



UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES



Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Option : CONVERSION THERMIQUE

Thème :

**Optimisation de la largeur de l'ailette
d'un capteur solaire plan**

Par :

M^{elle} : LAKEHAL Fahima

Soutenu le 24/09/2017 devant le jury composé de :

Hamid Abdelkader	Professeur à Université de Blida1	Président
Kaci Karim	Enseignant à Université de Blida1	Examinateur
Ouali Randa	MAA à Université de Blida1	Examinatrice
Merzouk Mustapha	Professeur à Université de Blida1	Promoteur

Résumé :

Cette étude porte sur l'optimisation de la largeur d'une ailette dans le cas d'un capteur solaire plan.

L'optimisation se fait par rapport à la quantité de matière de l'absorbeur en considérant divers matériaux tels que le Cuivre, Aluminium, Acier et Plastique.

Après la détermination du rendement d'un capteur solaire plan en fonction des différents paramètres intrinsèques et extrinsèques.

Des résultats obtenus par cette étude confirment ceux de la littérature.

L'optimum de la largeur de l'ailette "w" pour le cas du cuivre est étudié par rapport à une variation de débit de fluide et aussi une variation d'émissivité.

Selon la matière la largeur optimale varie de 5 cm à 40 cm.

Mots clés :

Ailette, capteur plan, quantité de matière, débit de fluide, émissivité, l'optimum de la largeur de l'ailette.

خلاصة

هذه الدراسة تركز على الاستفادة المثلى من عرض زعنفة في حالة جامع (لاقط) الشمسية المستو.

يتم التحسين فيما يتعلق بكمية المادة في الممتص في مختلف المواد مثل النحاس الألمنيوم والصلب والبلاستيك.

بعدها تم تحديد كفاءة جامع الطاقة الشمسية المستو كدالة لمختلف المعايير الجوهرية والخارجية.

النتائج التي تم الحصول عليها من هذه الدراسة تؤكد تلك الدراسات الكتابية.

تم دراسة أفضل عرض من الزعنفة في حالة النحاس فيما يتعلق بتغير في معدل تدفق السائل وأيضا الاختلاف في الانبعاث

اعتمادا على المواد، والعرض الأمثل يختلف من 5 سم إلى 40 سم

الكلمات الرئيسية

زعنفة، مستشعر الطائرة، كمية المادة، تدفق السائل، الإنبعاثية، وعرض الأمثل من الزعنفة.

Abstract :

This study deals with the optimization of the width of a fin in the case of a planar solar collector.

The optimization is done with respect to the quantity of material of the absorber considering various materials such as (copper, aluminum, steel, plastic).

After the determination of the efficiency of a planar solar collector as a function of the various intrinsic and extrinsic parameters.

The results obtained by this study confirm those of the literature.

The optimum of the width of the fin "w" for the case of copper is studied with respect to a variation of fluid flow rate and also a variation in emissivity.

Depending on the material, the optimum width varies from 5 cm to 40 cm.

Keywords :

Fin, plane sensor, quantity of material, fluid flow, emissivity, optimum width of the fin.

DEDICACE

Je dédie ce mémoire

A mes **parents «Amar et Kelthoume»** pour leur amour inestimable, leur confiance, leur soutien, leurs sacrifices et toutes les valeurs qu'ils ont su m'inculquer.

A mes **sœurs «Noura, Fatima, Nadia et Malika»** ainsi qu'à mes **frères « Ahmed, Abd El Rezak et Halim»** pour leur tendresse, leur complicité et leur présence, ainsi qu'à mes beaux frères : **«Khalil, Samir et Zaki »**.

A mon **ami « Fares »** également, qui a été mon bras droit, mon proche collègue **«Hichem BELHAJ »**.

A mes **amies d'enfance «Hayat, Nora et Imen»** et aussi **« Imanou, khadoudja, Faty, et Mira »** pour toute l'affection qu'elles m'ont donnée et pour leurs précieux encouragements.

A mes **nièces «Ibtihel, Assil et Ranim»**, et mes **neveux «Abdeslam, Hamouda,Aymen, Youcef, Djawad,Mohamed et Iyad»**, j'espère que la vie leur réserve le meilleur.

A toute ma famille **LAKEHAL et MAHDAOUI** ainsi qu'à mes collègues ; promo 2017.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre de la préparation d'un mémoire de master en Energies Renouvelables, option conversion thermique au Département des Energies Renouvelables de l'université Saad Dahleb de Blida 1, sous la direction du **Pr MERZOUK Mustapha** que je remercie vivement pour toute l'aide qu'il m'a apportée durant toute la durée de préparation du présent mémoire.

Tout comme je remercie l'ensemble du personnel du laboratoire de recherche de département des Energies Renouvelables de Blida pour l'aide qu'ils m'ont apportée durant la préparation du présent travail.

Mes plus vifs remerciements vont au **Pr A.Hamid** pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury de soutenance du présent mémoire.

Je remercie vivement **Mr K.Kaci** et **Mme R.Ouali** pour l'honneur qu'ils m'ont fait en participant au jury en qualité d'examineurs.

Enfin, je souhaite exprimer toute ma gratitude à l'ensemble des enseignants personnes, qui ont largement contribué à son aboutissement.

Sommaire

Remerciements	i
Dédicace.....	ii
Résumé.....	iii
Sommaire	vii
Nomenclature.....	xii
Liste des tableaux.....	xiv
Liste des figures.....	xvi

INTRODUCTION GENERALE.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Etude Bibliographique

I.1. Introduction.....	3
I.2. Gisement solaire	3
I.2.1. Rayonnement incident au sol	3
I.2.2. Rayonnement global	4
I.2.3. Estimation des irradiations ou des éclairagements par ciel clair	4
I.2.3.1. Les Modèles mathématiques pour l'estimation de l'éclairagement solaire...5	
a. Modèle de Capderou.....	5
b. Modèle R. Sun	8
I.2.3.2. Les travaux portant sur le gisement solaire	10
I.3. Conversion thermique de l'énergie solaire.....	10
I.3.1. Les principes physiques de la conversion du rayonnement solaire en chaleur	10
I.3.2. Capteurs plans	11
I.3.2.a. Surface absorbante	12
I.3.2.b. Couverture transparente	15
I.3.2.c. Fluide caloporteur	16
I.3.2.d. L'isolant	17
I.3.3. Paramètres et caractéristiques de fonctionnement des capteurs solaires	17
I.3.4. Les travaux qui portant sur l'aspect énergétique	17
I.4. Aspect économique	20
I.4.1. Définition d'une ailette.....	21

Sommaire

I.4.2 Différents types d'ailettes.....	21
I.4.3 Efficacité d'ailette	22
I.4.4. Choix des ailettes	23
I.4.5. Les travaux quiportant sur l'aspect économique	23
Problématique	24
Conclusion	25

Chapitre II : Analyse théorique

II.1. Introduction	26
II.2. Etude d'un capteur solaire plan à eau.....	26
II.2.1. Modélisation des échanges thermiques dans un capteur solaire.....	26
II.3. Analyse optique.....	26
II.3.1. Rendement optique	27
II.3.2. Transmittivité d'un vitrage plan.....	27
II.3.2.1. Rayonnement Direct.....	27
II.3.2.2. Transmittivité de rayonnement diffus.....	29
II.3.3. Produit ($\tau^*\alpha$) effectif	30
II.3.4. Eclairement reçu sur un plan incliné.....	31
II.3.4.1. Angle d'incidence.....	31
II.3.4.2. Coefficient de correction géométrique (R_b).....	32
II.3.4.3. Eclairement direct, diffus ciel, diffus sol.....	33
II.3.4.4. Eclairement absorbé par la plaque absorbante (I_{abs}).....	33
II.3.4.5. Eclairement reçu par un plan incliné (I_b).....	33
II.3.5. Rendement optique du capteur.....	33
II.4. Analyse thermique.....	33
II.4.1. Bilan thermique sur un capteur solaire plan.....	33
II.4.1.1. pertes avant.....	35
II.4.1.2. Pertes arrière et latérales.....	37

Sommaire

II.5. Bilan énergétique sur un élément de l'absorbeur.....	38
II.5.1. Calcul de la quantité de chaleur reçue par l'ailette.....	39
II.5.2. Flux transmis à la base de l'ailette.....	40
II.5.3. Quantité de chaleur reçue par le tube.....	41
II.5.4. Calcul de quantité de chaleur transmise au fluide.....	42
II.5.5. Calcul du flux absorbé entre l'entrée et la sortie du tube.....	43
II.5.6. Le rendement de l'ailette.....	45
II.6 - Rendement instantané d'un capteur plan.....	45
II.7. Optimisation de la largeur de l'ailette.....	46
II.8. Organigramme de calcul	48
Conclusion.....	50

Chapitre III : Résultats et Discussions

III.1.Introduction.....	51
III.2.Caractéristiques du capteur.....	51
III.3.Validation des résultats du programme de simulation.....	52
III.4.Optimisation avec des données standards.....	53
III.5.Etude paramétriques.....	56
III.5.1.Effet de la conductivité des différents matériaux.....	56
III.5.2.Effet de la variation du débit de fluide caloporteur.....	62
III.5.3.Effet de la variation de l'émissivité.....	63
Conclusion.....	65
CONCLUSION GENERALE.....	66
Références	68

