

CONCEPTION D'UN CONCENTRATEUR PRISMATIQUE INTEGRE A UN GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE

C. Zidani, F. Benyarou et B. Benyoucef

Unité de Recherche Matériaux et Energies Renouvelables (URMER),
Faculté des Sciences, Université de Tlemcen, B.P 119, Tlemcen 13000, Algérie
chzidani@yahoo.fr

(Received 19 April 2004 - Accepted 16 January 2006)

RESUME

Cette étude consiste à élaborer un programme général d'analyse fine d'un dispositif optique à réfraction interne. Le tracé tridimensionnel des rayons solaires et la répartition de l'intensité de sortie ont permis de les caractériser et de trouver un compromis entre le champ et la concentration.

L'application du logiciel de simulation sur un type de concentrateur de forme prismatique a donné une nouvelle conception et a ouvert une voie de recherche des phénomènes physiques régissant leur fonctionnement.

Mots clés : simulation, tracé tridimensionnel, concentrateur à réfraction interne, conversion photovoltaïque

ABSTRACT

This study deals with the elaboration of general program for the analysis of optical devices with internal refraction. The tridimensional solar ray-tracing and output intensity distribution allowed us to characterise and to come up with between aperture and concentration.

The application, on a type of concentrator (prism), of the simulation software gives a new concept and a new approach for further studies on the preponderant physical phenomena.

Keywords : simulation, tridimensional tracing, internal refraction concentrator, photovoltaic conversion

INTRODUCTION

Le Watt plan sollicite une grande surface de cellules solaires. Le coût de l'énergie électrique produite est alors limité et le développement à l'échelle industrielle est ainsi freiné. Les systèmes à concentrations nécessitent la mise en œuvre d'accessoires permettant le suivi du soleil et le refroidissement des cellules. Ceux-ci conditionnent le coût et l'efficacité de la conversion photovoltaïque (Benyarou, 1984).

Afin de réduire la surface des cellules et de supprimer les accessoires de suivi d'un système à concentration, on a opté pour la basse concentration. C'est vers cet objectif que ces recherches ont été menées dans les systèmes optiques destinés à concentrer le rayonnement solaire sur une durée journalière de fonctionnement restreinte. Les concentrateurs à réfractions internes répondent à ces exigences. Ils acquièrent des propriétés requises et des qualités potentielles prometteuses, leur avantage est lié à de meilleures performances de champ et de concentration (Benyarou & Benyoucef, 1999). Ce travail est consacré à la réalisation d'un programme de simulation sur un concentrateur solaire à deux dimensions (système non centré), utilisant le principe de concentration par réfraction interne. Pour des raisons technologiques (simplicité de fabrication), on a opté pour la forme prismatique.

DESCRIPTION DU CONCENTRATEUR

Concentrateur

Le concentrateur est un prisme de matériau transparent et peu absorbant (Fig. 1). Il est destiné à de faibles concentrations photovoltaïques. Ses faces 1 et 2 peuvent être exposées au soleil. Les rayons réfractés sont guidés par réflexions totales internes vers la face 5 où ils sont collectés par des cellules solaires.

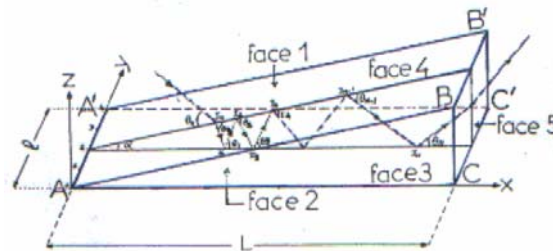


Figure 1. Principe de concentration par réflexions totales internes.

