Verre et contrôle solaire

2004

1 INTRODUCTION 2

2 LE RAYONNEMENT ÉLECTROMAGNÉTIQUE 3

2.1 LES DIFFÉRENTS TYPES DE RAYONNEMENTS 3
2.2 LE SPECTRE SOLAIRE 4

3 FACTEURS ÉNERGÉTIQUES ET LUMINEUX 5

3.1 LES FACTEURS ÉNERGÉTIQUES 5
3.2 LES FACTEURS LUMINEUX 6
3.3 LA SÉLECTIVITÉ 7

4 LE CONTRÔLE SOLAIRE 7

4.1 INTRODUCTION 7
4.2 VERRES DE CONTRÔLE SOLAIRE 9

5 PROBLÈMES DE CHOC THERMIQUE 11

1 INTRODUCTION

Les aspects d'apport de lumière et d'énergie sont indissociables. Leur origine se trouve dans le rayonnement solaire. Si l'apport de lumière dans les bâtiment est évidemment recherché, il y a lieu dans certains cas (climats chauds, surfaces vitrées importantes, immeubles de bureaux, …) de limiter l'apport d'énergie afin d'assurer le confort dans le bâtiment.

Afin d'éviter des consommations énergétiques excessives de conditionnement de l'air ou l'inconfort des occupants, il est conseillé d'effectuer un bilan global du confort en tenant compte des éléments suivants:

- climats extérieur et intérieur souhaités
- inertie thermique du bâtiment
- caractéristiques spectrométriques des surfaces translucides
- présence protections solaires
- environnement, ombrages du bâtiments
- gains internes: éclairage, appareils informatiques, appareil de cuisine, densité d'occupation, etc…
- orientation et inclinaison des surfaces de l'enveloppe
- ventilation intérieure
- …

L'examen de ces différents points permettra de choisir un verre de contrôle solaire adéquat.

Figure 1 – Surface vitrée importante

2 LE RAYONNEMENT ÉLECTROMAGNÉTIQUE

2.1 LES DIFFÉRENTS TYPES DE RAYONNEMENTS

Les rayonnements électromagnétiques sont caractérisés par leur vitesse, leur fréquence et leur longueur d'onde l. Le Tableau 1 et la Figure 2 donnent la classification de ces rayonnements en fonction de leur longueur d'onde.

Tableau 1 - Classification des rayonnements électromagnétiques en fonction de leur longueur d'onde

Type de rayonnement	Longueurs d'ondes
rayons Gamma	de 0 à 0,01 nm [1]
rayons X	de 0,01 nm à 10 nm
rayons ultraviolets (UV) - UV C - UV B - UV A	de 10 nm à 380 nm de 2 nm à 280 µm de 280 nm à 315 nm de 315 nm à 380 nm
rayons visibles	de 380 nm à 780 nm
rayons infrarouges (IR) - proches IR A IR B - lointains IR C	de 780 nm à 10^6 nm de 780 nm à 1400 nm de 1400 nm à 2500 nm de 2500 nm à 10^6 nm
ondes radios	de 10^6 nm à plusieurs km

