

Contribution pour une meilleure prise en charge énergétique du vitrage dans la construction de bâtiments à Dakar

[Contribution of taking care a better energy management of glazing in the building construction in Dakar Senegal]

Lansana Sane¹, Biram Dieng², Papa Lat Tabara Sow², Senghane Mbodji², and Mamadou Wade¹

¹Ecole Polytechnique de Thiès, Senegal

²Research team in renewable energies, materials and laser, Department of Physics, Alioune Diop University, Bambey, Senegal

Copyright © 2020 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Senegal despite its relatively hot climate has adopted glass for several decades in the construction of buildings. The objective of this present work is to study the influence of the angle of incidence on the intrinsic characteristics of a glazing. The study shows that reducing solar gain by radiation through a facade glazed requires an increase in the reflection factor of the glazing. Proposals for solutions are made on the basis of the results obtained. An evaluation of the solar radiation on a vertical facade is treated and allowed us to have a precise idea as to the orientation that should be adopted for the glass walls if we wish to contribute significantly to better energy management.

KEYWORDS: Glass, Buildings, intrinsic characteristics, solar gains, solar factor, Reflection factor, Angle of incidence, solar radiation, Energy management.

RESUME: Le Sénégal malgré son climat relativement chaud a adopté depuis quelques décennies le verre dans la construction de bâtiments. L'objectif de ce présent travail est d'étudier l'influence de l'angle d'incidence sur les caractéristiques intrinsèques d'une vitre.

L'étude montre que la réduction des apports solaires par rayonnement à travers une paroi vitrée passe par une augmentation du facteur de réflexion du vitrage. Des propositions de solutions sont faites sur la base des résultats obtenus.

Une évaluation du rayonnement solaire sur une façade verticale est traitée et nous a permis d'avoir une idée précise quant' à l'orientation qu'il faut adopter pour les parois vitrées si on souhaite contribuer considérablement à une meilleure gestion énergétique.

MOTS-CLEFS: Verre, Bâtiments, caractéristiques intrinsèques, Gains solaires, Facteur solaire, Facteur de réflexion, Angle d'incidence, Rayonnement solaire, Gestion énergétique.

SYMBOLES ET UNITÉS DE MESURE

SYMBOLE	DESIGNATION	UNITE
G^*	Rayonnement global sur une surface horizontale	$W.m^{-2}$
I^*	Le rayonnement direct reçu sur une surface horizontale	$W.m^{-2}$
I_0	Constante solaire hors atmosphère	$W.m^{-2}$
D^*	Le rayonnement diffus sur une surface horizontale	$W.m^{-2}$
$S^*(i, \gamma)$	Eclairement direct sur une surface d'inclinaison i et d'orientation γ	$W.m^{-2}$
$D^*(i, \gamma)$	Eclairement diffus sur une surface d'inclinaison i et d'orientation γ	$W.m^{-2}$
$R^*(i, \gamma)$	Eclairement réfléchi sur une surface d'inclinaison i et d'orientation γ	$W.m^{-2}$
$G^*(i, \gamma)$	Rayonnement global sur une surface d'inclinaison i et d'orientation γ	$W.m^{-2}$
ϕ	Facteur de réflexion du sol (ou facteur d'albédo)	-
i	Angle d'inclinaison par rapport à l'horizontal	degré
γ	Angle d'orientation d'une paroi suivant une direction	degré
h	Hauteur du soleil	degré
a	Azimut	degré
TSV	Temps solaire vrai	h
L	Latitude	degré
l	Longitude géographique du lieu	degré
T_L	Facteur de trouble de Link	-
β_a	Coefficient de trouble d'Angström	-
z	Altitude	km
P_v	Pression partielle de la vapeur d'eau	mbar
P_a	Pression atmosphérique	hPa
m	Masse atmosphérique ou nombre d'air masse	-
g	Facteur solaire	-
S_{g1} ou τ_e	Facteur de transmission solaire du vitrage sans protection mobile	-
S_{g2} ou q_i	Facteur de réémission thermique vers l'intérieur	-
α_{diffus}	Coefficient d'absorption diffus	-
τ_{diffus}	Coefficient de transmission diffus	-
ρ_{diffus}	Coefficient de réflexion diffus	-
ρ_e	Facteur de réflexion énergétique de la face du vitrage du côté du rayonnement	-
$\rho_{e'}$	Facteur de réflexion énergétique de la face du vitrage du côté opposé au rayonnement	-

1 INTRODUCTION

La région de Dakar au Sénégal a un climat tropical donc relativement chaud. Ainsi, il devient impératif en tenant compte de notre réalité climatique de réfléchir sur une intégration optimale du verre dans la construction de bâtiments par l'analyse de l'évolution des caractéristiques intrinsèques du vitrage en fonction de l'angle d'incidence.

La compréhension de l'évolution des propriétés de la vitre ainsi que l'évaluation du rayonnement solaire sur une surface verticale pour le mois d'octobre à Dakar nous permettrons de faire le choix adapté du vitrage et proposer depuis la phase de conception de bâtiments une orientation convenable des baies et fenêtres vitrées.

L'objectif visé est la prise de décision par rapport à l'orientation qu'il faut adopter pour nos ouvertures mais aussi à cerner les paramètres sur lesquels on doit agir ou encore l'inclinaison à adopter si on veut réduire les apports solaires entrant au travers la vitre.

2 CARACTÉRISTIQUES DU VITRAGE EN FONCTION DE L'ANGLE D'INCIDENCE

Pour mieux comprendre l'évolution des caractéristiques du vitrage, il serait bon de rappeler les facteurs énergétiques du rayonnement solaire sur le vitrage.