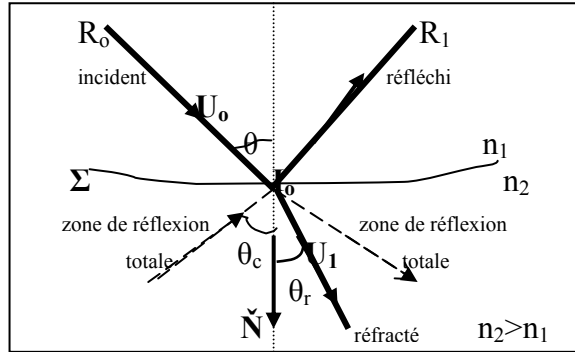
Modélisation et simulation

Considérons un dioptre Σ qui sépare deux milieux homogènes d'indice n_1 et n_2 ($n_1 < n_2$) et soit \vec{N} le vecteur unitaire de la normale au point d'incidence I_0 ayant les composantes (N_1, N_2, N_3) . Un rayon incident $R_0 I_0$ au point $I_0 \in \Sigma$ de vecteur unitaire U_0 et de composantes $(\alpha_0, \beta_0, \gamma_0)$ se réfracte (ou se réfléchit) en un rayon $I_0 I_1$ de vecteur unitaire U_1 et de composantes $(\alpha_1, \beta_1, \gamma_1)$. L'expression vectorielle des lois de Snell-Descartes est :

$$n_2 \vec{U}_1 - n_1 \vec{U}_0 = w \cdot \vec{N} \tag{1}$$

$$\text{avec } w = n_2 \cos(\theta_r) - n_1 \cos(\theta) \tag{2}$$

θ : étant l'angle d'incidence, θ_r : l'angle de réfraction (ou de réflexion), θ_c : l'angle limite de réfraction interne.



Dans le cas d'une réflexion, n_1 et n_2 seront remplacés par l'indice du milieu où s'effectue la réflexion et θ_r sera supérieure à $\pi/2$ par conséquent W sera négatif (Welford & Winston, 1989).

Dans un milieu d'indice n_2 ($n_2 > n_1$), un rayon incident subit la réflexion totale interne si les deux conditions suivantes sont vérifiées simultanément:

$$n_2 > n_1 \text{ et } \theta > \theta_c \quad \text{avec} \quad \theta_c = \text{Arc sin}(n_1 / n_2) \quad (3)$$

Soient h la hauteur du soleil et a son azimut, les cosinus directeurs du rayon incident sont:

$$\alpha_0 = \cos(h) \cos(a), \quad \beta_0 = \cos(h) \sin(a), \quad \gamma_0 = \sin(h) \quad (4)$$

L'équation du rayon incident au point I_0 de composantes (X_0, Y_0, Z_0) est déterminée par :

$$\frac{X - X_0}{\alpha_0} = \frac{Y - Y_0}{\beta_0} = \frac{Z - Z_0}{\gamma_0} \quad (5)$$

Les angles d'incidence θ et de réfraction θ_r sont obtenus par (Welford & Winston, 1989) :

$$\theta = \text{Arc cos}(\alpha_0 N_1 + \beta_0 N_2 + \gamma_0 N_3) \text{ et } \theta_r = \text{Arc sin}[n_1 \cdot \sin(\theta) / n_2] \quad (6)$$

Les composantes du rayon réfracté et son équation sont déterminées par:

$$\begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \beta_1 \\ \gamma_1 \end{bmatrix} = \frac{n_1}{n_2} \begin{bmatrix} \alpha_0 \\ \beta_0 \\ \gamma_0 \end{bmatrix} + \frac{W}{n_2} \begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ N_3 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\frac{X - X_0}{\alpha_1} = \frac{Y - Y_0}{\beta_1} = \frac{Z - Z_0}{\gamma_1} \quad (8)$$

Ces calculs sont relatifs à un seul rayon et en un seul point d'incidence. Afin de balayer toute la face d'entrée, les rayons solaires seront alors simulés d'une manière itérative (Fig. 2).

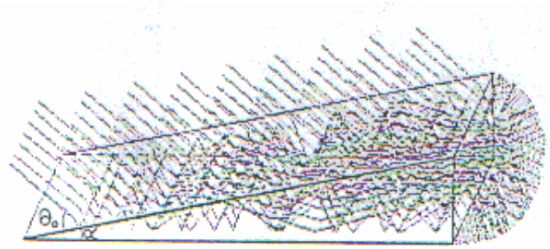


Figure 2. Comportement en lumière parallèle ($\theta_0=35^\circ$) d'un concentrateur prismatique ($\alpha=5^\circ$ et $n=1,49$).