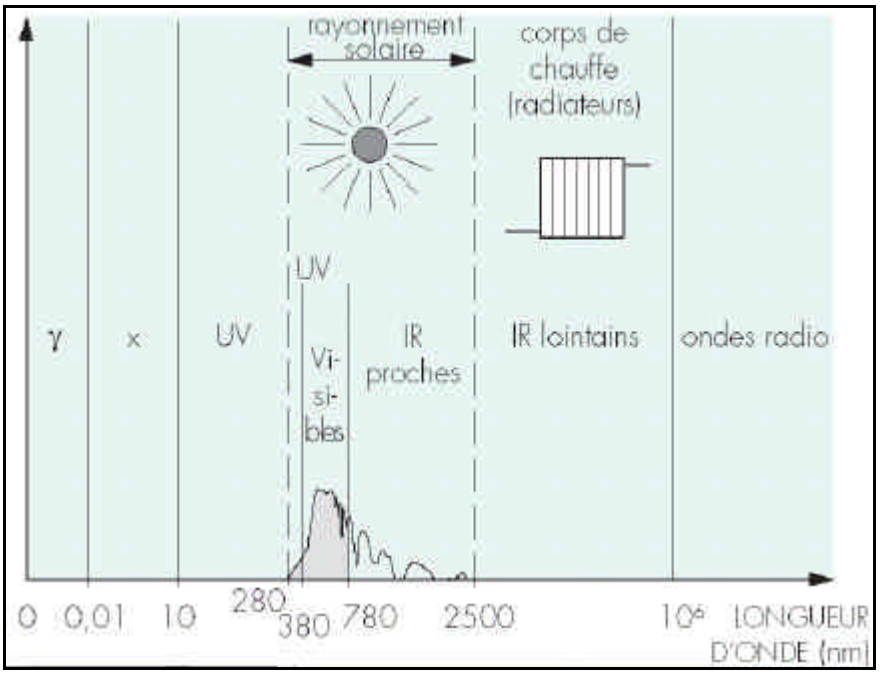

Figure 2 - Les différents types d'ondes électromagnétiques

[1] 1 nm = 1 nanomètre = 10^{-9} m

2.2 LE SPECTRE SOLAIRE

Le rayonnement solaire ne correspond qu'à une petite partie du spectre des ondes électromagnétiques. Sa composition est donnée aux Tableau 2 et Figure 2. Le spectre de la lumière visible fait partie du spectre solaire.

Tableau 2 - Composition du spectre solaire

Type de rayonnement	Longueur d'onde (nm)	Fraction énergétique
UV	280 à 380	≈ 5 %
Visible	380 à 780	≈ 50 %
IR	780 à 2500	≈ 45 %

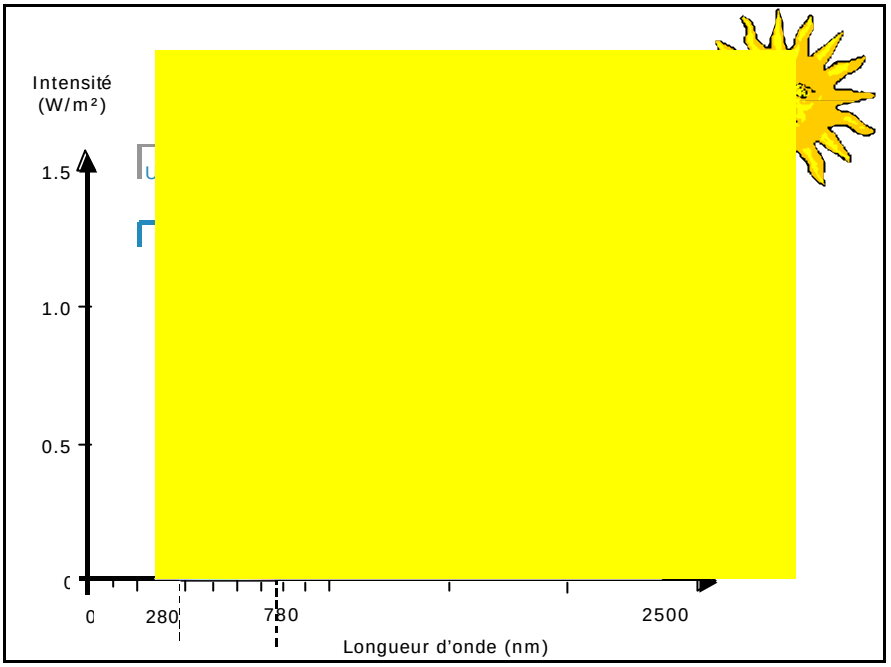

Figure - Spectre solaire

Le soleil est à l'origine du spectre solaire. Il dégage autour de lui une énergie de 66 millions de W/m², produite par des réactions nucléaires en chaîne. Une fraction seulement de cette énergie atteint les limites de notre atmosphère. Cette fraction, d'une valeur de 1353 W/m² est appelée constante solaire.