LISTE DES FIGURES

Liste des figures

Figure I.1- Conversion par effet de serre.....	11
Figure I.2- Schéma descriptif d'un capteur plan	12
Figure I.3- Revêtement sélectif.....	13
Figure I.4- Exemple typique d'une surface étendue continue.....	21
Figure I.5- Quelque exemple typique de surface étendue indépendantes.....	22
Figure I.6- Élément étudié.....	24
FigureII.1- Réfraction d'un rayon solaire dans un vitrage.....	28
FigureII.2- Multi réflexions –transmissions dans un milieu non absorbant.....	28
Figure II.3 - Variation de l'angle d'incidence de l'éclairement diffus ciel en fonction de l'inclinaison du capteur.....	30
Figure II.4- Multi absorptions – réflexions entre l'absorbeur et le vitrage.....	31
Figure II.5- Plan incliné avec repérage des angles.....	31
Figure II.6 - Bilan d'énergie sur un capteur plan.....	34
Figure II.7 - Echanges thermiques Capteur – ambiance.....	34
FigureII.8 - Bilan thermique sur un élément de surface.....	38
Figure II.9- Bilan thermique sur un élément de fluide.....	43
Figure II.10- Efficacités de l'ailette.....	45
Figure II.11- Modèle d'optimisation	46
Figure III.1- Variation du rendement théorique et expérimental	52
Figure III.2- Variation de nombre de tubes en fonction de la masse de cuivre	54
Figure III.3- Variation de rendement instantané en fonction de la masse de cuivre	54

LISTE DES FIGURES

Figure III.4- Variation du rapport (Q_u/M) en fonction de nombre de tubes	55
Figure III.5- Variation de nombre de tubes en fonction de la masse de l'Aluminium.....	56
Figure III.6- Variation de rendement instantané en fonction de la masse d'Aluminium.....	57
Figure III.7- Variation du rapport (Q_u/M) en fonction de nombre de tubes	57
Figure III.8- Variation de nombre de tubes en fonction de la masse de l'Acier	58
Figure III.9- Variation de rendement instantané en fonction de la masse de l'Acier	59
Figure III.10- Variation du rapport (Q_u/M) en fonction de nombre de tubes	59
Figure III.11- Variation de nombre de tubes en fonction de la masse de plastique	60
Figure III.12- variation de rendement instantané en fonction de la masse de plastique.....	61
Figure III.13- Variation du rapport (Q_u/M) en fonction de nombre de tubes.....	61
Figure III.14- Variation du rapport (Q_u/M) en fonction de nombre de tubes et du débit.....	62
Figure III.15- Variation du rapport (Q_u/M) en fonction de nombre de tube et d'émissivité...	63

LISTE DES TABLEAUX

Liste des tableaux :

Tableaux I.1- Caractéristiques thermo-physiques de quelques matériaux métalliques.....	12
Tableaux I.2- Propriétés de quelques surfaces sélectives	14
Tableaux I.3- Caractéristiques radiatives de quelque surfaces absorbantes.....	15
Tableaux III.1- Caractéristiques technique du capteur solaire plan.....	51

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale :

Notre étude porte sur l'optimisation de la largeur de l'ailette d'un capteur solaire plan. Nous avons commencé l'étude par faire une recherche bibliographique qui a permis de voir les définitions des différents concepts, d'étudier quelques modèles dans littérature (le modèle Brichambaut dans notre étude).

Dans le but d'étudier notre système nous avons présenté toutes les étapes nécessaires pour arriver à des résultats donnant toutes les variables caractérisant notre capteur.

Après la transformation de ces données mathématiques sous une forme numérique, nous aboutissons aux résultats qui nous permettent de connaître les différents paramètres de notre capteur.

L'énergie utile récupérée par un capteur peut être évaluée à chaque instant par la connaissance de trois paramètres qui sont :

- Le facteur de conductance **Fr**
- Les coefficients de pertes thermiques globales **Up**
- Rendement optique η_{opt}

Ensuite, nous avons optimisé la largeur de l'ailette **w** pour différents matériaux, par rapport à la quantité de matière au sens :

- **Energétique**
- **Economique**

Par la suite, Nous avons validé les résultats de la simulation on constate que :

- Il y a un écart systématique entre les deux courbes. Cet écart est sûrement dû aux propriétés thermo-physiques des constituants.
- Le rendement instantané des deux courbes est identique ce qui signifie qu'ils sont du même ordre (nous pouvons utiliser notre programme).

D'après cette étude on peut conclure que :

Les cas étudiés (cuivre, aluminium, acier et plastique) nous ont permis de tirer les conclusions suivantes pour une largeur fixe de capteur 1m.

- ◆ Pour le cuivre : le nombre des tubes 5 la largeur optimale est 9.4 cm.
- ◆ Pour aluminium : le nombre des tubes 5 la largeur optimale est 9.4 cm.
- ◆ Pour Acier : le nombre des tubes 9 la largeur optimale est 4.96 cm.

CONCLUSION GENERALE

- ◆ Pour Plastique : le nombre des tubes 20 de plus la largeur optimale est 1.9 cm.

Dans notre étude paramétrique, nous abordons **l'effet de la conductivité**, lorsque la conductivité du matériau est Plus élevée, la largeur de l'ailette est plus grande.

Nous avons également étudié **l'effet de la variation de débit du fluide caloporteur** pour le cas du cuivre, lorsque le débit de fluide caloporteur augment la largeur de l'ailette réduite à cause de flux de transfert de chaleur.

Enfin, nous avons étudié **l'effet de la variation de l'émissivité de l'absorbeur** pour le cas du cuivre, On conclut que lorsque l'émissivité du matériau est élevée la largeur de l'ailette est grande.

Les recherches faites le long d'année étaient la base de cette modeste recherche, elles attribuaient à une meilleure compréhension du sujet, mais la validation de ces résultats est un cadre indispensable . Ce qui peut être complété par une étude expérimentale.

En perspective ce travail peut être poursuivi en considérant les points suivants :

- L'étude de l'optimisation de la largeur de l'ailette au régime transitoire.
- L'étude de l'optimisation de la largeur de l'ailette interne au régime permanent ou transitoire.
- L'étude de l'optimisation de la largeur des différents types de l'ailette par rapport à la quantité de matière.
- L'étude de l'optimisation de la largeur des différents types de l'ailette par rapport à l'entropie.

Chapitre I : Etude bibliographique**I.1. Introduction**

Dans notre recherche bibliographique on va étudier trois aspects essentiels : Premièrement, l'aspect solaire (données météorologiques) car tous les systèmes solaires nécessitent une connaissance parfaite du site avec des détails sur l'ensoleillement pour quantifier l'éclairement solaire sur le capteur. Deuxièmement, l'aspect énergétique du capteur. On citera les différentes applications des capteurs plans et leurs utilisations. Troisièmement, l'aspect économique des ailettes on montrera la nécessité de leur utilisation, ainsi que leurs différentes géométries avec leurs dimensionnements.

I.2. Gisement solaire

L'estimation du gisement solaire nécessite la connaissance de l'ensemble des données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé dans des domaines aussi variés que :

- L'agriculture
- La météorologie
- Les applications énergétiques
- La sécurité publique.

Dans les systèmes d'exploitation de l'énergie solaire, le besoin de données d'insolation est d'une importance capitale aussi bien dans la conception et le développement de ces systèmes que dans l'évaluation de leurs performances. L'existence d'une solide et fiable base de données est une nécessité pour au moins la survie économique des installations de collection et de conversion de l'énergie solaire [1].

La connaissance du gisement solaire d'une région est plus ou moins précise :

- Selon la densité des stations pour lesquelles on a des données.
- Selon le nombre d'années de mesures disponibles.
- Selon le pas de temps des données (mois, jours, heures).
- Selon la nature des données (durée d'ensoleillement, composantes directe, diffuse et globale du rayonnement solaire, albédo du sol, etc.)[2].

I. 2.1 Rayonnement incident au sol :

L'énergie solaire représentée par la constante solaire moyenne à l'entrée de l'atmosphère ($C_s \approx 1367 \text{ W/m}^2$) subit une altération à sa traversée de l'atmosphère. Seulement une partie de cette énergie arrive au sol sous différentes formes.

On considère ici les rayonnements dont le spectre s'étend de $0,3\mu\text{m}$ à $3\mu\text{m}$ en laissant de côté le rayonnement thermique de plus grandes longueurs d'ondes. Les composantes de rayonnement incident au sol instantanément sont :

- **Le direct** : qui provient du disque solaire et qui a subi l'atténuation due à la traversée de l'atmosphère.
- **Le diffus** : qui provient de tous les éléments irradiés par le soleil, à savoir, la voûte céleste sans nuage (diffusion Rayleigh), les aérosols présents, les nuages et le sol. Usuellement, on projette toutes ces contributions selon la verticale du lieu [2].

I.2.2. Rayonnement global

Le rayonnement global sur une surface quelconque au voisinage du sol est la somme vectorielle des deux composantes direct et diffus. A titre de référence, on choisit habituellement une surface horizontale et on désigne le rayonnement global selon la verticale du lieu [2].

I.2.3. Estimation des irradiations ou des éclairagements par ciel clair

Pour mieux préciser les états de beau temps, il est possible soit d'introduire dans le calcul la tension de vapeur d'eau et le coefficient d'Angström, soit de caractériser l'atmosphère par un seul facteur tel que celui de Linke.

- Le coefficient d'Angström : c'est un coefficient que l'on peut déterminer à partir de deux mesures du direct avec et sans filtre. On peut aussi apprécier une valeur de ce coefficient en observant la couleur du ciel en l'absence de nuage [2] :
 - Un ciel bleu sombre correspond à un coefficient de 0.01 à 0.02
 - Un ciel bleu clair correspond à un coefficient de 0.05 à 0.07
 - Un ciel blanchâtre correspond à un coefficient de 0.1

Mais ce coefficient peut atteindre des valeurs de 0.2 à 0.4 pour des ciels pollués [2].

- Le facteur de trouble de Linke : définit comme étant le nombre d'atmosphères idéales qui, si elles étaient superposées, entraîneraient la même extinction globale que l'atmosphère réelle. Le facteur de trouble de Linke est fonction [2] :
 - De la quantité de vapeur d'eau présent dans l'atmosphère.
 - De la masse atmosphérique donc de la hauteur angulaire solaire et de l'altitude de la station.
 - Mais surtout de la quantité d'aérosols donc du coefficient de trouble d'Angström.