Le trajet optique (D) en fonction des coordonnées des points de réflexions totales internes (X_N, Y_N, Z_N) et du nombre N de réflexion est donné par (Welford & Winston, 1989):

$$D = \sum_{N=0}^{N+1} \left[(X_{N+1} - X_N)^2 + (Y_{N+1} - Y_N)^2 + (Z_{N+1} - Z_N)^2 \right]^{1/2} \quad (9)$$

La propagation de la lumière dans le concentrateur provoque une atténuation de la lumière par transmission, par absorption et par les réflexions multiples. L'intensité de sortie (I_S) d'un rayon incident (I_0) est régie par la loi de Beer-Lambert :

$$I_S = \rho^N (1 - R) (1 - R') I_0 .e^{-\alpha D} \quad (10)$$

ρ = coefficient moyen de réflexion interne, α = coefficient d'absorption du matériau.

R et R' sont respectivement les coefficients de réflexion sur les faces d'entrée et de sortie:

$$R = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(\theta_r - \theta)}{\sin^2(\theta_r + \theta)} + \frac{\sin^2(\theta_r - \theta)}{\sin^2(\theta_r + \theta)} \right] \text{ et } R' = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(\theta_{N+2} - \theta_{N+1})}{\sin^2(\theta_{N+2} + \theta_{N+1})} + \frac{\sin^2(\theta_{N+2} - \theta_{N+1})}{\sin^2(\theta_{N+2} + \theta_{N+1})} \right] \quad (11)$$

θ_{N+1} et θ_{N+2} sont les angles d'incidence et de réfraction sur la face de sortie.

Champ du concentrateur

Soit un rayon incident défini par ($\alpha_0, \beta_0, \gamma_0$) en un point d'incidence (X_0, Y_0, Z_0), subissant N réflexions internes sur les plans (P) du prisme. Les points d'intersection (X, Y, Z) avec p et les cosinus directeurs ($\alpha_N, \beta_N, \gamma_N$) des rayons réfléchis ($N \neq 0$) et réfractés ($N = 0$) sont déterminés par le procédé d'itération. Si le rayon incident ne subit pas de réflexions sur les plans 3 et 4, la propagation s'effectue dans un plan d'angle au sommet α' . A chaque réflexion, l'angle d'incidence (θ_N) diminue d'une quantité égale à α' (Si $\beta_0 = 0, \alpha' = \alpha$). L'angle α' sera alors déterminé par (Elmer, 2000) :

$$\alpha' = \text{Arc tg} \left(Z_0 / \sqrt{X_0^2 + Y_0^2} \right) \quad (12)$$

Considérons α l'angle au sommet du prisme d'indice de réfraction n , N le nombre de réflexion d'un rayon collecté et θ_N les angles de la $N^{\text{ème}}$ réflexion sur les faces 1 ou 2.

Si $\beta_0 = 0$ la propagation s'effectue dans un plan parallèle à ABC (Fig. 1).

Les réflexions internes exigent que : $\theta_r < \theta_1 < \theta_2 < \dots < \theta_N$ et $\theta_1 \leq \text{Arc cos} \left(\frac{1}{n} \right)$

Or $\theta_1 = \theta_r - \alpha$ donc $\theta_r \leq \text{Arc cos} \left(\frac{1}{n} \right) + \alpha$

La réfraction en I_0 impose une relation entre θ_0 et θ_r :
 $\text{Cos } \theta_0 = n \cdot \text{Cos } \theta_r \Rightarrow \theta_0 = \text{Arc Cos} (n \cdot \text{Cos } \theta_r)$ Donc

$$0 \leq \theta_0 \leq \text{Arc Cos} \left[n \cdot \text{Cos} \left[\text{Arc Cos} \left(\frac{1}{n} \right) + \alpha \right] \right] \tag{13}$$

L'ouverture maximale du champ est obtenue lorsque θ_0 est maximale donc :

$$\theta_0 \text{ max} = \text{Arc Cos} \left[n \cdot \text{Cos} \left[\text{Arc Cos} \left(\frac{1}{n} \right) + \alpha \right] \right] \tag{14}$$

Les variations de $\theta_0 \text{max}$ en fonction de n et α sont représentées sur la Figure 3.

