

# CARACTERISTIQUES THERMIQUES DES FENETRES ET DES FACADES-RIDEAUX

Les fenêtres sont caractérisées par trois caractéristiques de base :

- **$U_w$**  : le coefficient de transmission thermique traduisant la capacité d'isolation des fenêtres

Ce coefficient exprime la capacité d'une fenêtre à conserver la température intérieure. Il s'exprime en  $W/m^2.K$ . Plus le coefficient  $U$  est faible plus la fenêtre est isolante.

Dans le cas où la protection mobile (fermeture ou store) est relevée ou absente, ce coefficient est désigné par  **$U_w$** . Dans le cas où la fermeture ou le store est fermé, ce coefficient est désigné par  **$U_{ws}$** .

- **$S_w$**  : le facteur solaire traduisant la transmission de chaleur par la fenêtre

Le facteur solaire traduit la capacité de la paroi vitrée à transmettre la chaleur du soleil.

Ce facteur représente la part du rayonnement solaire qui est transmise à l'intérieur du bâtiment :

- dans le cas où la protection mobile est absente ou relevée (facteur  **$S_w$** ) et
- dans le cas où elle est fermée (facteur  **$S_{ws}$** ).

La valeur du facteur solaire est comprise entre 0 et 1 : plus sa valeur est élevée, plus les apports de chaleur sont importants.

Cette caractéristique est prise en compte pour évaluer les apports solaires gratuits entrant dans le bâtiment. Ces apports sont souhaitables en hiver car ils permettent de réduire les consommations de chauffage mais indésirables en été car ils augmentent la température intérieure et donc les consommations de climatisation ou l'inconfort des occupants.

- **$TL_w$**  : la transmission lumineuse traduisant la transmission de lumière par la fenêtre

Le facteur de transmission lumineuse traduit la capacité d'une paroi vitrée à transmettre la lumière naturelle à l'intérieur d'une pièce. C'est le rapport entre la lumière totale transmise à travers la fenêtre, et la lumière incidente. Il est compris entre 0 et 1.

Comme pour le facteur solaire, deux cas sont considérés :

- le cas où la protection mobile est absente ou relevée (facteur  **$TL_w$** ) et
- le cas où elle est fermée (facteur  **$TL_{ws}$** ).

Le facteur de transmission lumineuse prend alors en compte deux composantes :

- une composante de transmission directe  **$TL_{dir}$**  et
- une composante de transmission diffuse  **$TL_{dif}$** .

de sorte que :  $TL = TL_{dir} + TL_{dif}$

Le calcul détaillé des caractéristiques des parois vitrées équipées ou non d'une fermeture ou d'un store ( $U_w, U_{ws}, S_w, S_{ws}, TL_w, TL_{ws}$ ) se fait **pour les dimensions spécifiques de la fenêtre.**

## > DETERMINATION DU U

Le calcul du coefficient de transmission thermique moyen de la fenêtre nue est réalisé en fonction des caractéristiques thermiques de ses composants. Le document CSTB « ThU-3/5 2012 » est consacré aux méthodes de calcul de ces composants.

Le coefficient de transmission surfacique moyen de la fenêtre, porte ou porte-fenêtre peut être déterminé soit par calcul conformément à la norme NF EN ISO 10077 parties 1 et 2, soit par mesure à la boîte chaude selon la norme NF EN ISO 12567-1 dans la limite de l'éprouvette testée.

En l'absence de valeurs mesurées ou calculées selon ces normes, des valeurs par défaut sont données au chapitre 3 du fascicule 3 des règles Th-U. Ces dernières sont utilisables seulement en avant projet et aucunement pour un calcul de consommation réglementaire.

Les dimensions à prendre en compte pour le calcul du coefficient surfacique moyen  $U_w$ , sont les dimensions hors tout de la fenêtre, de la porte ou de la porte-fenêtre, prises indépendamment de la mise en œuvre. Tout débordement dû aux recouvrements éventuels est à exclure.

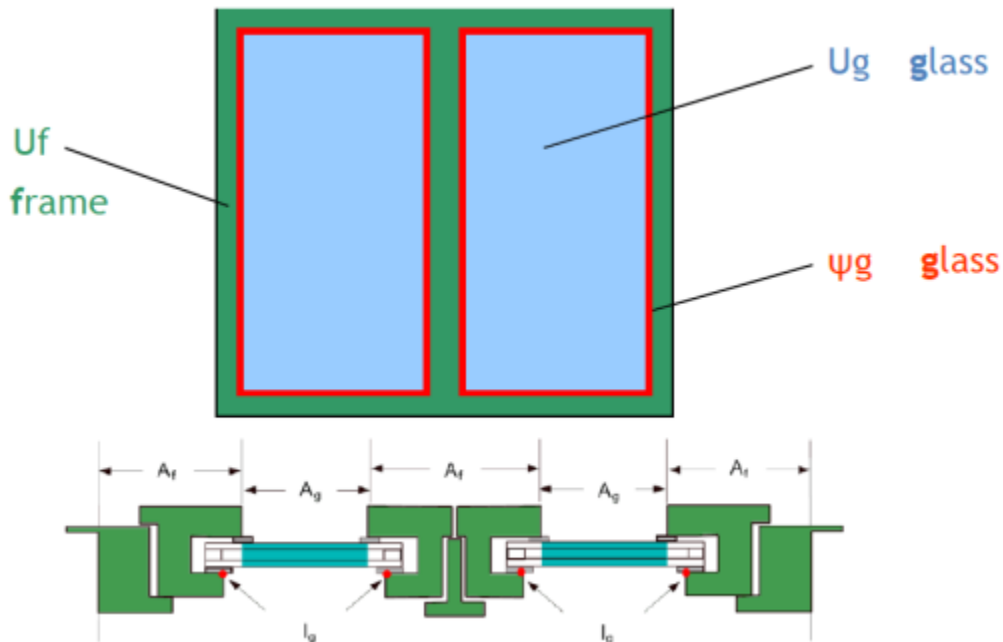
Le coefficient  $U_w$  de la paroi vitrée doit être déterminé en fonction de :

- ses dimensions réelles
- ses constituants réels :
  - Cadres menuisé ( $U_f$ )
  - Vitrage ( $U_g$ )
  - Liaison vitrage/cadre ( $\psi_g$ )
  - Remplissage éventuel ( $U_p$ )

et exprimé avec deux chiffres significatifs (par exemple  $U_w = 1,4$ ).

