



## Effacité Énergétique de la Paroi Vitrée dans la Conception Thermique des Enveloppes des Bâtiments

H. Maaden\*<sup>a</sup>, A.M. Mokhtari <sup>a</sup>, N. Boualla <sup>a</sup>, B. Djebbar <sup>a</sup>

<sup>a</sup>Département de Génie Civil, Université des Sciences et de la Technologie Mohamed Bou diaf Oran USTOMB, Algérie.

\*Corresponding author. [hafsamad@yahoo.fr](mailto:hafsamad@yahoo.fr)

Received. March 22, 2016. Accepted. April 15, 2016. Published. September 10, 2016.

DOI: <https://doi.org/10.58681/ajrt.16000102>

**Résumé.** La paroi vitrée, étant un élément de l'enveloppe, joue un rôle important sur le plan de la consommation d'énergie et du confort dans les bâtiments. L'optimisation de ses performances doit cependant répondre à des exigences contradictoires ; apports solaires de chauffage en hiver, protection solaire en été, apports de lumière naturelle...etc.

Nous présentons une étude qui permet d'analyser l'efficacité énergétique de la fenêtre dans la conception thermique du bâtiment en vue d'un apport énergétique en période hivernal et une charge thermique minimale durant la période estivale. Plusieurs variantes telles que l'orientation des fenêtres, type de vitrage, le nombre de surface vitrée ont été simulées en utilisant le logiciel dynamique TRNSYS. Les résultats obtenus ont permis de montrer l'importance du vitrage dans la conception énergétique. Un compromis peut être d'ailleurs établi entre l'aspect esthétique de l'habitat, le confort thermique et l'économie d'énergie.

**Mots-clés.** Parois vitrée, Enveloppe, Simulation, Besoins d'énergies, Confort thermique.

### INTRODUCTION

Ces deux dernières décennies, les grands volumes vitrés en façade ont été l'objet d'un véritable engouement. Ils ouvrent virtuellement le bâtiment, sur l'extérieure toute en protégeant les occupants des intempéries. Ils sont très appréciés des architectes pour des raisons esthétiques mais aussi en raison aux symboles qu'ils peuvent véhiculer à travers la transparence et la prouesse technologique (Mora, 2003).

En Algérie, ces dernières années le taux des constructions avec des grandes surfaces vitré en façade à évoluer rapidement. L'utilisation de ce système de construction en absence d'un règlement thermique engendre des problèmes considérables surtout avec les conditions climatiques de notre pays (surchauffe, éblouissement...).

Comme exemple les constructions implantées à Oran, les concepteurs n'ont même pas respecté les règles fondamentales de l'orientation du vitrage (Maaden, 2006).

Par conséquent, notre objectif est de chercher les moyens de contrôle et d'intégration au climat des constructions avec des grandes baies vitrées, pour assurer le confort thermique sans pour autant utiliser des grands dispositifs mécaniques qui consomment de l'énergie.

### **LA FENÊTRE COMME CAPTEUR D'ÉNERGIE**

Outre sa contribution à l'esthétique de la façade et au caractère prestigieux du bâtiment, la fenêtre joue un rôle important sur le plan de l'énergie et du confort. L'optimisation des performances de la fenêtre dans ces deux domaines doit cependant répondre à des exigences contradictoires ; apports solaires de chauffage en hiver, protection solaire en été, apports de lumière naturelle, de limitation de l'éblouissement des occupants et la ventilation des locaux.

Vu l'importance de la fenêtre il faut bien comprendre son comportement vis-à-vis aux charges intérieures et aux charges extérieures et pour cela il faut prendre en compte les facteurs suivants :

- le type de construction (immeuble domestique, immeuble tertiaire).
- les apports internes dans le bâtiment.
- la présence d'un masque solaire.
- l'orientation de la façade vitrée.
- le type de la protection solaire utilisée (Sidler, 2003).

### **La performance énergétique d'une fenêtre**

La fenêtre joue un rôle primordial dans les constructions, Ce qui nous mené à étudier les différents constituants de cet élément. En générale la fenêtre est composée de trois parties :

- le cadre.
- le châssis.
- le vitrage.

### **La partie Cadres et châssis**

Une fenêtre se compose d'un vitrage, d'un cadre et d'un châssis. Le vitrage est maintenu en place par le châssis, qui est placé dans un cadre. Le cadre et le châssis peuvent représenter jusqu'à un tiers de l'aire totale de la fenêtre.