Trois facteurs déterminent ce flux incident Φ_e sur une paroi vitrée. Il s'agit d'une fraction:

- réfléchi vers l'extérieur $\rho_e \Phi_e$
- transmise directement au travers la paroi $\tau_e \Phi_e$
- absorbée par la vitre $\alpha_e \Phi_e$.

Ces fractions sont appelées facteur énergétique et sont reliées par la relation:

$$\rho_e + \tau_e + \alpha_e = 1 \quad (1)$$

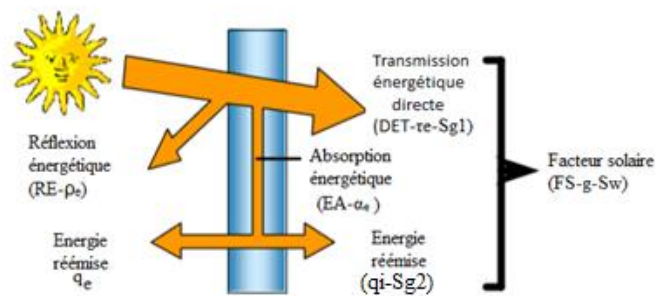


Fig. 1. Modélisation des facteurs énergétiques du rayonnement solaire sur une vitre [1]

Cependant il est important de souligner que les conditions de mesures ou de calculs des caractéristiques fondamentales du vitrage à savoir les coefficients de transmission, de réflexion et d’absorption énergétique se font pour une incidente normale donc un rayonnement presque parallèle. C’est-à-dire pris perpendiculaire au vitrage.

Le tableau 2.1 donne un exemple des propriétés de quelques vitrages en incidence normale.

Tableau 1. Caractéristiques thermiques et photométriques des vitrages de la norme EN14501 [2]

Vitrage	U (W.m ⁻² .K ⁻¹)	g	τ _e (τ _o)	ρ _e	ρ' _e
Simple vitrage clair 4 mm	5,80	0,850	0,830	0,080	0,080
Double vitrage clair 4/12/4 avec lame d’air	2,90	0,760	0,690	0,140	0,140
Double vitrage 4/16/4 réfléchissant avec une couche basse émissivité en face 2 avec lame d’argon	1,10	0,320	0,270	0,290	0,380

Nous essayerons de voir comment ces propriétés intrinsèques prisent pour un rayonnement perpendiculaire au vitrage évolueront avec l’angle d’incidence.

Des équations nous ont permis de tracer les figures illustratives de cette évolution.

▪ En incidence directe

Les corrélations ci-dessous nous permettent de trouver les valeurs des caractéristiques des composants pour un angle d’incidence i donné (pour un rayonnement normal à la paroi vitrée i = 0).

$$\alpha(i) = a_1(\cos i) + a_2 (\cos i)^2 + a_3 (\cos i)^3 \quad (2)$$

$$\tau(i) = b_1(\cos i) + b_2 (\cos i)^2 + b_3 (\cos i)^3 \quad (3)$$

$$\rho(i) = 1 - \alpha(i) - \tau(i) \quad (4)$$

▪ En incidence diffuse

Les lois de Fresnel nous permettent de déterminer les valeurs de références des propriétés du vitrage. Il s’agit:

$$\alpha_{diffus} = 2 \left(\frac{a_1}{3} + \frac{a_2}{4} + \frac{a_3}{5} \right) \quad (5)$$

$$\tau_{diffus} = 2 \left(\frac{b_1}{3} + \frac{b_2}{4} + \frac{b_3}{5} \right) \quad (6)$$

$$\rho_{diffus} = 1 - \alpha_{diffus} - \tau_{diffus} \quad (7)$$

Les coefficients a_1 , a_2 , a_3 et de b_1 , b_2 et b_3 sont donnés par:

$$a_1 = 6,4646 \alpha_0 - 11,7745 \alpha_{30} + 9,4645 \alpha_{60} \quad (8)$$

$$a_2 = -20,3940 \alpha_0 + 35,3234 \alpha_{30} - 20,3940 \alpha_{60} \quad (9)$$

$$a_3 = 14,9294 \alpha_0 - 23,5489 \alpha_{30} + 10,9295 \alpha_{60} \quad (10)$$

$$b_1 = 6,4646 \tau_0 - 11,7745 \tau_{30} + 9,4645 \tau_{60} \quad (11)$$

$$b_2 = -20,3940 \tau_0 + 35,3234 \tau_{30} - 20,3940 \tau_{60} \quad (12)$$

$$b_3 = 14,9294 \tau_0 - 23,5489 \tau_{30} + 10,9295 \tau_{60} \quad (13)$$

Si aucune information n'est donnée sur les valeurs des taux d'absorption et de transmission, on peut déterminer leurs valeurs approchées en utilisant les corrélations suivantes:

$$\alpha_{30} = -8,5884 \cdot 10^{-4} + 1,0869 \alpha_0 - 6,1151 \cdot 10^{-2} \alpha_0^2 \quad (14)$$

$$\alpha_{60} = -1,7566 \cdot 10^{-3} + 1,2352 \alpha_0 - 2,7231 \cdot 10^{-1} \alpha_0^2 \quad (15)$$

$$\tau_{30} = -7,068 \cdot 10^{-4} + 9,3967 \cdot 10^{-1} \tau_0 + 7,0476 \cdot 10^{-2} \tau_0^2 \quad (16)$$

$$\tau_{60} = -1,6265 \cdot 10^{-2} + 6,9767 \cdot 10^{-1} \tau_0 + 2,4509 \cdot 10^{-1} \tau_0^2 \quad (17)$$

Ces diverses équations posées nous permettrons à travers diverses simulations d'analyser le comportement des caractéristiques intrinsèques d'une vitre. Cette analyse approfondie nous aidera aux choix adéquats du type de vitrage, de l'orientation à prendre voir même de l'inclinaison à adopter pour lutter efficacement contre la part du rayonnement solaire transmise au travers le vitrage.

