

LES CARACTERISTIQUES DES FERMETURES ET STORES DANS LA RT2012

Dans la performance thermique et lumineuse des parois vitrées, les fermetures et les stores jouent le rôle de régulateur des entrées et sorties de chaleur et de lumière. Ces produits permettent en effet d'adapter les caractéristiques des parois vitrées aux conditions climatiques extérieures et aux besoins des occupants.

Le moteur de calcul de la RT2012 prend en compte les propriétés de ces produits. Ils impactent en effet le coefficient de transmission thermique U_w de la paroi vitrée ainsi que son facteur solaire S_w et sa transmission lumineuse TL_w .

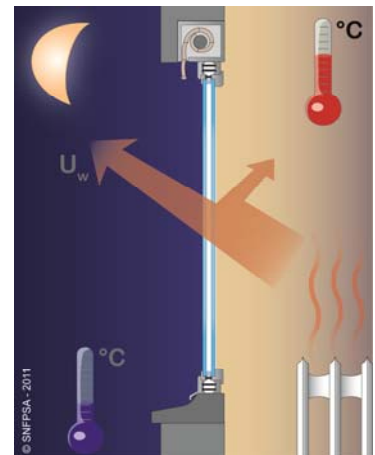
> LA RESISTANCE THERMIQUE ADDITIONNELLE ΔR

Le coefficient U (désigné par U_w) représente les déperditions thermiques à travers une fenêtre. Pour une fenêtre seule (avec un store ou une fermeture en position repliée), ce coefficient dépend du coefficient U du vitrage (U_g), du cadre (U_f) et de la liaison entre le vitrage et le cadre (ψ_g).

Il est calculé conformément à la norme EN ISO 10077-1 grâce à la formule suivante :

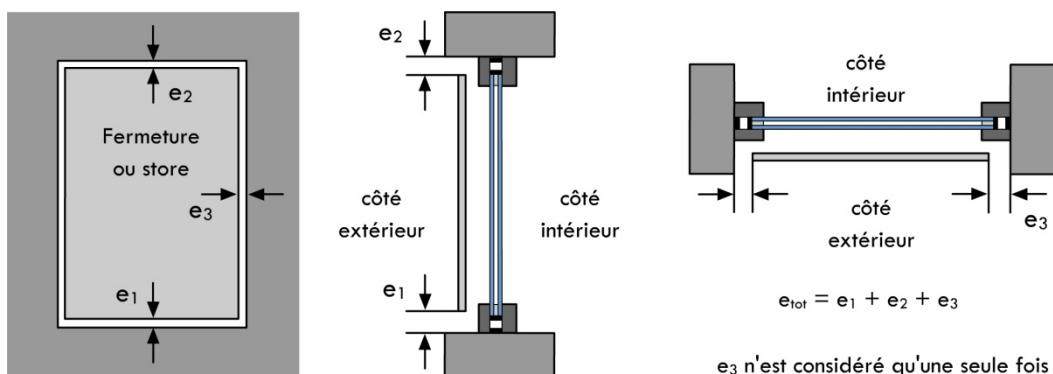
$$U_w = \frac{A_g U_g + A_f U_f + I_g \psi_g}{A_g + A_f}$$

Plus la valeur du coefficient U_w est basse, plus le niveau d'isolation de la fenêtre est élevé. Le coefficient U est donné en $W/m^2.K$.



Une fermeture ou un store en position déployée devant une paroi vitrée introduit une lame d'air supplémentaire caractérisée par une résistance thermique additionnelle désignée par ΔR (en $m^2.K/W$). La valeur du ΔR est calculée conformément à la norme européenne EN 13125 (reprise par les règles Th-U) et dépend essentiellement de la perméabilité à l'air du volet ou du store et de la résistance thermique de son tablier (désignée par R_{sh}).

Conformément à l'EN 13125, la perméabilité à l'air d'une fermeture ou d'un store est déterminée en considérant les espaces périphériques du tablier (voir Figure ci-dessous).



Pour les stores intérieurs et extérieurs, l'EN 13125 prend également en compte les ouvertures qui pourraient être présentes dans le tablier (par exemple le coefficient d'ouverture d'une toile). Le critère de perméabilité à l'air est alors exprimé par la formule suivante :

$$P_e = e_{tot} + 10p$$

où e_{tot} est calculé conformément à la Figure ci-dessus et p est le ratio entre la surface totale des ouvertures et la surface totale du tablier.

