

## La fenêtre et son rôle dans la conception des maisons bioclimatiques

N. Benradouane<sup>1</sup> et B. Benyoucef<sup>2</sup>

Unité de Recherche de Matériaux et Energies Renouvelables,  
Université Abou Bekr Belkaïd, B.P. 119, Tlemcen

**Résumé** - La fenêtre est un des plus complexes et coûteux composants du bâtiment bioclimatique dus au grand nombre de rôles contradictoires qu'elle doit jouer: ▲ éclairage et occultation, ▲ vue dehors et recherche d'intimité, ▲ pénétration du soleil et protection solaire, ▲ Etanchéité et ventilation. En plus des qualités techniques nécessaires pour assurer le confort thermique et visuel, la fenêtre doit définir l'organisation de l'espace intérieur et situer l'entrée de la lumière du jour. Il a toujours été difficile de répondre à toutes ces demandes et certaines priorités dominent la conception des fenêtres. Ainsi, les meilleurs exemples montrent une liaison entre: ➤ les dimensions et l'orientation; ➤ le climat et les systèmes de protection contre les déperditions thermiques ou les apports solaires. Notre travail consiste en une conception d'une fenêtre adaptée au projet architectural que nous réalisons: la conception d'une maison photo- solaire. Nous allons voir, - les caractéristiques du type de vitrage qu'on a choisi ainsi que son système de contrôle, - l'utilisation du vitrage multiple pour réduire la perte thermique, - les différents types de revêtement, - les intercalaires et les châssis.

**Abstract** - The window is one of most complex and expensive components of the bioclimatic building due to the great number of contradictory parts which it must play: \* lighting and screening, \* sight outside and search for intimacy, \* penetration of the sun and solar protection, \* sealing and ventilation. In addition to technical qualities necessary to ensure thermal and visual comfort, the window must define the organization of interior space and to locate the entry of light of day. It was always difficult to answer all these requests and certain priorities dominate the design of the windows. Thus, the best examples show a connection between: ➤ dimensions and orientation; ➤ systems of protection against the thermal losses. Our work consists on a design of a window adapted to the architectural project which we carry out: design of a solar photo house. We will see: - characteristics of the type of glazing which one chose like his control system, - the use of the multiple glazing to reduce the thermal loss, - different types of coating, - guides and frames

**Mots clé:** Vitrage multiple - Isolation thermique des fenêtres - Conception des fenêtres solaires - Revêtements des fenêtres - Châssis – Transmission thermique – Conception bioclimatique.

### 1. INTRODUCTION

Grâce au verre, la maison s'ouvre au soleil et devient un grand capteur. La façade Sud se différencie des autres façades car elle sera très largement vitrée. Cela peut paraître paradoxal puisque le vitrage est une grande source de déperditions. Mais pour certaines orientations favorables, il piège aussi beaucoup de chaleur. Dans la majorité des cas, il est très favorable pour un vitrage Sud. Mais il faut différencier les façades en traitant de manière spécifique les ouvertures de chacune d'elles. Les règles générales à respecter, et que l'on adaptera de cas en cas en fonction de particularités locales [1]:

---

<sup>1</sup> nahnor@yahoo.fr

\* L'orientation Sud est toujours favorable. La façade Sud doit abondamment s'ouvrir.

\* Les orientations Sud-Est et Sud-Ouest sont encore favorables, mais des précautions s'imposent notamment en altitude.

\* Les orientations Est et Ouest ne seront jamais favorables, sauf avec certains types de vitrages.

Trop de surface à l'Ouest conduit à des surchauffes en été. Les ouvertures sur cette façade seront donc dimensionnées au plus juste pour satisfaire aux conditions de l'éclairage naturel.

On pourra accepter à l'Est des surfaces de vitrage qui apporteront le matin un éclairage et un peu de chaleur très agréables.

\* L'orientation Nord n'est jamais favorable. Les ouvertures sur cette façade seront minimales. Et la dispersion intérieure du faisceau lumineux est importante pour bien répartir la chaleur.

Pour mettre en œuvre les apports solaires on peut utiliser les baies vitrées, les vérandas et les murs capteurs (murs Trombe par exemple), pour capter plus de chaleur.