Les simulations ont été faites sur trois modèles de vitrage en utilisant Matlab qui est donc un logiciel de traitement numérique.

3 EVALUATION DU FLUX SOLAIRE SUR UNE SURFACE VERTICALE

Pour rappel, l'évaluation du rayonnement global au sol et qui est reçu sur une surface horizontale, a deux composantes:

- Le rayonnement direct I^* ,
- Le rayonnement diffus D^* .

Cette radiation globale est donnée par la relation:

$$G^* = I^* \times \sin h + D^* \quad (18)$$

Par contre il faut souligner le flux global reçu sur une surface plane d'inclinaison i par rapport à l'horizontal et orientée d'un angle γ est la somme de trois composantes. Il s'agit de:

- La composante directe $S^*(i, \gamma)$,
- La composante diffuse qui est la somme des éclairagements diffus $D^*(i, \gamma)$ et réfléchi $R^*(i, \gamma)$.

$$G^*(i, \gamma) = S^*(i, \gamma) + D^*(i, \gamma) + R^*(i, \gamma) \quad (19)$$

Compte tenu du fait que la région de Dakar qui est notre milieu d'étude présente le plus souvent un ciel clair, nous avons pris la formule de **Kasten**. Cette relation nous permet d'évaluer le rayonnement direct reçu à l'absence de toute mesure (ou éclairagement) sur un plan perpendiculaire au soleil. Elle est donnée par:

$$I^* = (I_0 - 31T_L) \exp \left[-\frac{m \times T_L}{(0,9 \times m + 9,4)} \right] \quad (20)$$

Les expressions suivantes nous permettent de calculer respectivement le facteur de trouble de Link T_L et la masse d'air atmosphérique au sol.

$$T_L = 1,6 + 16\beta_a + 0,5 \ln P_v \quad (21)$$

$$m = \frac{1000}{P_a \times \sin h} \quad (22)$$

Tableau 2. Coefficient de trouble d'Angström [3]

ZONE OU COULEUR CIEL	β_a
Ciel bleu profond	0,02
Ciel moyen	0.10
Zones urbaines polluées	0,20
Ciel laiteux	0,8

3.1 ESTIMATION DE LA COMPOSANTE DIRECTE DU RAYONNEMENT SOLAIRE SUR UNE SURFACE VERTICALE

L'estimation de la composante directe du flux solaire sur un plan quelconque d'inclinaison i par rapport à l'horizontal et d'orientation γ peut être faite en utilisant l'expression:

$$S^*(i, \gamma) = I^*[\cos h \sin i \cos(\gamma - a) + \sin h \cos i] \quad (23)$$

Ainsi dans le cas d'une surface verticale comme le cas d'une fenêtre vitrée orientée verticalement, i sera pris égale à 90° et l'orientation γ est prise conventionnellement égale à:

- 0° pour le Sud,
- 90° pour l'Ouest,
- 180° pour le Nord,
- 270° pour l'Est.

3.2 ESTIMATION DE LA COMPOSANTE DIFFUSE DU RAYONNEMENT SOLAIRE SUR UNE SURFACE VERTICALE

Il faut cependant noter qu'à l'absence de toute mesure on peut évaluer l'irradiance diffuse sur un plan horizontal par la corrélation suivante:

$$D^* = 380 \exp\left(-\frac{4}{T_L}\right) \times \exp\left(-\frac{z}{7,8}\right) \times (\sin h)^{(T_L+6)/30} \quad (24)$$

Par contre sur un plan quelconque d'inclinaison i par rapport à l'horizontal et d'orientation γ , l'éclairement diffus $D^*(i, \gamma)$ et la puissance réfléchie sont respectivement donnés par les formules suivantes :

$$D^*(i, \gamma) = \frac{1 + \cos i}{2} \times D^* \quad (25)$$

$$R^*(i, \gamma) = \frac{1 - \cos i}{2} \times \phi \times G^* \quad (26)$$

Ces différentes formules sont intégrées dans le logiciel Matlab pour évaluer le flux solaire sur une paroi verticale et cela pour les orientations Sud, Ouest, Nord et Est. La connaissance de cette radiation nous aidera toujours à la prise de décision quant à l'orientation qu'il faut donner aux surfaces vitrées mais aussi à la détermination des charges thermiques au travers le vitrage.

4 RÉSULTATS DES SIMULATIONS ET DISCUSSIONS

4.1 RÉSULTATS DES SIMULATIONS DES CARACTÉRISTIQUES INTRINSÈQUES DU VITRAGE

Trois modèles de vitres ont été utilisés pour la simulation et ceci dans le but de ressortir leur différence et de faciliter la compréhension et le choix du verre le plus adapté dans la construction surtout dans les pays chauds. L'objectif recherché dans les régions chaudes reste toujours la réduction systématique des rayons solaires dans les locaux.

