdot H_T \cdot 0,024 \quad (5)$$

$$G_{t_{clim}} = \sum_{i=1}^{12} [(20 - T_{ext,i}) \cdot t_i \cdot f_{G_t,i}] \cdot 0,024 \quad (6)$$

avec

$$H_T = \sum_{i=1}^{12} H_{T,i} \quad (7)$$

$$H_{T,i} = t_i \cdot f_{H_T,i} \quad (8)$$

$$f_{G_t,i} = \begin{cases} \text{si } i = 4 & 0,85 \\ \text{si } i = 5, 6, 7, 8, 9 & 0 \\ \text{si } i = 10 & 1 \\ \text{si } i = 1, 2, 3, 11, 12 & \begin{cases} \text{si } T_{ext,i} < 10 & 1 \\ \text{si } 10 \leq T_{ext,i} \leq 16 & 0,000038 \cdot T_{ext,i}^4 - 0,0014 \cdot T_{ext,i}^3 \\ & + 0,0116 \cdot T_{ext,i}^2 - 0,032 \cdot T_{ext,i} + 1 \\ \text{si } T_{ext,i} > 16 & 0 \end{cases} \end{cases} \quad (9)$$

$$f_{H_T,i} = (0,78 \cdot f_{G_t,i} + 0,22) \cdot f_{G_t,i} \quad (10)$$

$$T_{ext,i} = T_{ext,clim,i} - T_{corr,i} \quad (11)$$

$$T_{corr,i} = \frac{0,6}{100} \cdot (Alt - Alt_{clim}) \quad (12)$$

où $G_{t_{clim}}$ [kKh/a] : intégrale de temps de la différence de température climatique par an ;

$T_{ext,i}$ [°C] : température extérieure moyenne pour le mois i ;

T_{int} [°C] : température intérieure ;

H_T [j/a] : longueur de la période de chauffe sur un an ;

$H_{T,i}$ [j] : longueur de la période de chauffe du mois i ;

0,024 : facteur de conversion des j/an en kh/a ;

t_i [j] : longueur du mois i (en jours) ;

$f_{G_t,i}$ [-] : facteur de détermination de l'intégral temps de la période de chauffe ;

$f_{H_T,i}$: facteur de détermination de la période de chauffe ;

$T_{ext,clim,i}$ [°C] : température extérieure moyenne de la station météo pour le mois i ;

$T_{corr,i}$ [°C] : facteur correctif de la température extérieure moyenne pour le mois i ;

Alt [m] : Altitude du terrain (donnée à encoder par l'utilisateur) ;

Alt_{clim} [m] : Altitude de la station météo considérée.

1.1.2 Déperditions annuelles par ventilation

Les déperditions annuelles par ventilation sont déterminé de la manière suivante :

$$Q_L = V_L \cdot n_L \cdot c_{p,air} \cdot G_t \quad (13)$$

où V_L [m³] : volume d'air effectif ;

n_L [vol/h] : taux de renouvellement d'air de référence ;

$c_{p,air}$ [Wh/(m³K)] : capacité thermique massique de l'air à pression constante, valant 0,33 Wh/(m³K).

avec

$$V_L = A_{SRE} \cdot h_{sp} \quad (14)$$

$$n_L = n_{L,sys} \cdot (1 - \eta_{WRG,a}) + n_{L,reste} \quad (15)$$

$$\eta_{WRG,a} = \begin{cases} 1 - (1 - \eta_{WRG,eff}) \cdot (1 - \eta_{EWU}) & \text{si un échangeur géothermique est installé} \\ 1 - (1 - \eta_{WRG,eff}) & \text{si aucun échangeur géothermique n'est installé} \end{cases} \quad (16)$$

où h_{sp} [m] : hauteur sous plafond, valeur maximale : 2,50 m dans des bâtiments d'habitation ;
 $n_{L,sys}$ [vol/h] : taux de renouvellement d'air moyen, tel que déterminé en section 5.1 ;
 $n_{L,reste}$ [vol/h] : taux de renouvellement d'air dû aux infiltrations, tel que déterminé en section 5.2 ;
 $\eta_{WRG,a}$ [%] : rendement du récupérateur de chaleur du système de ventilation ;
 $\eta_{WRG,eff}$ [%] : rendement effectif du récupérateur de chaleur du système de ventilation, tel que déterminé en section 5.3 ;
 η_{EWU} [%] : rendement de l'échangeur géothermique, tel que déterminé en section 5.4.

1.2 Total des apports annuels valorisables

Les apports de chaleur annuels valorisables sont déterminées comme suit :

$$Q_G = h_G \cdot Q_F \quad (17)$$

avec

$$h_G = \frac{1 - \left(\frac{Q_F}{Q_V}\right)^5}{1 - \left(\frac{Q_F}{Q_V}\right)^6} \quad (18)$$

$$Q_F = Q_S + Q_I \quad (19)$$

où h_G [%] : coefficient de valorisation des apports gratuits annuel ;
 Q_F [kWh/a] : total des apports gratuits annuels ;
 Q_S [kWh/a] : gains solaires annuels ;
 Q_I [kWh/a] : apports internes annuels.

1.2.1 Gains solaires annuels

Les apports solaires annuels résultent de la somme des apports solaires via les fenêtres pour chaque orientation. Le PHPP reprend cinq orientations : nord, sud, est, ouest et horizontal.

$$Q_S = \sum_{Dir=1}^5 f_{Dir} \cdot g_{Dir} \cdot A_{w,Dir} \cdot Q_{S,solarbrut,Dir,annuel} \quad (20)$$

où Dir : orientation reprise dans le PHPP, soit nord, sud, est, ouest ou horizontal ;
 f_{Dir} [-] : facteur de réduction du rayonnement solaire pour l'orientation Dir ;
 g_{Dir} [-] : facteur solaire moyen pour l'orientation dir (moyenne pondérée par les surfaces vitrées des fenêtres), valant par défaut 0,42 ;
 $A_{w,Dir}$ [m²] : total des surfaces de vitrage pour l'orientation Dir ;
 $Q_{S,solarbrut,Dir,annuel}$ [kWh/a] : apports solaires surfaciques bruts annuels pour l'orientation Dir, tel que déterminé en section 6.2.

Le facteur de réduction du rayonnement solaire, f_{Dir} , est composé de quatre termes, comme le montre la formule suivante :

$$f_{Dir} = f_{o,dir} \cdot f_{s,dir} \cdot f_{non\perp,dir} \cdot f_{g,dir} \quad (21)$$

où $f_{o,Dir}$ [-] : facteur de réduction dû à l'ombrage sur les surfaces vitrées, cf section 6.1 ;
 $f_{s,Dir}$ [-] : facteur de réduction dû à la salissure, fixé à 0,95 ;
 $f_{non\perp,Dir}$ [-] : facteur de réduction afin de prendre en compte le rayonnement incident non perpendiculaire aux surfaces vitrées, valant 0,85 ;
 $f_{g,Dir}$ [-] : clair du vitrage, rapport entre les surfaces vitrées et les surfaces de fenêtres.

1.2.2 Apports internes annuels

Les apports internes sont définis de manière forfaitaire comme suit :

$$Q_I = 0,024.H_T.q_i.A_{SRE} \quad (22)$$

où 0,024 : facteur de conversion des j/an en kh/a ;

H_T [j/a] : longueur de la période de chauffe sur un an déterminé conformément à l'équation 7 ;

q_i [W/m^2] : puissance des apports internes par m^2 de surface énergétique de référence, fixé, par exemple, à 2,1 W/m^2 pour un usage résidentiel ;

A_{SRE} [m^2] : surface de référence énergétique.

2 Besoins nets en énergie de chauffage, méthode mensuelle

La méthode PHPP permet également de réaliser un calcul mois par mois des besoins en énergie de chauffage. La procédure suivante est alors implémentée.

$$Q_H = \sum_{i=1}^{12} Q_{H,i} \quad (23)$$

$$Q_{H,i} = \max(0; Q_{V,i} - h_{G,i} \cdot Q_{F,i}) \quad (24)$$

où Q_H [kWh/a] : besoins annuels nets en énergie de chauffage ;

$Q_{H,i}$ [kWh] : besoins en énergie de chauffage pour le mois i ;

$Q_{V,i}$ [kWh] : total des déperditions par ventilation et par transmission pour le mois i ;

$Q_{F,i}$ [kWh] : total des apports solaires et gratuits pour le mois i ;

$h_{G,i}$ [-] : coefficient de valorisation des apports gratuits pour le mois i .

2.1 Total des déperditions mensuelles par transmission et par ventilation

Les déperditions de chaleur mensuelles par transmission et par ventilation sont déterminées comme suit :

$$Q_{V,i} = Q_{trans,i} + Q_{conv,i} + Q_{rad,i} + Q_{sol,i} + Q_{EWU,i} \quad (25)$$

$$(26)$$

où $Q_{trans,i}$ [kWh] : déperditions par transmission des parois en contact avec l'extérieur ou une zone de température X pour le mois i ;

$Q_{conv,i}$ [kWh] : déperditions annuelles par convection des parois opaques en contact avec l'extérieur pour le mois i ;

$Q_{rad,i}$ [kWh] : déperditions annuelles par rayonnement des parois opaques en contact avec l'extérieur pour le mois i ;

$Q_{sol,i}$ [kWh] : déperditions par transmission des parois en contact avec le sol pour le mois i ;

$Q_{EWU,i}$ [kWh] : déperditions par ventilation de l'échangeur géothermique pour le mois i .

Ces différents coefficients sont déterminés comme suit :

$$Q_{trans,i} = H_{trans} \cdot (T_{int} - T_{ext,i}) \cdot t_i \cdot 0,024 \quad (27)$$

$$Q_{conv,i} = H_{conv} \cdot (T_{int} - T_{ext,i}) \cdot t_i \cdot 0,024 \quad (28)$$

$$Q_{rad,i} = H_{rad} \cdot (T_{int} - T_{ext,i}) \cdot t_i \cdot 0,024 \quad (29)$$

$$Q_{sol,i} = H_{sol} \cdot (T_{int} - T_{sol,i}) \cdot t_i \cdot 0,024 \quad (30)$$

$$Q_{EWU,i} = H_{EWU} \cdot (T_{int} - T_{e,m}) \cdot t_i \cdot 0,024 \quad (31)$$

$$(32)$$

où H_{trans} [W/K] : coefficient de déperdition par transmission des parois en contact avec l'extérieur et par ventilation ;

H_{conv} [W/K] : coefficient de déperdition par convection des parois opaques en contact avec l'extérieur ;

H_{rad} [W/K] : coefficient de déperdition par rayonnement des parois opaques en contact avec l'extérieur ;

H_{sol} [W/K] : coefficient de déperdition par transmission des parois en contact avec le sol, correspondant aux zones de température B et P ;

H_{EWU} [W/K] : coefficient de déperdition par ventilation de l'échangeur géothermique ;

T_{int} [°C] : température intérieure ;

$T_{ext,i}$ [°C] : température extérieure pour le mois i telle que définie par l'équation 11 ;

$T_{sol,i}$ [°C] : Température moyenne du sol pour le mois i , tel que déterminé dans le chapitre 4 ;

$T_{e,m}$ [°C] : Température moyenne annuelle à la surface du sol, correspondant à la moyenne annuelle des températures extérieures mensuelles $T_{ext,i}$ (pondérée par la longueur de chaque mois) à laquelle 1°C est ajouté (cf équation 72) ;

0,024 : facteur de conversion des j/an en kh/a ;

t_i [j] : longueur du mois i .

Les différents coefficients de déperditions sont déterminés selon les expressions suivantes.

$$H_{trans} = \sum_i A_i \cdot U_i + \sum_i l_i \cdot \Psi_i + V_L \cdot c_{p,air} \cdot \{n_{L,syst} \cdot (1 - \eta_{WRG,eff}) + n_{L,reste}\} - H_{sol} - H_{EWU} \quad (33)$$

$$H_{sol} = \sum_j A_j \cdot U_j + \sum_j l_j \cdot \Psi_j \quad (34)$$

$$H_{EWU} = V_L \cdot c_{p,air} \cdot \eta_{EWU} \cdot n_{L,syst} \cdot (1 - \eta_{WRG,eff}) \quad (35)$$

$$H_{conv} = \sum_i \left\{ \frac{\alpha_{air,i}}{1 + (\alpha_{air,i} + \alpha_{ciel,i}) \cdot \left(\frac{1}{U_i} - R_{se}\right)} - U_i \right\} \cdot A_i \quad (36)$$

$$H_{rad} = \sum_i \left\{ \frac{\alpha_{ciel,i}}{1 + (\alpha_{air,i} + \alpha_{ciel,i}) \cdot \left(\frac{1}{U_i} - R_{se}\right)} - U_i \right\} \cdot A_i \quad (37)$$

$$(38)$$

avec

$$\alpha_{air,i} = h_{conv,e} + \varepsilon_{ext,i} \cdot (1 - f_{omb,i} \cdot f_{ciel,i}) \cdot h_{rad,e} \quad (39)$$

$$\alpha_{ciel,i} = \varepsilon_{ext,i} \cdot f_{approx,ombrage,i} \cdot f_{ciel,i} \cdot h_{rad,e} \quad (40)$$

$$f_{ciel,i} = 0,5 \cdot (1 + \cos \phi_i) \quad (41)$$

où A_i [m^2] : surface de déperditions de la paroi i ;

U_i [$W/(m^2 \cdot K)$] : coefficient de déperdition par transmission thermique U de élément de construction i , tel que défini au chapitre 3.1 ;

l_i [m] : longueur du pont thermique i ;

Ψ_i [$W/(m \cdot K)$] : coefficient de déperdition du pont thermique i ;

A_j [m^2] : surface de déperditions de la paroi j en contact avec le sol (correspondant aux zones de température B et P) ;

U_j [$W/(m^2 \cdot K)$] : coefficient de déperdition par transmission thermique U de élément de construction j en contact avec le sol (correspondant aux zones de température B et P), tel que défini au chapitre 3.1 ;

l_j [m] : longueur du pont thermique j en contact avec le sol (correspondant aux zones de température B et P) ;

Ψ_j [$W/(m \cdot K)$] : coefficient de déperdition du pont thermique j en contact avec le sol (correspondant aux zones de température B et P) ;

V_L [m^3] : Volume d'air effectif, tel que défini par l'équation 14 ;

$c_{p,air}$ [$Wh/(m^3 K)$] : capacité thermique massique de l'air à pression constante, valant $0,33Wh/(m^3 K)$;

$n_{L,sys}$ [vol/h] : taux de renouvellement d'air moyen, tel que déterminé en section 5.1 ;

$n_{L,reste}$ [vol/h] : taux de renouvellement d'air dû aux infiltrations, tel que déterminé en section 5.2 ;

η_{WRG} [%] : rendement du récupérateur de chaleur du système de ventilation ;

$\eta_{WRG,eff}$ [%] : rendement effectif du récupérateur de chaleur du système de ventilation, tel que déterminé en section 5.3 ;

η_{EWU} [%] : rendement de l'échangeur géothermique, tel que déterminé en section 5.4 ;

$\alpha_{air,i}$ [$W/(m^2 \cdot K)$] : coefficient de convection thermique de la paroi i ;

$\alpha_{ciel,i}$ [$W/(m^2 \cdot K)$] : coefficient de rayonnement thermique de la paroi i ;

$\varepsilon_{ext,i}$ [-] : facteur d'émission vers l'extérieur de la paroi i ;

$f_{approx,ombrage,i}$ [-] : facteur d'ombrage de la paroi i ;

$f_{ciel,i}$ [-] : facteur de vue du ciel de la paroi i ;

$h_{conv,e}$ [$W/(m^2 \cdot K)$] : coefficient de déperdition par convection, valant toujours $15 W/m^2 K$;

$h_{rad,e}$ [$W/(m^2 \cdot K)$] : coefficient de déperdition radiatif, valant toujours $5 W/m^2 K$;

ϕ_i [°] : Angle d'inclinaison de la paroi i par rapport à l'horizontale.

2.2 Total des apports solaires et gratuits mensuels

Les apports solaires et gratuits mensuels sont déterminés comme suit :

$$Q_{F,i} = Q_{S,i} + Q_{I,i} \quad (42)$$

où $Q_{F,i}$ [kWh] : total des apports gratuits pour le mois i ;

$Q_{S,i}$ [kWh] : gains solaires du mois i ;
 $Q_{I,i}$ [kWh] : apports internes du mois i.

2.2.1 Gains solaires mensuels

En méthode mensuelle, les apports solaires résultent de la somme des apports solaires via les fenêtres et via les parois opaques pour chaque orientation. Le PHPP reprend cinq orientations : nord, sud, est, ouest et horizontal.

$$Q_{S,i} = \sum_{Dir=1}^5 f_{Dir} \cdot g_{Dir} \cdot A_{w,Dir} \cdot Q_{S,solarbrut,Dir,i} + Q_{solarOpak,i} \quad (43)$$

où Dir : orientation : nord, sud, est, ouest et horizontal ;

f_{Dir} [-] : facteur de réduction du rayonnement solaire pour l'orientation dir, tel que défini par l'équation 21 ;

g_{Dir} [-] : facteur solaire moyen pour l'orientation dir (moyenne pondérée les surfaces vitrée des fenêtres), valant par défaut 0,42 ;

$A_{w,n}$ [m^2] : total des surfaces de vitrage pour l'orientation Dir ;

$Q_{S,solarbrut,Dir,i}$ [kWh] : apports solaires surfaciques bruts pour l'orientation Dir et le mois i, cf section 6.2 ;

$Q_{solarOpak,i}$ [kWh] : apports solaires relatifs aux parois opaques pour le mois i, tel que défini en section 6.3.

2.2.2 Apports internes

La quantité de chaleur provenant des apports internes mensuels est déterminée comme suit :

$$Q_{I,i} = q_I \cdot A_{SRE} \cdot t_i \cdot 0,024 \quad (44)$$

où q_I [W/m^2] : puissance des apports internes par m^2 de surface énergétique de référence (2,1 W/m^2 pour une habitation) ;

A_{SRE} [m^2] : surface de référence énergétique ;

0,024 : facteur de conversion des j/an en kh/a ;

t_i [j] : longueur du mois i exprimée en heures.

2.3 Coefficient mensuel de valorisation des apports gratuits

Le coefficient mensuel de valorisation des apports gratuits est déterminée comme suit :

$$h_{G,i} = \begin{cases} \frac{a}{a+1} & \frac{Q_{F,i}}{Q_{V,i}} = 1 \\ \frac{1 - \left(\frac{Q_{F,i}}{Q_{V,i}}\right)^a}{1 - \left(\frac{Q_{F,i}}{Q_{V,i}}\right)^{(a+1)}} & \frac{Q_{F,i}}{Q_{V,i}} \neq 1 \end{cases} \quad (45)$$

où $Q_{V,i}$ [kWh] : total des déperditions par ventilation et par transmission pour le mois i, cf chapitre 2.1 ;

$Q_{F,i}$ [kWh] : total des apports solaires et gratuits pour le mois i, cf chapitre 2.2 ;

a [-] : Facteur temps.

Le facteur de temps a est défini par l'expression suivante.

$$a = 1 + \frac{\tau_{hV}}{16} \quad (46)$$

$$\tau_{hV} = \frac{C}{H_{trans} + H_{sol} + H_{EWU}} \quad (47)$$

où

τ_{hV} [h] : constante de temps ;

C [Wh/K] : capacité thermique du bâtiment correspond au produit de la capacité thermique surfacique (encodée dans l'onglet Eté) par la surface de référence énergétique A_{SRE} ;

H_{trans} [W/K] : coefficient de déperdition par transmission des parois en contact avec l'extérieur et par ventilation, tel que défini par l'équation 33 ;

H_{sol} [W/K] : coefficient de déperdition par transmission des parois en contact avec le sol, correspondant aux zones de température B et P, tel que défini par l'équation 34;

H_{EWU} [W/K] : coefficient de déperdition par ventilation de l'échangeur géothermique, tel que défini par l'équation 35.

3 Détermination du coefficient de déperdition par transmission

L'outil permet de calculer différemment deux type de coefficient de transmission thermique U : ceux relatifs aux parois homogènes et ceux relatifs aux portes et fenêtres.

3.1 Coefficient de transmission thermique U des parois homogènes

Le coefficient de transmission thermique U_i de la paroi homogène i est déterminé comme suit :

$$U_i = \begin{cases} \frac{1}{R_{T,i}} & \text{si } e < 0,1 \\ \frac{1}{R_{T,i}''} \cdot 1,1 & \text{sinon} \end{cases} \quad (48)$$

avec

$$R_{T,i} = \text{moyenne}(R_{T,i}', R_{T,i}'') \quad (49)$$

$$e = \frac{R_{T,i}' - R_{T,i}''}{2 \cdot R_{T,i}} \quad (50)$$

$$R_{T,i}' = \sum_{n=1}^3 \frac{1}{R_{si} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_{nj}} + R_{se}} \cdot p_n \quad (51)$$

$$R_{T,i}'' = \frac{1}{R_{si} + \sum_j \frac{d_j}{\sum_{n=1}^3 \lambda_{nj} \cdot p_n} + R_{se}} \quad (52)$$

$$(53)$$

où $R_{T,i}$ [$m^2 \cdot K/W$] : résistance thermique de la paroi i ;

$R_{T,i}'$ [$m^2 \cdot K/W$] : estimation supérieure de la résistance thermique de la paroi i ;

$R_{T,i}''$ [$m^2 \cdot K/W$] : estimation inférieure de la résistance thermique de la paroi i ;

R_{si} [$m^2 \cdot K/W$] : résistance superficielle intérieure ;

R_{se} [$m^2 \cdot K/W$] : résistance superficielle extérieure ;

e [-] : erreur sur le calcul de la résistance thermique de la paroi i ;

d_j [m] : épaisseur de la couche j ;

λ_{nj} [$W/(m \cdot K)$] : conductibilité thermique du matériau j pour la section n ;

p_n [%] : pourcentage de surface occupé par la section n.

3.1.1 Cas particulier : Détermination de la conductibilité thermique équivalente d'une lame d'air immobile

Le logiciel contient un outil de calcul permettant d'évaluer la conductibilité thermique équivalente d'une lame d'air immobile, sur base de la méthodologie suivante.

$$\lambda_i = \frac{d_i}{1000} \cdot (h_{a,i} + h_{r,i}) \quad (54)$$

$$h_{a,i} = \begin{cases} \max\left(1, 95; \frac{25}{d_i}\right) & \text{si flux de chaleur ascendant} \\ \max\left(1, 25; \frac{25}{d_i}\right) & \text{si flux de chaleur horizontal} \\ \max\left(0, 12 \cdot \left(\frac{d_i}{1000}\right)^{-0,44}; \frac{25}{d_i}\right) & \text{si flux de chaleur descendant} \end{cases} \quad (55)$$

$$h_{r,i} = \frac{5,1}{\frac{2}{0,9} - 1} = 4,17 \quad (56)$$

où $\lambda_i [W/(m.K)]$: conductibilité thermique équivalente de la lame d'air immobile correspondant à la couche i ;
 $d_i [mm]$: épaisseur de la couche i, devant être exprimée en mm ;
 $h_{a,i} [W/(m^2.K)]$: Coefficient de déperditions équivalente a de la couche i ;
 $h_{r,i} [W/(m^2.K)]$: Coefficient de déperditions équivalente r de la couche i.

3.1.2 Cas particulier : Détermination de la valeur U d'une couche à pente intégrée (max 5%)

La méthode décrite ci-dessous est directement issue de la norme EN 6946 annexe C. Elle permet de déterminer la valeur U d'un élément comprenant des couche à pente intégrée. On subdivisera la paroi en deux parties :

- Couches d'éléments parallélépipédiques :
 $U_{0,i}$ est déterminé pour toutes les couches d'épaisseurs constantes composant la paroi i conformément à la méthode énoncée dans la section 3.1 ;
- Couches d'éléments à pente intégrée :
 $U_{1,i}$ est également déterminé pour la couche à pente intégrée composant la paroi i conformément à la méthode énoncée dans la section 3.1.

Les résistances thermiques $R_{0,i}$ et $R_{1,i}$ correspondent respectivement à l'inverse des valeurs $U_{0,i}$ et $U_{1,i}$.

$$U_i = \begin{cases} \frac{1}{R_{1,i}} \cdot \ln \left(1 + \frac{R_{1,i}}{R_{0,i}} \right) & \text{pour une surface rectangulaire équivalente} \\ \frac{2}{R_{1,i}} \cdot \left\{ \left(1 + \frac{R_{0,i}}{R_{1,i}} \right) \cdot \ln \left(1 + \frac{R_{1,i}}{R_{0,i}} \right) - 1 \right\} & \text{pour une surface triangulaire avec la plus grande} \\ & \text{épaisseur au coin supérieur} \\ \frac{2}{R_{1,i}} \cdot \left\{ 1 - \frac{R_{0,i}}{R_{1,i}} \cdot \ln \left(1 + \frac{R_{1,i}}{R_{0,i}} \right) \right\} & \text{pour une surface triangulaire avec la plus faible} \\ & \text{épaisseur au coin supérieur} \end{cases} \quad (57)$$

où $R_{0,i} [m^2.K/W]$: résistance thermique pour toutes les couches d'épaisseurs constantes composant la paroi i ;
 $R_{1,i} [m^2.K/W]$: résistance thermique pour toutes les couches à pente intégrée composant la paroi i.

La valeur U à considérer dans la suite des calcul doit être fixée à une des trois valeurs déterminée ci-dessus en fonction de la géométrie de l'élément (cf manuel PHPP pour tout complément d'information).

3.2 Coefficient de transmission thermique U des fenêtres et portes

Le coefficient de transmission thermique d'une fenêtre ou d'une porte i est déterminé comme suit :

$$U_{w,i} = \frac{U_{g,i} \cdot A_{g,i} + U_{f,i} \cdot (A_{w,i} - A_{g,i}) + \Psi_{inter,i} \cdot l_{g,i} + \Psi_{mise,i} \cdot l_{mise,i}}{A_{w,i}} \quad (58)$$

avec

$$l_{g,i} = 2 \cdot (l_i - e_{g,i} - e_{d,i} + h_i - e_{h,i} - e_{b,i}) \quad (59)$$

$$l_{mise,i} = l_i \cdot m_{b,i} + l_i \cdot m_{h,i} + h_i \cdot m_{g,i} + h_i \cdot m_{d,i} \quad (60)$$

où $U_{g,i} [W/(m^2.K)]$: coefficient de transmission thermique du vitrage ;
 $U_{f,i} [W/(m^2.K)]$: coefficient de transmission thermique du châssis ;
 $A_{g,i} [m^2]$: surface du vitrage ;
 $A_{w,i} [m^2]$: surface totale de la fenêtre ;
 $\Psi_{inter,i} [W/(m.K)]$: valeur du pont thermique dû à l'intercalaire du vitrage ;
 $\Psi_{mise,i} [W/(m.K)]$: valeur du pont thermique de mise en oeuvre de la fenêtre dans le murs ;
 $l_{g,i} [m]$: périmètre du vitrage ;
 $l_{mise,i} [m]$: périmètre de châssis en contact avec le mur ;
 $l_i [m]$: largeur de la fenêtre ;
 $h_i [m]$: hauteur de la fenêtre ;
 $e_{g,i}, e_{d,i}, e_{h,i}, e_{b,i} [m]$: largeur du châssis respectivement à gauche, à droite, en haut et en bas ;
 $m_{g,i}, m_{d,i}, m_{h,i}, m_{b,i} [-]$: facteur de mise en oeuvre de la fenêtre dans le murs respectivement à gauche, à droite, en haut et en bas, valant 1 ou 0.

4 Détermination du facteur de réduction pour des éléments en contact avec le sol et de la température du sol

Ce facteur de réduction s'applique pour les parois en contact avec le sol, comprenant les planchers sur terre-plein, les planchers sur vide sanitaire et les sous-sols.

4.1 Détermination du facteur de réduction

Le facteur de réduction $f_{Ta,B}$ pour les éléments en contact avec le sol est utilisé pour le calcul des déperditions annuelles par transmission, cf chapitre 1.1.1.

Si les caractéristiques du sol ne sont pas encodées dans l'onget Sol, par défaut, le facteur de réduction sera déterminé comme suit :

$$f_{Ta,B} = \frac{T_{int} - T_{sol}}{T_{int} - T_{ext}} \quad (61)$$

$$(62)$$

où $f_{Ta,B}$ [-] : facteur de réduction pour des éléments en contact avec le sol ;

T_{int} [°C] : température intérieure ;

T_{sol} [°C] : température du sol moyenne de la période de chauffe ;

T_{ext} [°C] : température extérieure moyenne de la période de chauffe.

Les températures T_{sol} et T_{ext} sont calculées sur base des expressions suivantes.

$$T_{sol} = \frac{\sum_{i=1}^{12} f_{G_t,i} \cdot T_{sol,i}}{\sum_{i=1}^{12} f_{G_t,i}} \quad (63)$$

$$T_{ext} = \frac{\sum_{i=1}^{12} f_{G_t,i} \cdot T_{ext,i}}{\sum_{i=1}^{12} f_{G_t,i}} \quad (64)$$

$$T_{sol,i} = T_{sol,clim,i} - T_{corr,i} \quad (65)$$

où $f_{G_t,i}$ [-] : facteur de détermination de la période de chauffe tel que définit par la formule 9 ;

$T_{sol,i}$ [°C] : température du sol moyenne pour le mois i ;

$T_{ext,i}$ [°C] : température extérieure moyenne pour le mois i tel que définit par la formule 11 ;

$T_{sol,clim,i}$ [°C] : température extérieure moyenne de la station météo pour le mois i ;

$T_{corr,i}$ [°C] : facteur correctif de la température pour le mois i tel que définit par la formule 12.

Si les caractéristiques du sol sont encodées dans l'onget Sol, le facteur de réduction sera déterminé selon une méthode de calcul directement issue de la norme EN ISO 13370. Elle comprend le calcul de la partie du transfert thermique correspondant au régime stationnaire ainsi que la partie du transfert thermique résultant des variations périodiques annuelles de la température.

$$f_{Ta,B} = \begin{cases} \frac{Q_{tot}}{(U'_f \cdot A_s + \Psi_{P,stat} \cdot l_P + U_{wK} \cdot z \cdot P) \cdot G_t} & \text{s'il s'agit d'un cave chauffée ou d'une dalle sur sol enterrée} \\ \frac{Q_{tot}}{(U'_f \cdot A_s + \Psi_{P,stat} \cdot l_P) \cdot G_t} & \text{dans les autres cas} \end{cases} \quad (66)$$

où Q_{tot} [kWh] : déperdition de chaleur au travers du sol pendant la période de chauffe ;

U'_f [W/(m².K)] : valeur U de dalle de sol, ponts thermiques inclus ;

A_s [m²] : surface de la dalle de sol ;

$\Psi_{P,stat}$ [W/(m.K)] : valeur du pont thermique périphérique ;

l_P [m] : longueur du pont thermique périphérique ;

U_{wK} [W/(m².K)] : valeur U des murs en contact avec le sol ;

z [m] : profondeur des murs enterrés ;

P [m] : périmètre exposé de la dalle de sol ;

$G_t [kKh]$: intégrale temps de la différence de température (degré-heure) tel que déterminé par l'équation 5.

La valeur U'_f se calcule comme suit

$$U'_f = U_f + \frac{\Psi_{B.l}}{A_s} \quad (67)$$

où $U_f [W/(m^2.K)]$: valeur U de dalle de sol ;

$\Psi_{B.l} [W/(K)]$: coefficient de déperditions dû aux ponts thermiques dalle de sol.

Les déperditions de chaleur au travers du sol pendant la période de chauffe se composent un terme stationnaire et d'un terme harmonique, comme développé ci-dessous :

$$Q_{tot} = (\Phi_{stat} + \Phi_{harm}) \cdot n_c \cdot \frac{8,76}{12} \quad (68)$$

avec

$$\Phi_{stat} = L_s \cdot (T_{int} - T_{e,m}) \quad (69)$$

$$\Phi_{harm} = L_{pe} \cdot \frac{6}{n_c \cdot \pi} \cdot 2 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{12} \cdot n_c\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{6} \cdot \beta\right) \cdot \hat{T}_e \quad (70)$$

et

$$\hat{T}_e = \frac{\max(T_{ext,i}) + \min(T_{ext,i})}{2} \quad (71)$$

$$T_{e,m} = T_{ext,a} + 1 \quad (72)$$

$$n_c = H_T \cdot \frac{12}{365} \quad (73)$$

où $\Phi_{stat} [W]$: flux de chaleur stationnaire ;

$\Phi_{harm} [W]$: flux de chaleur périodique ;

$n_c [mois]$: longueur de la période de chaleur exprimée en mois ;

$\frac{8,76}{12} [-]$: facteur de conversion des mois/an en kh/a ;

$L_s [W/K]$: conductance stationnaire telle que définie au chapitre 4.3 ;

$L_{pe} [W/K]$: conductance harmonique extérieure telle que définie au chapitre 4.3 ;

$T_{e,m} [^\circ C]$: température moyenne annuelle à la surface du sol ;

$T_{ext,a} [^\circ C]$: température moyenne extérieure annuelle, correspondant à la moyenne des températures extérieures mensuelles $T_{ext,i}$ pondérée par la longueur de chaque mois ;

$\beta [mois]$: déphasage tel que défini au chapitre 4.3 ;

$\hat{T}_e [^\circ C]$: amplitude de la température moyenne annuelle à la surface du sol ;

$T_{ext,i} [^\circ C]$: température extérieure moyenne pour le mois i tel que définit par la formule 11 ;

$H_T [j]$: longueur de la période de chauffe, tel que défini par l'équation 7.

4.2 Détermination de la température moyenne mensuelle du sol

Les températures moyennes mensuelles du sol permettront de calculer les déperditions par transmission dans la méthode mensuelle, cf chapitre 2.1.

Si les caractéristiques du sol ne sont pas encodées dans l'onglet Sol, par défaut, la température du sol sera déterminée par l'équation 65. Dans le cas contraire, la température du sol sera évaluée comme suit :

$$T_{sol,i} = \begin{cases} T_{sol,h,i} & \text{si } T_{ext,i} < 15^\circ C \\ T_{sol,e,i} & \text{si } T_{ext,i} \geq 15^\circ C \end{cases} \quad (74)$$

avec

$$T_{sol,h,i} = \begin{cases} T_{int} - \frac{L_s \cdot (T_{int} - T_{e,m}) + L_{pe} \cdot \hat{T}_e \cdot \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{i-1-\beta}{12}\right)}{U'_f \cdot A_s + \Psi_{P,stat} \cdot l_P + U_{wK.Z.P}} & \text{s'il s'agit d'un cave chauffée} \\ T_{int} - \frac{L_s \cdot (T_{int} - T_{e,m}) + L_{pe} \cdot \hat{T}_e \cdot \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{i-1-\beta}{12}\right)}{U'_f \cdot A_s + \Psi_{P,stat} \cdot l_P} & \text{ou d'une dalle sur sol enterrée} \\ T_{int} - \frac{L_s \cdot (T_{int} - T_{e,m}) + L_{pe} \cdot \hat{T}_e \cdot \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{i-1-\beta}{12}\right)}{U'_f \cdot A_s + \Psi_{P,stat} \cdot l_P} & \text{dans les autres cas} \end{cases} \quad (75)$$

$$T_{sol,e,i} = \begin{cases} T_{int,e} - \frac{L_s \cdot (T_{int,e} - T_{e,m}) + L_{pe} \cdot \hat{T}_e \cdot \cos\left(2\pi \cdot \frac{i-1-\beta}{12}\right)}{U'_f \cdot A_s + \Psi_{P,stat} \cdot l_P + U_{wK} \cdot z \cdot P} & \text{s'il s'agit d'un cave chauffée} \\ & \text{ou d'une dalle sur sol enterrée} \\ T_{int,e} - \frac{L_s \cdot (T_{int,e} - T_{e,m}) + L_{pe} \cdot \hat{T}_e \cdot \cos\left(2\pi \cdot \frac{i-1-\beta}{12}\right)}{U'_f \cdot A_s + \Psi_{P,stat} \cdot l_P} & \text{dans les autres cas} \end{cases} \quad (76)$$

où $T_{sol,h,i}$ [$^{\circ}C$] : températures moyennes mensuelles du sol en régime hiver ;

$T_{sol,e,i}$ [$^{\circ}C$] : températures moyennes mensuelles du sol en régime été ;

$T_{int,e}$ [$^{\circ}C$] : température intérieure en régime été (équivalente à θ_{max} , température limite de surchauffe fixée à $25^{\circ}C$).

4.3 Déterminations des caractéristiques de chaque sol

Le logiciel permet de déterminer l'influence de quatre types de configuration en contact avec le sol :

- cave chauffée ou dalle sur sol enterrée ;
- cave non-chauffée ;
- dalle sur terre-plein ;
- dalle sur vide sanitaire.

Pour chaque type de sol, il convient de définir les conductances stationnaire L_s et harmonique L_{pe} et le déphasage β comme cela est détaillé dans les sous-chapitre suivants.

La paroi horizontale en contact avec le sol sera caractérisée par les dimensions caractéristiques suivantes.

$$d_t = \frac{\lambda}{U'_f} \quad (77)$$

$$B' = \frac{2 \cdot A_s}{P} \quad (78)$$

où B' [m] : dimension caractéristique du plancher ;

d_t [m] : épaisseur équivalente du plancher ;

λ [$W/(m.K)$] : conductibilité thermique du sol non gelé ;

U'_f [$W/(m^2.K)$] : valeur U de dalle de sol, ponts thermiques inclus ;

A_s [m^2] : surface de la dalle de sol ;

P [m] : périmètre exposé de la dalle de sol.

4.3.1 Cave chauffée ou dalle sur sol enterrée

Cette procédure s'applique aux bâtiments dans lesquels une partie de l'espace habitable se trouve au-dessous du niveau du sol.

$$L_s = (A_s \cdot U_{bf} + z \cdot P \cdot U_{bw}) \cdot G_w \quad (79)$$

avec

$$U_{bf} = \begin{cases} \frac{\lambda}{0,457 \cdot B' + d_t + 0,5 \cdot z} & \text{si } (d_t + 0,5 \cdot z) \geq B' \\ \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot B' + d_t + 0,5 \cdot z} \cdot \ln\left(\pi \cdot \frac{B'}{d_t + 0,5 \cdot z} + 1\right) & \text{si } (d_t + 0,5 \cdot z) < B' \end{cases} \quad (80)$$

$$(81)$$

$$U_{bw} = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot z} \cdot \left(1 + \frac{0,5 \cdot \min(d_t, d_w)}{\min(d_t, d_w) + z}\right) \cdot \ln\left(\frac{z}{d_w} + 1\right) \quad (82)$$

$$d_w = \frac{\lambda}{U_{wK}} \quad (83)$$

$$(84)$$

où U_{bf} [$W/(m^2.K)$] : valeur U du plancher du sous-sol ;

U_{bw} [$W/(m^2.K)$] : valeur U des murs du sous-sol ;

$G_w [-]$: facteur de correction pour la prise en compte de la nappe phréatique, voir section 4.4 ;
 $B' [m]$: dimension caractéristique du plancher, telle que définit par l'équation 78 ;
 $d_t [m]$: épaisseur équivalente du plancher, telle que définit par l'équation 77 ;
 $d_w [m]$: épaisseur équivalente des murs du sous-sol ;
 $z [m]$: profondeur des murs enterrés ;
 $\lambda [W/(m.K)]$: conductibilité thermique du sol non gelé ;
 $U_{wK} [W/(m^2.K)]$: valeur U des murs en contact avec le sol.

Le terme harmonique est déterminé comme suit :

$$L_{pe} = 0,37.P.\lambda. \left\{ 2. \left(1 - e^{-\frac{z}{\delta}} \right) . \ln \left(\frac{\delta}{d_w} + 1 \right) + e^{-\frac{z}{\delta}} . \ln \left(\frac{\delta}{d_t} + 1 \right) \right\} \quad (85)$$

Le déphasage se détermine de manière suivante :

$$\beta = \begin{cases} 1,5 - 0,42. \ln \left(\frac{\delta}{d_w} + 1 \right) & \text{si } z \geq \delta \\ 1,5 - 0,42. \ln \left(\frac{\delta}{d_t} + 1 \right) & \text{si } z < \delta \end{cases} \quad (86)$$

avec

$$\delta = \sqrt{\frac{365.24.3600.\lambda}{\pi.\rho c.10^6}} \quad (87)$$

où $\delta [m]$: coefficient de couplage thermique périodique ;
 $\lambda [W/(m.K)]$: conductibilité thermique du sol non gelé ;
 $\rho c [MJ/(m^3.K)]$: chaleur volumique du sol non gelé.

4.3.2 Cave non-chauffée

Les formules suivantes s'appliquent pour des sous-sols non-chauffé ventilé depuis l'extérieur.

$$L_s = \frac{A_s}{\frac{1}{U'_f} + \frac{A_s}{L_{s,chauffe} + h_c.P.U_w + 0.33.n.V_c}} \quad (88)$$

$$L_{pe} = A_s.U'_f. \frac{L_{pe,chauffe} + h_c.P.U_w + 0.33.n.V_c}{(A_s + z.P). \frac{\lambda}{\delta} + h_c.P.U_w + 0.33.n.V_c + A_s.U'_f} \quad (89)$$

où $L_{s,chauffe} [W/K]$: conductance stationnaire dans le cas d'une cave chauffé, telle que décrite par l'équation 79 ;
 $L_{pe,chauffe} [W/K]$: conductance harmonique extérieure dans le cas d'une cave chauffé, telle que décrite par l'équation 85 ;

$U'_f [W/(m^2.K)]$: valeur U de dalle de sol, ponts thermiques inclus ;
 $P [m]$: périmètre exposé de la dalle de sol ;
 $A_s [m^2]$: surface de la dalle de sol ;
 $h_c [m]$: hauteur des murs de cave au-dessus du sol ;
 $U_w [W/(m^2.K)]$: valeur U des murs de cave au-dessus du sol ;
 $n [vol/h]$: taux de renouvellement d'air à l'intérieur de la cave non-chauffée ;
 $V_c [m^3]$: volume de la cave ;
 $z [m]$: profondeur des murs enterrés.

Le coefficient de couplage thermique périodique β est défini par l'équation 86.

4.3.3 Dalle sur terre-plein

La procédure suivante s'applique pour les dalles sur terre-plein en contact avec le sol sur la totalité de sa surface et possédant éventuellement une isolation périphérique horizontale ou verticale.

$$L_s = (U_0.A_s + P.\Delta\Psi).G_w \quad (90)$$

avec

$$U_0 = \begin{cases} \frac{\lambda}{0,457.B' + d_t} & \text{si } (d_t + 0,5.z) \geq B' \\ \frac{2.\lambda}{\pi.B' + d_t} \cdot \ln\left(\pi \cdot \frac{B'}{d_t} + 1\right) & \text{si } (d_t + 0,5.z) < B' \end{cases} \quad (91)$$

$$\Delta\Psi = \begin{cases} -\frac{\lambda}{\pi} \cdot \left\{ \ln\left(\frac{D}{d_t} + 1\right) - \ln\left(\frac{D}{d_t + d'} + 1\right) \right\} & \text{si isolation périphérique horizontale} \\ -\frac{\lambda}{\pi} \cdot \left\{ \ln\left(\frac{2.D}{d_t} + 1\right) - \ln\left(\frac{2.D}{d_t + d'} + 1\right) \right\} & \text{si isolation périphérique verticale} \end{cases} \quad (92)$$

$$d' = d_n \cdot \left(\frac{\lambda}{\lambda_n} - 1\right) \quad (93)$$

où U_0 [$W/(m^2.K)$] : coefficient de transmission thermique de base ;

$\Delta\Psi$ [$W/(m.K)$] : facteur correctif pour l'isolation périphérique ;

P [m] : périmètre exposé de la dalle de sol ;

A_s [m^2] : surface de la dalle de sol ;

G_w [-] : facteur de correction pour la prise en compte de la nappe phréatique, voir section 4.4 ;

B' [m] : dimension caractéristique du plancher, telle que définit par l'équation 78 ;

d_t [m] : épaisseur équivalente du plancher, telle que définit par l'équation 77 ;

D [m] : largeur ou profondeur de l'isolation périphérique ;

d' [m] : épaisseur active de l'isolation périphérique ;

λ_n [$W/(m.K)$] : conduction thermique de l'isolation périphérique ;

d_n [m] : épaisseur de l'isolation périphérique.

Le terme harmonique est déterminé comme suit :

$$L_{pe} = \begin{cases} 0.37.P.\lambda \cdot \left\{ \left(1 - e^{-\frac{D}{\delta}}\right) \cdot \ln\left(\frac{\delta}{d_t + d'} + 1\right) + e^{-\frac{D}{\delta}} \ln\left(\frac{\delta}{d_t} + 1\right) \right\} & \text{si isolation périphérique horizontale} \\ 0.37.P.\lambda \cdot \left\{ \left(1 - e^{-\frac{2.D}{\delta}}\right) \cdot \ln\left(\frac{\delta}{d_t + d'} + 1\right) + e^{-\frac{2.D}{\delta}} \ln\left(\frac{\delta}{d_t} + 1\right) \right\} & \text{si isolation périphérique verticale} \\ 0.37.P.\lambda \cdot \ln\left(\frac{\delta}{d_t} + 1\right) & \text{si pas d'isolation périphérique} \end{cases} \quad (94)$$

Le déphasage se détermine de manière suivante :

$$\beta = 1,5 - 0.42 \cdot \ln\left(\frac{\delta}{d_t} + 1\right) \quad (95)$$

où δ [m] : coefficient de couplage thermique périodique, tel que définit par l'équation 87.

4.3.4 Dalle sur vide sanitaire

Un plancher sur vide sanitaire désigne n'importe quel type de plancher maintenu au-dessus du sol. Cette section peut être appliquée pour les planchers sur vide sanitaire classiques dans lesquels l'espace sous plancher est ventilé naturellement par l'air extérieur pour autant que la profondeur moyenne sous le niveau fini du sol est inférieure à 0,5m.

$$L_s = \frac{A_s}{\frac{1}{U'_f} + \frac{1}{U_g + U_x}} \quad (96)$$

avec

$$U_g = \frac{2.\lambda}{\pi.B' + d_g} \cdot \ln\left(\frac{\pi.B'}{d_g} + 1\right) \cdot G_w \quad (97)$$

$$U_x = 2.h_{vv} \cdot \frac{U_w}{B'} + 1450.\varepsilon.v. \cdot \frac{f_w}{B'.P} \quad (98)$$

$$d_g = \frac{\lambda}{U_{Hohl}} \quad (99)$$

où A_s [m^2] : surface de la dalle de sol ;
 U'_f [$W/(m^2.K)$] : valeur U du plancher en contact avec le vide sanitaire, ponts thermiques inclus ;
 U_g [$W/(m^2.K)$] : valeur U correspondant au flux de chaleur au travers du sol ;
 U_x [$W/(m^2.K)$] : valeur U équivalent correspondant au flux de chaleur à travers les murs du vide sanitaire et à celui résultant de la ventilation du vide sanitaire ;
 d_g [m] : épaisseur active du vide ventilé ;
 U_w [$W/(m^2.K)$] : valeur U paroi du vide ventilé ;
 h_{vv} [m] : hauteur du vide ventilé au-dessus du niveau du sol fini ;
 ε [m^2] : surface d'ouvertures de ventilation ;
 v [m/s] : vitesse moyenne du vent à une hauteur de 10 m ;
 f_w [-] : facteur de protection au vent, valant 0,02 en situation protégée (noyaux urbains), 0,05 en protection moyenne (en périphéries) et 0,1 en situation exposée (rural) ;
 U_{Hohl} [$W/(m^2.K)$] : valeur U de la dalle du vide ventilé en contact avec le sol.

Le terme harmonique est déterminé comme suit :

$$L_{pe} = U'_f \cdot \frac{0.37.P.\lambda.\ln(\frac{\delta}{d_g} + 1) + U_x.A_s}{\frac{\lambda}{\delta} + U_x + U'_f} \quad (100)$$

Le coefficient de couplage thermique périodique β est défini par l'équation 95.

4.4 Correction en présence d'une nappe phréatique

On peut évaluer l'effet de l'écoulement de la nappe phréatique sur le flux stationnaire par le facteur G_w . Le facteur G_w peut être évalué en fonction des rapports sans dimension l/B' , z_w/B' et d_t/B' .

$$G_w = 1 + 0.583 \cdot \left\{ 1 - \frac{2}{\pi} \cdot \arctan(23.l/B') \right\} \cdot \frac{e^{-\frac{3.75}{z_w/B'}}}{d_t/B' + 0.35} \quad (101)$$

avec

$$l/B' = \frac{\frac{\lambda}{4190000.q_w}}{B'} \quad (102)$$

$$z_w/B' = \frac{z_w}{B'} \quad (103)$$

$$d_t/B' = \lambda \cdot \frac{\frac{A_s + z.P}{L_{reg}}}{B'} \quad (104)$$

et

$$L_{reg} = \begin{cases} U'_f.A_s + U_wK.z.P + \Psi_{P,stat} & \text{si cave chauffée ou dalle enterrée} \\ U'_f.A_s + U_wK.z.P + \Psi_{P,stat} & \text{si cave non-chauffée} \\ U'_f.A_s + \Psi_{P,stat} & \text{si cave dalle sur terre-plein} \\ U_{Hohl}.A_s + \Psi_{P,stat} & \text{si dalle sur vide sanitaire} \end{cases} \quad (105)$$

où l/B' [-] : vitesse d'écoulement relative de la nappe phréatique ;
 z_w/B' [-] : profondeur relative de la nappe phréatique ;
 d_t/B' [-] : standard relatif d'isolation ;
 L_{reg} [W/K] : conductance des parois en contact avec le sol (sans sol) ;
 q_w [m/j] : vitesse d'écoulement moyenne d'écoulement de la nappe phréatique, exprimée en m par jour ;
 z_w [m] : profondeur du niveau de la nappe phréatique ;
 P [m] : périmètre exposé de la dalle de sol ;
 A_s [m^2] : surface de la dalle de sol ;
 B' [m] : dimension caractéristique du plancher, telle que définit par l'équation 78 ;
 z [m] : profondeur des murs enterrés.