Les tableaux suivants reprennent les formules données dans l'EN 13125 pour le calcul de la valeur du ΔR dans le cas de fermetures, de stores extérieurs et intérieurs et de stores intégrés entre vitrages.

CALCUL DU ΔR DES FERMETURES

Très forte perméabilité à l'air ($e_{tot} > 35$ mm)	$\Delta R = 0,08 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
Forte perméabilité à l'air ($15 \text{ mm} < e_{tot} \leq 35$ mm)	$\Delta R = 0,25 \cdot R_{sh} + 0,09$
Perméabilité à l'air moyenne ($8 \text{ mm} < e_{tot} \leq 15$ mm)	$\Delta R = 0,55 \cdot R_{sh} + 0,11$
Faible perméabilité à l'air ($e_{tot} \leq 8$ mm)	$\Delta R = 0,8 \cdot R_{sh} + 0,14$
Étanches à l'air ($e_{tot} \leq 3$ mm and $e_1 + e_3 = 0$ or $e_2 + e_3 = 0$)	$\Delta R = 0,95 \cdot R_{sh} + 0,17$

CALCUL DU ΔR DES STORES EXTERIEURS

Forte ou très forte perméabilité à l'air ($P_e \geq 35$ mm)	$\Delta R = 0,08 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
Perméabilité à l'air moyenne ($8 \text{ mm} \leq P_e < 35$ mm)	$\Delta R = 0,11 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
Faible perméabilité à l'air ($P_e < 8$ mm)	$\Delta R = 0,14 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

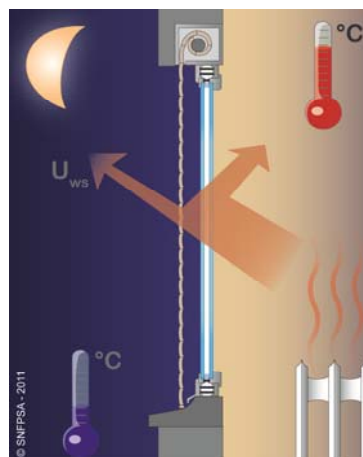
CALCUL DU ΔR DES STORES INTERIEURS ET ENTRE VITRAGES

Forte ou très forte perméabilité à l'air ($P_e \geq 80$ mm)	$\Delta R = 0,08 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
Perméabilité à l'air moyenne ($20 \text{ mm} \leq P_e < 80$ mm)	$\Delta R = 0,11 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
Faible perméabilité à l'air ($P_e < 20$ mm)	$\Delta R = 0,14 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

L'effet de la résistance thermique additionnelle d'une fermeture ou d'un store sur une fenêtre est donné par la formule suivante tirée également de la norme EN ISO 10077-1 :

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

En fonction du taux de fermeture du volet ou du store, le moteur de calcul de la RT2012 utilise la valeur de U_{ws} et non celle de U_w pour les calculs. La capacité d'isolation de la paroi vitrée se trouve alors renforcée.



Pour une fenêtre donnée, la formule précédente peut être utilisée pour évaluer l'amélioration du coefficient U d'une fenêtre par la présence d'une fermeture ou d'un store en position déployée. Le Tableau ci-dessous présente des exemples de calculs pour trois valeurs de ΔR et trois types de fenêtres différentes. Les valeurs de ΔR considérées sont :

- 0,08 m².K/W, par exemple un store extérieur très perméable,
- 0,15 m².K/W, par exemple un volet roulant en aluminium standard,
- 0,25 m².K/W, par exemple un volet roulant étanche.

	Fenêtre à simple vitrage $U_w = 4,90$			Fenêtre à double vitrage $U_w = 1,8$			Fenêtre à double vitrage $U_w = 1,2$		
	ΔR (m ² .K/W)			ΔR (m ² .K/W)			ΔR (m ² .K/W)		
	0,08	0,15	0,25	0,08	0,15	0,25	0,08	0,15	0,25
U_{ws} (W/m ² .K)	3,52	2,82	2,20	1,57	1,42	1,24	1,09	1,02	0,92
Amélioration	28,2%	42,4%	55,1%	12,6%	21,3%	31,0%	8,8%	15,2%	23,0 %

