

LA PROTECTION SOLAIRE POUR DES BATIMENTS DURABLES ET A BASSE CONSOMMATION

FEVRIER 2018
Edition 2

Comment les volets et stores réduisent l'énergie nécessaire aux bâtiments et améliorent le confort thermique et visuel des utilisateurs.



MEMBRES DU COMITE TECHNIQUE D'ES-SO

- ▶ ANIMATEUR : Hervé **LAMY** (ACTIBAIE)
- ▶ Severine **BASQUE** (ACTIBAIE)
- ▶ Ralf **BAUR** (ITRS)
- ▶ Bjarne **BLÜDNIKOW** (VELUX)
- ▶ Martin **BÜRCEL** (ITRS)
- ▶ David **BUSH** (BBSA)
- ▶ Jean-Paul **CLEMENT** (ACTIBAIE)
- ▶ Alain **CROUZET** (ACTIBAIE)
- ▶ Yvon **DEBIEZ** (ACTIBAIE)
- ▶ Gonzague **DUTOO** (ACTIBAIE)
- ▶ Barbara **FERRARI** (ASSOTENDE – FEDERLEGNO Arredo)
- ▶ Hannes **GERSTMANN** (BVST)
- ▶ Wandrille **HENROTTE** (ACTIBAIE)
- ▶ Samir **HALIM** (ROMAZO)

Copyright © ES-SO, 2017

La demande d'autorisation pour faire des copies de toute partie de ce guide doit être adressée à :

ES-SO vzw

Vilvoordelaan, 126 - 1930 Zaventem, Belgique

Email : info@es-so.com

L'ES-SO est redevable à ses associations membres et aux membres de leur entreprise pour la fourniture d'images destinées à être utilisées dans le manuel ES-SO « La protection solaire pour des bâtiments durables et à basse consommation ».



AVANT-PROPOS

Ce guide traite de la protection solaire (y compris les volets), et son influence sur l'équilibre énergétique et le confort naturel d'un bâtiment.

Les bâtiments sont les plus gros consommateurs d'énergie en Europe, absorbant pour près de 40% d'énergie. Environ 75% du parc immobilier est inefficace sur le plan énergétique et, selon les États membres, seuls 0,4 à 1,2% d'entre eux sont rénovés chaque année. Ceci explique pourquoi l'Europe vise à améliorer son efficacité par des cadres juridiques continus (directives liées à l'énergie) qui encouragent les États membres à adapter leur législation nationale et à changer radicalement les méthodes de construction.

La directive DPEB (Directive sur la performance énergétique des bâtiments) publiée depuis 2002 et renforcée en 2010, a significativement affecté la construction de bâtiments vers de nouveaux bâtiments « nZEB » (« Nearly zero-energy building » - Bâtiment proche du zéro énergie) visant à prévenir les déperditions thermiques grâce à une meilleure isolation et étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment. Depuis la première édition du Guide technique ES-SO, de plus en plus de pays d'Europe signalent un risque de surchauffe accru dans les bâtiments directement liés à l'évolution des pratiques de construction. C'est pourquoi la protection solaire devient de plus en plus essentielle dans la conception de bâtiments basse consommation. Selon les résultats de la prochaine révision de la DPEB, la protection solaire sera officiellement reconnue comme un système technique du bâtiment et intégrée à l'enveloppe dynamique du soi-disant « indicateur intelligent », un outil qui aide les consommateurs à surveiller la consommation énergétique de leurs logements. Avec la DPEB renouvelée, l'ensemble du bâtiment doit également devenir nZEB, et la protection solaire va augmenter de façon exponentielle.

La protection solaire est un terme générique utilisé pour couvrir toutes les mesures passives limitant l'entrée de l'énergie solaire excessive, allant des arbres d'ombrage et auvents fixes aux stores et volets entièrement automatisés. La DPEB a encouragé les fabricants de stores et de volets à innover dans les tissus et les matériaux avec des valeurs améliorées sur les propriétés de confort thermique pour le rejet de chaleur et / ou la rétention de la chaleur, y compris une grande variété de propriétés de confort visuel. Gérer l'entrée de la lumière du jour tout au long de la journée pour optimiser le contrôle de l'éblouissement est tout aussi important. Afin de couvrir les besoins des grandes surfaces vitrées également sur les bâtiments de grande hauteur, les fabricants sont en mesure de rendre les systèmes de protection solaire très résistants aux charges de vent.

L'installation de stores et de volets peut désormais être intégrée dans des bâtiments hautement isolés.

Il est également clair que la protection solaire associée au refroidissement nocturne est le moyen le plus efficace de réduire ou même éviter le refroidissement actif. C'est exactement le but du premier principe d'efficacité énergétique de l'Union européenne, car c'est le moyen le moins coûteux de réduire la consommation d'énergie dans les bâtiments. La technologie de protection solaire et de volet est intégrée dans les normes CEN / ISO créées par notre industrie et constitue l'épine dorsale technique d'un savoir-faire de qualité. Cette deuxième édition souligne l'importance de la protection solaire intelligente faisant partie de l'enveloppe dynamique du bâtiment dans les bâtiments intelligents.

L'ensemble de la chaîne, de la fabrication à l'installation, doit être basé sur des professionnels qui comprennent les propriétés de performance de ce que la protection solaire peut faire pour créer un confort thermique et visuel dans les bâtiments. L'essence de la protection solaire contribue au confort naturel et au bien-être des occupants tout en améliorant l'efficacité énergétique et en réduisant ainsi leurs factures d'énergie. De nouveaux chapitres sont ajoutés, par ex. sur l'importance de la lumière du jour et les développements de normes ont également été inclus.

Le soleil est la plus grande source d'énergie de notre univers. Et la protection solaire est capable de gérer la puissance du soleil de la manière la plus optimale dans nos espaces de vie. La protection solaire intelligente est l'innovation car nous sommes en mesure d'offrir de vraies solutions pour élever notre technologie au niveau supérieur.

Nous vous souhaitons une lecture intéressante et vous encourageons fortement à utiliser les connaissances acquises dans votre pratique quotidienne.

Peter Winters, President d'ES-SO,
the European Solar-Shading Organization
www.es-so.com

AVERTISSEMENT AUX LECTEURS FRANÇAIS

Ce document est la traduction stricte du guide technique d'ES-SO édité en anglais. Il se réfère notamment à des normes européennes. Certaines de ces normes, notamment celles relatives aux facteurs de transmission solaire et lumineuse, ont fait l'objet de développement spécifique en France suite à la mise en place de la RT2012 (norme française XP P50-777). Aussi certaines notations utilisées dans ce guide et propres aux normes européennes peuvent, elles différer de celles couramment utilisées en France. A titre d'exemple, le facteur solaire g_{tot} est désigné en France par le terme S_{gs} . Néanmoins, les processus physiques expliqués dans le document restent les mêmes.

SOMMAIRE

8

I. INTRODUCTION

17

III. LES CARACTERISTIQUES THERMIQUES : LES VALEURS U ET ΔR

10

II. PRINCIPES DE BASE

II.1. Différents types de rayonnement.....	11
II.2. Rayonnement solaire.....	12
II.3. Influence de la position du soleil.....	13
II.4. Infrarouge de grande longueur d'onde....	14
II.5. Comment un matériau est affecté par un rayonnement.....	15

21

IV. LES CARACTERISTIQUES SOLAIRES : LE FACTEUR SOLAIRE

IV.1. Généralités	22
IV.2. Méthode de calcul simplifiée : EN ISO 52022-1 (remplace EN 13363-1)	22
IV.3. Méthode de calcul détaillée : EN ISO 52022-3 (remplace EN 13363-2)	24
IV.4. Comparaison des calculs simplifiés et détaillés	28
IV.5. Vitrage de référence	30

32

V. LES CARACTERISTIQUES VISUELLES : LA TRANSMISSION LUMINEUSE, LE CONTROLE DE L'EBLOUISSEMENT, LES PROPRIETES D'ASSOMBRISSEMENT, LA VUE VERS L'EXTERIEUR

V1. Généralités	33
V2. Méthode de calcul simplifiée : EN ISO 52022-1 (remplace EN 13363-1)	33
V3. Méthode de calcul détaillée : EN ISO 52022-3 (remplace EN 13363-2)	34
V4. Autres caractéristiques visuelles.....	35
V4.1. Généralités	35
V4.2. Contrôle de l'éblouissement	36
V4.3. Propriétés d'assombrissement.....	38
V4.4. Vue vers l'extérieur	40

41

VI. QUALITE DE LA LUMIERE DU JOUR

VI1. Généralités.....	42
VI2. La lumière du jour plus important que la lumière.....	43
VI3. Lumière du jour naturelle, filtrée et lumière artificielle	45
VI3.1. Spectre visuel des différentes sources de lumière du jour.....	45
VI3.2. Spectre visuel des différentes sources de lumière artificielle	48
VI4. Impact de la lumière du jour sur le bien-être et les performances de l'être humain	53
VI5. Conclusion	51

#1

INTRODUCTION



I. INTRODUCTION

La protection solaire est un élément clé pour améliorer l'efficacité énergétique et la gestion de la lumière naturelle des bâtiments existants et optimiser la conception des bâtiments basse consommation. Cette technologie est encore sous-utilisée bien qu'elle ait un impact majeur sur la réduction de la consommation d'énergie des constructions tout en améliorant le confort thermique et visuel des occupants.

En effet, les dispositifs de protection solaire permettent d'ajuster les propriétés des fenêtres et des façades aux conditions climatiques et aux besoins des occupants. Une bonne gestion de ces systèmes peut alors maximiser les apports solaires en hiver – réduisant ainsi les besoins de chauffage – et minimiser ces apports en été – réduisant ainsi les besoins de refroidissement – tout en apportant en même temps un bon confort visuel pour les occupants.

Afin de faire un choix pertinent en termes de produits et de gestion de la façade lors de la conception d'un nouveau bâtiment ou de travaux sur un bâtiment existant, il est nécessaire de prendre en considération les caractéristiques des dispositifs de protection solaire. En effet, ces produits ont un impact sur le niveau d'isolation de la façade, son facteur de transmission solaire et son facteur de transmission lumineuse. En conséquence, il est nécessaire de trouver le meilleur équilibre entre toutes ces caractéristiques en fonction des propriétés du bâtiment, son emplacement et son orientation.

Ce guide technique a pour objectif de fournir les connaissances de base permettant de comprendre comment les caractéristiques des protections solaires sont évaluées et quels sont les phénomènes physiques impliqués dans la transmission du rayonnement solaire. Il est principalement basé sur les méthodes de calcul des normes européennes et internationales.

Des exemples de simulations réalisées en Europe et montrant l'impact de la protection solaire sur les besoins énergétiques des bâtiments sont également présentés.

Bien qu'il soit principalement destiné à être utilisé par les fabricants et les installateurs de protections solaires, ce guide sera également utile pour les concepteurs de bâtiments, et les ingénieurs thermiciens et les consultants en développement durable.

#2

PRINCIPES
DE BASE



II. PRINCIPES DE BASE

Ce chapitre présente quelques éléments de base sur les différents types de rayonnement qui doivent être pris en compte dans la performance des dispositifs de protection solaire selon la position du soleil. Il montre également comment se comporte un matériau au contact d'un tel rayonnement.

II.1. Les différents types de rayonnement

Nous sommes tous exposés à une grande variété de rayonnements qui peuvent être naturels ou artificiels. Un rayonnement est caractérisé par sa longueur d'onde (voir Figure 1).

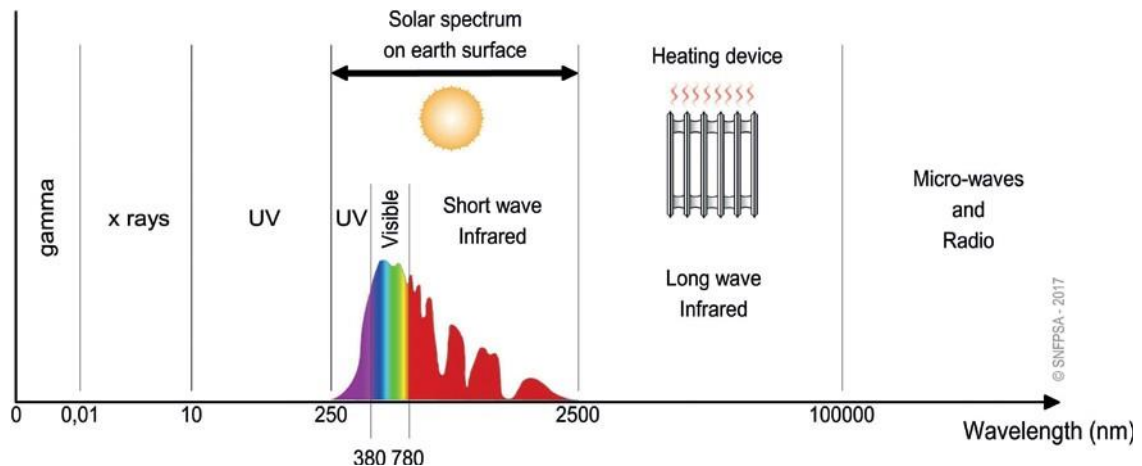


FIGURE 1 – Classification des divers rayonnements électromagnétiques en fonction de leurs longueurs d'onde

Un dispositif de protection solaire est concerné par les deux types de rayonnement suivants :

- Le rayonnement solaire comprenant les longueurs d'onde comprises entre 250 nm et 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 (voir II.2).
- Le rayonnement de grandes longueurs d'onde ayant des longueurs d'onde comprises entre 2500 nm et 100000 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 (voir II.4).

II.2. Rayonnement solaire

Le soleil produit une énorme quantité d'énergie (66 millions W/m^2) qui est transmise à la Terre par un rayonnement. Seule une fraction de cette énergie atteint l'atmosphère (environ $1300 W/m^2$). 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, et environ 79% est directement transmis au sol à travers l'atmosphère.

Par conséquent, l'énergie du rayonnement solaire frappant le sol est beaucoup plus faible qu'à la limite de celle qui atteint l'atmosphère. Il est généralement considéré qu'en cas de ciel clair, l'énergie atteignant le sol est **d'environ $1000 W/m^2$** .

De fait, lorsque l'on considère un dispositif de protection solaire, il est nécessaire de diviser le rayonnement incident solaire total en trois parties (voir Figure 2).

- **Rayonnement direct**, qui est le rayonnement solaire qui n'est ni absorbé ni réfléchi par l'atmosphère (environ 85%),
- **Rayonnement diffus**, qui est la partie du rayonnement solaire absorbée par l'atmosphère et réémise dans toutes les directions (environ 15%),
- **Rayonnement réfléchi** qui correspond à la réflexion combinée des rayonnements direct et diffus depuis le sol.