5 Détermination du coefficient de déperdition par ventilation

Ce chapitre détaille les méthodologies de calcul du taux de renouvellement d'air moyen $n_{L,sys}$, du taux de renouvellement d'air dû aux infiltrations $n_{L,reste}$, du rendement effectif du récupérateur de chaleur sur la ventilation $\eta_{WRG,eff}$ et du rendement réel de récupération de l'échangeur géothermique η_{EWU} .

5.1 Détermination du taux de renouvellement moyen

Le taux de renouvellement moyen de ventilation est déterminé de la façon suivante. Si aucune donnée n'est encodée, une valeur par défaut de $0,4 \text{ vol/h}$ sera prise en considération.

$$n_{L,sys} = \frac{\sum_i d_i \cdot f_i \cdot \dot{v}_{L,sys}}{V_L} \quad (106)$$

où d_i [h] : durée d'utilisation quotidien, exprimée en heures par jour, $\sum_i d_i$ devant être égale à 24h ;

f_i [-] : coefficient par rapport au maximum, dépendant du type de groupe de ventilation placé ;
 $\dot{v}_{L,sys}$ [m^3/h] : débit d'air retenu pour la conception ;
 V_L [m^3] : volume d'air effectif.

5.2 Détermination du taux de renouvellement dû aux infiltrations

Le taux de renouvellement dû aux infiltrations est défini comme suit, conformément à la norme EN 832. Si aucune donnée n'est encodée, une valeur par défaut de $0,6.0,07.1,1 = 0,042 \text{ vol/h}$ sera prise en considération.

$$n_{L,reste} = \frac{V_{n_{50}} \cdot n_{50} \cdot e}{V_L \cdot \left\{ 1 + \frac{f}{e} \cdot \left(\frac{n_{ex,a}}{n_{50}} \right)^2 \right\}} \quad (107)$$

où $V_{n_{50}}$ [m^3] : volume d'air net du test d'infiltrométrie ;

n_{50} [vol/h] : taux de renouvellement d'air mesuré par le test d'infiltrométrie ;

e et f [-] : coefficients d'exposition au vent tels que définis par la norme EN 832 ;

$n_{ex,a}$ [vol/h] : taux d'air extrait, étant égal à 0 dans le cas d'une ventilation double flux avec récupérateur de chaleur et égal à $n_{L,sys}$ dans le cadre d'une extraction seul.

5.3 Détermination du rendement effectif du récupérateur de chaleur sur la ventilation

Le rendement effectif du récupérateur de chaleur sur la ventilation intègre au rendement annoncé du récupérateur de chaleur les déperditions au travers des conduits d'amenée et d'extraction d'air. Les longueurs de conduits à considérer varient en fonction de la localisation de unité de ventilation par rapport au volume protégé. Ce rendement effectif est déterminé comme suit. Si aucune donnée n'est encodée, une valeur par défaut de 75% sera prise en considération.

$$\eta_{WRG,eff} = \begin{cases} -\frac{\Psi_{ex} \cdot l_{ex}}{\dot{v}_{L,sys} \cdot c_{p,air}} \cdot f_r + \eta_{WRG} \cdot \left(1 - \frac{f_r \cdot \Psi_{pul} \cdot l_{pul}}{\dot{v}_{L,sys} \cdot c_{p,air}} \right) & \text{si l'unité de ventilation est à} \\ & \text{l'intérieur du volume protégé} \\ \frac{T_{zu'} - T_{au}}{T_{int} - T_{au}} & \text{si l'unité de ventilation est à} \\ & \text{l'extérieur du volume protégé} \end{cases} \quad (108)$$

où Ψ_{ex} [$W/(mK)$] : conductance du conduit d'air extrait, déterminée à la section 5.3.1 ;

l_{ex} [m] : longueur du conduit d'air extrait ;

Ψ_{pul} [$W/(mK)$] : conductance du conduit d'air pulsé, déterminée à la section 5.3.1 ;

l_{pul} [m] : longueur du conduit d'air pulsé ;

f_r [-] : facteur de réduction, valant 0,8 si un échangeur géothermique est installé et 0,97 sinon ;

η_{WRG} [%] : rendement du groupe de ventilation ;

$T_{zu'}$ [K] : température de l'air pulsé à la sortie du groupe de ventilation, les déperditions au travers des conduits ayant été pris en compte, déterminée à la section 5.3.2 ;

T_{au} [K] : température moyenne extérieure pendant la période de chauffe avec

$$T_{au} = 20 - G_t \cdot \frac{1000}{24 \cdot H_T} \quad (109)$$

où G_t [kKh/a] : intégrale de temps de la différence de température, tel que défini par l'équation 5 ;
 H_T [W/K] : longueur de la période de chauffe, tel que défini par l'équation 7.

5.3.1 Détermination de la conductance d'un conduit

La conductance d'un conduit est déterminé comme suit :

$$\Psi = \frac{\pi}{\frac{1}{d_{int} \cdot \alpha_i} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{isol}} \cdot \ln \left(\frac{d_{ext}}{d_{int}} \right) + \frac{1}{d_{ext} \cdot \alpha_{sup}}} \quad (110)$$

où d_{int} [m] : diamètre intérieur du conduit ;
 d_{ext} [m] : diamètre extérieur du conduit étant égale à $d_{int} + 2 \cdot e_{isol}$;
 e_{isol} [m] : épaisseur d'isolation autour du conduit ;
 α_i [W/(m²K)] : coefficient de convection et de rayonnement intérieur ;
 α_{sup} [W/(m²K)] : coefficient de convection et de rayonnement superficiel.

$$\alpha_i = \frac{N_u \cdot 24,95.0001}{d_{int}} \quad (111)$$

$$\alpha_{sup} = \begin{cases} 0,85.4,8 + 1,62 \cdot \Delta T_o^{\frac{1}{3}} & \text{si la surface de l'isolant est non réfléchissante} \\ 0,10.4,8 + 1,62 \cdot \Delta T_o^{\frac{1}{3}} & \text{si la surface de l'isolant est réfléchissante} \end{cases} \quad (112)$$

avec

$$N_u = 0,023 \cdot R_e^{0,8} \cdot P_r^{0,4} \quad (113)$$

$$R_e = \frac{w \cdot d_{int}}{\nu} \quad (114)$$

$$w = \frac{4 \cdot \dot{v}_{L,sys}}{3600 \cdot \pi \cdot d_{int}} \quad (115)$$

où N_u [-] : nombre de Nusselt ;
 P_r [-] : nombre de Prandlt, valant 0,71 pour l'air à température ambiante ;
 R_e [-] : nombre de Reynolds ;
 w [m/s] : vitesse du fluide à l'intérieur du conduit ;
 ν [m²/s] : viscosité cinématique du fluide, valant $1,384 \cdot 10^{-5}$ pour l'air à température ambiante ;
 $\dot{v}_{L,sys}$ [m³/h] : débit d'air retenu pour la conception ;
 ΔT_o [K] : différence de température entre l'extérieur et l'intérieur du conduit d'air, déterminée comme suit.

$$\Delta T_o = (T_{int} - T_x) - \frac{1}{2\pi} \cdot \left\{ \frac{1}{\lambda_{cond}} \cdot \ln \left(\frac{d_{int}}{d_{int,cond}} \right) + \frac{1}{\lambda_{isol}} \cdot \ln \left(\frac{d_{ext}}{d_{int}} \right) \right\} \cdot \Psi^* \cdot (T_{int} - T_x) \quad (116)$$

où T_{int} [K] : température intérieure ;

T_x [K] : correspond à la température moyenne extérieure dans le cas où le groupe de ventilation est situé à l'intérieur du volume protégé et correspond à la température du local technique où l'unité de ventilation est située dans le cas où celle-ci est à l'extérieur du volume chauffé.

λ_{cond} [W/(mK)] : conductibilité thermique du conduit de ventilation, valant par défaut 55 W/m.K pour l'acier ;

$d_{ext,cond}$ [m] : diamètre extérieur du conduit de ventilation ;

d_{ext} [m] : diamètre extérieur du conduit étant égale à $d_{int} + 2 \cdot e_{isol}$;

e_{isol} [m] : épaisseur d'isolation autour du conduit ;

d_{int} [m] : diamètre intérieur du conduit ;

$d_{int,cond}$ [m] : diamètre intérieur du conduit en acier, par défaut, étant équivalent à d_{int} ;

λ_{isol} [W/(mK)] : conductibilité thermique de l'isolant ;

Ψ^* est obtenu par itérations (5 itérations prévu par le programme) et est déterminé par l'équation 110 dans laquelle α_{sup} est une inconnue. Pour débiter le système itératif, α_{sup} est fixé à 5 W/(m²K) si la surface de l'isolant est réfléchissante et 8 W/(m²K) dans le cas contraire.

5.3.2 Détermination des températures en sortie du groupe de ventilation

La température de l'air pulsé à la sortie du groupe de ventilation tenant compte des déperditions au travers des conduits est déterminée comme suit. Cette température est à calculé uniquement si le groupe de ventilation est situé à l'extérieur du volume chauffé.

$$T_{zu'} = T_{zu} - \frac{\Psi_{pul} \cdot l_{pul} \cdot (T_{zu} - T_{x_1})}{c_{p,air} \cdot \dot{v}_{L,sys}} \quad (117)$$

où T_{zu} [K] : température de l'air pulsé à la sortie du groupe de ventilation ;

Ψ_{pul} [W/(mK)] : conductance du conduit d'air pulsé, déterminée à la section 5.3.1 ;

l_{pul} [m] : longueur du conduit d'air pulsé ;

$c_{p,air}$ [Wh/(m³K)] : capacité thermique massique de l'air à pression constante, valant 0,33 Wh/(m³K) ;

$\dot{v}_{L,sys}$ [m³/h] : débit d'air retenu pour la conception ;

T_{x_1} [K] : température du local technique où l'unité de ventilation est située.

Avec

$$T_{zu} = \eta_{WRG} \cdot (T_{ab} - T_{x_1}) + T_{au} \quad (118)$$

$$T_{ab} = T_{int} - \frac{\Psi_{ex} \cdot l_{ex} \cdot (T_{int} - T_{x_1})}{c_{p,air} \cdot \dot{v}_{L,sys}} \quad (119)$$

où

η_{WRG} [%] : rendement du groupe de ventilation ;

T_{ab} [K] : température de l'air extrait à l'entrée du groupe de ventilation ;

T_{au} [K] : température moyenne extérieure pendant la période de chauffe, telle que définie par l'équation 109 ;

Ψ_{ex} [W/(mK)] : conductance du conduit d'air extrait, déterminée à la section 5.3.1 ;

l_{ex} [m] : longueur du conduit d'air extrait.

5.4 Détermination du rendement réel de récupération de l'échangeur géothermique

Le rendement réel de récupération de l'échangeur géothermique est déterminé comme suit. Si aucune donnée n'est encodée, une valeur par défaut nulle sera prise en considération.

$$\eta_{EWU} = \frac{T_{e,m} - T_{au}}{T_{int} - T_{au}} \cdot \eta_{EWU}^* \quad (120)$$

où η_{EWU}^* : rendement énergétique de l'échangeur géothermique ;

T_{au} [K] : température moyenne extérieure pendant la période de chauffe, telle que définie par l'équation 109 ;

$T_{e,m}$ [°C] : Température moyenne annuelle à la surface du sol, correspondant à la moyenne annuelle des températures extérieures mensuelles $T_{ext,i}$ (pondérée par la longueur de chaque mois) à laquelle 1°C est ajouté (cf équation 72) ;

T_{int} [K] : température intérieure.

6 Détermination du facteur d'ombrage et des apports solaires surfaciques bruts

6.1 Détermination du facteur d'ombrage

Le facteur de réduction dû à l'ombrage sur les surfaces vitrées est déterminé pour cinq orientations dans le PHPP (*Dir*), soit nord, sud, est, ouest ou horizontal.

$$f_{o,Dir} = \frac{Q_{solaire,ombrage,Dir}}{Q_{solaire,sansombrage,Dir}} \quad (121)$$

où

$Q_{solaire,ombrage,Dir}$ [*kWh/a*] : apport solaire annuel reçue avec ombrage dans la direction *Dir* ;
 $Q_{solaire,sansombrage,Dir}$ [*kWh/a*] : apport solaire annuel reçue sans ombrage dans la direction *Dir* ;
Dir : orientation reprise dans le PHPP, soit nord, sud, est, ouest ou horizontal.

Les apports solaires $Q_{solaire,ombrage,Dir}$ et $Q_{solaire,sansombrage,Dir}$ sont déterminés par les expressions suivantes :

$$Q_{solaire,ombrage,Dir} = \sum_{j=1}^{N_{f,Dir}} f_{ombrage,tot,j} \cdot g_j \cdot Q_{rayonvit,annuel,j} \quad (122)$$

$$Q_{solaire,sansombrage,Dir} = \sum_{j=1}^{N_{f,Dir}} g_j \cdot Q_{rayonvit,annuel,j} \quad (123)$$

où

$N_{f,Dir}$ [-] : nombre de fenêtres *j* dans la direction *Dir* ;
 $f_{ombrage,tot,j}$ [-] : facteur de réduction d'ombrage total de la fenêtre *j* ;
 g_j [-] : facteur solaire de la fenêtre *j* ;
 $Q_{rayonvit,annuel,j}$ [*kWh/a*] : quantité de chaleur annuelle par rayonnement sur la surface vitrée de la fenêtre *j* (cf équation 146 de la section 6.2).

Développons maintenant le calcul du facteur de réduction d'ombrage total $f_{ombrage,tot,j}$ de la fenêtre *j*.

$$f_{ombrage,tot,j} = \begin{cases} f_{ombrage,hor,j} \cdot f_{ombrage,ebr,j} \cdot f_{ombrage,deb,j} \cdot f_{ombrage,suppl,j} & \text{si 3 premiers facteurs sont déterminés} \\ 0,75 & \text{par défaut} \end{cases} \quad (124)$$

où

$f_{ombrage,hor,j}$ [-] : facteur de réduction d'ombrage environnant de la fenêtre *j* ;
 $f_{ombrage,ebr,j}$ [-] : facteur de réduction d'ombrage par ébrasement de la fenêtre *j* ;
 $f_{ombrage,deb,j}$ [-] : facteur de réduction d'ombrage par débordement de la fenêtre *j* ;
 $f_{ombrage,suppl,j}$ [-] : facteur de réduction d'ombrage supplémentaire de la fenêtre *j* (introduit par l'utilisateur).

Nous allons à présent détailler le calcul des différents facteurs de réduction d'ombrage : le facteur de réduction d'ombrage environnant, le facteur de réduction d'ombrage par ébrasement et le facteur de réduction d'ombrage par débordement de la fenêtre *j*.

$$f_{ombrage,hor,j} = \max \left(ipol_{hori,hor,j} + \frac{ipol_{hori,ver,j} - ipol_{hori,hor,j}}{2} \cdot (1 - \cos(2\gamma_{H,j})) ; 1 - \frac{h_{hori,j}}{h_{avit,j} \cdot |\sin \gamma_{H,j}|} \right) \quad (125)$$

$$f_{ombrage,ebr,j} = ipol_{ebr,hor,j} + \frac{ipol_{ebr,ver,j} - ipol_{ebr,hor,j}}{2} \cdot (1 - \cos(2\gamma_{H,j})) \quad (126)$$

$$f_{ombrage,deb,j} = ipol_{deb,hor,j} + \frac{ipol_{deb,ver,j} - ipol_{deb,hor,j}}{2} \cdot (1 - \cos(2\gamma_{H,j})) \quad (127)$$

où

$ipol_{hori,hor,j} [-]$: paramètre numérique ipol horizontal relatif au facteur de réduction d'ombrage environnant de la fenêtre j ;

$ipol_{hori,ver,j} [-]$: paramètre numérique ipol vertical relatif au facteur de réduction d'ombrage environnant de la fenêtre j ;

$ipol_{ebr,hor,j} [-]$: paramètre numérique ipol horizontal relatif au facteur de réduction d'ombrage par ébrasement de la fenêtre j ;

$ipol_{ebr,ver,j} [-]$: paramètre numérique ipol vertical relatif au facteur de réduction d'ombrage par ébrasement de la fenêtre j ;

$ipol_{deb,hor,j} [-]$: paramètre numérique ipol horizontal relatif au facteur de réduction d'ombrage par débordement de la fenêtre j ;

$ipol_{deb,ver,j} [-]$: paramètre numérique ipol vertical relatif au facteur de réduction d'ombrage par débordement de la fenêtre j ;

$\gamma_{H,j} [^\circ]$: inclinaison par rapport à l'horizontale de la fenêtre j (0° si horizontale, 90° si verticale) ;

$h_{hori,j} [m]$: hauteur de l'objet qui crée l'ombrage sur la fenêtre j (encodé par l'utilisateur dans l'onglet Ombrage) ;

$ha_{vit,j} [m]$: hauteur du vitrage de la fenêtre j étant égale à la hauteur de la fenêtre moins les épaisseurs de châssis en haut et bas de la fenêtre.

Détaillons maintenant le calcul des paramètres numériques $ipol_{k,hor,j}$ et $ipol_{k,ver,j}$ de la fenêtre j pour les trois types d'ombrage, k = hori, ebr ou deb :

$$ipol_{k,hor,j} = hor_{k,1,j} + \frac{hor_{k,2,j} - hor_{k,1,j}}{2} \cdot \{1 - \cos(2(\beta_{N,j} - \beta_{90,N,j}))\} \quad (128)$$

$$ipol_{k,ver,j} = ver_{k,1,j} + \frac{ver_{k,2,j} - ver_{k,1,j}}{2} \cdot \{1 - \cos(2(\beta_{N,j} - \beta_{90,N,j}))\} \quad (129)$$

où

$hor_{k,1,j} [-]$: terme horizontal 1 pour la fenêtre j relatif au facteur de réduction d'ombrage environnant, par ébrasement ou par débordement selon la valeur de k ;

$hor_{k,2,j} [-]$: terme horizontal 2 pour la fenêtre j relatif au facteur de réduction d'ombrage environnant, par ébrasement ou par débordement selon la valeur de k ;

$ver_{k,1,j} [-]$: terme vertical 1 pour la fenêtre j relatif au facteur de réduction d'ombrage environnant, par ébrasement ou par débordement selon la valeur de k ;

$ver_{k,2,j} [-]$: terme vertical 2 pour la fenêtre j relatif au facteur de réduction d'ombrage environnant, par ébrasement ou par débordement selon la valeur de k ;

$\beta_{N,j} [^\circ]$: écart angulaire par rapport à la direction Nord de la fenêtre j (0° si Nord, 45° si Nord-Est, 90° si Est, ...) ;

$\beta_{90,N,j} [^\circ]$: écart angulaire du point cardinal inférieur (nord, est, sud, ouest) à l'écart angulaire $\beta_{N,j}$ de la fenêtre j, déterminé comme suit :

$$\beta_{90,N,j} = 90^\circ \cdot \left(\text{Entier}_{inférieur} \left(\frac{\beta_{N,j}}{90^\circ} \right) \right) \quad (130)$$

Nous allons maintenant développer les termes $hor_{k,1,j}$, $hor_{k,2,j}$, $ver_{k,1,j}$ et $ver_{k,2,j}$ pour les différentes valeurs de k.

Pour k = hori, c'est-à-dire pour le calcul relatif au facteur de réduction d'ombrage environnant :

$$hor_{hori,1,j} = \begin{cases} r_{hori,h,Nord} + \frac{1 - r_{hori,h,Nord}}{\left(1 + \left(\frac{h_{hori,j}}{d_{hori,j}}\right)^2\right)^{a_{hori,h,Nord}}} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 0^\circ \\ r_{hori,h,Sud} + \frac{1 - r_{hori,h,Sud}}{\left(1 + \left(\frac{h_{hori,j}}{d_{hori,j}}\right)^2\right)^{a_{hori,h,Sud}}} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 180^\circ \\ r_{hori,h,Estouest} + \frac{1 - r_{hori,h,Estouest}}{\left(1 + \left(\frac{h_{hori,j}}{d_{hori,j}}\right)^2\right)^{a_{hori,h,Estouest}}} & \text{sinon} \end{cases} \quad (131)$$

$$hor_{hori,2,j} = \begin{cases} r_{hori,h,Nord} + \frac{1 - r_{hori,h,Nord}}{\left(1 + \left(\frac{h_{hori,j}}{d_{hori,j}}\right)^2\right)^{a_{hori,h,Nord}}} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 270^\circ \\ r_{hori,h,Sud} + \frac{1 - r_{hori,h,Sud}}{\left(1 + \left(\frac{h_{hori,j}}{d_{hori,j}}\right)^2\right)^{a_{hori,h,Sud}}} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 90^\circ \\ r_{hori,h,Estouest} + \frac{1 - r_{hori,h,Estouest}}{\left(1 + \left(\frac{h_{hori,j}}{d_{hori,j}}\right)^2\right)^{a_{hori,h,Estouest}}} & \text{sinon} \end{cases} \quad (132)$$

$$vet_{hori,1,j} = \begin{cases} r_{hori,v,Nord} \cdot e^{\left(a_{hori,v,Nord} \cdot \frac{h_{hori,j}}{d_{hori,j}}\right)} + 1 - r_{hori,v,Nord} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 0^\circ \\ r_{hori,v,Sud} + \frac{1 - r_{hori,v,Sud}}{\left(1 + \left(\frac{h_{hori,j}}{d_{hori,j}}\right)^2\right)^{a_{hori,v,Sud}}} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 180^\circ \\ r_{hori,v,Estouest} \cdot e^{\left(a_{hori,v,Estouest} \cdot \frac{h_{hori,j}}{d_{hori,j}}\right)} + 1 - r_{hori,v,Estouest} & \text{sinon} \end{cases} \quad (133)$$

$$vet_{hori,2,j} = \begin{cases} r_{hori,v,Nord} \cdot e^{\left(a_{hori,v,Nord} \cdot \frac{h_{hori,j}}{d_{hori,j}}\right)} + 1 - r_{hori,v,Nord} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 270^\circ \\ r_{hori,v,Sud} + \frac{1 - r_{hori,v,Sud}}{\left(1 + \left(\frac{h_{hori,j}}{d_{hori,j}}\right)^2\right)^{a_{hori,v,Sud}}} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 90^\circ \\ r_{hori,v,Estouest} \cdot e^{\left(a_{hori,v,Estouest} \cdot \frac{h_{hori,j}}{d_{hori,j}}\right)} + 1 - r_{hori,v,Estouest} & \text{sinon} \end{cases} \quad (134)$$

où

$h_{hori,j} [m]$: hauteur de l'objet qui crée l'ombrage sur la fenêtre j (encodé par l'utilisateur dans l'onglet Ombrage)

$d_{hori,j} [m]$: distance horizontale entre l'objet qui crée l'ombrage et la fenêtre j (encodé par l'utilisateur dans l'onglet Ombrage)

$r_{...}$ et $a_{...} [-]$: paramètres numériques dépendant de la latitude de la station climatique choisie (cf remarque en fin de section).

Pour $k = ebr$, c'est-à-dire pour le calcul relatif au facteur de réduction d'ombrage par ébrasement :

$$hor_{ebr,1,j} = \begin{cases} r_{ebr,h,Nord} \cdot e^{\left(a_{ebr,h,Nord} \cdot \frac{\ddot{u}_{ebr,j}}{0,5 \cdot l_{vit,j} + d_{ebr,j}}\right)} + 1 - r_{ebr,h,Nord} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 0^\circ \\ r_{ebr,h,Sud} \cdot e^{\left(a_{ebr,h,Sud} \cdot \frac{\ddot{u}_{ebr,j}}{0,5 \cdot l_{vit,j} + d_{ebr,j}}\right)} + 1 - r_{ebr,h,Sud} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 180^\circ \\ r_{ebr,h,Estouest} \cdot e^{\left(a_{ebr,h,Estouest} \cdot \frac{\ddot{u}_{ebr,j}}{0,5 \cdot l_{vit,j} + d_{ebr,j}}\right)} + 1 - r_{ebr,h,Estouest} & \text{sinon} \end{cases} \quad (135)$$

$$hor_{ebr,2,j} = \begin{cases} r_{ebr,h,Nord} \cdot e \left(a_{ebr,h,Nord} \cdot \frac{\ddot{u}_{ebr,j}}{0,5 \cdot l_{vit,j} + d_{ebr,j}} \right) + 1 - r_{ebr,h,Nord} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 270^\circ \\ r_{ebr,h,Sud} \cdot e \left(a_{ebr,h,Sud} \cdot \frac{\ddot{u}_{ebr,j}}{0,5 \cdot l_{vit,j} + d_{ebr,j}} \right) + 1 - r_{ebr,h,Sud} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 90^\circ \\ r_{ebr,h,Estouest} \cdot e \left(a_{ebr,h,Estouest} \cdot \frac{\ddot{u}_{ebr,j}}{0,5 \cdot l_{vit,j} + d_{ebr,j}} \right) + 1 - r_{ebr,h,Estouest} & \text{sinon} \end{cases} \quad (136)$$

$$ver_{ebr,1,j} = \begin{cases} r_{ebr,v,Nord} \cdot e \left(a_{ebr,v,Nord} \cdot \frac{\ddot{u}_{ebr,j}}{0,5 \cdot l_{vit,j} + d_{ebr,j}} \right) + 1 - r_{ebr,v,Nord} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 0^\circ \\ r_{ebr,v,Sud} \cdot e \left(a_{ebr,v,Sud} \cdot \frac{\ddot{u}_{ebr,j}}{0,5 \cdot l_{vit,j} + d_{ebr,j}} \right) + 1 - r_{ebr,v,Sud} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 180^\circ \\ r_{ebr,v,Estouest} \cdot e \left(a_{ebr,v,Estouest} \cdot \frac{\ddot{u}_{ebr,j}}{0,5 \cdot l_{vit,j} + d_{ebr,j}} \right) + 1 - r_{ebr,v,Estouest} & \text{sinon} \end{cases} \quad (137)$$

$$ver_{ebr,2,j} = \begin{cases} r_{ebr,v,Nord} \cdot e \left(a_{ebr,v,Nord} \cdot \frac{\ddot{u}_{ebr,j}}{0,5 \cdot l_{vit,j} + d_{ebr,j}} \right) + 1 - r_{ebr,v,Nord} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 270^\circ \\ r_{ebr,v,Sud} \cdot e \left(a_{ebr,v,Sud} \cdot \frac{\ddot{u}_{ebr,j}}{0,5 \cdot l_{vit,j} + d_{ebr,j}} \right) + 1 - r_{ebr,v,Sud} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 90^\circ \\ r_{ebr,v,Estouest} \cdot e \left(a_{ebr,v,Estouest} \cdot \frac{\ddot{u}_{ebr,j}}{0,5 \cdot l_{vit,j} + d_{ebr,j}} \right) + 1 - r_{ebr,v,Estouest} & \text{sinon} \end{cases} \quad (138)$$

où

$\ddot{u}_{ebr,j}$ [m] : profondeur de l'ébrasement de la fenêtre j (encodé par l'utilisateur dans l'onglet Ombrage);

$l_{vit,j}$ [m] : largeur du vitrage de la fenêtre j étant égale à la largeur de la fenêtre moins les épaisseurs de châssis à gauche et à droite de la fenêtre;

$d_{ebr,j}$ [m] : distance entre le bord du vitrage et l'ébrasement de la fenêtre j (encodé par l'utilisateur dans l'onglet Ombrage);

$r_{...}$ et $a_{...}$ [-] : paramètres numériques dépendant de la latitude de la station climatique choisie (cf remarque en fin de section).

Pour $k = deb$, c'est-à-dire pour le calcul relatif au facteur de réduction d'ombrage par débordement :

$$hor_{deb,1,j} = \begin{cases} r_{deb,h,Nord} \cdot e \left(a_{deb,h,Nord} \cdot \frac{\ddot{u}_{haut,j}}{0,5 \cdot ha_{vit,j} + d_{haut,j}} \right) + 1 - r_{deb,h,Nord} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 0^\circ \\ r_{deb,h,Sud} \cdot e \left(a_{deb,h,Sud} \cdot \frac{\ddot{u}_{haut,j}}{0,5 \cdot ha_{vit,j} + d_{haut,j}} \right) + 1 - r_{deb,h,Sud} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 180^\circ \\ r_{deb,h,Estouest} \cdot e \left(a_{deb,h,Estouest} \cdot \frac{\ddot{u}_{haut,j}}{0,5 \cdot ha_{haut,j} + d_{vit-deb,j}} \right) + 1 - r_{deb,h,Estouest} & \text{sinon} \end{cases} \quad (139)$$

$$hor_{deb,2,j} = \begin{cases} r_{deb,h,Nord} \cdot e \left(a_{deb,h,Nord} \cdot \frac{\ddot{u}_{haut,j}}{0,5 \cdot ha_{vit,j} + d_{haut,j}} \right) + 1 - r_{deb,h,Nord} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 270^\circ \\ r_{deb,h,Sud} \cdot e \left(a_{deb,h,Sud} \cdot \frac{\ddot{u}_{haut,j}}{0,5 \cdot ha_{vit,j} + d_{haut,j}} \right) + 1 - r_{deb,h,Sud} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 90^\circ \\ r_{deb,h,Estouest} \cdot e \left(a_{deb,h,Estouest} \cdot \frac{\ddot{u}_{haut,j}}{0,5 \cdot ha_{vit,j} + d_{haut,j}} \right) + 1 - r_{deb,h,Estouest} & \text{sinon} \end{cases} \quad (140)$$

$$ver_{deb,1,j} = \begin{cases} r_{deb,v,Nord} \cdot e \left(a_{deb,v,Nord} \cdot \frac{\ddot{u}_{haut,j}}{0,5 \cdot ha_{vit,j} + d_{haut,j}} \right) + 1 - r_{deb,v,Nord} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 0^\circ \\ r_{deb,v,Sud} \cdot e \left(a_{deb,v,Sud} \cdot \frac{\ddot{u}_{haut,j}}{0,5 \cdot ha_{vit,j} + d_{haut,j}} \right) + 1 - r_{deb,v,Sud} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 180^\circ \\ r_{deb,v,Estouest} \cdot e \left(a_{deb,v,Estouest} \cdot \frac{\ddot{u}_{haut,j}}{0,5 \cdot ha_{vit,j} + d_{haut,j}} \right) + 1 - r_{deb,v,Estouest} & \text{sinon} \end{cases} \quad (141)$$

$$ver_{deb,2,j} = \begin{cases} r_{deb,v,Nord} \cdot e \left(a_{deb,v,Nord} \cdot \frac{\ddot{u}_{haut,j}}{0,5 \cdot ha_{vit,j} + d_{haut,j}} \right) + 1 - r_{deb,v,Nord} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 270^\circ \\ r_{deb,v,Sud} \cdot e \left(a_{deb,v,Sud} \cdot \frac{\ddot{u}_{haut,j}}{0,5 \cdot ha_{vit,j} + d_{haut,j}} \right) + 1 - r_{deb,v,Sud} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 90^\circ \\ r_{deb,v,Estouest} \cdot e \left(a_{deb,v,Estouest} \cdot \frac{\ddot{u}_{haut,j}}{0,5 \cdot ha_{vit,j} + d_{haut,j}} \right) + 1 - r_{deb,v,Estouest} & \text{sinon} \end{cases} \quad (142)$$

où

$\ddot{u}_{haut,j} [m]$: profondeur du débordant de la fenêtre j (encodé par l'utilisateur dans l'onglet Ombrage)

$ha_{vit,j} [m]$: hauteur du vitrage de la fenêtre j étant égale à la hauteur de la fenêtre moins les épaisseurs de châssis en haut et bas de la fenêtre ;

$d_{haut,j} [m]$: distance entre le haut du bord du vitrage et le débordant de la fenêtre j (encodé par l'utilisateur dans l'onglet Ombrage) ;

$r_{...}$ et $a_{...} [-]$: paramètres numériques dépendant de la latitude de la station climatique choisie (cf remarque en fin de section).

Les 36 différents paramètres $r_{...}$ et $a_{...}$ dépendent de la latitude de la station météo choisie exprimée en $^\circ$, notée Lat . Leurs valeurs pour le calcul de l'ombrage en période de chauffe sont différentes de celles pour le calcul de l'ombrage en période estivale. Celles-ci sont issues de la Thèse de Andrew W. Peel, "SOLAR GAINS IN A PASSIVE HOUSE, A Monthly Approach to Calculating Global, Irradiation Entering a Shaded Window", 1982, p.40, table 2.4.2.2a et 2.4.2.2b. Les expressions suivantes sont données à titre d'exemple :

$$r_{hori,h,Sud} = \begin{cases} 0,011953 \cdot Lat - 0,261997 & \text{si } Lat \leq 90^\circ \\ 0,011953 \cdot Lat - 0,261997 & \text{sinon} \end{cases} \quad (143)$$

$$r_{hori,h,Estouest} = \begin{cases} -0,001477 \cdot Lat + 0,490849 & \text{si } Lat \leq 90^\circ \\ -0,001477 \cdot Lat + 0,490849 & \text{sinon} \end{cases} \quad (144)$$

6.2 Détermination des apports solaires surfaciques bruts

Le détail de calcul des apports solaires surfaciques bruts dans la direction Dir pour la période i diffère selon que la période considérée soit un mois réel (janvier à décembre excepté juillet) ou un des 4 mois fictifs (ResteJuillet, 12Jours, 4Jours et 1Jour). Nous allons développer ci-dessous le détail de calcul des apports solaires surfaciques bruts dans la direction Dir pour la période i considérée où l'indice i représente soit un mois soit une année. Le calcul pour les 4 mois fictifs est détaillé en section 11.2.

Pour $i =$ Janvier, Février, ..., Décembre, annuel :

$$Q_{solarbrut,Dir,i} = \begin{cases} \sum_{j=1}^{N_{f,Dir}} \frac{Q_{rayonvit,i,j}}{A_{vit,Dir}} & \text{si } A_{vit,Dir} \neq 0 \\ Q_{srayon,Dir,i} & \text{sinon} \end{cases} \quad (145)$$

où

$N_{f,Dir} [-]$: nombre de fenêtres j dans l'orientation Dir ;

$Q_{rayonvit,i,j} [kWh]$: quantité de chaleur par rayonnement sur la surface vitrée de la fenêtre j pour la période i ;

$A_{vit,Dir} [m^2]$: surface totale de vitrage dans la direction Dir ;

$Q_{srayon,Dir,i} [kWh/m^2]$: quantité de chaleur surfacique par rayonnement solaire dans la direction Dir pour la période i (onglet Données climatiques).

Voyons maintenant le détail de calcul de la quantité de chaleur par rayonnement $Q_{rayonvit,i,j}$ sur la surface vitrée de la fenêtre j pour la période i .

$$\begin{aligned}
Q_{rayonvit,i,j} = & A_{vit,j} \cdot \left\{ \frac{E_{Sud,i,j} + E_{Nord,i,j} + E_{Ouest,i,j} + E_{Est,i,j}}{4} \right. \\
& + \frac{E_{Nord,i,j} - E_{Sud,i,j}}{2} \cdot \cos \beta_{N,j} \\
& + \frac{E_{Sud,i,j} + E_{Nord,i,j} - E_{Ouest,i,j} - E_{Est,i,j}}{4} \cdot \cos(2\beta_{N,j}) \\
& \left. + \frac{E_{Est,i,j} - E_{Ouest,i,j}}{2} \cdot \sin \beta_{N,j} \right\}
\end{aligned} \tag{146}$$

où

$A_{vit,j} [m^2]$: surface de vitrage de la fenêtre j, correspondant au produit de la largeur du vitrage et de la hauteur de celui-ci ($l_{vit,j} \cdot ha_{vit,j}$);

$E_{PC,i,j} [kWh/m^2]$: quantité de chaleur surfacique par rayonnement relative au Point Cardinal PC (Nord, Sud, Est ou Ouest) sur la surface vitrée de la fenêtre j pour la période i;

$\beta_{N,j} [^\circ]$: écart angulaire par rapport à la direction Nord de la fenêtre j (0° si Nord, 90° si Est,...).

Les quantités de chaleur surfaciques par rayonnement $E_{PC,i,j}$ relatives aux quatre points cardinaux sur la surface vitrée de la fenêtre j pour la période i se calculent selon les formules suivantes :

$$\begin{aligned}
E_{Sud,i,j} = & a_{0NS,i} \\
& + a_{1NS,i} \cdot \cos \gamma_{H,j} + \alpha_{NS,i} \\
& + E_{B2,i} \cdot \sin(2(\gamma_{H,j} + \alpha_{NS,i})) \\
& + a_{2NS,i} \cdot \cos(2(\gamma_{H,j} + \alpha_{NS,i}))
\end{aligned} \tag{147}$$

$$\begin{aligned}
E_{Nord,i,j} = & a_{0NS,i} \\
& + a_{1NS,i} \cdot \cos \gamma_{H,j} - \alpha_{NS,i} \\
& - E_{B2,i} \cdot \sin(2(\gamma_{H,j} - \alpha_{NS,i})) \\
& + a_{2NS,i} \cdot \cos(2(\gamma_{H,j} - \alpha_{NS,i}))
\end{aligned} \tag{148}$$

$$\begin{aligned}
E_{Ouest,i,j} = & a_{0EO,i} \\
& + a_{1EO,i} \cdot \cos \gamma_{H,j} \\
& + a_{2EO,i} \cdot \cos(2\gamma_{H,j}) \\
& + b_{1EO,i} \cdot \sin \gamma_{H,j}
\end{aligned} \tag{149}$$

$$\begin{aligned}
E_{Est,i,j} = & a_{0EO,i} \\
& + a_{1EO,i} \cdot \cos \gamma_{H,j} \\
& + a_{2EO,i} \cdot \cos(2\gamma_{H,j}) \\
& - b_{1EO,i} \cdot \sin \gamma_{H,j}
\end{aligned} \tag{150}$$

où

$\gamma_{H,j} [^\circ]$: inclinaison par rapport à l'horizontale de la fenêtre j (0° si horizontale, 90° si verticale);

$\alpha_{NS,i} [^\circ]$: angle alpha relatif aux orientations Nord-Sud tel que déterminé par l'équation 151;

$E_{B2,i} [kWh/m^2]$: coefficient E_{E2} pour directions Nord et Sud pour la période i;

$a_{0NS,i} [kWh/m^2]$: coefficient a_0 pour directions Nord et Sud pour la période i;

$a_{1NS,i} [kWh/m^2]$: coefficient a_1 pour directions Nord et Sud pour la période i;

$a_{2NS,i} [kWh/m^2]$: coefficient a_2 pour directions Nord et Sud pour la période i;

$a_{0EO,i} [kWh/m^2]$: coefficient a_0 pour directions Est et Ouest pour la période i;

$a_{1EO,i} [kWh/m^2]$: coefficient a_1 pour directions Est et Ouest pour la période i;

$a_{2EO,i} [kWh/m^2]$: coefficient a_2 pour directions Est et Ouest pour la période i;

$b_{1EO,i} [kWh/m^2]$: coefficient b_1 pour directions Est et Ouest pour la période i.

Les différents coefficients E_{E2} , a_0 , a_1 , a_2 et b_1 sont déterminés suivant les expressions reprises en fin de cette

présente section.

L'angle alpha relatif aux orientations Nord-Sud $\alpha_{NS,i}$ est donnée par :

$$\alpha_{NS,i} = \begin{cases} \operatorname{atan}\left(\frac{Q_{s\text{rayon},\text{Nord},i} - Q_{s\text{rayon},\text{Sud},i}}{Q_{s\text{rayon},\text{Hori},i} - Q_{s\text{Albedo},i}}\right) & \text{si } Q_{s\text{rayon},\text{Hori},i} \neq 0 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (151)$$

où

$Q_{s\text{rayon},\text{Dir},i}$ [kWh/m²] : quantité de chaleur surfacique par rayonnement solaire dans la direction Dir pour la période i (onglet Données climatiques) ;

$Q_{s\text{Albedo},i}$ [kWh/m²] : quantité de chaleur surfacique par rayonnement solaire relative à l'albédo (réflexion) pour la période i, déterminé par l'expression suivante.

$$Q_{s\text{Albedo},i} = f_{\text{albedo}} \cdot Q_{s\text{rayon},\text{Hori},i} \quad (152)$$

où

f_{albedo} [-] : facteur d'albédo (= 0,106).

Détaillons à présent les différents coefficients intervenant dans le calcul des quantités de chaleur surfaciques par rayonnement $E_{PC,i,j}$ relatives aux quatre points cardinaux sur la surface vitrée de la fenêtre j pour la période i :

$$E_{B2,i} = \begin{cases} \frac{Q_{s\text{rayon},\text{Hori},i} + Q_{s\text{Albedo},i} - Q_{s\text{rayon},\text{Sud},i} - Q_{s\text{rayon},\text{Nord},i} - a_{2NS,i} \cdot \cos(2\alpha_{NS,i})}{4 \sin(2\alpha_{NS,i})} & \text{si } \alpha_{NS,i} \neq 0 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (153)$$

$$a_{0NS,i} = \frac{Q_{s\text{rayon},\text{Nord},i} + Q_{s\text{rayon},\text{Sud},i} + Q_{s\text{rayon},\text{Hori},i} + Q_{s\text{Albedo},i}}{4} \quad (154)$$

$$a_{1NS,i} = \frac{Q_{s\text{rayon},\text{Hori},i} - Q_{s\text{Albedo},i}}{2 \cos \alpha_{NS,i}} \quad (155)$$

$$a_{2NS,i} = (1 - \cos^{20}(\alpha_{NS,i})) \cdot 0,295 \cdot a_{1NS,i} + \cos^{20}(\alpha_{NS,i}) \cdot \left(a_{0NS,i} - \frac{Q_{s\text{rayon},\text{Nord},i} + Q_{s\text{rayon},\text{Sud},i}}{2} \right) \quad (156)$$

$$a_{0EO,i} = \frac{Q_{s\text{rayon},\text{Hori},i} + Q_{s\text{Albedo},i} + Q_{s\text{rayon},\text{Est},i} + Q_{s\text{rayon},\text{Ouest},i}}{4} \quad (157)$$

$$a_{1EO,i} = \frac{Q_{s\text{rayon},\text{Hori},i} - Q_{s\text{Albedo},i}}{2} \quad (158)$$

$$a_{2EO,i} = \frac{Q_{s\text{rayon},\text{Hori},i} + Q_{s\text{Albedo},i} - Q_{s\text{rayon},\text{Est},i} - Q_{s\text{rayon},\text{Ouest},i}}{4} \quad (159)$$

$$b_{1EO,i} = \frac{Q_{s\text{rayon},\text{Ouest},i} - Q_{s\text{rayon},\text{Est},i}}{2} \quad (160)$$

où

$Q_{s\text{rayon},\text{Dir},i}$ [kWh/m²] : quantité de chaleur surfacique par rayonnement solaire dans la direction Dir pour la période i (onglet Données climatiques) ;

$Q_{s\text{Albedo},i}$ [kWh/m²] : quantité de chaleur surfacique par rayonnement solaire relative à l'albédo (réflexion) pour la période i (cf équation 152) ;

$\alpha_{NS,i}$ [°] : angle alpha relatif aux orientations Nord-Sud tel que déterminé par l'équation 151.

6.3 Apports solaires relatifs aux parois opaques

La quantité de chaleur des apports solaires relatifs aux parois opaques pour la période i $Q_{solarOpak,i}$ est calculée dans l'onglet Surfaces. La méthode de calcul est fort semblable à celle des apports solaires surfaciques bruts pour les directions Nord, Sud, Est, Ouest ou Hori.

Pour i = Janvier, Février, ..., Décembre :

$$Q_{solarOpak,i} = \sum_{j=1}^{N_{parois,zoneA}} Q_{rayonparoi,i,j} \quad (161)$$

où

$N_{parois,zoneA}$ [-] : nombre de parois de zone de température A (en contact avec l'extérieur) ;
 $Q_{rayonparoi,i,j}$ [kWh] : quantité de chaleur par rayonnement sur la paroi j pour la période i .

La quantité de chaleur par rayonnement sur la paroi j pour la période i $Q_{rayonparoi,i,j}$ se calcule selon la méthode de calcul de $Q_{rayonvit,i,j}$ (cf équation 146) à la seule différence près que la surface de vitrage $A_{vit,j}$ de la fenêtre j est remplacée par la surface effective de la paroi j $A_{eff,j}$.

La surface effective $A_{eff,j}$ de la paroi j est calculée selon la formule suivante :

$$A_{eff,j} = \frac{1}{h_{rad,e} + h_{conv,e}} \cdot U_j \cdot f_{absorp,e} \cdot f_{approx,ombrage,j} \cdot A_{paroi,j} \quad (162)$$

où

$h_{rad,e}$ [$W/(m^2.K)$] : Coefficient de déperdition par radiation à l'extérieur ($= 5W/(m^2.K)$) ;
 $h_{conv,e}$ [$W/(m^2.K)$] : Coefficient de déperdition par convection à l'extérieur ($= 15W/(m^2.K)$) ;
 U_j [$W/(m^2.K)$] : Coefficient de déperdition par transmission thermique de la paroi j ;
 $f_{absorp,e}$ [-] : Facteur d'absorption à l'extérieur (introduit par l'utilisateur) ;
 $f_{approx,ombrage,j}$ [-] : Facteur approximatif d'ombrage de la paroi j (introduit manuellement par l'utilisateur) ;
 $A_{paroi,j}$ [m^2] : Surface physique de la paroi j .

Attention toutefois, le coefficient $a_{2NS,i}$ pour les directions Nord et Sud pour la période i ne se calcule pas exactement de la manière pour le calcul de $Q_{rayonparoi,i,j}$ et pour le calcul de $Q_{rayonvit,i,j}$.

En effet, pour le calcul de $Q_{rayonparoi,i,j}$, il vaut :

$$a'_{2NS,i} = (1 - \alpha_{NS,i}) \cdot 0,295 \cdot a_{1NS,i} + \alpha_{NS,i} \cdot \left(a_{0NS,i} - \frac{Q_{srayon,Nord,i} + Q_{srayon,Sud,i}}{2} \right) \quad (163)$$

Tandis que pour le calcul de $Q_{rayonvit,i,j}$, il vaut :

$$a_{2NS,i} = (1 - \cos^{20}(\alpha_{NS,i})) \cdot 0,295 \cdot a_{1NS,i} + \cos^{20}(\alpha_{NS,i}) \cdot \left(a_{0NS,i} - \frac{Q_{srayon,Nord,i} + Q_{srayon,Sud,i}}{2} \right) \quad (164)$$

où

$Q_{srayon,Dir,i}$ [kWh/m^2] : quantité de chaleur surfacique par rayonnement solaire dans la direction Dir pour la période i (onglet Données climatiques) ;

$\alpha_{NS,i}$ [°] : angle alpha relatif aux orientations Nord-Sud tel que déterminé par l'équation 151 ;

$a_{1NS,i}$ [kWh/m^2] : coefficient a_1 pour directions Nord et Sud pour la période i , défini à la section précédente.

Deuxième partie

Fréquence de Surchauffe et besoin frigorifique

Cette deuxième partie décrit la méthodologie utilisée pour la détermination de la fréquence de surchauffe par le PHPP.

7 Fréquence de surchauffe

L'estimation de la fréquence surchauffe est fondée sur une méthode empirique. En effet, sur base de nombreux monitoring de maisons passives localisées en Europe Centrale, le Passiv House Institut a développé ce procédé en 1999.

La fréquence de surchauffe représente le pourcentage d'heures sur l'année durant lesquelles la température intérieure est supérieure à la température limite de surchauffe fixée à 25°C. Pour ce faire, l'outil évalue, de manière uni-zonale, la température intérieure moyenne pour 15 périodes. Celles-ci correspondent aux 12 mois de l'année excepté le mois de juillet qui est subdivisé comme suit : une période de 12 jours, une de 4 jours, une d'un jour et enfin le reste du mois de juillet soit 14 jours. Pour chacune des périodes, la température moyenne intérieure est évaluée sur base de l'estimation de la température intérieure d'équilibre et de la capacité de décharge du bâtiment. Ces deux derniers sont déterminés en fonction des apports gratuits, des déperditions par transmission, des déperditions par ventilation, de la capacité de réaliser une ventilation intensive nocturne et de l'inertie thermique du bâtiment. Les températures moyennes intérieures sont ensuite classées par ordre croissant avec leur période associée.

Au droit des 2 périodes dont les températures encadrent la température limite de surchauffe, une droite d'interpolation passant par le centre de chacune des deux périodes sera tracée. L'intersection entre cette droite d'interpolation et la température limite de surchauffe déterminera le nombre d'heures de surchauffe. La fréquence de surchauffe représente le pourcentage d'heures de surchauffe sur une année.

Ainsi, ce chapitre reprend la méthodologie implémentée dans le PHPP pour évaluer la fréquence de surchauffe. Celle-ci représente le pourcentage d'heures sur une année durant lesquelles la température ambiante dépasse la température limite de surchauffe.

$$H_{S, \theta > \theta_{max}} = \frac{N_{hs}}{8760} \quad (165)$$

où $H_{S, \theta > \theta_{max}}$ [%] : fréquence de surchauffe ;
 θ_{max} [°C] : température limite de surchauffe (=25°C) ;
 N_{hs} [h] : nombre d'heures de surchauffe.

7.1 Nombre d'heures de surchauffe

Le nombre d'heures de surchauffe est déterminé comme suit :

$$N_{hs} = \max(N_{hs, T_{ck}}) \quad (166)$$

où $N_{hs, T_{ck}}$ [h] : nombre d'heures de surchauffe correspondant à la température classée (par ordre décroissant) n° k ;

k [-] : période n°k (15 périodes sont considérées).