L'énergie reçue au niveau du sol est plus faible que la constante solaire, car l'atmosphère absorbe une partie du rayonnement solaire (environ 15 %) et en réfléchit une autre vers l'espace (environ 6 %). Le rayonnement global au niveau du sol se définit donc comme étant la somme des rayonnements direct et diffus (Figure 3). L'énergie reçue dépend en outre de la saison, de la latitude et des conditions météorologiques (nébulosité), du relief, de la pollution, de l'orientation du bâtiment,…

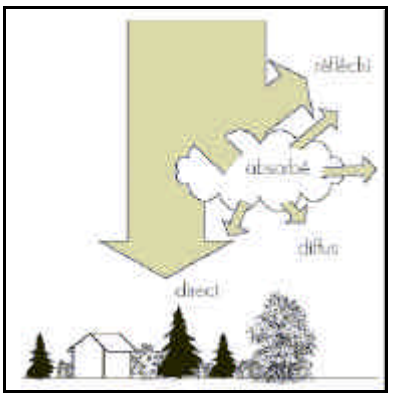

Figure 3 - Influence de l'atmosphère sur le rayonnement solaire

3 FACTEURS ÉNERGÉTIQUES ET LUMINEUX

Les facteurs énergétiques et lumineux (ou facteurs spectrophotométriques) décrivent les caractéristiques de transmission, d'absorption et de réflexion lumineuse et énergétique des vitrages.

3.1 LES FACTEURS ÉNERGÉTIQUES

Lorsque les rayons du soleil viennent frapper un vitrage, le rayonnement solaire total incident (de 300 à 2500 nm) f_e est partagé entre (Figure 4)

- une fraction r_e f_e réfléchie vers l'extérieur, où r_e (ou RE) est le facteur de réflexion énergétique directe du vitrage
- une fraction t_e f_e transmise à travers le vitrage, où t_e (ou TED) est le facteur de transmission énergétique directe du vitrage
- une fraction a_e f_e absorbée par le vitrage, où a_e (ou AE) est le facteur d'absorption énergétique directe du vitrage; l'énergie absorbée par le vitrage est ensuite partagée en:
  - une fraction q_i f_e réémise vers l'intérieur, où q_i est le facteur de réémission thermique vers l'intérieur
  - une fraction q_e f_e réémise vers l'extérieur, où q_e est le facteur de réémission thermique vers l'extérieur.

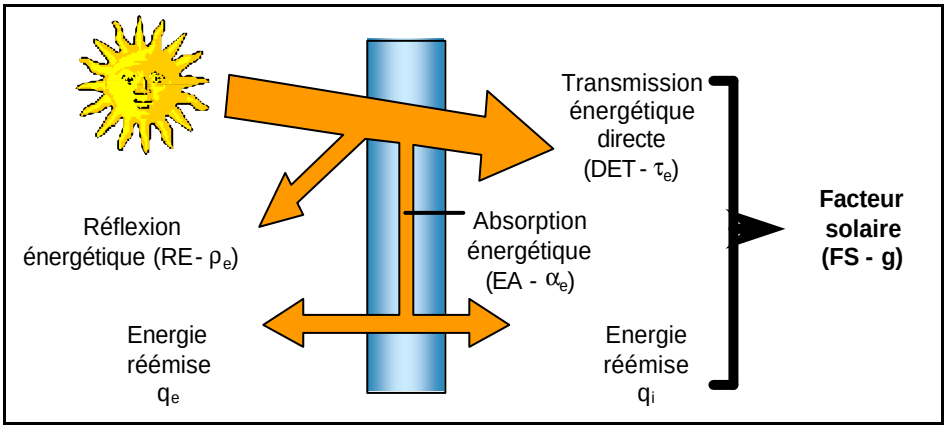

Figure 4 - Les facteurs énergétiques

Ces différents facteurs sont liés par les relations

$$r_e + t_e + a_e = 1 \quad \text{ou} \quad RE + TED + AE = 100$$

et

$$a_e = q_i + q_e$$

Le facteur solaire g (ou FS) représente la transmission totale d'énergie à travers le vitrage; il s'agit donc de la somme du rayonnement transmis directement et du rayonnement absorbé qui est réémis vers l'intérieur:

$$g = t_e + q_i$$

3.2 LES FACTEURS LUMINEUX

Par analogie aux facteurs énergétiques, les facteurs lumineux sont définis en tenant seulement compte de la partie visible du spectre solaire (de 380 à 780 µm).