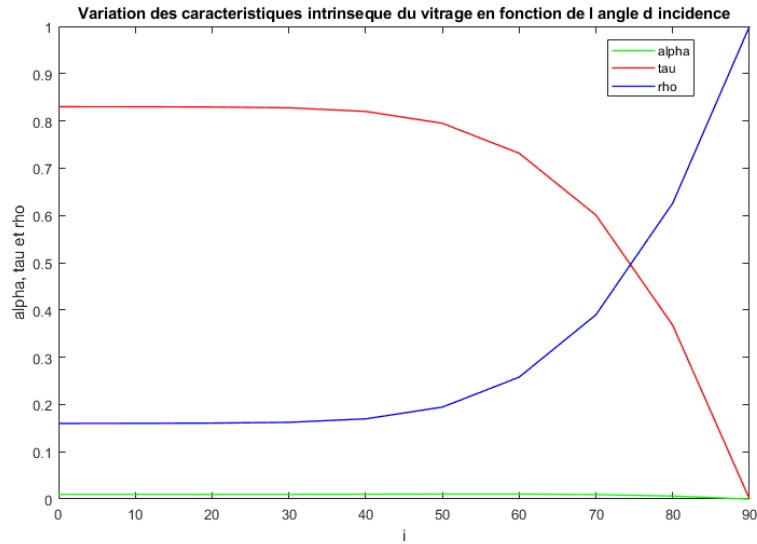


Fig. 2. Variation des caractéristiques d'un simple vitrage clair de 4 mm en fonction de l'angle d'incidence

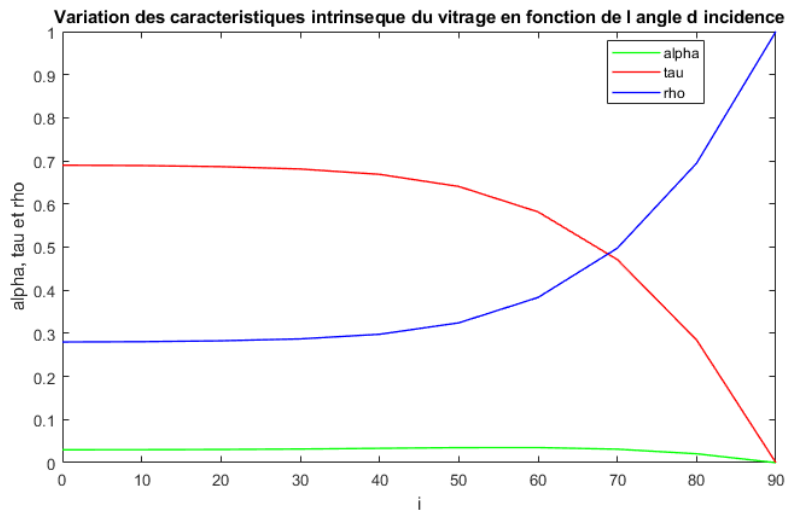


Fig. 3. Variation des caractéristiques d'un double vitrage clair de 4/12/4 mm avec lame d'air en fonction de l'angle d'incidence

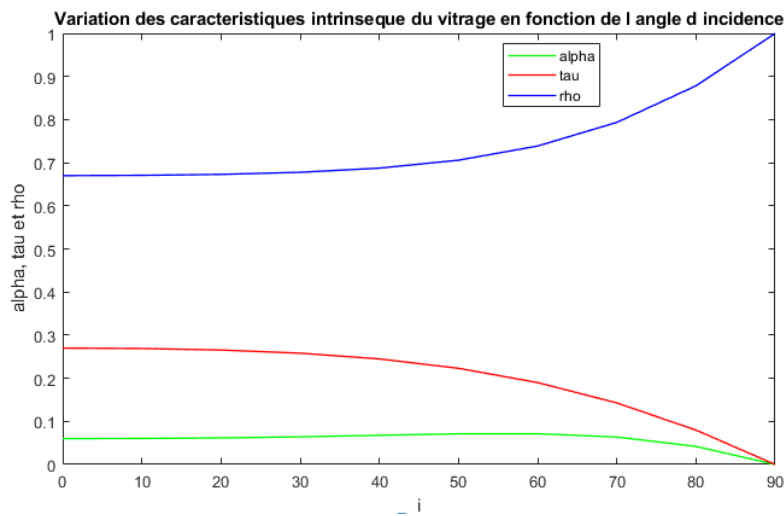


Fig. 4. Variation des caractéristiques d'un double vitrage 4/16/4 réfléchissant avec une couche basse émissivité en face 2 avec lame d'argon en fonction de l'angle d'incidence

Nous remarquons par l'analyse des différentes figures, que l'angle d'incidence n'a pas trop d'influence sur la capacité d'absorption par le verre du flux solaire. Et ceci est observé par l'évolution presque constante du taux d'absorption alpha du rayonnement.

Par contre, le facteur de transmission du rayonnement représenté par la courbe de couleur rouge est fortement dépendant de l'angle d'incidence. Il diminue progressivement avec l'augmentation de l'angle d'incidence. Pour donc protéger les parois vitrées contre un échauffement excessif, il faut impérativement les positionner de telle manière que le rayonnement incident ne puisse pas atteindre le vitrage avec un angle d'incidence nul c'est-à-dire perpendiculaire au plan du vitrage ou faible. Ainsi la position idéale consistera à opter à la place d'une fenêtre verticale, celle inclinée d'un angle donné avec la verticale. Cette inclinaison permet d'augmenter l'angle d'incidence et par conséquent réduire la transmission énergétique au travers la vitre. Cette position penchée est fonction de l'orientation de la vitre mais aussi de la hauteur du soleil.