On constate que $\theta_0 \text{max}$ est inférieur à 180° pour des angles au sommet du prisme inférieurs à α_m déterminé à l'aide de la relation (14) en remplaçant $\theta_0 \text{max}$ par 180° , on obtient :

$$\alpha_m = \text{Arc Cos} \left(-\frac{1}{n} \right) - \text{Arc Cos} \left(\frac{1}{n} \right) \tag{15}$$

Pour $n = 1,49$ on obtient $\alpha_m = 84,31^\circ$, cette valeur diminue lorsque n augmente.

Le champ du concentrateur à prisme dépend de deux paramètres n et α quelque soit la face d'entrée 1 ou 2. Le champ maximum de la face 1 est identique à celui de la face 2.

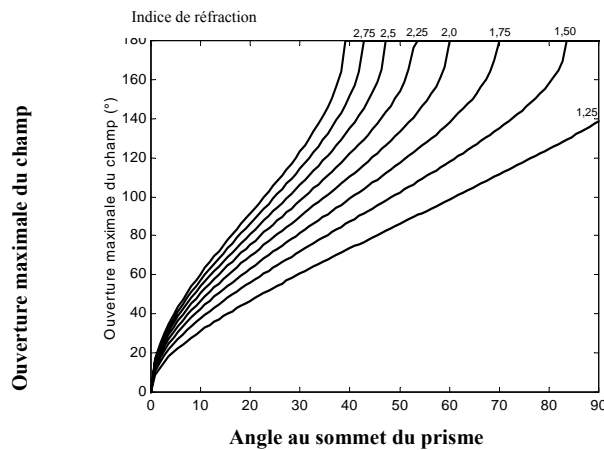


Figure 3. Variation de l'ouverture maximale du champ en fonction de l'angle au sommet du prisme.

Concentration

Considérons S la surface de la face d'entrée, s celle de la face de sortie et θ_0 l'angle d'incidence sur la face exposée au soleil. Nous considérons les cas où le concentrateur est exposé par sa face 1, ou par sa face 2.

1. concentrateur exposé par sa face 1

Pour une incidence parallèle θ_0 (avec $\beta_0 = 0$) la concentration géométrique C est :

$$C = \frac{S}{s} \sin \theta_0 = \frac{l \cdot AB}{l \cdot BC} \sin \theta_0 = \frac{\sin \theta_0}{\sin \alpha} \tag{16}$$

Cette concentration n'est supérieure à l'unité que si les angles d'incidence sont supérieurs à l'angle au sommet du prisme. Les variations de C en fonction de θ_0 et α sont représentées sur la Figure 4.

La concentration géométrique est d'autant plus élevée lorsque α s'approche de zéro, en effet, elle tend vers la concentration idéale d'un système à deux dimensions ($C_{2d} = n/\sin\theta_c$) pour un angle $\alpha \approx \theta_c$ de l'ordre de 16 minutes. θ_c étant l'angle sous lequel est vu le diamètre apparent du soleil (Compagnon *et al.*, 1995).

La valeur maximale de la concentration géométrique C_{max} est atteinte lorsque θ_0 tend vers θ_{0max} défini par l'équation 14 et on obtient alors :

$$C_{max} = \frac{\sin \left[\text{Arc Cos} \left(n \cdot \text{Cos} \left(\text{Arc Cos} \left(\frac{1}{n} \right) + \alpha \right) \right) \right]}{\sin \alpha} \tag{17}$$

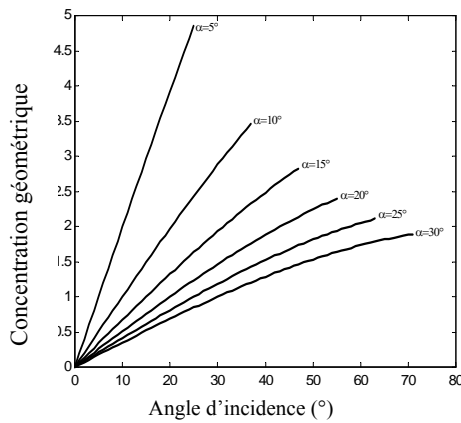


Figure 4. Variation de la concentration géométrique.