Les facteurs de transmission lumineuse t_v (ou TL) et de réflexion lumineuse r_v (ou RL) sont définis comme étant respectivement les fractions de lumière visible transmise et réfléchie par le vitrage (*Figure 5*).

Le rayonnement absorbé par le vitrage ne donnant lieu à aucune impression visuelle, il n'est généralement pas pris en compte.

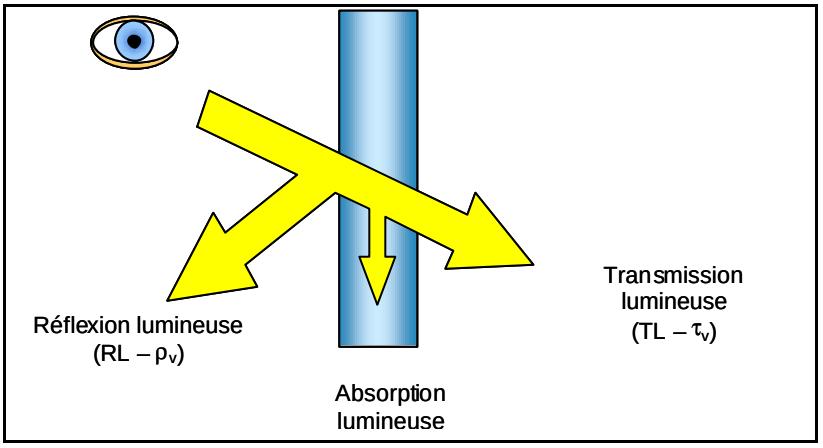

Figure 5 - Les facteurs lumineux

A titre indicatif, le Tableau 3 donne les valeurs g et t_v de simples et doubles vitrages clairs.

Tableau 3 - Valeurs g et τ_v de simple et double vitrages clairs

	Facteur solaire g	**Transmission lumineuse t_v**
SV clair 4 mm	0,86	0,90
DV clair 4-15-4 (mm)	0,76	0,81

3.3 LA SÉLECTIVITÉ

La chaleur rentrant dans un local provient de l'entièreté du rayonnement solaire, à savoir la lumière visible, les ultra-violets et les infra-rouges.

On peut limiter la chaleur pénétrant dans le bâtiment, sans pour autant diminuer la lumière, en utilisant des verres à couches performants empêchant le passage des UV et des IR mais pas de la lumière visible. Ces verres sont dits sélectifs.

La sélectivité d'un vitrage est le rapport de sa transmission lumineuse TL et de son facteur solaire FS: sélectivité = TL / FS; elle est comprise entre 0 et 2. Plus on s'approche de 2, plus le vitrage est sélectif.