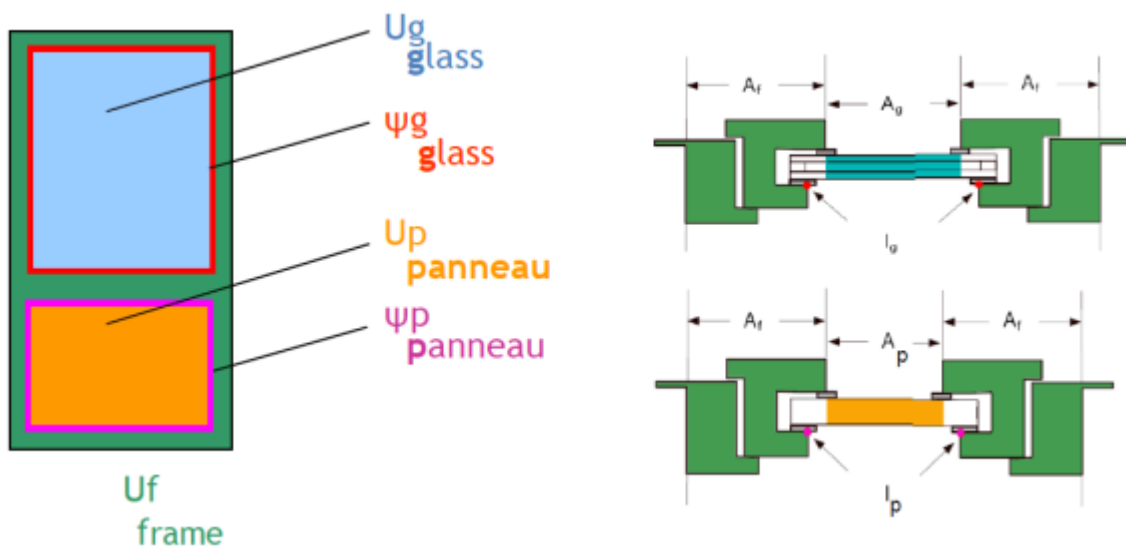
Le coefficient de transmission thermique  $U_w$  de la fenêtre, de la porte ou de la porte-fenêtre est calculé selon la formule suivante :

$$U_w = \frac{U_g A_g + U_f A_f + \psi_g l_g}{A_g + A_f}$$



Ou en intégrant un panneau de remplissage :

$$U_w = \frac{U_g A_g + U_f A_f + U_p A_p + \psi_g l_g + \psi_p l_p}{A_g + A_f + A_p}$$



Où :

- $A_g$  est la plus petite des aires visibles du vitrage, vues des deux cotés de la paroi en  $m^2$ , et sans tenir compte des débordements des joints,
- $A_f$  est la plus grande aire projetée de la menuiserie prise sans recouvrements (incluant la surface de la pièce d'appui éventuelle), vue des deux cotés de la paroi, exprimé en  $m^2$ ,
- $l_g$  est la plus grande somme des périmètres visibles du vitrage, vus des deux cotés de la paroi, exprimée en m,
- $U_g$  est le coefficient de transmission thermique surfacique utile en partie centrale du vitrage en  $W/(m^2.K)$ . La méthode de calcul de  $U_g$  est donnée dans le document CSTB ThU-3/5 2012 au § 2.3.1.1.
- $\psi_g$  est le coefficient linéique dû à l'effet thermique combiné de l'intercalaire du vitrage et du profilé (ou cadre), exprimé en  $W/(m.K)$ . La méthode de calcul de  $\psi_g$  est donnée ci-après.

- $U_f$  est le coefficient surfacique moyen de la menuiserie en  $W/(m^2.K)$  calculé selon la formule suivante :

$$U_f = \frac{\sum U_{fi} A_{fi}}{A_f}$$

Où :

- $U_{fi}$  est le coefficient surfacique du montant ou de la traverse numéro « i ». La méthode de calcul des coefficients  $U_{fi}$  est donnée dans le document CSTB ThU-3/5 2012 au § 2.3.2.
- $A_{fi}$  est son aire projetée correspondante. La largeur des montants en partie courante est supposée se prolonger sur toute la hauteur de la fenêtre.
- $U_p$  est le coefficient surfacique en partie centrale du panneau opaque en  $W/(m^2.K)$ . La méthode de calcul est donnée dans le document CSTB ThU-3/5 2012 au § 2.3.1.
- $\psi_p$  est le coefficient linéique dû à l'effet thermique combiné de l'espaceur du panneau et du profilé, en  $W/(m.K)$ . La méthode de calcul de  $\psi_p$  est donnée ci-après.
- $l_p$  est la plus grande somme des périmètres visibles du panneau, vus des deux côtés de la paroi en m.

### > Calcul du coefficient $\psi$

Le coefficient linéique  $\psi_g$  ou  $\psi_p$  caractérise le transfert thermique supplémentaire apporté par l'interaction du remplissage avec la menuiserie. Il se définit comme étant le flux en régime permanent, par unité de longueur et pour un degré d'écart de température entre les deux ambiances situées de part et d'autre de la paroi.

$\psi$  doit être calculé pour chaque combinaison de :

- profilé,
- vitrage,
- intercalaire du vitrage isolant.

$\psi_g$  caractérise l'apport des espaceurs aluminium ou warm edge (« bord chaud »).  $\psi_p$  caractérise les encadrements des éléments opaques.

Lorsque l'élément de remplissage est un vitrage :

$$\psi_g = \frac{\varphi_T}{\Delta T} - U_f b_f - U_g b_g$$

Lorsque l'élément de remplissage est un panneau opaque :

$$\psi_p = \frac{\varphi_T}{\Delta T} - U_f b_f - U_p b_p$$

Où :

- $U_f$  est le coefficient surfacique de la menuiserie, en  $W/(m^2.K)$ ;
- $\varphi_T$  est le flux total à travers la section, obtenu par calcul numérique, en  $W/m$ ,
- $b_g, b_p$  sont respectivement les largeurs visibles du vitrage ou du panneau, en m,
- $b_f$  est la largeur projetée de la menuiserie, en m,
- $\Delta T$  est la différence de température, en K,
- $U_g, U_p$  sont respectivement les coefficients surfaciques en partie centrale, du vitrage ou du panneau, en  $W/(m^2.K)$ .

