

B.3.3. Refroidissement par évaporation

Le refroidissement par évaporation (ou refroidissement adiabatique) consiste en principe d'une méthode qui refroidit l'air de ventilation d'un bâtiment par injection de l'eau. Il existe de nombreuses variantes de cette technologie, avec des prétraitements et des techniques de récupération différentes. La performance des systèmes de refroidissement par évaporation est fortement variable en fonction du type de conception de ces systèmes.

Si de l'eau ordinaire est injectée dans l'air de ventilation amené ou l'air de ventilation extrait, alors la méthode suivante peut être appliquée. Pour tous les autres systèmes plus complexes, le facteur $r_{\text{precool,zone } z,m}$ devra être déterminé sur base du principe d'équivalence.

B.3.3.1 Efficacité $e_{\text{precool},m}$ du système de pré-refroidissement

Pour du refroidissement par évaporation, la valeur par défaut pour l'efficacité vaut :

$e_{\text{precool},m} = 0.8 \cdot w_{\text{evap},m}$		[-]
avec :		
$w_{\text{evap},m}$	un facteur mensuel qui tient compte du temps de fonctionnement du refroidissement par évaporation (-) : si $Q_{\text{cool,net},m} \leq 0$ alors $w_{\text{evap},m} = 0$ si $Q_{\text{cool,net},m} > 0$ alors $w_{\text{evap},m} = 1$	
où :		
$Q_{\text{cool,net},m} = \sum Q_{\text{cool,net,sec},i,m}$		[MJ]
avec :		
$Q_{\text{cool,net,sec},i,m}$	les besoins mensuels nets en énergie pour le refroidissement d'un secteur énergétique i, déterminés sans prendre en compte le système de refroidissement par évaporation considéré, en MJ.	

Il faut faire la somme sur tous les secteurs énergétiques i de la zone de ventilation z qui sont reliés au refroidissement par évaporation.

B.3.3.2 Température de référence pour l'abaissement de température maximal $\theta_{\text{precool,ref,max},m}$

Si de l'eau ordinaire est injectée dans l'air de ventilation amené ou l'air de ventilation extrait, alors la température de référence est la température humide du débit d'air concerné. La valeur par défaut de $\theta_{\text{precool,ref,max},m}$ est égale à la température moyenne mensuelle humide, donnée au Tableau [21].

Tableau [21] : Température mensuelle moyenne humide

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
°C	1,9	1,7	3,0	5,9	9,3	12,7	14,6	14,7	12,0	9,7	4,8	2,3

Annexe C : l'ensoleillement mensuel

C.1 Introduction

La présente annexe décrit les algorithmes de calcul de l'ensoleillement mensuel d'une surface quelconque j . L'ensoleillement est calculé pour les fenêtres, les systèmes d'énergie solaire passive, les capteurs solaires thermiques et les installations photovoltaïques. Pour l'utilisateur, seul le § C.2, où l'on définit comment l'ombrage est caractérisé, est intéressant.

La pente θ_j du plan j est l'angle, exprimé en degrés, entre la verticale et la normale au plan j . Pour une surface horizontale, la pente est de 0° , pour une surface verticale, elle est de 90° .

L'orientation ϕ_j du plan j est l'angle, exprimé en degrés, entre le sud et la projection horizontale de la normale sur le plan j . En direction de l'ouest, l'orientation est positive tandis qu'elle est négative en direction de l'est.

C.2 Schématisation de l'ombrage

Généralités

Une surface ensoleillée j peut être ombragée par des éléments environnants étrangers au bâtiment, appelés obstacles, et par des éléments liés au bâtiment, appelés saillies horizontales et verticales. Les obstacles font écran au rayonnement solaire direct si le soleil descend en dessous d'une hauteur déterminée. Les saillies horizontales font écran au rayonnement solaire direct si le soleil se trouve au-dessus d'une hauteur déterminée et les saillies latérales font écran au rayonnement solaire direct si l'angle horaire est inférieur ou supérieur à une valeur déterminée. Les obstacles comprennent les bâtiments, arbres et collines environnants. Les saillies comprennent les débords de toiture, balcons, auvents horizontaux et prolongements de murs latéraux.