Une remarque est aussi faite en analysant la courbe matérialisée par la couleur bleue. Elle montre que plus l'angle d'incidence est élevé mieux est le facteur de réflexion. Cette augmentation du taux de réflexion du flux incident entraîne forcément une diminution des apports de chaleur par transmission. L'augmentation du facteur de réflexion entraîne une réduction du coefficient de transmission solaire et cela peut être vérifié à travers l'équation (1) compte tenu du fait que le facteur d'absorption est presque constant.

Du moment que les propriétés du verre changent en fonction de l'angle d'incidence, on peut en déduire que le facteur solaire est aussi fonction de l'angle d'incidence du rayonnement solaire et évolue dans le même sens que le facteur de transmission énergétique. La figure 1, nous permet de voir le rapport entre facteur solaire, transmission énergétique et le facteur d'absorption.

L'analyse de ces courbes nous indique en définitive que la réduction significative des apports par rayonnement solaire passe nécessairement par l'augmentation du facteur de réflexion du vitrage. Ce qui fait que parmi les verres étudiés celui qui présente le taux de réflexion le plus élevé est le plus adapté pour se prémunir du flux solaire.

Dans le même sillage, nous avons établi grâce aux équations (5, 6, 7), un programme qui nous a permis de déterminer les coefficients diffus, transmis et réfléchi pour les trois types de vitrages étudiés. Ces coefficients répertoriés dans le tableau 3, nous permettront de quantifier la quantité des flux solaires diffus et réfléchi qui traversent les différents verres présentés. Là aussi on voit que le double vitrage 4/16/4 réfléchissant avec une couche basse émissivité présente les meilleures performances pour lutter contre les gains thermiques par radiation solaire.

Tableau 3. Facteurs diffus de transmission, de réflexion et d'absorption des trois types de vitres sélectionnés pour un angle d'incidence de 60°

Simple vitrage clair 4 mm		
Absorption diffuse α_{diffus}	Transmission diffuse τ_{diffus}	Réflexion diffuse ρ_{diffus}
0.0099	0.7495	0.2406
Double vitrage clair 4/12/4 avec lame d'air		
Absorption diffuse α_{diffus}	Transmission diffuse τ_{diffus}	Réflexion diffuse ρ_{diffus}
0.0320	0.6075	0.3605
Double vitrage 4/16/4 réfléchissant avec une couche basse émissivité en face 2 avec lame d'argon		
Absorption diffuse α_{diffus}	Transmission diffuse τ_{diffus}	Réflexion diffuse ρ_{diffus}
0.0648	0.216	0.719

Il faut préciser que pour la plupart du temps la distribution angulaire du rayonnement incident diffus sur une fenêtre est inconnue. Mais une intégration de ce rayonnement sur tous les angles d'incidences possibles nous permet d'obtenir un angle d'incidence unique de 60° pour une fenêtre orientée verticalement. Nous obtenons le même angle d'incidence pour le rayonnement réfléchi (Duffie et Beckman, 2006) [4].

Ainsi les projections sur les figures 2, 3 et 4, des coefficients d'absorption, de transmission et de réflexion diffus obtenus par simulation pour les trois types de vitrage étudiés (cf. Tableau 3) donneront un angle d'incidence sensiblement égale à 60°. Ce qui confirme la théorie de Duffie et Beckman.

4.2 RÉSULTATS DES SIMULATIONS SUR L'ÉVALUATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE

Une série de simulation est faite dans cette partie pour déterminer l'éclairement sur des surfaces verticales telles que les fenêtres vitrées et les façades des maisons. Je rappelle que cette simulation de la radiation solaire (figures: 4.4 et 4.5) s'est faite à Dakar pour une latitude de $14,69^\circ$ et une longitude de $-17,44^\circ$.

DONNÉES D'ENTRÉES:

$L = 14,69^\circ$; $l = -17,44^\circ$; $l_0 = 1353 \text{ W/m}^2$; $P_v = 35.48 \text{ mbar}$; $P_a = 1013 \text{ hPa}$; $\beta_a = 0.2$; $i = 90^\circ$; $\gamma = 0$ au Sud, 90° à l'Ouest, 180° au Nord et 270° à l'Est; $T_L = 6,584484579$.

4.2.1 EVALUATION DE LA COMPOSANTE S (I, Γ) DU RAYONNEMENT SOLAIRE DIRECT

Les valeurs obtenues sur la figure 5, sont issues de l'évaluation de l'ensoleillement pour le 1 octobre (274^{ième} jour de l'année). Un programme est établi pour déterminer l'éclairement direct durant le mois d'octobre. Il faut préciser que la tendance est similaire pour tout le mois. Cependant il faut dire que la pression de vapeur P_v d'eau est calculée en tenant compte de l'humidité moyenne du mois étudié et de la pression de vapeur d'eau max $P_{v, \text{max}}$.