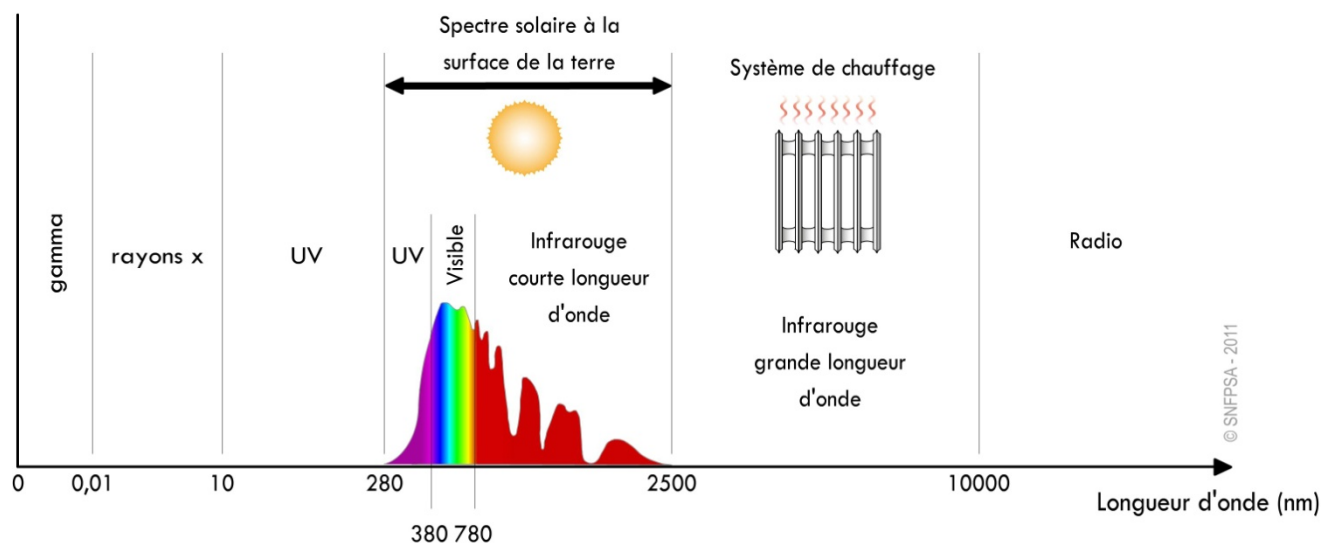
De ces exemples, on peut constater que dans tous les cas, la fermeture ou le store diminue la valeur du coefficient U de la fenêtre ($U_{ws} < U_w$) et par conséquent réduit les déperditions.

> LES CARACTERISTIQUES ENERGETIQUES ET LUMINEUSES

Les caractéristiques énergétiques et lumineuses des fermetures et stores sont utilisées pour le calcul des facteurs de transmission solaire S_{ws} et lumineuse TL_{ws} de l'ensemble de la paroi vitrée lorsque les occultations sont abaissées. Ces caractéristiques sont celles du tablier des produits, c'est-à-dire celles des lames ou des toiles. Elles sont mesurées selon la norme européenne EN 14500.

> Différents types de rayonnement

Un rayonnement est caractérisé par sa longueur d'onde (voir Figure ci-dessous).



Une fermeture ou un store est concerné par les deux types de rayonnement suivants :

- Le rayonnement solaire comprenant les longueurs d'ondes comprises entre 280 nm to 2500 nm et qui est subdivisé en trois parties : UV, visible et infrarouge de courtes longueurs d'onde. Ce rayonnement est émis par le soleil.

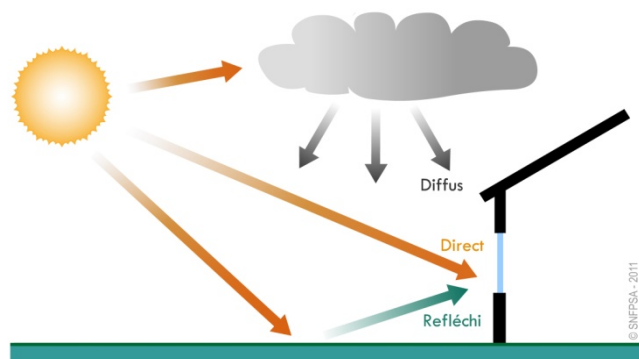
- Le rayonnement de grandes longueurs d'ondes ayant des longueurs d'ondes comprises entre 2500 nm et 10000 nm et qui est dû au niveau de température d'un matériau (par exemple un radiateur ou une surface chaude quelconque). Ce rayonnement est dans le domaine de l'infrarouge et est donc invisible.