Le nombre d'heures de surchauffe est déterminé pour chacune des températures classées selon la formule suivante :

$$N_{hs, T_{ck}} = \begin{cases} c_{t, T_{ck+1}} - (c_{t, T_{ck+1}} - c_{t, T_{ck}}) \cdot \frac{T_{c, k} - \theta_{max}}{T_{c, k+1} - T_{c, k}} & \text{si } \begin{cases} T_{c, k} \geq \theta_{max} \\ T_{c, k+1} \leq \theta_{max} \end{cases} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad \text{pour } k = 1, \dots, 14 \quad (167)$$

$$N_{hs, T_{c15}} = \begin{cases} \text{si } T_{c, 15} > \theta_{max} \\ \text{sinon} \end{cases} \begin{cases} N_{hs, T_{c14}} \\ 8760 \\ 0 \end{cases} \quad \text{si } T_{c, 14} > T_{c, 15} \quad \text{sinon} \quad (168)$$

où $c_{t, T_{ck}}$ [h] : centre de l'intervalle de temps correspondant à la température classée n° k ;

$T_{c, k}$ [°C] : température moyenne classée par ordre décroissant n°k (k=1,...,15), déterminée à la section 8 ;

θ_{max} [°C] : température limite de surchauffe.

7.2 Centre et longueur de l'intervalle de temps

Le centre de l'intervalle de temps se calcule itérativement selon la formule suivante :

$$c_{t,Tck+1} = c_{t,Tck} + 0,5.(l_{t,Tck} + l_{t,Tck+1}) \quad \text{pour } k = 1, \dots, 14 \quad (169)$$

avec

$$c_{t,Tc1} = 0,5.l_{t,Tc1} \quad (170)$$

où $c_{t,Tck} [h]$: centre de l'intervalle de temps correspondant à la température classée n° k ;

$l_{t,Tck} [h]$: longueur de l'intervalle de temps correspondant à la température classée n° k avec $l_{t,Tck} = h_i$ pour i égal à l'indice de la période correspondant à la température classée n° k ;

$h_i [h]$: longueur de la période i.

La longueur des différentes périodes correspond en réalité simplement au nombre d'heures de chacun des mois de l'année mais dont le mois de juillet a été remplacé par quatre mois fictifs : un de 12 jours, un de 4 jours, un de 1 jour (souvent référencé sous le nom Charge de Refroidissement) et enfin, un de 14 jours appelé ResteJuillet (31 jours - 17 jours). Dans la suite de ce document, nous utiliserons sans distinction le terme de période ou de mois. Ces périodes ou mois sont au nombre de 15.

$$\begin{aligned} h_1 &= h_{janvier} = 744 \\ h_2 &= h_{fevrier} = 672 \\ h_3 &= h_{mars} = 744 \\ h_4 &= h_{avril} = 720 \\ h_5 &= h_{mai} = 744 \\ h_6 &= h_{juin} = 720 \\ h_7 &= h_{ResteJuillet} = 336 \\ h_8 &= h_{12Jours} = 288 \\ h_9 &= h_{4Jours} = 96 \\ h_{10} &= h_{1Jour} = 24 \\ h_{11} &= h_{aout} = 744 \\ h_{12} &= h_{septembre} = 720 \\ h_{13} &= h_{octobre} = 744 \\ h_{14} &= h_{novembre} = 720 \\ h_{15} &= h_{decembre} = 744 \end{aligned}$$

8 Températures

Nous venons de voir précédemment que le calcul du nombre d'heures de surchauffe dépend d'un classement des températures moyennes de chacune des périodes. $T_{c,k}$ correspond en effet à la k-ième plus grande température moyenne de l'ensemble des périodes.

$$T_{c,k} = k^{ieme} T_{m,i} \quad (171)$$

où $T_{m,i}$ [$^{\circ}C$] : température moyenne intérieure de la période i.

8.1 Calcul de la température moyenne

La température moyenne est donnée pour chaque période i par la formule suivante :

$$T_{m,i} = T_{infinie,i} - (T_{infinie,i} - T_{d,i}) \cdot \frac{\tau_{hV}}{h_i} \cdot \left(1 - e^{-\frac{h_i}{\tau_{hV}}} \right) \quad (172)$$

où $T_{m,i}$ [$^{\circ}C$] : température moyenne intérieure de la période i ;

$T_{infinie,i}$ [$^{\circ}C$] : température finale infinie de la période i, cf section 8.5 ;

$T_{d,i}$ [$^{\circ}C$] : température de départ de la période i, cf section 8.2 ;

τ_{hV} [h] : constante de temps hors ventilation, cf section 8.4 ;

h_i [h] : longueur de la période i.

8.2 Calcul de la température de départ

La température de départ de la période i est donnée par la formule itérative suivante :

$$T_{d,i+1} = \max(T_{d,1}; T_{fe,i}) \quad \text{pour } i=1, \dots, 14 \quad (173)$$

avec

$$T_{d,1} = \text{Température intérieure } (=20^{\circ}C \text{ par défaut}) \quad (174)$$

où $T_{fe,i}$ [$^{\circ}C$] : température finale existante de la période i.

8.3 Calcul de la température finale existante et de la capacité de décharge

La température finale existante de la période i correspond à la différence entre la température finale infinie et la capacité de décharge de la période :

$$T_{fe,i} = T_{infinie,i} - Cap_{decharge,i} \quad (175)$$

où $T_{infinie,i}$ [$^{\circ}C$] : température finale infinie de la période i ;

$Cap_{decharge,i}$: capacité de décharge de la période i.

La capacité de décharge se calcule quant à elle à partir de la température finale infinie et de la température de départ de la période vues précédemment :

$$Cap_{decharge,i} = (T_{infinie,i} - T_{d,i}) \cdot e^{-\frac{h_i}{\tau_{hV}}} \quad (176)$$

où $T_{infinie,i}$ [$^{\circ}C$] : température finale infinie de la période i, cf section 8.5 ;

$T_{d,i}$ [$^{\circ}C$] : température de départ de la période i, cf section 8.2 ;

τ_{hV} [h] : constante de temps hors ventilation, cf section 8.4 ;

h_i [h] : longueur de la période i.

8.4 Constante de temps hors ventilation

La constante de temps hors ventilation s'obtient selon la formule :

$$\tau_{hV} = \frac{C}{H_{trans} + H_{sol} + H_{EWU}} = \frac{C}{H_{tot}} \quad (177)$$

où C [Wh/K] : Capacité thermique du bâtiment ;

H_{trans} [W/K] : conductance extérieure, cf équation 179 ;

H_{sol} [W/K] : conductance du sol, cf équation 180 ;

H_{EWU} [W/K] : conductance de l'échangeur géothermique, cf équation 181 ;

H_{tot} [W/K] : conductance totale.

8.4.1 Capacité thermique et conductances

$$C = \max(C_{th,surf} \cdot A_{SRE}; 0, 01) \quad (178)$$

où $C_{th,surf}$ [Wh/(K.m²)] : Capacité thermique surfacique (encodée par l'utilisateur 60, 132 ou 204 selon type de construction) ;

A_{SRE} [m²] : Surface de référence énergétique.

Remarquons que la capacité thermique surfacique se rapporte à une surface de plancher marchable et non à une surface de déperdition.

$$H_{trans} = H_{T,e} + H_{V,e} \quad (179)$$

où $H_{T,e}$ [W/K] : coefficient de déperdition de chaleur par transmission avec l'extérieur (hors sol), cf section 9.1 ;

$H_{V,e}$ [W/K] : coefficient de déperdition de chaleur par ventilation par l'extérieur (hors sol), cf section 9.3.

$$H_{sol} = H_{T,g} \quad (180)$$

où $H_{T,g}$ [W/K] : coefficient de déperdition de chaleur par transmission avec le sol, cf section 9.2.

$$H_{EWU} = H_{V,g} \quad (181)$$

où $H_{V,g}$ [W/K] : coefficient de déperdition de chaleur par ventilation par le sol, cf section 9.4.

La conductance totale H_{tot} correspond à la somme des trois conductances évoquées ci-dessus.

$$H_{tot} = H_{trans} + H_{sol} + H_{EWU} \quad (182)$$

8.5 Température finale infinie

Voyons à présent le détail de calcul de la température finale infinie $T_{infinie,i}$ de la période i intervenant dans le calcul de la température moyenne.

$$T_{infinie,i} = \frac{1}{H_{tot}} \cdot \{ (H_{trans} + H_{conv}) \cdot T_{ext,i} + H_{sol} \cdot T_{sol,i} + H_{EWU} \cdot T_{sol,e,i} + H_{rad} \cdot T_{ciel,i} + \frac{Q_{SommeAng,i} - Q_{AN,i} - Q_{AF,i}}{h_i} \cdot 1000 \} \quad (183)$$

où

H_{trans} [W/K] : conductance extérieure, cf équation 179 ;

H_{sol} [W/K] : conductance du sol, cf équation 180 ;

H_{EWU} [W/K] : conductance de l'échangeur géothermique, cf équation 181 ;

H_{rad} [W/K] : conductance par rayonnement, cf équation 37

H_{conv} [W/K] : conductance par convection, cf équation 36 ;

H_{tot} [W/K] : conductance totale ;

$T_{ext,i}$ [$^{\circ}C$] : température extérieure de la période i ;
 $T_{sol,e,i}$ [$^{\circ}C$] : température du sol de la période i , cf équation 76 ;
 $T_{ciel,i}$ [$^{\circ}C$] : température du ciel de la période i (données climatiques) ;
 $Q_{SommeAng,i}$ [kWh] : quantité de chaleur des apports gratuits (solaires et internes) de la période i , tel que définie dans le chapitre 11 ;
 $Q_{AN,i}$ [kWh] : déperditions nettes par aération nocturne, cf section 12.1 ;
 $Q_{AF,i}$ [kWh] : déperditions nettes par aération par les fenêtres, cf section 12.2.

9 Coefficients de déperdition

9.1 Coefficient de déperdition de chaleur par Transmission avec l'extérieur (hors sol)

Le coefficient de déperdition de chaleur par transmission avec l'extérieur (hors sol) $H_{T,e}$ est déterminé comme suit.

$$H_{T,e} = \sum_{i=1}^{N_{parois}} H_{ete,i} - H_{T,g} \quad (184)$$

où

$H_{ete,i}$ [W/K] : coefficient de déperdition des parois de type i en été ;
 $H_{T,g}$ [W/K] : coefficient de déperdition de chaleur par transmission avec le sol, cf section 9.2 ;
 N_{parois} [-] : nombre de parois.

Le coefficient de déperdition de chaleur de chaque type de parois i en été est défini à l'expression suivante.

$$H_{ete,i} = A_{p,i} \cdot U_i \cdot f_{T,ete,i} \quad (185)$$

où

$A_{p,i}$ [m^2] : surface de déperdition des parois i ;
 U_i [W/(m^2K)] : coefficient de déperdition par transmission thermique des parois i ;
 $f_{T,ete,i}$: facteur correctif de réduction pour la conductance des parois en été, valant toujours 1 sauf pour les zones de température X où $f_{T,ete,i} = f_{Ti}$.

Remarquons que la surface $A_{p,i}$ peut se ramener à une longueur dans le cas où la paroi i est en réalité un pont thermique linéaire. Il y a donc bien prise en compte des ponts thermiques linéaires à ce niveau.

9.2 Coefficient de déperdition de chaleur par Transmission avec le sol

Le calcul du coefficient de déperdition de chaleur par Transmission avec le sol $H_{T,g}$ correspond aux coefficients de déperdition relatifs aux zones de température B et P :

$$H_{T,g} = \sum H_{ete,i}(\text{parois de zone de température B}) + \sum H_{ete,i}(\text{parois de zone de température P}) \quad (186)$$

où $H_{ete,i}$ [W/K] : coefficient de déperdition des parois de type i en été, cf équation 185.

9.3 Coefficient de déperdition de chaleur par Ventilation par l'extérieur

Le coefficient de déperdition de chaleur par ventilation par l'extérieur (hors sol) $H_{V,e}$ est déterminé comme suit.

$$H_{V,e} = V_L \cdot n_{L,e} \cdot c_{p,air} \quad (187)$$

où

V_L [m^3] : Volume d'air effectif, tel que défini par l'équation 14 ;
 $c_{p,air}$ [Wh/(m^3K))] : capacité thermique massique de l'air à pression constante, valant 0,33Wh/(m^3K) ;
 $n_{L,e}$ [vol/h] : taux de renouvellement d'air de référence relatif à l'extérieur, tel que déterminé en section 10.1.

9.4 Coefficient de déperdition de chaleur par Ventilation au niveau de l'échangeur géothermique

Le coefficient de déperdition de chaleur par ventilation au niveau de l'échangeur géothermique $H_{V,g}$ est déterminé selon l'expression suivante.

$$H_{V,g} = V_L \cdot n_{L,g} \cdot c_{p,air} \quad (188)$$

où

V_L [m^3] : Volume d'air effectif, tel que défini par l'équation 14 ;
 $c_{p,air}$ [Wh/(m^3K))] : capacité thermique massique de l'air à pression constante, valant 0,33Wh/(m^3K) ;
 $n_{L,e}$ [vol/h] : taux de renouvellement d'air de référence relatif au sol, tel que déterminé en section 10.2.

10 Renouvellements d'air

10.1 Renouvellement d'air relatif à l'extérieur

Le renouvellement d'air de référence relatif à l'extérieur résulte de l'expression suivante :

$$n_{L,e} = n_{L,frei} + (1 - \eta_{EWU}^*) \cdot (1 - \eta_{WRG,eff,e}) \cdot n_{L,VMC} + n_{L,reste,e} \quad (189)$$

où

$n_{L,frei}$ [vol/h] : renouvellement d'air libre, correspondant au renouvellement d'air par infiltration-ventilation naturelle (fenêtres et fentes) ou extraction mécanique, en été (à encoder par l'utilisateur) ;

η_{EWU}^* [vol/h] : rendement de chaleur de l'échangeur géothermique ;

$\eta_{WRG,eff,e}$ [vol/h] : rendement effectif de la récupération de chaleur au niveau de l'échangeur de la VMC en régime été, étant nul si le groupe de ventilation est équipé d'un système de by-pass et étant égal à $\eta_{WRG,eff}$ sinon (cf section 5.3) ;

$n_{L,VMC}$ [vol/h] : renouvellement d'air relatif à la VMC (à encoder par l'utilisateur) ;

$n_{L,reste,e}$ [vol/h] : renouvellement d'air relatif à l'infiltration-exfiltration non contrôlée en été, étant nul si $n_{L,frei}$ est différent de zéro et étant égal à $n_{L,reste}$ sinon (cf section 5.2).

10.2 Renouvellement au niveau de l'échangeur géothermique

Calcul du renouvellement d'air de référence au niveau de l'échangeur géothermique :

$$n_{L,g} = \eta_{EWU}^* \cdot (1 - \eta_{WRG,eff,e}) \cdot n_{L,VMC} \quad (190)$$

où

η_{EWU}^* : Rendement de chaleur de l'échangeur géothermique

$\eta_{WRG,eff,e}$ [vol/h] : rendement effectif de la récupération de chaleur au niveau de l'échangeur de la VMC en régime été, étant nul si le groupe de ventilation est équipé d'un système de by-pass et étant égal à $\eta_{WRG,eff}$ sinon (cf section 5.3) ;

$n_{L,VMC}$ [vol/h] : renouvellement d'air relatif à la VMC (à encoder par l'utilisateur).

11 Apports solaires et apports internes

Revenons à présent au calcul de la quantité de chaleur des apports gratuits (solaires et internes) de la période i , $Q_{SommeAng,i}$.

$$Q_{SommeAng,i} = Q_{solarNord,i} + Q_{solarEst,i} + Q_{solarSud,i} + Q_{solarOuest,i} + Q_{solarHori,i} + Q_{solarOpak,i} + Q_{ApportsInternes,i} \quad (191)$$

où

$Q_{solarNord,i}$ [kWh] : quantité de chaleur des apports solaires relatifs à l'orientation Nord pour la période i ;

$Q_{solarEst,i}$ [kWh] : quantité de chaleur des apports solaires relatifs à l'orientation Est pour la période i ;

$Q_{solarSud,i}$ [kWh] : quantité de chaleur des apports solaires relatifs à l'orientation Sud pour la période i ;

$Q_{solarOuest,i}$ [kWh] : quantité de chaleur des apports solaires relatifs à l'orientation Ouest pour la période i ;

$Q_{solarHori,i}$ [kWh] : quantité de chaleur des apports solaires relatifs à l'orientation horizontale pour la période i ;

$Q_{solarOpak,i}$ [kWh] : quantité de chaleur des apports solaires relatifs aux parois Opaques pour la période i , section 11.3 ;

$Q_{ApportsInternes,i}$ [kWh] : quantité de chaleur provenant des apports internes pour la période i , calculé conformément à l'équation 44.

Détaillons le calcul des apports solaires.

On peut regrouper les apports provenant des orientations Nord, Est, Sud, Ouest et Horizontale puisque le calcul est identique. Pour $Dir = Nord, Est, Sud, Ouest, Hori$:

$$Q_{solarDir,i} = f_{Dir,e} \cdot g_{Dir} \cdot A_{w,Dir} \cdot Q_{S,solarbrut,Dir,i} \quad (192)$$

où $f_{Dir,e}$ [-] : facteur de réduction du rayonnement solaire pour l'orientation Dir en régime été ;

g_{Dir} [-] : facteur solaire moyen pour l'orientation dir (moyenne pondérée par les surfaces vitrées des fenêtres), valant par défaut 0,42 ;

$A_{w,n}$ [m²] : total des surfaces de fenêtres pour l'orientation Dir ;

$Q_{S,solarbrut,Dir,i}$ [-] : apports solaires surfaciques bruts pour l'orientation Dir , tels que définis à la section 6.2 pour les mois réels (tous les mois excepté le mois de juillet) et la section 11.2 pour les mois fictif (Reste-Juillet, 12Jours, 4Jours et 1Jour).

Le facteur de réduction du rayonnement solaire est composé de quatre termes, comme le montre la formule suivante :

$$f_{Dir,e} = f_{o,Dir} \cdot f_{s,Dir} \cdot f_{non\perp,Dir} \cdot f_{g,Dir} \quad (193)$$

où $f_{o,Dir}$ [-] : Facteur de réduction dû à l'ombrage sur les surfaces vitrées en régime été, cf section 11.1 ;

$f_{s,Dir}$ [-] : Facteur de réduction dû à la salissure, fixé à 0,95 ;

$f_{non\perp,Dir}$ [-] : Facteur de réduction afin de prendre en compte le rayonnement incident non perpendiculaire aux surfaces vitrées, valant 0,9 ;

$f_{g,Dir}$ [-] : Clair du vitrage, rapport entre les surfaces vitrées et les surfaces de fenêtres.

11.1 Facteur d'ombrage en régime été

Le détail de calcul du facteur d'ombrage en régime été est détaillé ci-dessous, il est calculé dans l'onglet Ombrage Eté du PHPP.

$$f_{o,Dir,e} = \frac{Q_{solaire,ombrage,Dir,e}}{Q_{solaire,sansombrage,Dir,e}} \quad (194)$$

où

$Q_{solaire,ombrage,Dir,e}$ [kWh] : apport solaire reçue avec ombrage dans la direction Dir en régime été ;

$Q_{solaire,sansombrage,Dir,e}$ [kWh] : apport solaire reçue sans ombrage dans la direction Dir en régime été.

$$Q_{solaire,ombrage,Dir,e} = \sum_{j=1}^{N_{f,Dir}} Q_{solaireA-S,ombrage,j} \quad (195)$$

$$Q_{solaire,sansombrage,Dir,e} = \sum_{j=1}^{N_{f,Dir}} Q_{solaireA-S,sansombrage,j} \quad (196)$$

où

$N_{f,Dir} [-]$: nombre de fenêtres j dans la direction Dir ;

$Q_{solaireA-S,ombrage,j} [kWh]$: apport solaire reçue avec ombrage pendant les 6 mois d'avril à septembre à travers la fenêtre j ;

$Q_{solaireA-S,sansombrage,j} [kWh]$: Apport solaire reçue sans ombrage pendant les 6 mois d'avril à septembre à travers la fenêtre j .

L'apport solaire reçue avec ombrage pendant les 6 mois d'avril à septembre à travers la fenêtre j se calcule via l'expresion suivante.

$$Q_{solaireA-S,ombrage,j} = f_{ombrage,tot,e,j} \cdot g_j \cdot \sum_{i=Avril}^{Septembre} Q_{rayonvit,i,j} \quad (197)$$

où

$f_{ombrage,tot,e,j} [-]$: facteur de réduction d'ombrage total de la fenêtre j en régime été ;

$g_j [-]$: facteur solaire de la fenêtre j ;

$Q_{rayonvit,i,j} [kWh]$: quantité de chaleur par rayonnement sur la surface vitrée de la fenêtre j pour la période i , cf section 6.2.

L'énergie solaire reçue sans ombrage pendant les 6 mois d'avril à septembre à travers la fenêtre j se calcule via la même formule qu'avec ombrage mais en égalant le facteur d'ombrage à l'unité (ce qui correspond à l'absence d'ombrage).

$$Q_{solaireA-S,sansombrage,j} = g_j \cdot \sum_{i=Avril}^{Septembre} Q_{rayonvit,i,j} \quad (198)$$

Développons maintenant le calcul du facteur de réduction d'ombrage total $f_{ombrage,tot,e,j}$ pour le régime été. Celui-ci est identique à celui pour le régime hiver à la seule différence qu'il y a un facteur de réduction relatif à une éventuelle protection solaire :

$$f_{ombrage,tot,e,j} = f_{ombrage,hor,e,j} \cdot f_{ombrage,ebr,e,j} \cdot f_{ombrage,deb,e,j} \cdot f_{ombrage,suppl,e,j} \cdot f_{protecsolaire,j} \quad (199)$$

où

$f_{ombrage,hor,e,j} [-]$: Facteur de réduction d'ombrage horizontal de la fenêtre j en régime été ;

$f_{ombrage,ebr,e,j} [-]$: Facteur de réduction d'ombrage par ébrasement de la fenêtre j en régime été ;

$f_{ombrage,deb,e,j} [-]$: Facteur de réduction d'ombrage par débordement de la fenêtre j en régime été ;

$f_{ombrage,suppl,e,j} [-]$: Facteur de réduction d'ombrage supplémentaire de la fenêtre j en régime été (introduit par l'utilisateur) ;

$f_{protecsolaire,j} [-]$: Facteur de protection solaire de la fenêtre j (introduit par l'utilisateur).

Les formules de calcul des trois premiers facteurs de réduction d'ombrage (le facteur de réduction d'ombrage horizontal, le facteur de réduction d'ombrage par ébrasement et le facteur de réduction d'ombrage par débordement de la fenêtre j) sont fort similaires à celles du calcul pour l'ombrage en régime hiver mais il existe certaines différences sur lesquelles nous attirerons l'attention du lecteur. Dans un soucis de ne pas alourdir les expressions suivantes, l'indice e identifiant le régime été ne sera indiqué.

$$f_{ombrage,hor,e,j} = \max \left(ipol_{hor,hor,j} + \frac{ipol_{hor,ver,j} - ipol_{hor,hor,j}}{2} \cdot (1 - \cos(2\gamma_{H,j})); 1 - \frac{ha_{hor,j}}{ha_{vit,j} \cdot |\sin \gamma_{H,j}|} \right) \quad (200)$$

$$f_{ombrage,ebr,e,j} = ipol_{ebr,hor,j} + \frac{ipol_{ebr,ver,j} - ipol_{ebr,hor,j}}{2} \cdot (1 - \cos(2\gamma_{H,j})) \quad (201)$$

$$f_{ombrage,deb,e,j} = ipol_{deb,hor,j} + \frac{ipol_{deb,ver,j} - ipol_{deb,hor,j}}{2} \cdot (1 - \cos(2\gamma_{H,j})) \quad (202)$$

où

$ipol_{hori,hor,j} [-]$: paramètre numérique ipol horizontal relatif au facteur de réduction d'ombrage environnant de la fenêtre j ;

$ipol_{hori,ver,j} [-]$: paramètre numérique ipol vertical relatif au facteur de réduction d'ombrage environnant de la fenêtre j ;

$ipol_{ebr,hor,j} [-]$: paramètre numérique ipol horizontal relatif au facteur de réduction d'ombrage par ébrasement de la fenêtre j ;

$ipol_{ebr,ver,j} [-]$: paramètre numérique ipol vertical relatif au facteur de réduction d'ombrage par ébrasement de la fenêtre j ;

$ipol_{deb,hor,j} [-]$: paramètre numérique ipol horizontal relatif au facteur de réduction d'ombrage par débordement de la fenêtre j ;

$ipol_{deb,ver,j} [-]$: paramètre numérique ipol vertical relatif au facteur de réduction d'ombrage par débordement de la fenêtre j ;

$\gamma_{H,j} [^\circ]$: inclinaison par rapport à l'Horizontale de la fenêtre j (0° si horizontale, 90° si verticale) ;

$ha_{hori,j} [-]$: hauteur de l'objet qui crée l'ombrage sur la fenêtre j (encodé par l'utilisateur dans l'onglet Ombrage) ;

$ha_{vit,j} [m]$: hauteur du vitrage de la fenêtre j étant égale à la hauteur de la fenêtre moins les épaisseurs de châssis en haut et bas de la fenêtre.

Voyons à présent le détail de calcul des paramètres numériques $ipol_{k,hor,j}$ et $ipol_{k,ver,j}$ de la fenêtre j pour k =hori, ebr ou deb.

Pour k = hori,ebr ou deb :

$$ipol_{k,hor,j} = hor_{k,1,j} + \frac{hor_{k,2,j} - hor_{k,1,j}}{2} \cdot \{1 - \cos(2(\beta_{N,j} - \beta_{90,N,j}))\} \quad (203)$$

$$ipol_{k,ver,j} = ver_{k,1,j} + \frac{ver_{k,2,j} - ver_{k,1,j}}{2} \cdot \{1 - \cos(2(\beta_{N,j} - \beta_{90,N,j}))\} \quad (204)$$

où

$hor_{k,1,j} [-]$: terme horizontal 1 pour la fenêtre j relatif au facteur de réduction d'ombrage horizontal, par ébrasement ou par débordement selon la valeur de k ;

$hor_{k,2,j} [-]$: terme horizontal 2 pour la fenêtre j relatif au facteur de réduction d'ombrage horizontal, par ébrasement ou par débordement selon la valeur de k ;

$ver_{k,1,j} [-]$: terme vertical 1 pour la fenêtre j relatif au facteur de réduction d'ombrage horizontal, par ébrasement ou par débordement selon la valeur de k ;

$ver_{k,2,j} [-]$: terme vertical 2 pour la fenêtre j relatif au facteur de réduction d'ombrage horizontal, par ébrasement ou par débordement selon la valeur de k ;

$\beta_{N,j} [^\circ]$: écart angulaire par rapport à la direction Nord de la fenêtre j (0° si Nord, 45° si Nord-Est, 90° si Est,...) ;

$\beta_{90,N,j} [^\circ]$: écart angulaire du point cardinal inférieur (nord, est, sud, ouest) à l'écart angulaire $\beta_{N,j}$ de la fenêtre j, déterminé comme suit :

$$\beta_{90,N,j} = 90^\circ \cdot (\text{Entier}_{inférieur}(\frac{\beta_{N,j}}{90^\circ})) \quad (205)$$

Nous allons maintenant développer les termes $hor_{k,1,j}$, $hor_{k,2,j}$, $ver_{k,1,j}$ et $ver_{k,2,j}$ pour les différentes valeurs de k. Comparativement au calcul des mêmes paramètres mais pour la période hiver, des différences sont à signaler dans le calcul des termes relatifs à l'ombrage environnant et par débordement, conformément aux développements ci-dessous.

Pour k = hori c'est-à-dire pour le calcul relatif au facteur de réduction d'ombrage environnant :

$$hor_{hori,1,j} = \begin{cases} r_{hori,h,Nord} \cdot e^{\left(a_{hori,h,Nord} \cdot \frac{h_{hori,j}}{d_{hori,j}}\right)} + 1 - r_{hori,h,Nord} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 0^\circ \\ r_{hori,h,Sud} \cdot e^{\left(a_{hori,h,Sud} \cdot \frac{h_{hori,j}}{d_{hori,j}}\right)} + 1 - r_{hori,h,Sud} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 180^\circ \\ r_{hori,h,Estouest} \cdot e^{\left(a_{hori,h,Estouest} \cdot \frac{h_{hori,j}}{d_{hori,j}}\right)} + 1 - r_{hori,h,Estouest} & \text{sinon} \end{cases} \quad (206)$$

$$hor_{hori,2,j} = \begin{cases} r_{hori,h,Nord} \cdot e \left(a_{hori,h,Nord} \cdot \frac{h_{hori,j}}{d_{hori,j}} \right) + 1 - r_{hori,h,Nord} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 270^\circ \\ r_{hori,h,Sud} \cdot e \left(a_{hori,h,Sud} \cdot \frac{h_{hori,j}}{d_{hori,j}} \right) + 1 - r_{hori,h,Sud} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 90^\circ \\ r_{hori,h,Estouest} \cdot e \left(a_{hori,h,Estouest} \cdot \frac{h_{hori,j}}{d_{hori,j}} \right) + 1 - r_{hori,h,Estouest} & \text{sinon} \end{cases} \quad (207)$$

$$ver_{hori,1,j} = \begin{cases} r_{hori,v,Nord} \cdot e \left(a_{hori,v,Nord} \cdot \frac{h_{hori,j}}{d_{hori,j}} \right) + 1 - r_{hori,v,Nord} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 0^\circ \\ r_{hori,v,Sud} \cdot e \left(a_{hori,v,Sud} \cdot \frac{h_{hori,j}}{d_{hori,j}} \right) + 1 - r_{hori,v,Sud} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 180^\circ \\ r_{hori,v,Estouest} \cdot e \left(a_{hori,v,Estouest} \cdot \frac{h_{hori,j}}{d_{hori,j}} \right) + 1 - r_{hori,v,Estouest} & \text{sinon} \end{cases} \quad (208)$$

$$ver_{hori,2,j} = \begin{cases} r_{hori,v,Nord} \cdot e \left(a_{hori,v,Nord} \cdot \frac{h_{hori,j}}{d_{hori,j}} \right) + 1 - r_{hori,v,Nord} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 270^\circ \\ r_{hori,v,Sud} \cdot e \left(a_{hori,v,Sud} \cdot \frac{h_{hori,j}}{d_{hori,j}} \right) + 1 - r_{hori,v,Sud} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 90^\circ \\ r_{hori,v,Estouest} \cdot e \left(a_{hori,v,Estouest} \cdot \frac{h_{hori,j}}{d_{hori,j}} \right) + 1 - r_{hori,v,Estouest} & \text{sinon} \end{cases} \quad (209)$$

où

$h_{hori,j} [m]$: Hauteur de l'objet qui crée l'ombrage sur la fenêtre j (encodé par l'utilisateur dans l'onglet Ombrage) ;

$d_{hori,j} [m]$: Distance horizontale entre l'objet qui crée l'ombrage et la fenêtre j (encodé par l'utilisateur dans l'onglet Ombrage) ;

$r_{...}$ et $a_{...} [-]$: paramètres numériques dépendant de la latitude de la station climatique choisie (cf remarque en fin de section).

Pour $k = ebr$ c'est-à-dire pour le calcul relatif au facteur de réduction d'ombrage par ébrasement :

$$hor_{ebr,1,j} = \begin{cases} r_{ebr,h,Nord} \cdot e \left(a_{ebr,h,Nord} \cdot \frac{\ddot{u}_{ebr,j}}{0,5 \cdot l_{vit,j} + d_{vit-ebr,j}} \right) + 1 - r_{ebr,h,Nord} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 0^\circ \\ r_{ebr,h,Sud} \cdot e \left(a_{ebr,h,Sud} \cdot \frac{\ddot{u}_{ebr,j}}{0,5 \cdot l_{vit,j} + d_{vit-ebr,j}} \right) + 1 - r_{ebr,h,Sud} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 180^\circ \\ r_{ebr,h,Estouest} \cdot e \left(a_{ebr,h,Estouest} \cdot \frac{\ddot{u}_{ebr,j}}{0,5 \cdot l_{vit,j} + d_{vit-ebr,j}} \right) + 1 - r_{ebr,h,Estouest} & \text{sinon} \end{cases} \quad (210)$$

$$hor_{ebr,2,j} = \begin{cases} r_{ebr,h,Nord} \cdot e \left(a_{ebr,h,Nord} \cdot \frac{\ddot{u}_{ebr,j}}{0,5 \cdot l_{vit,j} + d_{ebr,j}} \right) + 1 - r_{ebr,h,Nord} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 270^\circ \\ r_{ebr,h,Sud} \cdot e \left(a_{ebr,h,Sud} \cdot \frac{\ddot{u}_{ebr,j}}{0,5 \cdot l_{vit,j} + d_{ebr,j}} \right) + 1 - r_{ebr,h,Sud} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 90^\circ \\ r_{ebr,h,Estouest} \cdot e \left(a_{ebr,h,Estouest} \cdot \frac{\ddot{u}_{ebr,j}}{0,5 \cdot l_{vit,j} + d_{ebr,j}} \right) + 1 - r_{ebr,h,Estouest} & \text{sinon} \end{cases} \quad (211)$$

$$ver_{ebr,1,j} = \begin{cases} r_{ebr,v,Nord} \cdot e \left(\frac{a_{ebr,v,Nord} \cdot \ddot{u}_{ebr,j}}{0,5.l_{vit,j} + d_{ebr,j}} \right) + 1 - r_{ebr,v,Nord} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 0^\circ \\ r_{ebr,v,Sud} \cdot e \left(\frac{a_{ebr,v,Sud} \cdot \ddot{u}_{ebr,j}}{0,5.l_{vit,j} + d_{ebr,j}} \right) + 1 - r_{ebr,v,Sud} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 180^\circ \\ r_{ebr,v,Estouest} \cdot e \left(\frac{a_{ebr,v,Estouest} \cdot \ddot{u}_{ebr,j}}{0,5.l_{vit,j} + d_{ebr,j}} \right) + 1 - r_{ebr,v,Estouest} & \text{sinon} \end{cases} \quad (212)$$

$$ver_{ebr,2,j} = \begin{cases} r_{ebr,v,Nord} \cdot e \left(\frac{a_{ebr,v,Nord} \cdot \ddot{u}_{ebr,j}}{0,5.l_{vit,j} + d_{ebr,j}} \right) + 1 - r_{ebr,v,Nord} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 270^\circ \\ r_{ebr,v,Sud} \cdot e \left(\frac{a_{ebr,v,Sud} \cdot \ddot{u}_{ebr,j}}{0,5.l_{vit,j} + d_{ebr,j}} \right) + 1 - r_{ebr,v,Sud} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 90^\circ \\ r_{ebr,v,Estouest} \cdot e \left(\frac{a_{ebr,v,Estouest} \cdot \ddot{u}_{ebr,j}}{0,5.l_{vit,j} + d_{ebr,j}} \right) + 1 - r_{ebr,v,Estouest} & \text{sinon} \end{cases} \quad (213)$$

où

$\ddot{u}_{ebr,j} [m]$: profondeur de l'ébrasement de la fenêtre j (encodé par l'utilisateur dans l'onglet Ombrage);

$l_{vit,j} [m]$: largeur du vitrage de la fenêtre j étant égale à la largeur de la fenêtre moins les épaisseurs de châssis à gauche et à droite de la fenêtre;

$d_{ebr,j} [m]$: distance entre le bord du vitrage et l'ébrasement de la fenêtre j (encodé par l'utilisateur dans l'onglet Ombrage).

$r_{...}$ et $a_{...} [-]$: paramètres numériques dépendant de la latitude de la station climatique choisie (cf remarque en fin de section).

Pour $k = deb$ c'est-à-dire pour le calcul relatif au facteur de réduction d'ombrage par débordement :

$$hor_{deb,1,j} = \begin{cases} r_{deb,h,Nord} \cdot e \left(\frac{a_{deb,h,Nord} \cdot \ddot{u}_{haut,j}}{0,5.ha_{vit,j} + d_{haut,j}} \right) + 1 - r_{deb,h,Nord} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 0^\circ \\ r_{deb,h,Sud} \cdot e \left(\frac{a_{deb,h,Sud} \cdot \ddot{u}_{haut,j}}{0,5.ha_{vit,j} + d_{haut,j}} \right) + 1 - r_{deb,h,Sud} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 180^\circ \\ r_{deb,h,Estouest} \cdot e \left(\frac{a_{deb,h,Estouest} \cdot \ddot{u}_{haut,j}}{0,5.ha_{vit,j} + d_{haut,j}} \right) + 1 - r_{deb,h,Estouest} & \text{sinon} \end{cases} \quad (214)$$

$$hor_{deb,2,j} = \begin{cases} r_{deb,h,Nord} \cdot e \left(\frac{a_{deb,h,Nord} \cdot \ddot{u}_{haut,j}}{0,5.ha_{vit,j} + d_{haut,j}} \right) + 1 - r_{deb,h,Nord} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 270^\circ \\ r_{deb,h,Sud} \cdot e \left(\frac{a_{deb,h,Sud} \cdot \ddot{u}_{haut,j}}{0,5.ha_{vit,j} + d_{haut,j}} \right) + 1 - r_{deb,h,Sud} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 90^\circ \\ r_{deb,h,Estouest} \cdot e \left(\frac{a_{deb,h,Estouest} \cdot \ddot{u}_{haut,j}}{0,5.ha_{vit,j} + d_{haut,j}} \right) + 1 - r_{deb,h,Estouest} & \text{sinon} \end{cases} \quad (215)$$

$$ver_{deb,1,j} = \begin{cases} r_{deb,v,Nord} + \frac{1 - r_{deb,v,Nord}}{\left(1 + \left(\frac{\ddot{u}_{haut,j}}{0,5.ha_{vit,j} + d_{haut,j}} \right)^2 \right)^{a_{deb,v,Nord}}} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 0^\circ \\ r_{deb,v,Sud} + \frac{1 - r_{deb,v,Sud}}{\left(1 + \left(\frac{\ddot{u}_{haut,j}}{0,5.ha_{vit,j} + d_{haut,j}} \right)^2 \right)^{a_{deb,v,Sud}}} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 180^\circ \\ r_{deb,v,Estouest} + \frac{1 - r_{deb,v,Estouest}}{\left(1 + \left(\frac{\ddot{u}_{haut,j}}{0,5.ha_{vit,j} + d_{haut,j}} \right)^2 \right)^{a_{deb,v,Estouest}}} & \text{sinon} \end{cases} \quad (216)$$

$$ver_{deb,2,j} = \begin{cases} r_{deb,v,Nord} + \frac{1 - r_{deb,v,Nord}}{\left(1 + \left(\frac{\ddot{u}_{haut,j}}{0,5 \cdot ha_{vit,j} + d_{haut,j}}\right)^2\right)^{a_{deb,v,Nord}}} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 270^\circ \\ r_{deb,v,Sud} + \frac{1 - r_{deb,v,Sud}}{\left(1 + \left(\frac{\ddot{u}_{haut,j}}{0,5 \cdot ha_{vit,j} + d_{haut,j}}\right)^2\right)^{a_{deb,v,Sud}}} & \text{si } \beta_{90,N,j} = 90^\circ \\ r_{deb,v,Estouest} + \frac{1 - r_{deb,v,Estouest}}{\left(1 + \left(\frac{\ddot{u}_{haut,j}}{0,5 \cdot ha_{vit,j} + d_{haut,j}}\right)^2\right)^{a_{deb,v,Estouest}}} & \text{sinon} \end{cases} \quad (217)$$

où

$\ddot{u}_{haut,j} [m]$: profondeur du débordant de la fenêtre j (encodé par l'utilisateur dans l'onglet Ombrage) ;

$ha_{vit,j} [m]$: hauteur du vitrage de la fenêtre j étant égale à la hauteur de la fenêtre moins les épaisseurs de châssis en haut et bas de la fenêtre ;

$d_{haut,j} [m]$: distance entre le haut du bord du vitrage et le débordant de la fenêtre j (encodé par l'utilisateur dans l'onglet Ombrage) ;

$r...$ et $a... [-]$: paramètres numériques dépendant de la latitude de la station climatique choisie.

Les 36 différents paramètres $r...$ et $a...$ dépendent de la latitude de la station météo choisie exprimée en °, notée *Lat*.

Leurs valeurs pour le calcul de l'ombrage en période de chauffe sont différentes de celles pour le calcul de l'ombrage en période estivale. Celles-ci sont issues de la Thèse de Andrew W. Peel, "SOLAR GAINS IN A PASSIVE HOUSE, A Monthly Approach to Calculating Global, Irradiation Entering a Shaded Window", 1982, p.40, table 2.4.2.2a et 2.4.2.2b. Les expressions suivantes sont données à titre d'exemple :

$$r_{hori,h,Sud} = \begin{cases} 0,011087 \cdot Lat + 0,245267 & \text{si } Lat \leq 90^\circ \\ 0,011087 \cdot Lat + 0,245267 & \text{sinon} \end{cases} \quad (218)$$

$$r_{hori,h,Estouest} = \begin{cases} -0,000358 \cdot Lat + 0,439738 & \text{si } Lat \leq 90^\circ \\ -0,000358 \cdot Lat + 0,439738 & \text{sinon} \end{cases} \quad (219)$$

11.2 Apports solaires surfaciques bruts pour les mois fictifs

Nous allons à présent développer le calcul des apports solaires surfaciques bruts dans la direction Dir $Q_{solarbrut,Dir,i}$ pour les mois fictifs ResteJuillet, 12Jours, 4Jours et 1Jour.

Les apports solaires surfaciques bruts dans la direction Dir pour le mois de ResteJuillet est obtenu à partir de la méthode de calcul pour un mois réel (voir section 6.2) appliquée au mois de Juillet et des apports solaires surfaciques bruts des trois autres mois fictifs :

$$Q_{solarbrut,Dir,ResteJuillet} = Q_{solarbrut,Dir,Juliet} - Q_{solarbrut,Dir,12Jours} - Q_{solarbrut,Dir,4Jours} - Q_{solarbrut,Dir,1Jour} \quad (220)$$

Pour $i = 12Jours, 4Jours$ ou $1Jour$:

$$Q_{solarbrut,Dir,i} = t_i \cdot Q_{sd_{Dir,i}} \quad (221)$$

où $t_i [j]$: longueur de la période i exprimée en jours ;

$Q_{sd_{Dir,i}} [kWh/m^2]$: quantité de chaleur surfacique des apports solaires journaliers dans la direction Dir pour la période i .

$$Qsd_{Dir,1Jour} = \begin{cases} 0,024 \cdot \begin{cases} \sum_{j=1}^{N_{f,Dir}} \frac{q_{rayonvit,1Jour,j}}{A_{vit,Dir}} & \text{si } A_{vit,Dir} \neq 0 \\ q_{s_{rayon,Dir,1Jour}} & \text{si } A_{vit,Dir} = 0 \end{cases} & \text{si calculable} \\ Q_{s_{solarbrut,Dir,Juillet}} \cdot f_{add,MAX} \cdot \frac{t_{1Jour}}{t_{Juillet}} & \text{sinon} \end{cases} \quad (222)$$

$$Qsd_{Dir,4Jours} = \frac{Q_{s_{rayon,Dir,Juillet}}}{t_{Juillet}} + \frac{Qsd_{Dir,1Jour} - \frac{Q_{s_{rayon,Dir,Juillet}}}{t_{Juillet}}}{2} \quad (223)$$

$$Qsd_{Dir,12Jours} = \frac{Q_{s_{rayon,Dir,Juillet}}}{t_{Juillet}} + \frac{Qsd_{Dir,4Jours} - \frac{Q_{s_{rayon,Dir,Juillet}}}{t_{Juillet}}}{2} \quad (224)$$

où $N_{f,Dir}$ [-] : nombre de fenêtres dans l'orientation Dir ;

$q_{rayonvit,1Jour,j}$ [kW] : puissance thermique par rayonnement sur la surface vitrée de la fenêtre j pour la période 1Jour ;

$A_{vit,Dir}$ [m²] : surface totale de vitrage dans la direction Dir ;

$q_{s_{rayon,Dir,1Jour}}$ [kW/m²] : puissance thermique surfacique par rayonnement solaire dans la direction Dir pour la période 1Jour (onglet Données climatiques) ;

$Q_{s_{solarbrut,Dir,Juillet}}$ [kWh] : apports solaires surfaciques bruts dans la direction Dir pour le mois réel Juillet (cf section 6.2) ;

$f_{add,MAX}$ [-] : facteur solaire additionnel maximum (= 2) ;

t_i [j] : longueur de la période i ;

$Q_{s_{rayon,Dir,Juillet}}$ [kWh] : quantité de chaleur surfacique par rayonnement solaire dans la direction Dir pour le mois de Juillet (onglet Données climatiques).

Notons que les $q_{rayonvit,1Jour,j}$ pour chaque fenêtre j se calculent selon le même raisonnement que le calcul de $Q_{rayonvit,i,j}$ où i est un mois réel (voir section 6.2) à la seule différence près que les quantités de chaleur surfaciques $Q_{s_{rayonvit,Dir,i}}$ sont remplacées par les puissances thermiques surfaciques $q_{s_{rayon,Dir,1Jour}}$ d'un jour particulier référencé sous le nom de puissance frigorifique (cf onglet Données climatiques).

11.3 Apports solaires relatifs aux parois opaques

La quantité de chaleur des apports solaires relatifs aux parois opaques (orientation opaque) pour la période i $Q_{solarOpak,i}$ est calculée conformément à la section 6.3.

Il n'y pas lieu ici de subdiviser le calcul selon que le mois soit fictif ou non puisque, pour les mois fictifs, la valeur est obtenue directement à partir de $Q_{solarOpak,Juillet}$ du mois réel Juillet multipliée au prorata du nombre de jours du mois fictif par rapport aux 31 jours de juillet.

Pour i = ResteJuillet, 12Jours, 4Jours ou 1Jour :

$$Q_{solarOpak,i} = Q_{solarOpak,Juillet} \cdot \frac{t_i}{t_{Juillet}} \quad (225)$$

où

$Q_{solarOpak,Juillet}$ [kWh] : quantité de chaleur des apports solaires relatifs à l'orientation opaque pour le mois réel Juillet ;

t_i [j] : longueur de la période i ;

$t_{Juillet}$ [j] : longueur du mois réel Juillet en jours (= 31).

12 Déperditions par aération

Revenons à présent au calcul de la quantité de chaleur des déperditions nettes par aération nocturne $Q_{AN,i}$ et des déperditions nettes par aération par les fenêtres $Q_{AF,i}$.

12.1 Déperditions nettes par aération nocturne (ventilation mécanique intensive de nuit)

Les déperditions par aération nocturne $Q_{AN,i}$ représente les pertes engendrées par la ventilation mécanique intensive de nuit et sont déterminées via les expressions suivantes.

$$Q_{AN,i} = Q_{VeteCst,i} - Q_{hAN,i} \quad (226)$$

où

$Q_{VeteCst,i}$ [kWh] : déperditions de chaleur avec Ventilation mécanique intensive de nuit en été de la période i ;

$Q_{hAN,i}$ [kWh] : déperditions de chaleur sans Ventilation mécanique intensive de nuit en été de la période i.

Ces deux termes se calculent selon la même formule à la seule différence près que la constante de temps utilisée varie.

$$Q_{VeteCst,i} = \min(MAX_{Q_{VeteCst,i}} ; j_i \cdot C) \quad (227)$$

$$\begin{aligned} & T_{int,ventil,i} - \left\{ T_{ext,i} + \frac{\alpha_{T,ete}}{\frac{1}{\tau_V} + \tau_V \cdot \left(\frac{\pi}{12}\right)^2} \right. \\ & \cdot \left(\frac{1}{\tau_V} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{12} \cdot t_{fVE,i}\right) - \frac{\pi}{12} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{12} \cdot t_{fVE,i}\right) \right) \\ & + \left[T_{int,ventil,i} - T_{ext,i} - \frac{\alpha_{T,ete}}{\frac{1}{\tau_V} + \tau_V \cdot \left(\frac{\pi}{12}\right)^2} \right. \\ & \cdot \left. \left(\frac{1}{\tau_V} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{12} \cdot t_{fVE,i}\right) + \frac{\pi}{12} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{12} \cdot t_{fVE,i}\right) \right) \right] \\ & \cdot \left. \frac{1}{\tau_V} \cdot (12 + 2 \cdot t_{fVE,i}) \right\} / 1000 \end{aligned}$$

$$Q_{hAN,i} = \min(MAX_{Q_{VeteCst,i}} ; j_i \cdot C) \quad (228)$$

$$\begin{aligned} & T_{int,ventil,i} - \left\{ T_{ext,i} + \frac{\alpha_{T,ete}}{\frac{1}{\tau_{hV}} + \tau_{hV} \cdot \left(\frac{\pi}{12}\right)^2} \right. \\ & \cdot \left(\frac{1}{\tau_{hV}} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{12} \cdot t_{fVE,i}\right) - \frac{\pi}{12} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{12} \cdot t_{fVE,i}\right) \right) \\ & + \left[T_{int,ventil,i} - T_{ext,i} - \frac{\alpha_{T,ete}}{\frac{1}{\tau_{hV}} + \tau_{hV} \cdot \left(\frac{\pi}{12}\right)^2} \right. \\ & \cdot \left. \left(\frac{1}{\tau_{hV}} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{12} \cdot t_{fVE,i}\right) + \frac{\pi}{12} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{12} \cdot t_{fVE,i}\right) \right) \right] \\ & \cdot \left. \frac{1}{\tau_{hV}} \cdot (12 + 2 \cdot t_{fVE,i}) \right\} / 1000 \end{aligned}$$

où

$MAX_{Q_{VeteCst,i}}$ [kWh] : déperditions MAX par Ventilation Estivale Constante de la période i, cf section 12.4 ;

j_i [j] : longueur de la période i ;

C [Wh/K] : capacité thermique du bâtiment ;

$T_{int,ventil,i}$ [°C] : température intérieure pour ventilation de la période i, cf section 12.3 ;

$T_{ext,i}$ [°C] : température extérieure de la période i, cf équation 11 ;

$\alpha_{T,ete}$ [°C] : amplitude de température en été (valeur issue des données climatiques, sous le nom de fluctuation quotidienne été) ;

τ_V [h] : constante de temps avec ventilation constante, cf section 13 ;

$t_{fVE,i}$ [-] : t de fin de ventilation estivale, cf section 12.5.