Les châssis se différencient entre eux par leur matériau constitutif principal (bois, pvc, aluminium..), par leur mode d'ouverture, par le détail du profil des ouvrants.

### **La partie vitrée**

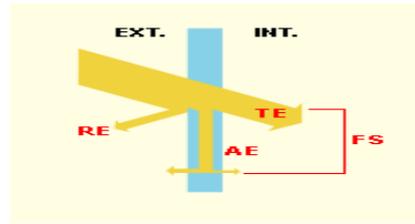
Le vitrage est le terme générique qui désigne le matériau transparent, ou parfois translucide, d'une fenêtre ou d'une porte (CD-ROM énergie+).

#### *La performance énergétique et lumineuse du vitrage*

Le premier rôle d'une baie vitrée est :

- d'assurer le confort visuel et thermique des occupants.
- de gérer les apports solaires en toutes saisons en optimisant l'énergie disponible.

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 (Fig. 1).



Simple vitrage

**TE** : facteur de transmission directe du vitrage, **RE** : facteur de réflexion directe, **AE** : facteur d'absorption directe, **FS** : facteur solaire de transmission totale d'énergie à travers le vitrage.

Fig. 1. Les facteurs énergétiques du verre (CD-ROM énergie+).

De ce point de vue, les vitrages sont caractérisés par 3 facteurs :

- facteur lumineux "TL".
- facteur énergétique vis-à-vis du soleil le facteur solaire FS.
- facteur thermique "U" (anciennement "k").

### La technologie des vitrages

Dû au développement technologique, on a sur le marché une grande variété de vitrage, le choix du concepteur dépendra des besoins voulus pour la construction et sa destination.

Les vitrages les plus utilisés dans un mur-rideau :

- vitrage isolant thermique.
- vitrage réfléchissant.
- vitrage absorbant.

### L'ENVIRONNEMENT DE SIMULATION TRNSYS 15 ET IISIBAT 3

TRNSYS est un programme de simulation avec un système déstructure modulaire. Son environnement graphique IISiBat 3 appuie l'utilisateur dans les deux aspects avec un éditeur de modèles et un éditeur de projets (Fig. 2) (Trnsys, 1996).

PREBID est un logiciel permet de rédiger un fichier de description du bâtiment en spécifiant les murs, ouvertures, orientations, etc.

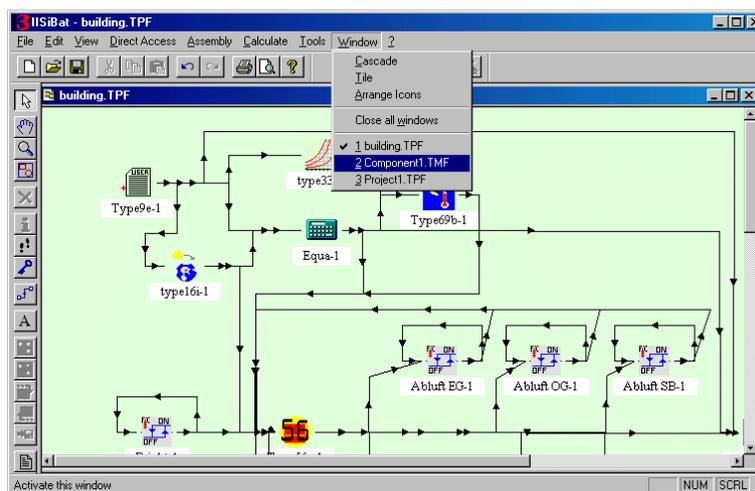


Fig. 2. Éditeur de projet dans TRNSYS 15 avec IISibat 3.

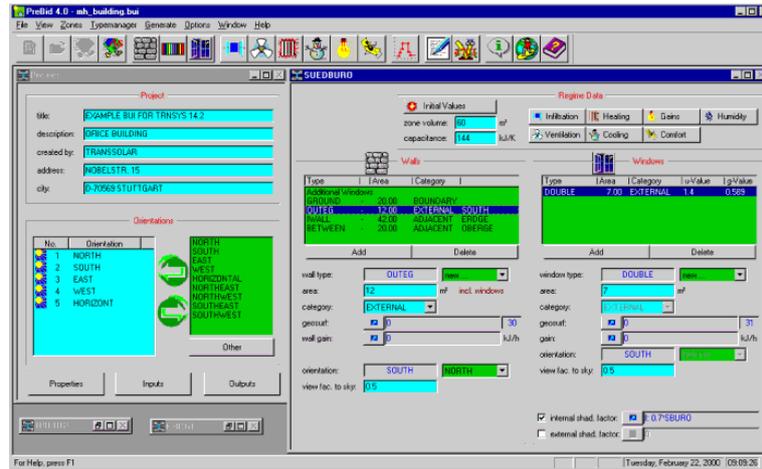


Fig. 3. Description du bâtiment dans PREBID 4.