On trouve dans les publications plusieurs relations permettant d'évaluer le facteur de trouble de Linke. [2]

I.2.3.1. Les Modèles mathématiques pour l'estimation de l'éclairement solaire

Le rayonnement global (G) reçu par un capteur (α, γ) à trois composants ; direct (S), diffus (D) et réfléchi par le sol (R). Ces grandeurs varient aléatoirement en fonction de la hauteur du soleil, de l'Azimut, de l'angle d'incidence, des intempéries et de l'état de visibilité de l'atmosphère. L'estimation s'avère très compliqué. On utilise des méthodes approchées pour l'estimation.

Pour l'Algérie les méthodes de Capderou et R-Sun donnent de bons résultats pour l'estimation de l'énergie incidente.

L'énergie globale incidente sur un plan incliné est déduite de l'énergie reçue sur le plan horizontal, le modèle de **Capderou** emploie le facteur de trouble total de Linke très peu utilisé a lorsque le modèle de **R-Sun** n'utilise que des paramètres géographiques.

Le rayonnement solaire est composé du rayonnement direct et de diffus, le diffus est lui-même décomposé en :

- Diffus provenant du ciel.
- Diffus provenant du sol.
- Diffus provenant de la retro diffusion.

a. Modèle de Capderou

Le modèle de Capderou inspiré du modèle de Brichambaut, utilise le trouble atmosphérique pour calculer les composantes directe et diffuse de l'irradiation reçue sur un plan. L'absorption et la diffusion causées par les constituants de l'atmosphère sont exprimées par des facteurs de trouble. À partir de ces facteurs, on peut exprimer les irradiances directe et diffuse par ciel clair.

La connaissance du facteur de trouble atmosphérique est nécessaire pour déterminer les irradiances par ciel clair. Ce facteur est le rapport entre l'extinction du rayonnement direct traversant une atmosphère de référence constituée uniquement d'air pur et sec sous la même incidence. Dans ce modèle, le facteur de trouble atmosphérique de Linke par ciel clair est donné par [4,7].

$$T_L = T_0 + T_1 + T_2 \quad (\text{I.1})$$

T_0 : est le trouble dû à l'absorption gazeuse tant par les constituants fixes de l'atmosphère que par l'ozone et surtout par la vapeur d'eau. Une modélisation de ce facteur en fonction des seuls paramètres géo-astronomiques a permis à Capderou de proposer l'expression suivante :

$$T_0 = 2.4 - 0.9 \sin(\varphi) + 0.1 (2 + \sin(\varphi)) A_{he} - 0.2 Z - (1.22 + 0.14 A_{he})^* (1 - \sin(h)) \quad (\text{I.2})$$

Avec:

$$A_{he} = \sin\left(\left(\frac{360}{365}\right)(j-121)\right) \quad (\text{I.3})$$

T_1 : est le trouble correspondant à l'absorption par les gaz de l'atmosphère (O₂, CO₂ et O₃) et à la diffusion moléculaire de Rayleigh donné par l'approche :

$$T_1 = 0.89^Z \quad (\text{I.4})$$

Avec

Z : l'altitude de lieu.

T_2 : est le trouble relatif à la diffusion par les aérosols couplés à une légère absorption (il dépend à la fois de la nature et de la quantité des aérosols). En fonction du coefficient de trouble d'Angstrom β , T_2 est donné par :

$$T_2 = (0.9 + 0.4 A_{he}) (0.63)^Z \quad (\text{I.5})$$

a.1. Eclairement reçu sur un plan horizontal par ciel clair :

✓ L'éclairement direct par ciel clair obtenu sur un plan horizontal est donné par :

$$I_{bh} = I_c \exp\left[-T_L \left(0.9 + \frac{9.4}{0.89^Z} \sin(h)\right)^{-1}\right] \sin(h) \quad (\text{I.6})$$

✓ L'éclairement diffus incident sur un plan horizontal est donné par :

$$a = 1.1$$

$$b = \log(T_L - T_0) - 2.8 + 1.02 (1 - \sin(h))^2 \quad (\text{I.7})$$

avec:

$$I_{dh} = I_c \exp\left((-1 + 1.06 \log(\sin(h))) + a - \sqrt{a^2 + b^2}\right) \quad (\text{I.8})$$

a.2. Eclairement solaire global incident sur un plan horizontal :

$$I_{gh} = I_{bh} + I_{dh} \quad (\text{I.9})$$

a.3. Eclairage direct reçu sur un plan incliné

✓ L'éclairage direct est la projection de la composante normale sur un plan incliné.

$$I_b = I_c \exp \left[-T_L \left(0.9 + \frac{9.4}{0.89Z} \sin(h) \right)^{-1} \right] \quad (\text{I.10})$$

I_b : L'éclairage direct normal.

L'éclairage diffus du ciel se compose de trois parties :

-La composante directe ou circumpolaire. Elle provient du voisinage du soleil dans un cône de demi-angle au sommet compris entre 3° et 15°. On peut considérer aussi qu'elle provient directement du soleil.

$$b = \log(T_L - T_0) - 2.28 - 0.5 \log(\sin(h)) \quad a = 3.1 - 0.4b$$

$$\delta_d = I_c \exp(-2.48 + \sin(h) + a - \sqrt{a^2 + 4b^2})$$

-La composante isotrope qui correspond à un ciel de luminance uniforme.

$$\delta_i = I_{dh} - \delta_d \sin(h) \quad (\text{I.11})$$

I_{dh} : est le diffus sur un plan horizontal.

-La composante du cercle de l'horizon qui provient d'une bande d'horizon d'une hauteur de 6°. Elle est associée à une accumulation d'aérosols dans les basses couches atmosphériques.

$$b = \exp(0.2 + 1.75 \log(\sin(h)))$$

$$a = \log(T_L - T_0) - 3.1 - \log(\sin(h))$$

$$\delta_h = I_c \frac{-0.02a}{a^2 + ab + 1.8} \exp(\sin(h))$$

Le diffus du ciel est l'éclairage diffus incident en provenance du ciel.

$$\delta_i = I_{dh} - \delta_d \sin(h) \quad (\text{I.12})$$

L'éclairage diffus du sol est caractérisé par l'albédo du sol qui indique la réflexion de la lumière incidente. Pour un plan quelconque (α, γ) on a :

$$I_{dsol} = \delta_d \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \quad (\text{I.13})$$

Avec :

$$\delta_d = \rho I_{gh}$$

I_{gh} : est l'éclairement global horizontal.

ρ : Albédo du sol.

L'éclairement diffus rétrodiffusé est celui diffusé à nouveau par le ciel vers le sol. Selon le raisonnement de Capderou, cette composante a la forme suivante [3] :

$$\delta'_i = 0.9 (\rho - 0.2) I_{gh} \exp\left(-\frac{4}{\sqrt{(T_l - T_0)}}\right) \quad (\text{I.14})$$

L'éclairement diffus incident sur un plan incliné est donné par.

$$I_D = I_{dciel} + d_{dsol} + \delta'_i \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \quad (\text{I.15})$$

D'où l'éclairement global incident, à un instant donné sur un plan incliné est :

$$I_g = I_b + I_d$$

b. Modèle R. Sun

b.1. Facteur de trouble de Linke

Le facteur de trouble atmosphérique de linke T_L représente le nombre d'atmosphères idéales qui, si elles étaient superposées, entraîneraient la même atténuation que l'atmosphère réelle. L'avantage du facteur de linke est d'exprimer les divers paramètres, tels que la vapeur d'eau atmosphérique et les aérosols en un seul indice facile à utiliser.

Le rayonnement direct normal est exprimé en fonction du facteur TL. Selon la formule suivante :

$$I_N = I \times \exp(-T_L \times m_A \times \delta_r) \quad (\text{I.16})$$

La détermination du rayonnement solaire en fonction du facteur de Linke nécessite un modèle mathématique. La plupart des modèles existants nécessitent la connaissance d'un grand nombre de données relatives au site.

b.2. Eclairement direct incident sur un plan horizontal par ciel clair

Le rayonnement direct normal Boc ($W m^{-2}$) est exprimé en fonction du facteur T_{LK} selon la formule suivante [5, 6,7] :

$$I_{bn} = I_c \times \exp \{-0.8662 T_L \times m \times \delta_r(m)\} \quad (I.17)$$

Le terme $-0.8662 T_L$: est le deuxième facteur de trouble atmosphérique de Linke par ciel clair (sans dimension) corrigé par Kasten [6].