12.2 Déperditions nettes par aération par les fenêtres (ventilation naturelle intensive de nuit par ouverture des fenêtres)

Les déperditions par aération par les fenêtres $Q_{AF,i}$ représente les pertes engendrées par la ventilation naturelle intensive de nuit par ouverture des fenêtres et sont déterminées via les expressions suivantes.

$$Q_{AF,i} = Q_{VeteNF,i} - Q_{hAF,i} \quad (229)$$

où

$Q_{VeteNF,i} [kWh]$: déperditions de chaleur avec Ventilation naturelle intensive de nuit par ouverture des fenêtres en été de la période i ;

$Q_{hAF,i} [kWh]$: déperditions de chaleur sans Ventilation naturelle intensive de nuit par ouverture des fenêtres en été de la période i .

Ces deux termes se calculent selon la même formule à la seule différence près que la constante de temps utilisée varie.

$$Q_{VeteNF,i} = \min(MAX_{Q_{VeteCsti}} ; \max(0 ; j_i \cdot C \cdot T_{int,ventil,i} - [T_{ext,i} - \frac{\alpha_{T,ete}}{1 + \frac{\tau_{AF,i} \cdot \pi}{12}} + (T_{int,ventil,i} - T_{ext,i} - \frac{\alpha_{T,ete}}{\tau_{AF,i} \cdot \frac{\pi}{12}}) \cdot e^{-\frac{12}{\tau_{AF,i}}}] / 1000)) \quad (230)$$

$$Q_{hAF,i} = \min(MAX_{Q_{VeteCsti}} ; \max(0 ; j_i \cdot C \cdot T_{int,ventil,i} - [T_{ext,i} - \frac{\alpha_{T,ete}}{1 + \frac{\tau_{hV} \cdot \pi}{12}} + (T_{int,ventil,i} - T_{ext,i} - \frac{\alpha_{T,ete}}{\tau_{hV} \cdot \frac{\pi}{12}}) \cdot e^{-\frac{12}{\tau_{hV}}}] / 1000)) \quad (231)$$

où

$MAX_{Q_{VeteCsti}} [kWh]$: déperditions MAX par Ventilation Estivale Constante de la période i , cf section 12.4 ;

$j_i [j]$: longueur de la période i en jours ;

$C [Wh/K]$: capacité thermique du bâtiment ;

$T_{int,ventil,i} [^{\circ}C]$: température intérieure pour ventilation de la période i , cf section 12.3 ;

$T_{ext,i} [^{\circ}C]$: température extérieure de la période i , cf équation 11 ;

$\alpha_{T,ete} [^{\circ}C]$: amplitude de température en été (valeur issue des données climatiques, sous le nom de fluctuation quotidienne été) ;

$\tau_{AF,i} [h]$: constante de temps de l'aération par fenêtre pour la période i , cf section 13 ;

$\tau_{hV} [h]$: constante de temps hors ventilation constante, cf section 13.

12.3 Température intérieure pour ventilation de la période i

La température intérieure pour ventilation de la période i $T_{int,ventil,i}$ est simplement égale à la température la plus haute entre, d'une part, la température de départ de la période i $T_{d,i}$ et d'autre part, la température limite de surchauffe θ_{max}

$$T_{int,ventil,i} = \max(T_{d,i} ; \theta_{max}) \quad (232)$$

où

$T_{d,i} [^{\circ}C]$: température de départ de la période i ;

$\theta_{max} [^{\circ}C]$: température limite de surchauffe ($=25^{\circ}C$).

12.4 Déperditions maximales par ventilation estivale constante de la période i

Les déperditions MAX par ventilation estivale constante de la période i évoquées précédemment se calculent selon la formule suivante :

$$MAX_{Q_{VeteCsti}} = \max \left(0 ; (T_{int,ventil,i} - T_{limite,ventil}) \cdot \frac{C}{1000} \cdot j_i \right) \quad (233)$$

où

$T_{int,ventil,i}$ [$^{\circ}C$] : température intérieure pour ventilation de la période i ;

$T_{limite,ventil}$ [$^{\circ}C$] : température limite de ventilation ou température intérieure minimale admissible (encodée par l'utilisateur) ;

C [Wh/K] : capacité thermique du bâtiment ;

j_i [j] : Longueur de la période i.

12.5 t de fin de ventilation estivale

Le t de fin de ventilation estivale $t_{fVE,i}$ se calcule suivant la formule :

$$t_{fVE,i} = \begin{cases} 6 & \text{si } T_{int,ventil,i} \geq T_{ext,i} + \alpha_{T,ete} \\ \frac{12}{\pi} \cdot \arcsin \left(\frac{T_{int,ventil,i} - T_{ext,i}}{\alpha_{T,ete}} \right) & \text{si } T_{ext,i} - \alpha_{T,ete} < T_{int,ventil,i} < T_{ext,i} + \alpha_{T,ete} \\ -6 & \text{si } T_{int,ventil,i} \leq T_{ext,i} - \alpha_{T,ete} \end{cases} \quad (234)$$

où

$T_{int,ventil,i}$ [$^{\circ}C$] : température intérieure pour ventilation de la période i ;

$T_{ext,i}$ [$^{\circ}C$] : température extérieure de la période i, cf équation 11 ;

$\alpha_{T,ete}$ [$^{\circ}C$] : amplitude de température en été (valeur issue des données climatiques, sous le nom de fluctuation quotidienne été).

13 Constantes de temps

Nous avons jusqu'à présent rencontré trois différentes constantes de temps : la constante de temps hors ventilation τ_{hV} , la constante de temps avec ventilation constante τ_V et la constante de temps de l'aération par fenêtre pour la période i $\tau_{AF,i}$ qui est la seule qui dépend de la période envisagée. Suivent ici les formules qui les différencient.

13.1 Constante de temps hors ventilation

La constante de temps hors ventilation a déjà été définie dans la section 8.4. Nous la rappelons ici pour faciliter la comparaison avec les autres constantes de temps au lecteur :

$$\tau_{hV} = \frac{C}{H_{trans} + H_{sol} + H_{EWU}} \quad (235)$$

où C [Wh/K] : Capacité thermique du bâtiment ;

H_{trans} [W/K] : conductance extérieure, cf équation 179 ;

H_{sol} [W/K] : conductance du sol, cf équation 180 ;

H_{EWU} [W/K] : conductance de l'échangeur géothermique, cf équation 181.

13.2 Constante de temps avec ventilation

La constante de temps avec ventilation constante s'obtient selon la formule :

$$\tau_V = \frac{C}{H_{trans} + H_{sol} + H_{EWU} + H_V} \quad (236)$$

où C [Wh/K] : Capacité thermique du bâtiment ;

H_{trans} [W/K] : conductance extérieure, cf équation 179 ;

H_{sol} [W/K] : conductance du sol, cf équation 180 ;

H_{EWU} [W/K] : conductance de l'échangeur géothermique, cf équation 181 ;

H_V [W/K] : Conductance de ventilation constante.

La conductance de ventilation constante s'obtient par :

$$H_V = \begin{cases} \frac{1}{\frac{1}{0,34 \cdot Ech_{air,VC} \cdot V_L} + \frac{1}{1,54 \cdot 5 \cdot A_{SRE}}} & \text{si } Ech_{air,VC} \neq 0 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (237)$$

où

$Ech_{air,VC}$ [vol/h] : échange d'air par ventilation constante ;

V_L [m^3] : volume d'air effectif, cf équation 14 ;

A_{SRE} [m^2] : surface de référence énergétique.

Avec :

$$Ech_{air,VC} = \begin{cases} \text{Taux de renouvellement respectif} & \text{si Ventilation mécanique en mode automatique} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (238)$$

Le taux de renouvellement respectif est encodé par l'utilisateur dans l'onglet Eté.

13.3 Constante de temps de l'aération par fenêtre pour la période i

La constante de temps de l'aération par fenêtre pour la période i s'obtient selon la formule :

$$\tau_{AF,i} = \begin{cases} \frac{C}{H_{trans} + H_{sol} + H_{EWU} + \frac{1}{\frac{1}{c_{p,air} \cdot Ech_{air,AF} \cdot V_L \cdot \sqrt{dT_{AF,i}}} + \frac{1}{1,54 \cdot 5 \cdot A_{SRE}}}} & \text{par défaut} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (239)$$

où C [Wh/K] : Capacité thermique du bâtiment ;
 H_{trans} [W/K] : conductance extérieure, cf équation 179 ;
 H_{sol} [W/K] : conductance du sol, cf équation 180 ;
 H_{EQU} [W/K] : conductance de l'échangeur géothermique, cf équation 181 ;
 $c_{p,air}$ [Wh/(m³K)] : capacité thermique massique de l'air à pression constante, valant 0,33 Wh/(m³K) ;
 $Ech_{air,AF}$ [vol/h] : échange d'air par aération par fenêtre ;
 V_L [m³] : volume d'air effectif, cf équation 14 ;
 $dT_{AF,i}$ [°C] : dT aération par fenêtre pour la période i.

Avec

$$Ech_{air,AF} = \begin{cases} \text{Taux de renouvellement respectif} & \text{si Ventilation manuelle nocturne par fenêtres} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (240)$$

Le taux de renouvellement respectif est encodé par l'utilisateur dans l'onglet Été.

$$dT_{AF,i} = (T_{int,ventil,i} - T_{ext,i}) \cdot \left(\frac{\min(0; t_{fVE,i})}{3} + 1 \right) + \frac{2}{\pi} \cdot \alpha_{T,ete} \cdot \left(2 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{12} \cdot \min(0; t_{fVE,i})\right) - 1 \right) \quad (241)$$

où

$T_{int,ventil,i}$ [°C] : température interne pour ventilation de la période i, cf section 12.3 ;
 $T_{ext,i}$ [°C] : température extérieure de la période i, cf équation 11 ;
 $t_{fVE,i}$ [-] : t de fin de ventilation estivale, cf section reft fin vent ;
 $\alpha_{T,ete}$ [°C] : amplitude de température en été (valeur issue des données climatiques, sous le nom de fluctuation quotidienne été).

14 Besoin frigorifique, méthode mensuelle

Le besoin frigorifique est évalué de manière mensuelle dans le PHPP. Comme pour la détermination de la fréquence de surchauffe, l'année est subdivisée en 15 périodes correspondant à chacun des mois de l'année mais dont le mois de juillet a été remplacé par quatre mois fictifs : un de 12 jours, un de 4 jours, un de 1 jour (souvent référencé sous le nom Charge de Refroidissement) et enfin, un de 14 jours appelé ResteJuillet (31 jours - 17 jours).

Le besoin frigorifique annuel correspond donc à la somme des besoins frigorifiques de chaque période, tel que définit par l'équation suivante :

$$Q_K = \sum_{i=1}^{12} Q_{K,i} \quad (242)$$

où

Q_K [kWh/an] : besoin frigorifique annuel ;
 $Q_{K,i}$ [kWh] : besoin frigorifique pour la période i.

$$Q_{K,i} = \max(0; Q_{Fe,i} - Q_{Vn,i}) \quad (243)$$

Avec

$$Q_{Vn,i} = \eta_{Ge,i} \cdot Q_{Ve,i} \quad (244)$$

où

$Q_{Fe,i}$ [kWh] : apports gratuits pour la période i, équivalent à $Q_{SommeAng,i}$ et développé en section ; 11
 $Q_{Vn,i}$ [kWh] : total des déperditions utilisables pour la période i ;
 $\eta_{Ge,i}$ [-] : degré d'utilisation des déperditions pour la période i, cf section 14.1 ;
 $Q_{Ve,i}$ [kWh] : déperditions totales pour la période i, cf section 14.2.

14.1 Degré d'utilisation des déperditions

Le degré d'utilisation est déterminé comme suit :

$$\eta_{Ge,i} = \begin{cases} \frac{a}{a+1} & \frac{Q_{Ve,i}}{Q_{Fe,i}} = 1 \\ \frac{1 - \left(\frac{Q_{Ve,i}}{Q_{Fe,i}}\right)^a}{1 - \left(\frac{Q_{Ve,i}}{Q_{Fe,i}}\right)^{(a+1)}} & \frac{Q_{Ve,i}}{Q_{Fe,i}} \neq 1 \end{cases} \quad (245)$$

Avec

$$a = 1 + \frac{\tau_{hV}}{16} \quad (246)$$

où

τ_{hV} [h] : constant de temps hors ventilation, définie par en section 8.4.
 $Q_{Fe,i}$ [kWh] : apports gratuits pour la période i, équivalent à $Q_{SommeAng,i}$ et développé en section ; 11
 $Q_{Ve,i}$ [kWh] : déperditions totales pour la période i, cf section 14.2.

14.2 Déperditions totales

Les déperditions par transmission et par ventilation sont déterminés de manière analogue à la méthode utilisée pour la détermination du besoin net en énergie de chauffage en méthode mensuelle. On constatera cependant que la température de consigne intérieure est plus élevée et que 2 termes supplémentaires intégrant la ventilation nocturne intensive s'ajoutent à l'expression comme illustré ci-dessous :

$$Q_{Ve,i} = Q_{trans,i} + Q_{sol,i} + Q_{EWU,i} + Q_{rad,i} + Q_{conv,i} + Q_{AN,i} + Q_{AF,i} \quad (247)$$

où

$Q_{trans,i}$ [kWh] : déperditions par transmission et ventilation avec l'extérieur défini par l'équation 27 dans laquelle H_{trans} est déterminée par l'équation 179 ;

$Q_{sol,i}$ [kWh] : déperditions par transmission au travers du sol défini par l'équation 30 ;
 $Q_{EWU,i}$ [kWh] : déperditions par ventilation dû au puits canadien défini par l'équation 31 dans laquelle H_{EWU} est déterminée par l'équation 181 ;
 $Q_{rad,i}$ [kWh] : déperditions par rayonnement au travers des parois opaques défini par l'équation 29 ;
 $Q_{conv,i}$ [kWh] : déperditions par convection au travers des parois opaques défini par l'équation 28 ;
 $Q_{AN,i}$ [kWh] : déperditions par aération nocturne, tel que défini en section 12.1 ;
 $Q_{AN,i}$ [kWh] : déperditions par aération via les fenêtres, tel que défini en section 12.2.

NB : Dans les équations déterminant les expressions ci-dessous, la température intérieure T_{int} sera remplacée par la température intérieure en été $T_{int,e}$ (équivalente à θ_{max} , température limite de surchauffe fixée à 25°C).

15 Appareils frigorifiques

Dans cette section, on calculera le besoin en froid utile latent, càd engendr e par la déshumidification. Ce besoin peut apparaître comme effet secondaire indésirable du refroidissement de l'air ou d'une déshumidification ciblée de l'air ambiant. Ce besoin en énergie utile pour climatisation et déshumidification est d etermin e pour 4 systèmes : Refroidissement par air frais, par convection, par surfaces et par déshumidification. Le PHPP évaluera pour chaque type de refroidissement la partie sensible et latente en fonction du besoin global en refroidissement.

$$q_{froid} = q_{froid,sens} + q_{froid,lat} \quad (248)$$

$$q_{froid,sens} = q_{R,neuf,sens} + q_{R,cons,sens} + q_{R,surf} \quad (249)$$

$$q_{froid,lat} = q_{R,neuf,lat} + q_{R,cons,lat} + q_{desh} \quad (250)$$

où

q_{froid} [$kWh/(m^2an)$] : besoin en froid couvert par les appareils frigorifiques ;

$q_{froid,sens}$ [$kWh/(m^2an)$] : partie sensible du besoin en froid couvert pour les appareils frigorifiques ;

$q_{froid,lat}$ [$kWh/(m^2an)$] : partie latente du besoin en froid couvert pour les appareils frigorifiques ;

$q_{R,neuf,sens}$ [$kWh/(m^2an)$] : partie sensible du besoin de refroidissement couvert par l'alimentation en air neuf, cf section 15.1 ;

$q_{R,conv,sens}$ [$kWh/(m^2an)$] : partie sensible du besoin de refroidissement par convection, cf section 15.2 ;

$q_{R,surf}$ [$kWh/(m^2an)$] : besoin de refroidissement surfacique ;

$q_{R,neuf,lat}$ [$kWh/(m^2an)$] : partie latente du besoin de refroidissement couvert par l'alimentation en air neuf, cf section 15.1 ;

$q_{R,conv,lat}$ [$kWh/(m^2an)$] : partie latente du besoin de refroidissement par convection, cf section 15.2 ;

q_{desh} [$kWh/(m^2an)$] : besoin de refroidissement couvert par la déshumidification, cf section 15.3.

15.1 Refroidissement par air neuf

Pour la détermination du besoin de refroidissement couvert par l'air neuf, les deux paramètres à renseigner sont la température de consigne minimale de la batterie de froid et si l'équipement est programm e en fonction d'une horloge. Ce besoin de refroidissement comprend une partie sensible et une partie latente.

Intéressons-nous tout d'abord à la partie sensible de ce besoin.

$$q_{R,neuf,sens} = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_{R,neuf,sens,moy,i} \cdot t_i \cdot 0,024}{A_{SRE}} \quad (251)$$

où

$P_{R,neuf,sens,moy,i}$ [W] : puissance frigorifique moyenne sensible par air neuf pour le mois i ;

t_i [j] : longueur du mois i ;

i : mois i consid er e ;

A_{SRE} [m^2] : surface de référence énergétique.

$$P_{R,neuf,sens,moy,i} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0 \\ \min \left\{ \begin{array}{l} P_{froid,sens,i} \\ c_{p,air} \cdot n_{L,VMC} \cdot V_L \cdot (T_{ext,i} - T_{R,neuf,i}) \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (252)$$

où

$P_{froid,sens,i}$ [W] : capacité de refroidissement sensible pour le mois i , cf équation 253 ;

$c_{p,air}$ [$Wh/(m^3K)$] : capacité thermique massique de l'air à pression constante, valant $0,33 Wh/(m^3K)$;

$n_{L,VMC}$ [vol/h] : renouvellement d'air relatif à la VMC en été (encod e par l'utilisateur dans l'onglet été) ;

V_L [m^3] : volume d'air effectif, cf équation 14 ;

$T_{ext,i}$ [$ C$] : température extérieure pour le mois i telle que définie par l'équation 11 ;

$T_{R,neuf,i}$ [$ C$] : température de l'air d'alimentation atteinte pour le refroidissement.

La capacité de refroidissement sensible pour la p eriod e i est d etermin e comme suit :

$$P_{froid,sens,i} = \frac{Q_{K,i}}{t_i \cdot 0,024} \quad (253)$$

où

$Q_{K,i}$ [kWh] : besoin de froid pour le mois i , cf équation 243.

La température de l'air d'alimentation atteinte pour le refroidissement est calculé de la manière suivante :

$$T_{R,neuf,i} = T_{ext,i} - f_{desh} \cdot (T_{ext,i} - T_{froid,surf,i}) \quad (254)$$

avec

$$T_{froid,surf,i} = \begin{cases} T_{cons,min,bat} & \text{si l'équipement est programmé} \\ & \text{en fonction d'une horloge} \\ \max \left(T_{cons,min,bat}; T_{ext,i} - \frac{T_{ext,i} - T_{air,app,i}}{f_{desh}} \right) & \text{sinon} \end{cases} \quad (255)$$

$$T_{air,app,i} = T_{ext,i} - \frac{P_{froid,sens,i}}{c_{p,air} \cdot n_{L,VMC} \cdot V_L} \quad (256)$$

où

$T_{ext,i}$ [°C] : température extérieure pour le mois i telle que définie par l'équation 11 ;

f_{desh} [-] : facteur de déshumidification, étant égal à $\frac{0,7}{0,85}$;

$T_{froid,surf,i}$ [°C] : température de refroidissement surfacique par air neuf ;

$T_{cons,min,bat}$ [°C] : température de consigne minimale de la batterie de froid (à encoder par l'utilisateur) ;

$T_{air,app,i}$ [°C] : température de l'air d'alimentation ;

$P_{froid,sens,i}$ [W] : capacité de refroidissement sensible pour le mois i , cf équation 253 ;

$c_{p,air}$ [Wh/(m³K)] : capacité thermique massique de l'air à pression constante, valant 0,33 Wh/(m³K) ;

$n_{L,VMC}$ [vol/h] : renouvellement d'air relatif à la VMC en été (encodé par l'utilisateur dans l'onglet été) ;

V_L [m³] : volume d'air effectif, cf équation 14.

Nous allons maintenant décrire la partie latente de ce besoin. De manière analogue, le besoin annuel résulte de la somme des besoins mensuels.

$$q_{R,neuf,lat} = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_{R,neuf,lat,moy,i} \cdot t_i \cdot 0,024}{A_{SRE}} \quad (257)$$

où

$P_{R,neuf,lat,moy,i}$ [W] : puissance frigorifique moyenne latente par air neuf pour le mois i ;

t_i [j] : longueur du mois i ;

i : mois i considéré ;

A_{SRE} [m²] : surface de référence énergétique.

$$P_{R,neuf,lat,moy,i} = \begin{cases} \text{si l'équipement est programmé} \\ \text{en fonction d'une horloge} \\ \text{sinon} \end{cases} \begin{cases} \min \left(1; \left(\frac{P_{R,neuf,sens,moy,i}}{P_{R,neuf,sens,prog,i}} \right)^2 \right) \cdot P_{R,neuf,lat,max,i} \\ \text{si } P_{R,neuf,sens,prog,i} > 0 \\ 0 \\ \text{sinon} \end{cases} \cdot P_{R,neuf,lat,max,i} \quad (258)$$

où

$P_{R,neuf,sens,prog,i}$ [W] : puissance frigorifique sensible programmée ;

$P_{R,neuf,lat,max,i}$ [W] : puissance de refroidissement latent maximum .

$$P_{R,neuf,sens,prog,i} = c_{p,air} \cdot n_{L,VMC} \cdot V_L \cdot (T_{ext,i} - T_{air,pulse,i}) \quad (259)$$

$$P_{R,neuf,lat,max,i} = \frac{m_{desh,max,i}}{3,6} \cdot 2550 \quad (260)$$

où $c_{p,air}$ [Wh/(m³K)] : capacité thermique massique de l'air à pression constante, valant 0,33 Wh/(m³K) ;

$n_{L,VMC}$ [vol/h] : renouvellement d'air relatif à la VMC en été (encodé par l'utilisateur dans l'onglet été) ;
 V_L [m³] : volume d'air effectif, cf équation 14 ;
 $T_{ext,i}$ [°C] : température extérieure pour le mois i telle que définie par l'équation 11 ;
 $T_{air,pulse,i}$ [°C] : température de l'air pulsé ;
 $m_{desh,max,i}$: quantité maximum de déshumidification par heure exprimée en kg par heure.

Avec

$$T_{air,pulse,i} = T_{ext,i} - f_{desh} \cdot (T_{ext,i} - T_{cons,min,bat}) \quad (261)$$

$$(262)$$

où $T_{ext,i}$ [°C] : température extérieure pour le mois i telle que définie par l'équation 11 ;

f_{desh} [-] : facteur de déshumidification, étant égal à $\frac{0,7}{0,85}$;

$T_{cons,min,bat}$ [°C] : température de consigne minimale de la batterie de froid (à encoder par l'utilisateur).

Et

$$m_{desh,max,i} = \max \{0; (r_{ext,i} - r_{airhum,i}) \cdot \rho_{air} \cdot n_{L,VMC} \cdot V_L\} \quad (263)$$

$$r_{ext,i} = \frac{M_{vap}}{M_{air}} \cdot \frac{p_{vap,ext,i}}{p - p_{vap,ext,i}} \quad (264)$$

$$r_{airhum,i} = r_{ext,i} - f_{desh} \cdot (r_{ext,i} - r_{int,stat,i}) \quad (265)$$

$$p_{vap,ext,i} = 611 \cdot \exp(1,913 \cdot 10^{-4} + 0,0726 \cdot T_{prose,i} - 2,939 \cdot 10^{-4} \cdot T_{prose,i}^2 + 9,841 \cdot 10^{-7} \cdot T_{prose,i}^3 + 1,92 \cdot 10^{-9} \cdot T_{prose,i}^4) \quad (266)$$

où

$r_{ext,i}$ [-] : rapport de mélange de l'air extérieur ;

$r_{airhum,i}$ [-] : rapport de mélange de l'air humide ;

ρ_{air} [kg/m³] : masse volumique de l'air, valant 1,18 kg/m³ ;

$c_{p,air}$ [Wh/(m³K)] : capacité thermique massique de l'air à pression constante, valant 0,33 Wh/(m³K) ;

$n_{L,VMC}$ [vol/h] : renouvellement d'air relatif à la VMC en été (encodé par l'utilisateur dans l'onglet été) ;

V_L [m³] : volume d'air effectif, cf équation 14 ;

$\frac{M_{vap}}{M_{air}}$ [-] : rapport entre la masse molaire de la vapeur d'eau et de l'air, valant 0,6222 ;

p [Pa] : pression atmosphérique, fixée à 101 300 Pa ;

$p_{vap,ext,i}$ [Pa] : pression de vapeur saturant de l'air extérieur ;

$T_{prose,i}$ [°C] : température de point de rosée (issue des données climatiques) ;

$r_{int,stat,i}$ [-] : rapport de mélange de l'air intérieur.

Le rapport de mélange de l'air intérieur $r_{int,stat,i}$ est calculé de façon similaire à $r_{ext,i}$ (cf équation 264) si ce n'est que la pression de vapeur saturant de l'air extérieur, $p_{vap,ext,i}$ sera remplacée par la pression de vapeur saturant de l'air intérieur, $p_{vap,int,i}$. Celle-ci sera déterminé par l'équation 266 et sera fonction de la température de refroidissement surfacique par air neuf $T_{froid,surf,i}$ (cf équation 255).

15.2 Refroidissement par convection

Pour la détermination du besoin de refroidissement couvert par convection, les trois paramètres à renseigner sont la température de consigne minimale de la batterie de froid, si l'équipement est programmé en fonction d'une horloge et le débit d'air.

Nous allons tout d'abord décrire la partie sensible de ce besoin.

$$q_{R,conv,sens} = \frac{\sum_{i=1}^{12} \cdot P_{R,conv,sens,i} \cdot t_i \cdot 0,024}{A_{SRE}} \quad (267)$$

où

$P_{R,conv,sens,i}$ [W] : puissance de refroidissement sensible par convection du mois i ;

t_i [j] : longueur du mois i ;

i : mois i considéré ;

A_{SRE} [m^2] : surface de référence énergétique.

$$P_{R,conv,sens,i} = \max\{0; \min(P_{n,conv,sens,i}; c_{p,air} \cdot v_{an} \cdot (\theta_{max} - T_{alim,i}))\} \quad (268)$$

où

$P_{n,conv,sens,i}$ [W] : capacité de refroidissement sensible par convection pour le mois i ;

$c_{p,air}$ [$Wh/(m^3K)$] : capacité thermique massique de l'air à pression constante, valant $0,33 Wh/(m^3K)$;

v_{an} [m^3/h] : débit d'air encodé par l'utilisateur;

θ_{max} [$^{\circ}C$] : température intérieure en été, correspondant à la température limite de surchauffe (encodé par l'utilisateur dans l'onglet été);

$T_{alim,i}$ [$^{\circ}C$] : température de l'air d'alimentation atteinte pour le refroidissement par convection.

$$P_{n,conv,sens,i} = P_{froid,sens,i} - P_{R,neuf,sens,moy,i} \quad (269)$$

$$T_{alim,i} = \theta_{max} - f_{desh} \cdot (\theta_{max} - T_{conv,surf,i}) \quad (270)$$

$$T_{conv,surf,i} = \begin{cases} \text{si l'équipement est programmé} & \\ \text{en fonction d'une horloge} & T_{cons,min,bat} \\ \text{sinon} & \max\left(T_{cons,min,bat}; \theta_{max} - \frac{\theta_{max} - T_{souf,i}}{f_{desh}}\right) \end{cases} \quad (271)$$

$$T_{souf,i} = \begin{cases} \theta_{max} - \frac{P_{n,conv,sens,i}}{c_{p,air} \cdot v_{an}} & \text{si } v_{an} > 0 \\ \theta_{max} & \text{sinon} \end{cases} \quad (272)$$

où

$P_{froid,sens,i}$ [W] : capacité de refroidissement moyenne sensible pour le mois i , calculé par l'équation 253;

$P_{R,neuf,sens,moy,i}$ [W] : puissance frigorifique moyenne sensible par air neuf pour le mois i , calculé par l'équation 252;

$T_{conv,surf,i}$ [$^{\circ}C$] : température de refroidissement surfacique par convection;

θ_{max} [$^{\circ}C$] : température intérieure en été, correspondant à la température limite de surchauffe (encodé par l'utilisateur dans l'onglet été);

$T_{cons,min,bat}$ [$^{\circ}C$] : température de consigne minimale de la batterie de froid (à encoder par l'utilisateur);

$T_{souf,i}$ [$^{\circ}C$] : température de soufflage de l'air;

f_{desh} [-] : facteur de déshumidification, étant égal à $\frac{0,7}{0,85}$;

$c_{p,air}$ [$Wh/(m^3K)$] : capacité thermique massique de l'air à pression constante, valant $0,33 Wh/(m^3K)$;

v_{an} [m^3/h] : débit d'air encodé par l'utilisateur.

Nous allons maintenant examiner la partie latente de ce besoin.

$$q_{R,conv,lat} = \frac{\sum_{i=1}^{12} .P_{R,conv,lat,i} \cdot t_i \cdot 0,024}{A_{SRE}} \quad (273)$$

où

$P_{R,conv,lat,i}$ [W] : puissance de refroidissement latent par convection du mois i ;

t_i [j] : longueur du mois i ;

i : mois i considéré;

A_{SRE} [m^2] : surface de référence énergétique.

$$P_{R,conv,lat,i} = \begin{cases} \text{si l'équipement est programmé} & \\ \text{en fonction d'une horloge} & \begin{cases} \min\left(1; \left(\frac{P_{R,conv,sens,i}}{P_{R,conv,sens,prog,i}}\right)^2\right) \cdot P_{R,conv,lat,max,i} \\ \text{si } P_{R,conv,sens,prog,i} > 0 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \\ \text{sinon} & P_{R,conv,lat,max,i} \end{cases} \quad (274)$$

où $P_{R,conv,sens,i}$ [W] : puissance de refroidissement sensible par convection du mois i , cf équation 268 ;
 $P_{R,conv,sens,prog}$ [W] : puissance frigorifique sensible programmée par convection ;
 $P_{R,conv,lat,max,i}$ [W] : puissance de refroidissement latent maximum par convection.

$$P_{R,conv,sens,prog} = c_{p,air} \cdot v_{an} \cdot (\theta_{max} - T_{conv,pulse}) \quad (275)$$

$$P_{R,conv,lat,max,i} = \frac{m_{desh,conv,max,i}}{3,6} \cdot 2550 \quad (276)$$

$$T_{conv,pulse} = \theta_{max} - f_{desh} \cdot (\theta_{max} - T_{cons,min,bat}) \quad (277)$$

$$m_{desh,conv,max,i} = \max(0; (r_{mois,i} - r_{airhum,conv,i}) \cdot \rho_{air} \cdot v_{an}) \quad (278)$$

où $c_{p,air}$ [Wh/(m³K)] : capacité thermique massique de l'air à pression constante, valant 0,33 Wh/(m³K) ;
 v_{an} [m³/h] : débit d'air encodé par l'utilisateur ;

θ_{max} [°C] : température intérieur en été, correspondant à la température limite de surchauffe (encodé par l'utilisateur dans l'onglet été) ;

$T_{conv,pulse,i}$ [°C] : température de l'air pulsé pour la convection ;

f_{desh} [-] : facteur de déshumidification, étant égal à $\frac{0,7}{0,85}$;

$T_{cons,min,bat}$ [°C] : température de consigne minimale de la batterie de froid (à encoder par l'utilisateur) ;

$m_{desh,conv,max,i}$ [kg/h] : quantité maximum de déshumidification par heure exprimée en kg par heure pour la convection ;

$r_{mois,i}$ [-] : rapport de mélange d'air humide en début de période ;

$r_{airhum,conv,i}$ [-] : rapport de mélange d'air humide pour la convection ;

ρ_{air} [kg/m³] : masse volumique de l'air, valant 1,18 kg/m³.

Le rapport de mélange de l'air humide $r_{airhum,conv,i}$ est calculé de façon similaire à $r_{ext,i}$ (cf équation 264) si ce n'est que la pression de vapeur saturant de l'air extérieur, $p_{vap,ext,i}$ sera remplacée par la pression de vapeur saturant de l'air intérieur, $p_{vap,int,conv,i}$. Celle-ci sera déterminé par l'équation 266 et sera fonction de la température de refroidissement surfacique par convection $T_{conv,surf,i}$.

$$r_{mois,i} = \min \left\{ \frac{r_{max,abs}}{1000} ; \max \left(\frac{r_{mois,init}}{1000} ; r_{Humid,mois,i-1} \right) \right\} \quad (279)$$

si $i = 1$ alors $r_{Humid,mois,i-1} = 0$

$$r_{Humid,mois,i} = \begin{cases} r_{humid,i} + (r_{mois,i} - r_{humid,i}) \cdot \exp \left(\frac{-m_{air,ext,max,i}}{c_{HR} \cdot A_{SRE}} \cdot t_i \cdot 24 \right) & \text{si } c_{HR} > 0 \\ r_{humid,i} & \text{sinon} \end{cases} \quad (280)$$

$$r_{humid,i} = r_{ext,i} + \frac{m_{refr,i} + m_{int,i}}{m_{air,ext,max,i}} \quad (281)$$

$$m_{air,ext,max,i} = (n_{L,VMC} + n_{L,frei} + n_{L,reste,e} + c_{AN,i} + c_{AF,i}) \cdot 1,18 \cdot V_L \quad (282)$$

où

$r_{max,abs,i}$ [g/kg] : rapport de mélange d'air à humidité maximale absolue, à encoder par l'utilisateur. Une valeur limite de 12 g/kg, correspondant à un temps lourd, est proposée par le programme ;

$r_{mois,init}$ [g/kg] : rapport de mélange d'air humide en début de période de refroidissement, fixée à 8 g/kg ;

$r_{mois,i}$ [-] : rapport de mélange d'air à humide au début du mois i ;

$r_{Humid,mois,i}$ [-] : rapport de mélange d'air à humide absolue du mois i ;

$r_{humid,i}$ [-] : rapport de mélange de l'air humide ;

$m_{air,ext,max,i}$ [kg/h] : flux massique d'humidité dans l'air extérieur en été par heure ;

c_{HR} [g/(g/kg)/m²] : capacité d'absorption d'humidité du bâtiment par mètre carré de surface de référence énergétique, exprimée en g/(g/kg)/m², à encoder par l'utilisateur. Une valeur typique de 700g/(g/kg)/m² est proposée ;

$r_{ext,i}$ [-] : rapport de mélange de l'air extérieur, calculé par l'équation 264 ;

$m_{refr,i}$ [kg/h] : flux massique de déshumidification par refroidissement, cf équation 285 ;

$m_{int,i}$ [kg/h] : flux massique d'humidité interne, cf équation 288 ;

$n_{L,VMC}$ [vol/h] : Renouvellement d'air relatif à la VMC (encodé par l'utilisateur dans l'onglet "Eté") ;

$n_{L,frei}$ [vol/h] : Renouvellement d'air libre, correspondant au renouvellement d'air par infiltration-ventilation naturelle (fenêtres et fentes) ou extraction mécanique, en été (encodé par l'utilisateur dans l'onglet "Eté") ;

$n_{L,reste,e}$ [vol/h] : Renouvellement d'air relatif à l'infiltration-exfiltration non contrôlée en été, étant nul si $n_{L,frei}$ est différent de zéro et étant égal à $n_{L,reste}$ sinon (cf section 5.2) ;

$c_{AN,i}$ [vol/h] : taux d'échange d'air par aération nocturne (ventilation mécanique intensive de nuit) ;
 $c_{AF,i}$ [vol/h] : taux d'échange d'air par les fenêtres (ventilation naturelle intensive de nuit par ouverture des fenêtres).

$$c_{AN,i} = Ech_{air,VC} \cdot \frac{t_{fVE,i} + 6}{12} \quad (283)$$

$$c_{AF,i} = Ech_{air,AF} \cdot \sqrt{dT_{AF,i}} \cdot \frac{12}{24} \quad (284)$$

$$m_{refr,i} = m_{desh,airneuf,i} - m_{desh,conv,i} \quad (285)$$

$$m_{desh,airneuf,i} = \begin{cases} \min \left\{ 1; \left(\frac{P_{R,neuf,sens,moy,i}}{P_{R,neuf,sens,prog,i}} \right)^2 \cdot m_{desh,max,i} \right\} & \text{si } P_{R,neuf,sens,prog,i} > 0 \\ m_{desh,max,i} & \text{sinon} \end{cases} \quad (286)$$

$$m_{desh,conv,i} = \begin{cases} \min \left\{ 1; \left(\frac{P_{R,conv,sens,i}}{P_{R,conv,sens,prog,i}} \right)^2 \cdot m_{desh,conv,max,i} \right\} & \text{si } P_{R,conv,sens,prog,i} > 0 \\ m_{desh,conv,max,i} & \text{sinon} \end{cases} \quad (287)$$

$$m_{int} = \frac{s_{hum}}{1000} \cdot A_{SRE} \quad (288)$$

$Ech_{air,VC}$ [vol/h] : échange d'air par Ventilation Constante, déterminé par l'équation 238 ;

$Ech_{air,AF}$ [vol/h] : échange d'air par Ventilation pour ouverture des fenêtres, déterminé par l'équation 240 ;

$t_{fVE,i}$ [-] : t de fin de ventilation estivale, cf section 12.5 ;

$dT_{AF,i}$ [°C] : dT Aération par Fenêtre pour la période i, calculé par l'équation 241 ;

$m_{desh,airneuf,i}$ [kg/h] : flux massique moyen de déshumidification par air neuf ;

$m_{desh,conv,i}$ [kg/h] : flux massique moyen de déshumidification par convection ;

$P_{R,neuf,sens,moy,i}$ [W] : puissance frigorifique moyenne sensible par air neuf pour le mois i, cf équation 252 ;

$P_{R,neuf,sens,prog,i}$ [W] : Puissance frigorifique sensible programmée, cf équation 259 ;

$m_{desh,max,i}$ [kg/h] : quantité maximum de déshumidification par heure exprimée en kg par heure, cf équation 263 ;

$P_{R,conv,sens,i}$ [W] : puissance frigorifique sensible par convection pour le mois i, cf équation 268 ;

$P_{R,conv,sens,prog,i}$ [W] : puissance frigorifique sensible programmée par convection, cf équation 275 ;

$m_{desh,conv,max,i}$ [kg/h] : quantité maximum de déshumidification par heure exprimée en kg par heure pour la convection, cf équation 278 ;

s_{hum} [g/(m²h)] : source d'humidité, donnée à encoder par l'utilisateur. Une valeur typique de 2 g/(m²h) est proposée pour les bâtiments résidentiels.

15.3 Déshumidification supplémentaire

La déshumidification supplémentaire comprend uniquement une partie latente. Elle nécessite l'encodage de trois paramètres : Le taux d'humidité maximale absolue, le débit d'humidité à la source, la capacité d'absorption d'humidité du bâtiment.

$$q_{desh} = \frac{\sum_{i=1}^{12} Q_{desh,i}}{A_{SRE}} \quad (289)$$

où

$Q_{desh,i}$ [kWh] : demande totale en énergie pour la déshumidification pour le mois i ;

i : mois i considéré ;

A_{SRE} [m²] : surface de référence énergétique.

$$Q_{desh,i} = \begin{cases} (t_i \cdot 24 - h_{exed,i}) \cdot \frac{P_{desh,i}}{1000} & \text{si } h_{exed,i} > 0, h_{exed,i} < t_i \cdot 24 \\ & \text{et si } r_{humid,i} \geq r_{max,abs} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (290)$$

$$P_{desh,i} = (m_{cons,ext,i} + m_{refr,i} + m_{int}) \cdot \frac{2550}{3.6} \quad (291)$$

$$h_{exed,i} = -c_{HR} \cdot \frac{A_{SRE}}{m_{air,ext,max,i}} \cdot \ln \left(\frac{\frac{r_{max,abs}}{1000} - r_{humid,i}}{r_{mois,i} - r_{humid,i}} \right) \quad (292)$$

$$m_{cons,ext,i} = m_{air,ext,max,i} \cdot \left(r_{ext,i} - \frac{r_{max,abs}}{1000} \right) \quad (293)$$

où

$P_{desh,i}$ [W] : puissance de déshumidification pour le mois i ;

$h_{exed,i}$ [h] : nombre d'heures excédentaire ;

$m_{cons,ext,i}$ [kg/h] : charge d'humidité de l'air extérieur au point de consigne d'humidité ;

$m_{refr,i}$ [kg/h] : flux massique de déshumidification par refroidissement, cf équation 285 ;

$m_{int,i}$ [kg/h] : Flux massique d'humidité interne, cf équation 288 ;

c_{HR} [g/(g/kg)/m²] : capacité d'absorption d'humidité du bâtiment par mètre carré de surface de référence énergétique, à encoder par l'utilisateur. Une valeur typique de 700g/(g/kg)/m² est proposée ;

$m_{air,ext,max,i}$ [kg/h] : flux massique d'humidité dans l'air extérieur en été par heure, cf équation 282 ;

$r_{max,abs,i}$ [g/kg] : rapport de mélange d'air à humidité maximale absolue, à encoder par l'utilisateur. Une valeur limite de 12 g/kg, correspondant à un temps lourd, est proposée par le programme ;

$r_{mois,i}$ [-] : rapport de mélange d'air à humide au début du mois i , cf équation 279 ;

$r_{humid,i}$ [-] : Rapport de mélange de l'air humide, cf équation 281 ;

$r_{ext,i}$ [-] : Rapport de mélange de l'air extérieur, cf équation 264.

15.4 Refroidissement surfacique

Le refroidissement surfacique comprend uniquement une partie sensible et ne demande pas l'encodage de paramètres supplémentaires. Il concernera par exemple le refroidissement au moyen de plafond "froid" ou de noyau de béton "actif".

$$q_{R,surf} = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_{R,surf,i} \cdot t_i \cdot 0,024}{A_{SRE}} \quad (294)$$

$$P_{R,surf,i} = P_{n,conv,sens,i} - P_{R,conv,sens,i} \quad (295)$$

$P_{R,surf,i}$ [W] : puissance de refroidissement surfacique du mois i ;

$P_{R,conv,sens,i}$ [W] : puissance de refroidissement sensible par convection du mois i , cf équation 268 ;

$P_{n,conv,sens,i}$ [W] : capacité de refroidissement sensible par convection pour le mois i , cf équation 269 ;

t_i [j] : longueur du mois i ;

i : mois i considéré ;

A_{SRE} [m²] : surface de référence énergétique.

Troisième partie

Energie primaire

16 Calcul de l'énergie primaire

Le calcul de l'énergie primaire et des émissions de CO_2 tient compte des consommations pour la production de chauffage, d'eau chaude sanitaire, d'électricité des auxiliaires et des appareils domestiques.

$$E_p = E_{p,el} + E_{p,PAC} + E_{p,multi} + E_{p,chaudiere} + E_{p,chaufurb} + E_{p,autre} + E_{p,refr} \quad (296)$$

$$E_{CO_2} = E_{CO_2,el} + E_{CO_2,PAC} + E_{CO_2,multi} + E_{CO_2,chaudiere} + E_{CO_2,chaufurb} + E_{CO_2,autre} + E_{CO_2,refr} \quad (297)$$

où E_p [$kWh/(m^2an)$] : consommation spécifique en énergie primaire nécessaire pour la production de chauffage, d'eau chaude sanitaire, d'électricité des auxiliaires et des appareils domestiques ou des équipements ;

E_{CO_2} [$kg/(m^2an)$] : émissions spécifiques en CO_2 équivalent pour la production de chauffage, d'eau chaude sanitaire, d'électricité des auxiliaires et des appareils domestiques ou des équipements ;

$E_{p,el}$ [$kWh/(m^2an)$], $E_{CO_2,el}$ [$kg/(m^2an)$] : consommation spécifique en énergie primaire, émissions spécifiques en CO_2 équivalent en électricité (sans pompe à chaleur) ;

$E_{p,PAC}$ [$kWh/(m^2an)$], $E_{CO_2,PAC}$ [$kg/(m^2an)$] : consommation spécifique en énergie primaire, émissions de CO_2 de la pompe à chaleur ;

$E_{p,multi}$ [$kWh/(m^2an)$], $E_{CO_2,multi}$ [$kg/(m^2an)$] : consommation spécifique en énergie primaire, émissions spécifiques en CO_2 équivalent du système multi-intégré avec pompe à chaleur électrique ;

$E_{p,chaudiere}$ [$kWh/(m^2an)$], $E_{CO_2,chaudiere}$ [$kg/(m^2an)$] : consommation spécifique en énergie primaire, émissions spécifiques en CO_2 équivalent de la chaudière ;

$E_{p,chaufurb}$ [$kWh/(m^2an)$], $E_{CO_2,chaufurb}$ [$kg/(m^2an)$] : consommation spécifique en énergie primaire, émissions spécifiques en CO_2 équivalent du système de chauffage urbain ;

$E_{p,autre}$ [$kWh/(m^2an)$], $E_{CO_2,autre}$ [$kg/(m^2an)$] : consommation spécifique en énergie primaire, émissions spécifiques en CO_2 équivalent d'un autre système de chauffage ;

$E_{p,refr}$ [$kWh/(m^2an)$], $E_{CO_2,refr}$ [$kg/(m^2an)$] : consommation spécifique en énergie primaire, émissions spécifiques en CO_2 équivalent du système de refroidissement avec pompe à chaleur électrique.

De manière générale, chaque terme ou sous-terme des expressions ci-dessus est déterminé de la manière suivante :

Pour $i = el, PAC, multi, chaudiere, chaufurb, autre, refr$:

$$E_{p,i} = f_{p,i} \cdot q_i \quad (298)$$

$$E_{CO_2,i} = f_{CO_2,i} \cdot q_i \quad (299)$$

où $E_{p,i}$ [$kWh/(m^2an)$] : consommation en énergie primaire du système de production i ;

$E_{CO_2,i}$ [$kg/(m^2an)$] : émissions équivalentes en CO_2 du système de production i ;

$f_{p,i}$ [-] : facteur de conversion en énergie primaire du vecteur énergétique utilisé par le système de production i ;

$f_{CO_2,i}$ [kg/kWh] : facteur de conversion en émissions en CO_2 équivalent du vecteur énergétique utilisé par le système de production i ;

q_i [$kWh/(m^2an)$] : consommation spécifique en énergie finale du système de production i ;

Tableau des facteurs de conversion en énergie primaire et facteurs de conversion en émissions en CO_2 équivalent de divers vecteurs énergétiques

Vecteur énergétique	$f_{p,i}$	$f_{CO_2,i}$
Fuel	1	0,31
Gaz naturel	1	0.25
Gaz liquéfié	1	0.27
Charbon	1	0.44
Bois	1	0,05
Mix d'électricité	2,5	0,68
Electricité photovoltaïque	-2,5	0,25

Les consommations spécifique total sont détaillées dans les sections suivantes pour les différents postes i , à savoir l'électricité, la pompe à chaleur, les systèmes multi-intégré, les chaudières, les autres systèmes et les systèmes de refroidissement.

16.1 Consommation en électricité (sans pompe à chaleur)

La consommation spécifique totale en électricité est définie comme suit :

$$q_{el} = q_{H,de} + q_{WW,de} + q_{WW,appoint} + q_{EHH} + q_{aux} \quad (300)$$

où

$q_{H,de}$ [$kWh/(m^2an)$] : consommation spécifique pour le chauffage en électricité directe ;

$q_{WW,de}$ [$kWh/(m^2an)$] : consommation spécifique pour l'ECS en électricité directe (hors ECS lessive et vaisselle) ;

$q_{WW,appoint}$ [$kWh/(m^2an)$] : consommation spécifique en électricité directe pour les appoints ECS lessive et vaisselle ;

q_{EHH} [$kWh/(m^2an)$] : consommation spécifique en électricité des appareils électroménagers ou des équipements ;

q_{aux} [$kWh/(m^2an)$] : consommation spécifique en électricité des auxiliaires, cf section 21).

avec :

$$q_{H,de} = q_{H,HL} \cdot t_{c_{chauf,el}} \quad (301)$$

$$q_{WW,de} = (q_{g,ECS} - q_{g,solar}) \cdot t_{c_{ECS,el}} - q_{WW,appoint} \quad (302)$$

$$q_{WW,appoint} = t_{c_{ECS,el}} \cdot q_{g,LV,nrne} \cdot t_{c_{ECS,el}} \quad (303)$$

$$q_{EHH} = q_{EHH,Totaux} - q_{aux} \quad (304)$$

où

$q_{H,HL}$ [$kWh/(m^2an)$] : besoin brut spécifique de chauffage, pertes par distribution comprises ;

$q_{g,ECS}$ [$kWh/(m^2an)$] : besoin brut spécifique de chaleur pour le système d'eau chaude sanitaire, tel que défini par l'équation 313 ;

$q_{g,solar}$ [$kWh/(m^2an)$] : apport solaire spécifique fourni par les panneaux solaires thermiques, tel que défini par l'équation 349 ;

$q_{g,LV,nrne}$ [$kWh/(m^2an)$] : Besoin de chaleur spécifique non renouvelable non électrique (non fourni par le lave-linge ou le lave-vaisselle) pour l'ECS Lessive et Vaisselle. Pour un bâtiment résidentiel, cf section 19.2 et pour un bâtiment tertiaire, cf section 20.2 ;

$q_{EHH,Totaux}$ [$kWh/(m^2an)$] : besoin spécifique en électricité des appareils électroménagers ou des équipements, y compris la consommation des auxiliaires. Pour un bâtiment résidentiel, cf section 19 et pour un bâtiment tertiaire, cf section 20 ;

q_{aux} [$kWh/(m^2an)$] : consommation spécifique en électricité des auxiliaires, cf section 21 ;

$t_{c_{chauf,el}}$ [%] : taux de couverture du besoin de chauffage par l'électricité (encodé par l'utilisateur) ;

$t_{c_{ECS,el}}$ [%] : taux de couverture du besoin d'eau chaude sanitaire par l'électricité (encodé par l'utilisateur).