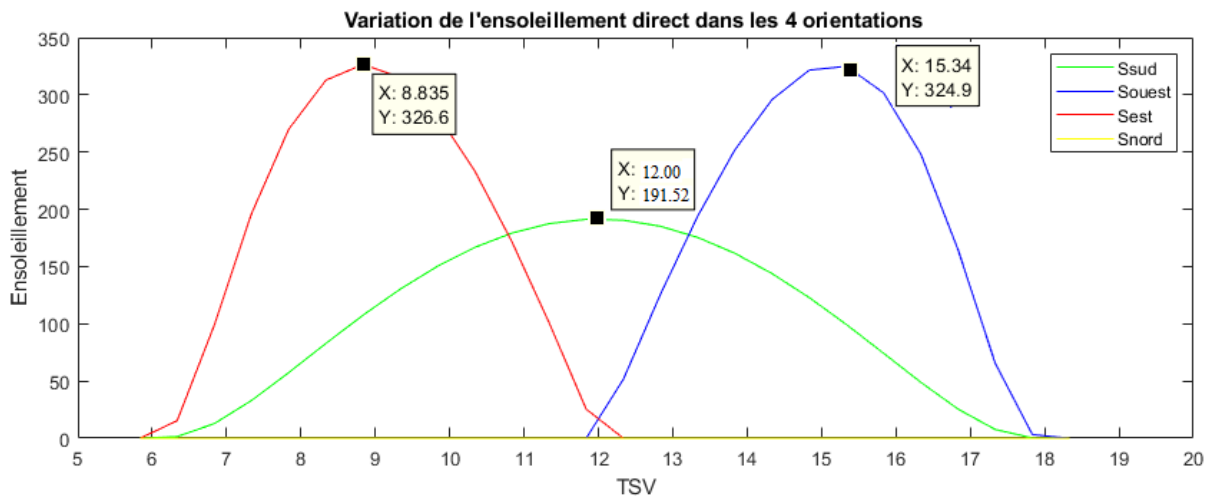


Fig. 5. Variation de la composante S^* (i, γ) du rayonnement solaire direct (W.m^{-2}) pour une façade verticale orientée Nord, Est, Ouest, Sud à Dakar en fonction du temps solaire vrai (h)

Nous remarquons que la composante du rayonnement incident direct sur la façade orientée au Nord est nul durant toute la journée et cela s'explique par la course du soleil. Par contre on note une augmentation progressive de la radiation incidente au Sud de 6 à 12h pour atteindre son point culminant à 12 h avec une puissance de $191,52 \text{ W.m}^{-2}$. A partir de 12 h, on constate une baisse progressive de l'ensoleillement. Dans la plus part du temps, les parois exposées au Sud reçoivent le rayonnement solaire presque toute la journée du fait que le soleil dans sa trajectoire Est-Ouest en passant vers le sud reste le plus longtemps dans cette zone (Est, Sud Est, Sud, Sud-Ouest).

Les parois Est et Ouest présentent des variations opposées: la façade Est reçoit la plus grande partie des rayons solaires le matin avant midi et atteint une valeur maximale de $326,6 \text{ W.m}^{-2}$ vers 9 h tandis que la paroi Ouest en reçoit l'après-midi avec un maximum de $324,9 \text{ W.m}^{-2}$ à 15 h 34 mn. Cette tendance opposée peut s'expliquer par le fait que le soleil est présent le matin à l'Est et l'après-midi, il est dans sa trajectoire à l'Ouest.

4.2.2 EVALUATION DU RAYONNEMENT INCIDENT DIRECT, DIFFUS, RÉFLÉCHI ET GLOBAL SUR UNE PAROI VERTICALE

La figure 6, donne le résultat des simulations des différents types de rayonnement sur les parois Nord, Sud, Est et Ouest en fonction du temps solaire vrai pour le 1^{er} octobre. La même tendance est notée durant tout le mois étudié.

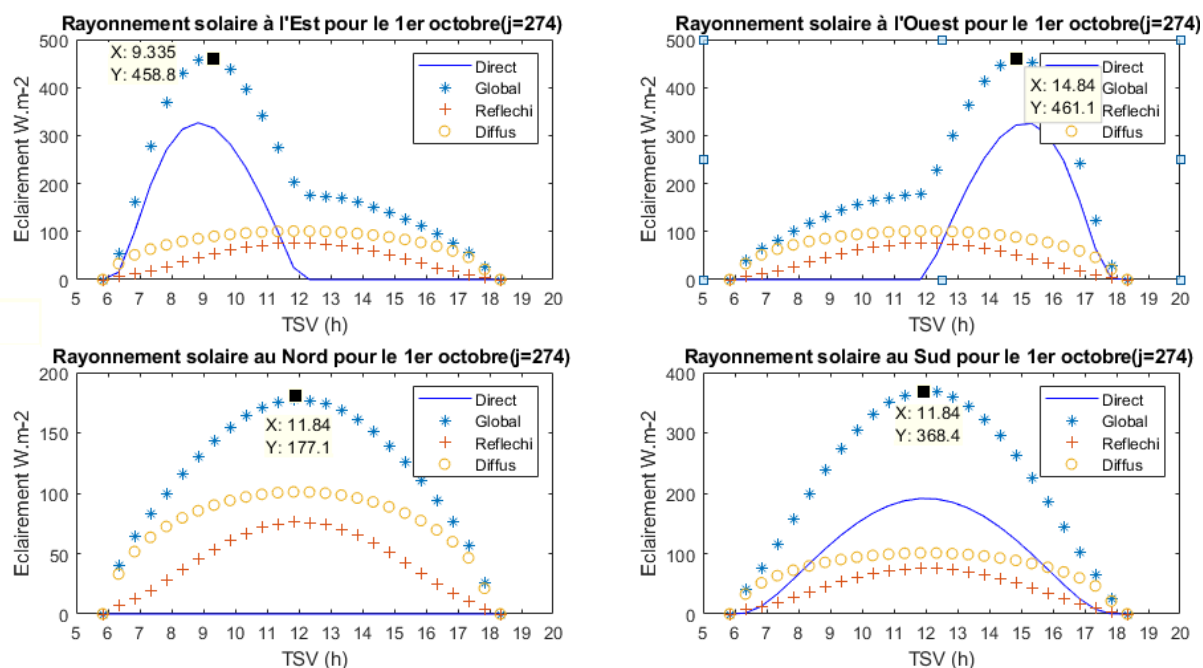


Fig. 6. Variation journalière des rayonnements global, direct, diffus et réfléchi sur une façade verticale en fonction du temps solaire vrai