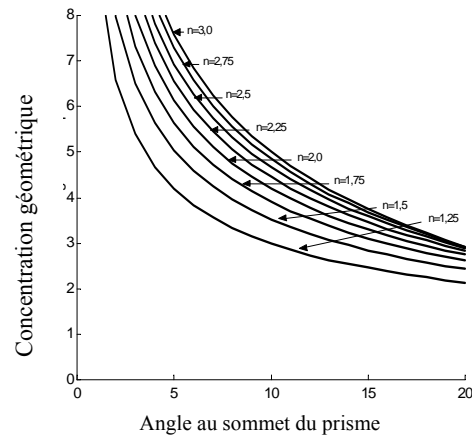


Figure 5. Variation de la concentration géométrique maximale.

Les variations de C_{max} en fonctions de n et α sont représentées sur la Figure 5 pour des angles α très grands (supérieurs à 30°), C_{max} devient faible et indépendante de l'indice de réfraction. Par contre, lorsque α est faible, C_{max} est fortement liée à n . Si $\beta_0 \neq 0$, les équations (16) et (17) restent valables si l'on remplace α par α' défini par l'équation (12) l'angle d'incidence θ_0 est alors déterminé par la relation (13) à l'aide du procédé d'itération sur β_0 .

2. Concentrateur exposé par sa face 2

Pour une incidence parallèle θ_0 (avec $\beta_0 = 0$), la concentration géométrique est :

$$C = \frac{S}{s} \sin \theta_0 = \frac{l \cdot AC}{l \cdot BC} \sin \theta_0 = \frac{\sin \theta_0}{\text{tg } \alpha} \tag{18}$$

Pour des angles au sommet du prisme α inférieur à 10° ($\text{tg } \alpha \approx \sin \alpha$), la concentration géométrique est identique à celle d'un concentrateur exposé par sa face 1. Par contre, si $\alpha > 10^\circ$, la concentration de la face 2 devient inférieure pour une incidence donnée (car $\text{tg } \alpha \approx \sin \alpha$). Pour $\alpha = 20^\circ$ et $\theta_0 = 20^\circ$. $C \approx 1$ lorsque la face 1 est éclairée et $C \approx 0,94$ lorsque la face 2 est exposée au soleil. La concentration géométrique de la face 2 décroît avec l'angle d'incidence. Elle devient supérieure à l'unité si : $\theta_0 > \text{Arc Sin}(\text{tg } \alpha)$. Elle tend vers sa valeur maximale C_{max} , lorsque θ_0 s'approche de $\theta_0 \text{ max}$ défini par la relation (14). Ainsi la concentration maximale devient :

$$C_{max} = \frac{\text{Sin} \left[\text{ArcCos} \left(n \cdot \text{Cos} \left(\frac{1}{n} + \alpha \right) \right) \right]}{\text{tg } \alpha} \tag{19}$$

Les variations en fonction de α de la concentration géométrique maximale (C_{max}) d'un concentrateur prismatique d'indice $n = 1,49$, sont représentées sur la Figure 6. Nous remarquons que pour des angles $\alpha < 10^\circ$, C_{max} est indépendante de la face éclairée.

Concentration du rayonnement

Soit P_0 la puissance du rayonnement incident et P_s celle captée par les photopiles. La concentration du rayonnement est par définition :

$$C_R = \frac{P_S}{P_0} = \eta_0 \cdot C \tag{20}$$

Avec C : La concentration géométrique définie par l'équation (18), rappelons qu'elle dépend de l'angle d'incidence θ_0 , de l'angle du prisme α (ou α' si $\beta_0 \neq 0$) et qu'elle est indépendante de la longueur (L) et de la largeur (l) du prisme. L'efficacité optique (η_0) dépend de L , l et θ_0 . Elle est calculée par la valeur moyenne des concentrations locales C_x sur toute la face d'entrée. En un point d'incidence, le trajet optique D varie très peu en fonction de θ_0 . Par des itérations sur les angles d'incidences, nous déterminons les valeurs de l'efficacité optique et nous déduisons ensuite la concentration de rayonnement. Les résultats à $\beta_0 = 0$ d'un prisme d'angle $\alpha = 5^\circ$ et d'indice $n=1,49$ exposés par sa face 1 sont regroupés sur le Tableau 1 :

TABLEAU 1

Variation de l'Efficacité Optique et de la Concentration du Rayonnement en Fonction de l'Angle d'Incidence

θ_0	5°	10°	15°	20°	25°
η_0	35%	53%	67%	73%	77%
C_R	0,35	1,06	1,99	2,86	3,75

L'efficacité optique décroît rapidement lorsque β_0 augmente. A $\theta_0 = 25^\circ$, elle passe de 77% à $\beta_0 = 0$ à environ 21% lorsque $\beta_0 = 0,1$.