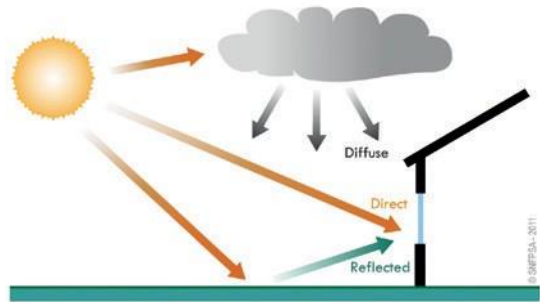


FIGURE 2 – Parties incidentes du rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est regroupé en 3 parties principalement qui forment le spectre solaire :

- **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 humaine et permettent la vue des formes, des reliefs et des couleurs.
- **Les infrarouges de courte longueur (IR)** : de 780 nm à 2500 nm, ces rayons sont invisibles mais sont ressentis sous forme de chaleur.

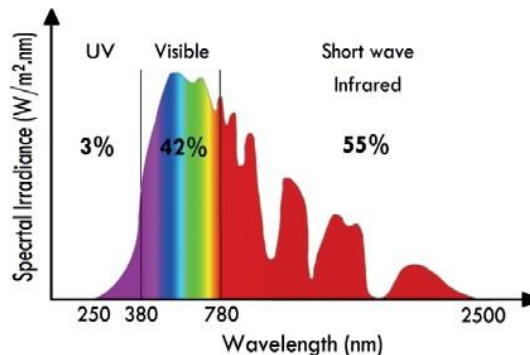


FIGURE 3 – Irradiance spectrale au niveau de la mer pour le spectre solaire

La « puissance » du rayonnement est caractérisée par son éclairement énergétique (en W/m^2). Pour une longueur d'onde donnée, il est aussi appelé irradiance spectrale (en $W/m^2.nm$). La Figure 3 présente la distribution de l'irradiance spectrale du spectre solaire au niveau de la mer.

II.3. Influence de la position du soleil

En complément, l'éclairage solaire dépend de la position du soleil dans le ciel (altitude et azimut). Cette position varie tout au long de l'année et de la journée (voir Figure 4). Il dépend aussi de la latitude.

La Figure 5 présente l'éclairage solaire sur des surfaces verticales, tels que les façades de bâtiments, en été (21 juin) et en hiver (21 décembre). Comme ces graphiques ont été calculés sur la base d'un ciel sans nuages et sans bâtiments environnants, le niveau indiqué peut être considéré comme l'éclairage solaire maximal qu'une surface verticale peut recevoir.

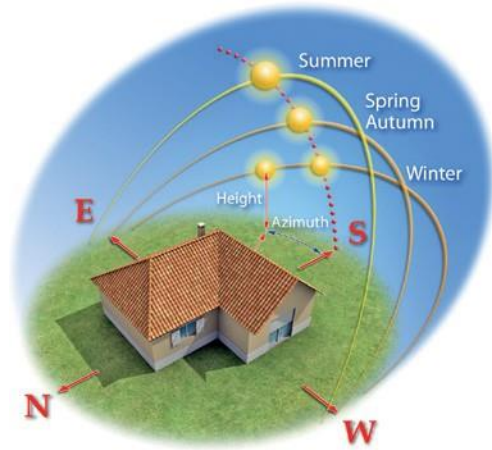


FIGURE 4 – Position du soleil dans le ciel

Ces valeurs ont été calculées pour une latitude de 50° N. À d'autres latitudes, les résultats seraient différents. Globalement, en Europe, la tendance générale est très similaire.

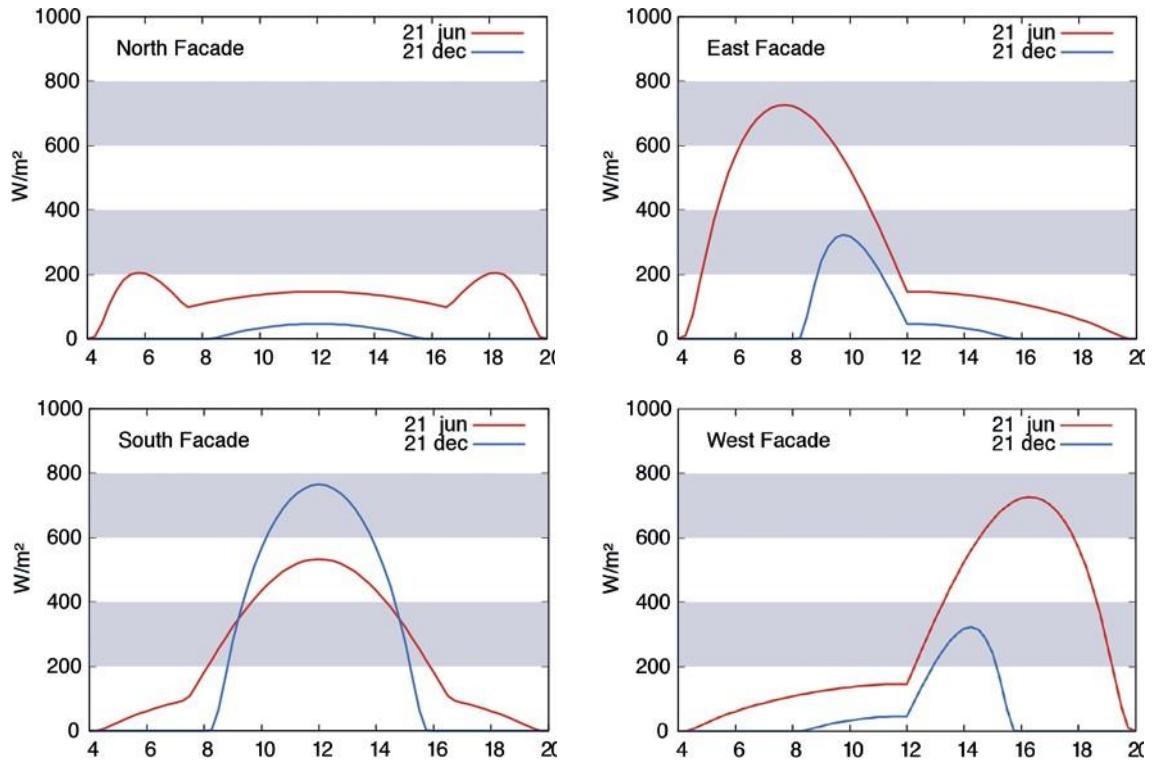


FIGURE 5 – Éclairage pour une façade verticale nord, est, ouest et sud à une latitude de 50° N (source : Guide ES-SO & REHVA)

On peut noter que :

- Les façades exposées au nord reçoivent le plus faible niveau d'éclairage solaire en raison de leur orientation. Seule une petite quantité de rayonnement solaire frappe la surface verticale au début de la matinée et dans la soirée en été.
- Les façades orientées à l'est et à l'ouest présentent une tendance opposée : la surface à l'est reçoit la plus grande partie du rayonnement avant midi, alors que la surface à l'ouest la reçoit dans l'après-midi. On peut noter que l'éclairage énergétique est maximum quand il est principalement composé du rayonnement direct. L'après-midi pour la façade à l'est et avant midi pour la façade à l'ouest, le rayonnement est principalement constitué d'une partie diffuse venant du ciel. C'est la raison pour laquelle le rayonnement est plus faible.
- Les façades exposées au sud reçoivent le rayonnement solaire presque toute la journée. Afin de maximiser le gain solaire pour l'avantage de l'heure d'hiver, il est nécessaire de maximiser les surfaces vitrées sur cette orientation. Cependant, il est essentiel de protéger les façades en été avec des dispositifs de protection solaire pour éviter la surchauffe. En raison de la faible altitude du soleil, on peut voir que l'irradiance est plus élevée en hiver qu'en été.

II.4. 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'onde 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 chauffe ensuite les matériaux à proximité qui ré-émettront à nouveau un rayonnement, et ainsi de suite.

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

L'aptitude d'un matériau à émettre ce type de rayonnement est donnée par son émissivité (voir II.5). Tant qu'un matériau n'a pas de trous, 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 », qui est bénéfique en hiver car il génère un chauffage gratuit et devient critique en été car il génère une surchauffe.

II.5. Comment un matériau est affecté par un rayonnement

Lorsqu'une surface (un verre, une toile ou une lame par exemple) est irradiée, le rayonnement incident E se divise en trois parties (voir Figure 6) :

- 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 réfléchiée 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 ,

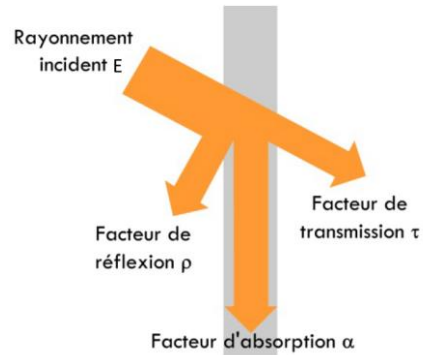


FIGURE 6 – Comportement du rayonnement au contact d'un matériau

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 $\alpha \times E$ et le rayonnement réfléchi à $\rho \times E$.

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, de l'ouverture et de la couleur de la toile. Ces valeurs dépendent également de la longueur d'onde du rayonnement. Il est possible de mesurer ces propriétés pour des longueurs d'onde spécifiques (par exemple 250, 260, 270 nm, etc.). Ces valeurs sont alors appelées « **données spectrales** ».

Cependant, elles sont souvent définies pour :

- Le spectre solaire dans son ensemble, c'est-à-dire de 250 nm à 2500 nm (voir Figure 3). 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 and α_v ,
- Le rayonnement infrarouge de grandes longueurs d'onde, c'est-à-dire de 2500 nm et 100 000 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 (dans ce cas l'émissivité est équivalente à α_{IR}).

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

Plus de détails sur les données spectrales et intégrées sont disponibles sur le site web d'ES-SDA.

NOTE

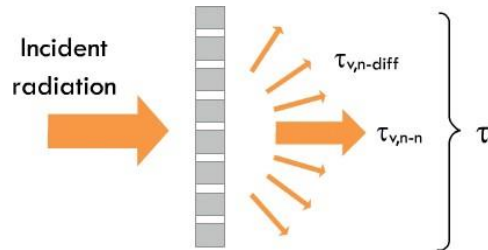
Dans tous les cas, la relation entre les facteurs de transmission, d'absorption et de réflexion est gouvernée par les formules génériques suivantes :

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

De plus, en pratique, seules deux valeurs sont donc nécessaires pour caractériser un matériau (par exemple τ_e et ρ_e ou τ_{IR} et 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 $\tau_{v,n-n}$, pour laquelle le rayonnement n'est pas affecté par le matériau, et
- Une **transmission diffuse**, notée $\tau_{v,n-dif}$ qui correspond à la diffusion du rayonnement dans toutes les directions par le matériau (voir Figure 7).



La somme des parties transmises directement et de manière diffuse est égale à la transmission totale : par exemple $\tau_{v,n-n} + \tau_{v,n-dif} = \tau_v$

FIGURE 7 - Transmission visuelle directe et diffuse

La transmission directe visuelle $\tau_{v,n-n}$ est principalement liée au facteur d'ouverture et la transmission diffuse visuelle $\tau_{v,n-dif}$ est affectée par la couleur, l'épaisseur, la construction du matériau du rideau (par exemple tissu, lames).

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 : p et p' qui correspond aux deux faces d'une même toiles.

La Figure 8 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. Cette figure ne prend pas en compte les caractéristiques des vitrages qui sont également nécessaires. Cette partie est détaillée aux I.1 et V.

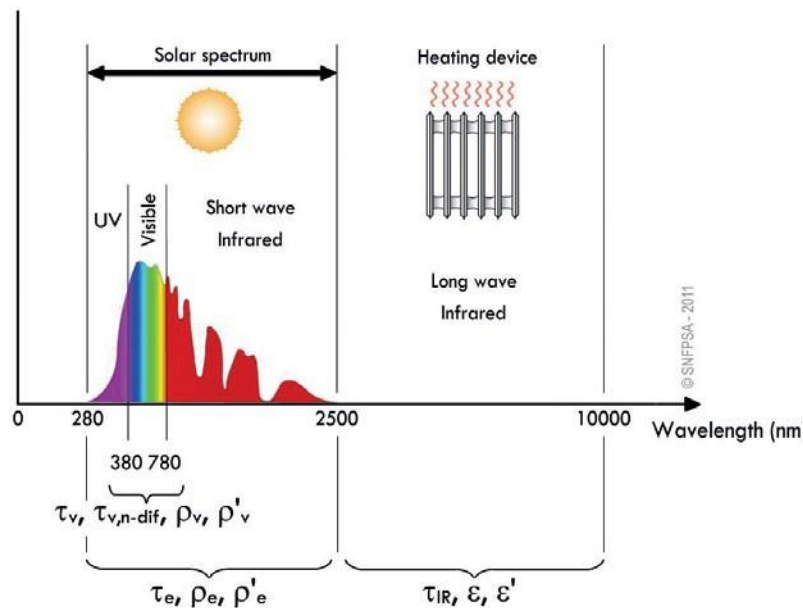


FIGURE 8 - Illustration des caractéristiques du matériau

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

#3

LES CARACTERISQUES THERMIQUES : LES VALEURS U ET ΔR



III. LES CARACTERISTIQUES THERMIQUES : LES VALEURS U ET ΔR

La valeur U (désignée 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), l'aire du vitrage et du cadre (A_g et A_f) et le périmètre de vitrage (l_g).

Le calcul est effectué conformément à la norme européenne EN ISO 10077-1 grâce à la formule suivante :

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

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 protection solaire en position déployée devant une fenêtre 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 et dépend essentiellement de la perméabilité à l'air du dispositif et de la résistance thermique du 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 10).

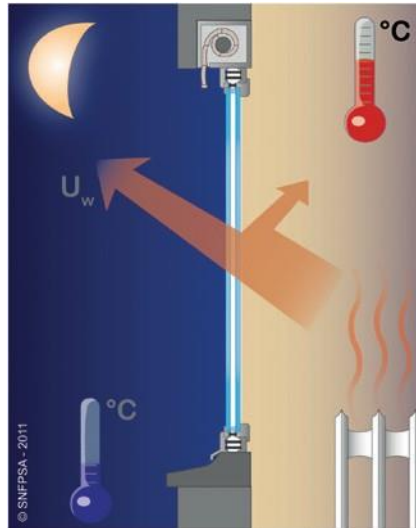


FIGURE 9 – Illustration du coefficient U_w

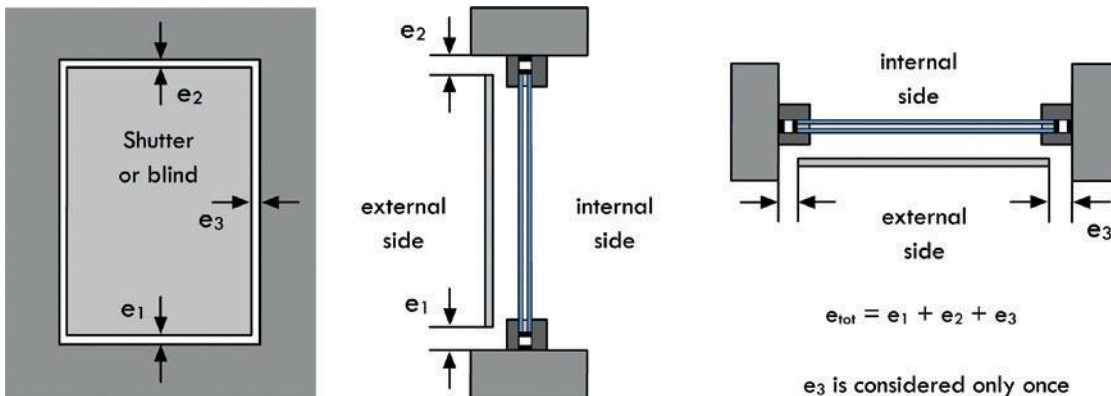


FIGURE 10 – Calcul du e_{tot} selon l'EN 13125

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 10 et p est le ratio entre la surface totale des ouvertures et la surface totale du tablier.