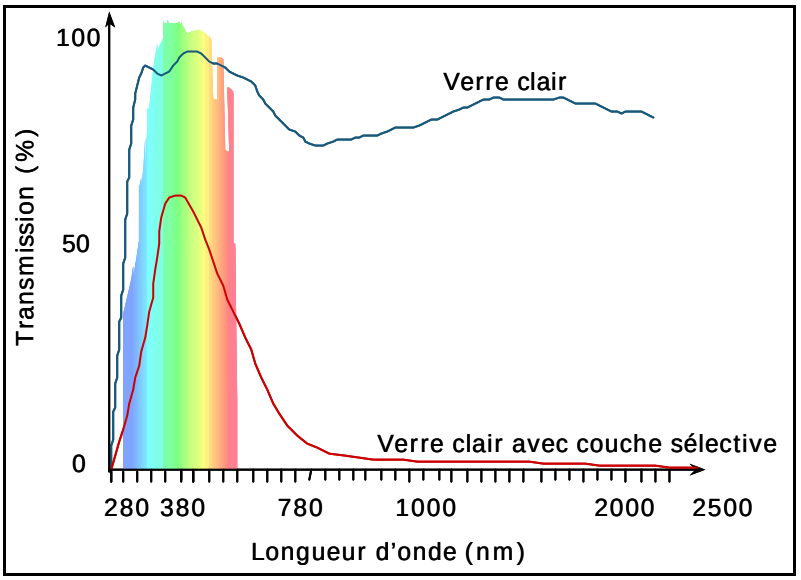

Figure 6 – La sélectivité

4 LE CONTRÔLE SOLAIRE

4.1 INTRODUCTION

4.1.1 ECHAUFFEMENT DES LOCAUX - EFFET DE SERRE

Le soleil peut amener trop de chaleur à l'intérieur des bâtiments abondamment vitrés. La chaleur du soleil pénètre dans le local par transmission directe ou par réémission après absorption par le vitrage. Cette fraction de rayonnement solaire qui a pénétré dans le bâtiment vient frapper les murs, le sol ou les meubles qui vont l'absorber partiellement et s'échauffer. A leur tour, ils vont restituer cette énergie sous forme de rayonnement infrarouge calorifique de longueur d'onde supérieure à 2500 nm (IR lointains). Or, le verre est pratiquement opaque à ce rayonnement de grande longueur d'onde qui est de ce fait piégé à l'intérieur. La température s'élève donc progressivement: c'est l'effet de serre.

4.1.2 UTILISATION DES LOCAUX

L'effet de serre est recherché dans les logements aux périodes froides de l'année car il permet de faire des économies d'énergie. Par contre, il est rarement apprécié dans les bâtiments du secteur tertiaire dans lesquels le fort taux d'occupation, les appareils électriques et l'éclairage artificiel provoquent déjà une augmentation de la température interne. Dans ce cas, l'effet de serre engendre plutôt une hausse des coûts des systèmes de conditionnement d'air. Il est utile pour ces bâtiment de prévoir une protection contre l'apport d'énergie solaire.

4.1.3 SITUATION DU BÂTIMENT

Selon les pays et les climats, les solutions à apporter au contrôle soleil diffèrent.

4.1.4 ORIENTATION DES FENÊTRES

La quantité des apports solaires dépend évidemment de l'orientation de la fenêtre. Dans l'hémisphère nord, les fenêtres orientées au nord présentent le moins d'apport. Les fenêtres orientées au sud bénéficient d'un large ensoleillement en hiver et de peu d'ensoleillement en été. Les fenêtres orientées à l'ouest et à l'est bénéficient d'apports solaires toute l'année; celles orientées à l'ouest présentent de plus l'inconvénient de bénéficier d'apports en fin de journée alors que le bâtiment a déjà eu le temps de s'échauffer; il s'agit donc de l'orientation la plus critique lorsque l'on essaie de se prémunir des apports énergétiques du soleil.

4.1.5 PERFORMANCES RECHERCHÉES AU NIVEAU DES VITRAGES

La Figure 7 montre les combinaisons de valeurs FS - TL; différents zones peuvent être distinguées:

- le rayonnement visible formant la moitié du spectre solaire (Tableau 2), le facteur solaire ne peut pas être inférieur à la moitié de la transmission lumineuse; cela correspond à la zone supérieure noire du graphique qu'il n'est donc pas possible d'atteindre physiquement
- l'obtention d'un facteur solaire FS élevé (apports énergétiques importants) avec une transmission lumineuse TL faible (peu d'apports lumineux) présente peu d'intérêt; cela correspond à la zone inférieure grise du graphique

La zone centrale claire du graphique correspond aux caractéristiques qu'il est théoriquement possible d'atteindre; certaines parties de cette zone sont plus intéressantes du point de vue du contrôle solaire et lumineux

- en bâtiment résidentiels (Figure 7):
  - en été, il est souhaitable d'avoir un facteur solaire faible combiné à une transmission lumineuse plus ou moins élevée (zone encadrée rouge)
  - en hiver, il est souhaitable d'avoir le facteur solaire et la transmission lumineuse élevés (zone encadrée bleue)
- en immeubles de bureaux, contrairement au résidentiel, il se peut qu'en hiver également on essaye de limiter les gains solaires si les gains thermiques internes sont élevés.