## 2. DEPERDITION PAR VITRAGES

La quête des apports solaires va en effet lui conférer une seconde mission très sélective, celle de piéger le rayonnement électromagnétique venant du soleil au moyen d'un matériau de prédilection: le verre. Celui-ci est transparent aux rayonnements de courtes longueurs d'onde du domaine 'visible' qui représentent la majeure partie de l'énergie solaire.

Après la traversée du vitrage, ces rayons atteignent les murs, les planchers et le mobilier intérieurs qui s'échauffent plus ou moins en fonction de leur couleur, provoquant ainsi la réémission d'un rayonnement de grande longueur d'onde (infrarouge) que le verre ne laisse plus passer 'l'effet de serre' [2]:

Les pertes par les vitrages représentent en moyenne 25 à 35 % des pertes totales. Il existe pourtant plusieurs dispositions assez efficaces pour réduire leur influence:

### 2.1 Différencier les façades

Dans certaines conditions, un vitrage reçoit en hiver, grâce à l'ensoleillement, plus d'énergie qu'il n'en perd. Il faut donc vitrer davantage les façades favorisées (c'est-à-dire les façades Sud-Est, Sud et Sud-Ouest).

### 2.2 Eviter les menuiseries métalliques

L'aluminium étant un matériau très conducteur de chaleur et beaucoup plus cher. On préférera donc les menuiseries en bois ou en PVC. D'ailleurs ce dernier est le matériau permettant de meilleures performances.

### 2.3 Choisir systématiquement une lame d'air de 12 mm

Avec les doubles vitrages; cela augmente de 10 % la résistance thermique de la fenêtre.

### 2.4 Recourir aux vitrages peu émissifs

Les vitrages peu émissifs sont des doubles vitrages avec lame d'air 12 mm, dont l'une des glaces est revêtue d'une couche d'oxyde métallique. Cette couche interdit le passage du rayonnement provenant de l'intérieur du logement, ce qui diminue de plus

d'un tiers les déperditions. Il n'existe pratiquement pas de différence esthétique visible entre les vitrages clairs et les vitrages peu émissifs.

### 2.5 Prévoir de bonnes isolations amovibles aux vitrages

La nuit, le bilan thermique d'un vitrage est toujours négatif : On prévoira sur tous les ouvrants des occultations soignées, dotées d'une lame d'air immobile entre elles et le vitrage. La solution de base peut être un volet roulant à lames jointives, des volets en bois à joints périphériques, etc. On peut aller encore plus loin avec des volets en bois à âme isolante, c'est une question d'arbitrage budgétaire.

## 3. PROPRIETES ET PERFORMANCES DES VITRAGES

Si l'on examine le cheminement de l'énergie lumineuse arrivant sur un vitrage clair, on observe une part directement réfléchiée, une part absorbée par le vitrage et une part transmise.

La part absorbée se décompose elle-même en une part réémise vers l'extérieur et une part réémise vers l'intérieur.

La part réfléchiée présente des caractéristiques intéressantes car elle dépend de l'angle d'incidence du rayon sur la vitre. Quant à l'absorption, elle dépend du type de verre et surtout de la longueur de parcours dans le vitrage, mais son effet est beaucoup plus limité que celui de la réflexion.

Toutes influences confondues, le taux de transmission d'un vitrage en fonction de l'angle d'incidence du rayon lumineux est donné par la figure 1.

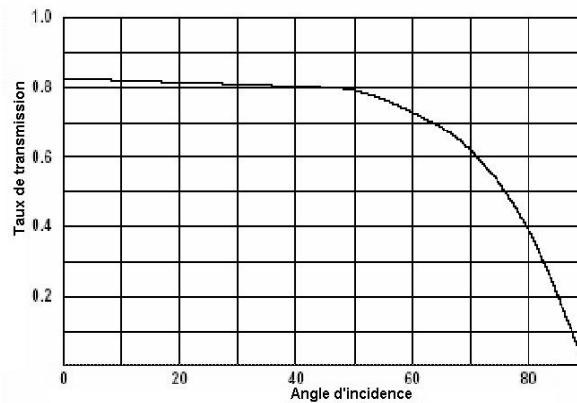


Fig. 1: Taux de transmission d'un vitrage en fonction de l'angle d'incidence du rayonnement

On remarque que:

- ✓ Le taux de transmission est pratiquement constant jusqu'à des angles d'incidence compris entre 40 et 50°.
- ✓ Ce taux chute alors brutalement pour devenir nul avec  $i = 90^\circ$ .