## > Détermination du $U_{ws}$

Les parois vitrées équipées de fermetures voient leur performance thermique s'améliorer grâce à la résistance thermique additionnelle  $\Delta R$  apportée par la lame d'air située entre la fermeture et la paroi vitrée.

La résistance thermique de la lame d'air dépend de la perméabilité à l'air de la fermeture et de la résistance thermique du tablier.

Le coefficient  $U_{ws}$  des fenêtres équipées d'une fermeture extérieure ou d'un store intérieur, extérieur ou entre vitrages est donné par formule :

$$U_{ws} = \frac{1}{\frac{1}{U_w} + \Delta R}$$

Où :

- $U_w$  est le coefficient U de la fenêtre, en  $W/(m^2.K)$ ;
- $\Delta R$  est la résistance thermique additionnelle, en  $m^2.K/W$ , apportée par l'ensemble fermeture ou store – lame d'air ventilée

La méthode de calcul est donnée dans la norme EN 13125

## > Cas des blocs-baies

Deux cas sont considérés

- **Cas 1 : le coffre de volet roulant est dans la surface du tableau de la baie**

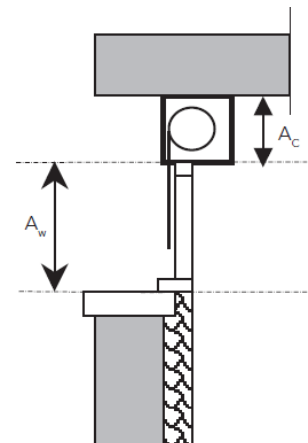
Le coefficient de transmission thermique est alors donné par les formules suivantes :

- Fermeture repliée

$$U_{bb,w} = \frac{U_w A_w + U_c A_c}{A_w + A_c}$$

- Fermeture déployée

$$U_{bb,ws} = \frac{U_{ws} A_w + U_c A_c}{A_w + A_c}$$

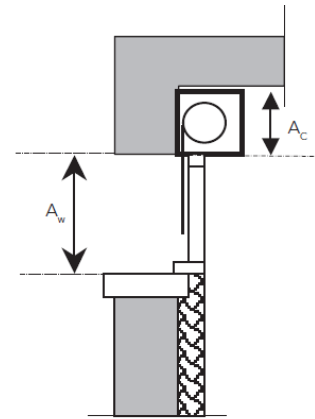


Où :

- $U_{bb,w}$  est le coefficient de transmission thermique du bloc baie, en  $W/m^2.K$ ,
- $U_w$  est le coefficient de transmission thermique de la fenêtre en  $W/m^2.K$ ,
- $U_c$  est le coefficient surfacique du coffre en  $W/m^2.K$ . La méthode de calcul est donnée dans le document CSTB « ThU-3/5 2012 » au § 2.3.5.
- $A_w$  est l'aire projetée de la paroi vitrée, en  $m^2$ ,
- $A_c$  est l'aire projetée du coffre, en  $m^2$ ,
- $U_{bb,ws}$  est le coefficient de transmission thermique du bloc-baie, en  $W/m^2.K$ ,
- $U_{ws}$  est le coefficient de transmission thermique de la fenêtre avec fermeture en  $W/m^2.K$ .

- **Cas 2 : le coffre de volet roulant en applique derrière le linteau**

On caractérise alors le  $U_w$  ou  $U_{ws}$  d'un côté et le  $U_c$  de l'autre.



### > Valeurs par défaut

Le fascicule 3 des règles Th-U propose à son chapitre 3 des valeurs par défaut de  $U_w$ ,  $U_f$ ,  $U_g$ ,  $\psi_g$ ,  $\psi_p$  ...

Ces valeurs sont sécuritaires. Elles ont été tabulées en fonction des paramètres les plus influents et déterminées en utilisant une méthode simplifiée basée sur des paramètres conventionnels.

**Par conséquent, ces valeurs ne peuvent pas être utilisées comme données d'entrée au calcul réglementaire.**

**Elles ne peuvent être considérées qu'en phase d'avant-projet et en l'absence de valeurs précises.**

### > DETERMINATION DU S

Le facteur solaire des parois vitrées est calculé selon la norme XP P50-777.

Le calcul du coefficient moyen de la paroi vitrée nue est réalisé en fonction des caractéristiques thermiques de ses composants. Les dimensions à prendre en compte pour le calcul du  $S_w$ , sont les dimensions hors tout de la fenêtre, de la porte ou de la porte-fenêtre, prises indépendamment de la mise en œuvre.

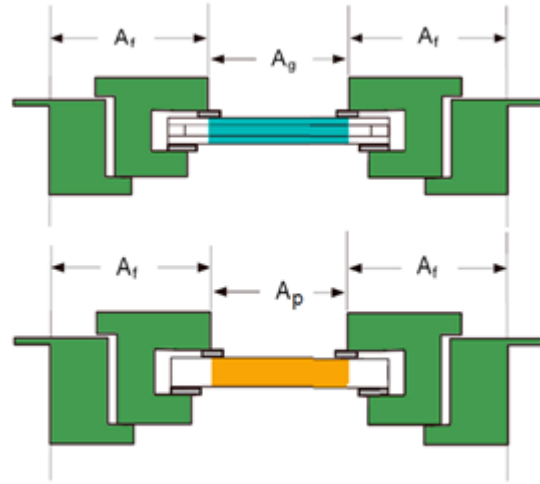
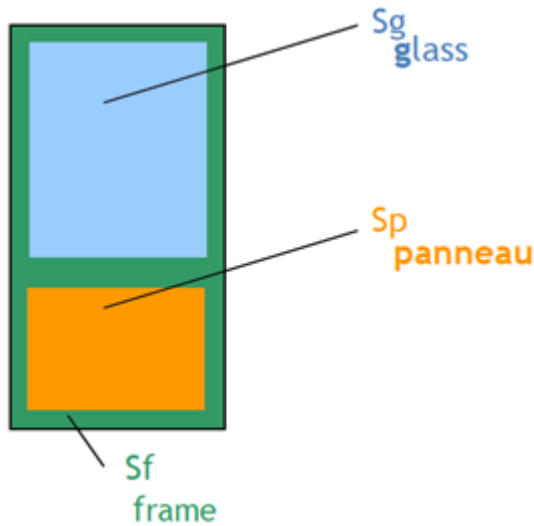
Le coefficient  $S_w$  de la paroi vitrée doit être déterminé en fonction :