> Le rayonnement solaire

Le soleil produit une énorme quantité d'énergie (66 millions W/m²) qui est transmise à la Terre par un rayonnement. Seule une fraction de cette énergie atteint l'atmosphère (environ 1300 W/m²). Environ 15% de ce rayonnement est alors absorbé par l'atmosphère et émis dans toutes les directions sous la forme d'un rayonnement diffus. Environ 6% est réfléchi vers l'espace. La partie restante (79%) est directement transmise au sol à travers l'atmosphère.

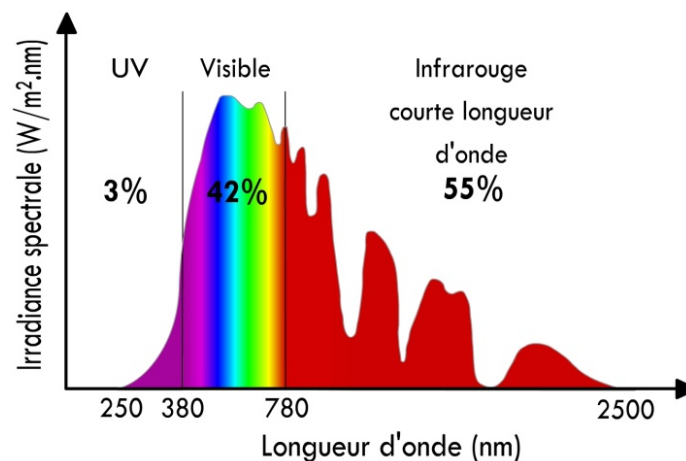
De fait, lorsque l'on considère un dispositif de protection solaire, il est nécessaire de diviser le rayonnement incident global en trois parties :

- Le rayonnement direct : la partie du rayonnement solaire qui n'est ni absorbée ni réfléchi par l'atmosphère,
- Le rayonnement diffus : la partie du rayonnement absorbée par l'atmosphère et réémise dans toutes les directions,
- Le rayonnement réfléchi qui correspond à la réflexion des rayonnements direct et diffus par le sol.



Ce rayonnement est groupé au sein de trois grandes parties formant le spectre solaire :

- Les ultraviolet (UV) : de 250 nm à 380 nm, ces rayons sont invisibles à l'œil humain et peuvent être dangereux en cas de surexposition. Ils vieillissent les matériaux et détériorent les surfaces et les couleurs.
- La partie visible : de 380 nm (violet) à 780 nm (rouge), ces rayons sont détectés par la rétine et permettent la vue des formes, des reliefs et des couleurs.
- Les infrarouges de courtes longueurs d'onde (IR) : de 780 nm à 2500 nm, ces rayons sont invisibles mais sont ressentis sous forme de chaleur.



> Infrarouge de grandes longueurs d'onde

Tous les matériaux émettent en permanence un rayonnement dans toutes les directions sous forme d'énergie. Tandis que le spectre solaire comprend un rayonnement de courtes longueurs d'onde émis à des températures variées, le rayonnement thermique est essentiellement composé de rayonnement infrarouge de grandes longueurs d'ondes émis à basse température.

En pratique, cela signifie qu'un matériau irradié par le rayonnement solaire se réchauffe et émet un rayonnement de grandes longueurs d'onde dans la zone environnante. Ce rayonnement échauffe ensuite les matériaux au voisinage qui émettront à nouveau un rayonnement, et ainsi de suite.

Un radiateur est un parfait exemple d'un matériau qui émet un rayonnement infrarouge à grandes longueurs d'ondes. Tout matériau chauffé par le rayonnement solaire devient une sorte de radiateur.

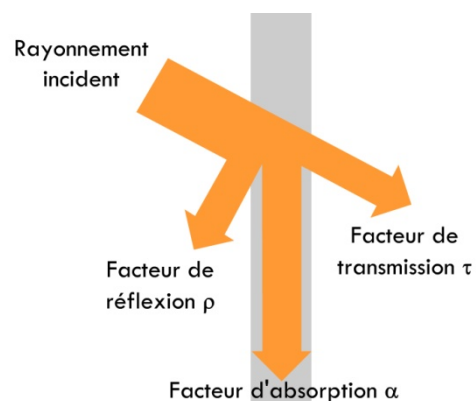
La capacité d'un matériau à émettre ce type de rayonnement est donnée par son émissivité. Tant qu'un matériau n'a pas d'ouvertures, il est opaque aux infrarouges de grandes longueurs d'onde. Par conséquent les murs et les vitrages ne permettent pas la transmission de ce type de rayonnement. La chaleur est conservée dans la salle. C'est le fameux « effet de serre ».