Le bilan thermique (convectif) du local exprime le fait que la variation de la température d'air est due à la somme du flux convectif relatif au renouvellement d'air, du flux convectif que fournissent le système de chauffage et les divers processus présents dans le local, et enfin des flux convectifs échangés entre les parois et l'air du local (Mokhtari, 1988).

$$\sum_{i=1}^{N_s} S_i h_{c,i} (T_{Si} - T_i) + \dot{m}_a C_a (T_a - T_i) + A_p = \rho_a C_a V \frac{dT_i}{dt} \quad (1)$$

Où :

$\dot{m}_a$  : débit d'air entrant dans la zone [Kg/s]

$C_a$  : chaleur spécifique de l'air [J Kg/K]

$\rho_a$  : masse volumique de l'air (supposée constante) [Kg/m<sup>3</sup>]

$V$  : volume de zone [m<sup>3</sup>]

$A_p$  : apports internes convectifs [W]

$T_a$  : température de l'air entrant dans la zone [K]

Dans le cas où une puissance convective serait fournie au local afin de maintenir la température de consigne  $T_c$ , on obtient l'écriture suivante qui permet de calculer cette puissance  $P_{conv}$  (Annabi, 2005):

$$\sum_{i=1}^{N_s} S_i h_{c,i} (T_{Si} - T_c) + \dot{m}_a C_a (T_a - T_c) + A_p + P_{conv} = 0 \quad (2)$$

## DISCUSSIONS ET RÉSULTATS

### Présentation des simulations réalisées

Le bâtiment simulé est une mono-zone de 20 m<sup>2</sup> de surface habitable et de hauteur de 3m construit sur terre pleine. Les caractéristiques thermo-physiques sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau. 1. Les caractéristiques thermiques des matériaux constituant l'enveloppe de la cellule.

Paroi	Matériau	$\lambda$ (W/m °C)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Cp (KJ/Kg °C)	e (cm)
Murs extérieurs	Enduit ciment	1.15	1800		
	Brique	1.75	2300	1	1
	Polystyrène	0.04	30	0.92	10
	Air	/	/	1.25	4
	Brique	1.75	2300	0.92	10
	Enduit ciment	1.15	1800	1	1

Plancher bas	Béton	1.75	2300	0.92	10
	Polystyrène	0.04	30	1.25	2.0
	Béton	1.75	2300	0.92	10
	Etanchéité supérieure	0.04	200	0.67	3.0
Plancher haut	Polystyrène	0.04	30	1.25	2.0
	Dalle de compression	1.75	2300	0.92	4.0
	Corps creux en ciment	1.14	1850	0.92	16
	Enduit en ciment	1.15	1800	1	1.5

*L'influence de l'orientation sur la température des ambiances*

La figure 4 présente, l'évolution libre de la température intérieure en mois de janvier dans un local où on a fixé la température intérieure a 00:00 h à 18<sup>0</sup>C et on a testé l'effet de l'orientation du vitrage sur la variation libre de la température intérieure. Les fenêtres ont une surface de 8m<sup>2</sup> équipées d'un double vitrage simple.

On constate que la température a chuté les premières heures de simulation ou elle est à 7h de 15.744<sup>0</sup>C. Après elle augmente pour différentes orientations ou on a un maximum pour une fenêtre orienté vers le sud de 22.70<sup>0</sup>C à 14h, on peut argumenter ça par l'accumulation des gains solaires. Pour les autres orientations le maximum est de 19<sup>0</sup>C pour l'Est, pour l'ouest et nord ont presque la même température intérieure.

De 14 :00h à 24 :00h pour toutes les orientations, on remarque une chute de température surtout pour le sud, elle est 18.58<sup>0</sup>C, mais elle reste dans la zone du confort.