Tous les points de la zone claire sont théoriquement atteignables mais les produits verriers actuels ne permettent pas encore d'obtenir toutes ces combinaisons.

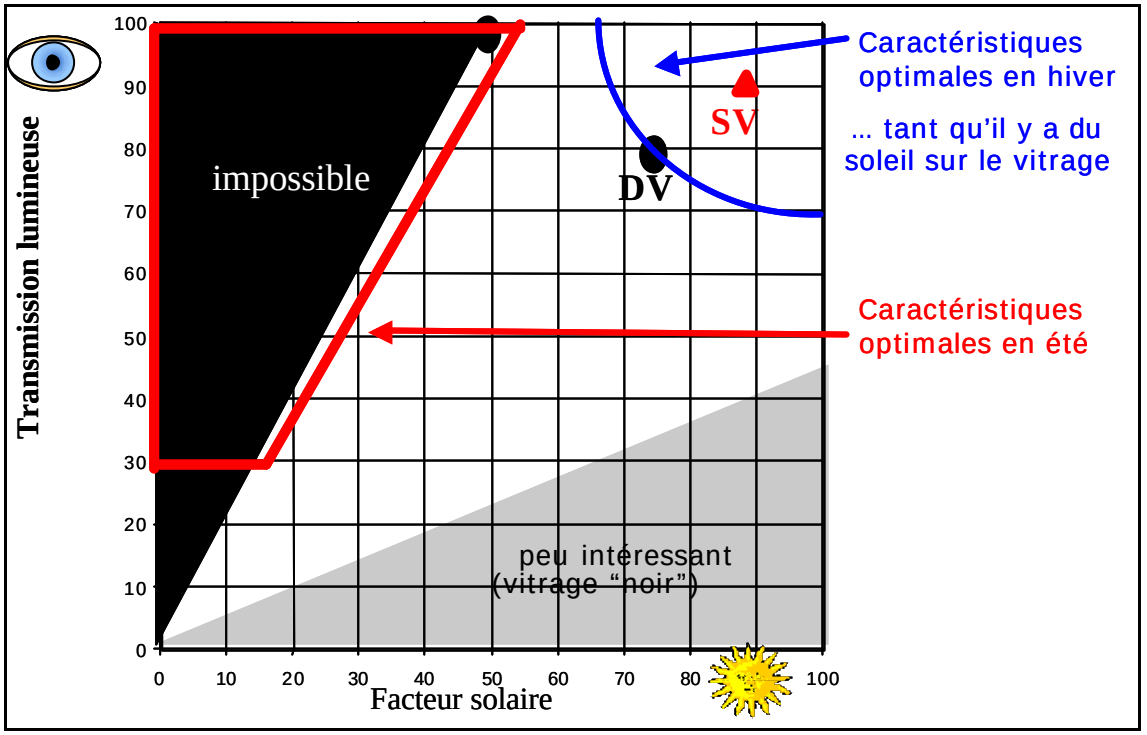

Figure 7 - Combinaisons facteur solaire g - transmission lumineuse τ_v

Remarque: Ces critères de choix ne tiennent compte que la transmission énergétique et lumineuse; en réalité, pour le choix d'un vitrage, il faut également garder à l'esprit les impératifs d'isolation thermique.

4.1.6 SOLUTIONS À ENVISAGER

On peut réduire l'apport d'énergie solaire de plusieurs façons:

- en limitant la surface des vitrages à des valeurs raisonnables compte tenu du volume et de l'inertie thermique du bâtiment et de l'orientation des fenêtres
- en utilisant des vitrages de contrôle solaire
- en utilisant des protections solaires (stores,…) extérieures, intérieures ou incluses dans les doubles vitrages.

4.2 VERRES DE CONTRÔLE SOLAIRE

Il existe actuellement deux types de verres de contrôle de l'énergie solaire:

- les verres absorbants
- les verres à couches réfléchissantes.

Ces deux fonctions peuvent être combinées dans un même vitrage.