Avec :

$$q_{H,HL} = q_H + q_{HL} \quad (305)$$

où

q_H [$kWh/(m^2an)$] : besoin net spécifique de chauffage, correspondant au rapport entre les besoins nets en énergie de chauffage, tels que calculé aux chapitres 1 ou 2, divisé par la surface énergétique de référence ;
 q_{HL} [$kWh/(m^2an)$] : pertes spécifiques par distribution, calculé par l'équation 334.

16.2 Consommation de la pompe à chaleur

La consommation spécifique en énergie de la pompe à chaleur est défini comme suit :

$$q_{PAC} = \{t_{chauf,PAC} \cdot q_H \cdot e_{a,HL} + (q_{g,ECS} - q_{g,solar}) \cdot t_{ECS,PAC}\} \cdot \frac{1}{FPS} \quad (306)$$

où

q_H [$kWh/(m^2an)$] : besoin net spécifique de chauffage, correspondant au rapport entre les besoins nets en énergie de chauffage, tels que calculé aux chapitres 1 ou 2, divisé par la surface énergétique de référence ;
 $e_{a,HL}$ [-] : efficacité de la distribution de chaleur de chauffage, tel que déterminé par l'équation 333 ;
 $q_{g,ECS}$ [$kWh/(m^2an)$] : besoin brut spécifique de chaleur pour le système d'eau chaude sanitaire, tel que défini par l'équation 313 ;

$q_{g,solar}$ [$kWh/(m^2an)$] : apport solaire spécifique fourni par les panneaux solaires thermiques, tel que défini par l'équation 349 ;

FPS [-] : facteur de performance saisonnière moyen de la pompe à chaleur, déterminé conformément à la méthode PEB - annexe II §10.2.3.3 (calculé dans l'onglet PAC) ;

$t_{chauf,PAC}$ [-] : taux de couverture du besoin de chauffage par la pompe à chaleur (encodé par l'utilisateur) ;

$t_{ECS,PAC}$ [-] : taux de couverture du besoin d'eau chaude sanitaire par la pompe à chaleur (encodé par l'utilisateur).

16.3 Consommation du système multi-intégré

La consommation spécifique en énergie du système multi-intégré q_{multi} est calculée dans l'onglet Système multi-intégré. Les détails de calcul sont présentés à la section 22.

16.4 Consommation de la chaudière

La consommation spécifique en énergie de la chaudière $q_{chaudiere}$ est calculée dans l'onglet Chaudière. Les détails de calcul sont présentés à la section 23.

16.5 Consommation du système de chauffage urbain

La consommation spécifique en énergie du système de chauffage urbain $q_{chaufurb}$ est calculée dans l'onglet Chauffage urbain. Les détails de calcul sont présentés à la section 24.

16.6 Consommation d'un autre système de chauffage

La consommation spécifique en énergie d'un autre système de chauffage q_{autre} équivaut à :

$$q_{autre} = q_{chauf,autre} + q_{ECS,horsLV,autre} + q_{ECS,LV,autre} + q_{cuissonsechage,gaz} \quad (307)$$

où

$q_{chauf,autre}$ [$kWh/(m^2an)$] : consommation spécifique pour le chauffage d'un autre système de chauffage ;

$q_{ECS,horsLV,autre}$ [$kWh/(m^2an)$] : consommation spécifique pour l'ECS hors lessive et vaisselle d'un autre système de chauffage ;

$q_{ECS,LV,autre}$ [$kWh/(m^2an)$] : consommation spécifique pour l'ECS Lessive et Vaisselle d'un autre système de chauffage ;

$q_{cuissonsechage,gaz}$ [$kWh/(m^2an)$] : consommation spécifique pour besoin non électrique pour la cuisson et le séchage au gaz.

avec :

$$q_{chauf,autre} = t_{chauf,autre} \cdot q_{H,HL} \cdot e_{prod,autre} \quad (308)$$

$$q_{ECS,horsLV,autre} = t_{ECS,autre} \cdot (q_{g,ECS} - q_{g,solar}) \cdot e_{prod,autre} - q_{ECS,LV,autre} \quad (309)$$

$$q_{ECS,LV,autre} = t_{ECS,autre} \cdot q_{g,LV,nrne} \cdot e_{prod,autre} \quad (310)$$

$$q_{cuissonsechage,gaz} = q_{cuisson,gaz} + q_{sechage,gaz} \quad (311)$$

où

$t_{chauf,autre}$ [-] : taux de couverture du besoin de chauffage par un autre système de chauffage (encodé par l'utilisateur) ;

$q_{H,HL}$ [$kWh/(m^2an)$] : besoin brut spécifique de chauffage, pertes par distribution comprises, cf équation 305 ;

$e_{prod,autre}$ [-] : efficacité de la production de chaleur d'un autre système de chauffage (encodé par l'utilisateur) ;

$t_{ECS,autre}$ [-] : taux de couverture du besoin d'eau chaude sanitaire par un autre système de chauffage (encodé par l'utilisateur) ;

$q_{g,ECS}$ [$kWh/(m^2an)$] : besoin brut spécifique de chaleur pour le système d'eau chaude sanitaire, tel que déterminé par l'équation 313 ;

$q_{g,solar}$ [$kWh/(m^2an)$] : apport solaire spécifique fourni par les panneaux solaires thermiques, tel que déterminé par l'équation 349 ;

$q_{g,LV,nrne}$ [$kWh/(m^2an)$] : besoin de chaleur spécifique non renouvelable non électrique (non fourni par le lave-linge ou le lave-vaisselle) pour l'ECS Lessive et Vaisselle. Pour un bâtiment résidentiel, cf section 19.2 et pour un bâtiment tertiaire, cf section 20.2 ;

$q_{cuisson,gaz}$ [$kWh/(m^2an)$] : besoin de chaleur spécifique pour la cuisson au gaz (calculé dans l'onglet Electricité ou Electricité non résidentielle). Pour un bâtiment résidentiel, cf section 444 et pour un bâtiment tertiaire, cf section 20.2 ;

$q_{sechage,gaz}$ [$kWh/(m^2an)$] : Besoin de chaleur spécifique pour le séchage au gaz (calculé dans l'onglet Electricité ou sans objet dans le cas du non-résidentiel). Pour un bâtiment résidentiel, cf section 487 et pour un bâtiment tertiaire, étant nul.

16.7 Consommation du système de refroidissement avec pompe à chaleur électrique

La consommation finale spécifique en électricité du système de refroidissement avec pompe à chaleur électrique q_{refr} est donnée par :

$$q_{refr} = \frac{t_{refr,refr} \cdot q_{froid}}{COP_{refr}} \quad (312)$$

où

$t_{refr,refr}$ [-] : taux de couverture du besoin de refroidissement par le système de refroidissement avec pompe à chaleur électrique (=1 par défaut) ;

q_{froid} [$kWh/(m^2an)$] : besoin en froid couvert par les appareils frigorifiques tel que déterminé à la section 15 (calculé dans l'onglet Appareils frigorifiques) ;

COP_{refr} [-] : coefficient de performance de refroidissement annuel (encodé par l'utilisateur).

17 Eau chaude sanitaire et Distribution

Cette section développe le calcul du besoin de chaleur spécifique pour le système d'eau chaude sanitaire $q_{g,ECS}$ ainsi que celui de l'efficacité de la distribution de chaleur pour le chauffage $e_{a,HL}$, tous deux calculés dans l'onglet ECS+Distribution.

17.1 Besoin de chaleur spécifique pour le système d'ECS

$$q_{g,ECS} = \frac{Q_{g,ECS}}{A_{SRE}} \quad (313)$$

où

$Q_{g,ECS}$ [kWh/an] : besoin brut de chaleur annuel pour le système d'eau chaude sanitaire ;
 A_{SRE} [m²] : surface de référence énergétique.

$$Q_{g,ECS} = Q_{TECS} + Q_{WV} \quad (314)$$

où

Q_{TECS} [kWh/an] : besoin net de chaleur pour la production d'ECS ;
 Q_{WV} [kWh/an] : déperditions totales du système d'ECS.

Avec

$$Q_{TECS} = V_{ECS} \cdot (60 - \theta_{TW}) \cdot 1,16 \cdot \frac{365}{1000} \cdot N_{occupants} + Q_{g,LV,ne} \quad (315)$$

où

V_{ECS} [l/pers/d] : consommation en ECS à 60°C en litres par personne par jour, valeur recommandée : 25 l/pers/d (encodé par l'utilisateur) ;

θ_{TW} [°C] : température moyenne d'alimentation en eau froide, étant équivalente à $T_{e,m}$ (cf équation 72) ;

$N_{occupants}$ [-] : nombre d'occupants, valant $\frac{A_{SRE}}{35}$ par défaut, A_{SRE} étant la surface de référence énergétique ;

$Q_{g,LV,ne}$ [kWh/an] : besoin net de chaleur non électrique (non fourni par le lave-linge ou le lave-vaisselle) pour l'ECS Lessive et Vaisselle. Pour un bâtiment résidentiel, cf section 19.2 et pour un bâtiment tertiaire, cf section 20.2.

Et

$$Q_{WV} = Q_Z + Q_U + Q_S \quad (316)$$

où

Q_Z [kWh/an] : déperditions annuelles des tuyauteries de la boucle de circulation d'ECS ;

Q_U [kWh/an] : déperditions annuelles des tuyauteries depuis l'appareil de production, le ballon ou la boucle de circulation jusqu'au point de puisage d'ECS ;

Q_S [kWh/an] : déperditions annuelles du ballon de stockage.

Pour K=Z, U, S :

$$Q_K = \sum_i Q_{K,i} \quad (317)$$

où

l'indice i (=chaude, froide) fait référence à des tuyauteries ou un ballon de stockage situés dans une zone chaude (à l'intérieur du volume chauffé) ou dans une zone froide (à l'extérieur du volume chauffé).

Voyons à présent le détail de calcul des $Q_{K,i}$ pour K=Z, U, S.

17.1.1 Déperditions annuelles de la boucle de distribution d'ECS

Les déperditions annuelles de la boucle de distribution d'ECS sont données par :

$$Q_{Z,i} = L_{Z,i} \cdot q_{Z,i}^* \cdot (1 - \eta_{GECS,i}) \quad (318)$$

où

$L_{Z,i}$ [m] : longueur des tuyauteries de la boucle de circulation en zone i (encodé par l'utilisateur) ;
 $q_{Z,i}^*$ [kWh/(m.an)] : déperditions annuelles par m de tuyauterie de la boucle de circulation en zone i ;
 $\eta_{GECS,i}$ [-] : taux de valorisation éventuelle des déperditions des tuyauteries de la boucle de circulation en zone i, cf équation 322.

$$q_{Z,i}^* = \Psi_{conduite,ECS,i} \cdot (\theta_{m,ECS,i} - \theta_{X,ECS,i}) \cdot td_{boucle,i} \cdot \frac{365}{1000} \quad (319)$$

où

$\Psi_{conduite,ECS,i}$ [W/(m.K)] : coefficient de déperdition de chaleur par m de conduite d'ECS située en zone i, tel que défini dans la section 17.3 ;

$\theta_{m,ECS,i}$ [°C] : température moyenne de l'eau de la boucle d'ECS en zone i ;

$\theta_{X,ECS,i}$ [°C] : température du local dans lequel se situe la conduite d'ECS en zone i (20°C par défaut en zone chaude, encodé par l'utilisateur en zone froide) ;

$td_{boucle,i}$ [h/jour] : temps de fonctionnement journalier de la boucle de circulation en zone i (encodé par l'utilisateur). Une valeur standard de 18h/jour est proposée.

$$\theta_{m,ECS,i} = \frac{\theta_{V,ECS,i} + \theta_{R,ECS,i}}{2} \quad (320)$$

où

$\theta_{V,ECS,i}$ [°C] : température de départ de l'eau de la boucle d'ECS en zone i (encodé par l'utilisateur) ;

$\theta_{R,ECS,i}$ [°C] : température de retour de l'eau de la boucle d'ECS en zone i.

Avec

$$\theta_{R,ECS,i} = 0,875 \cdot (\theta_{V,ECS,i} - 20) + 20 \quad (321)$$

Le taux de valorisation éventuelle des déperditions des tuyauteries de la boucle de circulation en zone i est obtenu selon la formule suivante :

$$\eta_{GECS,i} = \begin{cases} \frac{t_{chauf}}{365} \cdot \eta_G & \text{si } \theta_{X,ECS,i} > T_{int} - 2 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (322)$$

$$\eta_G = \begin{cases} \frac{1 - 6 \cdot \left(\frac{Q_F}{Q_V}\right)^5 + 5 \cdot \left(\frac{Q_F}{Q_V}\right)^6}{\left(1 - \left(\frac{Q_F}{Q_V}\right)^6\right)^2} & \text{si } \frac{Q_F}{Q_V} \neq 1 \\ \frac{30}{72} & \text{si } \frac{Q_F}{Q_V} = 1 \end{cases} \quad (323)$$

où

t_{chauf} [j/an] : longueur de la période de chauffe en jours, correspondant à H_T (cf équation 7) ;

η_G [-] : taux de valorisation des apports de chaleur supplémentaires pour l'ECS ;

$\theta_{X,ECS,i}$ [°C] : température du local dans lequel se situe la conduite d'ECS en zone i (20°C par défaut en zone chaude, encodé par l'utilisateur en zone froide) ;

T_{int} [°C] : température intérieure (20°C par défaut) ;

Q_F [kWh/an] : total des apports de chaleur gratuits, tel que défini au chapitre 1.2 ;

Q_V [kWh/an] : total des déperditions de chaleur par transmission et par ventilation, tel que défini au chapitre 1.1.

17.1.2 Déperditions annuelles des tuyauteries des conduites de puisage d'ECS

Les déperditions annuelles des tuyauteries depuis l'appareil de production, le ballon ou la boucle de circulation jusqu'au point de puisage d'ECS sont définies comme suit.

$$Q_{U,i} = Q_{U,brutes,i} \cdot (1 - \eta_{G,U,i}) \quad (324)$$

où

$Q_{U,brutes,i}$ [kWh/an] : déperditions de chaleur annuelles brutes (sans tenir compte de la valorisation éventuelle) des conduites en zone i ;
 $\eta_{G,U,i}$ [-] : Taux de valorisation éventuelle des déperditions des tuyauteries de distribution en zone i, identique à $\eta_{GECS,i}$, cf équation 322.

$$Q_{U,brutes,i} = n_{puisage} \cdot Q_{Einzel,i} \quad (325)$$

où

$n_{puisage}$ [$puisage/an$] : coefficient d'occupation (nombre de puisages par an) ;
 $Q_{Einzel,i}$ [$kWh/puisage$] : déperdition de chaleur par puisage dans les conduites en zone i.

$$n_{puisage} = \frac{N_{occupants} \cdot 3.365}{N_{logements}} \quad (326)$$

où

$N_{occupants}$ [-] : nombre d'occupants, valant $\frac{A_{SRE}}{35}$ par défaut, A_{SRE} étant la surface de référence énergétique ;
 $N_{logements}$ [-] : nombre de logements (encodé dans l'onglet Vérification).

$$Q_{Einzel,i} = (c_{p,H20} \cdot V_{H20,i} + c_{p,Mat} \cdot V_{Mat,i}) \cdot (\theta_{V,ECS,i} - \theta_{X,ECS,i}) \quad (327)$$

où

$c_{p,H20}$ [kWh/m^3K] : capacité calorifique de l'eau, valant 1,16 kWh/m^3K ;
 $V_{H20,i}$ [m^3] : volume d'eau en tuyauteries en zone i ;
 $c_{p,Mat}$ [kWh/m^3K] : capacité calorifique du matériau des conduites, valant 0,555 kWh/m^3K ;
 $V_{Mat,i}$ [m^3] : volume de matériau de tuyauteries chauffées en zone i ;
 $\theta_{V,ECS,i}$ [$^{\circ}C$] : température de départ de l'eau de la boucle d'ECS en zone i (encodé par l'utilisateur) ;
 $\theta_{X,ECS,i}$ [$^{\circ}C$] : température du local dans lequel se situe la conduite d'ECS en zone i (20 $^{\circ}C$ par défaut en zone chaude, encodé par l'utilisateur en zone froide) ;

$$V_{H20,i} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{int,tuyau,i}^2 \cdot L_{U,i} \quad (328)$$

où

$d_{int,tuyau,i}$ [m] : diamètre intérieure de tuyauterie en zone i ;
 $L_{U,i}$ [m] : longueur totale des tuyauteries d'ECS en zone i depuis le ballon ou la tuyauterie de circulation jusqu'à la prise d'eau (encodé par l'utilisateur).

avec :

$$d_{tuyau,int,i} = d_{ext,tuyau,i} - 0,0045 \quad (329)$$

où

$d_{ext,tuyau,i}$ [m] : diamètre extérieure de tuyauterie en zone i (encodé par l'utilisateur).

$$V_{Mat,i} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{ext,tuyau,i}^2 \cdot L_{U,i} - V_{H20,i} \quad (330)$$

où

$d_{ext,tuyau,i}$ [m] : diamètre extérieure de tuyauterie en zone i (encodé par l'utilisateur) ;
 $L_{U,i}$ [m] : longueur totale des tuyauteries d'ECS en zone i depuis le ballon ou la tuyauterie de circulation jusqu'à la prise d'eau (encodé par l'utilisateur).
 $V_{H20,i}$ [m^3] : volume d'eau en tuyauteries en zone i, cf équation 328.

17.1.3 Déperditions annuelles du ballon de stockage

Les déperditions annuelles du ballon de stockage sont données par :

$$Q_{S,i} = P_{S,i} \cdot 8,760 \cdot (1 - \eta_{G,S,i}) \quad (331)$$

où

$P_{S,i}$ [W] : puissance des déperditions de chaleur moyennes du ballon dans la zone i (encodé par l'utilisateur) ;
 $\eta_{G,S,i}$ [-] : taux de valorisation éventuelle des déperditions du ballon de stockage en zone i, identique à $\eta_{GECs,i}$, cf équation 322.

La puissance des déperditions de chaleur moyennes du ballon peut être évalué de deux manières, la première méthode concerne les ballons classiques et est définie ci-dessous tandis que la deuxième est utilisée pour les ballons de stockage solaires est développée dans la section 18.2.

$$P_{S,i} = (T_{cons} - T_{local,i}) \cdot p_{spec,stock} \quad (332)$$

où

T_{cons} [°C] : température de consigne ECS typique, valant $\max(\theta_{V,ECS,i} - \theta_{V,chauf,i})$;
 $T_{local,i}$ [°C] : température du local du ballon de stockage ;
 $p_{spec,stock}$ [W/K] : déperditions spécifiques totales de stockage.
 $\theta_{V,ECS,i}$ [°C] : température de départ de l'eau de la boucle d'ECS en zone i (encodé par l'utilisateur) ;
 $\theta_{V,chauf,i}$ [°C] : température de départ de l'eau du circuit de chauffage en zone i, valeurs proposée, 55°C avec radiateurs et 35°C avec chauffage par le sol (encodé par l'utilisateur).

17.2 Efficience de la distribution de chaleur de chauffage

L'efficience de la distribution de chaleur de chauffage est déterminée comme suit.

$$e_{a,HL} = \frac{q_H + q_{HL}}{q_H} \quad (333)$$

où

q_H [kWh/(m²an)] : besoin net spécifique de chauffage, correspondant au rapport entre les besoins nets en énergie de chauffage, tels que calculé aux chapitres 1 ou 2, divisé par la surface énergétique de référence ;
 q_{HL} [kWh/(m²an)] : pertes spécifiques par distribution, calculé par l'expression suivante.

$$q_{HL} = \sum_i \frac{Q_{HL,i}}{A_{SRE}} \quad (334)$$

où

$Q_{HL,i}$ [kWh/an] : déperditions annuelles des tuyauteries situées en zone i ;
 A_{SRE} [m²] : Surface de référence énergétique.

L'indice i (=chaude, froide) fait référence à des tuyauteries de distribution de chauffage situées dans une zone chaude (à l'intérieur du volume chauffé) ou dans une zone froide (à l'extérieur du volume chauffé).

$$Q_{HL,i} = L_{H,i} \cdot q_{HL,i}^* \cdot (1 - \eta_{G,i}) \quad (335)$$

où

$L_{H,i}$ [m] : longueur des tuyauteries de distribution de chauffage en zone i (encodé par l'utilisateur) ;
 $q_{HL,i}^*$ [kWh/(m.a)] : Déperditions annuelles par m de tuyauterie de distribution de chauffage en zone i ;
 $\eta_{G,i}$ [-] : taux de valorisation éventuelle des déperditions des tuyauteries de distribution de chauffage en zone i, étant équivalent à h_G , cf équation 18 ;

$$q_{HL,i}^* = \Psi_{conduite,chauf,i} \cdot (\theta_{m,chauf,i} - \theta_{X,chauf,i}) \cdot t_{chauf} \cdot 0,024 \quad (336)$$

où

$\Psi_{conduite,chauf,i}$ [W/(mK)] : coefficient de déperdition de chaleur par m de conduite du circuit de chauffage situé en zone i, tel que défini à la section 17.3 ;
 $\theta_{m,chauf,i}$ [°C] : température moyenne de l'eau du circuit de chauffage en zone i ;
 $\theta_{X,chauf,i}$ [°C] : température du local dans lequel se situe la conduite du circuit de chauffage en zone i (20°C par défaut en zone chaude, encodé par l'utilisateur en zone froide) ;
 t_{chauf} [j] : longueur de la période de chauffe en jours, correspondant à H_T (cf équation 7).

$$\theta_{m,chauf,i} = \left(\frac{\theta_{V,chauf,i} + \theta_{R,chauf,i}}{2} - 20 \right) \cdot \beta_{chauf}^{0,75} + 20 \quad (337)$$

où

$\theta_{V,chauf,i}$ [$^{\circ}C$] : température de départ de l'eau du circuit de chauffage en zone i, valeurs proposée, 55 $^{\circ}C$ avec radiateurs et 35 $^{\circ}C$ avec chauffage par le sol (encodé par l'utilisateur) ;

$\theta_{R,chauf,i}$ [$^{\circ}C$] : température de retour de l'eau du circuit de chauffage en zone i ;

β_{chauf} [-] : facteur d'utilisation de la puissance de chauffage.

$$\theta_{R,chauf,i} = 0,714.(\theta_{V,chauf,i} - 20) + 20 \quad (338)$$

$$\beta_{chauf} = \frac{P_{moyen}}{P_{chauf}} \quad (339)$$

où

P_{moyen} [kW] : moyenne de la puissance de chauffage ;

P_{chauf} [kW] : puissance du système de chauffage (encodé par l'utilisateur).

$$P_{moyen} = \frac{q_H \cdot A_{SRE}}{t_{chauf} \cdot 24} \quad (340)$$

où

q_H [$kWh/(m^2an)$] : besoin net spécifique de chauffage, correspondant au rapport entre les besoins nets en énergie de chauffage, tels que calculé aux chapitres 1 ou 2, divisé par la surface énergétique de référence ;

A_{SRE} [m^2] : surface de référence énergétique ;

t_{chauf} [j] : longueur de la période de chauffe en jours, correspondant à H_T (cf équation 7).

17.3 Calcul annexe du coefficient de déperdition de chaleur des conduites

Le calcul du coefficient de déperdition de chaleur d'une conduite est défini de manière similaire au calcul du coefficient de déperdition de chaleur des conduits de ventilation, déterminé à la section 5.3.1.

Le coefficient de déperdition de chaleur d'une conduite d'eau $\psi_{conduite}$ est donné par :

$$\Psi_{conduite} = \frac{\pi}{\frac{1}{2 \cdot \lambda_{tuyauterie}} \cdot \ln\left(\frac{d_{ext,tuyauterie}}{d_{int,tuyauterie}}\right) + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{isolant}} \cdot \ln\left(\frac{d_{ext,conduite}}{d_{ext,tuyauterie}}\right) + \frac{1}{d_{ext,conduite} \cdot \alpha_{superf}}} \quad (341)$$

où

$d_{ext,tuyauterie}$ [m] : diamètre extérieur de la tuyauterie ;

$d_{int,tuyauterie}$ [m] : diamètre intérieur de la tuyauterie (diamètre nominal encodé par l'utilisateur) ;

$\lambda_{isolant}$ [$W/(mK)$] : conductivité thermique de l'isolant (encodé par l'utilisateur) ;

$\lambda_{tuyauterie}$ [$W/(mK)$] : conductivité thermique de la tuyauterie, valant par défaut 55 W/mK pour l'acier ;

$d_{ext,conduite}$ [m] : diamètre extérieur de la conduite, isolation incluse ;

α_{superf} [$W/(m^2K)$] : coefficient d'échange superficiel.

avec :

$$d_{ext,tuyauterie} = d_{int,tuyauterie} + 0,00225 \quad (342)$$

$$d_{ext,conduite} = d_{ext,tuyauterie} + 2 \cdot p_{isolation} \quad (343)$$

$$\alpha_{superf} = \begin{cases} 0,85.4,8 + 1,62 \cdot \theta_{surf,conduite}^{0,333} & \text{si surface non réfléchissante} \\ 0,1.4,8 + 1,62 \cdot \theta_{surf,conduite}^{0,333} & \text{si surface réfléchissante} \end{cases} \quad (344)$$

où

$p_{isolation}$ [m] : épaisseur d'isolation (encodé par l'utilisateur) ;

$\theta_{surf,conduite}$ [$^{\circ}C$] : température de surface de la conduite.

La température de surface de la conduite $\theta_{surf,conduite}$ est égal au résultat du calcul itératif suivant à la n-ième itération, c'est-à-dire $\theta_{surf,conduite,n}$:

$$\theta_{surf,conduite,n} = \Delta\theta_{cond} - \frac{\frac{1}{2 \cdot \lambda_{tuyauterie}} \cdot \ln\left(\frac{d_{ext,tuyauterie}}{d_{int,tuyauterie}}\right) + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{isolant}} \cdot \ln\left(\frac{d_{ext,conduite}}{d_{ext,tuyauterie}}\right)}{\pi} \cdot k_{iter,n}^* \cdot \Delta\theta_{cond} \quad (345)$$

où

$k_{iter,n}^*$ [W/(mK)] : paramètre intermédiaire k de la n-ième itération ;
 $\Delta\theta_{cond}$ [K] : différence de température relatif à la conduite (toujours égal à 30 K).

Le paramètre intermédiaire k est quant à lui donné par la formule suivante qui est identique à celle du calcul de $\psi_{conduite}$ mais où le coefficient d'échange superficiel effectif α_{superf} est remplacé par le coefficient d'échange superficiel relatif à la n-ième itération $\alpha_{iter,n}$:

$$k_{iter,n}^* = \frac{\pi}{\frac{1}{2 \cdot \lambda_{tuyauterie}} \cdot \ln\left(\frac{d_{ext,tuyauterie}}{d_{int,tuyauterie}}\right) + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{isolant}} \cdot \ln\left(\frac{d_{ext,conduite}}{d_{ext,tuyauterie}}\right) + \frac{1}{d_{ext,conduite} \cdot \alpha_{iter,n}}} \quad (346)$$

où

$\alpha_{iter,n}$ [W/(m²K)] : coefficient d'échange superficiel obtenu à la n-ième itération.

Enfin, ce coefficient d'échange superficiel relatif à la n-ième itération $\alpha_{iter,n}$ est calculé à partir de la température de surface de la conduite obtenue à l'itération n-1, $\theta_{surf,conduite,n-1}$ selon la formule suivante :

$$\alpha_{iter,n} = \begin{cases} 0,854,8 + 1,62 \cdot \theta_{surf,conduite,n-1}^{0,333} & \text{si surface non réfléchissante} \\ 0,14,8 + 1,62 \cdot \theta_{surf,conduite,n-1}^{0,333} & \text{si surface réfléchissante} \end{cases} \quad (347)$$

Il y a au total 5 itérations, c'est-à-dire n=5 avec $\alpha_{iter,1}$ qui est donné par :

$$\alpha_{iter,1} = \begin{cases} 8 & \text{si surface non réfléchissante} \\ 5 & \text{si surface réfléchissante} \end{cases} \quad (348)$$

18 Eau chaude sanitaire solaire

Cette section développe l'apport solaire spécifique en ECS fourni par les panneaux solaires thermiques $q_{g,solar}$, la couverture solaire pour la production d'ECS, $\eta_{solar,ECS}$ ainsi que la puissance des déperditions de chaleur moyennes du ballon solaire et la fraction solaire relative à l'ECS Lave-linge et Vaisselle $f_{solaire,ECS,LV}$, calculés dans l'onglet ECS Solaire.

18.1 Apport solaire spécifique en ECS fourni par les panneaux solaires thermiques

$$q_{g,solar} = \frac{Q_{g,solar}}{A_{SRE}} \quad (349)$$

où

$q_{g,solar} [kWh/(m^2a)]$: apport solaire annuel spécifique en ECS fourni par les panneaux solaires thermiques ;
 $Q_{g,solar} [kWh/a]$: apport solaire annuel en ECS fourni par les panneaux solaires thermiques ;
 $A_{SRE} [m^2]$: surface de référence énergétique.

La couverture solaire pour la production d'ECS est donnée par :

$$\eta_{solar,ECS} = \frac{Q_{g,solar}}{Q_{g,ECS}} \quad (350)$$

où

$Q_{g,solar} [kWh/a]$: apport solaire annuel en ECS fourni par les panneaux solaires thermiques ;
 $Q_{g,ECS} [kWh/a]$: besoin brut de chaleur annuel pour le système d'eau chaude sanitaire (défini à l'équation 314).

Voyons à présent le détail de calcul de l'apport solaire annuel en ECS global (y compris l'ECS lessive et vaisselle) fourni par le système solaire thermique :

$$Q_{g,solar} = \sum_{i=Janvier}^{Decembre} f_{solar,i} \cdot Q_{g,ECS,mensuel} \quad (351)$$

$$Q_{g,ECS,mensuel} = \frac{Q_{g,ECS}}{12} \quad (352)$$

où

$f_{solar,i} [-]$: fraction solaire du mois i compris dans l'intervalle borné $[0,1]$;
 $Q_{g,ECS,mensuel} [kWh]$: besoin brut de chaleur mensuel pour le système d'eau chaude sanitaire ;
 $Q_{g,ECS} [kWh/a]$: besoin brut de chaleur annuel pour le système d'eau chaude sanitaire (défini à l'équation 314).

La fraction solaire du mois i se calcule selon la formule suivante en tenant compte du fait que si la valeur obtenue est négative, la fraction solaire est égale à 0 et si la valeur obtenue est supérieure à l'unité, la fraction solaire est égale à 1 :

$$f_{solar,i} = 1,029.Y_{solar,i} - 0,065.X_{Csolar,i} - 0,245.Y_{solar,i}^2 + 0,0018.X_{Csolar,i}^2 + 0,0215.Y_{solar,i}^3 \quad (353)$$

où

$Y_{solar,i} [-]$: paramètre intermédiaire du calcul de la fraction solaire, cf section 18.1.1 ;
 $X_{Csolar,i} [-]$: paramètre intermédiaire du calcul de la fraction solaire, cf section 18.1.2.

18.1.1 Calcul du paramètre intermédiaire Y

Le paramètre intermédiaire $Y_{solar,i}$ est ensuite donné par :

$$Y_{solar,i} = \frac{\eta_{0,panneau} \cdot q_{m,rayon,incl,i} \cdot \eta_{cyclesol} \cdot K_{dir,50,panneau} \cdot A_{capteur}}{Q_{g,ECS,mensuel}} \quad (354)$$

où

$\eta_{0,panneau} [-]$: rendement η_0 du panneau solaire thermique (encodé par l'utilisateur ou valeur par défaut selon le choix des capteurs solaires utilisés)

$q_{m,rayon,incl,i} [kWh/m^2]$: quantité de chaleur mensuelle de rayonnement incident sur plan incliné durant le mois i ;

$\eta_{cyclesol} [-]$: facteur de perte lié au cycle solaire (égal à 0,8) ;

$K_{dir,50,panneau} [-]$: caractéristique $K_{dir}(50^\circ)$ du panneau solaire thermique (encodé par l'utilisateur ou valeur par défaut selon le choix des capteurs solaires utilisés) ;

$A_{capteur} [m^2]$: surface optique des capteurs solaires thermiques (encodé par l'utilisateur) ;

$Q_{g,ECS,mensuel} [kWh]$: besoin brut de chaleur mensuel pour le système d'eau chaude sanitaire (voir équation 352).

Voyons comment se calcule la quantité de chaleur mensuelle de rayonnement incident sur plan incliné durant le mois i , $q_{m,rayon,incl,i}$:

$$q_{m,rayon,incl,i} = q_{m,rayon,incl,global,i} \cdot f_{ombr,hori} \cdot r_{so} \quad (355)$$

où

$q_{m,rayon,incl,global,i} [kWh/m^2]$: quantité de chaleur mensuelle de rayonnement incident global (hors ombrage) sur plan incliné durant le mois i , cf équation 356 ;

$f_{ombr,hori} [-]$: facteur d'ombrage horizontal, cf équation 370 ;

$r_{so} [-]$: facteur d'ombrage supplémentaire (encodé par l'utilisateur).

Développons le calcul de la quantité de chaleur mensuelle de rayonnement incident global (hors ombrage) sur plan incliné durant le mois i $q_{m,rayon,incl,global,i}$:

$$\begin{aligned} q_{m,rayon,incl,global,i} = & \frac{q_{incl,Sud,i} + q_{incl,Nord,i} + q_{incl,Ouest,i} + q_{incl,Est,i}}{4} + \frac{q_{incl,Nord,i} - q_{incl,Sud,i}}{2} \cdot \cos(\beta_{N,panneau}) \\ & + \frac{q_{incl,Sud,i} + q_{incl,Nord,i} - q_{incl,Ouest,i} - q_{incl,Est,i}}{4} \cdot \cos(2 \cdot \beta_{N,panneau}) \\ & + \frac{q_{incl,Est,i} - q_{incl,Ouest,i}}{2} \cdot \sin(\beta_{N,panneau}) \end{aligned} \quad (356)$$

où

$q_{incl,Dir,i} [kWh/m^2]$: quantité de chaleur mensuelle de rayonnement incident global (hors ombrage) sur plan incliné orienté dans la direction Dir durant le mois i ($Dir = Sud, Nord, Ouest, Est$) ;

$\beta_{N,panneau} [^\circ]$: orientation par rapport à la direction Nord des panneaux solaires thermiques encodé par l'utilisateur (0° si Nord, 45° si Nord-Est, 90° si Est, ...).

Les quantités de chaleur mensuelle de rayonnement incident global (hors ombrage) sur plan incliné orienté dans la direction Dir durant le mois i sont données par :

$$\begin{aligned} q_{incl,Sud,i} = & a_{0NS,i} \\ & + a_{1NS,i} \cdot \cos \gamma_{H,panneau} + \alpha_{NS,i} \\ & + E_{B2,i} \cdot \sin(2(\gamma_{H,panneau} + \alpha_{NS,i})) \\ & + a_{2NS,i} \cdot \cos(2(\gamma_{H,panneau} + \alpha_{NS,i})) \end{aligned} \quad (357)$$

$$\begin{aligned} q_{incl,Nord,i} = & a_{0NS,i} \\ & + a_{1NS,i} \cdot \cos \gamma_{H,panneau} - \alpha_{NS,i} \\ & - E_{B2,i} \cdot \sin(2(\gamma_{H,panneau} - \alpha_{NS,i})) \\ & + a_{2NS,i} \cdot \cos(2(\gamma_{H,panneau} - \alpha_{NS,i})) \end{aligned} \quad (358)$$

$$\begin{aligned} q_{incl,Ouest,i} = & a_{0EO,i} \\ & + a_{1EO,i} \cdot \cos \gamma_{H,panneau} \\ & + a_{2EO,i} \cdot \cos(2 \cdot \gamma_{H,panneau}) \\ & + b_{1EO,i} \cdot \sin \gamma_{H,panneau} \end{aligned} \quad (359)$$

$$\begin{aligned}
Q_{incl,Est,i} = & a_{0EO,i} \\
& + a_{1EO,i} \cdot \cos \gamma_{H,panneau} \\
& + a_{2EO,i} \cdot \cos (2 \cdot \gamma_{H,panneau}) \\
& - b_{1EO,i} \cdot \sin \gamma_{H,panneau}
\end{aligned} \tag{360}$$

où

$\gamma_{H,panneau}$ [°] : inclinaison par rapport à l'Horizontale des panneaux solaires thermiques encodé par l'utilisateur (0° si horizontale, 90° si verticale) ;

$\alpha_{NS,i}$ [°] : angle alpha relatif aux orientations Nord-Sud pour le mois i ;

$E_{B2,i}$ [kWh/m^2] : coefficient E_{B2} pour directions Nord et Sud pour le mois i ;

$a_{0NS,i}$ [kWh/m^2] : coefficient a_0 pour directions Nord et Sud pour le mois i ;

$a_{1NS,i}$ [kWh/m^2] : coefficient a_1 pour directions Nord et Sud pour le mois i ;

$a_{2NS,i}$ [kWh/m^2] : coefficient a_2 pour directions Nord et Sud pour le mois i ;

$a_{0EO,i}$ [kWh/m^2] : coefficient a_0 pour directions Est et Ouest pour le mois i ;

$a_{1EO,i}$ [kWh/m^2] : coefficient a_1 pour directions Est et Ouest pour le mois i ;

$a_{2EO,i}$ [kWh/m^2] : coefficient a_2 pour directions Est et Ouest pour le mois i ;

$b_{1EO,i}$ [kWh/m^2] : coefficient b_1 pour directions Est et Ouest pour le mois i.

L'angle alpha relatif aux orientations Nord-Sud $\alpha_{NS,i}$ est donnée par :

$$\alpha_{NS,i} = \begin{cases} \operatorname{atan} \left(\frac{Q_{srayon,Nord,i} - Q_{srayon,Sud,i}}{Q_{srayon,Hori,i} - Q_{sAlbedo,i}} \right) & \text{si } Q_{srayon,Hori,i} \neq 0 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \tag{361}$$

où

$Q_{srayon,Dir,i}$ [kWh/m^2] : quantité de chaleur surfacique par rayonnement solaire dans la direction Dir pour la période i (onglet Données climatiques) avec Dir = Sud, Nord, Ouest, Est, Hori. Notons que $Q_{srayon,Hori,i}$ est également appelé $Q_{srayon,Global,i}$;

$Q_{sAlbedo,i}$ [kWh/m^2] : quantité de chaleur surfacique par rayonnement solaire relative à l'albédo (réflexion) pour la période i, cf équation 152.

Détaillons maintenant les différents coefficients intervenant dans le calcul des quantités de chaleur mensuelles de rayonnement incident global (hors ombrage) sur plan incliné orienté dans la direction Dir durant le mois i :

$$E_{B2,i} = \begin{cases} \frac{Q_{srayon,Hori,i} + Q_{sAlbedo,i} - Q_{srayon,Sud,i} - Q_{srayon,Nord,i} - a_{2NS,i} \cdot \cos (2 \cdot \alpha_{NS,i})}{4 \sin (2 \cdot \alpha_{NS,i})} & \text{si } \alpha_{NS,i} \neq 0 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \tag{362}$$

$$a_{0NS,i} = \frac{Q_{srayon,Nord,i} + Q_{srayon,Sud,i} + Q_{srayon,Hori,i} + Q_{sAlbedo,i}}{4} \tag{363}$$

$$a_{1NS,i} = \frac{Q_{srayon,Hori,i} - Q_{sAlbedo,i}}{2 \cos \alpha_{NS,i}} \tag{364}$$

$$a_{2NS,i} = (1 - \cos^{20} (\alpha_{NS,i})) \cdot 0,295 \cdot a_{1NS,i} + \cos^{20} (\alpha_{NS,i}) \cdot \left(a_{0NS,i} - \frac{Q_{srayon,Nord,i} + Q_{srayon,Sud,i}}{2} \right) \tag{365}$$

$$a_{0EO,i} = \frac{Q_{srayon,Hori,i} + Q_{sAlbedo,i} + Q_{srayon,Est,i} + Q_{srayon,Ouest,i}}{4} \tag{366}$$

$$a_{1EO,i} = \frac{Q_{srayon,Hori,i} - Q_{sAlbedo,i}}{2} \tag{367}$$

$$a_{2EO,i} = \frac{Q_{srayon,Hori,i} + Q_{sAlbedo,i} - Q_{srayon,Est,i} - Q_{srayon,Ouest,i}}{4} \tag{368}$$

$$b_{1EO,i} = \frac{Q_{srayon,Ouest,i} - Q_{srayon,Est,i}}{2} \tag{369}$$

où

$Q_{srayon,Dir,i}$ [kWh/m^2] : quantité de chaleur surfacique par rayonnement solaire dans la direction Dir pour la période i (onglet Données climatiques) avec Dir=Nord,Sud,Est,Ouest,Hori ;

$Q_{sAlbedo,i}$ [kWh/m^2] : quantité de chaleur surfacique par rayonnement solaire relative à l'albédo (réflexion) pour la période i , cf équation 152 ;

$\alpha_{NS,i}$ [$^\circ$] : angle alpha relatif aux orientations Nord-Sud ;

$E_{B2,i}$ [kWh/m^2] : coefficient E_{B2} pour directions Nord et Sud pour la période i ;

$a_{0NS,i}$ [kWh/m^2] : coefficient a_0 pour directions Nord et Sud pour la période i ;

$a_{1NS,i}$ [kWh/m^2] : coefficient a_1 pour directions Nord et Sud pour la période i ;

$a_{2NS,i}$ [kWh/m^2] : coefficient a_2 pour directions Nord et Sud pour la période i ;

$a_{0EO,i}$ [kWh/m^2] : coefficient a_0 pour directions Est et Ouest pour la période i ;

$a_{1EO,i}$ [kWh/m^2] : coefficient a_1 pour directions Est et Ouest pour la période i ;

$a_{2EO,i}$ [kWh/m^2] : coefficient a_2 pour directions Est et Ouest pour la période i ;

$b_{1EO,i}$ [kWh/m^2] : coefficient a_1 pour directions Est et Ouest pour la période i .

Développons à présent le facteur d'ombrage horizontal f_{ombr,hor_i} :

$$f_{ombr,hor_i} = \max \left(ipol_{hor_i,hor} + \frac{ipol_{hor_i,ver} - ipol_{hor}}{2} \cdot (1 - \cos(2 \cdot \gamma_{H,panneau})) ; 1 - \frac{H_{horizon}}{H_{panneau} \cdot |\sin \gamma_{H,panneau}|} \right) \quad (370)$$

où

$ipol_{hor_i,hor}$ [-] : ipol horizontal relatif au facteur de réduction d'ombrage horizontal pour les panneaux solaires thermiques ;

$ipol_{hor_i,ver}$ [-] : ipol vertical relatif au facteur de réduction d'ombrage horizontal pour les panneaux solaires thermiques ;

$\gamma_{H,panneau}$ [$^\circ$] : inclinaison par rapport à l'Horizontale des panneaux solaires thermiques encodé par l'utilisateur (0° si horizontale, 90° si verticale) ;

$H_{horizon}$ [m] : hauteur de l'horizon égale à la hauteur de l'objet créant l'ombrage au-dessus de l'arête inférieure des capteurs solaires (encodé par l'utilisateur) ;

$H_{panneau}$ [m] : hauteur des panneaux solaires thermiques égale à la distance entre l'arête supérieure et inférieure des capteurs solaires (encodé par l'utilisateur).

Détail du calcul des $ipol_{hor_i,hor}$ et $ipol_{hor_i,ver}$:

$$ipol_{hor_i,hor} = hor_{hor_i,1} + \frac{hor_{hor_i,2} - hor_{hor_i,1}}{2} \cdot \{1 - \cos(2(\beta_{N,panneau} - \beta_{90,N,panneau}))\} \quad (371)$$

$$ipol_{hor_i,ver} = ver_{hor_i,1} + \frac{ver_{hor_i,2} - ver_{hor_i,1}}{2} \cdot \{1 - \cos(2(\beta_{N,panneau} - \beta_{90,N,panneau}))\} \quad (372)$$

où

$hor_{hor_i,1}$ [-] : terme horizontal 1 relatif au facteur de réduction d'ombrage horizontal pour les panneaux solaires thermiques ;

$hor_{hor_i,2}$ [-] : terme horizontal 2 relatif au facteur de réduction d'ombrage horizontal pour les panneaux solaires thermiques ;

$ver_{hor_i,1}$ [-] : terme vertical 1 relatif au facteur de réduction d'ombrage horizontal pour les panneaux solaires thermiques ;

$ver_{hor_i,2}$ [-] : terme vertical 2 relatif au facteur de réduction d'ombrage horizontal pour les panneaux solaires thermiques ;

$\beta_{N,panneau}$ [$^\circ$] : orientation par rapport à la direction Nord des panneaux solaires thermiques encodé par l'utilisateur (0° si Nord, 45° si Nord-Est, 90° si Est,...) ;

$\beta_{90,N,panneau}$ [$^\circ$] : écart angulaire par rapport au point cardinal précédent.

avec :

$$\beta_{90,N,panneau} = 90^\circ \cdot \left(Entier_{inferieur} \left(\frac{\beta_{N,panneau}}{90^\circ} \right) \right) \quad (373)$$

Nous allons maintenant développer les termes $hor_{hor_i,1}$, $hor_{hor_i,2}$, $ver_{hor_i,1}$ et $ver_{hor_i,2}$:

$$hor_{hori,1} = \begin{cases} r_{hori,h,Nord} + \frac{1 - r_{hori,h,Nord}}{\left(1 + \left(\frac{H_{horizon}}{D_{horizon}}\right)^2\right)^{a_{hori,h,Nord}}} & \text{si } \beta_{90,N,panneau} = 0^\circ \\ r_{hori,h,Sud} + \frac{1 - r_{hori,h,Sud}}{\left(1 + \left(\frac{H_{horizon}}{D_{horizon}}\right)^2\right)^{a_{hori,h,Sud}}} & \text{si } \beta_{90,N,panneau} = 180^\circ \\ r_{hori,h,Estouest} + \frac{1 - r_{hori,h,Estouest}}{\left(1 + \left(\frac{H_{horizon}}{D_{horizon}}\right)^2\right)^{a_{hori,h,Estouest}}} & \text{sinon} \end{cases} \quad (374)$$

$$hor_{hori,2} = \begin{cases} r_{hori,h,Nord} + \frac{1 - r_{hori,h,Nord}}{\left(1 + \left(\frac{H_{horizon}}{D_{horizon}}\right)^2\right)^{a_{hori,h,Nord}}} & \text{si } \beta_{90,N,panneau} = 270^\circ \\ r_{hori,h,Sud} + \frac{1 - r_{hori,h,Sud}}{\left(1 + \left(\frac{H_{horizon}}{D_{horizon}}\right)^2\right)^{a_{hori,h,Sud}}} & \text{si } \beta_{90,N,panneau} = 90^\circ \\ r_{hori,h,Estouest} + \frac{1 - r_{hori,h,Estouest}}{\left(1 + \left(\frac{H_{horizon}}{D_{horizon}}\right)^2\right)^{a_{hori,h,Estouest}}} & \text{sinon} \end{cases} \quad (375)$$

$$ver_{hori,1} = \begin{cases} r_{hori,v,Nord} \cdot e^{\left(a_{hori,v,Nord} \cdot \frac{H_{horizon}}{D_{horizon}}\right)} + 1 - r_{hori,v,Nord} & \text{si } \beta_{90,N,panneau} = 0^\circ \\ r_{hori,v,Sud} + \frac{1 - r_{hori,v,Sud}}{\left(1 + \left(\frac{H_{horizon}}{D_{horizon}}\right)^2\right)^{a_{hori,v,Sud}}} & \text{si } \beta_{90,N,panneau} = 180^\circ \\ r_{hori,v,Estouest} \cdot e^{\left(a_{hori,v,Estouest} \cdot \frac{H_{horizon}}{D_{horizon}}\right)} + 1 - r_{hori,v,Estouest} & \text{sinon} \end{cases} \quad (376)$$

$$ver_{hori,2} = \begin{cases} r_{hori,v,Nord} \cdot e^{\left(a_{hori,v,Nord} \cdot \frac{H_{horizon}}{D_{horizon}}\right)} + 1 - r_{hori,v,Nord} & \text{si } \beta_{90,N,panneau} = 270^\circ \\ r_{hori,v,Sud} + \frac{1 - r_{hori,v,Sud}}{\left(1 + \left(\frac{H_{horizon}}{D_{horizon}}\right)^2\right)^{a_{hori,v,Sud}}} & \text{si } \beta_{90,N,panneau} = 90^\circ \\ r_{hori,v,Estouest} \cdot e^{\left(a_{hori,v,Estouest} \cdot \frac{H_{horizon}}{D_{horizon}}\right)} + 1 - r_{hori,v,Estouest} & \text{sinon} \end{cases} \quad (377)$$

où

$H_{horizon} [m]$: hauteur de l'horizon égale à la hauteur de l'objet créant l'ombrage au-dessus de l'arête inférieure des capteurs solaires (encodé par l'utilisateur) ;

$D_{horizon} [m]$: distance horizontale entre les panneaux solaires thermiques et l'objet créant l'ombrage (encodé par l'utilisateur).