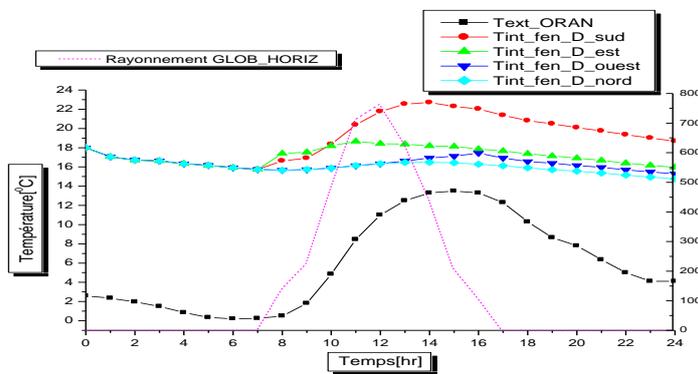


Fig. 4. Évolution de la température intérieure en fonction de l'orientation du vitrage (Oran\_1 janvier).

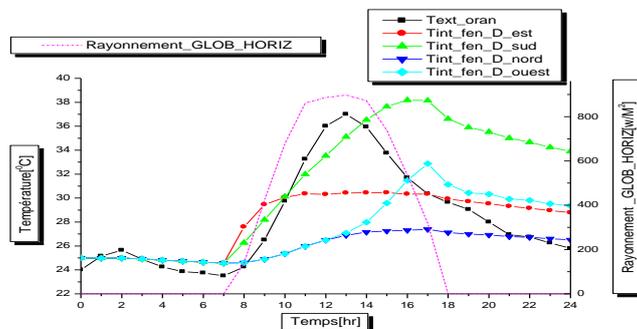


Fig. 5. Évolution de la température intérieure en fonction de l'orientation du vitrage (Oran\_1 Août).

La figure 5, montre la variation de la température en mois d'août pour un local en fonction de l'orientation du vitrage, on note ici qu'on a fixé la température à 25°C à 00 :00 h.

Le local étudié à une fenêtre de surface de 8m<sup>2</sup> équipée d'un double vitrage simple.

On remarque que la température intérieure du local avec une fenêtre vers l'Est augmente jusqu'au 30.11°C à 10 :00h.

La fenêtre qui est au nord se distingue des autres locaux par sa faible variation de température intérieure pendant la simulation, car les gains solaires au nord sont les plus faibles la température intérieure ne dépassent pas les 22.34 °C au moment où la température extérieure atteint les 32.6°C.

#### *L'influence du type de vitrage sur la température des ambiances*

La figure 6 et 7 présente la variation de la température intérieure pour un local avec une fenêtre orientée au sud en fonction de la qualité du vitrage.

Pour la figure 6 la température initiale est de 18°C. On constate qu'en absence de l'ensoleillement on voit clairement que le vitrage traité garde la température intérieure entre [18-17] °C comparé aux autres types du vitrage. C'est dû à son coefficient de transmission thermique U qui est le plus bas.

Le local avec vitrage traité garde le climat intérieur confortable, mais les apports solaires apportés par ce type de vitrage sont faibles, car après 9h la température dans le local avec double vitrage se distingue des autres locaux car il gagne de l'énergie plus qu'il perd à cause de son facteur solaire qui est important comparé au vitrage traité et à son coefficient U comparé au vitrage simple.

La figure 7 montre que le vitrage traité est plus efficace en été que les autres vitrages avec son facteur solaire le plus bas par rapport aux autres types du vitrage.

Alors, on peut conclure que pour les deux saisons le vitrage traité reste le plus avantageux, en hiver il joue le rôle d'un vitrage isolant avec son coefficient de déperdition le plus bas.

En été il contrôle le rayonnement solaire entrant, c'est dû à son FS qui est faible en contribuant ainsi à réduire les risques de surchauffe dû à l'effet de serre. On a un seul inconvénient c'est le confort visuel ou on a moins de lumière naturelle qui pénètre dans le local.

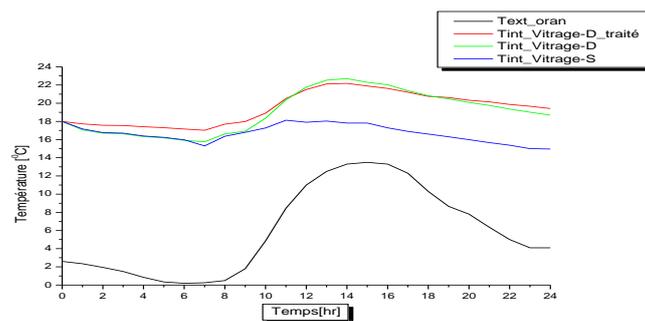


Fig. 6. Évolution de la température intérieure en fonction de la qualité du vitrage (Oran\_1 janvier).