La répartition de l'éclairement, à la sortie du prisme, se présente sous forme de zones d'intensités différentes. Les dimensions de ces zones varient, en fonction de ceux du prisme, de l'angle d'incidence (θ_0) et du défaut de pointage (β_0). Pour un prisme en plexiglas de longueur $L = 45,72$ Cm, d'angle au sommet $\alpha = 5^\circ$ et d'incidence $\theta_0 = 25^\circ$, la différence de concentrations sur la face de sortie est de l'ordre de $\Delta C_R = 0,3$.

CONCEPTION

Il s'agit de déterminer l'angle, la longueur et la largeur du prisme de façon à avoir un compromis entre le champ et la concentration avec des valeurs élevées.

Angle du prisme

A l'aide des courbes (Figures (3) et (5)), nous pouvons choisir l'angle α en fonction du champ et de la concentration désirée. En lumière directe, α devra être faible et élevé en éclairage diffus. En d'autres termes, le choix de α est lié au pourcentage annuel de diffus par rapport au direct du lieu considéré. Le champ du concentrateur diminue avec l'angle du prisme. Afin d'éviter les réflexions intenses sur la face d'entrée lorsque α est très faible, nous avons choisi un angle au sommet de 5° , ceci correspond alors :

$$\theta_{0\max} = 26^\circ \text{ et } C_{\max} \approx 5 \eta_0 = 77 \%. \text{ Soit une concentration de rayonnement de } 3,7.$$

Longueur du prisme

A chaque réflexion interne, l'angle d'incidence sur les faces internes du prisme ($\theta_1 - N\alpha$) diminue de α jusqu'à ce que le rayon tombe en incidence rasante sur ces dernières. Cela permet alors de déterminer le nombre maximum de réflexion (N_{\max}) existant dans un prisme :

$$\theta_r - N_{\max}\alpha = 0 \Rightarrow N_{\max} = \left[\frac{\theta_r}{\alpha} \right] = \left[\text{ArcCos} \left(\frac{\text{Cos}\theta_0}{n} \right), \alpha \right]$$

A l'aide du programme de simulation on constate que le nombre maximal de réflexions pour un prisme en plexiglas d'angle $\alpha=5^\circ$ et à incidence $\theta_{0\max}$ est $N_{\max}=10$ pour une longueur l correspondante est 45,72 Cm. Si L est supérieure à cette valeur, des aberrations apparaissent sur la face de sortie.

L'efficacité optique du concentrateur décroît en fonction de L . Pour des matériaux possédant une grande absorption, L est limitée par le trajet optique et par la concentration du rayonnement.

Largeur du prisme

La concentration géométrique est indépendante de la largeur l du prisme. Cependant, à $\beta_0 \neq 0$ l'efficacité optique dépend de l . Une largeur l grande tolère des défauts de pointage et favorise la concentration du rayonnement diffus. La largeur l du prisme est conditionnée par la puissance de sortie désirée et dépend des paramètres du site considéré (rapport du direct sur le diffus).

Evaluation des pertes

Les pertes d'intensité lumineuse rencontrées dans un concentrateur à réfraction interne sont de nature diverse. En tenant compte des différentes pertes, l'efficacité optique d'un concentrateur prismatique de réfraction $n=1,49$, de longueur $L=45,72$ Cm et d'angle au sommet $\alpha=5^\circ$ est estimée pour un contact cellule-concentrateur parfait et à l'ouverture maximale du champ à 74%. La concentration maximale de rayonnement correspondante est 3,7. En pratique, le contact cellule-concentrateur et le polissage des surfaces diminuent ces valeurs.

GENERATEUR PRISMATIQUE

Le concentrateur, éclairé en incidence parallèle ($\beta_0=0$), présente un flux divergent à la sortie. L'assemblage des modules prismatiques peut s'effectuer par juxtaposition de façon que l'angle entre les faces 1 des modules soit égal à l'ouverture maximale du champ (Fig.6).