- de ses dimensions réelles
- de ses constituants réels
  - Cadres menuisé ( $S_f$ )
  - Vitrage ( $S_g$ )
  - Remplissage opaque éventuel : Panneau ( $S_p$ ) ou coffre de volet roulant ( $S_c$ )

et exprimé avec deux chiffres significatifs (par exemple  $S_w = 0,48$ )

Le coefficient de transmission thermique  $S_w$  de la fenêtre, de la porte ou de la porte-fenêtre est calculé selon la formule suivante :

$$S_w = \frac{A_p S_p + A_f S_f + A_g S_g}{A_p + A_f + A_g}$$



Dans le cas où la paroi vitrée ne comprend pas de paroi opaque ( $A_p = 0$ ), l'équation peut s'écrire de la manière suivante :

$$S_w = \sigma \cdot S_g + (1 - \sigma) \cdot S_f$$

Où :

- $A_g$  est la plus petite des aires visibles du vitrage vue des deux côtés de la paroi sans tenir compte des débordements des joints,
- $A_f$  est la plus grande aire projetée du cadre prise sans recouvrement (incluant les surfaces de la pièce d'appui éventuelles) vue des deux côtés de la paroi,
- $A_p$  est la plus petite des aires visibles de la paroi opaque vue des deux côtés de la paroi sans tenir compte des débordements des joints,
- $A_w$  est la surface de la paroi vitrée :  $A_w = A_g + A_f + A_p$
- $\sigma$  est le rapport de la surface de vitrage à la surface totale de la paroi vitrée sans paroi opaque :

$$\sigma = \frac{A_g}{A_g + A_f}$$

- $A_c$  est la plus grande aire projetée du coffre intégré vue des deux côtés de la paroi,
- $S_g$  est le facteur de transmission solaire du vitrage seul,
- $S_p$  est le facteur de transmission solaire du panneau seul.

Lorsque la protection mobile est en position totalement déployée, le facteur solaire  $S_{ws}$  est déterminé par la relation suivante:

$$S_{ws} = \frac{A_p S_p + A_f S_f + A_g S_{gs}}{A_p + A_f + A_g}$$

Où  $S_{gs}$  est le facteur solaire du vitrage associé à la protection mobile.

Dans le cas où la paroi vitrée ne comprend pas de paroi opaque ( $A_p = 0$ ), l'équation peut s'écrire de la manière suivante :

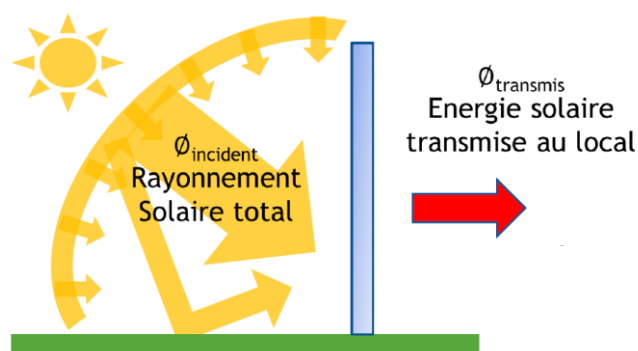
$$S_{ws} = \sigma \cdot S_{gs} + (1 - \sigma) \cdot S_f$$

Dans le cas où la protection mobile recouvre le cadre,  $S_f$  doit être remplacé par  $S_{fs}$  dans les formules.

Dans le cas où la protection mobile recouvre la paroi opaque,  $S_p$  doit être remplacé par  $S_{ps}$  dans les formules.

## > Décomposition du facteur solaire

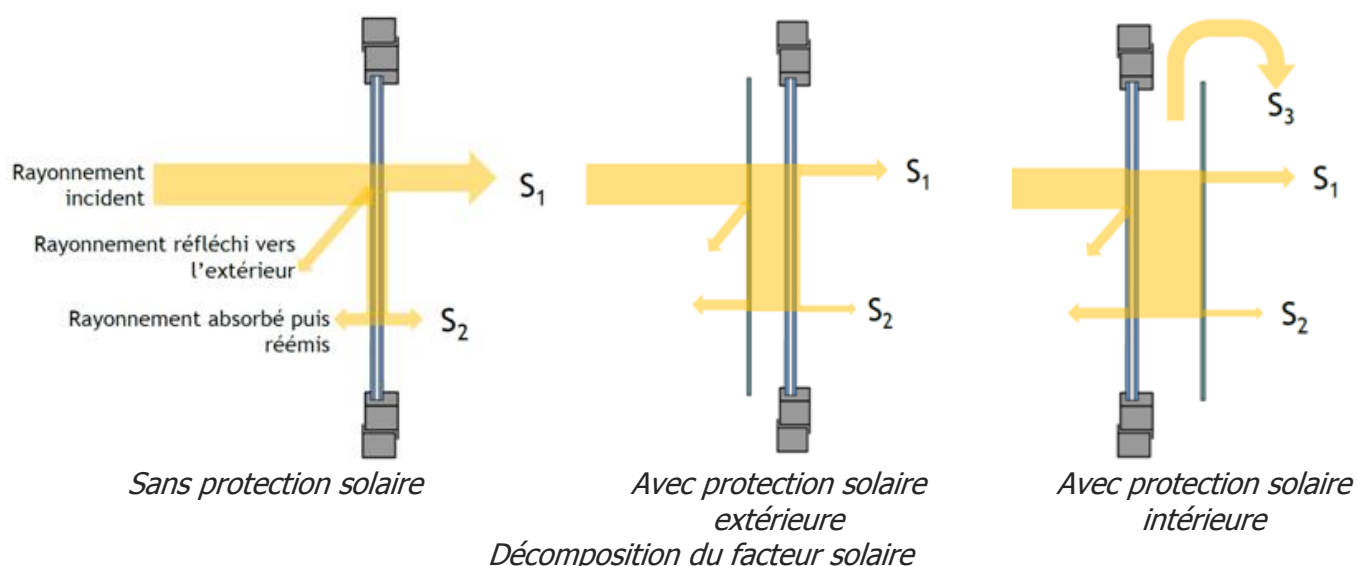
Le facteur de transmission de l'énergie solaire, communément appelé « facteur de transmission solaire », voire « facteur solaire », correspond au rapport entre l'énergie pénétrant par une paroi à l'intérieur du local et l'énergie solaire incidente sur la face extérieure de la paroi :