Le rayonnement direct incident sur un plan horizontal par ciel clair b_{hc} est donné par l'équation suivante.

$$I_{bn} = I_c \times \exp (-0.8662 T_{LK} \times m \times \delta_r(m)) \times \sin(h) \quad (I.18)$$

b.3.Eclairement diffus incident sur un plan horizontal par Ciel Clair

Quand le ciel sans nuage devient plus trouble, l'éclairement diffus augmente, alors que l'éclairement direct diminue. L'estimation de la composante diffuse sur un plan horizontal ($W m^{-2}$) est effectuée en faisant le produit de l'éclairement énergétique normal extraterrestre, le facteur de transmission (T_n est en fonction uniquement du facteur de trouble atmosphérique de Linke corrigé T_{LK}) et une fonction du diffus de l'altitude solaire F_d qui ne dépend que de l'altitude solaire [5].

$$I_{dh} = I_c \times T_n (T_{LK}) \times F_d (h_0) \quad (I.19)$$

L'estimation du facteur de transmission $T_n (T_{LK})$ permet de donner un éclairement diffus théorique sur une surface horizontale. L'expression suivante est sous forme d'une fonction polynomiale de deuxième ordre : [5,6].

$$T_n (T_{LK}) = -0.051843 + 0.030543 T_{LK} + 0.0003797 T_{LK}^2 \quad (I.20)$$

F_d : Fonction de l'altitude solaire, elle est donnée par l'expression :

$$F_d (h_0) = A_1 + A_2 \sin h_0 + A_3 \sin^2 h_0 \quad (I.21)$$

A_i : sont des coefficients dépendants uniquement du facteur de trouble T_L corrigé, définis par les expressions suivantes [5] :

$$A'_1 = 0.26463 - 0.061581 T_{LK} + 0.0031408 T_{LK}^2$$

$$A_1 = 0.0022 / T_n (T_{LK}) \text{ si } A'_1 T_n (T_{LK}) > 0.0022$$

$$A_1 = A'_1 \text{ si } A'_1 T_n (T_{LK}) \geq 0.0022$$

$$A_2 = 2.04020 + 0.018945 T_{LK} - 0.011161 T_{LK}^2$$

$$A_3 = -1.3025 + 0.039231 T_{LK} - 0.0085079 T_{LK}^2$$

Subséquentement, l'éclairement global sur une surface horizontale est calculé comme suit :

$$I_{gh} = I_{bh} + I_{dh}$$

I.2.3.2. Les travaux portant sur le gisement solaire :

- Parmi les premières équations permettant d'estimer la moyenne à long terme de l'éclairement direct et diffus reçue par jour sur un plan horizontal on peut citer le modèle développé par Perrin et **Brichanbaut** en 1978 à partir des tables d'observation et de calcul de **Dogniaux R** en 1976.
- En 1979 **Cole** a développé des relations donnant la puissance moyenne reçue sur une surface perpendiculaire par temps à un ciel clair à partir des résultats de **Moon** en 1940.
- En 2013 suite aux travaux de **Mohamed Rédha YAICHE** et **Abdellah BOUHANIK** ont établi un ATLAS du gisement solaire.

I.3. Conversion thermique de l'énergie solaire [9] :

Une des manifestations les plus évidentes du rayonnement solaire est la chaleur qu'il apporte. Ce paragraphe est consacré aux dispositifs qui convertissent le rayonnement solaire en chaleur, parce que le but de recherche est justement la production de chaleur.

On peut classer ces dispositifs selon le degré de concentration du rayonnement solaire qu'ils opèrent avant la transformation en chaleur.

➤ Il existe deux grandes familles de capteurs solaires :

-Les capteurs sans concentration (capteur plan).

-Les capteurs à concentration (capteur cylindre CPC, parabole).

- ◆ Le capteur plan est le type le plus simple de collecter du rayonnement solaire permettant de convertir l'énergie de ce rayonnement en forme d'énergie directement utilisable.

I.3.1. Les principes physiques de la conversion du rayonnement solaire en chaleur :

Le processus fondamental de la conversion thermique, d'un usage généralisé à l'heure actuelle, est **l'effet de serre**, voir figure (I.3)

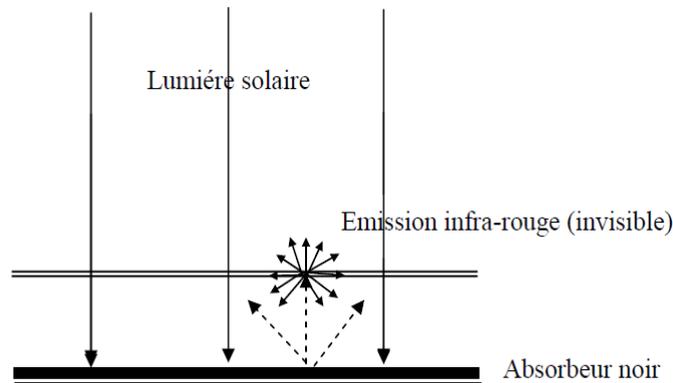


Figure (I.1) : conversion par effet de serre.

Cet effet résulte de la transmission sélective de certains matériaux, le verre et quelques plastiques transmettent totalement le rayonnement solaire dont les longueurs d'ondes sont pratiquement comprises entre 0.3 et 2.5 μm , mais ils sont absorbants pour les longueurs d'ondes plus élevées. Le rayon incident traverse donc la lame et va chauffer le corps noir (absorbeur). Celui-ci rayonne aussi mais à une température qui n'est pas très élevée et son rayonnement se situe dans la zone de l'infrarouge qui se trouve piégée.

Par la lame qui est opaque vis-à-vis du rayonnement dans le domaine de l'infrarouge. Un vitrage constitue un piège à calories, connue généralement sous le nom de l'effet de serre, cet effet sera augmenté si l'on utilise un double ou un triple vitrage [8].

I.3.2. Capteurs plans :

Ce sont des dispositifs "à deux dimensions" (sans concentration). Ils peuvent transformer Le rayonnement solaire en chaleur à basse température. Ce sont en général des surfaces planes noircies (pour mieux absorber le rayonnement), surface sélective et couvertes d'une vitre pour profiter de l'effet de serre et donner les pertes par convection naturelles ou forcée (vitesse du vent).

Un fluide circule à l'intérieur de la surface absorbante pour emporter la chaleur produite. La température ne dépassant pas 80°C. Ceci n'est pas un handicap pour des applications telles que l'obtention de l'eau chaude domestique. Ces capteurs ont l'avantage d'utiliser aussi bien les rayons directs du soleil que les rayons diffusés, c'est à dire que même par temps couvert, le fluide caloporteur de capteur parvient à s'échauffer. L'autre avantage est qu'il n'est pas nécessaire d'orienter le capteur suivant le soleil.

I.3.2.a. Surface absorbante

Son rôle est de transformer le rayonnement solaire de courtes longueurs d’onde en chaleur. En chauffant, l’absorbeur va rayonner dans l’infrarouge. La fraction d’énergie effectivement rayonnée sur l’énergie que rayonnerait la surface considérée comme un corps noir est appelée facteur d’émission ϵ ou émissivité. L’émittance \mathcal{M} d’une surface à la température T s’écrit :

$$\mathcal{M} = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$

Où σ est la constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{w} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$).

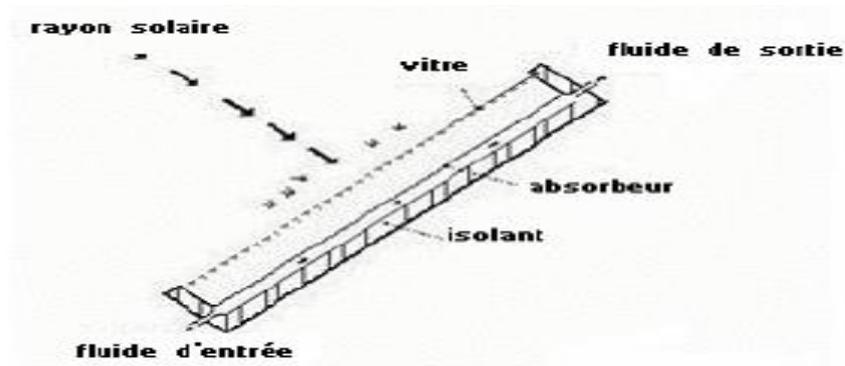


Figure (I.2) : Schéma descriptif d’un capteur plan.

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques thermo-physiques de quelques matériaux utilisés comme absorbeurs.

Tableau I.1 : Caractéristiques thermo-physiques de quelques matériaux métalliques.

Métal	Conductivité thermique $\lambda = \left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$	Chaleur massique $Cp = \left(\frac{J}{kg \cdot K}\right)$	Masse volumique $\rho = \left(\frac{kg}{m^3}\right)$	Diffusivité thermique $\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot Cp} \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$
Cuivre	380	398	9800	108
Acier inoxydable	46	460	7800	4
Aluminium	204	879	2700	86

➤ **Absorbeur sélectif [10] :**

Une surface qui a un coefficient d'absorption élevé est un bon absorbant du rayonnement solaire, Idéalement, une surface sélective et celle qui absorbe toutes les longueurs d'onde solaire et qui n'émet dans aucune des longueurs d'onde de chaleur, de sorte que plus de chaleur pourrait être transférée au fluide de travail, car une telle surface, $\alpha = 1$ et $\varepsilon = 0$. Les absorbeurs sélectifs fabriqués peuvent être approché de cet idéal.

➤ **Loi de Kirchhoff**

$$\alpha_{\lambda}(T) = \varepsilon_{\lambda}(T)$$

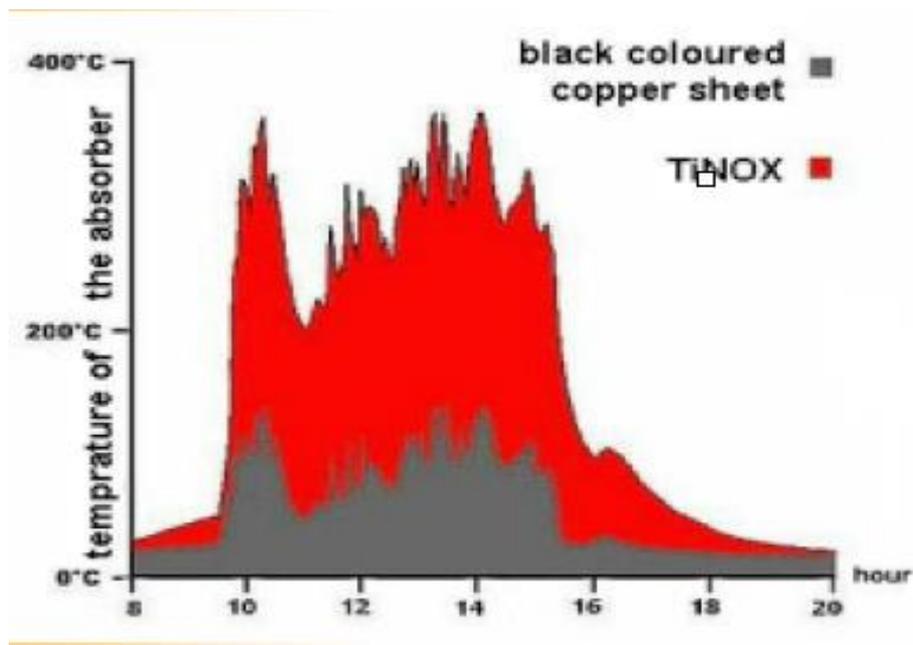


Figure (I.3) : Relation entre l'absorbeur et la Température (revêtement sélectif).