Cette propriété du vitrage est intéressante : grâce à elle un rayon solaire à midi en été sur une façade Sud ne pénétrera que très peu dans un logement, alors qu'en hiver ce rayon traversera le vitrage sans difficulté. Ainsi, en jouant sur les propriétés de réflexion des vitrages, on aura en façade Sud une régulation naturelle des flux entrant en fonction de la saison.

#### 4. CONVERSION PHOTO-THERMIQUE PAR VITRAGE

L'interposition d'un vitrage sur le trajet d'un rayonnement solaire et d'une surface absorbante donne un gain considérable dans le captage des calories du soleil. Le corps chauffé recevra, du soleil, à travers le vitrage, une énergie presque identique à celle qui recevrait directement sans vitrage. Par contre, le verre piège une partie du rayonnement thermique émis par la surface vers l'espace.

La température d'un corps éclairé sous vitrage atteint une valeur beaucoup plus grande que s'il rayonnait à l'air libre. D'après Fabry, l'élévation de température est la même que si le corps recevait une énergie égale à  $2 E$  ( $E$  étant l'énergie solaire incidente).

Une vitre d'épaisseur  $e$  ( $0.2 \div 0.5$  cm) ne diminue que faiblement le rayonnement incident. En incidence normale, la transparence d'une vitre est quasi totale. La vitre est pratiquement opaque au rayonnement émis par la surface absorbante (absorbeur) de température  $T$  ( $T < 500$  °C).

La vitre absorbe l'infrarouge émis par une surface et le réémet, la moitié vers l'extérieur et l'autre moitié vers la surface émettrice, et de cette façon la température de cette surface s'élève (effet de serre). Par suite le rayonnement infrarouge de la surface éclairée sous vitrage augmente et se déplace vers les courtes longueurs d'ondes. La température de l'absorbeur entre dans la bande de transmission du verre [3].

Le maximum d'émission d'une surface éclairée est donné par la loi de Wien:

$$\lambda_{0\max} \times T = 2989 \mu \text{ m K} \quad (1)$$

**Tableau 1:** Longueurs d'ondes suivant certaines températures

T (°C)	100	200	300	400	500
$\lambda_{\max}$ ( $\mu \text{ m}$ )	8	6.3	5.2	4.4	3.9

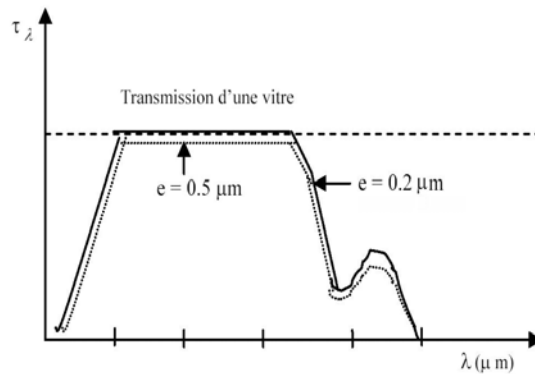


Fig. 2: Transmission d'une vitre

La propagation de la lumière à travers une vitre provoque une atténuation de la lumière par transmission, par absorption et par réflexion. L'intensité de sortie ( $I_s$ ) d'un rayon incident ( $I_0$ ) sur une vitre d'épaisseur ( $e$ ) est régie par la loi de Beer- Lambert:

$$I_s = (1 - R)^2 \times I_0 \times e^{-\alpha e} \quad (2)$$

$\alpha$  = Coefficient d'absorption de la vitre;  $R$  = Coefficient de réflexion sur la vitre

$$R = \frac{1}{2} \cdot \left[ \frac{\operatorname{tg}^2(\theta_r - \theta)}{\operatorname{tg}^2(\theta_r + \theta)} + \frac{\sin^2(\theta_r - \theta)}{\sin^2(\theta_r + \theta)} \right] \quad (3)$$

$\theta$  et  $\theta_r$  sont les angles d'incidence et de réfraction sur la vitre.

Les propriétés optiques moyennes d'un vitrage dans les deux bandes spectrales, celle du rayonnement solaire,  $\lambda < 3 \mu\text{m}$ , et celle du rayonnement thermique de basse et moyenne température  $\lambda > 3 \mu\text{m}$  est donnée dans ce tableau ci-dessous:

**Tableau 2:** Propriétés optiques d'un vitrage

Bande spectrale( $\mu\text{m}$ )	Absorptivité	Réfectivité	Transmittivité
$0.5 \leq \lambda \leq 3$	$\alpha_1 \approx 0$	$\rho_1 = 0.05$	$\tau_1 = 0.95$
$\lambda > 3$	$\alpha_2 = 0.65$	$\rho_2 = 0.3$	$\tau_2 = 0.05$

Le tableau suivant nous montre le transfert de chaleur à travers différents de vitrages [4].