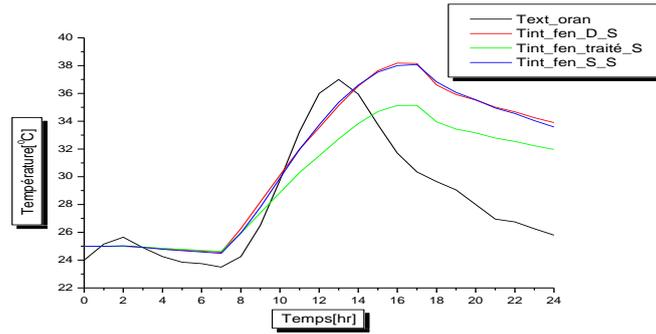


Fig. 7. Évolution de la température intérieure en fonction de la qualité du vitrage (Oran\_1 août).

### Calcul des besoins de chauffage et rafraîchissement

#### - L'orientation des fenêtres

La figure 8 et 9 présente les besoins du chauffage en fonction de l'orientation pour des locaux avec la même surface vitrée  $8m^2$ , et le même type de vitrage (double vitrage simple).

Pour la figure 8, on constate que l'orientation optimale est celle du sud, ou les besoins sont les plus faibles pendant toute la saison du chauffage. Mais il faut noter que la durée du chauffage est de six mois pour toutes les orientations, par contre pour le local équipé d'une ouverture vers l'Est est de cinq mois. Le début de la saison du chauffage est le même pour toutes les autres orientations.

Le cas le plus défavorable est celui du nord, où les gains solaires en hiver sont les plus faibles par rapport aux autres orientations.

Le cas le plus défavorable est celui du nord, où les gains solaires en hiver sont les plus faibles par rapport aux autres orientations.

Pour la figure 9, on distingue que pour une ouverture vers l'Est la période de l'utilisation de la climatisation en été est la plus longue est la plus grande, si on ajoute l'orientation vers l'Ouest ces deux cas sont les plus défavorables ou les besoins sont les plus élevés à cause des apports solaires du matin pour l'Est et l'après-midi pour l'Ouest.

Le cas le plus avantageux est celui du nord, où les apports solaires sont le plus faible, on peut dire que le sud à presque le même besoin en énergie dans certains mois-t-elle que le mois de juin et juillet mais on a une légère augmentation pour le mois d'octobre.

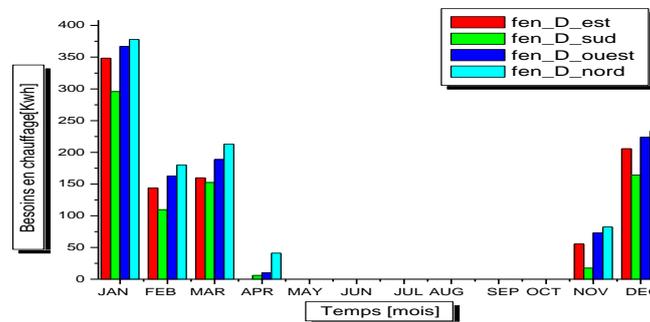


Fig. 8. L'influence de l'orientation sur les besoins de chauffage.

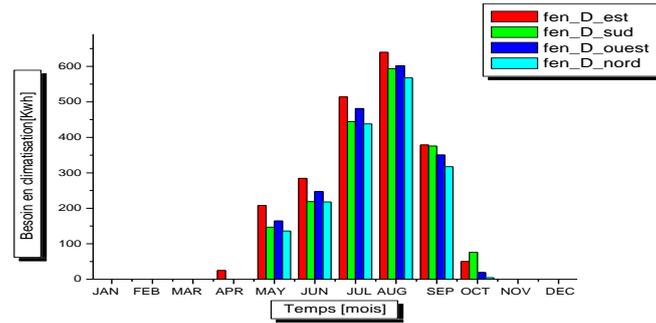


Fig. 9. L'influence de l'orientation sur les besoins de rafraîchissement.

- Le type de vitrage des fenêtres

Les figures 10 et 11 montrent les besoins en chauffage et en rafraîchissement en fonction de la qualité du vitrage, pour un local avec une fenêtre au sud, de surface 8 m<sup>2</sup>.