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

TABLEAU 1 – Calcul du ΔR des fermetures

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

TABLEAU 2 – Calcul du ΔR des stores extérieurs

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

TABLEAU 3 – Calcul du ΔR des stores intérieurs et entre vitrages

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

L'effet de la résistance thermique additionnelle d'une fermeture ou d'un store sur une fenêtre est donné par la formule suivante :

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

Cette formule est tirée de la norme EN ISO 10077-1. Pour une fenêtre donnée, elle peut être utilisée pour évaluer l'amélioration du coefficient U d'une fenêtre liée à la présence d'une fermeture ou d'un store en position déployée. Le Tableau 4 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.

TABLEAU 4 – Exemple de calcul du coefficient U_{ws}

	Fenêtre à simple vitrage			Fenêtre à double vitrage			Fenêtre à double vitrage		
	$U_w = 4,90$ ΔR (m ² .K/W)			$U_w = 1,8$ ΔR (m ² .K/W)			$U_w = 1,2$ 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 lorsque la température extérieure est basse.

De manière évidente, l'effet de la fermeture ou du store est plus important lorsque la fenêtre est peu performante : la valeur du coefficient U est divisée par deux dans le cas d'un simple vitrage. L'effet reste significatif pour une fenêtre performante : un volet étanche réduit ainsi de 23% le coefficient U d'une fenêtre à double vitrage ayant un coefficient U_w de 1,2 W/m².K (ce qui signifie que le vitrage a un coefficient U_g de 1,0 W/m².K).

#4

LA CARACTERISTIQUE
SOLAIRE : LE FACTEUR
SOLAIRE



IV. LA CARACTERISTIQUE SOLAIRE : LE FACTEUR SOLAIRE

IV.1. Généralités

Le facteur de transmission d'énergie total, appelé également facteur solaire, représente **la part du rayonnement incident qui est transmise à l'intérieur d'un local.**

g est le facteur solaire du vitrage seul. g_{tot} est le facteur solaire de la combinaison d'un vitrage et d'un dispositif de protection solaire.

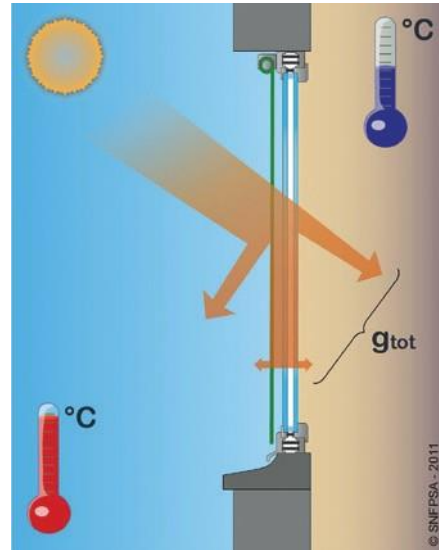
La valeur de g ou de g_{tot} est comprise entre 0 et 1 : 0 signifie qu'aucun rayonnement n'est transmis et, à l'inverse, 1 signifie que tout le rayonnement est transmis.

La valeur g d'un vitrage seul est déterminée par la méthode de calcul donnée dans l'EN 410.

Il existe deux méthodes de calcul pour le g_{tot} d'un dispositif de protection solaire associé à un vitrage :

- Une méthode simplifiée donnée dans l'EN ISO 52022-1,
- Ou une méthode détaillée donnée dans l'EN ISO 52022-3.

Les deux méthodes utilisent les propriétés du vitrage et du matériau constituant la protection solaire – la toile ou les lames – comme présenté au II.5.



IV.2. Méthode de calcul simplifiée : EN ISO 52022-1 (remplace EN 13363-1)

La norme EN ISO 52022-1 donne une méthode simplifiée pour évaluer la valeur de g_{tot} . Ce calcul prend en compte le coefficient U et le facteur g du vitrage ainsi que le facteur de transmission et de réflexion énergétique du dispositif de protection solaire.

La norme précise que l'écart entre les calculs simplifiés et les valeurs exactes est compris entre +0,10 et -0,02. Il est par conséquent fortement recommandé d'utiliser la méthode de calcul (voir IV.3) pour déterminer les gains en termes d'apport solaire et de confort thermique.

L'avantage de cette norme réside dans le fait que les calculs peuvent être réalisés facilement sans l'aide d'outils spécifiques. En effet, les formules à utiliser sont les suivantes :

- Pour un store extérieur ou une fermeture :

$$g_{tot} = \tau_e g + \alpha_e \frac{G}{G_2} + \tau_e (1 - g) \frac{G}{G_1}$$

$$\text{Avec } G_1 = 5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} ; G_2 = 10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \text{ et } G = \left(\frac{1}{U_g} + \frac{1}{G_1} + \frac{1}{G_2} \right)^{-1}$$

- Pour les stores intérieurs :

$$g_{tot} = 1 - g\rho_e - \alpha_e \frac{G}{G_2}$$

Avec $G_2 = 30 \text{ W/m}^2.\text{K}$ et $G = \left(\frac{1}{U_g} + \frac{1}{G_2}\right)^{-1}$

- Pour les stores entre vitrages :

$$g_{tot} = \tau_e g + g(\alpha_e + (1 - g)\rho_e) \frac{G}{G_3}$$

Avec $G_3 = 3 \text{ W/m}^2.\text{K}$ et $G = \left(\frac{1}{U_g} + \frac{1}{G_3}\right)^{-1}$

Dans toutes ces équations :

- II. τ_e est le facteur de transmission énergétique du store
 - III. ρ_e est le facteur de réflexion énergétique du store
 - IV. α_e est le facteur d'absorption énergétique du store
 - V. g est le facteur solaire du vitrage
 - VI. U_g est le coefficient de transmission thermique du vitrage
 - VII. G_1, G_2 et G_3 sont des valeurs fixes définies par la norme
- } avec $1 = \tau_e + \rho_e + \alpha_e$ (voir II.5)

Il convient de noter que ces formules ne peuvent être appliquées que si les facteurs de transmission et de réflexion des dispositifs de protection solaire sont compris dans les valeurs suivantes :

$$0 \leq \tau_e \leq 0,5 \text{ et } 0,1 \leq \rho_e \leq 0,8$$

et avec l'exigence additionnelle que le facteur solaire g du vitrage soit compris entre 0,15 et 0,85. Dans tous les autres cas, il convient de réaliser le calcul selon la norme EN ISO 52022-3.

Exemple de calcul pour un store extérieurs (de couleur grise)

Propriétés du store :

- Transmission solaire directe τ_e : 0,05
- Réflexion solaire ρ_e : 0,21
- Absorption solaire $\alpha_e = 1 - \tau_e - \rho_e = 0,74$

Propriétés du vitrage :

- Transmission thermique U_g : $1,2 \text{ W/m}^2.\text{K}$
- Facteur solaire g : 0,59

Conformément à la norme EN ISO 52022-1, la valeur g_{tot} est donnée par la formule suivante :

$$g_{tot} = \tau_e g + \alpha_e \frac{G}{G_2} + \tau_e (1 - g) \frac{G}{G_1}$$

Avec $G_1 = 5 \text{ W/m}^2.\text{K}$; $G_2 = 10 \text{ W/m}^2.\text{K}$ et $G = \left(\frac{1}{U_g} + \frac{1}{G_1} + \frac{1}{G_2}\right)^{-1}$

Par conséquent, $G = 0,885 \text{ m}^2.\text{K/W}$

Alors, $g_{tot} = 0,05 \times 0,59 + 0,74 \times 0,885 + 0,05 \times (1 - 0,59) \times 0,177$

$g_{tot} = 0,029 + 0,665 + 0,0036$

$g_{tot} = \mathbf{0,10}$

IV.3. Méthode de calcul détaillée : EN ISO 52022-3 (remplace EN 13363-2)

Cette méthode ayant pour but de représenter le comportement physique de la combinaison d'un store et d'un vitrage lorsqu'elle est impactée par un rayonnement, elle est bien plus complexe que les formules données par l'EN ISO 52022-3. **Cette méthode exige l'utilisation d'outils de calcul spécifiques.**

Le principe de ce calcul est de considérer le store, le vitrage et les espaces entre eux comme des couches dans des positions définies (voir Figure 11), chaque couche ayant ses propres propriétés (transmission, réflexion, émissivité, ...). Les conditions extérieures (température, niveau d'éclairement énergétique, ventilation) sont également considérées. L'objectif de ce calcul est d'évaluer l'interaction de chacune des couches avec ces conditions.

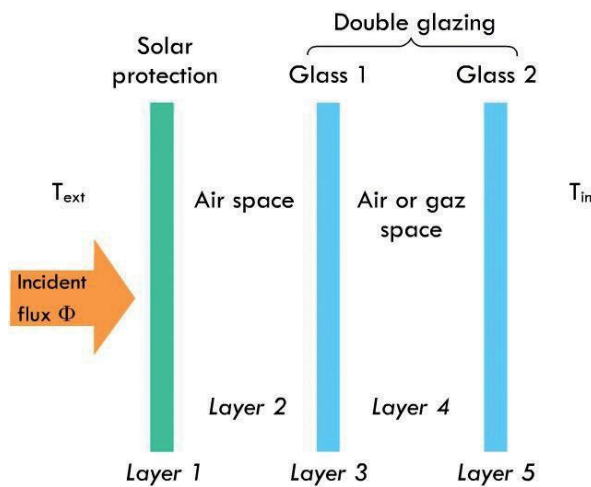


FIGURE 11 – Exemple des différentes couches dans le cas d'un store extérieur associé à un double vitrage

Par conséquent, ce calcul consiste en 3 parties :

- **La transmission du rayonnement solaire**

Cette part du g_{tot} **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.

La Figure 12 donne un exemple du calcul qui doit être réalisé pour un système constitué d'un store extérieur et d'un double vitrage. Dans cet exemple, le calcul revient à résoudre la matrice des flux suivante :

$$\begin{aligned}
 E_1 &= \Phi \\
 E_2 &= \rho_1 E_3 + \tau'_1 E_4 \\
 E_3 &= \rho'_e E_2 + \tau_e E_1 \\
 E_4 &= \rho_2 E_5 + \tau'_2 E_6 \\
 E_5 &= \rho'_1 E_4 + \tau_1 E_3 \\
 E_6 &= 0
 \end{aligned}$$

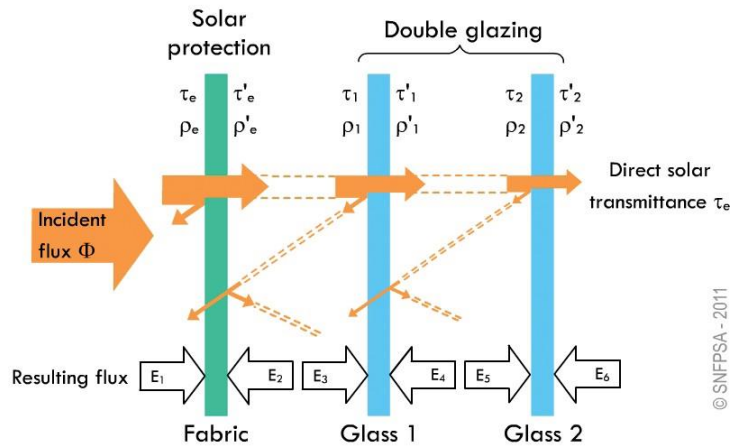


FIGURE 12 – Illustration du facteur de transmission directe pour un store extérieur et un double vitrage

Ce transfert est caractérisé par le facteur de transmission solaire direct t_e du système « store et vitrage ». Il se réfère au spectre solaire dans son ensemble.

- **Le transfert de chaleur**

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 augmentera la température de chaque matériau par absorption).

Ce transfert est subdivisé en deux parties (voir Figure 13) :

- *Transfert par rayonnement thermique*

Ce transfert est dû à l'émission d'un rayonnement infrarouge de grande longueur d'onde (voir II.4) 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.

Ce transfert est caractérisé par le **facteur de rayonnement thermique g_{th}** .

- *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 par interaction moléculaire directe. Le transfert de chaleur par convection est dû au déplacement de la chaleur d'un matériau à l'espace de gaz (par exemple, la lame d'air d'un double vitrage).

Ce transfert est caractérisé par le **facteur de convection g_c** .

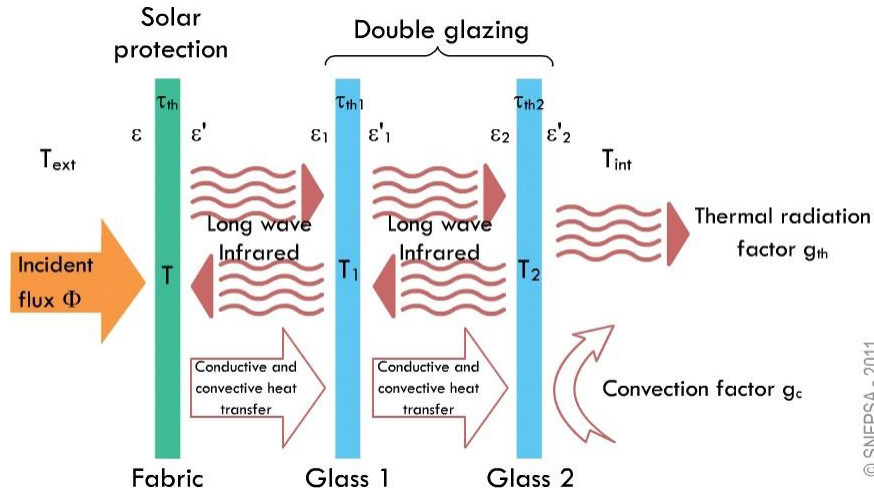


FIGURE 13 – Illustration du transfert de chaleur pour un store extérieur et un double vitrage

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

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 (voir Figure 14).

Cet effet est caractérisé par le **facteur de ventilation g_v** .