Le calcul prend en compte différents types de longueurs d'onde du rayonnement solaire ainsi que l'effet de ventilation de l'air engendré lorsqu'un store est installé à l'intérieur d'un local. Ainsi, les facteurs solaires  $S_w$  et  $S_{ws}$  sont décomposés en trois parties :

- $S_1$  : Composante de transmission directe (courte longueur d'onde [UV-Visible-proche IR]) qui correspond à la pénétration directe du rayonnement incident à travers la paroi translucide,
- $S_2$  : Composante de réémission thermique vers l'intérieur (grande longueur d'onde [IR] et convection) qui est due à l'échauffement de la face intérieure de la paroi sous l'effet du soleil,
- $S_3$  : composante de ventilation liée à la présence d'une lame d'air ventilée vers l'intérieur, et qui est donc susceptible de s'échauffer sous l'effet du soleil. C'est typiquement le cas d'une protection solaire intérieure.

de sorte que :  $S = S_1 + S_2 + S_3$



Les composantes du facteur solaire sont données par les relations suivantes :

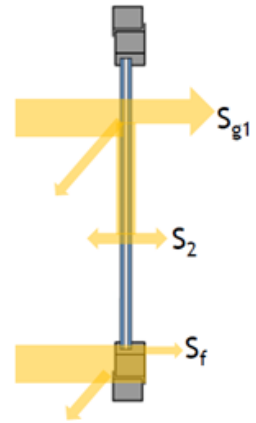


- Pour une paroi vitrée sans protection mobile (ou protection mobile repliée)

$$S_{w1} = \frac{A_g}{A_p + A_f + A_g} S_{g1}$$

$$S_{w2} = \frac{A_p S_p + A_f S_f + A_g S_{g2}}{A_p + A_f + A_g}$$

$$S_{w3} = 0$$

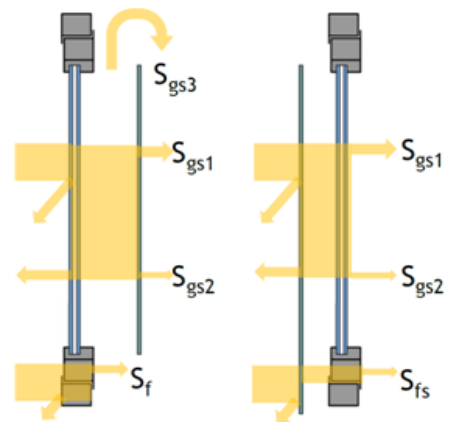


- Pour une paroi vitrée avec une protection mobile en position déployée

$$S_{ws1} = \frac{A_g}{A_p + A_f + A_g} S_{gs1}$$

$$S_{ws2} = \frac{A_p S_p + A_f S_f + A_g S_{gs2}}{A_p + A_f + A_g}$$

$$S_{w3} = \frac{A_g}{A_p + A_f + A_g} S_{gs3}$$



### > Détermination de $S_g$ et $S_{gs}$

Conformément à la norme XP P50-777, les facteurs solaires des vitrages et leurs composantes ( $S_g$ ,  $S_{g1}$ ,  $S_{g2}$ ,  $S_{g3}$ ,  $S_{gs}$ ,  $S_{gs1}$ ,  $S_{gs2}$ , et  $S_{gs3}$ ) associés ou non à une protection mobile sont à calculer suivant la norme EN 13363-2.

Le principe de cette méthode calcul est de considérer le store, le vitrage et les espaces entre eux comme des couches dans des positions définies, chaque couche ayant ses propres propriétés (transmission, réflexion, émissivité, ...). Les conditions extérieures (température, niveau d'éclairement énergétique, ventilation) sont également considérées. L'objectif étant d'évaluer l'interaction de chacune des couches avec ces conditions.

Par conséquent, ce calcul consiste en trois parties :

- La transmission du rayonnement solaire  $S_{g1}$  ou  $S_{gs1}$

Cette part quantifie la partie du rayonnement solaire incident qui est transmise dans le local par des transmissions et réflexions multiples des deux faces de chacune des couches du système. La température du système n'a pas d'impact sur ce calcul.

- Le transfert de chaleur  $S_{g2}$  ou  $S_{gs2}$

Ce type de transfert prend en compte l'impact de la température extérieure et intérieure en conjonction avec l'effet de l'éclairement solaire (qui augmente la température de chaque matériau par absorption).

Ce transfert est subdivisé en deux parties :

- Le transfert par rayonnement thermique

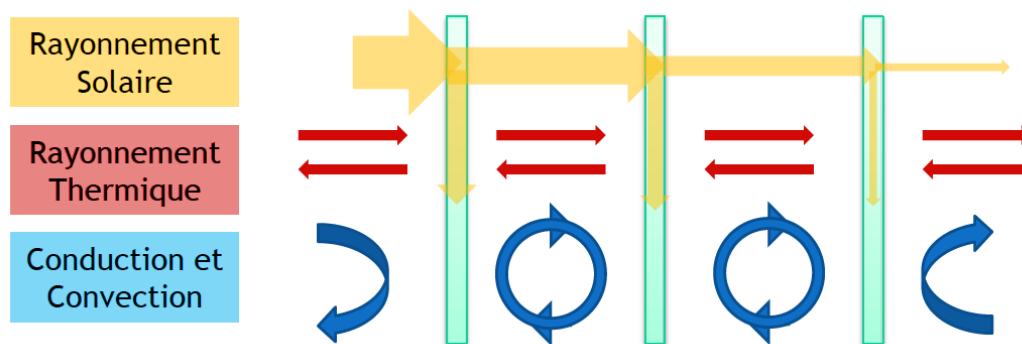
Ce transfert est dû à l'émission d'un rayonnement infrarouge de grande longueur d'onde par chaque couche chauffée par la température extérieure et le rayonnement solaire. La chaleur est transmise d'une couche à l'autre par ce rayonnement.

- Le transfert de chaleur par conduction et convection

Le transfert de chaleur par conduction est dû à la circulation directe de la chaleur au sein des matériaux et de l'espace de gaz entre eux. Le transfert de chaleur par convection est dû au déplacement de la chaleur d'un matériau vers l'espace de gaz (par exemple, la lame d'air d'un double vitrage).

- La présence d'un effet de tirage dans le cas d'un store intérieur Sgs3

Cet effet est dû au déplacement d'air au sein de la lame d'air créée entre le vitrage et le store intérieur. Il est dû à l'échauffement de la lame d'air par le vitrage générant ainsi un flux de chaleur ascendant entre le vitrage et le store.