On appelle sélectivité, le rapport du facteur d'absorption solaire au facteur d'émission infrarouge.

Deux coefficients déterminent les caractéristiques de ces absorbeurs sélectifs :

α : coefficient d'absorption (0 à 1, optimum : 1).

ε : coefficient d'émission (0 à 1, optimum : 0).

Un tel traitement de surface peut être obtenu par des procédés électrochimiques ou électro-physiques. De nombreux progrès ont été réalisés dans ce domaine. Les plus importants, classés par ordre d'apparition, seront présentés et comparés par rapport à la peinture noire.

Le tableau I.2 : Propriétés de quelques surfaces sélectives.

État de surface de différents matériaux	α coefficient d'absorption	ε coefficient d'émission	La sélectivité α / ε
Cuivre poli	0.25	0.02	12.5
Acier poli	0.63	0.09	7
Aluminium anodise	0.80	0.14	5.71
Nickel brillant	0.34	0.07	4.86
Aluminium poli	0.01	0.04	2.5
Peinture noire (silicate)	0.97	0.88	1.01
Peinture aluminium	0.26	0.26	1
Peinture blanche (silicate)	0.14	0.90	0.16
film plastique recouvert d'or	0,30	0,03	10
acier sablé	0,75	0,80	0,94
SSM :Kaptona luminisé de 0,5 mm d'épaisseur	0,36	0,52	0,69

Tableau I.3 : Caractéristiques radiatives de quelques surfaces absorbantes.

revêtements sélectifs	α	ε	α / ε
chrome noir (Black Chrome Black)	0.93	0.10	9.3
Nickel de nickel poli (Nickel on polished nickel)	0.92	0.11	8.14
Nickel noir sur le fer galvanisé (Black Nickel on galvanized iron)	0.89	0.12	7.4
CuO sur le nickel	0.81	0.17	4.7
Co ₃ O ₄ sur l'argent	0.90	0.27	3.3
CuO sur l'aluminium	0.93	0.11	8.5
CuO sur l'aluminium anodisé (on anodized aluminum)	0.85	0.11	7.7

I.3.2.b. Couverture transparente

Durant le fonctionnement thermique d'un capteur solaire plan, la couverture transparente joue un rôle essentiel, qui est de permettre l'effet de serre : elle doit pour cela transmettre la plus grande partie possible du rayonnement solaire incident, et absorber (ou réfléchir dans le cas des couvertures transparentes dites sélectives) les rayons infrarouges provenant de l'absorbeur. Elle doit aussi confiner une lame d'air au-dessus de l'absorbeur, de façon à limiter les échanges convectifs. De façon contradictoire, la couverture transparente est donc par l'effet de serre à l'origine de l'échauffement de l'absorbeur, et par la réémission des rayons infrarouges le siège des pertes thermiques les plus importantes du capteur solaire.

Ses propriétés essentielles seront donc ses caractéristiques optiques et sa tenue mécanique. Elles devront présenter un facteur de transmission énergétique élevé de 0,3 à 2,2 microns, c'est-à-dire sur l'étendue du spectre solaire, et une opacité totale aux infrarouges lointains, de 4 à 30 μm , c'est à-dire aux longueurs d'onde d'émission du corps noir correspondant à des températures de 100 °C à -20 °C (en tenant compte de la largeur des spectres) Elles devront d'autre part présenter une bonne résistance

aux chocs et aux sollicitations mécaniques, qui peuvent être dues à des variations de pression ou aux simples dilatations différentielles.

Le verre est généralement choisi pour les couvertures de capteurs solaires à cause de ses propriétés optiques. Néanmoins sa tenue aux chocs ne peut être assurée en fonctionnement qu'au prix d'une épaisseur élevée (4 parfois 6 mm) ou de traitements particuliers (trempe). Il reste deux inconvénients majeurs à l'emploi du verre : son poids et les risques de casse accidentelle en transport, en manutention ou lors de la pose. C'est pourquoi de nombreux fabricants de capteurs solaires s'orientent vers l'emploi de matières plastiques, moins lourdes et moins fragiles. Néanmoins, si le verre peut être considéré comme un matériau de référence en vieillissement, l'emploi de matériaux polymériques nécessite une étude sérieuse de leur durabilité.

Actuellement les trois matières plastiques utilisées comme couvertures sont :

- Le polyméthacrylate (PMMA) : est un thermoplastique transparent parfois appelé verre acrylique, chimiquement, c'est le polymère synthétique de méthacrylate de méthyle.
- Le polycarbonate (PC),
- Le polyester renforcé aux fibres de verre (PRV) : Le PRV est un matériau composite thermodurcissable, principalement constitué de résine de polyester insaturé, renforcé de fibres de verre et chargé en agrégats. La résine polyester joue le rôle de liant entre les différents composants.

Ces trois matériaux sont connus et employés dans certaines applications, dans le bâtiment depuis déjà de nombreuses années.

I.3.2.c. Fluide caloporteur

Pour évacuer la chaleur emmagasinée par la surface absorbante, on utilise habituellement soit l'eau soit l'air, ce dernier se distingue par les avantages suivants :

- Pas de problème de gel l'hiver ou d'ébullition l'été.
- Avec l'air sec, il n'y a pas de problème de corrosion.
- Mise en œuvre simple.
- Système fiable.

Mais son utilisation entraîne les inconvénients suivants :

- L'air ne peut servir qu'au chauffage des locaux.
- Le produit de la masse volumique par la chaleur spécifique est faible pour l'air comparativement à celui dans le cas de l'eau.

- Les conduites doivent avoir une forte section pour laisser passer un débit suffisant compte tenu de la remarque précédente.
- Les transferts thermiques sont moins bons qu'avec l'eau. Dans le cas de tuyauteries soudées sur la face arrière de la plaque absorbante, il faut prendre soin aux soudures afin de réduire le plus possible la résistance thermique de contact.

I.3.2.d. L'isolant

Pour minimiser les pertes calorifiques du système, il faut isoler ses parois. Vers l'avant c'est le plus souvent une lame d'air qui fait office d'isolant. Son épaisseur ne doit pas être trop importante pour limiter les transferts par convection. On choisira une distance comprise entre 2 à 3 cm. A la partie arrière, on place une ou plusieurs couches d'isolant du type : laine de verre, polystyrène, mousse de polyuréthane.

L'étude de capteur solaire nous exige de faire un approche sur la modélisation du rayonnement incident sur un plan incliné par un angle avec l'horizontal.

I.3.3. Paramètres et caractéristiques de fonctionnement des capteurs solaires [11] :**a- Paramètres externes**

- La position du soleil et de la durée de l'ensoleillement
- La température ambiante.
- La vitesse du vent sur le capteur

b- Paramètre internes

- Paramètres de position : l'inclinaison et l'orientation.
- Dimensions du capteur : épaisseur, longueur, largeur et la surface réceptrice.
- La section de passage de fluide caloporteur.

c- Paramètres de fonctionnement

- Le débit de fluide caloporteur.
- Les températures des différentes parties du capteur.

I.3.4. Les travaux portant sur l'aspect énergétique :

- Parmi les travaux scientifiques portant sur la caractérisation et l'étude des performances des capteurs solaires, nous pouvons citer en chronologique les travaux portant sur la théorie des

capteurs, établis par **HOTTEL et WOERTZ** en 1942,

- Depuis, d'autres études ont été faites notamment celles portant sur la modélisation relative à différences configurations de capteur solaire, par **BLISS. R.W** en 1959,
- En 1974 **KLEIN.S, J.A.DUFFIE et W.A.BECKMAN**, ont publié une étude sur l'effet de la capacité thermique sur la modélisation des performances d'un capteur solaire plan souvent négligée.
- **CHARLES C. SMITH** et al, ont présenté en 1977 une nouvelle méthode de calcul du rendement de **HOTTEL, WHILLIER et BLISS**. La méthode permet le calcul du facteur de conductance thermique à partir des essais effectués pour un coefficient des pertes thermiques globales proche de zéro.
- **WARREN.F**, en 1979 à présenter une méthode qui prédit les performances d'un capteur solaire en incluant les effets de la conduction axiale dans l'absorbeur.
- **ZUGARI. M. R et J. J. VILLIERME**, en 1993 améliorent les performances thermiques d'un capteur solaire par l'intégration d'une structure à lamelles sur l'absorbeur.
- **AVEZOV.R, N. A. KAKHAROV et K.B.KHODDZHIEV**, en 1994 améliorent les performances thermiques d'un capteur solaire par diminution de la température de l'absorbeur en utilisant un dispositif démontable plaque-tube.
- ❖ en Algérie, il existe beaucoup de travaux portant sur l'étude des performances et la caractérisation des capteurs solaires :
 - En 1986 **MERZOUK.M**, au centre d'études nucléaires et solaires étudie la contribution à la détermination des performances théoriques et expérimentales des capteurs solaires sous vide en régime permanent.
 - On peut citer aussi l'étude effectuée, la même année par **KASBADJI .N**, au CNR de Padoue en Italie, qui porte sur l'étude théorique et expérimentale de trois capteurs solaires en régime permanent qui sont :
 - Capteur plan entièrement en plastique P-P.
 - Capteur plan en plastique à couvert vitré P-V.
 - Capteur plan à fibres de verre P-C-F.