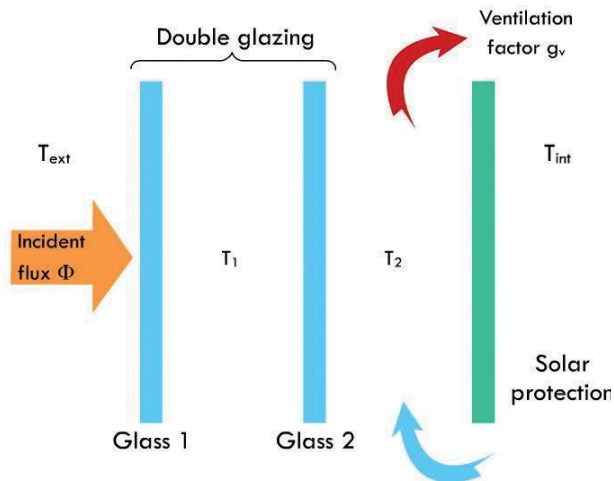


FIGURE 14 – Illustration de l'effet de tirage dans le cas d'un store intérieur

La valeur du g_{tot} est ensuite donnée par l'addition du facteur de transmission solaire directe τ_e , du facteur de rayonnement thermique g_{th} , du facteur de convection g_c et du facteur de ventilation g_v :

$$g_{tot} = \tau_e + g_{th} + g_c + g_v^{(1)}$$

⁽¹⁾ $g_v = 0$ dans le cas d'un store extérieur

Par conséquent, la norme EN ISO 52022-3 donne une bonne description du facteur solaire. Cependant, elle exige la prise en compte de différents phénomènes physiques qui doivent être considérés simultanément. L'utilisation d'un outil de calcul spécifique est donc nécessaire. Des exemples de calcul selon la norme EN ISO 52022-3 sont donnés au point IV.4.

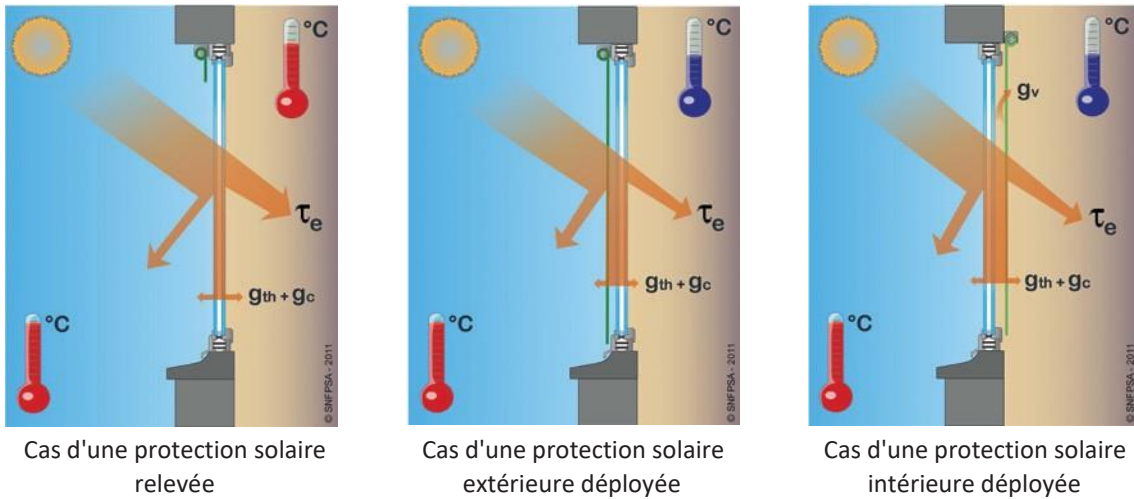


FIGURE 15 - Illustration du g_{tot}

IV.4. Comparaison des calculs simplifiés et détaillés

Les méthodes de calculs simplifiées et détaillées peuvent toutes deux être utilisées pour calculer le facteur solaire g_{tot} et la transmission visuelle $\tau_{v,tot}$ (voir V).

Pour une même combinaison de vitrage et de store, une comparaison peut être faite sur les différentes couleurs d'une même toile. Trois configurations de couleurs sont présentées dans le tableau 5.

TABLEAU 5 – Propriété des toiles

	Colour of the fabric		
	Blanc perlé	Gris clair	Gris
Transmission solaire τ_e	0,13	0,09	0,05
Réflexion solaire $\rho_e^{(1)}$	0,53	0,44	0,21
Transmission visuelle τ_v	0,11	0,07	0,03
Transmission visuelle diffuse $\tau_{v,n-dif}$	0,08	0,04	0,01
Réflexion visuelle $\rho_v^{(1)}$	0,58	0,47	0,18
Transmission IR à ondes longues $\tau_{IR}^{(2)}$	0,03	0,03	0,03
Emissivité $\varepsilon^{(1)}$	0,89	0,89	0,89

⁽¹⁾ Les propriétés des deux côtés du store sont identiques. Par conséquent : $\rho_e = \rho'_e, \rho_v = \rho'_v$ et $\varepsilon = \varepsilon'$

⁽²⁾ Égal au coefficient d'ouverture de la toile

Dans la norme EN 14501, les vitrages typiques utilisés comme référence ont été définis pour permettre des comparaisons. Le vitrage standard C selon la norme (double vitrage 4-16-4, avec un revêtement à faible émissivité en position 3 (surface extérieure de la vitre intérieure), espace rempli d'argon) est considéré ci-dessous (voir tableau 6).

Il convient de noter que les normes EN 14501 et EN ISO 52022-1 spécifient des vitrages de référence différents. Étant donné que les normes de produits EN 13659 et EN 13561 font référence à la norme EN 14501, les vitrages spécifiés dans cette norme doivent prévaloir. La convention ES-SO stipule que les fabricants doivent spécifier le vitrage standard C de la norme EN 14501 à des fins de comparaison.

TABLEAU 6 – Propriété du vitrage

	Face externe	Face interne
Transmission solaire τ_e	0,85	0,58
Réflexion solaire sur le côté du rayonnement incident ρ_e	0,08	0,30
Réflexion solaire du côté opposé au rayonnement incident ρ'_e	0,08	0,24
Transmission visuelle τ_v	0,90	0,82
Réflexion visuelle sur le côté du rayonnement incident ρ_v	0,08	0,08
Réflexion visuelle du côté opposé au rayonnement incident ρ'_v	0,08	0,04
Transmission IR à ondes longues τ_{IR}	0,00	0,00
Émissivité sur le côté du rayonnement incident ε	0,89	0,04
Émissivité du côté opposé au rayonnement incident ε''	0,89	0,89

Les résultats pour un store extérieur sont montrés dans le tableau 7.

TABLEAU 7 – Calcul du g_{tot} et du $\tau_{v,tot}$ pour un store extérieur

	Méthode de calcul						
	Simplifiée		Détaillée ⁽¹⁾				
	g_{tot}	$\tau_{v,tot}$	g_{tot}	τ_e	$g_{th} + g_c$	$\tau_{v,tot}$	$\tau_{v,n-diff}$
Blanc perlé	0,12	0,09	0,11	0,08	0,03	0,09	0,06
Gris clair	0,10	0,06	0,09	0,05	0,04	0,06	0,03
Gris	0,10	0,02	0,08	0,03	0,05	0,02	0,01

⁽¹⁾ calculs effectués avec le logiciel "Win-Shelter" développé par l'Agence nationale italienne pour les nouvelles technologies, l'énergie et le développement économique durable et disponible à l'adresse suivante : www.pit.enea.it

Les résultats pour un store intérieur sont montrés dans le tableau 8.

TABLEAU 8 – Calcul du g_{tot} et du $\tau_{v,tot}$ pour un store intérieur

	Méthode de calcul							
	Simplifiée		Détaillée ⁽²⁾					
	g_{tot}	$\tau_{v,tot}$	g_{tot}	τ_e	$g_{th} + g_c$	g_v	$\tau_{v,tot}$	$\tau_{v,n-diff}$
Blanc perlé	0,40	0,09	0,38	0,06	0,13	0,19	0,09	0,06
Gris clair	0,43	0,06	0,41	0,04	0,16	0,21	0,06	0,03
Gris	0,50	0,02	0,49	0,015	0,225	0,25	0,02	0,01

⁽²⁾ calculs effectués avec le logiciel "Physalis" développé par BBS Slama (12, rue Colbert Colbert BP 382 63010 Clermont-Ferrand Cedex 1 France ; +33 (0)4 73 34 96 60 ; contact@bbs-slama.com)

Dans tous les cas, **la méthode de calcul détaillée donne des résultats plus précis que la méthode simplifiée qui surestime le facteur de transmission solaire**. Il convient de noter sur ces exemples que la différence dans les résultats obtenus est plus élevée pour les toiles foncées lorsque le store est extérieur et pour les toiles claires lorsque le store est intérieur.

Le plus grand avantage de la méthode de calcul détaillée est de différencier la partie du flux qui est transmise sous forme de rayonnement ou de chaleur.

Cependant, ces exemples montrent que la méthode simplifiée donne les mêmes résultats pour la transmission visuelle. Cela pourrait permettre un calcul facile et précis à l'aide de cette méthode. Même si les résultats ne figurent pas dans ces tableaux (ce qui n'est pas pris en compte dans la norme EN ISO 52022-1), on peut voir qu'un calcul de la transmission visuelle diffuse est également possible avec la méthode de calcul simplifiée.

IV.5. Vitrage de référence

Le chapitre précédent montre que la performance d'une protection solaire est appréciée avec le vitrage auquel elle est associée.

Afin de comparer la protection solaire sur la même base, la norme EN 14501 définit 5 vitrages de référence que les fabricants de protection solaire doivent utiliser pour déclarer les performances de leurs produits lorsque le vitrage sur lequel il sera installé n'est pas connu.

TABLEAU 9 – Vitrage de référence selon la norme prEN 14501

Vitrage A : Vitrage simple clair (4mm flotté)							
U W/(m ² K)	g	τ_e	ρ_e	ρ'_e	τ_v	ρ_v	ρ'_v
5,8	0,85	0,83	0,08	0,08	0,90	0,08	0,08
Vitrage B : Double vitrage clair (4 mm flotté + 12 mm d'espace + 4 mm flotté), espace rempli d'air							
U W/(m ² K)	g	τ_e	ρ_e	ρ'_e	τ_v	ρ_v	ρ'_v
2,9	0,76	0,69	0,14	0,14	0,82	0,15	0,15
Vitrage C : Double vitrage (4 mm flotté + 16 mm d'espace + 4 mm flotté), avec revêtement à faible émissivité en position 3 (surface extérieure du verre intérieur), espace rempli d'argon							
U W/(m ² K)	g	τ_e	ρ_e	ρ'_e	τ_v	ρ_v	ρ'_v
1,2	0,59	0,49	0,29	0,27	0,80	0,15	0,10
Vitrage D : Double vitrage à contrôle solaire 4 + 16 + 4 avec un revêtement souple à faible émissivité en position 2, (surface intérieure du verre extérieur), espace rempli d'argon.							
U W/(m ² K)	g	τ_e	ρ_e	ρ'_e	τ_v	ρ_v	ρ'_v
1,1	0,32	0,27	0,29	0,38	0,44	0,43	0,38
Vitrage E : Triple vitrage 4 + 14 + 4 + 14 + 4 avec un revêtement souple à faible émissivité en position 2 et 5 (surface intérieure du verre extérieur et surface extérieure du verre intérieur), espace rempli d'argon.							
U W/(m ² K)	g	τ_e	ρ_e	ρ'_e	τ_v	ρ_v	ρ'_v
0,80	0,55	0,50	0,22	0,23	0,73	0,16	0,16

Les caractéristiques du vitrage sont présentées dans le tableau 9. Le vitrage C doit être utilisé comme vitrage par défaut.

LA BASE DE DONNÉES EUROPÉENNE SUR LES STORES SOLAIRES (ES-SDA)

ES-SO a créé une base de données de produits qui calcule les performances énergétiques des produits de protection solaire en combinaison avec des vitrages souvent appelés systèmes de vitrage complexes.

Il y a une demande croissante d'informations précises sur les produits dans la conception des bâtiments. Un point de référence faisant autorité pour l'exactitude des données relatives aux produits utilisés dans la construction de bâtiments est un objectif de l'initiative Qualicheck de l'UE.

La base de données ES-SDA a été développée pour répondre aux objectifs de Qualicheck en fournissant des données validées pour les matériaux de protection solaire.

DONNEES INTEGREES

Les données de performance sont dérivées d'un intervalle de longueur d'onde d'essai en laboratoire approuvé de 5 nm, à l'aide d'un spectrophotomètre, conformément aux exigences des normes européennes EN 14500 et EN 410.

Avant d'être incluses, les données sont vérifiées et examinées par un comité d'examen par les pairs afin de valider les données et le processus d'essai. Il s'agit d'un processus identique à celui utilisé par l'industrie du vitrage et c'est un moyen robuste et efficace d'assurer l'intégrité de la base de données.

ENTREE DANS LA BASE DE DONNEES

Lorsque ces données sont approuvées et saisies dans la base de données ES-SDA, il est possible de calculer la performance énergétique des produits de stores lorsqu'ils sont utilisés en combinaison avec un vitrage de référence défini dans la norme EN 14501.

La base de données sur les produits de l'ES-SDA permet aux utilisateurs de rechercher les produits des fabricants et d'exporter les données sur les produits et le rendement énergétique. Les données sont disponibles soit sous forme d'informations complètes sur les produits, soit sous forme de codes nationaux du bâtiment, de données de modélisation et d'indicateurs de performance énergétique.

#5

LES
CARACTERISTIQUES
VISUELLES : LA
TRANSMISSION
LUMINEUSE,
CONTROLE DE
L'EBLOUISSEMENT,
PROPRIETES
ASSOMBRISANTES
ET VUE VERS
L'EXTERIEUR



V. LES CARACTERISTIQUES VISUELLES : LA TRANSMISSION LUMINEUSE, CONTRÔLE DE L'EBLOUISSEMENT, PROPRIETES ASSOMBRISANTES ET VUE VERS L'EXTERIEUR

▼ V.1. Généralités

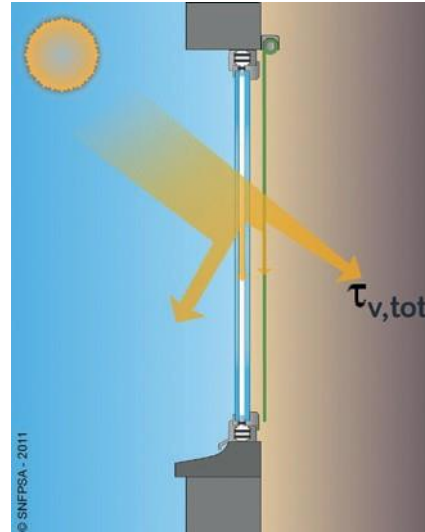
La transmission lumineuse τ_v représente la partie de la lumière du jour qui est transmise dans une pièce.

Comme le facteur solaire, il est nécessaire de distinguer la transmission visuelle d'un vitrage seul et d'un vitrage utilisé avec un dispositif de protection solaire. Malheureusement, selon les normes européennes, le symbole utilisé est le même (τ_v dans les deux cas). Pour plus de clarté, le symbole $\tau_{v,tot}$ est utilisé dans ce guide pour identifier le cas d'un dispositif de protection solaire utilisé avec un vitrage.