> Les caractéristiques des fermetures et stores

Lorsqu'il touche une surface (un verre, une toile ou une lame par exemple), un rayonnement incident se divise en trois parties :

- Une partie qui est transmise à travers le matériau. Elle est caractérisée par le facteur de transmission τ , ratio du flux transmis sur le flux incident,
- Une partie qui est réfléchi par le matériau. Elle est caractérisée par le facteur de réflexion ρ , ratio du flux réfléchi sur le flux incident,
- Une partie qui est absorbée par le matériau et qui est caractérisée par le facteur d'absorption α ,

de sorte que : $\tau + \rho + \alpha = 100\%$



Pour un éclairage incident E , le rayonnement transmis est égal à $\tau \times E$, le rayonnement absorbé à $\rho \times E$ et le rayonnement réfléchi à $\alpha \times E$.

Les facteurs de transmission, de réflexion et d'absorption sont des caractéristiques spécifiques au matériau. Pour une toile par exemple, ces valeurs dépendront essentiellement du type de matériau, du coefficient d'ouverture et de la couleur de la toile. Elles sont mesurées selon la norme EN 14500.

Ces valeurs dépendent de la longueur d'onde du rayonnement incident. Dans la pratique, elles sont souvent définies pour des plages de longueurs d'ondes couvrant :

- Le spectre solaire dans son ensemble, c'est-à-dire de 250 nm à 2500 nm. Ces propriétés sont alors identifiées par l'indice « e » (pour « énergétique ») : τ_e , ρ_e et α_e ,
- La partie visible du spectre, c'est-à-dire de 380 nm à 780 nm. Dans ce cas, ces caractéristiques sont utilisées pour calculer les propriétés visuelles des produits (principalement le facteur de transmission lumineuse) et sont identifiées par l'indice « v » (pour « visible ») : τ_v , ρ_v et α_v ,
- Le rayonnement infrarouge de grandes longueurs d'onde, c'est-à-dire de 2500 nm à 10000 nm. Ces valeurs sont nécessaires pour le calcul détaillé de certaines des caractéristiques thermiques des

produits. Elles sont identifiées par l'indice « IR » : τ_{IR} , ρ_{IR} et l'émissivité ε (l'émissivité est équivalente à α_{IR}).

Dans ce cas, ces valeurs sont appelées « données intégrées ».

Il est possible de mesurer ces propriétés pour des longueurs d'ondes spécifiques (par exemple 250, 260, 270 nm, etc). Ces valeurs sont alors appelées « données spectrales ».

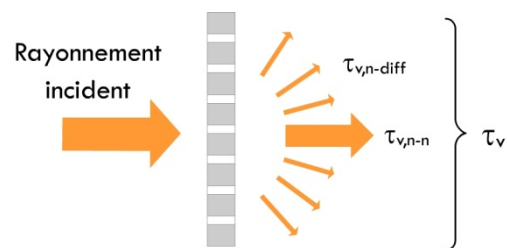
NOTE Dans tous les cas, la relation entre les facteurs de transmission, d'absorption et de réflexion est gouvernée par les formules génériques suivantes :

- $1 = \tau_e + \rho_e + \alpha_e$ pour le spectre solaire complet
- $1 = \tau_v + \rho_v + \alpha_v$ pour la partie visible du spectre solaire
- $1 = \tau_{IR} + \rho_{IR} + \varepsilon$ pour le rayonnement de grandes longueurs d'onde

En pratique, seules deux valeurs sont donc nécessaires pour caractériser un matériau (par exemple τ_e et ρ_e ou τ_{IR} and ε).