- Dans le but de minimiser les pertes thermiques vers l'avant de l'absorbeur, **FEYZA BENYELLES et Al** ont proposé de placer un isolant « aérogel de silice » au-dessus de l'absorbeur. Les auteurs ont choisi l'aérogel de silice pour ses propriétés.

C'est un matériau solide à basse densité variant de 80 à 270 kg/m³, transparent, poreux (porosité de l'ordre de 20mm), la transmittance solaire normale est de 90%. Sa conductivité thermique est de l'ordre de 0.02W/m.K.

Plusieurs capteurs dans les mêmes conditions expérimentales ont été comparés :

- Capteur simple vitrage à absorbeur non sélectif.
- Capteur simple vitrage à absorbeur sélectif.
- Capteur double vitrage à absorbeur non sélectif.
- Capteur simple vitrage à absorbeur non sélectif muni d'un isolant à aérogel de silice.
- Dans le but de favoriser le transfert thermique entre l'absorbeur et le fluide de travail dans un capteur à air, **A.AMED ZAID et AL** ont introduit des chicane dans la vanne dynamique du capteur, lesquelles vont augmenter la section de passage de l'air, d'où l'augmentation du nombre de Reynolds et la création de la turbulence. Les auteurs ont utilisé des chicanes Delta centrées Longitudinalement (DCL), Ogivales centrées Longitudinalement (OCL) et transversales- Longitudinalement (TL), placées sur l'isolant, sous l'absorbeur ou par la combinaison entre les deux types. Les résultats expérimentaux ont montré que les chicanes (TL) présentent un bon rendement par rapport aux chicanes (DCL), (OCL).
- **ZERROUKI et AL** ont établi une modélisation mathématique d'un capteur solaire à air de conception conventionnelle à deux passes (circulation d'air de part et d'autre de l'absorbeur).et ont étudié le cas où le capteur est dans un état tel que les conditions de **BLISS** sont respectées. Ils ont fait un bilan respectivement sur la couverture transparente, l'absorbeur puis isolation thermique arrière. Ils ont résolu le système d'équations obtenus, pour fournir les expressions mathématique exactes des paramètres $U_L F_r$ et F' qui sont représentés graphiquement.
- **A.BENKHELIFA**, développe un modèle mathématique permettant de calculer les pertes thermiques. Les équations de ce modèle ont été résolues par une méthode itérative, dont les résultats de ce modèle étaient en bon accord avec ceux issus des relations empiriques rencontrées dans la littérature. Ce travail, on a confirmé que le coefficient des pertes thermiques augmente avec l'augmentation de l'émissivité de l'absorbeur et sa température et le coefficient d'échange convectif avec l'air ambiant, mais, il diminue avec l'accroissement de

la distance entre l'absorbeur et la vitre. [Selon ce dernier, le coefficient des pertes thermiques augmente avec l'augmentation de l'émissivité de l'absorbeur, sa température, et le coefficient d'échange convectif avec l'air ambiante, alors qu'il diminue avec l'accroissement de la distance entre l'absorbeur et la vitre].

- En 1989 **HELLEL .M**, au CDER étudie les performances thermiques de capteurs solaires plans sans vitrage.
- En 1990, **RAHNI. N**, élabore au CDER une étude sur l'estimation des performances mensuelles moyennes d'un chauffe-eau solaire à long terme à thermosiphon par la méthode F-Chart.
- La même année, **HAMID. A**, du CDER réalise et expérimente des capteurs solaires plans dans le but d'optimiser la surface de captation d'une installation de chauffage d'eau solaire collectif.
- **SEMMAR. D**, contribue à l'étude et la conception d'un capteur solaire à air pour la production d'air chaud au sein du CDER. Il définit un certain nombre de règles et de critères pour les systèmes utilisant l'air comme fluide caloporteur.
- Les travaux de **H. ABDI et AL [25]**, concerne à l'étude de deux types de capteurs plans avec des formes différents de la plaque d'absorption du rayonnement solaire. il s'agit principalement d'étudier l'effet de la forme géométrique des passages de fluide sur l'efficacité des capteurs dans le cas d'un contact direct eau – plaque d'absorption. Pour améliorer le rendement d'un capteur solaire plan, ils ont cherché à favoriser l'échange de la chaleur entre l'absorbeur et le fluide caloporteur. Un modèle mathématique a été élaboré et validé expérimentalement. La comparaison des résultats théoriques et expérimentaux montre, que le rendement journalier du capteur avec une plaque d'absorption de forme convexe est meilleur que celui avec une plaque de la forme concave.

I.4.Aspect économique :

La transmission de chaleur est devenue l'une des plus importants domaines scientifiques à cause de leur besoin et leur rôle dans la vie d'une part, et pour développer les moyens dans tous les domaines technologiques et économiques. Il y'a des techniques, qui concernent toutes les modifications possibles de la surface de transfert, depuis le changement de son état (création de rugosités), en passant par les extensions (ailettes) jusqu'à l'ajout d'un revêtement pour modifier ses

propriétés. La rugosité de surface permet par exemple de promouvoir la turbulence dans le fluide, ce qui aura souvent pour conséquence de modifier les pertes de charge. Il en est de même pour les dispositifs d'insert modifiant l'écoulement ou favorisant les mélanges. Quant aux extensions de surface, elles sont généralement utilisées lorsqu'un des deux fluides a un coefficient convectif très faible par rapport à l'autre. La surface d'échange en contact avec ce fluide est alors augmentée afin de diminuer la résistance thermique correspondante. [12]

L'objet est d'étudier les ailettes, qui ont un rôle spécifique dans le domaine des échangeurs de chaleur, et on recherche la largeur d'ailette la plus efficace parmi les ailettes étudiées.

Notre étude est consacré sur l'ensemble radiateur et absorbeur (tubes-ailettes).

I.4.1. Définition d'une ailette :

L'ailette comme son nom l'indique est un appendice que l'on dispose sur un dispositif que l'on désire refroidir ou chauffer efficacement. L'idée est d'augmenter la surface d'échange.

On peut voir des ailettes sur les radiateurs de chauffage domestique, sur le radiateur de voitures, sur les microprocesseurs dans les systèmes électroniques [16].

I.4.2 Différents types d'ailettes :

Les différents types d'ailettes sont regroupés en deux grandes parties :

- Ailettes continue

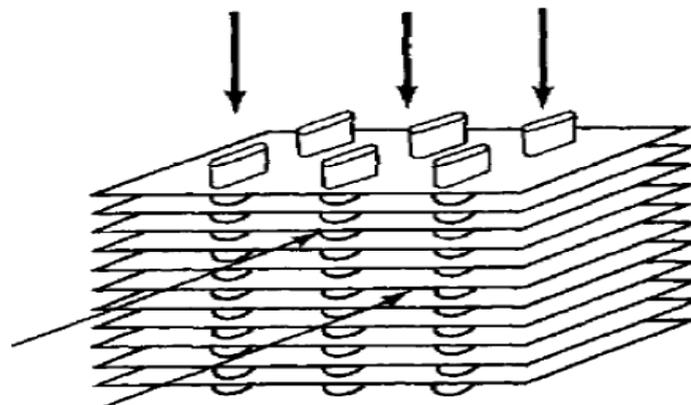


Figure (I.4) : Exemple typique d'une surface étendue continue [14].

- Ailettes indépendantes

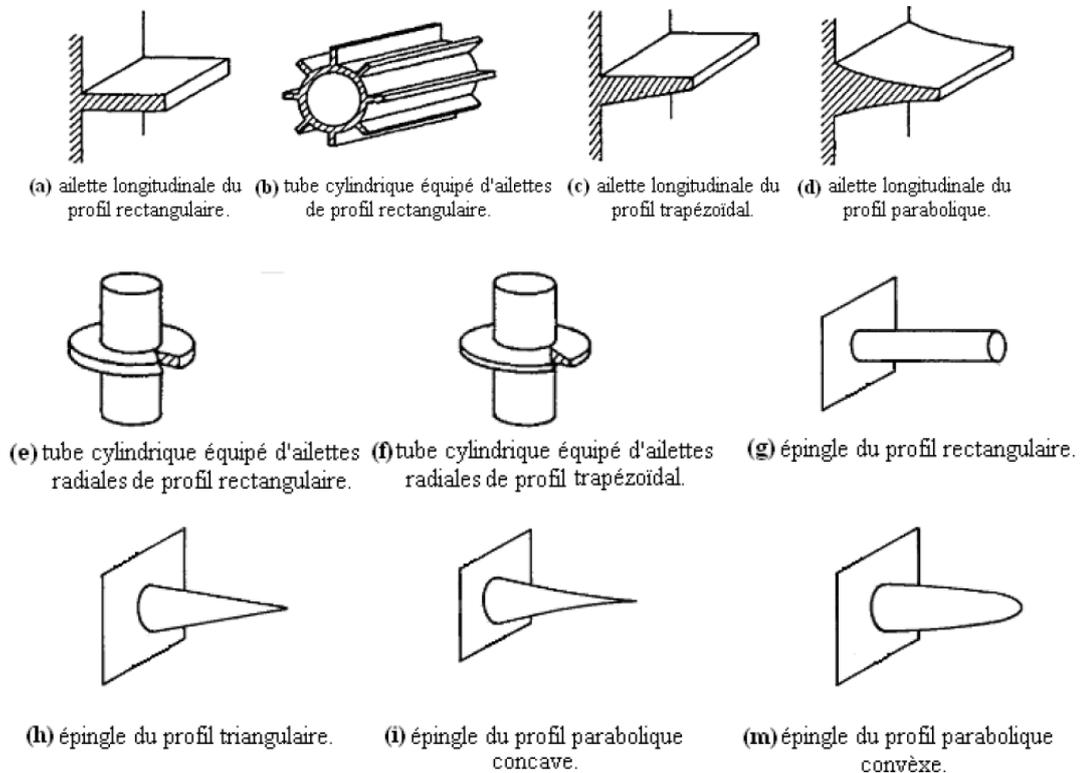


Figure (I.5) : Quelques exemples typiques de surfaces étendues indépendantes [14].