L'analyse de la figure 6, montre que:

- Sur les façades Est, le rayonnement global est maximum le matin et on note une diminution progressive au environ de 10 h et qui s'accroît l'après-midi. Cette tendance baissière et qui diminue rapidement et de façon considérable vers 12 h 30 mn peut s'expliquer par la baisse des rayonnements diffus et réfléchi mais surtout par le fait que la composante de la radiation incidente directe est nulle. Une tendance opposée est notée sur les parois Ouest. Les rayonnements globaux reçus sur les parois Est et Ouest sont donc symétriques. Nous observons que c'est au niveau de ces deux faces que l'éclairement global est maximal donc nous devons éviter autant que possible d'orienter les fenêtres vitrées vers cette direction afin de réduire les apports solaires au travers les vitres. La même situation est observée à la figure 5.
- Sur les façades Nord l'éclairement global atteint son maximum à 12 h avec une intensité faible comparée aux autres surfaces étudiées. Cela s'explique par le fait que les parois situées au Nord ne reçoivent que les rayonnements diffus et réfléchi. Selon le jour étudié, le rayonnement réfléchi peut être prépondérant sur le diffus et son intensité est surtout lié à l'albédo. Nous recommandons fortement à travers cette étude que les baies vitrées, les fenêtres dans nos habitats soient orientées le plus souvent au Nord pour atténuer le maximum possible les apports solaires et cela va contribuer fortement à la réduction des charges thermiques donc à une meilleure gestion énergétique dans les régions tropicales et en particulier à Dakar objet de notre étude.
- Sur les façades Sud, l'évolution du rayonnement global est semblable à celle de la composante directe $S^*(i, \gamma)$. Elle atteint une valeur maximale d'environ $368,4 \text{ W.m}^{-2}$ à 12 h.

Le rayonnement global reçu par une paroi est fortement lié à son orientation. La position d'une fenêtre vitrée sur une façade doit tenir compte de ce paramètre fondamental si on veut optimiser la consommation énergétique.

Il faut savoir que sur une surface verticale, le flux solaire varie en fonction de l'orientation. Ce qui justifie le fait que lorsqu'on veut se prémunir des apports solaires, il faut éviter autant que possible d'orienter les fenêtres à l'ouest car cette orientation, toujours inconfortable, présente l'inconvénient de recevoir le maximum de rayonnement en fin de journée alors que le bâtiment a suffisamment stocké de la chaleur.

Les fenêtres situées à l'Est reçoivent une quantité importante de flux solaire en début de journée, elles doivent recevoir peu d'ouvertures.

L'orientation sud présente l'avantage de recevoir un taux d'ensoleillement important en période froide et qui s'explique par la position courte de la hauteur du soleil. En été, cette orientation procure peu d'apport solaire dû fait de la position élevée de la hauteur solaire.

Les vitrages situés au Nord reçoivent un taux d'ensoleillement relativement faible mais présente l'avantage d'avoir un éclairage naturel le plus constant. Il est recommandé pour le confort d'été, les orientations Nord puis Sud et Est [5].

Nous remarquons suite à l'analyse de la figure 6, que les parois orientées suivant les quatre orientations étudiées reçoivent la même intensité du flux diffus et cela est dû à la diffusion sur toute la voûte céleste des rayons solaires diffus.

Une moyenne globale mensuelle de toutes les radiations (directe, diffuse, réfléchi, globale) sur les quatre orientations est représentée dans la figure 7.

Nous pensons que cela peut aider les spécialistes du conditionnement d'air dans l'évaluation des charges thermiques au travers le vitrage.