On constate clairement qu'en période de chauffage l'efficacité du double vitrage qui est dû à son indice FS élevé (plus d'apports solaires), quoique son coefficient de déperdition thermique soit inférieur à celui du vitrage traité mais grâce aux apports solaires il gagne plus qu'il perd en énergie.

Pour le local avec simple vitrage, on remarque qu'il a un bilan déficitaire devant les autres vitrages même avec un facteur solaire supérieur aux autres, mais il perd de la chaleur en déperdition plus qu'il gagne en apport grâce au soleil. En période de refroidissement, le vitrage traité a le bilan le plus favorable c'est dû à son indice solaire qui aide à la diminution de la consommation d'énergie.

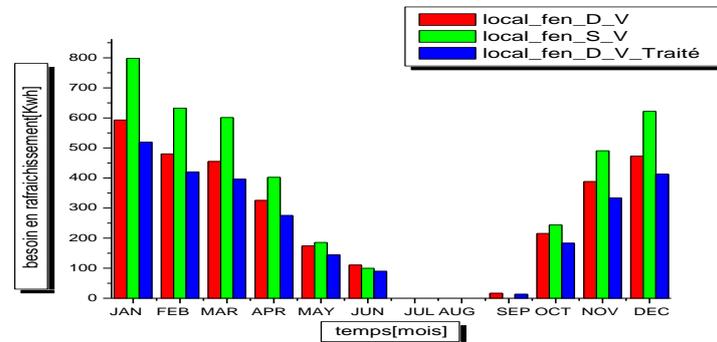


Fig. 10. L'influence du type du vitrage sur les besoins de chauffage.

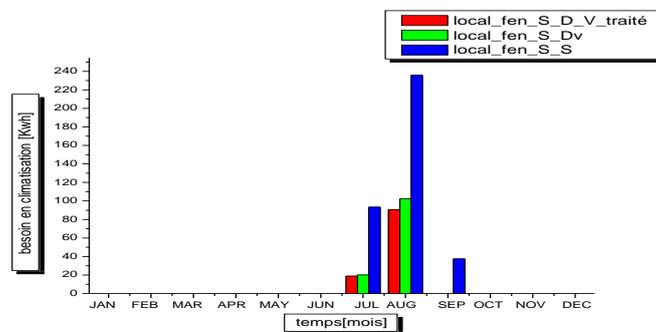


Fig. 11. L'influence du type du vitrage sur les besoins en rafraîchissement.

## CONCLUSION

Les résultats des simulations ont montré, qu'il faut prendre beaucoup de paramètres en compte lors de la conception des bâtiments avec des grandes surfaces vitrées. Le confort dans ce type de construction est difficile à atteindre.

Les grandes étendues de verre dans l'enveloppe extérieure du bâtiment provoquent durant les longues nuits d'hiver, de grandes pertes de chaleur pour toutes les orientations. Durant la journée, la radiation transmise au travers les vitrages donne lieu à une augmentation de température intérieure surtout pour les fenêtres au sud, pour l'est et l'ouest des apports solaires sont moins importante comparé à celle du sud. Pour le nord, une fenêtre a cette orientation ne faite qu'augmentée les déperditions en hiver.

En été, une abondante radiation se manifeste sur toutes les surfaces du bâtiment, excepte sur le nord. La pénétration des radiations solaires provoque dans les maisons non protégées une forte augmentation de la température intérieure, ou une grande consommation des produits frigorifiant pour les maisons climatisées surtout pour les fenêtres à l'est et l'ouest. L'emploi des stores extérieurs ou autres mesure de protection pour réduire les gains solaires est à conseiller pour les bâtiments de grandes surfaces vitrées, avec ou climatisation.

## RÉFÉRENCES

- Annabi, M., 2005. Mémoire de magistère. Université de l'USTOMB.  
CD-ROM énergie+, développé par le service climat et architecture, l'Administration de l'Énergie de la Région Wallonne, Belgique.
- Maaden, H., 2006. Mémoire de magistère. Université de l'USTOMB.
- Mokhtari, A.M., 1988. Thèse de doctorat. INSA de Lyon.
- Mora, L., 2003. Thèse de doctorat. Université de la Rochelle.
- Sidler, O., 2003. Confort et consommations d'énergie. Colloque Montpellier.
- Trnsys., 1996. Manuel d'Utilisation. Laboratoire d'Énergie Solaire. Université de Wisconsin-Madison. USA.