



Le vitrage solaire

SEMAI Hakim

Attaché de Recherche

Division Solaire Thermique et Géothermie - CDER

E-mail : h.semai@cder.dz

Introduction

Grâce à diverses techniques, le rayonnement solaire peut être transformé en une autre forme d'énergie utile pour l'activité humaine, notamment en chaleur et en électricité. Pour capter directement une partie de cette énergie, des procédés ont été développés et sont constamment améliorés. Pour une installation donnée, plusieurs composants de différents matériaux sont nécessaires pour sa mise en place. Parmi les composants fréquemment utilisés dans la plupart des installations solaires c'est bien la couverture transparente, que ce soit du verre ou du plastique. La particularité de ce composant est sa transparence au rayonnement solaire, de courtes longueurs d'onde (le visible et le proche de l'infrarouge), et son opacité aux rayonnements de grandes longueurs d'onde (infrarouge éloigné). Une telle caractéristique s'avère très avantageuse pour accentuer le phénomène "effet de serre" utile dans certaines applications solaires, notamment, les séchoirs solaires, les serres agricoles (de types chapelles, tunnels, etc.) et dans bien d'autres applications. Notre intérêt est porté sur le matériau verre ainsi que sur les techniques utilisées pour améliorer ses performances thermo-optiques.

Caractéristiques du verre comme couverture transparente

Le verre est utilisé comme couverture pour les installations solaires thermiques, en particulier pour un capteur solaire, en raison de sa relative opacité au rayonnement infrarouge réémis par l'absorbeur. En effet, le verre est un matériau fortement absorbant du rayonnement de grandes longueurs d'onde. Toutefois, l'hypothèse que le verre est totalement opaque pour la longueur d'onde infrarouge n'est pas encore exacte, en raison de la forte variation de la partie imaginaire de l'indice de réfraction complexe de la vitre, qui est caractérisé par deux bandes, environ 9,5 et 21,5 μm , de forte absorption et qui affectent sérieusement la distribution de température et le flux de chaleur à travers le vitrage (1). D'autre part, la quasi-totalité des études classiques suppose que le verre soit transparent pour le visible et le proche infrarouge, et les propriétés thermiques telles que la réflectance et l'absorbance, soient indépendantes de longueurs d'onde (2,3). En fait, toutes les propriétés thermiques sont fonction de la longueur d'onde et dépendent fortement des valeurs de l'indice de réfraction complexe n et k du matériau (n représentant la partie réelle de l'indice de réfraction complexe, k faisant référence à la partie imaginaire, appelé aussi coefficient d'extinction). En outre, n et k sont spectralement dépendants (1,4).

Du fait que le vitrage joue un rôle prédominant dans la collecte de l'énergie émise par le rayonnement solaire, un choix du matériau aux caractéristiques appropriées à une application donnée est nécessaire afin de renforcer les fonctions essentielles dudit vitrage, à savoir :

- Recevoir le maximum du rayonnement incident sans réflexion ni diffusion importante.
- Transmettre la plupart du rayonnement reçu.
- S'opposer aux déperditions thermiques par conduction et rayonnement.

Ainsi, le choix du vitrage s'établira suivant les caractéristiques suivantes :

- L'émissivité
- La transmission
- La réflexion
- L'absorptivité
- L'indice de réfraction

Techniques d'optimisation des performances thermiques et optiques du verre

Plusieurs études ont été réalisées dans le but d'optimiser le rendement des capteurs solaires. Parmi lesquelles, celles qui interviennent sur les performances thermiques et optiques de la couverture transparente. Plusieurs techniques utilisées ont permis d'apporter une amélioration notable sur le rendement thermique des dits capteurs:

- **Utilisation d'un verre à faible teneur en fer** : Réduire la teneur en fer d'un verre permet d'améliorer efficacement la transmission de la lumière et le rendre moins absorbant aux rayonnements solaires et par conséquent, d'optimiser le rendement thermique des collecteurs solaires. L'étude réalisée par Khoukhi et al. a montré que les températures moyennes mesurées sur le verre classique sont plus élevées que celles obtenues pour les verres à faible teneur en fer. Le flux de chaleur stationnaire transmis à travers la vitre, dans le cas du verre à faible teneur en fer, est plus élevé que celui obtenu pour la couverture en verre clair et par conséquent, le rendement instantané du système est plus élevé dans le cas d'une couverture en verre à faible teneur en fer (5).
- **Utilisation des couches poreuses de silice comme revêtement anti-reflet** : Un revêtement à l'aide d'une couche poreuse de silice de 110 nm et d'une porosité d'environ 35% augmenterait la transmission de la lumière d'un verre de borosilicate à 550 nm de 92% à 97% (6). La figure 1 montre



la transmission lumineuse obtenue à l'aide d'un verre doté d'une couche de revêtement à base de SiO_2 poreux par procédé sol-gel, en comparaison avec le taux de transmissivité obtenu avec un verre ordinaire (7).

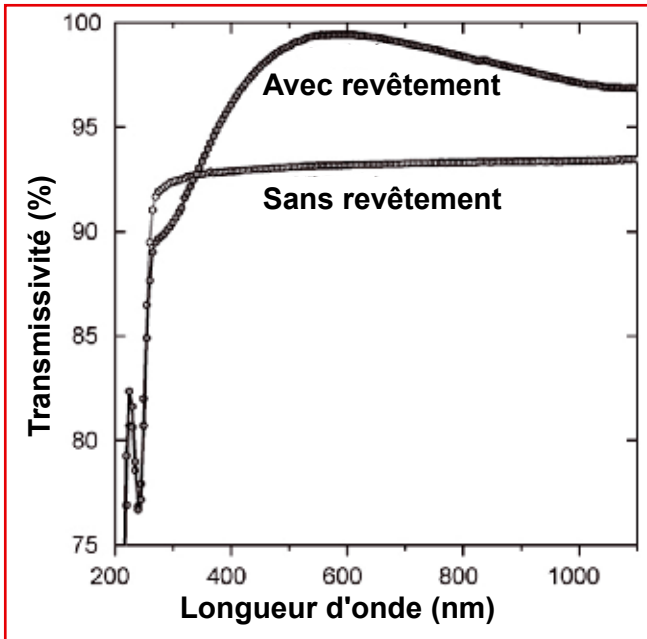


Figure 1 : Transmissivité spectrale du verre : Verre de silice (4 mm) revêtu de SiO_2 poreux par procédé sol-gel (7).

• **Utilisation des verres nano-structurés :** La nano-structuration est l'une des techniques qui permet d'améliorer la clarté du verre et ainsi d'augmenter sa transmissivité aux rayonnements lumineux. Le procédé de nano-structuration utilisé pour une vitre d'une cellule solaire a permis une amélioration des performances des cellules solaires en raison d'une augmentation de la transmissivité optique à travers le filet de verre nano-structuré (8). La mesure de la transmission des nanostructures de hauteur inférieure à 400 nm, telle que présentée sur la figure 2, présente une augmentation de la transmission optique sur l'ensemble de la gamme spectrale de longueur d'onde allant de 300 nm à 800 nm. Le verre normal montre une transmissivité de 92% pour les grandes longueurs d'onde (450 nm-800 nm) et moins de 85% pour les petites longueurs d'onde (300 nm-350 nm). Des échantillons des nanostructures, de 10nm de hauteur, montrent une transmissivité de 95% sur la plupart de la gamme spectrale, ce qui représente une amélioration de 10% dans la gamme de courtes longueurs d'onde (350 nm-450 nm) et une amélioration de 3% dans la gamme des grandes longueurs d'onde. Cependant, toutes les nanostructures avec des hauteurs allant jusqu'à 400 nm montrent une amélioration dans la transmission optique.