4.2.1 VERRES ABSORBANTS

Ils s'agit de verres teintés dans la masse (bronze, gris, vert, rose, bleu,…) par adjonction d'oxydes métalliques à la composition. Selon la couleur et l'épaisseur du verre, le facteur solaire varie de 0,4 à 0,8.

Ces verres absorbent une partie de l'énergie du rayonnement solaire avant de l'émettre vers l'intérieur et l'extérieur (Figure 8).

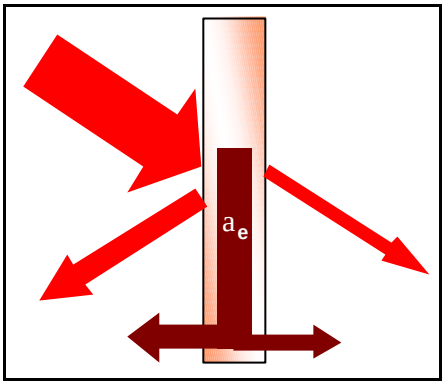

Figure 8 - Verre absorbant

La proportion entre l'énergie émise vers l'intérieur et l'extérieur dépend de la vitesse du vent et des températures d'air extérieur et intérieur. Pour évacuer le mieux possible la chaleur rayonnée vers l'extérieur, il faut placer le verre absorbant le moins possible en retrait du plan de la façade. Dans des façades unies, la chaleur absorbée peut mieux s'échapper et le rayonnement vers l'intérieur est plus faible.

Les verres absorbants étaient fort utilisés avant que les techniques de dépôt de couches ne permettent de fabriquer des verres réfléchissants performants. Actuellement, ils sont de moins en moins utilisés comme verre de contrôle solaire.

Les verres absorbants s'échauffent plus que les verres classiques. Ils sont donc sujets à la casse thermique et il faudra parfois prendre des précautions en conséquence.

4.2.2 VERRES RÉFLÉCHISSANTS

Ce sont des verres à couches dont la propriété est de réfléchir une partie de l'énergie solaire incidente (Figure 9).

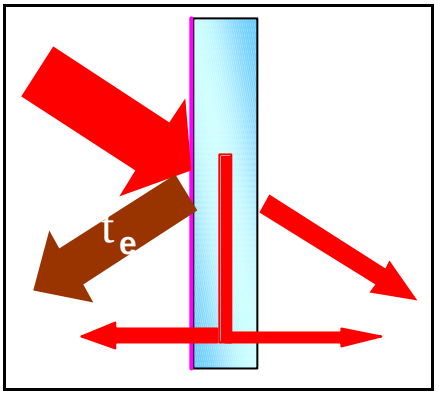

Figure 9 - Verre réfléchissant

Ces couches peuvent être de plusieurs natures:

- couches pyrolytiques à base d'oxydes métalliques déposées sur un verre clair ou coloré; elles sont placées en position 1 ou 2, en simple ou double vitrage; ces verres sont disponibles en environ une demi-douzaine de coloris différents
- couches sous vide à base d'oxydes métalliques ou de métaux; ces couches étant plus fragiles que les couches pyrolytiques, elles sont utilisées en position 2 et doivent dans certains cas obligatoirement être placées à l'intérieur d'un double vitrage; ces verres sont disponibles en un très grand nombre de coloris; les performances en terme de contrôle solaire et de sélectivité de ces couches sont supérieures aux couches pyrolytiques.

Comme pour les verres absorbants, il faut veiller au problème de casse thermique lorsque l'on utilise des verres réfléchissants.

5 PROBLÈMES DE CHOC THERMIQUE

Un bris par choc thermique se produit s'il existe entre deux zones d'un verre recuit une différence de température trop importante. En effet, si la température du vitrage augmente, celui-ci se dilate; ce phénomène ne présente pas d'inconvénient si l'augmentation de température est uniforme sur tout le vitrage. Par contre, si une partie du vitrage reste froide, elle empêchera la partie chaude de se dilater librement et il en résulte la naissance de contraintes de traction qui sont susceptibles de dépasser la contrainte de rupture du verre.

Les allèges doivent toujours être trempées ou durcies.