La valeur de τ_v est comprise entre 0 et 1 : 0 signifie qu'aucune lumière n'est transmise dans la pièce et 1 signifie que tout le rayonnement visible est transmis.

Les normes de calcul de référence τ_v sont les mêmes que pour le facteur solaire : EN 410 pour un vitrage seul et deux options pour un dispositif de protection solaire associé à un vitrage :

- Soit une méthode simplifiée donnée par la norme EN ISO 52022-1,
- Ou une méthode détaillée donnée dans la norme EN ISO 52022-3.



▼ V.2. Méthode de calcul simplifiée : EN ISO 52022-1 (remplace EN 13363-1)

Les conditions d'utilisation de cette norme sont les mêmes que pour le calcul du facteur solaire (voir IV.2). Selon la norme EN ISO 52022-1, les formules à utiliser pour le calcul de $\tau_{v,tot}$ sont :

- Pour un store extérieur ou un volet :

$$\tau_{v,tot} = \frac{\tau_v \tau_{v,blind}}{1 - \rho_v \rho'_{v,blind}}$$

- Pour un store intérieur ou un volet :

$$\tau_{v,tot} = \frac{\tau_v \tau_{v,blind}}{1 - \rho'_{v,blind} \rho_v}$$

Où :

- τ_v est la transmission visuelle du vitrage.
- $\tau_{v,aveugle}$ est la transmission visuelle du store ou de l'obturateur.
- ρ_v est la réflectance visuelle du côté du vitrage faisant face au rayonnement incident.
- ρ'_v est la réflectance visuelle du côté du vitrage opposé au rayonnement incident.
- $\rho_{v,aveugle}$ est la réflectance visuelle du côté du store ou de l'obturateur faisant face au rayonnement incident.
- $\rho'_{v,blind}$ est la réflectance visuelle du côté du store ou de l'obturateur opposé au rayonnement incident.

V.3. Méthode de calcul détaillée : EN ISO 52022-3 (remplace EN 13363-2)

Dans la partie visuelle du spectre, aucun facteur de transfert de chaleur ou de ventilation ne doit être pris en compte. Par conséquent, le principe de calcul du transfert du rayonnement solaire (voir IV.3) s'applique pour le rayonnement entre 380 nm et 780 nm au lieu du spectre solaire complet.

Cette méthode de calcul prend en compte la partie du rayonnement qui est transmise sans déviation du store ou de l'obturateur, c'est-à-dire la transmission visuelle directe $\tau_{v,n-n}$, et la partie du rayonnement qui est diffusée dans toutes les directions après réflexion par le store ou l'obturateur, c'est-à-dire la transmission visuelle diffuse $\tau_{v,n-dif}$ (voir Figure 16).

La transmission visuelle est alors faite des deux parties combinées :

$$\tau_{v,tot} = \tau_{v,n-n} + \tau_{v,n-dif}$$

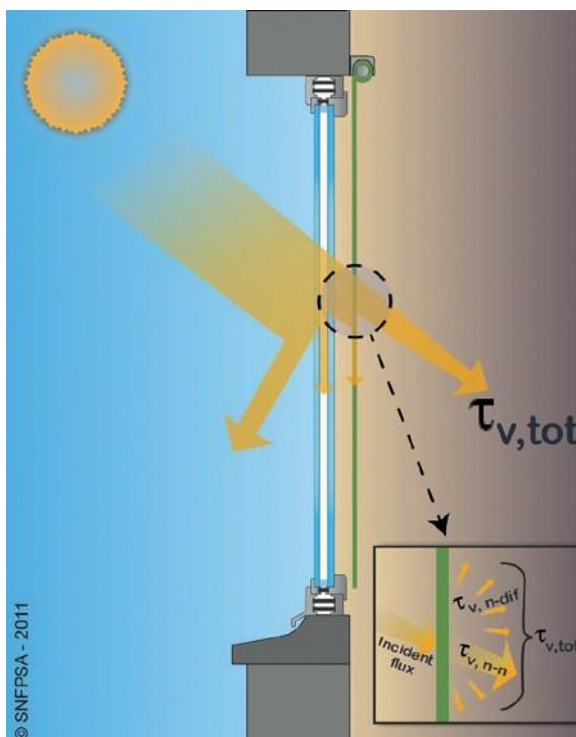


FIGURE 16 – Illustration de la transmission visuelle d'un store intérieur

V.4. Autres caractéristiques visuelles

V4.1. Généralités

Pour choisir le bon dispositif de protection solaire pour un bâtiment, il faut tenir compte d'une variété de critères. Les chapitres précédents étaient consacrés aux principales caractéristiques d'une sélection de produits : le facteur solaire g_{tot} , la transmission de la lumière t_v et la résistance thermique supplémentaire ΔR .

Certaines caractéristiques visuelles supplémentaires doivent également être prises en compte en fonction du type de bâtiment où seront installés des dispositifs de protection solaire (bureaux, hôtels, locaux résidentiels, etc.), des principaux objectifs (contrôle solaire seulement, contrôle visuel seulement, contrôle visuel seulement, les deux), etc.

Ces caractéristiques principales sont :

- **Qualité de la lumière du jour,**
- **Contrôle de l'éblouissement,**
- **Propriétés assombrissantes,**
- **Vue vers l'extérieur.**

En fonction de la configuration et des besoins, un compromis doit être trouvé entre ces caractéristiques pour choisir le produit le plus approprié : par exemple, un store opaque sera le produit idéal pour le contrôle de l'éblouissement mais il ne permettra aucune vue vers l'extérieur.

Les chapitres suivants présentent des projets de classification qui sont destinés à être intégrés dans la norme prEN 14501 proposée. Cette norme est en cours de révision¹. Les classifications doivent donc être considérées avec prudence car elles peuvent être modifiées avant la publication finale de la norme EN 14501.

Les classes de performance présentées dans les chapitres suivants sont citées dans le tableau 10.

TABLE 10 – Définition des classes

Classe	Influence sur le confort visuel				
	0	1	2	3	4
	Très petit effet	Petit effet	Effet moyen	Bon effet	Très bon effet

¹ L'enquête CEN devrait être lancée en 2018..

V4.2. Contrôle de l'éblouissement

Les gens souffrent d'éblouissement lorsqu'une zone du champ de vision est trop claire ou lorsque le contraste entre une zone et son environnement est trop élevé.

L'éblouissement peut également être causé par une réflexion perturbatrice sur l'écran d'un PC en raison de la luminance de la fenêtre et des zones environnantes.



FIGURE 17 – Exemple d'éblouissement causé par un haut niveau de luminosité de la fenêtre.

Par conséquent, le dispositif de protection solaire doit être spécifié afin de réduire :

- les rayons solaires sur la surface de travail et son environnement immédiat ;
- la vision directe du disque solaire ;
- la luminance de la fenêtre et le contraste avec son environnement.

Pour couvrir les deux premiers aspects, une attention particulière devrait être accordée à la transmission visuelle normale $\tau_{v, n-n}$ du matériau du rideau (par exemple. toiles et lames), et pour répondre au troisième critère, une attention particulière devrait être accordée à la transmission visuelle diffuse $\tau_{v, n-dif}$.

La perception de l'éblouissement dépend de nombreux critères tels que :

- Personne (âge, acuité visuelle...),
- Bâtiment (emplacement, environnement...),
- Façade (orientation, transmission du vitrage, pourcentage de vitrage...),
- Pièce (surface, position et nombre de fenêtres, réflexion des murs et du mobilier...),
- Activités dans la salle (bureau, écrans d'ordinateur, usage privé...),
- Position de la personne à l'intérieur de la pièce (distance par rapport à la façade, direction de vue...).

Par conséquent, il n'est pas possible de définir le niveau de performance des dispositifs de protection solaire qui conviendra à chaque configuration. Lorsque l'éblouissement est considéré comme un critère clé pour le choix d'un produit, il peut être fait référence à l'approche détaillée (voir EN 17037 "Lumière du jour des bâtiments").

Cependant, la norme prEN 14501 fournit une classification générique destinée à évaluer la capacité des dispositifs de protection solaire à contrôler l'éblouissement. Il a été établi en tenant compte d'hypothèses fixes sur l'emplacement et l'orientation du bâtiment, la taille de la pièce, les propriétés et les dimensions du vitrage, la distance de l'observateur par rapport à la façade, etc.

Cette classification est basée sur les facteurs de transmission visuelle suivants : $\tau_{v, n-dif}$ et $\tau_{v, n-n}$ (voir II.5). La classification est reproduite ci-dessous :

TABLEAU 11 – Classification de l'éblouissement selon la norme prEN 14501

$\tau_{v, n-dif}$	$\tau_{v, n-n}$					
	$\tau_{v, n-n} = 0,00$	$0,00 < \tau_{v, n-n} \leq 0,01$	$0,01 < \tau_{v, n-n} \leq 0,02$	$0,02 < \tau_{v, n-n} \leq 0,03$	$0,03 < \tau_{v, n-n} \leq 0,05$	$\tau_{v, n-n} > 0,05$
$\tau_{v, n-dif} \leq 0,03$	4	4	3	3	1	0
$0,03 < \tau_{v, n-dif} \leq 0,06$	4	3	2	2	1	0
$0,06 < \tau_{v, n-dif} \leq 0,10$	4	3	2	1	0	0
$0,10 < \tau_{v, n-dif} \leq 0,15$	3	2	1	1	0	0
$0,15 < \tau_{v, n-dif} \leq 0,20$	2	2	1	1	0	0
$0,20 < \tau_{v, n-dif} \leq 0,25$	1	1	0	0	0	0
$0,25 < \tau_{v, n-dif}$	0	0	0	0	0	0

V43. Propriétés d'assombrissement

La performance d'assombrissement représente la capacité d'un dispositif de protection solaire en position complètement déployée et fermée pour empêcher la pénétration de la lumière. La performance est exprimée par le niveau d'éclairage sous lequel aucune lumière n'est perceptible derrière le dispositif de protection solaire.

Le principe de l'essai est le suivant : entouré d'un environnement étanche à la lumière, l'observateur doit détecter si la lumière est perceptible à travers un dispositif de protection solaire lorsque le produit est éclairé sur la surface extérieure à différents niveaux d'éclairage (voir figure 18).

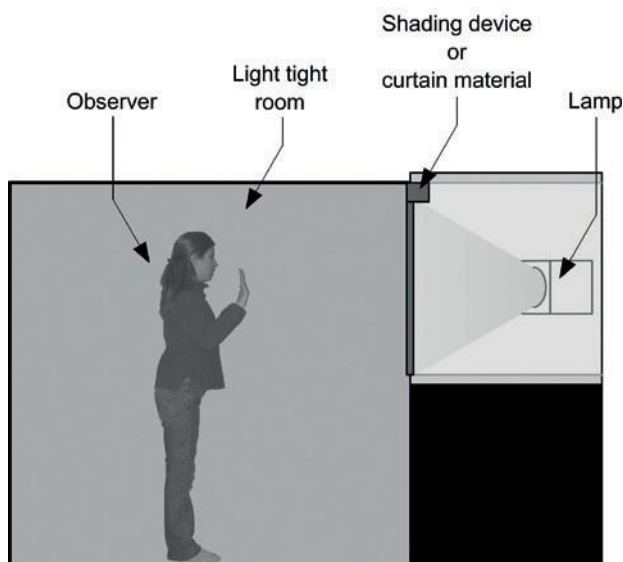


FIGURE 18 – Principe de l'évaluation des propriétés d'assombrissement

Pour certaines classes, une source de lumière supplémentaire est placée dans la salle de l'observateur afin de reproduire une condition d'éclairage interne minimale, par exemple, la lumière produite par le cadran de l'horloge, la lumière passant sous la porte.

L'œil humain est extrêmement sensible dans l'obscurité (vision scotopique). Par conséquent, la norme considère que l'utilisation d'un être humain est pour l'instant le meilleur moyen d'évaluer les produits pour la détermination des performances d'obscurcissement et d'opacité.

À l'heure actuelle, aucun appareil électronique autre qu'un compteur de photons n'est suffisamment sensible pour reproduire l'œil humain. Comme ce système est très complexe et coûteux à utiliser, la norme considère que l'œil humain est la solution actuelle la plus pertinente. La norme comprend une procédure d'évaluation de la capacité de l'observateur à effectuer l'essai.

La classification de la puissance d'obscurcissement définie par la norme prEN 14501 est basée sur trois éléments :

- L'opacité du matériau du rideau (par exemple : toiles, lames), selon le tableau 13.
- Le choix du cadre (avec ou sans système d'exclusion de la lumière),
- Le résultat de l'essai effectué sur l'ensemble du dispositif de protection solaire conformément au tableau 12.

La classification définie par la norme prEN 14501 est la suivante :

TABLEAU 12 – Classement des performances d'assombrissement pour les dispositifs de protection solaire complets, selon la norme prEN 14501

			Lumière incidente interne	Aucune lumière perçue au niveau de lumière incidente externe (L) suivant :	Classification des matériaux pour tablier				
					0	1	2	3	4
France	A	Avec système d'exclusion de lumière	No	75 000 lux					A.4
	B	Avec système d'exclusion de lumière	0,002 lux	30 000 lux				B.3	B.4
	C	Avec système d'exclusion de lumière	0,002 lux	1 000 lux			C.2	C.3	C.4
	D	Avec système d'exclusion de lumière		No test	D.0	D.1	D.2	D.3	D.4
	E	Sans système d'exclusion de lumière		Aucun te	E.0	E.1	E.2	E.3	E.4

Par exemple, lorsqu'un dispositif de protection solaire est classé C.3 :

- C signifie que la conception du cadre comprend un système d'exclusion de la lumière et que le produit complet a passé l'essai avec une lumière incidente externe de 1 000 lux et une lumière interne de 0,002 lux.
- 3 est la classe du matériau du rideau (pas de lumière perçue à 30 000 lux).

La classe A.4 est une classe technique destinée à couvrir des applications spécifiques telles que les travaux de laboratoire de haute qualité, l'optique avancée, la photochimie, la manipulation de matériaux très sensibles à la lumière.

Un système d'exclusion de la lumière est défini par la norme comme une "solution destinée à réduire la pénétration de la lumière périphérique". Un système de guidage peut convenir à l'objectif d'un système d'exclusion de la lumière. Toutefois, lorsque le rideau n'entre pas dans le système de guidage (par exemple : guidage de câble), il n'est pas considéré comme un système d'exclusion de la lumière.