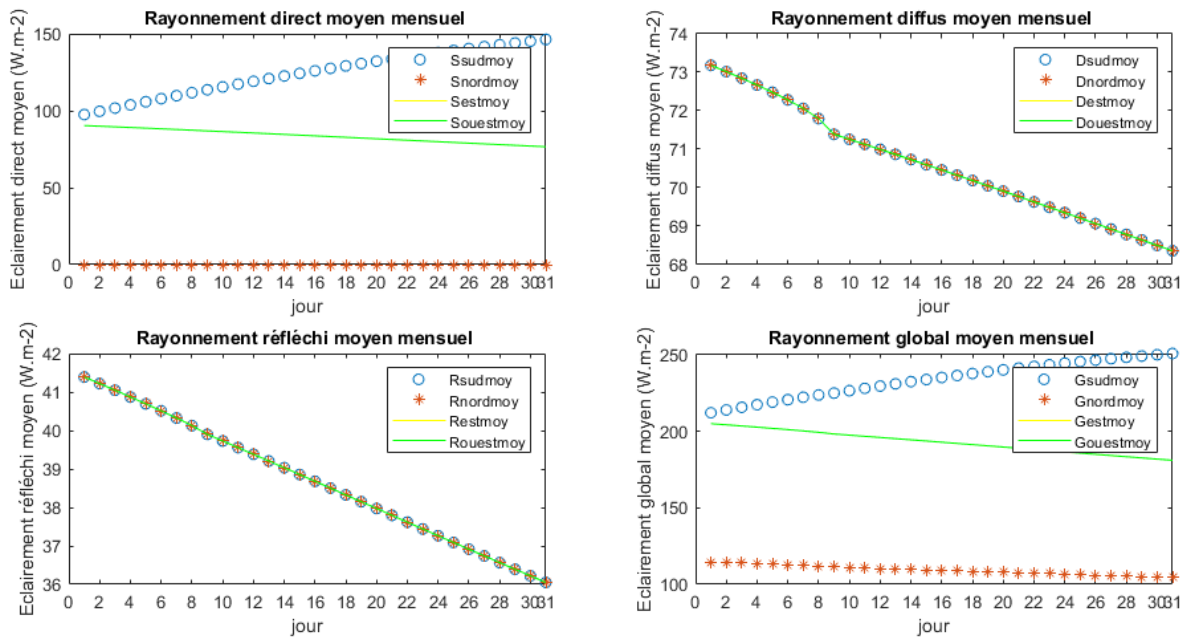


Fig. 7. Variation mensuelle moyenne des rayonnements global, direct, diffus et réfléchi sur une façade verticale

Au-delà de l'orientation et de l'inclinaison qu'on doit apporter à la pose d'une fenêtre ou d'une baie vitrée, il faut associer à cela l'installation de protections solaires (brise-soleil, store, volet, protections architecturales etc.) ou la mise en place de verres de contrôle solaire.

5 CONCLUSION

Le Sénégal a depuis quelques décennies adopté le vitrage dans le paysage architectural de nos immeubles du fait de son confort visuel, de son intérêt dans la réduction du poids des bâtiments mais aussi à cause de la lumière naturelle qu'il procure.

Malheureusement, l'aspect énergétique est pour la plupart laissé en rade et cela peut s'expliquer en partie par l'utilisation à grande échelle dans les bâtiments administratifs et dans nos maisons du simple vitrage; un verre dont le facteur de transmission est élevé.

Les caractéristiques thermo-physiques ont été développées et cela nous a permis de comprendre les différents paramètres sur lesquels on peut agir pour optimiser les apports solaires au travers le vitrage. La connaissance des caractéristiques propres d'une vitre et l'évaluation du potentiel énergétique d'une zone donnée sont des étapes importantes si on veut vraiment rationaliser la consommation énergétique de nos habitats. Une bonne lecture de ces paramètres nous aidera à bien orienter nos fenêtres vitrées et qui conduit à une optimisation énergétique. Ce qui va permettre ainsi de faire des économies d'énergies et de contribuer efficacement à la lutte contre les changements climatiques

REFERENCES

- [1] Dossier réalisé par la société Belge Glaverbel spécialiste dans la fabrication du verre « Verre et contrôle solaire », année 2004, siège social Chaussée de la Hulpe, 166 (Watermael-Boitsfort).
- [2] Guillaume Lethé, Gilles Flamant « Calcul du facteur solaire de combinaison 'protection solaire-vitrage' Comparaison des méthodes normalisées simplifiée et détaillée », 27 oct. 2011.
- [3] Alain Ricaud « Gisement solaire et transferts énergétiques », Université de CERGY- PONTOISE Jan-2011.
- [4] Myal MALIKA « Evaluation des performances énergétiques d'une fenêtre dotée d'un vitrage électrochromique », mémoire de maîtrise en Génie Mécanique, Ecole de Technologie Supérieure à l'Université du Québec, 15 Juin 2010.
- [5] ADEME Fiche « Mise en place de protections solaires fixes ou mobiles sur les façades exposées » 08/03/03.
- [6] Ralph SAGELSDORFF, Peter BRUGGMANN Ingénieurs et Architectes Suisses « Transmission énergétique globale des vitrages », Article N°19 du 10/09/1987 P230-321-322.
- [7] European Solar-Shading Organization (ESSO) et la Fédération Française du bâtiment FFB, Membres comité technique Hervé: LAMY (SNFPSA), Ralf BAUR (ITRS) et al « La protection solaire dans les bâtiments à basse consommation », 1ère édition Février 2012.
- [8] D. G. Stephenson « Gains de chaleur solaire au travers des fenêtres et des parements vitrés. » Publié en novembre 1964.
- [9] Hamza Chérif Yamina « Analyse de l'efficacité lumineuse et énergétique des composantes fenêtres dans la conception du bâtiment: compromis entre confort thermique et confort visuel », mémoire de Master dans la spécialité Architecture Option Matériaux de construction et conservation du patrimoine à l'Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed BOUDIAF d'Algérie, 27 Mai 2012.
- [10] Luis MERINO « Modélisation du rayonnement solaire pour la simulation thermique en milieu urbain », Thèse présentée à l'Université de Technologie Compiègne (UTC), 14 octobre 2013.
- [11] Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) Règles TH-S « Calcul du Facteur Solaire des Parois » Version du 06-03-2001.
- [12] Règles Th-Bât-Fascicule parois vitrées, date de publication 20 décembre 2017.
- [13] Luis MERINO « Modélisation du rayonnement solaire pour la simulation thermique en milieu urbain », Thèse présentée à l'Université de Technologie Compiègne (UTC), 14 octobre 2013.
- [14] European Solar-Shading Organization (ESSO) et la Fédération Française du bâtiment FFB, Membres comité technique Hervé: LAMY (SNFPSA), Ralf BAUR (ITRS) et al « La protection solaire dans les bâtiments à basse consommation », 1ère édition Février 2012.
- [15] Jean-Marie HAUGLUSTAIN Dr. ir. Architecte, Directeur de l'Unité de recherche EnergySuD (Energie et Développement durable); et Francys SIMON, Ir. Architecte, Professeur émérite à l'Université Catholique de Louvain; « La fenêtre et la gestion de l'énergie », Guide pratique pour les architectes, 2ième édition 2018.