• **Surface ondulée du collecteur :** La conception de capteurs solaires adaptés qui conduit à augmenter le gain d'énergie utile et de réduire les pertes de chaleur, par le biais principalement de la face supérieure, est le principal sujet de nombreuses recherches qui recommandent l'utilisation des surfaces fines ou ondulées pour améliorer le rendement thermique des capteurs (9).

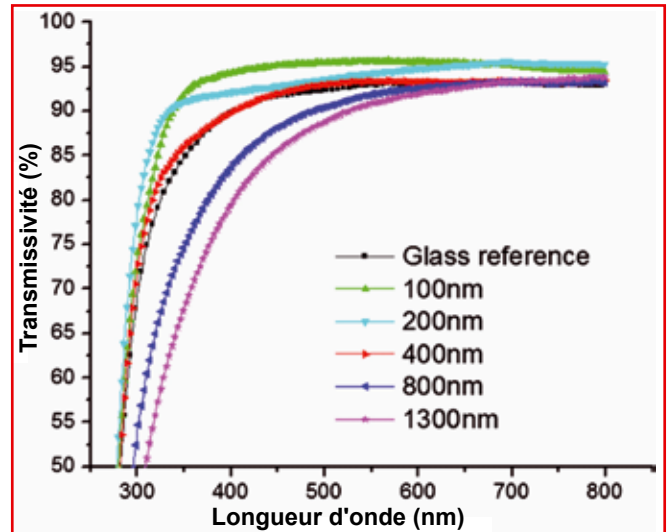


Figure 2 : Transmissivité de verres normaux et nano-structurés, mesurée avec un spectrophotomètre UV-visible (8)

• **Vitrage à couvertures combinées (plastique-verre) :** Il découle de l'analyse menée sur les capteurs à couverture combinée «plastique-vitre» que les performances thermiques sont sensiblement meilleures que celles du capteur à double vitrage de même type, car la valeur du rendement optique ($\tau\alpha$) du premier capteur cité est légèrement plus élevée que celle du second, et les pertes thermiques sont approximativement égales pour les deux capteurs(10). Néanmoins, le plastique à tendance à perdre ses caractéristiques optiques en vieillissant et en particulier quand ce dernier est exposé aux conditions environnementales extérieures.

Production nationale (MEDITERRANEAN FLOAT GLASS) (11) :

Les verres sont des matériaux de récupération d'énergie à court terme avec une compatibilité environnementale appropriée pour les concepts d'énergie durable. Ainsi, plusieurs industries du verre s'engagent d'avantage dans l'amélioration du produit verrier pour offrir une large variété du dit produit et ce, pour différentes applications. Cependant, une des plus importantes installations de production de verre plat au niveau national est détenue par le groupe CEVITAL. Le complexe industriel «Mediterranean Float Glass, MFG» s'étend sur une superficie de 30 Ha, situé à l'Arbâa (30 km sud-est d'Alger). MFG est la plus grande ligne de verre float en Afrique en terme de capacité de production, 600 tonnes /jour.

Epaisseur (mm)	Dimensions du verre			Nombre de feuilles par pile
	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Epaisseur (mm)	
2	6000	3210	3	19
4	6000	3210	3.876	15
5	6000	3210	5	11
6	6000	3210	6	9
8	6000	3210	8	7
10	6000	3210	10	5
12	6000	3210	12	4



Tableau 2. Fiche technique du produit verre clair MFG (11)

Épaisseur (mm)	Lumière		Énergie			Transmission	
	Transmission	Réflexion	Transmission	Réflexion	Absorption	Facteur solaire (g) EN 410	UV EN 410
	TL EN 410	RL EN 410	directe TE EN 410	RE EN 410	AE EN 410		
3	90.7	8.1	85.9	7.7	5.4	88%	67%
4	90.5	8.1	85.5	7.7	5.7	88%	67%
5	90.2	8	84.5	7.5	8	87%	63.2%
6	89.5	8	83.9	7.5	8.5	86%	61%
8	89.1	8	80.4	7.2	12.4	84%	55.3%
10	88.7	7.9	78.3	7.1	14.5	82%	51.8%
12	88.7	7.9	78.3	7.1	14.5	82%	51.8%