La classification des matériaux du rideau à laquelle se réfère la classification du produit est la suivante :

TABLEAU 13 – Classement des performances d’opacité pour le matériau des rideaux, selon la norme prEN 14501

	Aucune lumière perçue au niveau de lumière incidente (L) suivant :	Classes
Avec lumière incidente interne (2 mlx)	$L < 200$ lux ou non testé	0
	$200 \text{ lux} \leq L < 1\,000$ lux	1
	$1\,000 \text{ lux} \leq L < 30\,000$ lux	2
	$L \geq 30\,000$ lux	3
Sans lumière incidente interne (2 mlx)	$L \geq 100\,000$ lux	4

V44. Vue vers l’extérieur

Il s’agit de la capacité d’un dispositif de protection solaire à permettre une vue vers l’extérieur lorsqu’il est complètement déployé. Les performances des dispositifs de protection solaire varient en fonction des conditions d’éclairage interne et externe. Par conséquent, la classification des produits doit être considérée comme un moyen de comparaison entre les produits. La classification des produits est donnée par les propriétés du matériau du rideau. C’est pourquoi les produits de basculement, tels que les stores vénitiens et verticaux, doivent être considérés en position fermée.

La classification est caractérisée par deux paramètres :

- la transmission visuelle normale $\tau_{v,n-n}$;
- la transmission visuelle diffuse $\tau_{v,n-dif}$.

Les valeurs élevées de $\tau_{v,n-n}$ sont favorables parce qu’elles permettent la reconnaissance des formes. Inversement, une valeur élevée de $\tau_{v,n-dif}$, telle qu’une couleur de lumière, est défavorable parce qu’elle déforme la vision directe et génère une luminance parasite sur le rideau lorsqu’il est éclairé par le soleil.

La classification des produits définie dans la norme prEN 14501 est la suivante :

TABLEAU 14 – Classification pour le contact visuel avec l’extérieur, selon la norme prEN 14501

$\tau_{v,n-n}$	$\tau_{v,n-dif}$		
	$0 < \tau_{v,n-dif} \leq 0,04$	$0,04 < \tau_{v,n-dif} \leq 0,15$	$\tau_{v,n-dif} > 0,15$
$\tau_{v,n-n} > 0,10$	4	3	2
$0,05 < \tau_{v,n-n} \leq 0,10$	3	2	1
$\tau_{v,n-n} \leq 0,05$	2	1	0
$\tau_{v,n-n} = 0,00$	0	0	0

#6

QUALITE
DE LA LUMIERE
DU JOUR



VI. QUALITE DE LA LUMIERE DU JOUR

VI.1. Généralités

La conception architecturale des bureaux, des maisons et autres habitations devrait mettre davantage l'accent sur l'exposition suffisante à la lumière du jour afin de promouvoir la santé et le bien-être. Par conséquent, le calcul de la lumière du jour devrait devenir la norme dès le début de la phase de planification afin que les planificateurs, les investisseurs et les propriétaires obtiennent une indication de l'impact des différents concepts de construction.

La protection solaire fixe (porte-à-faux, panneaux PV, haut-parleurs, grilles et autres éléments de construction comme le verre solaire) pourrait réduire la quantité de chaleur solaire, mais ils augmenteront aussi le besoin de lumière artificielle tout au long de l'année et réduiront les gains solaires pendant la saison de chauffage (voir la figure 19).

Il ne s'agit pas d'une critique du PV et d'autres technologies qui nous aident à passer à l'énergie renouvelable, mais cela suggère que la conception des bâtiments doit être vue de manière holistique et que la lumière naturelle du jour ne peut pas et ne devrait pas être simplement remplacée par la lumière des LEDs pendant la journée.

La lumière du jour est essentielle à la vie (hommes, animaux et plantes).

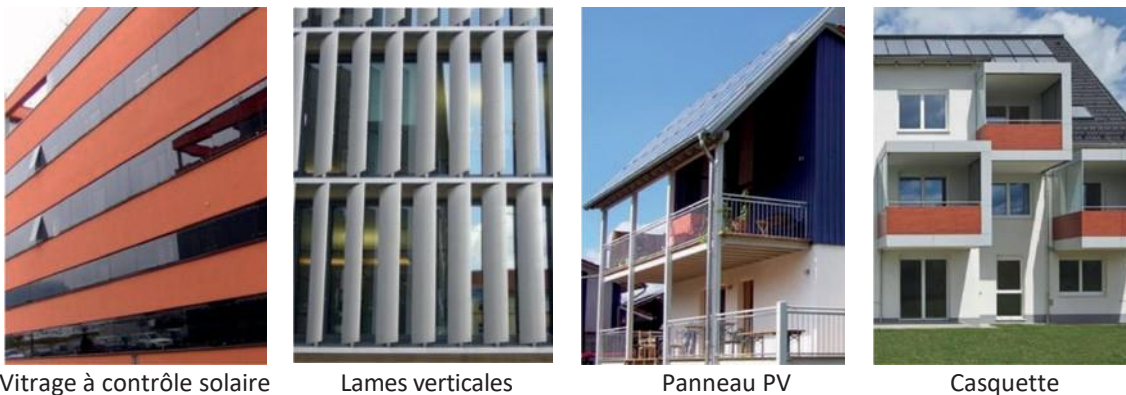


FIGURE 19 – Exemples de dispositifs de protection solaire fixes pour réduire la lumière du jour dans les bâtiments²



FIGURE 20 – Exemples de bonne et mauvaise prise en compte de la lumière du jour dans les locaux de bureau²

² Source des images : Hannes Gerstmann, Geniulux

VI.2. La lumière du jour est plus importante que la lumière

La lumière du jour que nous voyons n'est peut-être pas la lumière du jour dont notre corps a besoin. Lorsque l'on considère la lumière du jour, trois domaines doivent être discutés :

- Notre **sens de la vision** dont nous avons besoin pour l'information visuelle et qui nous donne aussi une orientation. Notre sens visuel est très flexible ; nous pouvons voir et même lire à la lumière d'une pleine lune pendant une nuit claire ainsi que pendant les jours ensoleillés, le niveau d'éclairage varie de 0,25 à 120 000 lux. Et notre perception visuelle corrigera les défauts de rendu des couleurs qui peuvent survenir par exemple lors de l'utilisation de la lumière artificielle.
- La **température de la couleur**, mesurée en Kelvin[K], peut varier de 1800 K (lumière chaude comme au lever et au coucher du soleil ou la flamme d'une bougie) jusqu'à plus de 15 000 K (lumière froide comme le ciel aux pôles de la terre). Pendant la journée, la température de couleur varie entre 5500 et 6500 K. La **température de la couleur** influence notre psychisme ; la lumière chaude est relaxante tandis que la lumière froide induit l'activité. La lumière et l'ombre créent l'ambiance de nos pièces et contribuent à la façon dont nous réagissons à un espace - cela affecte l'efficacité.

Temperature	Source
1700 K	Match flame, low pressure sodium lamps (LPS/SOX)
1850 K	Candle flame, sunset/sunrise
2400 K	Standard incandescent lamps
2550 K	Soft white incandescent lamps
2700 K	"Soft white" compact fluorescent and LED lamps
3000 K	Warm white compact fluorescent and LED lamps
3200 K	Studio lamps, photofloods, etc.
3350 K	Studio "CP" light
4100 – 4150 K	Moonlight ^[2]
5000 K	Horizon daylight
5000 K	Tubular fluorescent lamps or cool white/daylight compact fluorescent lamps (CFL)
5500 – 6000 K	Vertical daylight, electronic flash
6200 K	Xenon short-arc lamp ^[3]
6500 K	Daylight, overcast
6500 – 9500 K	LCD or CRT screen
15,000 – 27,000 K	Clear blue poleward sky

FIGURE 21 - Température des sources de lumière³

³ Source : https://en.wikipedia.org/wiki/Color_temperature

- Le spectre complet de la lumière du jour (de l'ultraviolet au proche infrarouge) et son dynamisme (densité de la lumière et de la couleur de la lumière) affectent les **sens biologiques de l'homme**. Il synchronise notre horloge biologique (rythme circadien) et affecte la qualité du sommeil ainsi que la production de vitamines et d'hormones (vitamine D3, mélatonine, sérotonine, cortisol, etc.). Il renforce également le système immunitaire. On sait aussi que le manque de lumière du jour contribue à des maladies comme le rachitisme, l'ostéoporose, le psoriasis, la souffrance musculaire, etc. Certains types de cancer sont soupçonnés d'être liés à des phénomènes de défauts de lumière ou d'irradiation.

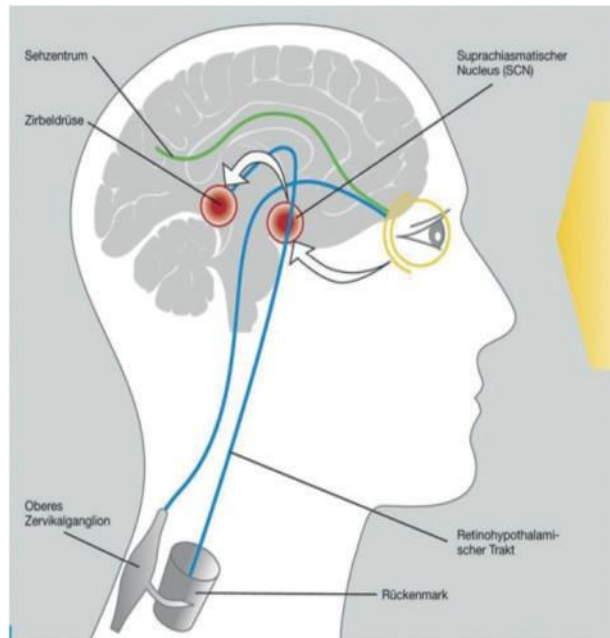


FIGURE 22 – Comment la lumière déclenche l'horloge interne³

L'information visuelle va au centre visuel du cerveau (ligne verte) tandis que d'autres critères de lumière du jour affectent le NKS (noyau suprachiasmatique), la glande pinéale et d'autres parties du système végétatif (lignes bleues).

La gamme de spectre biologiquement efficace (éclairage centré sur l'homme) est beaucoup plus large que le spectre visuel (voir Figure 23).

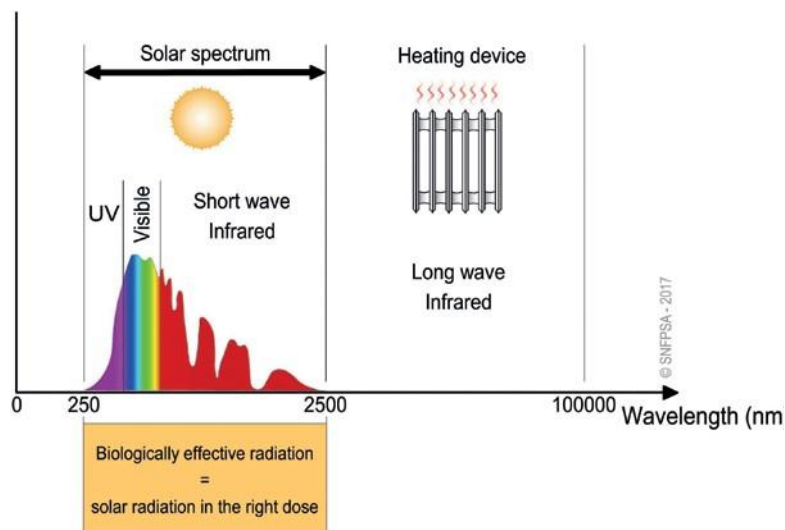


FIGURE 23 – Partie du spectre ayant un impact sur le comportement biologique humain.

⁴Source : Licht.de “La lumière déclenche l'horloge interne”

Le spectre visible change également au cours de la journée (voir Figure 24). Ces variations ont également un impact sur toutes les espèces vivantes sur terre, y compris les êtres humains.

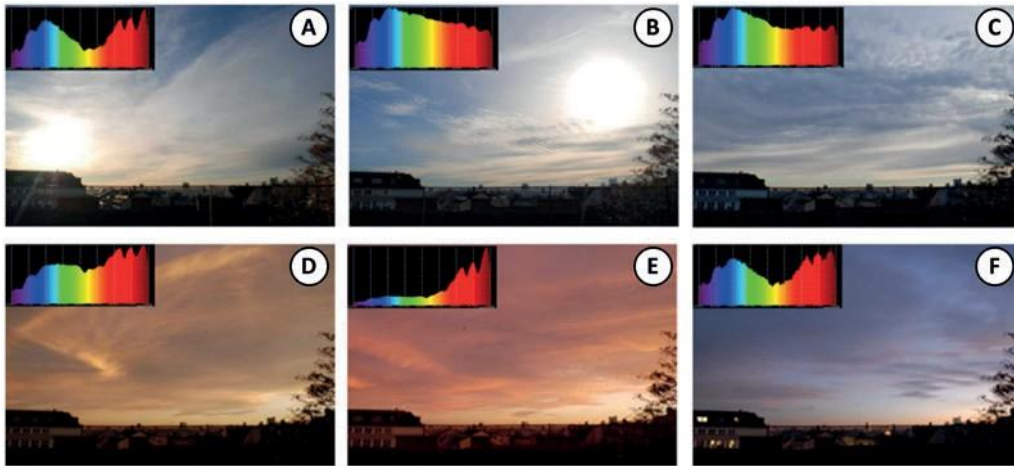


FIGURE 24 – Spectre visible à différents moments de la journée⁵

Ciel dynamique avec des spectres visuels commençant au lever du soleil avec des couleurs chaudes (température d'environ 2000 - 3500 K) en raison d'un pic rouge (Figure 24 A). Pendant la journée, le spectre du ciel reste le même selon qu'il y a du soleil direct ou du ciel couvert (Figure 24 B et C). La température de couleur de 5500 à 6500 K prévaut pendant la journée. Au coucher du soleil, toutes les parties du spectre, à l'exception du rouge, diminuent (Figure 24 D et E). La température de couleur diminue jusqu'à env. 2500 K. Avant que le ciel ne s'assombrisse, il y a une courte période de temps appelée "l'heure bleue" lorsque la partie bleue du spectre augmente (Figure 24 F).

Ces spectres montrent la nature de la lumière du jour à différents moments de la journée, mais ne reflètent pas la quantité de lumière. Ce cycle évolutif a un impact sur le rythme circadien (horloge biologique, hormones, etc.) sur toute la vie sur terre.

VI.3. Lumière du jour naturelle, lumière du jour filtrée et lumière artificielle

Lors de l'éclairage des pièces, le facteur biologique doit toujours être pris en compte. Il n'y a qu'un seul type d'air que l'homme peut respirer, mais il y a deux façons d'alimenter un espace avec de la lumière, c'est-à-dire, soit pendant la journée, avec de la lumière du jour à travers des composants transparents dans l'enveloppe du bâtiment, soit avec de l'éclairage artificiel.

Toute réduction de la transmission lumineuse ou solaire peut avoir un impact sur le spectre lumineux.

Les vitrages (tels que les vitrages de contrôle solaire, les vitrages à film solaire ou les vitrages électrochromiques) modifient la composition spectrale de la lumière naturelle du jour, tandis que les systèmes de protection solaire peuvent contrôler la quantité de lumière du jour qui pénètre dans une pièce sans changer sa nature. Ceci est dû au fait que la protection solaire réduit la transmission d'énergie tout en conservant une partie de la transmission directe de la lumière (trous traversants ou lamelles par exemple).