*Illustration des composantes du facteur solaire*

La norme EN 13363-2 fournit ainsi une bonne description du facteur solaire. Néanmoins, cette norme nécessite de prendre en compte simultanément différents phénomènes physiques. L'utilisation d'outils de calcul spécifiques est donc nécessaire.

Les caractéristiques énergétiques et lumineuses doivent être connues pour chaque couche pour la résolution du système. Par exemple, il n'est pas possible de déterminer  $S_{gs}$  à partir de  $S_g$ .

Le calcul est plus précis en prenant en compte les données spectrales des composants plutôt que les valeurs intégrées.

#### > Détermination du S des parois opaques ( $S_p$ & $S_{ps}$ ; $S_f$ & $S_{fs}$ )

Les parois opaques des fenêtres sont : le cadre ( $S_f$ ), le panneau de remplissage ( $S_p$ ) et le coffre de volant roulant intégré ( $S_c$ ). La méthode de calcul de référence est donnée par la norme XP P50-777.

- Pour une paroi vitrée sans protection mobile

La formule générale du facteur solaire d'une paroi opaque est la suivante :

$$S = \frac{\alpha \cdot U}{h_e}$$

Où :

- $S$  est le facteur solaire de la paroi opaque
- $\alpha$  est le facteur d'absorption de la paroi opaque
- $U$  est le coefficient de transmission thermique de la paroi opaque
- $h_e$  est le coefficient d'échange extérieur

- Prise en compte de la protection solaire extérieure sur les parois opaques

La norme XP P50-777 prend en compte le recouvrement de la protection solaire sur le cadre. Ainsi, la formule générale de calcul des facteurs  $S_{fs}$  et  $S_{ps}$  est la suivante :

$$S_{is} = \tau_e \cdot S_i + \frac{\alpha_e}{10 \left( \frac{1}{U_i} + 0,3 \right)} + \frac{\tau_e (1 - S_i)}{5 \left( \frac{1}{U_i} + 0,3 \right)}$$

Où :

- $S_i$  est le facteur solaire de la paroi opaque (cadre ou panneau)
- $U_i$  est le coefficient de transmission thermique de la paroi opaque
- $\alpha_e$  est le facteur d'absorption énergétique de la protection mobile
- $\tau_e$  est le facteur de transmission énergétique de la protection mobile

## > DETERMINATION DU $TL_w$

Pour le calcul des facteurs de transmission lumineuse, le cadre de la paroi vitrée est considéré comme opaque. Les réflexions sur les éléments du cadre ou sur les encadrements latéraux ne sont pas prises en considération.

La transmission lumineuse des parois vitrées est calculée selon la norme XP P50-777 et donnée par la relation suivante :

$$TL_w = \frac{A_g}{A_p + A_f + A_g} TL_g$$

Dans le cas où la paroi vitrée ne comprend pas de paroi opaque ( $A_p = 0$ ),  $TL_w$  peut s'écrire de la manière suivante :

$$TL_w = \sigma \cdot TL_g$$

Où :

- $TL_g$  est le facteur de transmission lumineuse du vitrage seul
- $\sigma$  est le rapport de la surface de vitrage à la surface totale de la paroi vitrée sans paroi opaque :

$$\sigma = \frac{A_g}{A_g + A_f}$$

Le facteur de transmission lumineuse global de la paroi vitrée associée à la protection mobile en position déployée, noté  $TL_{ws}$ , est donné par la relation suivante :

$$TL_{ws} = \frac{A_g}{A_p + A_f + A_g} TL_{gs}$$

Où  $TL_{gs}$  est le facteur de transmission lumineuse du vitrage associé à une protection mobile

Dans le cas où la paroi vitrée ne comprend pas de paroi opaque ( $A_p = 0$ ),  $TL_{ws}$  peut s'écrire de la manière suivante :

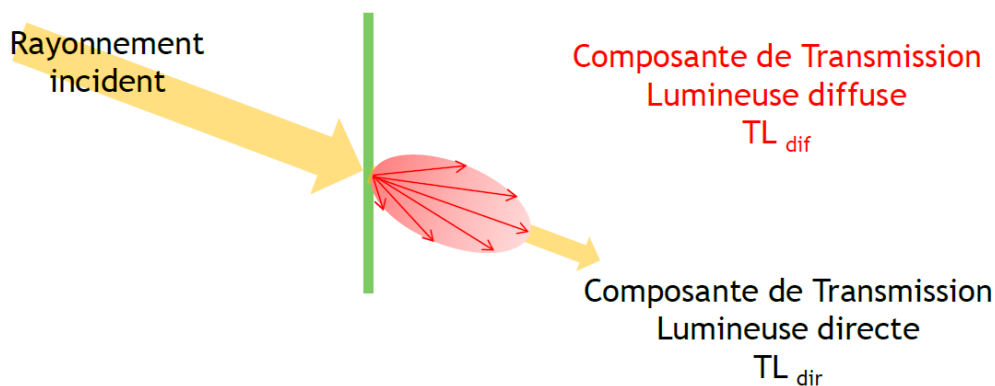
$$TL_{ws} = \sigma \cdot TL_{gs}$$

Le facteur de transmission lumineuse du vitrage, noté  $TL_g$ , doit être déterminé selon la norme NF EN 410.

Le facteur de transmission lumineuse globale du vitrage associé à une protection mobile, noté  $TL_{gs}$ , doit être déterminé selon la norme NF EN 13363-2.

Pour un rayonnement incident, et en présence d'une protection mobile, le facteur de transmission lumineuse se décompose en une composante transmise sous forme directe  $TL_{dir}$  et une composante transmise sous forme diffuse  $TL_{dif}$  de sorte que :

$$TL = TL_{dir} + TL_{dif}$$



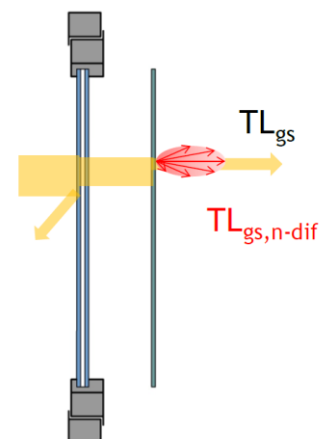
#### *Composante de la transmission lumineuse*

Sans protection solaire il est considéré que le facteur de transmission lumineuse diffuse pour un rayonnement incident direct est nul.