Les 12 différents paramètres $r_{...}$ et $a_{...}$ dépendent de la latitude du lieu exprimée en $^\circ$, notée Lat . Ils avaient déjà été rencontrés précédemment dans le calcul de l'ombrage en période de chauffe. La méthode de détermination de ces paramètres est donc reprise en fin de section 6.1.

18.1.2 Calcul du paramètre intermédiaire Xc

Revenons maintenant au calcul du paramètre intermédiaire $X_{c,solar,i}$ du calcul de la fraction solaire (utilisé dans l'équation 353) :

$$X_{c_{solar},i} = X_{solar,i} \cdot f_{corr,temp,ECS,i} \cdot f_{corr,stockage} \quad (378)$$

où

$X_{solar,i}$ [-] : paramètre intermédiaire du calcul de la fraction solaire, cf équation 385 ;

$f_{corr,temp,ECS,i}$ [-] : facteur correctif pour la température de la production d'ECS durant le mois i , cf équation 381 ;

$f_{corr,stockage}$ [-] : facteur correctif lié au stockage d'eau dans un ballon, cf équation 379.

Le facteur correctif lié au stockage d'eau dans un ballon $f_{corr,stockage}$ est donné par :

$$f_{corr,stockage} = \left(\frac{V_{stock,reel}}{V_{stock,optimal}} \right)^{-0,25} \quad (379)$$

où

$V_{stock,reel}$ [m^3] : volume de stockage réel (encodé par l'utilisateur ou valeur par défaut selon le choix du ballon de stockage solaire utilisé) ;

$V_{stock,optimal}$ [m^3] : volume de stockage optimal, donné par l'expression suivante :

$$V_{stock,optimal} = A_{capteur} \cdot 75 \quad (380)$$

où

$A_{capteur}$ [m^2] : surface optique des capteurs solaires thermiques (encodé par l'utilisateur).

Le facteur correctif pour la température de la production d'ECS, $f_{corr,temp,ECS,i}$, durant le mois i est quant à lui donné par :

$$f_{corr,temp,ECS,i} = \frac{T_{ref,ECSsol}}{T_{ref,100} - T_{ext,i}} \quad (381)$$

où

$T_{ref,ECSsol}$ [$^{\circ}C$] : température de référence pour la préparation d'ECS solaire ;

$T_{ref,100}$ [$^{\circ}C$] : température de référence pour le chauffage solaire (égal à $100^{\circ}C$) ;

$T_{ext,i}$ [$^{\circ}C$] : température extérieure durant le mois i , cf équation 11.

La température de référence pour la préparation d'ECS solaire $T_{ref,ECSsol}$ se calcule selon la formule suivante :

$$T_{ref,ECSsol} = 11,6 + 1,18 \cdot T_{type,chaud} + 3,86 \cdot T_{type,froid} - 2,32 \cdot T_{ext,i} \quad (382)$$

où

$T_{type,chaud}$ [$^{\circ}C$] : température type pour l'eau chaude ;

$T_{type,froid}$ [$^{\circ}C$] : température type pour l'eau froide ;

$T_{ext,i}$ [$^{\circ}C$] : température extérieure durant le mois i , cf équation 11.

avec :

$$T_{type,chaud} = \begin{cases} \theta_{V,ECS,chaude} & \text{si encodé par l'utilisateur dans l'onglet ECS+Distribution} \\ 60 & \text{par défaut} \end{cases} \quad (383)$$

$$T_{type,froid} = \begin{cases} \theta_{TW} & \text{si ce paramètre est défini dans l'onglet Sol} \\ 10 & \text{par défaut} \end{cases} \quad (384)$$

où

$\theta_{V,ECS,chaude}$ [$^{\circ}C$] : température de départ de l'eau de la boucle d'ECS en zone chaude (encodé par l'utilisateur dans l'onglet ECS+Distribution) ;

θ_{TW} [$^{\circ}C$] : température moyenne d'alimentation en eau froide, étant équivalente à $T_{e,m}$ (cf équation 72) ;

Intéressons-nous finalement au calcul du paramètre intermédiaire $X_{solar,i}$ du calcul de la fraction solaire :

$$X_{solar,i} = \frac{0,95.k_{1,panneau}.\eta_{cyclesol}.(T_{ref,100} - T_{ext,i}).td_{mois,i}.A_{capteur}}{Q_{g,ECS,mensuel}.1000} \quad (385)$$

où

$k_{1,panneau}$ [$W/(m^2K)$] : caractéristique k1 du panneau solaire thermique (encodé par l'utilisateur ou valeur par défaut selon le choix des capteurs solaires thermiques utilisés)

$\eta_{cyclesol}$ [-] : facteur de perte lié au cycle solaire (égal à 0,8) ;

$T_{ref,100}$ [$^{\circ}C$] : température de référence pour le chauffage solaire (égal à $100^{\circ}C$) ;

$T_{ext,i}$ [$^{\circ}C$] : température extérieure durant le mois i tel que définie par la formule 11 ;

$td_{mois,i}$ [h] : longueur du mois i ;

$A_{capteur}$ [m^2] : surface optique des capteurs solaires thermiques (encodé par l'utilisateur) ;

$Q_{g,ECS,mensuel}$ [kWh/m^2] : besoin brut de chaleur mensuel pour le système d'eau chaude sanitaire, cf équation 352.

18.2 Calcul annexe de la puissance des déperditions de chaleur moyennes du ballon solaire

La puissance des déperditions de chaleur moyennes du ballon solaire dans la zone i est déterminée par un calcul annexe dans l'onglet ECS solaire. Cette puissance peut être utilisée pour le calcul des déperditions annuelles du ballon de stockage défini à la section 17.1.3.

La puissance des déperditions de chaleur moyennes du ballon solaire $P_{S,i}$ sera défini de manière distincte si un ballon de stockage solaire à stratification améliorée est utilisé ou s'il s'agit d'un simple ballon de stockage d'ECS sans stratification.

$$P_{S,i} = \begin{cases} (p_{spec,stock,tot} - p_{spec,stock,dispo}).(T_{cons} - T_{local,i}) & \text{si ballon de stockage solaire à stratification améliorée} \\ p_{spec,stock,tot}.(T_{cons} - T_{local,i}) & \text{si ballon de stockage solaire sans stratification} \end{cases} \quad (386)$$

où

$p_{spec,stock,tot}$ [W/K] : déperditions spécifiques totales du ballon de stockage (encodé par l'utilisateur) ;

$p_{spec,stock,dispo}$ [W/K] : déperditions spécifiques du volume ECS disponible (partie supérieure) du ballon de stockage (encodé par l'utilisateur) ;

T_{cons} [$^{\circ}C$] : température de consigne ECS typique, valant $\max(\theta_{V,ECS,i} - \theta_{V,chauf,i})$;

$T_{local,i}$ [$^{\circ}C$] : température du local du ballon de stockage.

18.3 Fraction solaire relative à l'ECS Lave-Linge et Vaisselle

La fraction solaire relative à l'ECS lave-linge et vaisselle $f_{solaire,ECS,LV}$ est calculée à partir de la fraction solaire globale (ECS à tout type d'usage) pour la production d'ECS selon la formule suivante :

$$\begin{aligned} f_{solaire,ECS,LV} &= \frac{Q_{g,ECS}.\eta_{solar,ECS} - Q_{g,ECS,horsLV}.\eta_{solar,ECS,horsLV}}{Q_{g,ECS} - Q_{g,ECS,horsLV}} \\ &= \frac{Q_{g,solar} - Q_{g,solar,horsLV}}{Q_{g,ECS} - Q_{g,ECS,horsLV}} \end{aligned} \quad (387)$$

où

$Q_{g,ECS}$ [kWh/an] : besoin brut de chaleur annuel pour le système d'eau chaude sanitaire, défini à l'équation 314 ;

$\eta_{solar,ECS}$ [-] : couverture solaire pour la production d'ECS, cf équation 350 ;

$Q_{g,ECS,horsLV}$ [kWh/an] : besoin brut de chaleur annuel pour le système d'eau chaude sanitaire hors Lessive et Vaisselle, défini à l'équation 388 ;

$\eta_{solar,ECS,horsLV}$: couverture solaire pour la production d'ECS hors Lessive et Vaisselle, défini à l'équation 389 ;

$Q_{g,solar}$ [kWh/an] : apport solaire annuel en ECS fourni par le système solaire thermique, défini à l'équation 351 ;

$Q_{g,solar,horsLV}$ [kWh/an] : apport solaire annuel en ECS hors Lessive et Vaisselle fourni par le système solaire thermique, défini à l'équation 390.

Avec :

$$Q_{g,ECS,horsLV} = Q_{g,ECS} - Q_{g,LV,ne} \quad (388)$$

$$\eta_{solar,ECS,horsLV} = \frac{Q_{g,solar,horsLV}}{Q_{g,ECS,horsLV}} \quad (389)$$

où

$Q_{g,ECS}$ [kWh/an] : besoin brut de chaleur annuel pour le système d'eau chaude sanitaire (défini à l'équation 314) ;

$Q_{g,LV,ne}$ [kWh/an] : besoin de chaleur non électrique (non fourni par le lave-linge ou le lave-vaisselle) pour l'ECS lessive et vaisselle (voir formule 443 ou 486 selon que l'on soit dans le cas du résidentiel ou du tertiaire) ;

$Q_{g,solar,horsLV}$ [kWh/an] : apport solaire annuel en ECS hors lessive et vaisselle fourni par le système solaire thermique.

Le calcul de l'apport solaire annuel en ECS hors lessive et vaisselle fourni par le système solaire thermique $Q_{g,solar,horsLV}$ est identique à celui de l'apport solaire annuel en ECS global (y compris l'ECS lessive et vaisselle), $Q_{g,solar}$, développé à l'équation 351 et les formules qui s'en suivent mais en remplaçant le paramètre $Q_{g,ECS,mensuel}$, besoin brut de chaleur mensuel pour le système d'eau chaude sanitaire, par le paramètre $Q_{g,ECS,mensuel,horsLV}$ correspondant au besoin brut de chaleur mensuel pour le système d'eau chaude sanitaire hors ECS pour la lessive et la vaisselle :

$$Q_{g,solar,horsLV} = \sum_{i=Janvier}^{Decembre} f_{solar,i} \cdot Q_{g,ECS,mensuel,horsLV} \quad (390)$$

$$Q_{g,ECS,mensuel,horsLV} = \frac{Q_{g,ECS,horsLV}}{12} \quad (391)$$

où

$f_{solar,i}$ [-] : Fraction solaire du mois i compris dans l'intervalle borné [0,1], cf équation 353 et les développements qui s'ensuivent ;

$Q_{g,ECS,mensuel,horsLV}$ [kWh/an] : Besoin brut de chaleur mensuel pour le système d'eau chaude sanitaire hors ECS pour la lessive et la vaisselle ;

$Q_{g,ECS,horsLV}$ [kWh/an] : Besoin brut de chaleur annuel pour le système d'eau chaude sanitaire hors lessive et vaisselle (défini à l'équation 388).

19 Electricité résidentielle

Cette section développe l'onglet Electricité qui correspond au calcul des consommations électriques dans le cas d'un bâtiment résidentiel.

19.1 Besoin spécifique en électricité des appareils électroménagers

Voyons tout d'abord le calcul du besoin spécifique en électricité des appareils électroménagers, y compris la consommation des auxiliaires $q_{EHH,Totaux}$ intervenant dans la formule 304 dans le calcul du besoin en énergie primaire :

$$q_{EHH,Totaux} = \frac{Q_{EHH,Totaux}}{A_{SRE}} \quad (392)$$

où

$Q_{EHH,Totaux}$ [kWh/an] : besoin total annuel en électricité des appareils électroménagers, y compris la consommation des auxiliaires ;
 A_{SRE} [m²] : surface de référence énergétique.

$$\begin{aligned} Q_{EHH,Totaux} = & Q_{EHH,vaisselle} + Q_{EHH,lessive} + Q_{EHH,sechlinge} + Q_{EHH,refrig} + Q_{EHH,cong} \\ & + Q_{EHH,combi} + Q_{EHH,cuisson} + Q_{EHH,eclair} + Q_{EHH,electron} + Q_{EHH,electromenag} \\ & + Q_{aux} + Q_{EHH,autre} \end{aligned} \quad (393)$$

où

$Q_{EHH,vaisselle}$ [kWh/an] : besoin annuel en électricité pour la vaisselle ;
 $Q_{EHH,lessive}$ [kWh/an] : besoin annuel en électricité pour la lessive ;
 $Q_{EHH,sechlinge}$ [kWh/an] : besoin annuel en électricité pour le séchage du linge ;
 $Q_{EHH,refrig}$ [kWh/an] : besoin annuel en électricité pour la réfrigération ;
 $Q_{EHH,cong}$ [kWh/an] : besoin annuel en électricité pour la congélation ;
 $Q_{EHH,combi}$ [kWh/an] : besoin annuel en électricité pour un système combiné réfrigération-congélation ;
 $Q_{EHH,cuisson}$ [kWh/an] : besoin annuel en électricité pour la cuisson ;
 $Q_{EHH,eclair}$ [kWh/an] : besoin annuel en électricité pour l'éclairage ;
 $Q_{EHH,electron}$ [kWh/an] : besoin annuel en électricité pour les appareils électroniques ;
 $Q_{EHH,electromenag}$ [kWh/an] : besoin annuel en électricité pour les appareils électroménagers ;
 Q_{aux} [kWh/an] : besoin annuel en électricité des auxiliaires (voir section 21) ;
 $Q_{EHH,autre}$ [kWh/an] : besoin annuel en électricité pour un autre usage éventuel (encodé par l'utilisateur).

Si ces besoins ne sont pas considérés dans le calcul de l'énergie primaire, voici leur méthode de calcul hormis dans le cas d'un sèche-linge au gaz que nous traiterons à part par la suite.

Pour k = vaisselle, lessive, sechlinge (hors sèche-linge au gaz), refrig, cong, combi, cuisson, eclair, electron, electromenag :

$$Q_{EHH,k} = Q_{utile,k} \cdot f_{EHH,k} \quad (394)$$

où

$Q_{utile,k}$ [kWh/an] : besoin annuel d'énergie utile pour le système k ;
 $f_{EHH,k}$ [-] : part d'électricité pour fournir le besoin annuel d'énergie utile pour le système k.

Avec :

$$f_{EHH,vaisselle} = \begin{cases} 50\% & \text{si raccordement eau chaude} \\ 100\% & \text{si raccordement eau froide} \end{cases} \quad (395)$$

$$f_{EHH,lessive} = \begin{cases} 55\% & \text{si raccordement eau chaude} \\ 100\% & \text{si raccordement eau froide} \end{cases} \quad (396)$$

$$f_{EHH,sechlinge} = \begin{cases} 0\% & \text{si fil à linge} \\ 100\% & \text{si armoire ou sèche-linge électrique} \end{cases} \quad (397)$$

$$f_{EHH,refrig} = 100\% \quad (398)$$

$$f_{EHH,cong} = 100\% \quad (399)$$

$$f_{EHH,combi} = 100\% \quad (400)$$

$$f_{EHH,cuisson} = \begin{cases} 0\% & \text{si cuisson au gaz} \\ 100\% & \text{si cuisson à l'électricité} \end{cases} \quad (401)$$

$$f_{EHH,eclair} = 100\% \quad (402)$$

$$f_{EHH,electron} = 100\% \quad (403)$$

$$f_{EHH,electromenag} = 100\% \quad (404)$$

Voyons maintenant le calcul du besoin annuel d'énergie utile pour le système k.

Pour k = vaisselle, lessive, sechlinge (hors sèche-linge au gaz), refrig, cong, combi, cuisson, éclair, electron, electromenag :

$$Q_{utile,k} = Cn_k \cdot f_{utilisation,k} \cdot freq_k \cdot N_{ref,k} \quad (405)$$

où

$Cn_k [kWh]$: consommation normalisée du système k, exprimée en kWh/usage (vaisselle, lessive, sechlinge, cuisson) ou en kWh/jour (refrig, cong, combi) ou en W (éclair, electron) ou en kWh/personne.an (electromenag), cf équation 406 ;

$f_{utilisation,k} [-]$: facteur d'utilisation du système k, cf équation 416 ;

$freq_k [-]$: fréquence d'utilisation du système k, exprimée en usages/personne.an (vaisselle, lessive, sechlinge, cuisson,electromenag) ou en jours/an (refrig, cong, combi) ou en kh/personne.an (éclair, electron)), cf équation 426 ;

$N_{ref,k} [-]$: quantité de référence du système k, cf équation 436.

Les consommations normalisées Cn_k sont données par :

$$Cn_{vaisselle} = \begin{cases} \text{valeur introduite} & \text{si encodé par l'utilisateur} \\ 2 & \text{par défaut} \end{cases} \quad (406)$$

$$Cn_{lessive} = \begin{cases} \text{valeur introduite} & \text{si encodé par l'utilisateur} \\ 2 & \text{par défaut} \end{cases} \quad (407)$$

$$Cn_{sechlinge} = \begin{cases} \text{valeur introduite} & \text{si encodé par l'utilisateur} \\ 4, 6 & \text{par défaut} \end{cases} \quad (408)$$

$$Cn_{refrig} = \begin{cases} \text{valeur introduite} & \text{si encodé par l'utilisateur} \\ 1, 3 & \text{par défaut} \end{cases} \quad (409)$$

$$Cn_{cong} = \begin{cases} \text{valeur introduite} & \text{si encodé par l'utilisateur} \\ 1, 5 & \text{par défaut} \end{cases} \quad (410)$$

$$Cn_{combi} = \begin{cases} \text{valeur introduite} & \text{si encodé par l'utilisateur} \\ 1, 5 & \text{par défaut} \end{cases} \quad (411)$$

$$Cn_{cuisson} = \begin{cases} \text{valeur introduite} & \text{si encodé par l'utilisateur} \\ 0, 25 & \text{par défaut} \end{cases} \quad (412)$$

$$Cn_{eclair} = 11.f_{eclair,eco} - 60.(1 - f_{eclair,eco}) \quad (413)$$

$$Cn_{electron} = \begin{cases} \text{valeur introduite} & \text{si encodé par l'utilisateur} \\ 60 & \text{par défaut} \end{cases} \quad (414)$$

$$Cn_{electromenag} = 50 \quad (415)$$

où

$f_{eclair,eco}$ [%] : part de lampes économiques dans le bâtiment (encodé par l'utilisateur).

Les facteurs d'utilisation des systèmes $f_{utilisation,k}$ sont donnés par :

$$f_{utilisation,vaisselle} = 1 \quad (416)$$

$$f_{utilisation,lessive} = \text{valeurintroduite} \quad (417)$$

$$f_{utilisation,sechlinge} = \begin{cases} \frac{f_{humidresid} + 0, 1}{0, 8} & \text{si } f_{humidresid} \text{ encodé par l'utilisateur} \\ 1 & \text{par défaut} \end{cases} \quad (418)$$

$$f_{utilisation,refrig} = \begin{cases} 1 & \text{si dans le volume protégé} \\ 0, 7 & \text{sinon} \end{cases} \quad (419)$$

$$f_{utilisation,cong} = \begin{cases} 1 & \text{si dans le volume protégé} \\ 0, 9 & \text{sinon} \end{cases} \quad (420)$$

$$f_{utilisation,combi} = \begin{cases} 1 & \text{si dans le volume protégé} \\ 0, 9 & \text{sinon} \end{cases} \quad (421)$$

$$f_{utilisation,cuisson} = 1 \quad (422)$$

$$f_{utilisation,eclair} = 1 \quad (423)$$

$$f_{utilisation,electron} = 1 \quad (424)$$

$$f_{utilisation,electromenag} = 1 \quad (425)$$

où

$f_{humidresid}$ [%] : facteur d'humidité résiduelle du linge (encodé par l'utilisateur).

Les fréquences d'utilisation des systèmes $freq_k$ sont données par :

$$freq_{vaisselle} = 65 \quad (426)$$

$$freq_{lessive} = 57 \quad (427)$$

$$freq_{sechlinge} = 57 \quad (428)$$

$$freq_{refrig} = 365 \quad (429)$$

$$freq_{cong} = 365 \quad (430)$$

$$freq_{combi} = 365 \quad (431)$$

$$freq_{cuisson} = 500 \quad (432)$$

$$freq_{eclair} = \frac{2900}{1000} \quad (433)$$

$$freq_{electron} = \text{valeur introduite} \quad (434)$$

$$freq_{electromenag} = 1 \quad (435)$$

Les quantités de référence des systèmes $N_{ref,k}$ sont données par :

$$N_{ref,k} = \begin{cases} N_{occupants} & \text{pour } k=\text{vaisselle, lessive, sechlinge, cuisson, éclair, electron, electromenag} \\ N_{logements} & \text{pour } k=\text{refrig, cong, combi} \end{cases} \quad (436)$$

où

$N_{occupants}$ [-] : nombre d'occupants, valant $\frac{A_{SRE}}{35}$ par défaut, A_{SRE} étant la surface de référence énergétique ;
 $N_{logements}$ [-] : nombre de logements (encodé dans l'onglet Vérification).

Traitons à présent le cas du sèche-linge au gaz.

Le besoin annuel en électricité pour le sèche-linge au gaz $Q_{EHH,sechlingegaz}$ est directement égal au besoin annuel en énergie utile pour celui-ci, tandis que la part d'électricité pour fournir le besoin annuel d'énergie utile pour le sèche-linge au gaz $f_{EHH,sechlingegaz}$ est calculée séparément à titre indicatif :

$$Q_{EHH,sechlingegaz} = Q_{utile,elec,sechlingegaz} \quad (437)$$

$$f_{EHH,sechlingegaz} = \frac{Q_{utile,elec,sechlingegaz}}{Q_{utile,elec,sechlingegaz} + Q_{utile,gaz,sechlingegaz}} \quad (438)$$

où

$Q_{utile,elec,sechlingegaz}$ [kWh/an] : besoin annuel d'énergie électrique utile pour le sèche-linge au gaz ;

$Q_{utile,gaz,sechlingegaz}$ [kWh/an] : besoin annuel d'énergie gaz utile pour le sèche-linge au gaz.

Le besoin annuel d'énergie électrique utile pour le sèche-linge au gaz $Q_{utile,elec,sechlingegaz}$ est calculé comme tout autre sèche-linge comme stipulé dans la formule ci-dessous. Par ailleurs, pour obtenir le besoin annuel d'énergie gaz utile pour le sèche-linge au gaz, $Q_{utile,gaz,sechlingegaz}$, la même formule s'applique également mais en remplaçant la consommation normalisée électrique du sèche-linge par la consommation normalisée gaz, c'est-à-dire :

$$Q_{utile,elec,sechlingegaz} = Cn_{sechlinge} \cdot f_{utilisation,sechlinge} \cdot freq_{sechlinge} \cdot N_{ref,sechlinge} \quad (439)$$

$$Q_{utile,gaz,sechlingegaz} = Cn_{gaz,sechlinge} \cdot f_{utilisation,sechlinge} \cdot freq_{sechlinge} \cdot N_{ref,sechlinge} \quad (440)$$

où

$Cn_{sechlinge}$ [kWhlec/usage] : consommation normalisée en électricité du sèche-linge par usage (encodé par l'utilisateur) ;

$f_{utilisation,sechlinge}$ [-] : facteur d'utilisation du sèche-linge ;

$freq_{sechlinge}$ [-] : fréquence d'utilisation du sèche-linge (57 usages/personne.an) ;

$N_{ref,sechlinge}$ [-] : quantité de référence du sèche linge (égal à $N_{occupants}$) ;

$Cn_{gaz,sechlinge}$ [kWhgaz/usage] : consommation normalisée en gaz du sèche-linge par usage (encodé par l'utilisateur).

A côté de ces calculs de besoins électriques, l'onglet Electricité calcule également la consommation d'énergie par évaporation $Q_{evap,linge}$ de l'humidité encore contenue dans le linge une fois sorti du sèche-linge (sauf s'il

s'agit d'un sèche-linge à condensation) et si ce séchage a lieu dans le volume protégé. Cette donnée est calculée à titre indicative et n'a pas d'influence sur le calcul du besoin en énergie primaire.

$$Q_{evap,linge} = Cn_{evap,linge} \cdot f_{humidresid} \cdot freq_{sechlinge} \cdot N_{ref,sechlinge} \quad (441)$$

où $Cn_{evap,linge}$ [$kWh/usage$] : consommation normalisée pour le séchage par usage valant toujours 3,13 kWh/usage ;
 $f_{humidresid}$ [-] : facteur d'humidité résiduelle du linge (encodé par l'utilisateur) ;
 $freq_{sechlinge}$ [-] : fréquence d'utilisation du sèche-linge (57 usages/personne.an) ;
 $N_{ref,sechlinge}$ [-] : quantité de référence du sèche linge (égal à $N_{occupants}$).

19.2 Besoin de chaleur non renouvelable non électrique pour l'ECS lessive et vaisselle

Voyons à présent le détail de calcul du besoin de chaleur spécifique non renouvelable non électrique (non fourni par le lave-linge ou le lave-vaisselle) pour l'ECS lessive et vaisselle $q_{g,LV,nrne}$:

$$q_{g,LV,nrne} = \frac{Q_{g,LV,ne} \cdot (1 - f_{solaire,ECS,LV})}{A_{SRE}} \quad (442)$$

$$Q_{g,LV,ne} = Q_{utile,vaisselle} \cdot (1 - f_{EHH,vaisselle}) \cdot (1 + f_{add,vaisselle}) + Q_{utile,lessive} \cdot (1 - f_{EHH,lessive}) \cdot (1 + f_{add,lessive}) \quad (443)$$

où

$Q_{g,LV,ne}$ [kWh/an] : besoin de chaleur non électrique (non fourni par le lave-linge ou le lave-vaisselle) pour l'ECS Lessive et Vaisselle ;

A_{SRE} [m^2] : surface de référence énergétique ;

$f_{solaire,ECS,LV}$ [-] : fraction solaire relative à l'ECS lave-linge et vaisselle, cf équation 387) ;

$Q_{utile,vaisselle}$ [kWh/an] : besoin annuel d'énergie utile pour la vaisselle, cf équation 670 ;

$f_{EHH,vaisselle}$ [-] : part d'électricité pour fournir le besoin annuel d'énergie utile pour la vaisselle (0,5 si raccordement eau chaude) ;

$f_{add,vaisselle}$ [-] : facteur de besoin additionnel pour la vaisselle (égal à 0,3) ;

$Q_{utile,lessive}$ [kWh/an] : besoin annuel d'énergie utile pour la lessive, cf équation 670 ;

$f_{EHH,lessive}$ [-] : part d'électricité pour fournir le besoin annuel d'énergie utile pour la lessive (0,55 si raccordement eau chaude) ;

$f_{add,lessive}$ [-] : facteur de besoin additionnel pour la lessive (égal à 0,05).

19.3 Besoin de chaleur pour la cuisson et le séchage au gaz

Voyons maintenant la formule de calcul du besoin de chaleur spécifique pour la cuisson au gaz $q_{cuisson,gaz}$ et du besoin de chaleur spécifique pour le séchage au gaz $q_{sechage,gaz}$:

$$q_{cuisson,gaz} = \frac{Q_{cuisson,gaz}}{A_{SRE}} \quad (444)$$

$$q_{sechage,gaz} = \frac{Q_{sechage,gaz}}{A_{SRE}} \quad (445)$$

où

$Q_{cuisson,gaz}$ [kWh/an] : besoin de chaleur annuel pour la cuisson au gaz ;

$Q_{sechage,gaz}$ [kWh/an] : besoin de chaleur annuel pour le séchage au gaz ;

A_{SRE} [m^2] : surface de référence énergétique.

Ces besoins de chaleur annuels sont donnés par :

$$Q_{cuisson,gaz} = Q_{utile,cuisson} \cdot (1 - f_{EHH,cuisson}) \quad (446)$$

$$Q_{sechage,gaz} = Q_{utile,gaz,sechlinge,gaz} \quad (447)$$

où

$Q_{utile,cuisson}$ [kWh/an] : besoin annuel d'énergie utile pour la cuisson ;

$f_{EHH,cuisson}$ [-] : part d'électricité pour fournir le besoin annuel d'énergie utile pour la cuisson (nul si cuisson au gaz) ;

$Q_{utile,gaz,sechlinge,gaz}$ [kWh/an] : besoin annuel d'énergie gaz utile pour le sèche-linge au gaz (voir formule 440).

20 Electricité non résidentielle

Cette section développe l'onglet Electricité non résidentielle qui correspond au calcul des consommations électriques dans le cas d'un bâtiment non résidentiel. Certains paramètres sont les mêmes que dans l'onglet Electricité mais appliqués au cas d'un bâtiment non résidentiel.

20.1 Besoin spécifique en électricité des appareils

Voyons tout d'abord le calcul du besoin spécifique en électricité des appareils électroménagers, y compris la consommation des auxiliaires, $q_{EHH,Totaux}$ intervenant dans la formule 304 dans le calcul du besoin en énergie primaire :

$$q_{EHH,Totaux} = \frac{Q_{EHH,Totaux}}{A_{SRE}} \quad (448)$$

où

$Q_{EHH,Totaux}$ [kWh/an] : besoin total annuel en électricité des appareils électroménagers, y compris la consommation des auxiliaires ;

A_{SRE} [m²] : surface de référence énergétique.

Le besoin total annuel en électricité des appareils électroménagers, y compris la consommation des auxiliaires est donné par :

$$Q_{EHH,Totaux} = Q_{EHH,eclairage} + Q_{EHH,bureau} + Q_{EHH,cuisine} + Q_{aux} \quad (449)$$

où

$Q_{EHH,eclairage}$ [kWh/an] : besoin annuel en électricité pour l'éclairage, cf section 20.1.1 ;

$Q_{EHH,bureau}$ [kWh/an] : besoin annuel en électricité pour les équipements de bureau, cf section 20.1.2 ;

$Q_{EHH,cuisine}$ [kWh/an] : besoin annuel en électricité pour la cuisine, cf section 20.1.3 ;

Q_{aux} [kWh/an] : besoin annuel en électricité des auxiliaires, cf section 21.

20.1.1 Besoin annuel en électricité pour l'éclairage

Le besoin annuel en électricité pour l'éclairage est donné par :

$$Q_{EHH,eclairage} = \sum_i^{N_{locaux}} Q_{EHH,eclairage,i} \quad (450)$$

où

N_{locaux} [-] : nombre de locaux ;

$Q_{EHH,eclairage,i}$ [kWh/an] : Besoin annuel en électricité pour l'éclairage du local i.

Si l'utilisateur a encodé un nombre positif d'heures de fonctionnement de l'éclairage à pleine charge pour le local i, $N_{h,plcharge,ut,i}$, le besoin annuel en électricité pour l'éclairage dudit local est donné par :

$$Q_{EHH,eclairage,i} = \frac{N_{h,plcharge,ut,i} \cdot P_{eclair,i} \cdot f_{ASRE,i} \cdot A_{SRE}}{1000} \quad (451)$$

où

$N_{h,plcharge,ut,i}$ [h] : nombre d'heures de fonctionnement de l'éclairage à pleine charge encodé par l'utilisateur pour le local i (encodé par l'utilisateur) ;

$P_{eclair,i}$ [W/m²] : puissance d'éclairage installée dans le local i, cf équation 453 ;

$f_{ASRE,i}$ [%] : quote-part de la surface de référence énergétique dédiée au local i (encodé par l'utilisateur) ;

A_{SRE} [m²] : surface de référence énergétique.

Si l'utilisateur n'a pas encodé un nombre positif d'heures de fonctionnement de l'éclairage à pleine charge pour le local i, $N_{h,plcharge,ut,i}$, le besoin annuel en électricité pour l'éclairage dudit local est donné par :

$$Q_{EHH,eclairage,i} = \begin{cases} \frac{1}{1000} \cdot (f_{part,eclair,i} \cdot P_{eclair,i} \cdot f_{ASRE,i} \cdot ASRE \cdot N_{h,plch,zdiu,i}) & \text{si } f_{sup,lumjour,i} > 0,8 \\ \frac{1}{1000} \cdot (f_{part,eclair,i} \cdot P_{eclair,i} \cdot f_{ASRE,i} \cdot ASRE \cdot (f_{sup,lumjour,i} \cdot N_{h,plch,zdiu,i} \\ + (1 - f_{sup,lumjour,i}) \cdot N_{h,plch,horszdiu,i})) & \text{sinon} \end{cases} \quad (452)$$

où

$f_{part,eclair,i}$ [-] : Facteur de fonctionnement partiel de la durée d'occupation du bâtiment pour l'éclairage relatif au local i, donnée à encoder dans l'onglet Usage non résidentiel ;

$P_{eclair,i}$ [W/m^2] : puissance d'éclairage installée dans le local i, cf équation 453 ;

$f_{ASRE,i}$ [%] : quote-part de la surface de référence énergétique dédiée au local i (encodé par l'utilisateur) ;

$ASRE$ [m^2] : surface de référence énergétique ;

$N_{h,plch,zdiu}$ [h] : nombre d'heures de fonctionnement à pleine charge pour le local i en zone lumière diurne, cf équation 456 ;

$f_{sup,lumjour,i}$ [%] : part de la superficie du local i qui reçoit la lumière du jour, cf équation 454 ;

$N_{h,plch,horszdiu,i}$ [h] : nombre d'heures de fonctionnement à pleine charge pour le local i hors zone lumière diurne, cf équation 457.

La puissance d'éclairage installée dans le local i $P_{eclair,i}$ est donnée par :

$$P_{eclair,i} = \begin{cases} \text{valeur introduite} & \text{si encodé par l'utilisateur} \\ \text{Entier } le + \text{proche} \left(\frac{P_{nom,lux,i} \cdot 2,62 + 1,9}{0,2} \right) \cdot 0,2 & \text{sinon} \end{cases} \quad (453)$$

$P_{nom,lux,i}$ [Lux] : puissance nominale d'éclairage exprimée pour le local i, donnée à encoder dans l'onglet Usage non résidentiel ;

$\text{Entier } le + \text{proche}(x)$: renvoie l'entier le plus proche de x.

Voyons maintenant comment est calculée la part de la superficie du local i qui reçoit la lumière du jour $f_{sup,lumjour,i}$:

$$f_{sup,lumjour,i} = \min \left(\frac{(H_{ssbarrot,i} - 0,8) \cdot 2,5}{L_{prof,i}} ; 1 \right) \quad (454)$$

où

$H_{ssbarrot,i}$ [m] : hauteur sous barrot du local i ;

$L_{prof,i}$ [m] : profondeur du local i (encodé par l'utilisateur).

Avec :

$$H_{ssbarrot,i} = \begin{cases} H_{linteau,i} & \text{en l'absence de contradiction dans les données encodées par l'utilisateur} \\ 2,2 & \text{par défaut sinon} \end{cases} \quad (455)$$

où

$H_{linteau,i}$ [m] : hauteur du linteau du local i (encodé par l'utilisateur) ;

En ce qui concerne le nombre d'heures de fonctionnement à pleine charge pour le local i en zone lumière diurne, $N_{h,plch,zdiu,i}$, ainsi que le nombre d'heures de fonctionnement à pleine charge pour le local i hors zone lumière diurne, $N_{h,plch,horszdiu,i}$, voici comment ils sont calculés :

$$N_{h,plch,zdiu,i} = \text{Entier } le + \text{proche} \left(\frac{f_{part,FTL,i} \cdot N_{h,util,jour} \cdot f_{pres,i} + N_{h,util,nuit}}{10} \right) \cdot 10 \quad (456)$$

$$N_{h,plch,horszdiu,i} = \text{Entier } le + \text{proche} \left(\frac{N_{h,util,jour} \cdot f_{pres,i} + N_{h,util,nuit}}{10} \right) \cdot 10 \quad (457)$$

où

$f_{part,FTL,i}$ [-] : facteur de fonctionnement partiel pour l'éclairage naturel FTL, cf équation 459 ;

$N_{h,util,jour} [h]$: nombre d'heures d'utilisation pendant la journée exprimé en heures par an (calculé dans l'onglet Usage non résidentiel);
 $f_{pres,i} [-]$: facteur de présence pour le local i, cf équation 458;
 $N_{h,util,nuit} [h]$: nombre d'heures d'utilisation nocturne exprimé en heures par an (calculé dans l'onglet Usage non résidentiel).

Le facteur de présence $f_{pres,i}$ se calcule selon la norme DIN V 18599 - 4 : 2005-07 :

$$f_{pres,i} = \begin{cases} f_{absence,i} \cdot 0,95 & \text{si il existe un détecteur de présence dans le local i} \\ f_{absence,i} \cdot 0,33 & \text{sinon} \end{cases} \quad (458)$$

où

$f_{absence,i}$: Facteur d'absence relative du local i, donnée encodée dans l'onglet Usage non résidentiel.

Voyons comment est calculé le facteur de fonctionnement partiel pour l'éclairage naturel FTL $f_{part,FTL,i}$:

$$f_{part,FTL,i} = 1 - \{(1 - f_{ecransol,i}) \cdot f_{lumjour,CTL,i} + f_{ecransol,i} \cdot f_{protsol,CTL,i}\} \cdot f_{control,eclnat,CTL,i} \quad (459)$$

où

$f_{ecransol,i} [-]$: facteur relatif à l'activation d'un écran solaire pour le local i, cf équation 460;

$f_{lumjour,CTL,i} [-]$: facteur d'offre de lumière du jour CTL pour le local i, cf équation 461;

$f_{protsol,CTL,i} [-]$: facteur d'offre de lumière du jour à protection solaire CTL activée pour le local i (fixé à 0,7);

$f_{control,eclnat,CTL,i} [-]$: facteur de correction constant pour le système de contrôle d'éclairage naturel CTL pour le local i, cf tableau repris en fin de cette présente section.

Selon l'orientation de la façade avec fenêtres du local i, le facteur relatif à l'activation d'un écran solaire pour le local i équivaut à :

$$f_{ecransol,i} = \begin{cases} 0 & \text{si } \sin(\beta_{N,ff,i} + 45) \geq 0 \text{ et } \cos(\beta_{N,ff,i} + 45) \geq 0 \\ 0,2 & \text{si } \sin(\beta_{N,ff,i} + 45) \geq 0 \text{ et } \cos(\beta_{N,ff,i} + 45) < 0 \\ 0,2 & \text{si } \sin(\beta_{N,ff,i} + 45) < 0 \text{ et } \cos(\beta_{N,ff,i} + 45) \geq 0 \\ 0,33 & \text{si } \sin(\beta_{N,ff,i} + 45) < 0 \text{ et } \cos(\beta_{N,ff,i} + 45) < 0 \end{cases} \quad (460)$$

où

$\beta_{N,ff,i} [^\circ]$: écart angulaire entre la direction Nord et la direction de la façade avec fenêtres (encodé par l'utilisateur).

Les valeurs numériques proviennent de la norme DIN V 18599 - 4 : 2005-07 (0 pour la direction Nord ; 0,33 pour le Sud et 0,2 pour l'Est et l'Ouest).

Le facteur d'offre de lumière du jour CTL pour le local i :

$$f_{lumjour,CTL,i} = a_{1,i} \cdot \left(\frac{2}{1 + e^{(-1,5 \cdot TQ_{zone,i} \cdot f_{eff,lum,i} \cdot a_{3,i})}} - 1 \right) + a_{2,i} \cdot \left(\frac{2}{1 + e^{(-0,5 \cdot TQ_{zone,i} \cdot f_{eff,lum,i} \cdot a_{3,i})}} - 1 \right) \quad (461)$$

où

$a_{1,i} [-]$ et $a_{2,i} [-]$: coefficients dont la valeur dépend de la puissance nominale;

$a_{3,i} [-]$: coefficient qui dépend de la direction de la façade avec fenêtres du local i;

$TQ_{zone,i} [-]$: TQ de la zone du local i, cf équation 465;

$f_{eff,lum,i} [-]$: facteur d'efficacité de transmission de la lumière pour le local i, cf équation 466.

Les coefficients $a_{1,i}$, $a_{2,i}$ et $a_{3,i}$ sont définis selon la norme DIN V 18599 - 4 : 2005-07.

$$a_{1,i} = \begin{cases} 0,89 & \text{si } P_{nom,lux,i} < 500 \\ 0,58 & \text{si } P_{nom,lux,i} \leq 750 \\ 0,26 & \text{si } P_{nom,lux,i} > 750 \end{cases} \quad (462)$$

$$a_{2,i} = \begin{cases} 0,1 & \text{si } P_{nom,lux,i} < 500 \\ 0,4 & \text{si } P_{nom,lux,i} \leq 750 \\ 0,7 & \text{si } P_{nom,lux,i} > 750 \end{cases} \quad (463)$$

$$a_{3,i} = \begin{cases} 0,75 & \text{si } \sin(\beta_{N,ff,i} + 45) \geq 0 \text{ et } \cos(\beta_{N,ff,i} + 45) \geq 0 \\ 0,85 & \text{si } \sin(\beta_{N,ff,i} + 45) \geq 0 \text{ et } \cos(\beta_{N,ff,i} + 45) < 0 \\ 0,85 & \text{si } \sin(\beta_{N,ff,i} + 45) < 0 \text{ et } \cos(\beta_{N,ff,i} + 45) \geq 0 \\ 1 & \text{si } \sin(\beta_{N,ff,i} + 45) < 0 \text{ et } \cos(\beta_{N,ff,i} + 45) < 0 \end{cases} \quad (464)$$

où

$P_{nom,lux,i}$ [*Lux*] : puissance nominale d'éclairage pour le local *i*, donnée à encoder dans l'onglet Usage non résidentiel ;

$\beta_{N,ff,i}$ [-] : écart angulaire entre la direction Nord et la direction de la façade avec fenêtres exprimé en degrés (encodé par l'utilisateur).

Les conditions correspondent aux orientations Nord, Est, Ouest et Sud.

Le paramètre TQ de la zone du local *i* est donné par :

$$TQ_{zone,i} = 4,13 + 20.(f_{indice,transp,i} - 1,36.f_{indice,profsp,lumjour,i}).f_{ombrage,i} \quad (465)$$

où

$f_{indice,transp,i}$ [-] : indice de transparence relatif au local *i*, cf équation 467 ;

$f_{indice,profsp,lumjour,i}$ [-] : indice de profondeur spatiale en zone de lumière diurne pour le local *i*, cf équation 468 ;

$f_{ombrage,i}$ [-] : facteur d'ombrage relatif au local *i*, cf équation 469.

Enfin, le facteur d'efficacité de transmission de la lumière pour le local *i* est donné par :

$$f_{eff,lum,i} = f_{trans,vitrage,i}.f_{salissure}.f_{rayonNP}.f_{clair,dir,i} \quad (466)$$

où

$f_{trans,vitrage,i}$ [-] : facteur de transmission lumineuse du vitrage du local *i* (encodé par l'utilisateur) ;

$f_{salissure}$ [-] : facteur de salissure fixé à 0,95 ;

$f_{rayonNP}$ [-] : facteur de rayonnement non perpendiculaire fixé à 0,85 ;

$f_{clair,dir,i}$ [-] : facteur de clair de vitrage selon la direction de la façade avec fenêtres du local *i* (calculé dans l'onglet Fenêtres).

Revenons maintenant à la détermination de l'indice de transparence relatif au local *i* $f_{indice,transp,i}$ qui est donné par :

$$f_{indice,transp,i} = \frac{H_{ssbarrot,i} - \max(H_{travail,i}; H_{parapet,i}).L_{largeur,vitrage,i}}{L_{largeur,local,i}.L_{prof,i}.f_{sup,lumjour,i}} \quad (467)$$

où

$H_{ssbarrot,i}$ [*m*] : hauteur sous barrot du local *i*, cf équation 455 ;

$H_{travail,i}$ [*m*] : hauteur du plan de travail du local *i*, donnée à encoder dans l'onglet Usage non résidentiel ;

$H_{parapet,i}$ [*m*] : hauteur de parapet du local *i*, égale à 0,8 m ;

$L_{largeur,vitrage,i}$ [*m*] : largeur du vitrage du local *i* (encodé par l'utilisateur) ;

$L_{largeur,local,i}$ [*m*] : largeur du local *i* (encodé par l'utilisateur) ;

$L_{prof,i}$ [*m*] : profondeur du local *i* (encodé par l'utilisateur) ;

$f_{sup,lumjour,i}$: part de la superficie du local *i* qui reçoit la lumière du jour, cf équation 454.

L'indice de profondeur spatiale en zone de lumière diurne pour le local *i* $f_{indice,profsp,lumjour,i}$ est donné par :

$$f_{indice,profsp,lumjour,i} = \frac{\min\{(H_{ssbarrot,i} - H_{travail,i}).2, 5; L_{prof,i}\}}{H_{ssbarrot,i} - H_{travail,i}} \quad (468)$$

où

$H_{ssbarrot,i}$ [*m*] : hauteur sous barrot du local *i*, cf équation 455 ;

$H_{travail,i}$ [m] : hauteur du plan de travail du local i, donnée à encoder dans l'onglet Usage non résidentiel ;
 $L_{prof,i}$ [m] : profondeur du local i (encodé par l'utilisateur).

Le facteur d'ombrage relatif au local i $f_{ombrage,i}$ est donné par :

$$f_{ombrage,i} = f_{o,Dir,i} \quad (469)$$

où

$f_{o,Dir,i}$ [-] : facteur d'ombrage dans la direction dir selon l'orientation de la façade avec fenêtres du local i, cf section 6.1.

Le facteur de correction constant pour le système de contrôle d'éclairage naturel CTL pour le local i $f_{control,eclnat,CTL,i}$ est égal à l'une des valeurs du tableau suivant issu de la norme DIN V 18599 - 4 : 2005-07. Cette valeur dépend du type de système de contrôle d'éclairage ainsi que de la puissance nominale d'éclairage exprimée en Lux pour le local i, $P_{nom,lux,i}$. La valeur qui est prise est celle qui correspond à la puissance nominale d'éclairage inférieure et la plus proche de $P_{nom,lux,i}$ sauf si $P_{nom,lux,i} < 300$ auquel cas c'est la valeur correspondant à 300 Lux qui est prise en considération.

La caractéristique Faible, Moyen ou Fort dépend de la valeur du paramètre TQ de la zone du local i, $TQ_{zone,i}$ (défini à l'équation 465). Si celui-ci est inférieur 4, on prendra une des valeurs correspondant à la caractéristique Faible; s'il est inférieur à 6, Moyen; s'il est supérieur ou égal à 6, Fort.

Tableau des facteurs de correction constant pour le système de contrôle d'éclairage naturel CTL

	Faible	Faible	Faible	Moyen	Moyen	Moyen	Fort	Fort	Fort
[Lux]	300	500	750	300	500	750	300	500	750
manuel	0,33	0,3	0,27	0,38	0,35	0,32	0,43	0,4	0,37
autarcique sans éteindre	0,65	0,7	0,73	0,7	0,73	0,75	0,73	0,75	0,76
autarcique qui éteint	0,71	0,74	0,76	0,77	0,78	0,79	0,81	0,81	0,81
système domotique	0,76	0,81	0,83	0,83	0,85	0,86	0,87	0,87	0,87

20.1.2 Besoin annuel en électricité pour les équipements de bureau

Le besoin annuel en électricité pour les équipements de bureau est égal à la somme des besoins pour les pc, les écrans, les photocopieuses, imprimantes, serveurs, téléphones et autres équipements :

$$Q_{EHH,bureau} = Q_{EHH,pc} + Q_{EHH,ecran} + Q_{EHH,photoc} + Q_{EHH,imprim} + Q_{EHH,serveur} + Q_{EHH,tel} + Q_{EHH,autre} \quad (470)$$

où

$Q_{EHH,pc}$ [kWh/an] : besoin annuel en électricité pour les PC, y compris le mode veille ;
 $Q_{EHH,ecran}$ [kWh/an] : besoin annuel en électricité pour les écrans, y compris le mode veille ;
 $Q_{EHH,photoc}$ [kWh/an] : besoin annuel en électricité pour les photocopieurs, y compris le mode veille ;
 $Q_{EHH,imprim}$ [kWh/an] : besoin annuel en électricité pour les imprimantes, y compris le mode veille ;
 $Q_{EHH,serveur}$ [kWh/an] : besoin annuel en électricité pour les serveurs, y compris le mode veille ;
 $Q_{EHH,tel}$ [kWh/an] : besoin annuel en électricité pour la centrale téléphonique ;
 $Q_{EHH,autre}$ [kWh/an] : besoin annuel en électricité pour d'autres équipements éventuels.

Pour i = pc, ecran :

$$Q_{EHH,i} = \frac{N_{equip,i} \cdot N_{h,util,i} \cdot \{P_{actif,i} \cdot (1 - f_{absence}) + P_{veille,i} \cdot f_{absence}\}}{1000} \quad (471)$$

où

$N_{equip,i} [-]$: nombre d'équipements de type i (encodé par l'utilisateur) ;
 $N_{h,util,i} [h/an]$: nombre d'heures d'utilisation annuelle de l'équipement de type i, donnée à encoder dans l'onglet Usage non résidentiel ;
 $P_{actif,i} [W]$: puissance absorbée par l'équipement i en mode actif (encodé par l'utilisateur) ;
 $P_{veille,i} [W]$: puissance absorbée par l'équipement i en mode veille (encodé par l'utilisateur) ;
 $f_{absence} [-]$: facteur d'absence relative, donnée à encoder dans l'onglet Usage non résidentiel et fonction du local où est situé l'équipement.