VI.3.1. Spectre visuel des différentes sources de lumière du jour

Les images suivantes montrent différents spectres de lumière du jour (partie visible seulement) tels que perçus par l'œil humain pour diverses configurations (avec ou sans vitrage ou protection solaire). Pour présenter l'impact du vitrage et de la protection solaire, seules les formes des diagrammes sont significatives, la quantité de lumière est différente (en fonction du facteur de transmission de la lumière).

⁵ Source: Gregor Radinger, Danube University Krems & Hannes Gerstmann, Geniolux

À partir de ces spectres dans le domaine visible uniquement, on peut extrapoler les variations dans le domaine UV (partie gauche, en dessous de 360 nm) et dans le domaine du proche infrarouge (partie droite, au-dessus de 760 nm) qui influencent les sens biologiques.

La ligne pointillée blanche de la figure 26 à la figure 30 représente la forme de la figure 25 (lumière du jour naturelle sans vitrage et/ou protection solaire) au moment où les spectres ont été mesurés.

L'œil n'est sensible qu'à trois couleurs alors que le corps humain est sensible à l'ensemble du spectre.

L'indice de rendu des couleurs IRC (ou Ra) caractérise la qualité de la lumière du jour perçue par l'homme dans un ciel nuageux (IRC 100).

Lorsque la lumière passe à travers un élément transparent, le IRC peut être changé en fonction du matériau et/ou des couches telles que les revêtements, les couleurs, etc.

Si l'IRC tombe en dessous de 95, la perception visuelle derrière un vitrage peut être altérée.

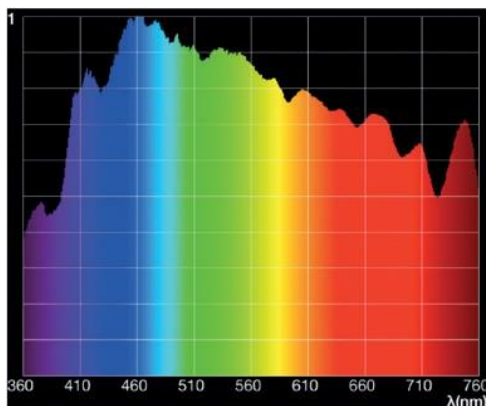


FIGURE 25 – Spectre visuel extérieur (devant le vitrage), IRC 100⁶

Une partie de la lumière bleue et rouge est réduite (bleue à cause des vitres elles-mêmes et rouge à cause du revêtement).

Bien qu'elle ne figure pas sur le diagramme, la partie non visible du spectre sera affectée de la même manière, c'est-à-dire la réduction des parties UV et infrarouge.

L'IRC est supérieur à 95, ce qui est considéré comme une très bonne performance visuelle.

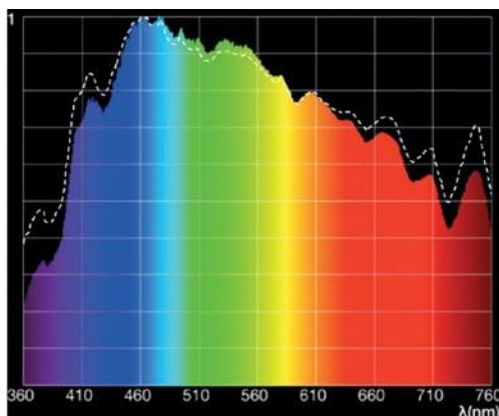


FIGURE 26 – Spectre visuel derrière le verre à faible émissivité typique à 2 panneaux ($g = 0, 65 / IRC 98$)

Le spectre est presque le même que celui sans protection solaire grâce à la lumière transmise qui n'est pas filtrée (transmission directe à travers les trous).

Seule une partie de la section violette est réduite en raison de la couleur du tissu (gris avec un revêtement d'aluminium sur la face externe).

L'IRC est supérieur à 95, ce qui est considéré comme une très bonne performance.

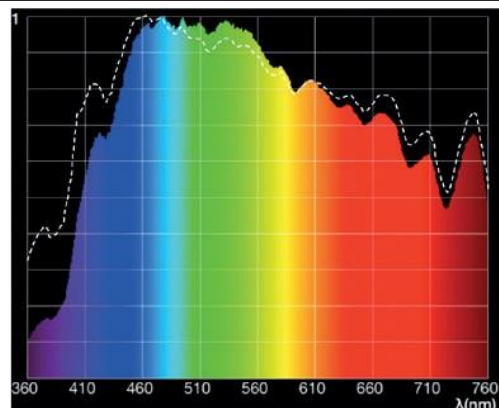


FIGURE 27 – Spectre visuel derrière un écran typique à 2 panneaux avec un tissu d'écran gris externe. ($g_{tot} = 0, 07 / IRC 96$)

⁶ All pictures, source: Hannes Gerstmann, Geniolux

Le spectre est le même que celui sans protection solaire grâce à la lumière transmise qui n'est pas filtrée (transmission directe à travers les trous).

Ici aussi, seule une partie de la section violette est réduite en raison de la couleur du tissu (gris avec un revêtement d'aluminium sur la face externe).

Le IRC est supérieur à 95, ce qui est considéré comme une très bonne performance.

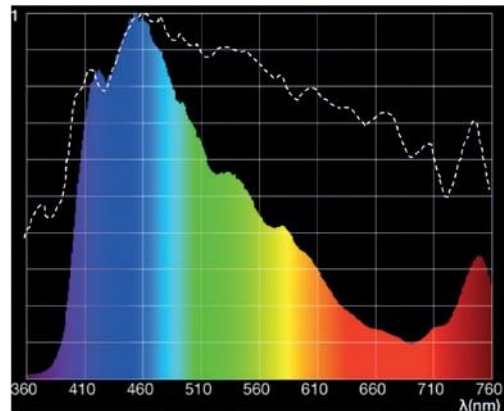


FIGURE 28 – Spectre visuel derrière un spectre typique Verre à 2 vitrages low-e avec trame interne grise. ($g_{\text{tot}} = 0,43$ / IRC 97)

Comme la réduction du facteur solaire (transmission d'énergie) est obtenue en filtrant la lumière, les parties rouge visible et infrarouge proche du spectre sont réduites.

Pour des valeurs $g > 0,45$, la quasi-totalité de la section proche infrarouge est bloquée.

Pour les valeurs $g < 0,45$, la section visible du rouge au vert est également réduite.

Cela a un impact sur l'efficacité biologique de la lumière car ce n'est plus de la lumière naturelle du jour.

L'IRC est réduit bien en dessous de 95 : l'apparence de l'extérieur et l'information visuelle devient artificielle.

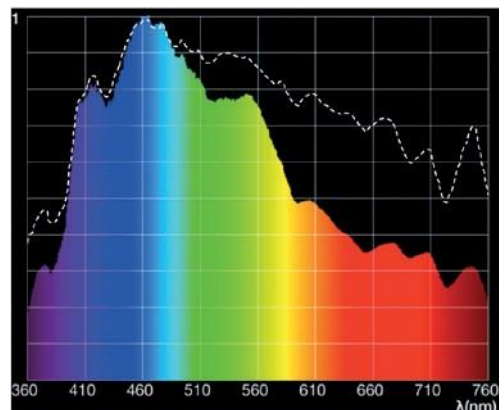


FIGURE 29 – Spectre visuel d'un verre de contrôle solaire ($g = 0,35$ / IRC 89, teinté bleu)

Comme c'est le même principe de filtrage qui est appliqué, cette technologie a le même effet que le verre de contrôle solaire : le spectre complet est modifié.

L'IRC est réduit bien en dessous de 95 : l'apparence de l'extérieur et l'information visuelle devient artificielle.

Les transmissions solaires et de la lumière du jour sont réduites en permanence, ce qui réduit les gains solaires gratuits pendant la période de chauffage et augmente les coûts d'éclairage artificiel.

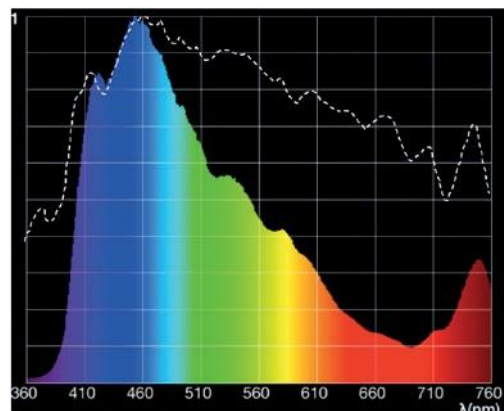


FIGURE 30 – Spectre visuel d'un verre à 2 vitres à faible émissivité avec "film solaire" externe. ($g = 0,22$ / IRC 87, teinté bleu)

VI.3.2. Spectre visuel de différentes sources de lumière artificielle

L'éclairage artificiel ne peut se substituer à la lumière naturelle du jour, ni dans la composition spectrale, ni dans la variation au cours de la journée (intensité et direction). Ceci doit être correctement pris en considération par les concepteurs afin de maximiser la distribution de la lumière du jour dans les pièces.

La lumière artificielle ne doit toujours être qu'un complément à la lumière du jour : la demande en énergie pour l'éclairage de jour peut être optimisée par un concept d'éclairage naturel efficace.

Ce spectre est le même que celui du coucher du soleil, du feu ou de la lumière des bougies (voir Figure 24 E). Il s'étend aussi dans un spectre proche de l'infrarouge !

Avantages :

Il a un spectre complet sans lacunes (important pour l'efficacité biologique). En raison du faible niveau de lumière bleue, elle déclenche la production de l'hormone du sommeil, la mélatonine. C'est la seule lumière artificielle qui génère un spectre proche de l'infrarouge, ce qui est important pour la détente et pour le système immunitaire. L'indice de rendu des couleurs est de 100 %.

Inconvénients :

Efficacité : seulement 5% de l'énergie produite est de la lumière, 95% de la chaleur.

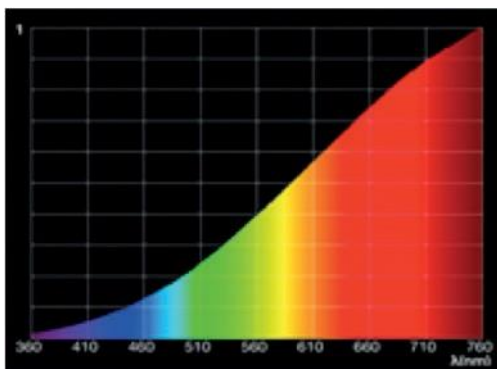


FIGURE 31 – Spectre de spot halogène (dépassant le proche de l'infrarouge)⁷

Ce spectre est totalement différent de celui enraciné dans l'humanité par l'évolution. Comme il est produit par émission de photons (au lieu d'incandescence), il n'est caractérisé que par deux pics. Même si la couleur de ces lampes peut être sélectionnée (du froid au chaud), le spectre restera avec un pic bleu.

Avantages :

Efficacité énergétique, durabilité, de nombreuses nouvelles possibilités d'intégration dans le mobilier et les accessoires.

Inconvénients :

Conçu pour répondre aux besoins visuels ; pour les besoins biologiques, il manque un spectre complet avec le rouge et le proche infrarouge. Le pic bleu déclenche l'hormone du "stress", le cortisol qui peut causer de l'insomnie et peut affecter les problèmes médicaux de l'œil⁸. La lumière LED peut clignoter, ce qui peut également entraîner des problèmes médicaux. L'indice de rendu des couleurs se situe généralement entre 81 et 83 %.

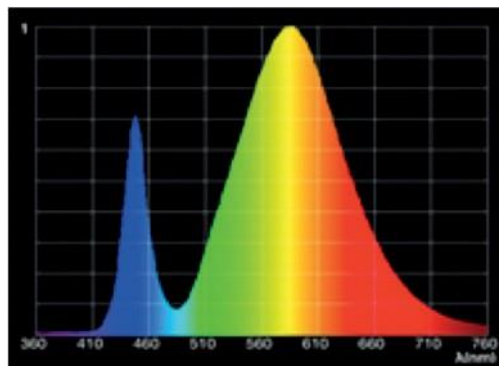


FIGURE 32 – Spectre de led (seulement visuel, pas proche de l'infrarouge)

⁷ Toutes les images, source : Hannes Gerstmann, Geniolux

⁸ En savoir plus à propos des dangers de la lumière bleue. https://en.wikipedia.org/wiki/High-energy_visible_light.

Le spectre est totalement différent du spectre naturel de la lumière du jour. Les tubes fluorescents fonctionnent comme une imprimante à jet d'encre (activation des bâtonnets bleu, vert et rouge de la rétine). Cela peut satisfaire les besoins visuels, mais ne reproduit pas l'effet biologique de la lumière naturelle du jour.

Avantages :

Efficacité énergétique, longue durée de vie, peu coûteux

Inconvénients :

Aucun avantage biologique en raison des nombreuses lacunes dans le spectre. L'indice de rendu des couleurs se situe généralement entre 77 et 82 %.

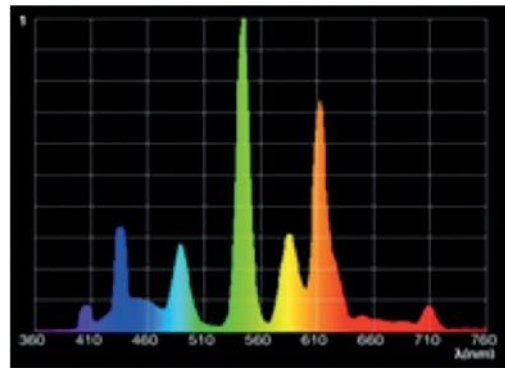


FIGURE 33 – Spectre de tubes fluorescents ou de lampes à économie d'énergie (seulement visuelles, pas proche de l'infrarouge)

Les concepteurs de bâtiments devraient donc envisager un vitrage à haut facteur de transmission combiné à une protection solaire dynamique afin de :

- Maximiser la transmission de la lumière du jour du vitrage, en veillant à ce que tout le spectre de lumière du jour ne soit pas filtré.
- Optimiser le niveau de lumière du jour pour que les occupants disposent de suffisamment de lumière du jour sans souffrir d'éblouissement et de surchauffe.

Le respect de ces principes conduira en même temps au meilleur équilibre énergétique possible, permettant des gains solaires gratuits pendant la période froide et empêchant la surchauffe ou la consommation de refroidissement de l'air en dehors de la saison de chauffage.

VI.4. Impact de la lumière du jour sur le bien-être et la performance humaine⁹

De nombreuses études ont exploré la relation entre l'éclairage naturel, le bien-être psychologique et la productivité des travailleurs ou la performance des écoliers. L'impact de la lumière du jour sur le lieu de travail, sur le sommeil, la qualité de vie et la santé en général dépend également de la qualité de la lumière du jour.