**Tableau 3:** Echange de chaleur à travers les vitrages

Type de vitrage	Coefficient ( $\text{kW/m}^2\text{°C}$ )	Transparence (%)	Facteur solaire (%)
Verre clair			
Simple vitrage, 4mm	6.0	88	83
Double vitrage A lame d'air (4-12-4)			
Double vitrage avec traitement de surface 'low E' à lame d'argon (4-12-4)	1.5	77	65
Triple vitrage à lame d'air (4-12-4-12-4)	2.0	72	67
Triple vitrage avec traitement de surface 'low E' à lame d'argon	1.2	70	60
Double vitrage à vide avec traitement de surface 'low E' (4-12-4)	0.5	77	65
Double vitrage moyennement réfléchissant avec traitement de surface 'low E' (6-12-6)	1.6	29	39
Double vitrage, bronze avec traitement de surface 'low E' (6-12-6)	1.6	9	13

Energie en  $\text{kWh/m}^2$

## 5. APPLICATION AU SITE DE TLEMCCEN

### Energie incidente et transmission par vitrages sur une maison au site de Tlemcen

Les estimations des énergies (incidentes et transmises) sur vitrage vertical (1-simple, 2-double, peu émissif), à différentes orientation sur site de Tlemcen et à ciel clair sont représentées sur le **tableau 4**:

**Tableau 4:** Transmission d'énergie saisonnière ou annuelle par le vitrage à Tlemcen (ciel bleu clair)

Orientations	Incident transmis	Toute l'année $10^5$	période d'hiver $10^5$	période d'été $10^5$
Sud	Incident	12.35	3.88	1.69
	-Simple	9.63	3.15	1.27
	-double	7.99	2.64	1.04
	-Peu émissif	7.28	2.41	0.94
S. E et S. O	Incident	11.46	2.91	2.48
	-Simple	9.05	2.32	1.88
	-double	7.51	1.93	1.56
	-Peu émissif	6.38	1.76	1.42
Est Et Ouest	Incident	8.38	1.28	2.77
	-Simple	6.53	0.99	2.16
	-double	5.42	0.84	1.79
	-Peu émissif	4.93	0.76	1.63

## 5. CONCLUSION

✓ Soit pour la façade sud d'une surface de 30 m<sup>2</sup> dont 20 m<sup>2</sup> en double vitrage et 10 m<sup>2</sup> en double paroi, l'augmentation de température obtenue à l'intérieur est de 5 à 6.5 ° en période hivernale et de 2 à 3 °C en période estivale.

✓ Pour la façade Est, la conception de la façade est tout autre à savoir pour une surface de 36 m<sup>2</sup> dont 5 m<sup>2</sup> en double vitrage et 31 m<sup>2</sup> en double paroi, l'augmentation de la température est de 1 à 2 °C en période hivernale et de 2 à 3 °C en période estivale. Ce qui s'applique à la façade Ouest.

✓ Pour le toit d'une surface de 120 m<sup>2</sup>, sa contribution à l'élévation de la température est importante plus en été qu'en hiver, puisque il est constaté pour la période hivernale une augmentation de 2.3 à 5° et en période estivale de 5 à 6.7°.

✓ Il va de soit que le manque d'avantage en incidence solaire sur la façade Nord nous incite à minimiser au maximum les surfaces vitrées.

## REFERENCE

- [1] A. Dupagne and P. Leclercq, '*La Climatologie comme Facteur Modifiant du Projet Urbain*', Publications de l'AIC, Association Internationale de Climatologie, Université de Liège, Paris, 1995.
- [2] A. Goetzberger, J. Schmid and V. Wittwer, '*Transparent Insulation System for Passive Solar Utilization in Buildings*', 1<sup>st</sup> E.C. Conference on Solar Heating, Amsterdam, 1984.
- [3] F. Benyarou, '*Cours EN 01*', 1999 - 2004, Université de Tlemcen.
- [4] Livios, '*Guide de Construction - Vitrage à Isolation Thermique*'.