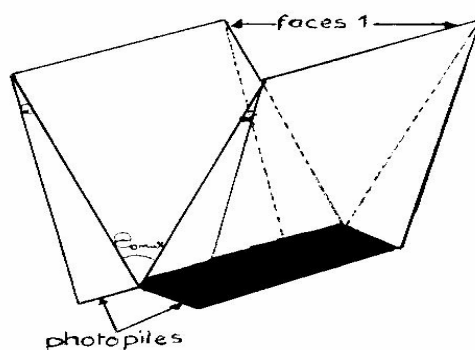


Figure 6. Générateur prismatique.

La liaison entre les cellules solaires s'effectue en série ou en parallèle selon la puissance désirée du générateur. Cet assemblage permet la participation non seulement de toutes les faces du prisme, mais aussi d'une partie des rayons réfléchis sur l'une des faces du prisme, mais aussi d'une partie des rayons réfléchis sur l'une et récupérés par l'autre. Dans le cadre de l'optique intégrée, ceci s'effectue par moulage regroupant plusieurs générateurs élémentaires.

Pour récupérer une énergie annuelle importante (sans système de poursuite), on oriente le générateur selon les normes d'orientation d'un capteur plan. Il aura alors la position Est-Ouest, face au Sud (Fig. 7) et incliné sur l'horizontale de $\beta = \varphi$ (φ : Latitude du lieu).

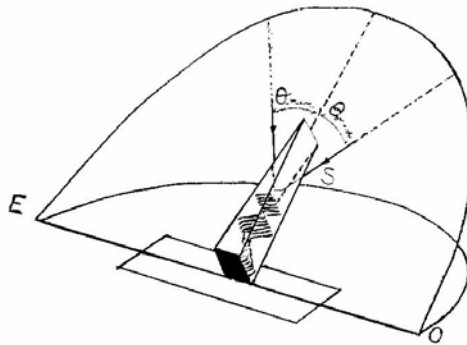


Figure 7. Orientation du prisme.

RESULTATS EXPERIMENTAUX

Le Concentrateur

Le prototype est en plexiglas d'indice de réfraction $n = 1,49$, de longueur $L = 45,72$ Cm et d'angle au sommet $\alpha = 5^\circ$. A l'aide d'un Laser Hélium-Néon de longueur d'onde $\lambda \approx 0,63 \mu\text{m}$, nous avons obtenu les résultats suivants : $\theta_{0 \text{ max}} = 25^\circ$ au lieu de $\theta_{0 \text{ max}} \approx 25,85$ théorique. Ces valeurs sont identiques pour les deux faces du prisme utilisées successivement comme face d'entrée.

Pour une incidence parallèle au plan ABC. La variation du nombre de réflexions N à $\theta_0 = 25^\circ$ en fonction de la distance x du point A est donnée par le Tableau 2:

TABLEAU 2

Variation du Nombre de Réflexions en Fonction du Point d'Incidence

$\theta \backslash N$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
25°	40	35	31	26	22	18	13	8	3	0	x(Cm)

Ces résultats sont en concordance avec ceux obtenus par simulation.

Le générateur

La cellule solaire utilisée est de type R.T.C de dimensions (2x2 Cm²) conçue pour des concentrations nominales de l'ordre de 20 Soleils à température de 25°C.

Les courbes de la Figure 8 représentent les variations de la concentration moyenne du prisme en fonction du temps (ou l'angle d'incidence). Le zéro de l'axe des temps correspond au midi temps solaire vrai. La manipulation a été conçue de façon que les deux faces du prisme concentrent successivement le rayonnement direct du soleil. Pour la face 1 du prisme, ce rayonnement passe de 720 W/m² à 740 W/m² entre le début et la fin de l'expérience. Par l'effet Cosinus, le phénomène inverse est produit pour la face 2. La concentration de la face 1, atteint sa valeur maximale de 3,4 pour $\theta_0 \approx 25^\circ$. De même pour la face 2, la concentration atteint sa valeur maximale de 3,1 pour $\theta_0 \approx 25^\circ$.

Si on considère deux heures de fonctionnement (par face), la valeur moyenne de la concentration correspondante est obtenue par la méthode des Trapèzes. D'après les courbes de la figure.8, nous obtenons une concentration journalière moyenne de 1,5 pour la face 1 et de 1,4 pour la face 2, ce qui correspond à une énergie journalière concentrée de l'ordre de 1,1 Kwh/m² sur la face 1 et environ 1 Kwh/m² pour la face 2 .