Le facteur de transmission lumineuse d'un rayonnement direct transmis sous forme diffuse, d'une paroi vitrée avec paroi opaque associée à la protection mobile, noté  $TL_{ws,n-dif}$  est donné par la relation suivante :

$$TL_{ws,n-dif} = \frac{A_g}{A_p + A_f + A_g} TL_{gs,n-dif}$$

Le facteur de transmission lumineuse direct-diffus du vitrage associé à une protection mobile, noté  $TL_{gs,n-dif}$ , doit être déterminé selon la norme NF EN 13363-2.



## > CAS DES FAÇADES RIDEAUX

Les façades rideaux sont caractérisées par 3 caractéristiques de base

- **$U_{cw}$**  : le coefficient de transmission thermique traduisant la capacité d'isolation des façades-rideaux

Ce coefficient exprime la capacité d'une façades-rideaux à conserver la température intérieure. Il s'exprime en  $W/m^2.K$ . Plus le coefficient  $U$  est faible plus une façade est isolante.

Lorsque la protection mobile (fermeture ou store) est relevée ou absente, ce coefficient est désigné par  $U_{cw}$ . Lorsque la fermeture ou le store est fermé, ce coefficient est désigné par  $U_{cws}$ .

- **$S_{cw}$**  : le facteur solaire traduisant la transmission de chaleur par la façade

Le facteur solaire traduit la capacité de la façade à transmettre la chaleur du soleil.

Ce facteur représente la part du rayonnement solaire qui est transmise à l'intérieur du bâtiment

- dans le cas où la protection mobile est absente ou relevée (facteur  $S_{cw}$ ) et
- dans le cas où elle est fermée (facteur  $S_{cws}$ ).

La valeur du facteur solaire est comprise entre 0 et 1 : plus sa valeur est élevée, plus les apports de chaleur sont importants.

Cette caractéristique est prise en compte pour évaluer les apports solaires gratuits entrant dans le bâtiment. Ces apports sont souhaitables en hiver car ils permettent de réduire les consommations de chauffage mais indésirables en été car ils augmentent la température intérieure et donc les consommations de climatisation ou l'inconfort des occupants.

- **$TL_{cw}$**  : la transmission lumineuse traduisant la transmission de lumière par la façade

Le facteur de transmission lumineuse traduit la capacité d'une paroi vitrée à transmettre la lumière naturelle à l'intérieur d'une pièce. C'est le rapport entre la lumière totale transmise à travers la fenêtre, et la lumière incidente. Il est compris entre 0 et 1.

Comme pour le facteur solaire, deux cas sont considérés :

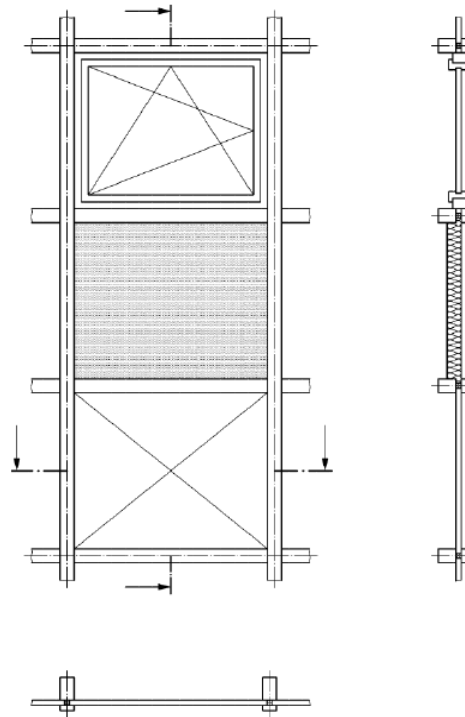
- le cas où la protection mobile est absente ou relevée (facteur  $TL_{cw}$ ) et
- le cas où elle est fermée (facteur  $TL_{cws}$ ).

Le facteur de transmission lumineuse prend alors en compte deux composantes :

- une composante de transmission directe  $TL_{dir}$  et
- une composante de transmission diffuse  $TL_{dif}$ .

de sorte que : 
$$TL = TL_{dir} + TL_{dif}$$

Le calcul détaillé des caractéristiques des façades équipées ou non d'une fermeture ou d'un store ( $U_{cw}$ ,  $U_{cws}$ ,  $S_{cw}$ ,  $S_{cws}$ ,  $TL_{cw}$ ,  $TL_{cws}$ ) se fait pour **les dimensions spécifiques d'un module représentatif de la façade.**



Les limites du module représentatif sont confondues avec les axes de symétrie des profilés (montants ou traverses) de l'ossature de la façade.

### > Détermination du $U_{cw}$

Le coefficient de transmission surfacique moyen de la façade est déterminé par calcul conformément à la norme NF EN 13947.

Le coefficient  $U_{cw}$  de la façade doit être déterminé en fonction de:

- ses dimensions réelles
- ses constituants réels:
  - Cadres ( $U_f$ )
  - Vitrage ( $U_g$ )
  - Liaison vitrage/cadre ( $\psi_{fg}$ )
  - Partie opaque éventuelle ( $U_p$ )

et exprimé avec 2 chiffres significatifs (par exemple  $U_w = 1,4$ ).

Afin de calculer le coefficient surfacique moyen d'une façade-rideau, on détermine les coefficients surfaciques et linéiques des éléments de chaque module.

Chaque module peut contenir à la fois différents types d'éléments : éléments de remplissage vitrés ou opaques, profilés de menuiserie, espaceurs de vitrages ou de panneaux opaques. La méthode de calcul de ces éléments est donnée dans le document CSTB « ThU-3/5 2012 ».