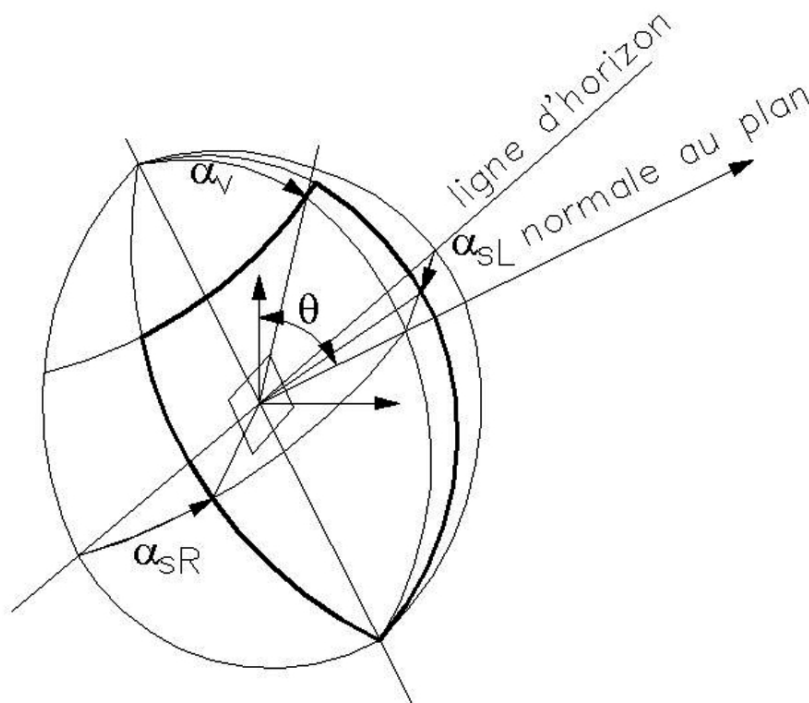
Géométrie d'un obstacle

Les obstacles sont schématisés par un seul plan appelé plan d'obstacle vertical. L'angle d'obstruction α_h est l'angle entre l'horizontal et la ligne reliant le point central de la surface ensoleillée au bord supérieur du plan d'obstacle vertical.

Géométrie des saillies

Les saillies sont schématisées par 1 saillie horizontale et 2 saillies verticales définies à l'aide d'un angle de saillie dans le plan vertical α_v (0° en l'absence de saillie horizontale, valeur maximale 180°), à l'aide d'un angle de saillie à gauche α_{sL} (0° en l'absence de saillie à gauche, valeur maximale 180°) et à l'aide d'un angle de saillie à droite α_{sR} (0° en l'absence de saillie à droite, valeur maximale 180°) tel qu'indiqué à la figure ci-dessous.

Explication: les limites des saillies horizontales et verticales forment un rectangle sur une photo prise au grand angle (fish-eye) depuis le centre du plan considéré dans la direction normale à celui-ci. Ce rectangle, appelé plan de ciel, correspond à la partie du ciel visible à partir du plan.



Valeurs par défaut

Lorsqu'elles sont utilisées, les valeurs par défaut doivent s'appliquer à l'ensemble des angles de la surface ensoleillée (fenêtre ou capteur).

Les valeurs par défaut à utiliser pour les angles relatifs aux obstacles sont les suivantes :

- pour les calculs de chauffage et pour les capteurs solaires :
 - angle d'obstruction α_h : 25°
 - angle de saillie à gauche α_{sL} , à droite α_{sR} et verticale α_v : 0°
- pour les besoins de refroidissement et l'indicateur du risque de surchauffe :
 - angle d'obstruction α_h : 15°
 - angle de saillie à gauche α_{sL} , à droite α_{sR} et verticale α_v : 0°

Pour rappel, pour des installations photovoltaïques, le calcul par défaut ne s'applique pas et il est obligatoire de toujours indiquer l'ombrage de manière détaillée (voir 12.1).

C.3 Ensoleillement mensuel d'un plan non ombragé

Ensoleillement total

On suppose l'ensoleillement mensuel d'un plan j quelconque non ombragé égal à la somme des ensoleillements mensuels directs, diffus et réfléchis.

$$I_{s,m,j,unshad} = I_{s,dir,m,j,unshad} + I_{s,dif,m,j,unshad} + I_{s,refl,m,j,unshad} \quad (\text{MJ/m}^2)$$

avec:

$I_{s,dir,m,j,unshad}$ l'ensoleillement direct pour le mois considéré sur le plan j, en MJ/m²;
 $I_{s,dif,m,j,unshad}$ l'ensoleillement diffus pour le mois considéré sur le plan j, en MJ/m²;
 $I_{s,refl,m,j,unshad}$ l'ensoleillement réfléchi pour le mois considéré sur le plan j, en MJ/m²;
 Les différents termes sont calculés aux paragraphes suivants.

Ensoleillement direct

Le calcul de l'ensoleillement mensuel direct s'effectue à l'aide d'un jour caractéristique du mois. Il s'agit du 15 de chaque mois. Le numéro du jour caractéristique indique le nombre de jours à partir du 1^{er} janvier (365 jours), voir Tableau [1].

– On détermine l'ensoleillement direct mensuel d'un plan non ombragé comme suit:

$$I_{s,dir,m,j,unshad} = \left[I_{s,tot,m,hor} - I_{s,dif,m,hor} \right] \frac{Q_{s,dir,char,j}}{Q_{s,dir,char,hor}} \quad (\text{MJ/m}^2)$$

avec:

$I_{s,tot,m,hor}$ l'ensoleillement mensuel d'un plan horizontal non ombragé pour l'année de référence à Uccle en MJ/m², voir Tableau [1] ;
 $I_{s,dif,m,hor}$ l'ensoleillement mensuel diffus d'un plan horizontal non ombragé pour l'année de référence à Uccle en MJ/m², voir Tableau [1] ;
 $Q_{s,dir,char,j}$ l'ensoleillement direct journalier d'un plan non ombragé j pour le jour caractéristique du mois considéré, en J/(m².jour);
 $Q_{s,dir,char,hor}$ l'ensoleillement direct journalier d'un plan horizontal non ombragé j pour le jour caractéristique du mois considéré, en J/(m².jour);