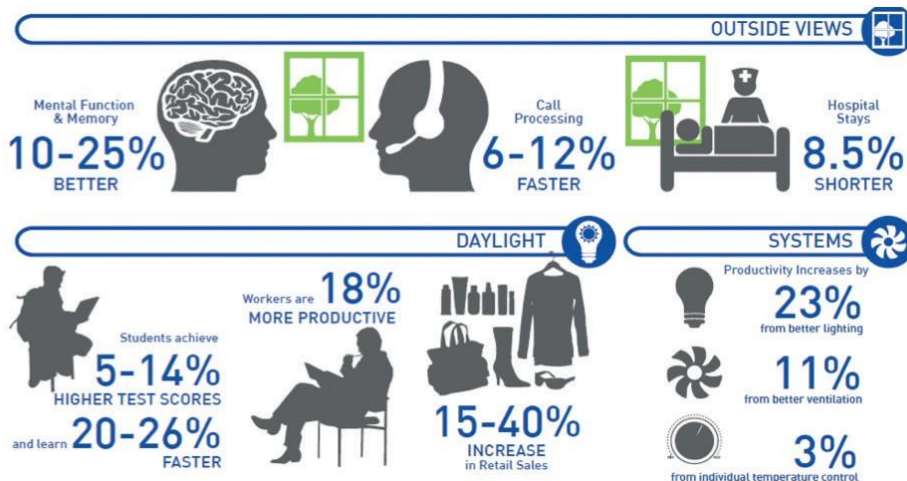


FIGURE 34 – Impact de la lumière du jour sur le bien-être et les performances humaines¹⁰

⁹Source : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4031400/> adapted by Hannes Gerstmann

¹⁰Source : World Green Building Council, 2013 "The Business Case For Green Building"

Les séquences de jour et de nuit sont l'un des principaux facteurs environnementaux des rythmes circadiens qui influencent les schémas biologiques, mentaux et comportementaux tels que le sommeil et l'activité. La variation de l'exposition à la lumière pendant la journée a un impact important sur ces rythmes. Étant donné que les heures de bureau interviennent pendant les heures de jour biologiquement naturelles, l'exposition à la lumière dans l'environnement de bureau aura des effets sur le sommeil, et le sommeil et d'autres influences auront également des effets sur la santé physique et mentale.

Depuis le syndrome du bâtiment malade des années 1970 et la Déclaration de l'Organisation mondiale de la santé sur la santé au travail pour tous en 1994, la santé au travail est devenue une question pertinente pour les professionnels de la santé et les architectes. Avec un intérêt croissant pour l'architecture verte, l'éclairage naturel devient un facteur de conception important. Généralement, les recommandations en matière d'éclairage naturel sont formulées sous la forme d'un facteur lumière du jour (FLJ), les niveaux variant de 1 % à 6 % selon le type de bâtiment et les activités. Ce n'est pas vraiment un défi et la plupart des bâtiments atteignent un FLJ < 2%. Comme les scientifiques ont maintenant une meilleure compréhension de l'influence de la lumière du jour sur l'homme, les normes de construction sont modifiées pour obtenir des facteurs lumière du jour plus élevés, comme la future norme prEN 17037:2016 "Lumière du jour des bâtiments".

Le facteur lumière du jour (FLJ) est le pourcentage de l'éclairement intérieur par rapport à l'éclairement extérieur sur une surface horizontale. Le principe du facteur lumière du jour n'est valable que par temps couvert (environ 10.000 lux). L'intensité lumineuse du soleil est de 7 à 10 fois supérieure à celle du ciel couvert, de sorte que la transmission de la lumière peut être atténuée par des dispositifs de protection solaire sans assombrir les pièces.

Il existe de nombreuses preuves qui établissent un lien entre un sommeil insuffisant et/ou une qualité de sommeil réduite et une gamme de déficiences importantes à court terme telles que la perte de mémoire, des réflexes psychomoteurs plus lents et une attention réduite. Si les environnements sans fenêtres, ou ceux qui manquent de lumière du jour, affectent la qualité du sommeil des travailleurs et des élèves, il y aura des effets ultérieurs non seulement sur les individus mais aussi sur la société, ce qui entraînera davantage d'accidents, d'erreurs sur le lieu de travail et une diminution de la productivité. La qualité du sommeil est également un indicateur de santé important qui peut avoir des effets sur l'humeur, le rendement cognitif et les résultats pour la santé, comme le diabète et d'autres maladies. Par conséquent, il est crucial d'étudier les effets de la lumière du jour, car elle peut fournir un moyen profond d'améliorer la productivité et la santé des travailleurs ainsi que la sécurité de la communauté dans laquelle ils travaillent et vivent. La privation de lumière endommage les neurones monoamine et produit un phénotype comportemental dépressif chez le rat. Chez l'homme, une corrélation directe entre le niveau de gravité du trouble affectif saisonnier et l'exposition à la lumière naturelle du jour est bien documentée. Les résultats de plusieurs études suggèrent que la lumière vive naturelle et artificielle (beaucoup plus élevée que le minimum requis pour un éclairage de 300 ou 500 lux), en particulier le matin, peut améliorer de façon significative les résultats de santé tels que la dépression, l'agitation, le sommeil, l'activité circadienne de repos et le trouble affectif saisonnier.

Ces effets de l'exposition à la lumière, ou l'absence d'exposition à la lumière, illustrent l'importance d'une bonne exposition à la lumière pour le bien-être physique et la santé mentale. Dans notre société moderne, de nombreuses responsabilités sur le lieu de travail et à la maison dictent les modifications que nous nous imposons et/ou la perte de la lumière du jour dans notre vie quotidienne. Les chercheurs suggèrent que l'exposition à la lumière déterminée par nos horaires quotidiens aura des conséquences subséquentes sur notre humeur, nos performances cognitives et notre bien-être général.

VI.4. Conclusion

La "bonne lumière", dans le sens d'une lumière biologique activante et dynamique combinée à un éclairage naturel sans éblouissement, est essentielle pour la santé, le bien-être général, une meilleure performance au travail ou à l'école, une meilleure relaxation, et enfin, mais non des moindres, une meilleure humeur.

Un taux élevé d'autonomie en lumière du jour minimise le besoin de lumière artificielle pendant la journée et réduit donc la consommation d'énergie pour l'éclairage artificiel, le refroidissement et le chauffage et réduit les coûts d'entretien en raison de l'allongement de l'intervalle de temps pour l'entretien.

La protection solaire dynamique combinée avec du verre clair ou du verre isolant assure la meilleure qualité de la lumière du jour en réduisant son intensité sans changer son spectre. Il est essentiel que la protection solaire puisse être rétractée parce que le soleil ne brille que quelques heures par jour sur chaque façade spécifique. Selon le climat et la région, la protection solaire est nécessaire entre 10 et 20% des 4500 heures de lumière du jour.

Si la protection solaire est statique (surplombs, grilles, persiennes, boucliers PV, vitres solaires, films solaires, etc.), la demande d'énergie pour l'éclairage augmente et peut être supérieure à la demande d'énergie pour le refroidissement et même celle pour le chauffage. La lumière du jour n'est pas une énergie renouvelable, mais elle doit être comprise comme une ressource valable qui peut augmenter l'efficacité énergétique des bâtiments et aider à empêcher les économies nationales d'augmenter les coûts des soins de santé. Il rend les intérieurs plus vivants et crée une atmosphère de confort et de bien-être pour les occupants. La vie a été créée par la lumière, donc les êtres animés dépendent de la lumière naturelle du jour. Aujourd'hui, de nombreuses personnes passent 90 % ou plus de leur temps à l'intérieur¹¹. C'est un phénomène nouveau dans l'évolution. Les concepteurs et les occupants des bâtiments devraient en être conscients.

Il est important d'éviter de concevoir des bâtiments avec des vitrages qui éliminent la lumière naturelle du jour pour réaliser des économies de refroidissement¹². Afin de promouvoir un mode de vie sain, la protection solaire contrôle à la fois la chaleur et la lumière du jour pour un environnement confortable avec un coût énergétique réduit. La protection solaire est la solution pour toutes les fenêtres et les façades vitrées.

¹¹ "The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants" Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology

¹² E.g. Solar control glazing, electrochromic glazing

BIBLIOGRAPHIE

▼ (1) Normes européennes

EN 14501 "Fermetures et stores - Confort thermique et lumineux - Caractérisation des performances et classification"

EN 14500 " Fermetures et stores - Confort thermique et lumineux – Essai et méthodes de calcul"

EN 13125 "Fermetures et stores – Résistance thermique additionnelle - Attribution d'une classe de perméabilité à l'air à un produit"

EN ISO 52022-113 "Performance énergétique des bâtiments - Propriétés thermiques, solaires et de la lumière du jour des composants et éléments de construction - Partie 1 : Méthode de calcul simplifiée des caractéristiques solaires et de la lumière du jour pour les dispositifs de protection solaire combinés à un vitrage".

EN ISO 52022-314 "Performance énergétique des bâtiments - Propriétés thermiques, solaires et de la lumière du jour des composants et éléments de construction - Partie 3 : Méthode détaillée de calcul des caractéristiques solaires et de la lumière du jour pour les dispositifs de protection solaire combinés avec vitrage".

EN ISO 10077-1 "Performance thermique des fenêtres, portes et fermetures – Calcul de la transmission thermique - Généralités"

EN 410 "Le verre dans le bâtiment – Détermination des caractéristiques solaires et lumineuses des vitrages"

prEN 17037 "La lumière du jour des bâtiments"

▼ (2) Guides

"Guide de la Fermeture et de la Protection Solaire », 2010, co-édité par SEBPTP et Metal'Services

"Protections solaires, comment les intégrer dans les bâtiments durables. ", 2010, édité par REHVA, 40 rue de Washington, 1050 BRUSSELS, BELGIUM; info@rehva.eu

▼ (3) Recherches

"Création d'un outil d'aide au choix optimisé du vitrage du bâtiment selon des critères physiques, écologiques et économiques, pour un meilleur confort visuel et thermique", Magali Bodart, UCL, Avril 2002.

Analyse de l'apport énergétique du volet roulant, TBC & SNFPSA, Mars 2010

[CMU 2004] Guide pour des bâtiments très performants <http://cbpd.arc.cmu.edu/ebids/images/group/cases/Daylighting.pdf>

¹³ Remplace EN 13363-1

¹⁴ Remplace EN 13363-2

[Hart 1994] Hartkopf, V., V. Loftness, S. Duckworth, S. Lee, P. Drake, J. Posner, and G. Rainer. The Intelligent Workplace Retrofit initiative : DOE Building Studies. Produit en vertu d'un contrat pour le département de l'Énergie des États-Unis, décembre 1994.

[Hart 1999] Hartkopf, V., Loftness, V. Global relevance of total building performance, Automation in Construction 8, (1999) pp. 377-393.

[Hesh 1999] Heschong, Mahone, Daylighting in Schools : An investigation into the relationship between daylighting and human performance, 1999.

[Hesh 2003b] Heschong, L., Windows and Classrooms : A Study of Student Performance and the Indoor Environment. Report prepared for the California Energy Commission, 2003.

[Thay 1995] Thayer, Burke Miller, Daylighting & Productivity at Lockheed, Solar Today, Vol.9, 1995.

World Green Building Council, 2013 "The Business Case For Green Building

▼ (4) Liens informatifs

ES-SO web site: www.es-so.com

Outil Textinergie : www.textinergie.org

Win-Shelter software : www.pit.enea.it

ACTIBAIE : www.actibaie.org

GLOSSAIRE

rayonnement

Transport d'énergie sous forme d'ondes ou de particules provenant d'une source (chaleur, lumière...)

longueur d'onde

La longueur d'onde est la distance entre deux points adjacents identiques dans une onde.

W/m²

Watt par mètre carré

rayonnement solaire

puissance par unité de surface reçue du Soleil sous forme de rayonnement électromagnétique. Mesuré en W/m².

altitude

angle entre le soleil et l'horizon local de l'observateur

azimut

angle du soleil autour de l'horizon, généralement mesuré à partir du nord et croissant vers l'est

latitude

distance angulaire nord ou sud de l'équateur d'un point à la surface de la terre, mesurée sur le méridien du point.

émissivité

mesure de la capacité d'une surface à rayonner de l'énergie ; rapport du flux rayonnant émis par unité de surface à celui émis par un corps noir à la même température

transmission

rapport entre le flux transmis et le flux incident

réflexion

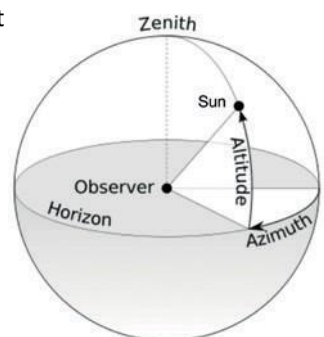
rapport entre le flux réfléchi et le flux incident

tablier

partie du produit qui est mise en mouvement par le système d'exploitation et qui remplit l'objectif du store, de l'auvent ou de l'obturateur

coefficient d'ouverture

rapport entre la surface des ouvertures et la surface totale d'un tissu



Dans l'enveloppe du bâtiment, la partie vitrée joue un rôle clé car elle permet à la lumière et à la chaleur d'entrer dans le bâtiment. Cependant, les niveaux de lumière et de chaleur varient tout au long de l'année. Ils doivent être contrôlés d'une part pour atteindre l'objectif d'une " énergie quasi nulle " et, d'autre part, pour assurer le confort des occupants du bâtiment. La protection solaire - qui couvre une grande variété de produits et de contrôles - est conçu pour répondre à ces besoins en adaptant les propriétés de l'enveloppe vitrée aux conditions météorologiques et aux besoins humains.

C'est pourquoi la protection solaire ne peut pas être considérée comme un équipement secondaire de l'enveloppe vitrée, mais doit être intégrée dans la conception du bâtiment dès la première étape du développement du projet. De cette façon, l'impact du développement du bâtiment sur les performances peut être évalué et les équipements de chauffage et de refroidissement peuvent être spécifiés en conséquence. Le confort visuel et thermique des occupants peut également être déterminé bien à l'avance, en évitant d'éventuelles modifications de la façade du bâtiment ou de l'environnement intérieur après la mise en service.

Ce guide est la deuxième édition du document technique d'ES-SO publié en 2012. Il est destiné à fournir les informations techniques nécessaires à l'évaluation de la performance des protections solaires. Il contient les principes de base nécessaires pour comprendre les propriétés physiques impliquées dans la transmission du rayonnement. Il met en évidence les méthodes de calcul standardisées utilisées pour évaluer les caractéristiques thermiques, solaires et visuelles des stores et volets roulants.

Par rapport à la première édition, la section relative aux aspects visuels a été développée : un nouveau chapitre sur la qualité de la lumière du jour a été intégré et les dispositions relatives aux systèmes de protection solaire pour le confort visuel (contrôle de l'éblouissement, propriétés d'obscurcissement, vue vers l'extérieur) sont maintenant présentées.

Bien qu'il soit destiné aux fabricants et aux installateurs de stores solaires, ce guide intéressera les concepteurs de bâtiments et les ingénieurs en énergie.

ES-SO vzw

Vilvoordelaan 126
B-1930 Zaventem, Belgium
Email : info@es-so.com

Traduit par :



10 rue du débarcadère
75017 PARIS
actibaie.org
Email : contact@actibaie.org