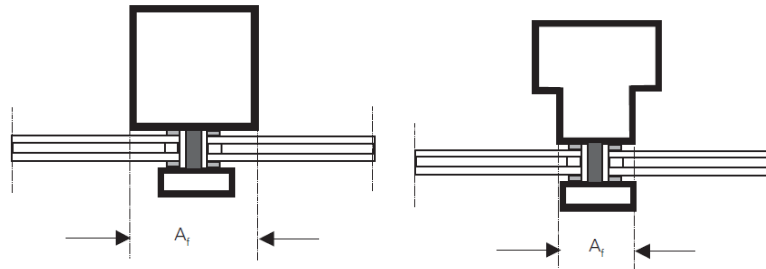
On détermine ensuite le coefficient surfacique moyen  $U_{cwi}$  de chaque module par la formule :

$$U_{cwi} = \frac{\sum U_g A_g + \sum U_f A_f + \sum U_p A_p + \sum \psi_g l_g + \sum \psi_p l_p}{\sum (A_g + A_f + A_p)}$$

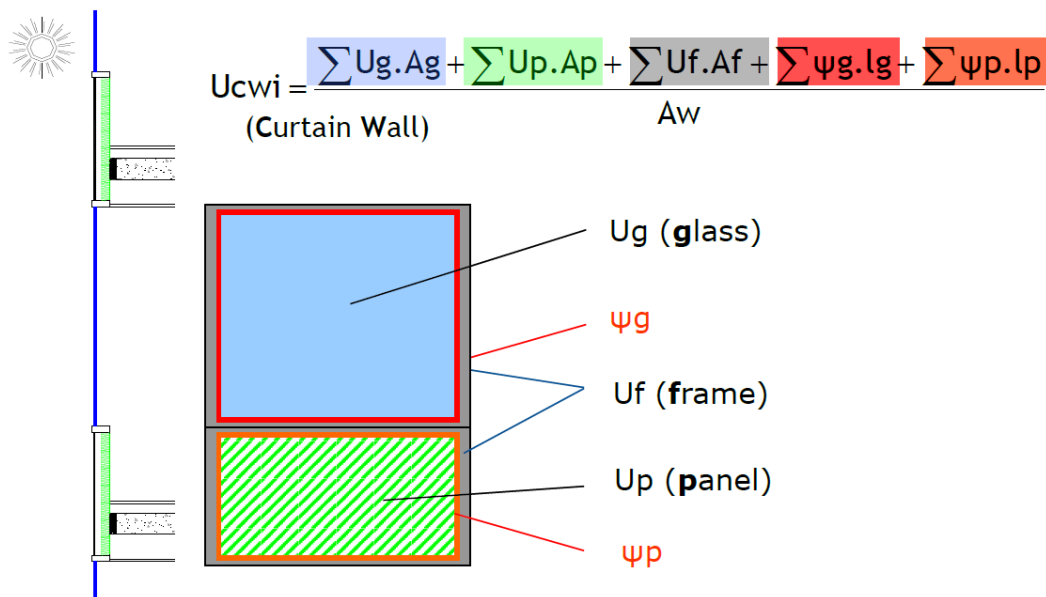
Où :

- $A_g$  est la plus petite aire visible du vitrage, vue des deux côtés de la paroi exprimé en  $m^2$  sans tenir compte des débordements des joints,

- $A_f$  est la plus grande aire projetée de la menuiserie prise sans recouvrement, vue des deux cotés de la paroi, en  $m^2$ ,



- $A_p$  est la plus petite aire visible du panneau opaque, vue des deux côtés de la paroi en  $m^2$  sans tenir compte des débordements des joints,
- $U_g$  est le coefficient de transmission thermique surfacique utile en partie centrale du vitrage en  $W/m^2.K$ ,
- $U_f$  est le coefficient surfacique de la menuiserie en  $W/m^2.K$ ,
- $U_p$  est le coefficient surfacique en partie centrale du panneau opaque en  $W/m^2.K$ ,
- $l_p$  est le plus grand périmètre visible du panneau, vu des deux cotés de la paroi en m,
- $l_g$  est le plus grand périmètre visible du vitrage, vu des deux cotés de la paroi, en m,
- $\psi_g$  est le coefficient linéique dû à l'effet thermique combiné de l'intercalaire du vitrage et du profilé, en  $W/m.K$ ,
- $\psi_p$  est le coefficient linéique dû à l'effet thermique combiné de l'espaceur du panneau et du profilé, en  $W/m.K$ .



On détermine ensuite le coefficient surfacique moyen de la façade. Le coefficient surfacique moyen de la façade  $U_{cw,tot}$  se calcule d'après la formule suivante :

$$U_{cw,tot} = \frac{\sum(U_{cwi} \cdot A_{cwi})}{\sum A_{cwi}}$$

Où :

- $U_{cw,tot}$  est le coefficient surfacique moyen de la façade rideau, en  $W/m^2.K$ ,
- $U_{cwi}$  est le coefficient surfacique moyen du module i, en  $W/m^2.K$ ,
- $A_{cwi}$  est l'aire projetée du module i, en  $m^2$ .

## > Détermination du $S_{cw}$

La norme XP P50-777 permet de considérer la façade comme une paroi vitrée.

Le calcul du coefficient moyen de la façade nue est réalisé en fonction des caractéristiques thermiques de ses composants.

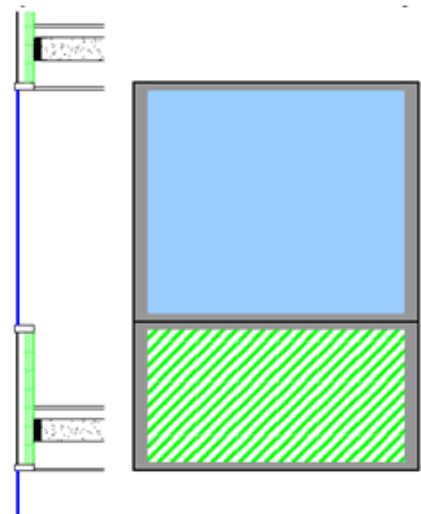
Afin de calculer le coefficient surfacique moyen d'une façade-rideau, on détermine les coefficients surfaciques et linéiques des éléments de chaque module.

Chaque module peut contenir à la fois différents types d'éléments : éléments de remplissage vitrés ou opaques, profilés de menuiserie, espaceurs de vitrages ou de panneaux opaques.

On détermine ensuite, comme pour la fenêtre, le coefficient surfacique moyen  $S_{cwi}$  de chaque module puis le coefficient surfacique moyen de la façade  $S_{cw,tot}$  :

$$S_{cwi} = \frac{\sum S_g A_g + \sum S_p A_p + \sum S_f A_f}{\sum (A_g + A_p + A_f)}$$

$$S_{cw} = \frac{\sum S_{cwi} A_{cwi}}{\sum A_{cwi}}$$



## > Détermination du $TL_{cw}$

Le calcul est similaire à celui du facteur solaire :

$$TL_{cwi} = \frac{\sum TL_g A_g}{\sum (A_g + A_p + A_f)}$$

$$TL_{cw} = \frac{\sum S TL_{cwi} A_{cwi}}{\sum A_{cwi}}$$