Avec des cellules solaires de rendement de 10%, nous obtenons une énergie électrique moyenne de 110 Wh/m² pour la face 1 et 100 Wh/m² pour la face 2.

L'efficacité optique η_0 du concentrateur est variable en fonction de l'angle d'incidence θ_0 . Le Tableau 3 regroupe les valeurs de cette variation :

TABLEAU 3

Variation de l'Efficacité Optique en Fonction de l'Angle d'Incidence

θ_0 (degré)	5°	10°	15°	20°	25°
η_0 (expérimentale)	30%	53%	63%	68%	72%
η_0 (théorique)	35%	53%	67%	73%	77%

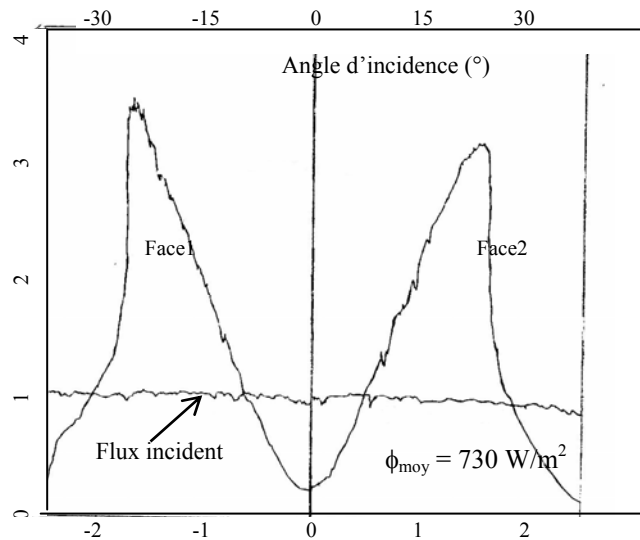


Figure 8. Variation de la concentration du rayonnement en fonction de l'angle d'incidence pour les deux faces d'un concentrateur prismatique.

Les résultats expérimentaux relatifs à la face 1 du prisme sont identiques à ceux de la face 2. Une différence maximale de 5% est enregistrée entre les valeurs de la simulation et celles de l'expérience.

Par effet de la dispersion, la tache de sortie se présente sous forme de raies (blanche, rouge et bleue) sur toute la largeur BB' du prisme. Elles se répètent autant de fois que le nombre maximal de réflexion existant dans le prisme.

CONCLUSION

L'analyse tridimensionnelle a permis la caractérisation et la détermination d'un compromis entre le champ et la concentration désirée. Les paramètres physiques donnant le compromis entre le champ et la concentration ont permis le dimensionnement du concentrateur. La simulation des rayons a donné une analyse fine de conception et de modélisation du concentrateur à réfraction interne. Le coût de l'énergie produite dépend du temps de fonctionnement et de la concentration moyenne journalière.

La basse concentration donne des prix intéressants de l'énergie convertie, pour des systèmes fonctionnant sur une durée de fonctionnement restreinte. Le générateur prismatique a une durée de fonctionnement restreinte et donne une énergie journalière produite importante. Son avantage est lié à de meilleures performances de champ et de concentration.

REFERENCES

- Benyarou, F. 1984. *Conception, modélisation et réalisation des différents optique à réfraction interne*. Thèse de 3^e cycle Université Paris VII. 15-43.
- Benyarou, F. et Benyoucef, B. 1999. Générateur photovoltaïque à réfraction interne. *Rev. Eng. Ren., T.I.*, pp. 65-70.
- Compagnon, R., Paule, B. and Scartezzini, J.L. 1993. Design of new daylighting systems using ADELIN software. *Solar Energy in Architecture and Urban Planning. 3rd European Conference on Architecture*, Florence, Italy, pp. 401-404.
- Elmer, W.B. 2000. *The optical design of reflectors*. Edition John Wiley & Sons. New-York, Chichester, Brisbane, Toronto.
- Welford, W.T. and Winston, R. 1989. *The optics of nonimaging concentrators*. Academic Press, New-York, San Francisco, London.