Pour i = photocopieur, imprimante :

$$Q_{EHH,i} = \frac{N_{equip,i} \cdot \{P_{actif,i} \cdot (N_{h,util,tot,i} - N_{h,util,veille,i}) + P_{veille,i} \cdot N_{h,util,veille,i}\}}{1000} \quad (472)$$

où

$N_{equip,i} [-]$: nombre d'équipements de type i (encodé par l'utilisateur) ;
 $P_{actif,i} [W]$: puissance absorbée par l'équipement i en mode actif (encodé par l'utilisateur) ;
 $P_{veille,i} [W]$: puissance absorbée par l'équipement i en mode veille (encodé par l'utilisateur) ;
 $N_{h,util,tot,i} [h/an]$: nombre d'heures total d'utilisation annuelle de l'équipement de type i, donnée à encoder dans l'onglet Usage non résidentiel et fonction du local où est situé l'équipement ;
 $N_{h,util,veille,i} [h/an]$: nombre d'heures d'utilisation annuelle en mode veille de l'équipement de type i (encodé par l'utilisateur).

Pour i = serveur :

$$Q_{EHH,serveur} = \frac{N_{equip,serveur} \cdot (P_{actif,serveur} \cdot N_{h,util,serveur} + P_{veille,serveur} \cdot (8760 - N_{h,util,serveur}))}{1000} \quad (473)$$

où

$N_{equip,serveur} [-]$: nombre de serveurs (encodé par l'utilisateur) ;
 $P_{actif,serveur} [W]$: puissance absorbée par un serveur en mode actif (encodé par l'utilisateur) ;
 $P_{veille,serveur} [W]$: puissance absorbée par un serveur en mode veille (encodé par l'utilisateur) ;
 $N_{h,util,serveur} [h/an]$: nombre d'heures d'utilisation annuelle des serveurs, donnée à encoder dans l'onglet Usage non résidentiel et fonction du local où est situé l'équipement.

Pour i = téléphone :

$$Q_{EHH,tel} = \frac{N_{equip,tel} \cdot P_{tel} \cdot 8760}{1000} \quad (474)$$

où

$N_{equip,tel} [-]$: nombre de centrales téléphoniques (encodé par l'utilisateur) ;
 $P_{tel} [W]$: puissance absorbée par une centrale téléphonique (encodé par l'utilisateur).

20.1.3 Besoin annuel en électricité pour la cuisine

Le besoin annuel en électricité pour la cuisine $Q_{EHH,cuisine}$ est donné par :

$$Q_{EHH,cuisine} = Q_{EHH,cuisson} + Q_{EHH,vaisselle} + Q_{EHH,refrig} + \sum Q_{EHH,autre} \quad (475)$$

où

$Q_{EHH,cuisson} [kWh/an]$: besoin annuel en électricité pour la cuisson ;
 $Q_{EHH,vaisselle} [kWh/an]$: besoin annuel en électricité pour la vaisselle ;
 $Q_{EHH,refrig} [kWh/an]$: besoin annuel en électricité pour la réfrigération ;
 $Q_{EHH,autre} [kWh/an]$: besoin annuel en électricité pour un autre équipement de la cuisine.

Pour k=cuisson, vaisselle, réfrig, autre :

$$Q_{EHH,k} = Q_{utile,k} \cdot f_{EHH,k} \quad (476)$$

où

$Q_{utile,k} [kWh/an]$: Besoin annuel d'énergie utile pour le système k ;
 $f_{EHH,k} [\%]$: part d'électricité pour fournir le besoin annuel d'énergie utile pour le système k.

avec :

$$f_{EHH,cuisson} = \begin{cases} 0\% & \text{si cuisson au gaz} \\ 100\% & \text{si cuisson à l'électricité} \end{cases} \quad (477)$$

$$f_{EHH,vaisselle} = \begin{cases} 55\% & \text{si raccordement eau chaude} \\ 100\% & \text{si raccordement eau froide} \end{cases} \quad (478)$$

$$f_{EHH,refrig} = 100\% \quad (479)$$

$$f_{EHH,autre} = 100\% \quad (480)$$

Les besoins annuels d'énergie utile pour les différents systèmes sont donnés par :

$$Q_{utile,cuisson} = N_{jours,util,cuisine} \cdot N_{repas,jour} \cdot Cn_{cuisson} \quad (481)$$

$$Q_{utile,vaisselle} = N_{jours,util,cuisine} \cdot N_{repas,jour} \cdot Cn_{vaisselle} \quad (482)$$

$$Q_{utile,refrig} = 365 \cdot Cn_{refrig} \quad (483)$$

$$Q_{utile,autre} = N_{jours,util,autre} \cdot Cn_{autre} \quad (484)$$

où

$N_{jours,util,cuisine} [j/an]$: nombre de jours d'utilisation de la cuisine (cuisson et vaisselle) par an, donnée à encoder dans l'onglet Usage non résidentiel ;

$N_{repas,jour} [-]$: nombre de repas par jour d'utilisation de la cuisine (encodé par l'utilisateur) ;

$Cn_{cuisson} [kWh]$: consommation normalisée pour la cuisson égal à 0,25 kWh/repas ;

$Cn_{vaisselle} [kWh]$: consommation normalisée pour la vaisselle égal à 0,1 kWh/couvert ;

$Cn_{refrig} [kWh]$: consommation normalisée pour la réfrigération (exprimée en kWh/jour et encodée par l'utilisateur) ;

$N_{jours,util,autre} [kWh]$: nombre de jours d'utilisation d'un autre équipement de la cuisine par an (encodé par l'utilisateur) ;

$Cn_{autre} [kWh]$: consommation normalisée pour un autre équipement de la cuisine (exprimée en kWh/jour et encodée par l'utilisateur).

20.2 Besoin de chaleur spécifique non renouvelable non électrique

Voyons à présent le détail de calcul du besoin de chaleur spécifique non renouvelable non électrique (non fourni par le lave-linge ou le lave-vaisselle) pour l'ECS lessive et vaisselle $q_{g,LV,nrne}$:

$$q_{g,LV,nrne} = \frac{Q_{g,LV,ne} \cdot (1 - \eta_{solar,ECS})}{A_{SRE}} \quad (485)$$

$$Q_{g,LV,ne} = Q_{utile,vaisselle} \cdot (1 - f_{EHH,vaisselle}) \cdot (1 + f_{add,vaisselle}) \quad (486)$$

où

$Q_{g,LV,ne} [kWh/an]$: besoin de chaleur non électrique (non fourni par le lave-linge ou le lave-vaisselle) pour l'ECS lessive et vaisselle ;

$\eta_{solar,ECS} [-]$: fraction solaire pour la production d'ECS, cf équation 350 ;

$Q_{utile,vaisselle} [kWh/an]$: Besoin annuel d'énergie utile pour la vaisselle ;

$f_{EHH,vaisselle} [\%]$: part d'électricité pour fournir le besoin annuel d'énergie utile pour la vaisselle (0,55 si raccordement eau chaude) ;

$f_{add,vaisselle} [-]$: facteur de besoin additionnel pour la vaisselle (égal à 0,3).

20.3 Besoin de chaleur spécifique pour la cuisson au gaz

Voyons maintenant la formule de calcul du besoin de chaleur spécifique pour la cuisson au gaz $q_{cuisson,gaz}$:

$$q_{cuisson,gaz} = \frac{Q_{cuisson,gaz}}{A_{SRE}} \quad (487)$$

$$(488)$$

où

$Q_{cuisson,gaz} [kWh/an]$: besoin de chaleur annuel pour la cuisson au gaz .

Ce besoin de chaleur annuel est donné par :

$$Q_{cuisson,gaz} = Q_{utile,cuisson} \cdot (1 - f_{EHH,cuisson}) \quad (489)$$

où

$Q_{utile,cuisson}$ [kWh/an] : besoin annuel d'énergie utile pour la cuisson ;
 $f_{EHH,cuisson}$ [%] : part d'électricité pour fournir le besoin annuel d'énergie utile pour la cuisson (nul si cuisson au gaz).

21 Electricité des auxiliaires

Dans cette section, nous allons développer la consommation spécifique en électricité des auxiliaires q_{aux} .

$$q_{aux} = \frac{Q_{aux}}{A_{SRE}} \quad (490)$$

où

Q_{aux} [kWh/an] : Consommation totale annuelle en électricité des auxiliaires ;
 A_{SRE} [m²] : Surface de référence énergétique.

$$Q_{aux} = Q_{aux,ventil,hiver} + Q_{aux,ventil,ete} + Q_{aux,ventil,degivr} + Q_{aux,chauf,circ} + Q_{aux,chauf,chaudiere} + Q_{aux,eau,circ} + Q_{aux,eau,circstockECS} + Q_{aux,eau,chaudiere} + Q_{aux,eau,circsolare} + Q_{aux,autre} \quad (491)$$

où

$Q_{aux,ventil,hiver}$ [kWh/an] : consommation totale annuelle en électricité des auxiliaires pour la ventilation en hiver, cf section 21.1 ;

$Q_{aux,ventil,ete}$ [kWh/an] : consommation totale annuelle en électricité des auxiliaires pour la ventilation en été, cf section 21.1 ;

$Q_{aux,ventil,degivr}$ [kWh/an] : consommation totale annuelle en électricité des auxiliaires pour le dégivrage de l'échangeur de la ventilation, cf section 21.1 ;

$Q_{aux,chauf,circ}$ [kWh/an] : consommation totale annuelle en électricité des auxiliaires pour le circulateur de l'installation de chauffage, cf section 21.2 ;

$Q_{aux,chauf,chaudiere}$ [kWh/an] : consommation totale annuelle en électricité des auxiliaires pour la chaudière de l'installation de chauffage, cf section 21.2 ;

$Q_{aux,eau,circ}$ [kWh/an] : consommation totale annuelle en électricité des auxiliaires pour le circulateur de l'installation d'eau potable, cf section 21.3 ;

$Q_{aux,eau,circstockECS}$ [kWh/an] : consommation totale annuelle en électricité des auxiliaires pour le circulateur du stockage d'ECS, cf section 21.3 ;

$Q_{aux,eau,chaudiere}$ [kWh/an] : consommation totale annuelle en électricité des auxiliaires pour la chaudière pour le chauffage d'ECS, cf section 21.3 ;

$Q_{aux,eau,circsolare}$ [kWh/an] : consommation totale annuelle en électricité des auxiliaires pour le circulateur solaire, cf section 21.3 ;

$Q_{aux,autre}$ [kWh/an] : consommation totale annuelle en électricité des auxiliaires d'une autre installation technique, cf section 21.4.

Si les différents systèmes sont existants dans le bâtiment considéré et couvrent effectivement une part des besoins énergétiques, suivent ici les méthodes de calcul de chacune de ces consommations.

21.1 Electricité des auxiliaires de l'installation de ventilation

Pour $i =$ hiver, été :

$$Q_{aux,ventil,i} = C n_{aux,ventil,hiverete} \cdot n_{L,sys} \cdot freq_{aux,ventil,i} \cdot V_L \quad (492)$$

où

$C n_{aux,ventil,hiverete}$ [Wh/m³] : consommation normalisée en électricité des auxiliaires de la ventilation (encodé dans l'onglet Ventilation ou 0,65 Wh/m³ par défaut) ;

$n_{L,sys}$ [vol/h] : renouvellement d'air moyen, tel que défini dans la section 5.1 ;

$freq_{aux,ventil,i}$ [h/an] : fréquence d'utilisation de l'électricité des auxiliaires de la ventilation en période i ;

V_L [m³] : volume d'air effectif.

Avec :

$$freq_{aux,ventil,hiver} = t_{chauf} * 24 \quad (493)$$

$$freq_{aux,ventil,ete} = 8760 - t_{chauf} * 24 \quad (494)$$

où

t_{chauf} [j] : longueur de la période de chauffe en jours, étant égale à H_T , tel que définie par l'équation 7.

En ce qui concerne le calcul de la consommation totale annuelle en électricité des auxiliaires pour le dégivrage de l'échangeur de la ventilation $Q_{aux,ventil,degivr}$, utile en cas d'absence de puits canadien :

$$Q_{aux,ventil,degivr} = Cn_{aux,ventil,degivr} \cdot freq_{aux,ventil,degivr} \quad (495)$$

où

$Cn_{aux,ventil,degivr}$ [W] : consommation normalisée en électricité des auxiliaires pour le dégivrage de l'échangeur de la ventilation ;

$freq_{aux,ventil,degivr}$ [h/an] : fréquence d'utilisation de l'électricité des auxiliaires pour le dégivrage de l'échangeur de la ventilation.

Avec :

$$Cn_{aux,ventil,degivr} = V_L \cdot n_{L,sys} \cdot (\theta_{degivr} + 10, 8) \cdot 0, 333 \quad (496)$$

où

$n_{L,sys}$ [vol/h] : renouvellement d'air moyen, tel que défini dans la section 5.1 ;

V_L [m³] : volume d'air effectif ;

θ_{degivr} [°C] : température extérieure en-dessous de laquelle le dégivrage de l'échangeur de la ventilation se met en marche (encodé par l'utilisateur).

La fréquence d'utilisation de l'électricité des auxiliaires pour le dégivrage de l'échangeur de la ventilation est donnée par :

$$freq_{aux,ventil,degivr} = t_{chauf} \cdot e^{(0,24 \cdot \theta_{degivr})} \quad (497)$$

où

t_{chauf} [j] : longueur de la période de chauffe en jours, étant égale à H_T , tel que définie par l'équation 7 ;

θ_{degivr} [°C] : température extérieure en-dessous de laquelle le dégivrage de l'échangeur de la ventilation se met en marche (encodé par l'utilisateur).

21.2 Electricité des auxiliaires de l'installation de chauffage

Voyons à présent le détail de calcul de la consommation totale annuelle en électricité des auxiliaires de l'installation de chauffage suivants : le circulateur et les auxiliaires de la chaudière.

La consommation totale annuelle en électricité du circulateur de l'installation de chauffage est donnée par :

$$Q_{aux,chauf,circ} = Cn_{aux,chauf,circ} \cdot f_{utilisation,chauf,circ} \cdot freq_{aux,chauf,circ} \quad (498)$$

où

$Cn_{aux,chauf,circ}$ [W] : consommation normalisée en électricité des auxiliaires pour le circulateur de l'installation de chauffage ;

$f_{utilisation,chauf,circ}$ [-] : facteur d'utilisation de l'électricité des auxiliaires pour le circulateur de l'installation de chauffage ;

$freq_{aux,chauf,circ}$ [h/an] : fréquence d'utilisation de l'électricité des auxiliaires pour le circulateur de l'installation de chauffage.

Avec :

$$Cn_{aux,chauf,circ} = \begin{cases} P_{nom,chauf,circ} & \text{si encodé par l'utilisateur} \\ 80 + 0, 15 \cdot V_{exterieur} \cdot 0, 32 & \text{si } \theta_{V,chauf,chaude} < 45^\circ C \\ 45 + 0, 085 \cdot V_{exterieur} \cdot 0, 32 & \text{sinon} \end{cases} \quad (499)$$

où

$P_{nom,chauf,circ}$ [W] : puissance nominale du circulateur du circuit de chauffage (encodé par l'utilisateur) ;

$V_{exterieur}$ [m³] : volume extérieur (encodé par l'utilisateur dans l'onglet Vérification) ;

$\theta_{V,chauf,chaude}$ [°C] : température de départ de l'eau du circuit de chauffage en zone chaude (encodé par l'utilisateur dans l'onglet ECS+Distribution).

Le facteur d'utilisation de l'électricité des auxiliaires pour le circulateur de l'installation de chauffage se calcule selon la formule suivante :

$$f_{utilisation,chauf,circ} = \begin{cases} \frac{1}{1,4 - \frac{20}{V_{exterieur} \cdot 0,32}} & \text{avec régulation} \\ 1 & \text{sans régulation} \end{cases} \quad (500)$$

où

$V_{exterieur} [m^3]$: volume extérieur (encodé par l'utilisateur dans l'onglet Vérification).

Enfin la fréquence d'utilisation de l'électricité des auxiliaires pour le circulateur de l'installation de chauffage, $f_{req_{aux,chauf,circ}}$ est déterminé comme suit :

$$f_{req_{aux,chauf,circ}} = t_{chauf} \cdot 24 \quad (501)$$

où

$t_{chauf} [j]$: longueur de la période de chauffe en jours, étant égale à H_T , tel que définie par l'équation 7.

Passons maintenant au calcul de la consommation totale annuelle en électricité des auxiliaires de la chaudière de l'installation de chauffage.

$$Q_{aux,chauf,chaudiere} = Cn_{aux,chauf,chaudiere} \cdot f_{req_{aux,chauf,chaudiere}} \quad (502)$$

où

$Cn_{aux,chauf,circ} [W]$: consommation normalisée en électricité des auxiliaires pour la chaudière de l'installation de chauffage;

$f_{req_{aux,chauf,circ}} [h/an]$: fréquence d'utilisation de l'électricité des auxiliaires pour la chaudière de l'installation de chauffage.

Avec :

$$Cn_{aux,chauf,chaudiere} = \begin{cases} P_{el30,chauf,chaudiere} & \text{si encodé par l'utilisateur} \\ 15 \cdot P_{Nenn}^{0,48} & \text{sinon} \end{cases} \quad (503)$$

où

$P_{el30,chauf,chaudiere} [W]$: puissance électrique de la chaudière avec une charge de 30 %;

$P_{Nenn} [W]$: puissance de dimensionnement de la chaudière, cf équation 653.

La fréquence d'utilisation de l'électricité des auxiliaires pour la chaudière de l'installation de chauffage (exprimée en heures par an) est donnée par :

$$f_{req_{aux,chauf,chaudiere}} = \frac{t_{periode,chauf} \cdot \varphi_H}{0,3} \quad (504)$$

où

$t_{periode,chauf} [h/h]$: durée de la période de chauffe, cf équation 654 (différente de t_{chauf} rencontré précédemment);

$\varphi_H [-]$: degré de charge de la chaudière pour le chauffage, cf équation 651.

21.3 Electricité des auxiliaires de l'installation d'eau potable

Voyons à présent le détail de calcul de la consommation totale annuelle en électricité des auxiliaires de l'installation d'eau potable suivants : le circulateur, le circulateur du stockage en ECS, auxiliaire lié à la chaudière et le circulateur solaire.

Voyons tout d'abord le calcul de la consommation totale annuelle en électricité des auxiliaires pour le circulateur de l'installation d'eau potable :

$$Q_{aux,eau,circ} = Cn_{aux,eau,circ} \cdot f_{req_{aux,eau,circ}} \quad (505)$$

où

$Cn_{aux,eau,circ} [W]$: consommation normalisée en électricité des auxiliaires pour le circulateur de l'installation d'eau potable;

$freq_{aux,eau,circ} [h/an]$: fréquence d'utilisation de l'électricité des auxiliaires pour le circulateur de l'installation d'eau potable.

Avec :

$$Cn_{aux,eau,circ} = \begin{cases} P_{moyen,eau,circ} & \text{si encodé par l'utilisateur} \\ 27 + 0,008.V_{exterieur} \cdot 0,32 & \text{sinon} \end{cases} \quad (506)$$

où

$P_{moyen,eau,circ} [W]$: puissance moyenne du circulateur de l'installation d'eau potable ;
 $V_{exterieur} [m^3]$: volume extérieur (encodé par l'utilisateur dans l'onglet Vérification).

La fréquence d'utilisation de l'électricité des auxiliaires pour le circulateur de l'installation d'eau potable (exprimée en heures par an) est donnée par :

$$freq_{aux,eau,circ} = 10 + \left(\frac{1}{0,07 + \frac{50}{V_{exterieur} \cdot 0,32}} \right) \cdot 365 \quad (507)$$

où

$V_{exterieur} [m^3]$: volume extérieur (encodé par l'utilisateur dans l'onglet Vérification).

Passons maintenant au calcul de la consommation totale annuelle en électricité des auxiliaires pour le circulateur du stockage d'ECS :

$$Q_{aux,eau,circstockECS} = Cn_{aux,eau,circstockECS} \cdot freq_{aux,eau,circstockECS} \quad (508)$$

où

$Cn_{aux,chauf,circstockECS} [W]$: consommation normalisée en électricité des auxiliaires pour le circulateur du stockage d'ECS ;

$freq_{aux,chauf,circstockECS} [h/an]$: fréquence d'utilisation de l'électricité des auxiliaires pour le circulateur du stockage d'ECS.

Avec :

$$Cn_{aux,eau,circstockECS} = \begin{cases} P_{nom,eau,circstockECS} & \text{si encodé par l'utilisateur} \\ 44 + 0,059.V_{exterieur} \cdot 0,32 & \text{sinon} \end{cases} \quad (509)$$

où

$P_{nom,eau,circstockECS} [W]$: puissance nominale du circulateur du stockage de l'ECS ;
 $V_{exterieur} [m^3]$: volume extérieur (encodé par l'utilisateur dans l'onglet Vérification).

$$freq_{aux,eau,circstockECS} = \frac{Q_{g,ECS}}{P_{Nenn}} \quad (510)$$

où

$Q_{g,ECS} [kWh/an]$: besoin brut de chaleur annuel pour le système d'eau chaude sanitaire, cf équation 314 ;
 $P_{Nenn} [kW]$: puissance de dimensionnement de la chaudière, cf équation 653.

La consommation totale annuelle en électricité des auxiliaires pour la chaudière pour le chauffage d'ECS est déterminée comme suit :

$$Q_{aux,eau,chaudiere} = Cn_{aux,eau,chaudiere} \cdot freq_{aux,eau,chaudiere} \quad (511)$$

où

$Cn_{aux,eau,chaudiere} [W]$: consommation normalisée en électricité des auxiliaires de la chaudière pour la production d'ECS ;

$freq_{aux,eau,chaudiere} [h/an]$: fréquence d'utilisation de l'électricité des auxiliaires de la chaudière pour la production d'ECS.

Avec :

$$Cn_{aux,eau,chaudiere} = \begin{cases} P_{el100,eau,chaudiere} & \text{si encodé par l'utilisateur} \\ 45 \cdot P_{Nenn}^{0,48} & \text{sinon} \end{cases} \quad (512)$$

où

$P_{el100,eau,chaudiere}$ [W] : Puissance électrique de la chaudière avec une charge de 100 % ;
 P_{Nenn} [kW] : Puissance de dimensionnement de la chaudière exprimée en kW (voir formule 653).

La fréquence d'utilisation de l'électricité des auxiliaires pour le circulateur du stockage d'ECS est donnée par :

$$freq_{aux,eau,chaudiere} = t_{ECS} \cdot \varphi_{TW} \quad (513)$$

où

t_{ECS} [h/an] : durée de la période de production d'ECS (valant 8760 heures) ;
 φ_{TW} [-] : degré de charge de la chaudière pour l'ECS (cf équation 657).

Enfin, la consommation totale annuelle en électricité des auxiliaires pour le circulateur solaire est défini par l'expression suivante :

$$Q_{aux,eau,circsolaire} = Cn_{aux,eau,circsolaire} \cdot freq_{aux,eau,circsolaire} \quad (514)$$

où

$Cn_{aux,eau,circsolaire}$ [W] : consommation normalisée en électricité des auxiliaires pour le circulateur solaire ;
 $freq_{aux,eau,circsolaire}$ [h/an] : fréquence d'utilisation de l'électricité des auxiliaires pour le circulateur solaire (valant 1750 heures par an).

Avec :

$$Cn_{aux,eau,circsolaire} = \begin{cases} P_{nom,eau,circsolaire} & \text{si encodé par l'utilisateur} \\ 30 + 0,05 \cdot V_{exterieur} \cdot 0,32 & \text{sinon} \end{cases} \quad (515)$$

où

$P_{nom,eau,circsolaire}$ [W] : puissance nominale du circulateur solaire ;
 $V_{exterieur}$ [m³] : volume extérieur (encodé par l'utilisateur dans l'onglet Vérification).

21.4 Electricité des auxiliaires d'une autre installation technique

La consommation totale annuelle en électricité des auxiliaires d'une autre installation technique est définie comme suit :

$$Q_{aux,autre} = Q_{aux,autre,1logement} \cdot N_{logements} \quad (516)$$

où

$Q_{aux,autre,1logement}$ [kWh/an] : consommation totale annuelle en électricité des auxiliaires d'une autre installation technique par logement (encodé par l'utilisateur) ;
 $N_{logements}$ [-] : nombre de logements (encodé dans l'onglet Vérification).

21.5 Contribution de l'électricité des auxiliaires aux apports internes

Si les différents auxiliaires électriques, dont la méthode de calcul vient d'être développée, se situent dans le volume protégé, voici la manière dont est calculé leur contribution aux apports internes.

Nous ne développerons pas ici la contribution des auxiliaires de la ventilation en hiver ou en été dans la mesure où respectivement, la première est déjà prise en compte dans le calcul des apports internes et la seconde est considérée comme ne contribuant pas aux apports internes en été.

Pour i = ventil,hiver ; ventil,ete ; ventil,degiver ; chauff,circ ; chauff,chaudiere ; eau,circ ; eau,circstockECS ; eau,chaudiere ; eau,circsolaire ; autre :

$$qint_i = \frac{Q_{aux,i} \cdot disp_{aux,i} \cdot 1000}{per_{util,aux,i}} \quad (517)$$

où $qint_i$ [W] : apport de chaleur interne $qint_i$ pour chaque auxiliaire i ; $Q_{aux,i}$ [kWh/an] : consommation totale annuelle en électricité de l'auxiliaire i (telle que calculé selon les formules développées précédemment dans cette section) ;

$disp_{aux,i}$ [-] : disponibilité comme apport de chaleur interne de l'auxiliaire i , cf formule 518 ;

$per_{util,aux,i}$ [h] : période d'utilisation de l'auxiliaire i , cf formule 519.

avec :

$$disp_{aux,i} = \begin{cases} \frac{225}{365} & \text{si } i = \text{circ eau potable ou circ solaire} \\ 1 & \text{sinon} \end{cases} \quad (518)$$

$$per_{util,aux,i} = 24 \cdot \begin{cases} 365 & \text{pour } i = \text{circ eau potable, circ solaire, autre} \\ t_{chauf} & \text{sinon} \end{cases} \quad (519)$$

où

t_{chauf} [j] : longueur de la période de chauffe en jours, étant égale à H_T , tel que définie par l'équation 7.

22 Système multi-intégré

Dans cette section, nous allons développer la consommation spécifique en énergie du système multi-intégré q_{multi} , calculée dans l'onglet Système multi-intégré.

$$q_{multi} = \frac{Q_{multi}}{A_{SRE}} \quad (520)$$

où q_{multi} [$kWh/(m^2.an)$] : consommation annuelle spécifique en énergie du système multi-intégré;
 Q_{multi} [kWh/an] : consommation annuelle en énergie du système multi-intégré;
 A_{SRE} [m^2] : surface de référence énergétique.

$$Q_{multi} = Q_{E,dir} + \frac{Q_{PAC,chauf}}{k_{chauf}} + \frac{Q_{PAC,ECS,hiv}}{k_{ECS,hiv}} + \frac{Q_{PAC,dispo,hiv}}{k_{dispo,hiv}} + \frac{Q_{PAC,ECS,ete}}{k_{ECS,ete}} + \frac{Q_{PAC,dispo,ete}}{k_{dispo,ete}} \quad (521)$$

où

$Q_{E,dir}$ [kWh/an] : production de chaleur en électricité directe, cf équation 522 ;
 $Q_{PAC,chauf}$ [kWh/an] : production de chaleur de la PAC pour le chauffage, cf équation 584 ;
 k_{chauf} [-] : COP moyen pour le chauffage, cf équation 594 ;
 $Q_{PAC,ECS,hiv}$ [kWh/an] : production de chaleur de la PAC pour l'ECS en hiver, cf équation 588 ;
 $k_{ECS,hiv}$ [-] : COP moyen pour l'ECS en hiver, cf équation 595 ;
 $Q_{PAC,dispo,hiv}$ [kWh/an] : production de chaleur de la PAC pour disposition en hiver, cf équation 589 ;
 $k_{dispo,hiv}$ [-] : COP moyen pour disposition en hiver, cf équation 596 ;
 $Q_{PAC,ECS,ete}$ [kWh/an] : production de chaleur de la PAC pour l'ECS en été, cf équation 591 ;
 $k_{ECS,ete}$ [-] : COP moyen pour l'ECS en été, cf équation 598 ;
 $Q_{PAC,dispo,ete}$ [kWh/an] : production de chaleur de la PAC pour disposition en été, cf équation 590 ;
 $k_{dispo,ete}$ [-] : COP moyen pour disposition en été, cf équation 597.

22.1 Détermination des productions de chaleur

Dans cette section, nous allons détailler les différentes productions de chaleur intervenant dans la consommation en énergie du système multi-intégré.

Nous allons tout d'abord expliciter la détermination de la production de chaleur en électricité directe $Q_{E,dir}$.

$$Q_{E,dir} = \frac{P_{brute,max} - P_{multi,WP,max}}{2} \cdot t_{multi,puissance} \cdot 24 \quad (522)$$

où

$P_{brute,max}$ [kW] : puissance maximale brute nécessaire pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire, cf équation 523 ;
 $P_{multi,WP,max}$ [kW] : puissance max de charge thermique, cf équation 526 ;
 $t_{multi,puissance}$ [j] : nombre de jours de fonctionnement à puissance max, cf équation 568.

Nous allons d'abord détailler la puissance maximale brute nécessaire pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire $P_{brute,max}$:

$$P_{brute,max} = P_{g,ECS} + P_{GB} \quad (523)$$

$$P_{g,ECS} = \frac{Q_{g,ECS} \cdot t_{ECS,multi}}{365.24} \quad (524)$$

$$(525)$$

où

$P_{g,ECS}$ [kW] : puissance brut pour le système d'eau chaude sanitaire ;
 P_{GB} [kW] : puissance maximale pour chauffer le bâtiment (calculé dans l'onglet Puissance de chauffage) ;
 $Q_{g,ECS}$ [kWh/an] : besoin brut de chaleur annuel pour le système d'eau chaude sanitaire, cf équation 314 ;
 $t_{ECS,multi}$ [%] : taux de couverture du besoin en ECS par le système multi-intégré (encodé par l'utilisateur dans l'onglet Calcul EP).

La puissance maximale de charge thermique se calcule de la manière suivante :

$$P_{multi,WP,max} = \min \left(\frac{P_{WP,charge} \cdot g_{charge} + P_{WP,ECS} \cdot g_{ECS} + P_{WP,chauf} \cdot g_{chauf}}{24}; P_{brute,max} \right) \quad (526)$$

où

$P_{WP,charge}$ [kW] : puissance de charge de la PAC pour le chauffage, cf équation 530;

g_{charge} [h] : temps de charge de la PAC pour le chauffage, cf équation 527;

$P_{WP,ECS}$ [kW] : puissance de la PAC pour l'ECS, cf équation 530;

g_{ECS} [h] : temps de fonctionnement de la PAC pour l'ECS, cf équation 528;

$P_{WP,chauf}$ [kW] : puissance de la PAC pour le chauffage, cf équation 530;

g_{chauf} [h] : temps de fonctionnement de la PAC pour le chauffage, cf équation 529;

$P_{brute,max}$ [kW] : puissance maximale brute nécessaire pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire, cf équation 523.

$$g_{charge} = \frac{24.P_{charge}}{P_{WP,charge}} \quad (527)$$

$$g_{ECS} = \begin{cases} \frac{24.P_{ECS}}{P_{WP,ECS}} & \text{si l'ECS est prioritaire} \\ 24 - g_{charge} - g_{chauf} & \text{sinon} \end{cases} \quad (528)$$

$$g_{chauf} = \begin{cases} 24 - g_{charge} - g_{ECS} & \text{si l'ECS est prioritaire} \\ \frac{24.P_{GB}}{P_{WP,chauf}} & \text{sinon} \end{cases} \quad (529)$$

Les puissances $P_{WP,charge}$, $P_{WP,ECS}$ et $P_{WP,chauf}$ se calculent suivant la méthodologie suivante :

Pour i=charge, ECS ou chauf, si quatre points de mesure sont disponibles pour la machine, la puissance $P_{WP,i}$ est déterminée comme suit :

$$P_{WP,i} = \begin{cases} \text{si } T_{amb} < T_{1,i} & a_{1,2,3,4,i} \cdot T_{amb} + b_{1,2,3,4,i} \\ \text{si } T_{1,i} \leq T_{amb} < T_{2,i} & a_{1,i} \cdot T_{amb} + b_{1,i} \\ \text{si } T_{2,i} \leq T_{amb} < T_{3,i} & \begin{cases} a_{2,i} \cdot T_{amb} + b_{2,i} & \text{si } a_{2,i} \text{ possède une valeur} \\ P_{bzw,2,i} & \text{sinon} \end{cases} \\ \text{si } T_{3,i} \leq T_{amb} < T_{4,i} & \begin{cases} a_{3,i} \cdot T_{amb} + b_{3,i} & \text{si } a_{3,i} \text{ possède une valeur} \\ = \text{à la valeur correspondant} & \\ \text{à la condition } T_{2,i} \leq T_{amb} < T_{3,i} & \text{sinon} \end{cases} \\ \text{si } T_{amb} \geq T_{4,i} & \begin{cases} P_{bzw,4,i} & \text{si } P_{bzw,4,i} \text{ possède une valeur} \\ = \text{à la valeur correspondant} & \\ \text{à la condition } T_{2,i} \leq T_{amb} < T_{3,i} & \text{sinon} \end{cases} \end{cases} \quad (530)$$

où

T_{amb} [°C] : température de l'air extérieur avec charge de chauffage, cf équation 580;

$P_{bzw,k,i}$ [kW] : valeur mesurée de la puissance pour le point de mesure k et la production k (donnée machine encodée par l'utilisation);

$a_{j,i}$ [-] et $b_{j,i}$ [-] : coefficient angulaire et à l'écart par rapport à l'origine de la droite de régression des points de mesure de la machine.

Si seulement 3 points de mesure sont présents pour la machine, la dernière condition de l'expression précédente ne sera pas d'application. L'avant-dernière condition sera alors remplacée par "si $T_{3,i} \leq T_{amb}$ ". On procédera de manière analogue si la machine possède seulement 2 ou 1 points de mesure.

Les facteurs $a_{j,i}$ et $b_{j,i}$ correspondent au coefficient angulaire et à l'écart par rapport à l'origine de la droite de régression des points de mesure de la machine.

Pour i=charge, les facteurs $a_{j,charge}$ et $b_{j,charge}$ seront fonction de :

$$a_{1,2,3,4,charge} \text{ et } b_{1,2,3,4,charge} = f(T_{amb,chauf,k}; P_{PAC,chauf,k}) \quad \text{pour } k = 1, 2, 3 \text{ et } 4 \quad (531)$$

$$a_{1,charge} \text{ et } b_{1,charge} = f(T_{amb,dispo,k}; P_{PAC,dispo,k}) \quad \text{pour } k = 1 \text{ et } 2 \quad (532)$$

$$a_{2,charge} \text{ et } b_{2,charge} = f(T_{amb,ECS,k}; P_{PAC,dispo,k}) \quad \text{pour } k = 2 \text{ et } 3 \quad (533)$$

$$a_{3,charge} \text{ et } b_{3,charge} = f(T_{amb,ECS,k}; P_{PAC,dispo,k}) \quad \text{pour } k = 3 \text{ et } 4 \quad (534)$$

Et

$$T_{1,charge} = T_{amb,dispo,1} \quad (535)$$

$$T_{2,charge} = T_{amb,dispo,2} \quad (536)$$

$$T_{3,charge} = T_{amb,dispo,3} \quad (537)$$

$$T_{4,charge} = T_{amb,dispo,4} \quad (538)$$

$$P_{bzw,2,charge} = P_{PAC,dispo,2} \quad (539)$$

$$P_{bzw,4,charge} = P_{PAC,dispo,4} \quad (540)$$

Pour i=ECS, les facteurs $a_{j,ECS}$ et $b_{j,ECS}$ seront fonction de :

$$a_{1,2,3,4,ECS} \text{ et } b_{1,2,3,4,ECS} = f(T_{amb,ECS,k}; P_{PAC,ECS,k}) \quad \text{pour } k = 1, 2, 3 \text{ et } 4 \quad (541)$$

$$a_{1,ECS} \text{ et } b_{1,ECS} = f(T_{amb,ECS,k}; P_{PAC,ECS,k}) \quad \text{pour } k = 1 \text{ et } 2 \quad (542)$$

$$a_{2,ECS} \text{ et } b_{2,ECS} = f(T_{amb,ECS,k}; P_{PAC,ECS,k}) \quad \text{pour } k = 2 \text{ et } 3 \quad (543)$$

$$a_{3,ECS} \text{ et } b_{3,ECS} = f(T_{amb,ECS,k}; P_{PAC,ECS,k}) \quad \text{pour } k = 3 \text{ et } 4 \quad (544)$$

Et

$$T_{1,ECS} = T_{amb,ECS,1} \quad (545)$$

$$T_{2,ECS} = T_{amb,ECS,2} \quad (546)$$

$$T_{3,ECS} = T_{amb,ECS,3} \quad (547)$$

$$T_{4,ECS} = T_{amb,ECS,4} \quad (548)$$

$$P_{bzw,2,ECS} = P_{PAC,ECS,2} \quad (549)$$

$$P_{bzw,4,ECS} = P_{PAC,ECS,4} \quad (550)$$

Pour i=chauf, les facteurs $a_{j,chauf}$ et $b_{j,chauf}$ seront fonction de :

$$a_{1,2,3,4,chauf} \text{ et } b_{1,2,3,4,chauf} = f(T_{amb,chauf,k}; P_{PAC,chauf,k}) \quad \text{pour } k = 1, 2, 3 \text{ et } 4 \quad (551)$$

$$a_{1,chauf} \text{ et } b_{1,chauf} = f(T_{amb,chauf,k}; P_{PAC,chauf,k}) \quad \text{pour } k = 1 \text{ et } 2 \quad (552)$$

$$a_{2,chauf} \text{ et } b_{2,chauf} = f(T_{amb,chauf,k}; P_{PAC,chauf,k}) \quad \text{pour } k = 2 \text{ et } 3 \quad (553)$$

$$a_{3,chauf} \text{ et } b_{3,chauf} = f(T_{amb,chauf,k}; P_{PAC,chauf,k}) \quad \text{pour } k = 3 \text{ et } 4 \quad (554)$$

Et

$$T_{1,chauf} = T_{amb,chauf,1} \quad (555)$$

$$T_{2,chauf} = T_{amb,chauf,2} \quad (556)$$

$$T_{3,chauf} = T_{amb,chauf,3} \quad (557)$$

$$T_{4,chauf} = T_{amb,chauf,4} \quad (558)$$

$$P_{bzw,2,chauf} = P_{PAC,chauf,2} \quad (559)$$

$$P_{bzw,4,chauf} = P_{PAC,chauf,4} \quad (560)$$

où

$T_{amb,chauf,k}$ [$^{\circ}C$] : points de mesure k de la température de l'air extérieur pour le chauffage (données machine encodées par l'utilisation) ;

$P_{PAC,chauf,k}$ [kW] : valeur mesurée de la puissance thermique de la PAC chauffage à la température $T_{amb,chauf,k}$ (donnée machine encodée par l'utilisation) ;

$T_{amb,dispo,k}$ [$^{\circ}C$] : points de mesure k de la température de l'air extérieur pour la préparation ECS (données machine encodées par l'utilisation). Si aucune valeur n'est présente pour la machine considérée, cette température sera équivalente à $T_{amb,ECS,k}$;

$P_{PAC,dispo,k}$ [kW] : valeur mesurée de la puissance thermique de la PAC disponible à la température $T_{amb,dispo,k}$ (données machine encodées par l'utilisation). Si aucune valeur n'est présente pour la machine considérée, cette puissance sera équivalente à $P_{PAC,ECS,k}$;

$T_{amb,ECS,k}$ [$^{\circ}C$] : points de mesure k de la température de l'air extérieur pour l'ECS (données machine encodées par l'utilisation) ;

$P_{PAC,ECS,k}$ [kW] : puissance thermique de la PAC ECS à la température $T_{amb,ECS,k}$. Cette puissance est déterminé comme suit :

$$P_{PAC,ECS,k} = f_{app} \cdot P_{ECS,appoint,k} + (1 - f_{app}) \cdot P_{ECS,chauffage,k} \quad (561)$$

$$f_{app} = f_{lave-main} + f_{lavabo} + f_{douche} \quad (562)$$

où

$P_{ECS,chauffage,k}$ [kW] : valeur mesurée de la puissance thermique ECS chauffage stockage à la température $T_{amb,ECS,k}$ (donnée machine encodée par l'utilisation) ;

$P_{ECS,appoint,k}$ [kW] : valeur mesurée de la puissance thermique ECS appoints chauffage à la température $T_{amb,ECS,k}$ (donnée machine encodée par l'utilisation) ;

f_{app} [-] : facteur d'utilisation des appoints ECS, valant 63% ;

$f_{lave-main}$ [-] : facteur d'utilisation des lave-mains, valant 14% ;

f_{lavabo} [-] : facteur d'utilisation des lavabos, valant 36% ;

f_{douche} [-] : facteur d'utilisation des douches, valant 40%.

Intéressons-nous à présent à la détermination de la température T_{amb} :

$$T_{amb} = \frac{T_{zus} \cdot V_{zus} + [T_{int} - \eta_{WRG,eff} \cdot (T_{int} - T_{amb,2})] \cdot n_{L,sys} + \eta_{EWU} \cdot T_{int} \cdot \frac{V_{zus}}{1 - \eta_{EWU}} - T_{int} \cdot n_{L,sys} + \eta_{EWU} \cdot T_{int} \cdot n_{L,sys}}{\frac{V_{zus}}{1 - \eta_{EWU}} + \eta_{EWU} \cdot n_{L,sys}} \quad (563)$$

où

T_{zus} [°C] : température de l'air de l'ajout et du mélange sur l'air extrait ;

V_{zus} [m³/h] : débit d'air de l'ajout et du mélange sur l'air extrait (donnée machine encodée par l'utilisation) ;

T_{int} [°C] : température intérieure ;

$\eta_{WRG,eff}$ [%] : rendement effectif du récupérateur de chaleur sur la ventilation tel que déterminé à la section 5.3 ;

$T_{amb,2}$ [°C] : température intermédiaire permettant de déterminer la température de l'air extérieur avec charge de chauffage ;

$n_{L,sys}$ [vol/h] : taux de renouvellement moyen de ventilation tel que défini à la section 5.1 ;

η_{EWU} [%] : rendement réel de récupération de l'échangeur géothermique tel que déterminé à la section 5.4.

Avec

$$T_{zus} = \eta_{PGT,zus} \cdot (T_{int} - T_{zus,2}) + T_{zus,2} \quad (564)$$

$$T_{amb,2} = T_{zus,2} + \eta_{EWU} \cdot (T_{int} - T_{zus,2}) \quad (565)$$

$$T_{zus,2} = T_{ext,puis} \quad (566)$$

$$\eta_{PGT,zus} = \frac{T_{e,m} - T_{au}}{T_{int} - T_{au}} \cdot \eta_{PGT}^* \quad (567)$$

où

$\eta_{PGT,zus}$ [%] : degré de disponibilité chaleur PGT, mélange d'air extrait ;

η_{PGT}^* [%] : rendement échangeur géothermique, mélange d'air extrait (à encoder par l'utilisateur) ;

T_{int} [°C] : température intérieure ;

$T_{zus,2}$ [°C] : température intermédiaire permettant de déterminer la température de l'air de l'ajout et du mélange sur l'air extrait ;

$T_{ext,puis}$ [°C] : température de calcul de la puissance de chauffe (cf onglet Puissance) ;

T_{au} [K] : température moyenne extérieure pendant la période de chauffe, telle que définie par l'équation 109 ;

$T_{e,m}$ [°C] : Température moyenne annuelle à la surface du sol, correspondant à la moyenne annuelle des températures extérieures mensuelles $T_{ext,i}$ (pondérée par la longueur de chaque mois) à laquelle 1°C est ajouté (cf équation 72).

Revenons maintenant à la détermination du nombre de jours de fonctionnement à puissance max $t_{multi,puissance}$.

$$t_{multi,puissance} = \frac{P_{multi,WP,max} - P_{brute,max}}{\frac{P_{multi,WP,max} - P_{WP,max,2}}{t_{multi,charge}} - \frac{P_{GB}}{t_{multi,chauf}}} \quad (568)$$

$$t_{multi,charge} = (P_{brute,max} - P_{g,ECS} - P_{charge}) \cdot \frac{t_{multi,chauf}}{P_{GB}} \quad (569)$$

$$t_{multi,chauf} = \frac{tc_{chauf,multi} \cdot (Q_H + Q_{HL}) \cdot 2}{(P_{brute,max} - P_{g,ECS}) \cdot 24} \quad (570)$$

où

$P_{multi,WP,max}$ [kW] : puissance max de charge thermique, cf équation 526 ;

$P_{brute,max}$ [kW] : puissance maximale brute nécessaire pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire, cf équation 523 ;

$P_{WP,max,2}$ [kW] : puissance max intermédiaire permettant de calculer le nombre de jours de fonctionnement à puissance max $t_{multi,puissance}$;

P_{GB} [kW] : puissance maximale pour chauffer le bâtiment (calculé dans l'onglet Puissance de chauffage) ;

$P_{g,ECS}$ [kW] : puissance brut pour le système d'eau chaude sanitaire, cf équation 524 ;

$P_{g,ECS}$ [kW] : puissance brut pour le système d'eau chaude sanitaire, cf équation 524 ;

$t_{multi,chauf}$ [j] : nombre de jours de fonctionnement pour le chauffage ;

$t_{multi,charge}$ [j] : nombre de jours de fonctionnement pour la préparation ;

$Q_H + Q_{HL}$ [kWh/an] : somme du besoin en chauffage, tel que calculé aux chapitres 1 ou 2, et des déperditions tuyauteries, correspondant au rapport entre les déperditions spécifiques des tuyauteries (cf équation 334) et la surface énergétique de référence ;

$tc_{chauf,multi}$ [%] : taux de couverture des besoins de chauffage par le système multi-intégré (encodé par l'utilisateur dans l'onglet Calcul EP).

Le $P_{WP,max,2}$ est calculé sur base de l'équation 530 avec T_{amb} qui sera remplacée par $T_{amb,t_{multi,charge}}$.

La température moyenne de l'air extérieur $T_{amb,t_{multi,charge}}$ est calculé de manière similaire au calcul de la température T_{amb} (cf équation 580) pour laquelle T_{zus} est remplacée par $T_{zus,t_{multi,charge}}$ et $T_{amb,2}$ par $T_{amb,t_{multi,charge},2}$, soit l'expression suivante :

$$T_{amb,t_{multi,charge}} = \frac{\{T_{zus,t_{multi,charge}} \cdot V_{zus} + [T_{int} - \eta_{WRG,eff} \cdot (T_{int} - T_{amb,t_{multi,charge},2})] \cdot n_{L,sys} + \eta_{EWU} \cdot T_{int} \cdot \frac{V_{zus}}{1 - \eta_{EWU}} - T_{int} \cdot n_{L,sys} + \eta_{EWU} \cdot T_{int} \cdot n_{L,sys}\}}{\frac{V_{zus}}{1 - \eta_{EWU}} + \eta_{EWU} \cdot n_{L,sys}} \quad (571)$$

où

$T_{zus,t_{multi,charge}}$ [°C] : température de l'air de l'ajout et du mélange sur l'air extrait considérée pour le stockage ;

V_{zus} [m³/h] : débit d'air de l'ajout et du mélange sur l'air extrait (donnée machine encodée par l'utilisation) ;

T_{int} [°C] : température intérieure ;

$\eta_{WRG,eff}$ [%] : rendement effectif du récupérateur de chaleur sur la ventilation tel que déterminé à la section 5.3 ;

$T_{amb,t_{multi,charge},2}$ [°C] : température intermédiaire permettant de déterminer la température de l'air extérieur pour le stockage ;

$n_{L,sys}$ [vol/h] : taux de renouvellement moyen de ventilation tel que défini à la section 5.1 ;

η_{EWU} [%] : rendement réel de récupération de l'échangeur géothermique tel que déterminé à la section 5.4.

Avec

$$T_{zus,t_{multi,charge}} = \eta_{PGT,zus} \cdot (T_{int} - T_{zus,t_{multi,charge},2}) + T_{zus,t_{multi,charge},2} \quad (572)$$

$$T_{amb,t_{multi,charge},2} = (24 \cdot t_{multi,charge})^a + b \cdot (24 \cdot t_{multi,charge}) + c \quad (573)$$

$$T_{zus,t_{multi,charge},2} = \eta_{EWU} \cdot \{(24 \cdot t_{multi,charge})^a + b \cdot (24 \cdot t_{multi,charge}) + c\} \quad (574)$$

$$+ (24 \cdot t_{multi,charge})^a + b \cdot (24 \cdot t_{multi,charge}) + c \quad (575)$$

$$(576)$$

Et

$$a = 0,34245861 \quad (577)$$

$$b = -0,000049486 \quad (578)$$

$$c = T_{amb,moy} - \frac{(t_{multi,charge} \cdot 24)^a}{a+1} - b \cdot \frac{t_{multi,charge} \cdot 24}{2} \quad (579)$$

où

$\eta_{PGT,zus}$ [%] : degré de disponibilité chaleur PGT, mélange d'air extrait, cf équation 567;

T_{int} [°C] : température intérieure ;

$T_{zus,t_{multi,charge},2}$ [°C] : température intermédiaire permettant de déterminer la température de l'air de l'ajout et du mélange sur l'air extrait considérée pour le stockage ;

$t_{multi,charge}$ [j] : nombre de jours de fonctionnement pour la préparation, cf équation 569 ;

a [-], b [-] et c [-] : paramètres numériques ;

$T_{amb,moy}$ [°C] : température moyenne permettant de déterminer la température $T_{zus,t_{multi,charge},2}$, déterminée par les expression suivantes.