En complément, il convient de noter qu'un rayonnement peut être transmis de deux manières. Le facteur de transmission τ comprend donc :

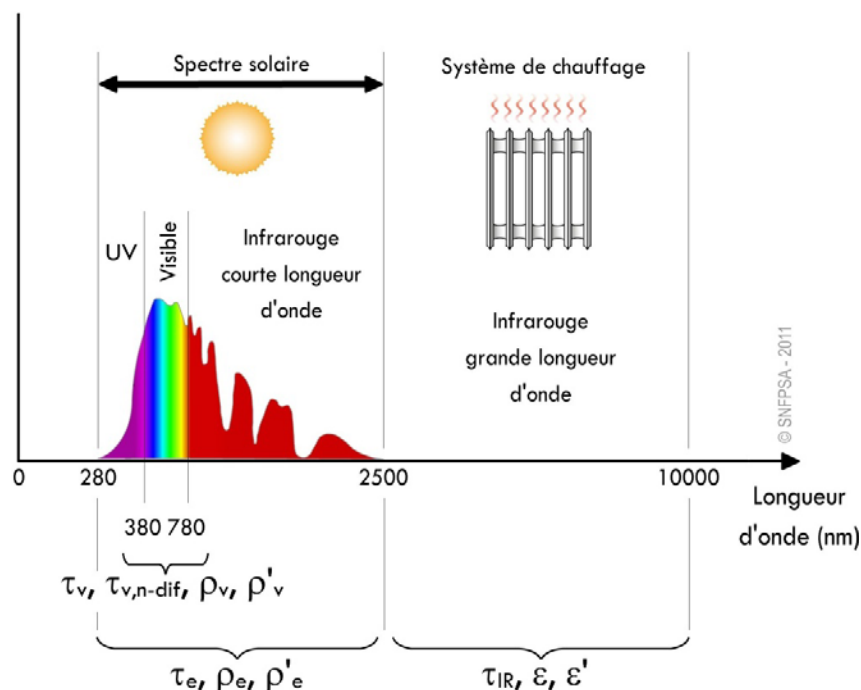
- Une transmission directe, désignée par τ_{n-n} , pour laquelle le rayonnement n'est pas affecté par le matériau, et
- Une transmission diffuse, notée τ_{n-dif} , qui correspond à la diffusion du rayonnement dans toutes les directions par le matériau.



En pratique, cette distinction n'est utile que pour le facteur de transmission lumineuse τ_v . Ainsi, la somme des parties du rayonnement visible transmises directement et de manière diffuse est égale à la transmission totale : $\tau_{v,n-n} + \tau_{v,n-dif} = \tau_v$.

Enfin, les facteurs de réflexion et d'absorption peuvent également dépendre des faces du produit, par exemple dans le cas de revêtements de couleurs différentes. Deux valeurs peuvent alors être nécessaires : ρ et ρ' par exemple correspondant aux deux faces d'une même toile.

La Figure ci-dessous illustre les caractéristiques d'une fermeture ou d'un store (toile ou lame) requises pour un calcul détaillé des propriétés énergétiques et lumineuses d'un produit.



Ces caractéristiques sont fournies par les fabricants de fermetures et stores et doivent être mesurées conformément à la norme européenne EN 14500 « Fermetures et stores - Confort thermique et lumineux - Méthodes d'essai et de calcul ».

> SYNTHÈSE DES CARACTÉRISTIQUES DES FERMETURES ET STORES

Le Tableau ci-dessous présente une synthèse des caractéristiques des fermetures et des stores nécessaires pour répondre à la RT2012, ainsi que l'usage qui en fait pour le calcul des caractéristiques des parois vitrées.

Caractéristiques de la fermeture ou du store	Caractéristiques de la paroi vitrée
Résistance thermique additionnelle ΔR	Calcul du coefficient U_{ws}
Facteur de transmission solaire τ_e	
Facteur de réflexion solaire, côté rayonnement ρ_e	
Facteur de réflexion solaire, côté opposé au rayonnement ρ'_e	Calcul du facteur S_{ws} et de ses composants
Facteur de transmission infrarouge $\tau_{IR}^{(1)}$	
Emissivité, côté rayonnement ϵ	
Emissivité, côté opposé au rayonnement ϵ'	
Facteur de transmission lumineuse τ_v	
Facteur de transmission lumineuse diffuse $\tau_{v,n-dif}$	Calcul des facteurs TL_{ws} et $TL_{ws,n-dif}$
Facteur de réflexion lumineuse, côté rayonnement ρ_v	
Facteur de réflexion lumineuse, côté opposé au rayonnement ρ'_v	

⁽¹⁾ Egal au coefficient d'ouverture de la toile, nul pour des lames pleines