Les ailettes continues sont utilisées dans les échangeurs de chaleur employés dans l'habitat, tandis que les échangeurs de chaleur industriels ont plutôt des ailettes indépendantes.

✚ Une ailette est caractérisée par : [15].

La surface d'échange totale S_{tot}

L'efficacité η

Le flux total échangé q_f

L'évolution de la température suivant la longueur $T(x)$

L'évolution du flux suivant la longueur $q(x)$.

I.4.3. Efficacité d'ailette [13] :

L'efficacité d'une ailette est définie comme étant le rapport de la puissance thermique réellement échangée par l'ailette à la puissance thermique théorique qu'elle serait capable d'échanger si toute la surface de l'ailette est à la température de sa base T_b .

$$\eta = \frac{q_{réel}}{q_{th}}$$

I.4.4. Choix des ailettes :

Les ailettes sont utilisées lorsqu'il faut extraire une quantité de chaleur importante dans un encombrement réduit, comme par exemple dans le radiateur d'automobile, le carter de moteur refroidi par air, l'évaporateur de climatiseur, etc.

D'une façon générale, l'usage des ailettes est peu utile pour les liquides car le coefficient d'échange convectif est grand mais important dans le cas des gaz car le coefficient d'échange convectif est faible [17].

Des ailettes étroites et rapprochées sont meilleures que des ailettes plus grandes et espacées mais on est limité par les pertes de charges (elles deviennent trop importante si l'on diminue trop l'écartement des ailettes). L'ailette est d'autant plus performante que sa conductivité thermique λ est élevée. Le choix des ailettes résulte finalement d'un compromis entre le prix, les pertes de charge et les qualités de chaleur échangés [17].

I.4.5. Les travaux qui portant sur l'aspect économique :

- La première recherche sur les ailettes a commencé au début du 20^{ième} siècle par **HARPER** et **BROWN** en 1922 puis **GARDNER** en 1945 qui sont les premiers à avoir étudié des différentes formes ailettes leurs travaux sont devenus une approche générale.
- **THRELKELDA** étudié l'expression analytique de l'efficacité globale d'une ailette humide en utilisant la différence d'enthalpie comme force motrice pour la production de transfert de chaleur et de masse simultanément.
- **BALARAMA** présenté une résolution analytique de la performance et l'optimisation d'une ailette conique droite (trapézoïdale) humide.
- **CHIEN-NAN LIN, JIIN-YUHJANG** ont présenté une analyse numérique bidimensionnelle pour l'efficacité d'une ailette elliptique sous les conditions sèche, partiellement et entièrement humide. Pour une plage de valeurs de rapport d'axe Ar , de nombre de Biot et d'humidité relative de l'air.
- **PAISARN NAPHONA** présenté les résultats théoriques des caractéristiques de Transfert de chaleur et de l'efficacité d'une ailette annulaire dans des conditions de surfaces sèches, partiellement et entièrement humide.
- En 1999 **AMARA ABDEL KARIM** et **BELMIHOUB ABDESLAM** ont étudié le capteur solaire plan et établi l'optimisation de l'ailette par l'approche entropique.
- En 2008 **AHMED BACHA MOHAMED SAID** et **SELKA ARSLANE** ont essayé de faire une élaboration d'une interface de dimensionnement d'une ailette.

- En 2013 **MOUMENI ABDELHAMID** à fait une Analyse thermique des ailettes Détermination des profils de températures et des rendements de quelques formes géométriques simple.
- **REZIK HAFIED** en 2014 a étudié des transferts de chaleur et de masse de l'ailette humide.
- En 2016 **MOHAMMED MEHEMMAI, HAFIED REZIK** et **MEHIRA ALI** sont fait une Comparaison des efficacités des ailettes en cascade.

Malgré le grand nombre des études faites dans ce domaine et parmi eux ceux déjà présentées, la recherche dans le sens de l'étude et l'optimisation des ailettes en générale est continuellement en évolution. Ce travail est une contribution pour l'étude analytique des transferts de chaleur et de quantité de matière de l'ailette rectangulaire longitudinale.

➤ Problématique

Tous les capteurs solaires plans à absorbeur tubes-ailettes défèrent essentiellement par le type d'absorbeur. En général, quel que soit le type d'absorbeur considéré on fait toujours l'hypothèse que le flux de chaleur sur la plaque est unidimensionnel.

Le but de ce sujet est de trouver la largeur idéale d'ailette sur le principe :

- énergétique (améliorer le rendement).
- économique (quantité de matière diminue).

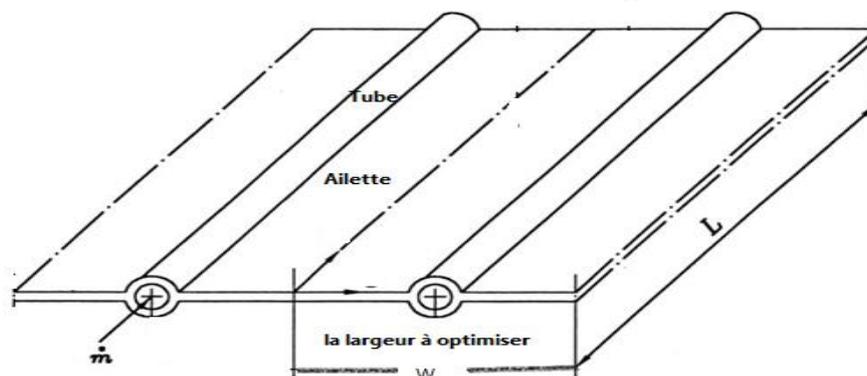


Figure (I.6) : L'élément étudié.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié les trois aspects essentiels pour que le système d'étude marche. Au début, nous avons présenté des modèles nécessaires pour l'estimation de l'éclairement solaire direct et diffus celui de Capderou et R.sun. Ensuite, Nous avons présenté un aperçu sur la technologie de captation d'énergie solaire (théorie du capteur solaire plan). A la fin nous avons terminé ce chapitre en évoquant les techniques d'utilisation des ailettes et ces différentes formes et application possible en dissipation et en récupération de la chaleur.

Chapitre II : Analyse théorique**II.1.Introduction**

D'après les concepts et les définitions sur le capteur solaire plan quand à déjà cité dans le premier chapitre, on va commencer à modéliser le capteur solaire plan à eau. Nous abordons dans l'estimation du rendement optique et les pertes globales. Dans notre propre travail sur l'ensemble tubes-ailettes on va étudier la largeur entre deux tubes (optimiser l'ailette) au sens énergétique et quantité de matière.

Afin d'arriver à simuler le comportement d'un capteur plan exposé aux rayonnements solaires à une position géographique et une période données nous devons en premier lieu établir les équations mathématiques et les bilans qui régissent les phénomènes thermiques dans le capteur solaire plan.

Dans ce qui suit, on s'intéressera particulièrement à :

- Établir le bilan énergétique au niveau du capteur
- Formuler des hypothèses pour simplifier nos calculs
- Déterminer les différents coefficients des transferts thermiques ainsi que le coefficient d'échange global
- Établir l'analogie électrique-thermique
- Déterminer les différents facteurs relatifs à la géométrie de l'absorbeur
- Établir un programme à l'aide d'un logiciel de simulation MATLAB qui simulera le comportement du capteur plan à eau dans un environnement précis puis prévoir ses performances thermiques en se basant sur les équations rapportées par Beckmann et al [18].

II.2.Etude d'un capteur solaire plan à eau :**II.2.1.Modélisation des échanges thermiques dans un capteur solaire plan :**

Avant d'aborder les calculs il est nécessaire de considérer certaines hypothèses :

- Les propriétés physiques et thermiques du fluide caloporteur (eau) sont données en fonction de sa température moyenne.
- L'ailette est considérée comme un corps mince.
- La température ambiante est la même autour du capteur.
- Les différents milieux solides ont une température uniforme dans un plan normal au sens de l'écoulement.
- Les flux de chaleur sont unidimensionnels.
- Les parois latérales sont supposées à des températures constantes.

- Le fluide caloporteur utilisé est de l'eau.
- Le système fonctionne en régime permanent.
- La température du sol est prise égale à la température de l'ambiance.
- Les surfaces d'échange de chaleur sont supposées grises et diffusantes.
- Le rayonnement diffus atmosphérique est supposé isotrope.
- La température du ciel est uniforme
- L'effet d'ombre est négligeable
- La couverture transparente est nette de toute poussière ou autre saleté.

II.3. Analyse optique :

II.3.1. Rendement optique :

L'estimation du rendement optique passe par l'évaluation des paramètres suivants, [19] :

- L'éclairement reçu par un plan incliné d'un angle β .
- L'éclairement absorbé, par la plaque absorbante du capteur.
- Produits transmittivité absorptivités, effectifs (direct, diffus ciel, et diffus sol).
- L'angle horaire ω .
- L'angle d'incidence (θ).

II.3.2. Transmittivité d'un vitrage plan :

II.3.2.1. Rayonnement Direct :

Pour l'estimation de la transmittivité totale du vitrage, nous utiliserons les résultats des travaux de Fresnel (Duffie et al, 1980). Travaux basés sur l'hypothèse qu'un rayon de lumière non polarisée peut être considéré comme la résultante de ses composantes Parallèle et perpendiculaire. Ainsi, la fraction d'éclairement réfléchi par une surface quelconque sera donnée par, [18] :

$$r = I_r / I = (r_{//} + r_{\perp}) / 2 \quad (\text{II.1})$$

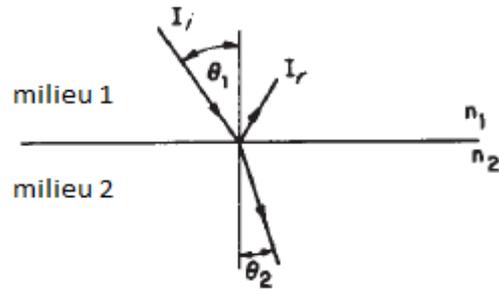


Figure (II.1) : Réfraction d'un rayon solaire dans un vitrage.