Tableau 1. Conditionnement du produit verre clair MFG (11)

Conclusion

Une couverture efficace doit minimiser l'absorption et la réflexion du rayonnement solaire afin que la plus grande quantité d'énergie atteigne l'absorbeur. Divers matériaux (verre, matière plastique) ont été utilisés pour la fabrication des couvertures transparentes. Les premières couvertures construites en matière plastique réduisaient les coûts, mais ont une durée de vie réduite. Puis, les couvertures plastiques renforcées par des fibres de verre vont prolonger la durée de vie sans progrès sur la performance du capteur. Finalement, le verre allie efficacité et durée de vie de la couverture surtout avec l'avènement des verres sélectifs (le verre blanc antireflet à faible teneur en fer) qui réduisent la réflexion et augmentent la transmission de l'énergie solaire (12,13). Néanmoins, dans le choix du matériel de recouvrement, certains critères devront être pris en considération selon les normes préétablies et le domaine d'utilisation, à savoir :

- Le poids du matériel : il est plus facile d'installer une matière plastique que du verre sur une toiture de serre ou une installation d'une grande envergure.
- La couverture doit présenter une bonne résistance aux chocs, aux brusques variations de température ainsi qu'aux températures élevées.
- Une couverture de bonne qualité optique et d'excellente durabilité.
- Un coefficient de transfert de chaleur U ($W.m^2.K^{-1}$) réduit : Plus grande est la valeur de celui-ci, plus importantes sont les pertes.

Références

(1) M. Khoukhi, S. Maruyama, S. Sakai and B. Behnia. «Combined non gray radiative and conductive heat transfer in solar collector glass-cover». Sol. Energy, 75, 285-293. (2003).

(2) J. Duffie and W.A. Beckman, Sol. «Energy Thermal Process». John Willey and Sons, chapters 4-7.

(3) J.R. Howell, R.B. Bannerot and G.C. Vliet. «Solar Thermal Energy System, Analysis and Design». McGraw-Hill, chapters 2-5, (1982).

(4) M. Khoukhi, S. Maruyama and S. Sakai. «New theoretical approach of a flat plate solar collector taking into account the absorption and emission within glass cover layer». Ren. Eng. (2003).

(5) M. Khoukhi, S. Maruyama, S. Sakai. «Non-gray calculation of plate solar collector with low iron glazing taking into account the absorption and emission with a glass cover». Sol. Energy, 156-162. (2007).

(6) Hensch, G., Radlein, E., Frischat, G.H. «On the origin of the aging, process of porous SiO₂ antireflection coatings». J. Non-Cryst. Solids 265, 193-197. (2000).

(7) J. Deubener, G. Hensch, A. Moiseev, H. Bornhöft, b. «Glasses for solar energy conversion systems». Journal of the European Ceramic Society 29, 1203-1210. (2009).

(8) L.K. Verma, M. Sakhuja, J. Son, A.J. Danner, H. Yang, H.C. Zeng, C.S. Bhatia. «Self-cleaning and antireflective packaging glass for solar modules». Renewable Energy, 36, 2489-2493. (2011)

(9) C. Mahboub, N. Moumni. «Calculation of the glass cover temperature and the top heat loss coefficient for 60°C vee corrugated solar collectors with single glazing». Solar Energy 86, 804-808. (2012).

(10) Peuser, F. A. ; Remmers, K. H. ; Schnauss, M. «Installations solaires thermiques : Conception et mise en œuvre». Le Moniteur. 2005.

(11) Frei, U. «Solar thermal Collectors», state of the art and further development. SPF. s/d.