– On calcule l'ensoleillement direct journalier d'un plan non ombragé et l'ensoleillement direct journalier d'un plan horizontal non ombragé pour le jour caractéristique du mois considéré comme suit:

$$Q_{s,dir,char,j} = 240 \sum_{\omega_1}^{\omega_2} \max \{0, [q_{s,dir,n} \cos \chi_{s,j} \Delta \omega]\} \quad (\text{J/(m}^2 \cdot \text{jour)})$$

$$Q_{s,dir,char,hor} = 240 \sum_{\omega_3}^{\omega_4} \max \{0, [q_{s,dir,n} \cos \chi_{s,hor} \Delta \omega]\} \quad (\text{J/(m}^2 \cdot \text{jour)})$$

avec :

$q_{s,dir,n}$ l'ensoleillement direct d'un plan perpendiculaire à la direction du soleil pour le jour caractéristique du mois, en W/m², tel que calculé ci-dessous ;
 ω l'angle horaire (180° à minuit, 90° à 6 h, 0° à midi, -90° à 18 h) ;
 $\Delta \omega$ le pas dans l'angle horaire en ° (1 heure = 15°) ;
 ω_1 le plus petit angle horaire (le matin) pour lequel $\cos \chi_{s,hor}$ et $\cos \chi_{s,j}$ sont supérieurs à zéro ;
 ω_2 le plus grand angle horaire (le soir) pour lequel $\cos \chi_{s,hor}$ et $\cos \chi_{s,j}$ sont encore supérieurs à zéro ;
 ω_3 le plus petit angle horaire (le matin) pour lequel $\cos \chi_{s,hor}$ est supérieur à zéro ;
 ω_4 le plus grand angle horaire (le soir) pour lequel $\cos \chi_{s,hor}$ est encore supérieur à zéro ;
 $\chi_{s,j}$ l'angle d'incidence par pas $\Delta \omega$ du soleil sur le plan j, en °, tel que calculé ci-dessous ;

$\chi_{s,hor}$ l'angle d'incidence par pas $\Delta\omega$ du soleil sur le plan horizontal, en $^\circ$, tel que calculé ci-dessous ;

240 facteur de conversion de l'angle horaire en s.

On prend comme pas de temps, pour le calcul, un angle horaire de 15° .

– On détermine l'ensoleillement direct d'un plan perpendiculaire à la direction du soleil pour le jour caractéristique de chaque mois par heure comme suit:

$$q_{s,dir,n} = \max[0, 1353[1 + 0.033 \cos[360d/365]] \exp(-md_R T_L)] \quad (\text{W/m}^2)$$

avec:

d le numéro de chacun des jours caractéristiques, voir Tableau [1] ;

m le facteur de chemin en m^{-1} ;

d_R le chemin optique en m ;

T_L le facteur de trouble de l'atmosphère (-) ;

Le facteur de chemin, le chemin optique et le facteur de trouble sont donnés par :

$$m = \frac{0.992}{\sin(\beta) + 0.15(\pi\beta/180 + 3.885)^{-1.253}} \quad (\text{m}^{-1})$$

$$d_R = 1.4899 - 2.1099 \cos(\beta) + 0.6322 \cos(2\beta) + 0.0253 \cos(3\beta) \\ - 1.0022 \sin(\beta) + 1.0077 \sin(2\beta) - 0.2606 \sin(3\beta) \quad (\text{m})$$

$$T_L = 3.372 + 0.053(\pi\beta/180) - 0.296 \cos(30m) \quad (-)$$

avec :

β l'angle d'élévation du soleil en $^\circ$;

m le rang du mois (1 pour janvier, 2 pour février, etc.), l'argument du cos est exprimé en $^\circ$;

Cet angle d'élévation du soleil est égal à:

$$\beta = \max[0, 90 - \arccos[\cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta]] \quad (^\circ)$$

avec:

φ la latitude, pour Uccle, $+50.8^\circ$

δ l'inclinaison pour chacun des jours caractéristiques, en $^\circ$, égal à

$$\delta = \arcsin \left[-\sin(23.45) \cos \left(\frac{360}{365} (d+10) \right) \right] \quad (^\circ)$$

avec:

d le numéro de chacun des jours caractéristiques, voir, Tableau [1] ;

– On détermine l'angle d'incidence du soleil sur le plan j et sur le plan horizontal comme suit:

$$\cos \chi_{s,j} = 0.775 [\sin \delta \cos \theta_j + \cos \delta \sin \theta_j \cos \phi_j \cos \omega] \\ - 0.632 [\sin \delta \sin \theta_j \cos \phi_j - \cos \delta \cos \theta_j \cos \omega] \\ + \cos \delta \sin \theta_j \sin \phi_j \sin \omega$$

$$\chi_{s,hor} = 90 - \beta$$