La température moyenne de l'air extérieur $T_{amb,moy}$ est calculé de manière similaire au calcul de la température T_{amb} (cf équation 580) pour laquelle T_{zus} est remplacée par $T_{zus,moy}$ et $T_{amb,2}$ par $T_{amb,moy,2}$, soit l'expression suivante :

$$T_{amb,moy} = \frac{\{T_{zus,moy} \cdot V_{zus} + [T_{int} - \eta_{WRG,eff} \cdot (T_{int} - T_{amb,moy,2})] \cdot n_{L,sys} + \eta_{EWU} \cdot T_{int} \cdot \frac{V_{zus}}{1 - \eta_{EWU}} - T_{int} \cdot n_{L,sys} + \eta_{EWU} \cdot T_{int} \cdot n_{L,sys}\}}{\frac{V_{zus}}{1 - \eta_{EWU}} + \eta_{EWU} \cdot n_{L,sys}} \quad (580)$$

où

$T_{zus,moy}$ [°C] : température moyenne de l'air de l'ajout et du mélange sur l'air extrait ;

V_{zus} [m³/h] : débit d'air de l'ajout et du mélange sur l'air extrait (donnée machine encodée par l'utilisation) ;

T_{int} [°C] : température intérieure ;

$\eta_{WRG,eff}$ [%] : rendement effectif du récupérateur de chaleur sur la ventilation tel que déterminé à la section 5.3 ;

$T_{amb,moy,2}$ [°C] : température intermédiaire moyenne permettant de déterminer la température de l'air extérieur ;

$n_{L,sys}$ [vol/h] : taux de renouvellement moyen de ventilation tel que défini à la section 5.1 ;

η_{EWU} [%] : rendement réel de récupération de l'échangeur géothermique tel que déterminé à la section 5.4.

Avec

$$T_{zus,moy} = \eta_{PGT,zus} \cdot (T_{int} - T_{zus,moy,2}) + T_{zus,moy,2} \quad (581)$$

$$T_{amb,moy,2} = T_{zus,moy,2} + \eta_{EWU} \cdot (T_{int} - T_{zus,moy,2}) \quad (582)$$

$$T_{zus,moy,2} = \frac{T_{ext,nov} \cdot 30 + T_{ext,dec} \cdot 31 + T_{ext,janv} \cdot 31 + T_{ext,feb} \cdot 28}{30 + 31 + 31 + 28} - 2 \quad (583)$$

où

$\eta_{PGT,zus}$ [%] : degré de disponibilité chaleur PGT, mélange d'air extrait, cf équation 567 ;

T_{int} [°C] : température intérieure ;

$T_{zus,2}$ [°C] : température intermédiaire moyenne permettant de déterminer la température de l'air de l'ajout et du mélange sur l'air extrait ;

$T_{ext,i}$ [°C] : température extérieure durant le mois i tel que définie par la formule 11, pour i = novembre, décembre, janvier et février.

Revenons maintenant au calcul de la quantité de production de chaleur de la PAC pour le chauffage.

$$Q_{PAC,chauf} = \frac{P_{brute,max} - P_{g,ECS} - P_{charge}}{2} \cdot t_{multi,charge} \cdot 24 - Q_{E,dir} - Q_{solar,adm,chauf} \quad (584)$$

où

- $P_{brute,max} [kW]$: puissance maximale brute nécessaire pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire, cf équation 523 ;
 $P_{g,ECS} [kW]$: puissance brut pour le système d'eau chaude sanitaire, cf équation 524 ;
 $P_{charge} [kW]$: puissance correspondant au stockage ;
 $t_{multi,charge} [j]$: nombre de jours de fonctionnement pour la préparation, cf équation 569 ;
 $Q_{solar,adm,chauf} [kWh/an]$: quantité de chaleur solaire admissible.

$$P_{charge} = U.A_{stockage} \cdot \frac{T_{ECS,dispo} - T_{int}}{1000} \quad (585)$$

$$Q_{solar,adm,chauf} = \min(Q_{solar,chauf}; Q_{WP,chauf}) \quad (586)$$

$$Q_{solar,chauf} = \eta_{solar,chauf} \cdot (Q_H + Q_{HL}) \quad (587)$$

où

$U.A_{stockage} [W/K]$: déperditions spécifiques stockage, raccordements inclus (donnée machine à encoder par l'utilisateur) ;

$T_{ECS,dispo} [^{\circ}C]$: moyenne température de stockage pour la préparation d'ECS (donnée machine à encoder par l'utilisateur) ;

$Q_{solar,chauf} [kWh/an]$: quantité de chaleur pour le chauffage solaire ;

$Q_{WP,chauf} [kWh/an]$: quantité de chaleur de la pompe à chaleur pour le chauffage sans chauffage solaire, cf équation 530 ;

$\eta_{solar,chauf}$: couverture solaire pour le chauffage (à encoder par l'utilisateur) ;

$Q_H + Q_{HL} [kWh/an]$: somme du besoin en chauffage, tel que calculé aux chapitres 1 ou 2, et des déperditions tuyauteries, correspondant au rapport entre les déperditions spécifiques des tuyauteries (cf équation 334) et la surface énergétique de référence.

Détaillons maintenant le calcul de la quantité de production de chaleur de la PAC pour l'ECS en hiver :

$$Q_{PAC,ECS,hiv} = \begin{cases} P_{g,ECS} \cdot t_{multi,chauf} \cdot 24 & \text{si } \eta_{solaire,ECS} \cdot Q_{g,ECS} \cdot t_{CECS,multi} < (365 - t_{multi,chauf}) \cdot P_{g,ECS} \cdot 24 \\ P_{g,ECS} \cdot t_{multi,chauf} \cdot 24 & \text{sinon} \\ -\eta_{solar,ECS} \cdot Q_{g,ECS} \cdot t_{CECS,multi} \\ + (365 - t_{multi,chauf}) \cdot P_{g,ECS} \cdot 24 \end{cases} \quad (588)$$

où

$P_{g,ECS} [kW]$: puissance brut pour le système d'eau chaude sanitaire, cf équation 524 ;

$t_{multi,chauf} [j]$: nombre de jours de fonctionnement pour le chauffage, cf équation 570 ;

$Q_{g,ECS} [kWh/an]$: besoin brut de chaleur annuel pour le système d'eau chaude sanitaire, cf équation 314 ;

$\eta_{solar,ECS} [-]$: couverture solaire pour la production d'ECS, cf équation 350 ;

$t_{CECS,multi} [\%]$: taux de couverture des besoins en ECS par le système multi-intégré (encodé par l'utilisateur dans l'onglet Calcul EP).

Par ailleurs, la quantité de production de chaleur PAC disposition en hiver est déterminé comme suit :

$$Q_{PAC,dispo,hiv} = P_{charge} \cdot t_{multi,chauf} \cdot 24 \quad (589)$$

$$Q_{PAC,dispo,ete} = P_{charge} \cdot (365 - t_{multi,chauf}) \cdot 24 \quad (590)$$

où

$P_{charge} [kW]$: puissance correspondant au stockage, cf équation 585 ;

$t_{multi,chauf} [j]$: nombre de jours de fonctionnement pour le chauffage, cf équation 570.

Enfin, la quantité de production de chaleur de la PAC pour l'ECS en été est définie comme suit :

$$Q_{PAC,ECS,ete} = P_{g,ECS,ete} \cdot (365 - t_{multi,chauf}) \cdot 24 \quad (591)$$

où

$t_{multi,chauf} [j]$: nombre de jours de fonctionnement pour le chauffage, cf équation 570 ;

$P_{g,ECS,ete} [kW]$: puissance de l'ECS en été qui est déterminée comme suit :

$$P_{g,ECS,ete} = P_{g,ECS} - \frac{Q_{g,ECS} \cdot t_{ECS,multi} - Q_{ECS,wi,multi}}{365 - t_{multi,chauf}} \quad (592)$$

$$Q_{ECS,wi,multi} = Q_{g,ECS} \cdot (1 - \eta_{solar,ECS}) \cdot t_{ECS,multi} \quad (593)$$

où

$P_{g,ECS}$ [kW] : puissance brut pour le système d'eau chaude sanitaire, cf équation 524 ;

$t_{ECS,multi}$ [%] : taux de couverture des besoins en ECS par le système multi-intégré (encodé par l'utilisateur dans l'onglet Calcul EP),

$Q_{g,ECS}$ [kWh/an] : besoin brut de chaleur annuel pour le système d'eau chaude sanitaire, cf équation 314 ;

$\eta_{solar,ECS}$ [-] : couverture solaire pour la production d'ECS, cf équation 350 ;

$t_{multi,chauf}$ [j] : nombre de jours de fonctionnement pour le chauffage, cf équation 570.

22.2 Détermination des COP moyens

Nous allons maintenant détailler la détermination des différents COP moyen (k_{chauf} , $k_{ECS,hiv}$, $k_{dispo,hiv}$, $k_{dispo,ete}$, $k_{ECS,ete}$) intervenant dans le calcul de la consommation annuelle en énergie du système multi-intégré Q_{multi} , reprise à l'équation 521.

$$k_{chauf} = \frac{Q_{PAC,chauf,0-t_{multi,puissance}} + Q_{PAC,chauf,t_{multi,puissance}-t_{multi,charge}}}{\frac{Q_{PAC,chauf,0-t_{multi,puissance}}}{COP_{PAC,chauf,0-t_{multi,puissance}}} + \frac{Q_{PAC,chauf,t_{multi,puissance}-t_{multi,charge}}}{COP_{PAC,chauf,t_{multi,puissance}-t_{multi,charge}}}} \quad (594)$$

où

$Q_{PAC,chauf,0-t_{multi,puissance}}$ [kWh/an] : consommation en énergie pour le chauffage jusqu'au nombre de jours $t_{multi,puissance}$, cf équation 612 ;

$Q_{PAC,chauf,t_{multi,puissance}-t_{multi,charge}}$ [kWh/an] : consommation en énergie pour le chauffage du nombre de jours $t_{multi,puissance}$ jusqu'au nombre de jours $t_{multi,charge}$, cf équation 613 ;

$COP_{PAC,chauf,0-t_{multi,puissance}}$ [-] : COP pour le chauffage jusqu'au nombre de jours $t_{multi,puissance}$, tel que défini dans les expressions figurant après l'équation 598 ;

$COP_{PAC,chauf,t_{multi,puissance}-t_{multi,charge}}$ [-] : COP pour le chauffage du nombre de jours $t_{multi,puissance}$ jusqu'au nombre de jours $t_{multi,charge}$, tel que défini dans les expressions figurant après l'équation 609.

$$k_{ECS,hiv} = \frac{Q_{PAC,ECS,0-t_{multi,chauf}} + Q_{PAC,ECS,t_{multi,puissance}-t_{multi,chauf}}}{\frac{Q_{PAC,ECS,0-t_{multi,chauf}}}{COP_{PAC,ECS,0-t_{multi,chauf}}} + \frac{Q_{PAC,ECS,t_{multi,puissance}-t_{multi,chauf}}}{COP_{PAC,ECS,t_{multi,puissance}-t_{multi,chauf}}}} \quad (595)$$

où

$Q_{PAC,ECS,0-t_{multi,chauf}}$ [kWh/an] : consommation en énergie pour l'ECS jusqu'au nombre de jours $t_{multi,puissance}$, cf équation 625 ;

$Q_{PAC,ECS,t_{multi,puissance}-t_{multi,chauf}}$ [kWh/an] : consommation en énergie pour l'ECS du nombre de jours $t_{multi,puissance}$ jusqu'au nombre de jours $t_{multi,charge}$, cf équation 626 ;

$COP_{PAC,ECS,0-t_{multi,chauf}}$ [-] : COP pour l'ECS jusqu'au nombre de jours $t_{multi,puissance}$, tel que défini dans les expressions figurant après l'équation 614 ;

$COP_{PAC,ECS,t_{multi,puissance}-t_{multi,chauf}}$ [-] : COP pour l'ECS du nombre de jours $t_{multi,puissance}$ jusqu'au nombre de jours $t_{multi,charge}$, tel que défini dans les expressions figurant après l'équation 624.

$$k_{dispo,hiv} = \frac{Q_{PAC,dispo,0-t_{multi,puissance}} + Q_{PAC,dispo,t_{multi,puissance}-t_{multi,chauf}}}{\frac{Q_{PAC,dispo,0-t_{multi,puissance}}}{COP_{PAC,dispo,0-t_{multi,puissance}}} + \frac{Q_{PAC,dispo,t_{multi,puissance}-t_{multi,chauf}}}{COP_{PAC,dispo,t_{multi,puissance}-t_{multi,chauf}}}} \quad (596)$$

où

$Q_{PAC,dispo,0-t_{multi,puissance}}$ [kWh/an] : consommation en énergie pour la disposition jusqu'au nombre de jours $t_{multi,puissance}$, cf équation 637 ;

$Q_{PAC,dispo,t_{multi,puissance}-t_{multi,chauf}}$ [kWh/an] : consommation en énergie pour la disposition du nombre de jours $t_{multi,puissance}$ jusqu'au nombre de jours $t_{multi,charge}$, cf équation 638 ;

$COP_{PAC,dispo,0-t_{multi,puissance}}$ [-] : COP pour la disposition jusqu'au nombre de jours $t_{multi,puissance}$, tel que défini dans les expressions figurant après l'équation 626 ;

où

$t_{multi,puissance} [j]$: nombre de jours de fonctionnement à puissance max, cf équation 568 ;
 $t_{multi,charge} [j]$: nombre de jours de fonctionnement pour la préparation, cf équation 569 ;
 $a [-]$, $b [-]$ et $c [-]$: paramètres numériques, cf équations 577, 578 et 579.

Les consommations en énergie de chauffage $Q_{PAC,chauf,0-t_{multi,puissance}}$ et $Q_{PAC,chauf,t_{multi,puissance}-t_{multi,charge}}$ sont calculées comme suit :

$$Q_{PAC,chauf,0-t_{multi,puissance}} = Q_{PAC,chauf} - Q_{PAC,chauf,t_{multi,puissance}-t_{multi,charge}} \quad (612)$$

$$Q_{PAC,chauf,t_{multi,puissance}-t_{multi,charge}} = 0,5.(P_{puissance} - P_{charge} - P_{g,ECS}).(t_{multi,charge} - t_{multi,puissance}) \quad (613)$$

Avec

$$P_{puissance} = P_{brute,max} + (P_{g,ECS} - P_{brute,max}).\frac{t_{multi,puissance}}{t_{multi,chauf}} \quad (614)$$

où $Q_{PAC,chauf} [kWh/an]$: production de chaleur de la PAC pour le chauffage, cf équation 584 ;

$P_{puissance} [kW]$: Puissance correspondant au nombre de jours $t_{multi,puissance}$

$P_{charge} [kW]$: puissance correspondant au stockage, cf équation 585 ;

$P_{brute,max} [kW]$: puissance maximale brute nécessaire pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire, cf équation 523 ;

$P_{g,ECS} [kW]$: puissance brut pour le système d'eau chaude sanitaire, cf équation 524 ;

$t_{multi,puissance} [j]$: nombre de jours de fonctionnement à puissance max, cf équation 568 ;

$t_{multi,charge} [j]$: nombre de jours de fonctionnement pour la préparation, cf équation 569.

Le $COP_{PAC,ECS,0-t_{multi,puissance}}$ est calculé sur base de l'équation 530 avec T_{amb} qui sera remplacée par $T_{amb,0-t_{multi,puissance}}$

Pour $i=ECS$, les facteurs $a_{j,ECS}$ et $b_{j,ECS}$ seront fonction de :

$$a_{1,2,3,4,ECS} \text{ et } b_{1,2,3,4,ECS} = f(T_{amb,ECS,k}; COP_{ECS,k}) \quad \text{pour } k = 1, 2, 3 \text{ et } 4 \quad (615)$$

$$a_{1,ECS} \text{ et } b_{1,ECS} = f(T_{amb,ECS,k}; COP_{ECS,k}) \quad \text{pour } k = 1 \text{ et } 2 \quad (616)$$

$$a_{2,ECS} \text{ et } b_{2,ECS} = f(T_{amb,ECS,k}; COP_{ECS,k}) \quad \text{pour } k = 2 \text{ et } 3 \quad (617)$$

$$a_{3,ECS} \text{ et } b_{3,ECS} = f(T_{amb,ECS,k}; COP_{ECS,k}) \quad \text{pour } k = 3 \text{ et } 4 \quad (618)$$

Et

$$T_{1,ECS} = T_{amb,ECS,1} \quad (619)$$

$$T_{2,ECS} = T_{amb,ECS,2} \quad (620)$$

$$T_{3,ECS} = T_{amb,ECS,3} \quad (621)$$

$$T_{4,ECS} = T_{amb,ECS,4} \quad (622)$$

$$P_{bzw,2,ECS} = COP_{ECS,2} \quad (623)$$

$$P_{bzw,4,ECS} = COP_{ECS,4} \quad (624)$$

où

$COP_{ECS,k} [-]$: valeur mesurée du COP ECS à la température $T_{amb,ECS,k}$ (donnée machine encodée par l'utilisation) ;

$COP_{ECS,appoint,k} [-]$: valeur mesurée du COP ECS appoints chauffage à la température $T_{amb,ECS,k}$ (donnée machine encodée par l'utilisation) ;

$T_{amb,ECS,k} [^{\circ}C]$: points de mesure k de la température de l'air extérieur pour l'ECS (données machine encodées par l'utilisation).

Le $COP_{PAC,ECS,t_{multi,puissance}-t_{multi,charge}}$ est calculé sur base des mêmes expressions que le $COP_{PAC,ECS,0-t_{multi,puissance}}$ avec T_{amb} qui sera remplacée par $T_{amb,t_{multi,puissance}-t_{multi,charge}}$ et les coefficients $a_{2,ECS}$ et $b_{2,ECS}$ déterminés pour $k = 1$ et $k = 2$.

Les consommations en énergie pour l'ECS $Q_{PAC,ECS,0-t_{multi,puissance}}$ et $Q_{PAC,ECS,t_{multi,puissance}-t_{multi,charge}}$ sont calculées comme suit :

$$Q_{PAC,ECS,0-t_{multi,puissance}} = P_{g,ECS}.t_{multi,puissance}.24 \quad (625)$$

$$Q_{PAC,ECS,t_{multi,puissance}-t_{multi,charge}} = P_{g,ECS}.(t_{multi,charge} - t_{multi,puissance}).24 \quad (626)$$

où

$P_{g,ECS}$ [kW] : puissance brut pour le système d'eau chaude sanitaire, cf équation 524 ;

$t_{multi,puissance}$ [j] : nombre de jours de fonctionnement à puissance max, cf équation 568 ;

$t_{multi,charge}$ [j] : nombre de jours de fonctionnement pour la préparation, cf équation 569.

Le $COP_{PAC,dispo,0-t_{multi,puissance}}$ est calculé sur base de l'équation 530 avec T_{amb} qui sera remplacée par $T_{amb,0-t_{multi,puissance}}$.

Pour $i=dispo$, les facteurs $a_{j,chauf}$ et $b_{j,chauf}$ seront fonction de :

$$a_{1,2,3,4,dispo} \text{ et } b_{1,2,3,4,dispo} = f(T_{amb,ECS,k}; COP_{dispo,k}) \quad \text{pour } k = 1, 2, 3 \text{ et } 4 \quad (627)$$

$$a_{1,dispo} \text{ et } b_{1,dispo} = f(T_{amb,dispo,k}; COP_{dispo,k}) \quad \text{pour } k = 1 \text{ et } 2 \quad (628)$$

$$a_{2,dispo} \text{ et } b_{2,dispo} = f(T_{amb,dispo,k}; COP_{dispo,k}) \quad \text{pour } k = 2 \text{ et } 3 \quad (629)$$

$$a_{3,dispo} \text{ et } b_{3,dispo} = f(T_{amb,dispo,k}; COP_{dispo,k}) \quad \text{pour } k = 3 \text{ et } 4 \quad (630)$$

Et

$$T_{1,dispo} = T_{amb,dispo,1} \quad (631)$$

$$T_{2,dispo} = T_{amb,dispo,2} \quad (632)$$

$$T_{3,dispo} = T_{amb,dispo,3} \quad (633)$$

$$T_{4,dispo} = T_{amb,dispo,4} \quad (634)$$

$$P_{bzw,2,dispo} = COP_{dispo,2} \quad (635)$$

$$P_{bzw,4,dispo} = COP_{dispo,4} \quad (636)$$

où

$COP_{dispo,k}$ [-] : Valeur mesurée du COP de la PAC disponible à la température $T_{amb,dispo,k}$ (donnée machine encodée par l'utilisation). Si aucune valeur n'est présente pour la machine considérée, ce COP sera équivalente à $COP_{ECS,k}$;

$T_{amb,dispo,k}$ [°C] : points de mesure k de la température de l'air extérieur pour la PAC disponible (données machine encodées par l'utilisation).

Le $COP_{PAC,dispo,t_{multi,puissance}-t_{multi,chauf}}$ est calculé sur base des mêmes expressions que le $COP_{PAC,dispo,0-t_{multi,puissance}}$ avec T_{amb} qui sera remplacée par $T_{amb,t_{multi,puissance}-t_{multi,charge}}$.

Les consommations en énergie disponible $Q_{PAC,dispo,0-t_{multi,puissance}}$ et $Q_{PAC,dispo,t_{multi,puissance}-t_{multi,charge}}$ sont calculée comme suit :

$$Q_{PAC,dispo,0-t_{multi,puissance}} = P_{charge} \cdot t_{multi,puissance} \cdot 24 \quad (637)$$

$$Q_{PAC,dispo,t_{multi,puissance}-t_{multi,charge}} = P_{charge} \cdot (t_{multi,charge} - t_{multi,puissance}) \cdot 24 \quad (638)$$

où

P_{charge} [kW] : puissance correspondant au stockage, cf équation 585 ;

$t_{multi,puissance}$ [j] : nombre de jours de fonctionnement à puissance max, cf équation 568 ;

$t_{multi,charge}$ [j] : nombre de jours de fonctionnement pour la préparation, cf équation 569.

Le $COP_{PAC,dispo,ete}$ est calculé sur base des mêmes expressions que le $COP_{PAC,dispo,0-t_{multi,puissance}}$ avec T_{amb} qui sera remplacée par T_{int} . Le $COP_{PAC,ECS,ete}$ est calculé sur base des mêmes expressions que le $COP_{PAC,ECS,0-t_{multi,puissance}}$ avec T_{amb} qui sera remplacée par T_{int} .

23 Chaudière

La consommation spécifique en énergie de la chaudière est déterminée comme suit :

$$q_{chaudiere} = \frac{Q_{chaudiere}}{A_{SRE}} \quad (639)$$

où

$Q_{chaudiere}$ [kWh/an] : consommation annuelle en énergie de la chaudière ;
 A_{SRE} [m²] : Surface de référence énergétique.

$$Q_{chaudiere} = Q_{chaudiere,chauf} + Q_{chaudiere,ECS} \quad (640)$$

$$Q_{chaudiere,chauf} = Q_{H,wi} \cdot e_{H,g,K} \quad (641)$$

$$Q_{H,wi} = Q_{H,HL} \cdot (1 - \eta_{solar,chauf}) \cdot t_{Cchauf,chaudiere} \quad (642)$$

$$Q_{chaudiere,ECS} = Q_{ECS,wi,chaudiere} \cdot e_{TW,g,K} \quad (643)$$

$$Q_{ECS,wi,chaudiere} = Q_{g,ECS} \cdot (1 - \eta_{solar,ECS}) \cdot t_{CECS,chaudiere} \quad (644)$$

où

$Q_{chaudiere,chauf}$ [kWh/an] : consommation annuelle en énergie finale de la chaudière pour le chauffage ;

$Q_{chaudiere,ECS}$ [kWh/an] : consommation annuelle en énergie finale de la chaudière pour l'ECS ;

$Q_{H,wi}$ [kWh/an] : besoin brut effectif de chauffage ;

$e_{H,g,K}$ [-] : efficacité de la production de chaleur pour le chauffage, cf section 23.1.1 s'il s'agit d'une chaudière fuel ou gaz et section 23.2.1 s'il s'agit d'une chaudière biomasse ;

$Q_{H,HL}$ [kWh/an] : besoin de chauffage total, pertes par distribution comprises, cf équation 645 ;

$\eta_{solar,chauf}$ [-] : couverture solaire pour le chauffage (encodé par l'utilisateur) ;

$t_{Cchauf,chaudiere}$ [-] : taux de couverture du besoin de chauffage par la chaudière (encodé par l'utilisateur dans l'onglet Calcul EP) ;

$Q_{ECS,wi,chaudiere}$ [kWh/an] : besoin brut effectif d'ECS pour la chaudière ;

$e_{TW,g,K}$ [-] : efficacité de la production de chaleur pour l'ECS, cf section 23.1.2 s'il s'agit d'une chaudière fuel ou gaz et section 23.2.2 s'il s'agit d'une chaudière biomasse ;

$Q_{g,ECS}$ [kWh/an] : besoin brut de chaleur annuel pour le système d'eau chaude sanitaire (voir équation 314) ;

$\eta_{solar,ECS}$ [-] : couverture solaire pour la production d'ECS (voir équation 350) ;

$t_{CECS,chaudiere}$ [-] : taux de couverture du besoin d'ECS par la chaudière (encodé par l'utilisateur dans l'onglet Calcul EP).

Avec :

$$Q_{H,HL} = q_{H,HL} \cdot A_{SRE} \quad (645)$$

où

$q_{H,HL}$: Besoin brut spécifique de chauffage, pertes par distribution comprises (voir équation 305)

A_{SRE} : Surface de référence énergétique

23.1 Calcul du rendement des chaudières au fuel et gaz

La méthode décrite dans ce chapitre est directement issue de la norme DIN V 4701-10.

23.1.1 Efficience de la production de chaleur pour le chauffage

L'efficacité de la production de chaleur pour le chauffage est déterminée comme suit :

$$e_{H,g,K} = \frac{1}{f_{\varphi} \cdot \eta_{k''}} \quad (646)$$

où f_{φ} [-] : facteur de charge de la chaudière pour le chauffage (utilisation et température de fonctionnement), tel que déterminé ci-dessous ;

$\eta_{k''}$ [%] : rendement de la chaudière pour le chauffage (sur PCS), tel que déterminé ci-dessous.

Avec

$$\eta_{k'} = \begin{cases} \eta_{k'} + 0,003 \cdot (\theta_{30\%} - \theta_{km}) & \text{s'il s'agit d'une chaudière à condensation} \\ \eta_{k'} & \text{sinon} \end{cases} \quad (647)$$

$$\eta_{k'} = \eta_{30\%} + q_{B,\theta} \cdot \frac{1 - f_c}{\varphi_H} \quad (648)$$

$$f_c = \frac{1 + \left(\frac{1}{0,3} - 1\right) \cdot q_{B,\theta}}{1 + \left(\frac{1}{\varphi_H} - 1\right) \cdot q_{B,\theta}} \quad (649)$$

où

$\eta_{k'}$ [%] : rendement de la chaudière pour le chauffage (correction intérieur/ extérieur) ;

$\theta_{30\%}$ [°C] : température moyenne de retour avec une charge de 30% (encodé par l'utilisateur ou valeur standard) ;

θ_{km} [°C] : température moyenne chaudière pour le chauffage (valeur standard reprise dans le tableau situé après l'équation 665) ;

$\eta_{30\%}$ [%] : rendement chaudière avec une charge de 30% (encodé par l'utilisateur ou valeur standard) ;

$q_{B,\theta}$ [%] : déperditions stationnaires avec température moyenne de la chaudière pour le chauffage, tel que déterminé ci-dessous ;

f_c [-] : facteur de déperdition de chaleur chauffage (situation intérieur/extérieur), tel que déterminé ci-dessous, tel que déterminé ci-dessous ;

φ_H [-] : degré de charge de la chaudière pour le chauffage, tel que déterminé ci-dessous.

$$q_{B,\theta} = q_{B,70} \cdot \frac{\theta_{km} - 20}{70 - 20} \quad (650)$$

$$\varphi_H = \frac{Q_{H,wi}}{P_{Nenn} \cdot t_{periode,chauf}} \quad (651)$$

$$f_c = \begin{cases} 1 & \text{si la chaudière est située à l'extérieur du volume chauffé} \\ 25 \cdot q_{B,\theta} & \text{si la chaudière est située à l'intérieur du volume chauffé} \end{cases} \quad (652)$$

où

$q_{B,70}$ [%] : pertes de chaleur stationnaires de la chaudière à 70°C (encodé par l'utilisateur ou valeur standard) ;

θ_{km} [°C] : température moyenne chaudière pour le chauffage (valeur standard reprise dans le tableau situé après l'équation 665) ;

$Q_{H,wi}$ [kWh/an] : besoin brut effectif de chauffage, cf équation 642 ;

P_{Nenn} [kW] : puissance de dimensionnement de la chaudière exprimée, cf équation 653 ;

$t_{periode,chauf}$ [h] : durée de la période de chauffe exprimée en heures, cf équation 654 ;

$q_{B,\theta}$ [%] : déperditions stationnaires avec température moyenne de la chaudière pour le chauffage.

La puissance de dimensionnement de la chaudière exprimée est donnée par :

$$P_{Nenn} = \begin{cases} \max(15; P_{GB}) & \text{si valeur standard utilisée} \\ \text{valeurintroduite} & \text{si encodé par l'utilisateur} \end{cases} \quad (653)$$

où

P_{GB} [kW] : puissance de chauffage max pour chauffer le bâtiment (calculé dans l'onglet Puissance de chauffage).

La durée de la période de chauffe exprimée heures $t_{periode,chauf}$ ne se calcule pas de la même manière que la longueur de la période de chauffe exprimée en jours t_{chauf} , qui est calculée dans l'onglet Besoin de chauffage. Voici la formule de calcul de $t_{periode,chauf}$:

$$t_{periode,chauf} = \frac{Q_{H,wi}}{P_{GB}} \cdot 2 \quad (654)$$

où

$Q_{H,wi}$ [kWh/an] : besoin brut effectif de chauffage, cf équation 642 ;

P_{GB} [kW] : puissance de chauffage max pour chauffer le bâtiment (calculé dans l'onglet Puissance de chauffage).

23.1.2 Efficience de la production de chaleur pour l'eau chaude sanitaire

L'efficience de la production de chaleur pour l'eau chaude sanitaire est déterminée comme suit :

$$e_{TW,g,K} = \frac{f_{\varphi TW}}{\eta_{100\%}} \quad (655)$$

où

$f_{\varphi TW}$ [-] : facteur de charge de la chaudière pour l'ECS, tel que déterminé ci-dessous ;

$\eta_{100\%}$ [%] : rendement de la chaudière à la puissance nominale (encodé par l'utilisateur ou valeur standard).

Avec

$$f_{\varphi TW} = 1 + \left(\frac{1}{\varphi_{TW}} - 1 \right) \cdot q_{B,\theta,WW} \cdot f_{TW} \quad (656)$$

$$\varphi_{TW} = \frac{P_{TW}}{P_{Nenn}} \quad (657)$$

$$q_{B,\theta,WW} = q_{B,70} \cdot \frac{\theta_{km,WW} - 20}{70 - 20} \quad (658)$$

$$f_{TW} = 1 - \frac{t_{periode,chauf}}{t_{ECS}} \quad (659)$$

$$\theta_{km,WW} = 35 + 0,002 \cdot A_{SRE} \quad (660)$$

où

φ_{TW} [%] : degré de charge de la chaudière pour l'ECS ;

$q_{B,\theta,WW}$ [%] : déperditions moyennes stationnaires avec la température moyenne de la chaudière ECS ;

f_{TW} [-] : part de la déperdition de chaleur stationnaire en dehors de la période de chauffe ;

P_{TW} [kW] : puissance utile moyenne pour ECS, cf équation 661 ;

P_{Nenn} [kW] : puissance de dimensionnement de la chaudière, cf équation 653 ;

$q_{B,70}$ [%] : Pertes de chaleur stationnaires de la chaudière à 70°C (encodé par l'utilisateur ou valeur standard) ;

$\theta_{km,WW}$ [°C] : température moyenne de la chaudière en été pour l'ECS ;

$t_{periode,chauf}$ [h] : durée de la période de chauffe, cf équation 654 ;

t_{ECS} [h] : durée de la période de production d'ECS, valant toujours 8760 h ;

A_{SRE} [m²] : surface de référence énergétique.

avec :

$$P_{TW} = \frac{Q_{ECS,wi,chaudiere}}{t_{ECS}} \quad (661)$$

où

$Q_{ECS,wi,chaudiere}$ [kWh/an] : besoin brut effectif d'ECS pour la chaudière, cf équation 644 ;

t_{ECS} [h] : durée de la période de production d'ECS, valant toujours 8760 h.

23.1.3 Valeurs standards caractérisant les chaudières au gaz ou au fuel

Le PHPP propose des valeurs par défaut pour les caractéristiques de la chaudière, ces différentes valeurs peuvent également être saisie manuellement. Les valeurs proposées sont les suivantes :

$$\eta_{30\%} = \begin{cases} \frac{98 + 1 \cdot \log(P_{Nenn})}{100} & \text{s'il s'agit d'une chaudière gaz à condensation} \\ \frac{98 + 1 \cdot \log(P_{Nenn})}{100} & \text{s'il s'agit d'une chaudière fuel à condensation} \\ \frac{89 + 1,5 \cdot \log(P_{Nenn})}{100} & \text{s'il s'agit d'une chaudière gaz ou fuel à basse température} \end{cases} \quad (662)$$

$$\eta_{100\%} = \begin{cases} \frac{92 + 1 \cdot \log(P_{Nenn})}{100} & \text{s'il s'agit d'une chaudière gaz ou fuel à condensation} \\ \frac{88,5 + 1,5 \cdot \log(P_{Nenn})}{100} & \text{s'il s'agit d'une chaudière gaz ou fuel à basse température} \end{cases} \quad (663)$$

$$\theta_{30\%} = \begin{cases} 30 & \text{s'il s'agit d'une chaudière gaz ou fuel à condensation} \\ 40 & \text{s'il s'agit d'une chaudière gaz ou fuel à basse température} \end{cases} \quad (664)$$

$$q_{B,70} = 0,06 \cdot \left(\frac{P_{Nenn}}{0,42} \right)^{-0,4} \quad (665)$$

où

$\eta_{30\%}$ [%] : rendement chaudière avec une charge de 30% ;
 $\eta_{100\%}$ [%] : rendement de la chaudière à la puissance nominale ;

$\theta_{30\%}$ [°C] : température moyenne de retour avec une charge de 30% ;
 $q_{B,70}$ [%] : Pertes de chaleur stationnaires de la chaudière à 70°C ;
 P_{Nenn} [kW] : puissance de dimensionnement de la chaudière, cf équation 653 ;

La température moyenne chaudière pour le chauffage, θ_{km} , est définie en fonction du système de régulation de l'installation. Les différentes valeurs standards possibles sont reprises dans le tableau ci-dessous.

Système d'émission	Chaudière gaz ou fuel à condensation	Chaudière gaz ou fuel à basse température
70°C / 55°C	41	46
55°C / 45°C	35	38
35°C / 28°C	24	26

Le système d'émission est fonction de la température de départ dans l'installation de chauffage en zone chaude, $\theta_{V,chauf,chaude}$, comme défini ci-dessous.

$$\begin{cases} \text{si } \theta_{V,chauf,chaude} > 55 & \text{régime } 70^\circ\text{C} / 55^\circ\text{C} \\ \text{si } 40 < \theta_{V,chauf,chaude} \leq 55 & \text{régime } 55^\circ\text{C} / 45^\circ\text{C} \\ \text{si } \theta_{V,chauf,chaude} \leq 40 & \text{régime } 35^\circ\text{C} / 28^\circ\text{C} \end{cases} \quad (666)$$

où

$\theta_{V,chauf,chaude}$ [°C] : température de départ de l'eau du circuit de chauffage en zone chaude (encodé par l'utilisateur dans l'onglet ECS+Distribution).

23.2 Calcul du rendement d'une production de chaleur par biomasse

23.2.1 Efficience de la production de chaleur pour le chauffage

L'efficience de la production de chaleur pour le chauffage par biomasse est déterminé comme suit :

$$e_{H,g,K} = \frac{f_{Q,GZ}}{\eta_{GZ}} + \frac{1 - f_{Q,GZ} + f_{CE}}{\eta_{SB}} \quad (667)$$

où $f_{Q,GZ}$ [-] : part de la quantité de chaleur du cycle de base, tel que déterminé ci-dessous ;

η_{GZ} [%] : rendement de la chaudière sur un cycle de base (valeur standard ou encodé par l'utilisateur) ;

f_{CE} [-] : facteur de surchauffe, tel que déterminé ci-dessous ;

η_{SB} [%] : rendement de la chaudière en régime stationnaire (valeur standard ou encodé par l'utilisateur).

avec

$$f_{Q,GZ} = \min \left(1; \frac{X_Z \cdot Q_{N,GZ}}{\frac{Q_{H,wi} \cdot 24}{t_{periode,chauf}} + \frac{Q_{ECS,wi,chaudiere} \cdot 24}{t_{ECS}}} \right) \quad (668)$$

$$f_{CE} = 0,25 \cdot \frac{Q_{CE}}{Q_{utile}} \quad (669)$$

où

X_Z [1/j] : nombre de cycle de base par jour, cf équation 671 ;

$Q_{N,GZ}$ [kWh] : chaleur utile dégagée par cycle de base (valeur standard ou encodé par l'utilisateur) ;

$Q_{H,wi}$ [kWh] : besoin brut effectif de chauffage, cf équation 642 ;

$t_{periode,chauf}$ [j] : durée de la période de chauffe exprimée en heures, cf équation 654 ;

$Q_{ECS,wi,chaudiere}$ [kWh] : besoin brut effectif d'ECS pour la chaudière, cf équation 644 ;

t_{ECS} [h] : durée de la période de production d'ECS (8760 heures) ;

Q_{CE} [kWh] : rayonnement thermique directe, non utilisable, de la chaudière, cf équation 672 ;

Q_{utile} [kWh] : chaleur utile mise à disposition, cf équation 670.

La chaleur utile mise à disposition est donnée par :

$$Q_{utile} = Q_{H,wi} + Q_{ECS,wi,chaudiere} \quad (670)$$

où

$Q_{H,wi}$ [kWh] : besoin brut effectif de chauffage, cf équation 642) ;

$Q_{ECS,wi,chaudiere}$ [kWh] : besoin brut effectif d'ECS pour la chaudière, cf équation 644).

Le nombre de cycle de base par jour X_Z et le rayonnement thermique directe, non utilisable, de la chaudière Q_{CE} se calculent selon les formules suivantes :

$$X_Z = \max \left(1 ; 20971 \cdot z_{HK,m} \cdot Q_{N,m} \cdot \frac{1 - f_Q}{V_{S,HK} + V_{HK}} \cdot \Delta\theta \right) \quad (671)$$

$$Q_{CE} = \max \left\{ 0 ; Q_H \cdot \left(\frac{P_{Nenn} \cdot (1 - z_{HK,m})}{P_{GB}} - \frac{A_{auf}}{A_{SRE}} \right) \right\} \quad (672)$$

$$f_Q = \min \left(1 ; \frac{z_{HK,m} \cdot \frac{P_{GB}}{3} + \frac{Q_{ECS,wi,chaudiere}}{t_{ECS}}}{z_{HK,m} \cdot Q_{N,m}} \right) \quad (673)$$

$$V_{S,HK} = 10,5 \cdot A_{SRE}^{0,7} \quad (674)$$

$$V_{HK} = 0,8 \cdot A_{SRE} \quad (675)$$

où

$z_{HK,m}$ [-] : fraction moyenne de chaleur fournie au circuit de chauffage (valeur standard ou encodé par l'utilisateur) ;

$Q_{N,m}$ [kW] : puissance moyenne de la chaudière (valeur standard ou encodé par l'utilisateur) ;

f_Q [-] : facteur de puissance ;

$V_{S,HK}$ [l] : volume d'eau du réseau dans le ballon de stockage ;

V_{HK} [l] : volume d'eau du réseau de chauffage ;

$\Delta\theta$ [°C] : différentiel de température entre allumage et extinction (valeur standard ou encodé par l'utilisateur) ;

Q_H [kWh/(an)] : besoin net en énergie de chauffage, tels que calculé aux chapitres 1 ou 2 ;

P_{Nenn} [kW] : puissance de dimensionnement de la chaudière, cf équation 653 ;

P_{GB} [kW] : puissance de chauffage max pour chauffer le bâtiment (calculé dans l'onglet Puissance de chauffage) ;

A_{auf} [m²] : surface du local technique si l'emplacement de celui-ci est à l'intérieur du volume chauffé (valeur standard ou encodé par l'utilisateur) ;

A_{SRE} [m²] : surface de référence énergétique ;

$Q_{ECS,wi,chaudiere}$ [kWh] : besoin brut effectif d'ECS pour la chaudière, cf équation 644) ;

t_{ECS} [h] : durée de la période de production d'ECS (8760 heures).

23.2.2 Efficience de la production de chaleur pour l'eau chaude sanitaire

L'efficience de la production de chaleur pour l'eau chaude sanitaire par biomasse est déterminé comme suit :

$$e_{TW,g,K} = f_{Q,TW} \cdot e_{TW,g,SP} + (1 - f_{Q,TW}) \cdot e_{H,g,K} \quad (676)$$

où

$f_{Q,TW}$ [-] : part de la chaleur pour chauffer l'eau potable en été, cf équation 677 ;

$e_{TW,g,SP}$ [%] : efficience de la production de chaleur pour l'ECS en été, cf équation 678 ;

$e_{H,g,K}$ [%] : efficience de la production de chaleur pour le chauffage par biomasse, cf équation 667.

Avec

$$f_{Q,TW} = \left(1 - \frac{t_{periode,chauf}}{t_{ECS}} - 0,8 \cdot \eta_{solar,ECS} \right) \cdot \frac{1}{1 - \eta_{solar,ECS}} \quad (677)$$

$$e_{TW,g,SP} = \frac{1}{z_{HK,m}} \cdot \left(\frac{f_{Q,GZ,SP}}{\eta_{GZ}} + \frac{1 - f_{Q,GZ,SP}}{\eta_{SB}} \right) \quad (678)$$

$$f_{Q,GZ,SP} = \frac{Q_{N,GZ} \cdot t_{ECS}}{24 \cdot Q_{ECS,wi,chaudiere}} \quad (679)$$

où $t_{periode,chauf}$ [h] : durée de la période de chauffe, cf équation 654 ;
 t_{ECS} [h] : durée de la période de production d'ECS (8760 heures) ;
 $\eta_{solar,ECS}$ [%] : couverture solaire pour la production d'ECS, cf équation 350 ;
 $z_{HK,m}$ [-] : fraction moyenne de chaleur fournie au circuit de chauffage (valeur standard ou encodé par l'utilisateur) ;
 $f_{Q,GZ,SP}$ [-] : part de la quantité de chaleur du cycle de base en été ;
 η_{GZ} [%] : rendement de la chaudière sur un cycle de base (valeur standard ou encodé par l'utilisateur) ;
 η_{SB} [%] : rendement de la chaudière en régime stationnaire (valeur standard ou encodé par l'utilisateur) ;
 $Q_{N,GZ}$ [kWh] : chaleur utile dégagée par cycle de base (valeur standard ou encodé par l'utilisateur) ;
 $Q_{ECS,wi,chaudiere}$ [kWh] : besoin brut effectif d'ECS pour la chaudière, cf équation 644.

23.2.3 Valeurs standards caractérisant les chaudières par biomasse

Le PHPP propose des valeurs par défaut pour les caractéristiques de la chaudière, ces différentes valeurs peuvent également être saisie manuellement. Les valeurs standards proposées sont les suivantes :

	Chauffage à bûche / billette de bois (apport de chaleur direct et indirect)	Chauffage à/au pellets (apport de chaleur direct et indirect)	Chauffage à/au pellets (uniquement apport de chaleur indirect)	Autre production de chaleur par biomasse
η_{GZ} [%]	$0,85 \cdot \eta_{SB}$	$0,9 \cdot \eta_{SB}$	$0,9 \cdot \eta_{SB}$	$0,85 \cdot \eta_{SB}$
η_{SB} [%]	0,7	0,8	0,8	0,7
$z_{HK,m}$ [-]	0,4	0,5	1	0,4
$\Delta\theta$ [°C]	30	10	10	30
$Q_{N,GZ}$ [kW]	$P_{Nenn} \cdot 1,5$	$P_{Nenn} \cdot 0,9$	$P_{Nenn} \cdot 0,9$	$P_{Nenn} \cdot 1,5$
$Q_{N,m}$ [kW]	P_{Nenn}	$P_{Nenn} \cdot 0,5$	$P_{Nenn} \cdot 0,5$	P_{Nenn}

La surface du local technique A_{auf} est donnée par la formule qui suit si son emplacement est à l'intérieur du volume chauffé (nul sinon) :

$$A_{auf} = \begin{cases} \text{valeur introduite} & \text{si encodé par l'utilisateur} \\ 0,2 \cdot A_{SRE} & \text{sinon} \end{cases} \quad (680)$$

où

A_{SRE} [m²] : surface de référence énergétique.

24 Chauffage urbain

24.1 Consommation spécifique en énergie finale

Dans cette section, nous allons développer la consommation spécifique en énergie finale du système de chauffage urbain ou besoin en énergie finale de la production de chaleur via le système de chauffage urbain, $q_{chaufurb}$.

$$q_{chaufurb} = \frac{Q_{chaufurb}}{A_{SRE}} \quad (681)$$

où

$Q_{chaufurb}$ [kWh/an] : besoin annuel en énergie finale pour la production de chaleur par le système de chauffage urbain, tel que défini ci-dessous ;

A_{SRE} [m²] : surface de référence énergétique.

Le besoin annuel en énergie finale pour la production de chaleur par le système de chauffage urbain $Q_{chaufurb}$ est donné par :

$$Q_{chaufurb} = Q_{chaufurb,utile} \cdot e_{a,WU} \quad (682)$$

où

$Q_{chaufurb,utile}$ [kWh/an] : chaleur utile fournie par le système de chauffage urbain, tel que définie ci-dessous ;

$e_{a,WU}$ [-] : efficacité de la sous-station du système de chauffage urbain (encodé par l'utilisateur).

La chaleur utile fournie par le système de chauffage urbain $Q_{chaufurb,utile}$ est égale à la somme de la chaleur utile fournie pour le chauffage et celle fournie pour l'ECS :

$$Q_{chaufurb,utile} = Q_{chaufurb,chauf} + Q_{chaufurb,ECS} \quad (683)$$

$$Q_{chaufurb,chauf} = Q_{H,HL} \cdot (1 - \eta_{solar,chauf}) \cdot t_{cchauf,chaufurb} \quad (684)$$

$$Q_{chaufurb,ECS} = Q_{g,ECS} \cdot (1 - \eta_{solar,ECS}) \cdot t_{cECS,chaufurb} \quad (685)$$

où

$Q_{chaufurb,chauf}$ [kWh/an] : chaleur utile fournie par le système de chauffage urbain pour le chauffage ;

$Q_{chaufurb,ECS}$ [kWh/an] : chaleur utile fournie par le système de chauffage urbain pour l'ECS ;

$Q_{H,HL}$ [kWh/an] : besoin de chauffage total, pertes par distribution comprises, cf équation 645 ;

$\eta_{solar,chauf}$ [%] : couverture solaire pour le chauffage (encodé par l'utilisateur) ;

$t_{cchauf,chaufurb}$ [h] : taux de couverture du besoin de chauffage par le chauffage urbain (encodé par l'utilisateur dans l'onglet Calcul EP) ;

$Q_{g,ECS}$ [kWh/an] : besoin brut de chaleur annuel pour le système d'eau chaude sanitaire, cf équation 314 ;

$\eta_{solar,ECS}$ [%] : couverture solaire pour la production d'ECS, cf équation 350 ;

$t_{cECS,chaufurb}$ [%] : taux de couverture du besoin d'ECS par le chauffage urbain (encodé par l'utilisateur dans l'onglet Calcul EP).

24.2 Conversion en énergie primaire et émissions de CO₂-équivalent

Nous avons vu à la section 16 (calcul de l'énergie primaire) que la consommation spécifique en énergie primaire $E_{p,chaufurb}$ et les émissions spécifiques en CO₂ équivalent, $E_{CO_2,chaufurb}$, sont déterminées selon les équations 298 et 299, à partir de la consommation spécifique en énergie finale $q_{chaufurb}$.

Voici ci-dessous le tableau des facteurs de conversion en énergie primaire et en émissions de CO₂ équivalent utilisés selon le type de système de chauffage urbain envisagé :

Tableau des facteurs de conversion en énergie primaire et facteurs de conversion en émissions en CO₂ équivalent selon le type de système de chauffage urbain

	$f_{p,i}$	$f_{CO_2,i}$
Chauffage urbain utilisant du charbon avec 70% CHP	0,8	0,24
Chauffage urbain utilisant du charbon avec 35% CHP	1,1	0,32
Chauffage urbain utilisant du charbon avec 0% CHP	1,5	0,41
Chauffage urbain utilisant du gaz avec 70% CHP	0,7	-0,07
Chauffage urbain utilisant du gaz avec 35% CHP	1,1	0,13
Chauffage urbain utilisant du gaz avec 0% CHP	1,5	0,32
Chauffage urbain utilisant du mazout avec 70% CHP	0,8	0,1
Chauffage urbain utilisant du mazout avec 35% CHP	1,1	0,25
Chauffage urbain utilisant du mazout avec 0% CHP	1,5	0,41

Sources des données : DIN V 4701-10/GEMIS 4.14

où

CHP : Combined Heat and Power c'est-à-dire Cogénération ;

$f_{p,chaufurb}$ [-] : facteur de conversion en énergie primaire pour le système de chauffage urbain ;

$f_{CO_2,chaufurb}$ [-] : facteur de conversion en émissions en CO_2 équivalent pour le système de chauffage urbain.