Avec :

$$r_{//} = \frac{\tan^2(\theta_1 - \theta_2)}{\tan^2(\theta_1 + \theta_2)} \quad (\text{II.2})$$

$$r_{\perp} = \frac{\sin^2(\theta_1 - \theta_2)}{\sin^2(\theta_1 + \theta_2)} \quad (\text{II.3})$$

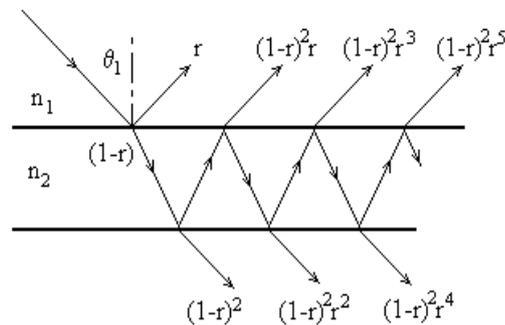


Figure (II.2) : Multi réflexions –transmissions dans un milieu non absorbant.

Et la loi de Snell :

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \quad (\text{II.4})$$

En traversant un milieu transparent, le rayon considéré subit une série de réflexions -absorptions - transmissions (voir figure II.2). Les fractions totales transmises et réfléchies sont données, pour la composante //, par

$$\begin{aligned}\tau_{//} &= (1-r_{//})^2 \tau_a + (1-r_{//})^2 \tau_a^3 r_{//}^2 + \dots \\ \rho_{//} &= r_{//} + (1-r_{//})^2 \tau_a^2 r_{//} + (1-r_{//})^2 \tau_a^4 r_{//}^3 + \dots \\ \alpha_{//} &= 1 - (\tau_{//} + \rho_{//})\end{aligned}$$

Avec :

$$\tau_a = e^{-kl} \text{ (Loi de Lambert-Bouguer)} \text{ (II.5)}$$

k : coefficient d'extinction

l : chemin optique

Ces séries peuvent se mettre sous la forme :

$$\begin{aligned}\tau_{//} &= (1-r_{//})^2 / (1-r_{//}^2 \tau_a^2) \\ \alpha_{//} &= (1-\tau_a)(1-r_{//}) / (1-r_{//} \tau_a) \\ \rho_{//} &= r_{//} (1 + \tau_a \tau_{//})\end{aligned}$$

La composante perpendiculaire est décrite par des expressions du même type. Les transmittivité, absorptivité et réflectivité du milieu considéré sont données par les demi-sommes des composantes parallèle et perpendiculaire, ainsi.

$$\tau = (\tau_{//} + \tau_{\perp}) / 2 \text{ (II.6)}$$

I.3.2.2. Transitivité du rayonnement diffus :

En faisant l'hypothèse que le rayonnement diffus est isotrope la transmittivité du diffus sera fonction de l'inclinaison du capteur.

Après intégration sur l'hémisphère, Beckman et al ont trouvé les résultats de la figure (II.3) qui donnent les angles d'incidences du rayonnement direct (angles équivalents) donnant le même résultat que le diffus, [19].

Après corrélation des résultats obtenus, les mêmes auteurs ont établi la relation suivantes, soit :

Pour le diffus sol, et :

$$\theta_{e,sol} = 59.7 - 0.1388\beta + 0.001497\beta^2 \text{ (II.7)}$$

Pour le diffus ciel, et :

$$\theta_{e,ciel} = 90 - 0.5788\beta + 0.002693\beta^2 \quad (\text{II.8})$$

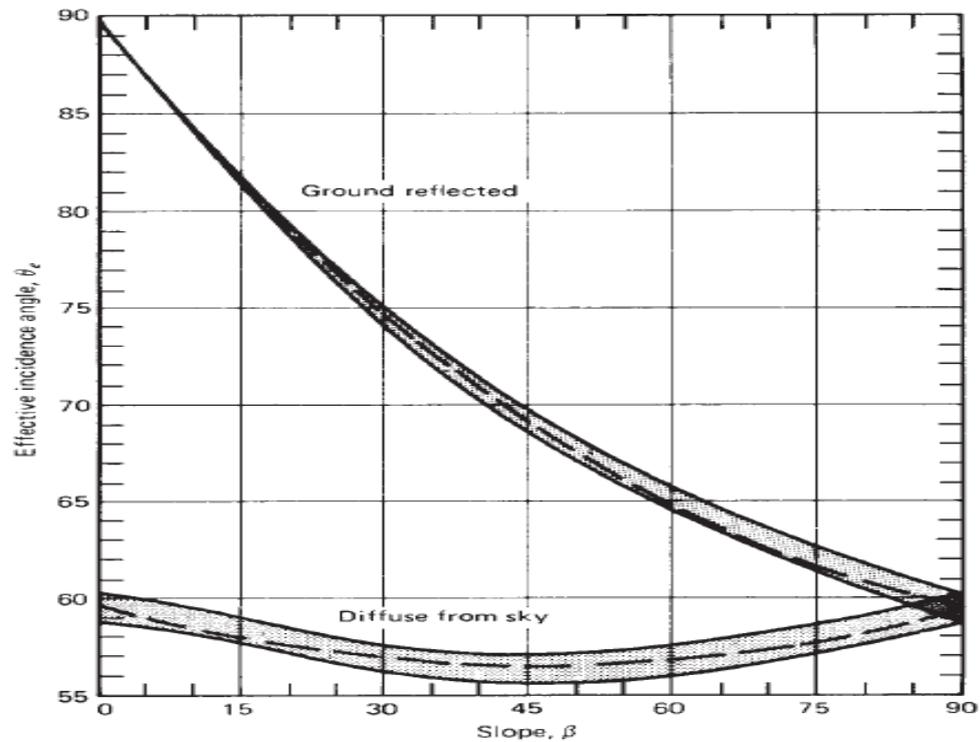


Figure (II.3) : Variation de l'angle d'incidence de l'éclairage diffus ciel en fonction de l'inclinaison du capteur [3].

II.3.3. Produit $(\tau \cdot \alpha)$ effectif :

L'éclairage transmis par le tube sera absorbé après multiples absorption et réflexions (voir figure II.4). L'analyse du chemin optique d'un rayon incident

Montre que la sommation des quantités absorbées successivement est donnée par, [18] :

$$(\tau \alpha) = \tau \alpha \sum_{i=0}^{\infty} [(1 - \alpha) \rho_d]^i = \frac{\tau \alpha}{1 - (1 - \alpha) \rho_d} \quad (\text{II.9})$$

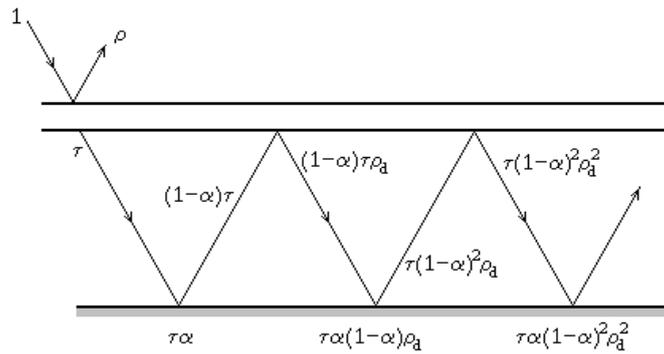


Figure (II.4) : Multi absorptions – réflexions entre l'absorbeur et le vitrage.

Ce calcul doit être effectué pour les 3 composantes du rayonnement incident sur le vitrage considéré.

II.3.4. Eclairage reçu sur un plan incliné :

II.3.4.1. Angle d'incidence :

Soit un capteur solaire incliné d'un angle β et orienté selon une direction faisant un angle γ avec la direction sud (figure ci-jointe). Si on désigne par \vec{s} le vecteur portant la direction des rayons solaires et par \vec{n} la normale au plan incliné, les coordonnées des 2 vecteurs sont données par, [18].

$$\vec{n} \begin{vmatrix} \sin \beta \cos \gamma \\ \sin \beta \sin \gamma \\ \cos \beta \end{vmatrix} \vec{s} \begin{vmatrix} \cos h \cos a \\ \cos h \sin a \\ \sin h \end{vmatrix}$$

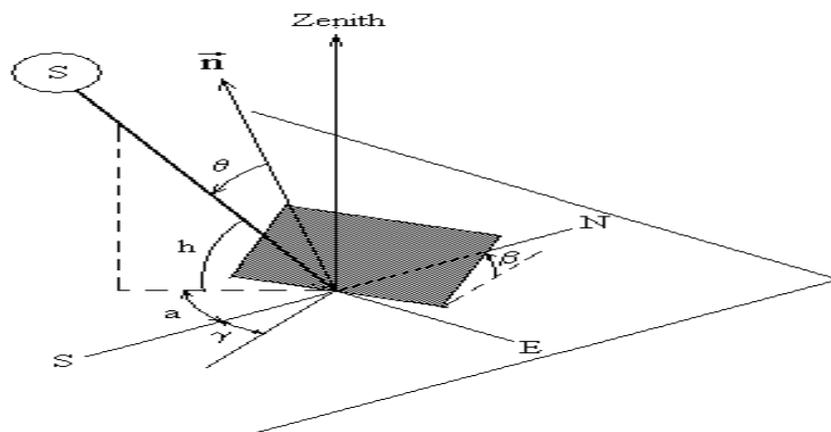


Figure (II.5) : Plan incliné avec repérage des angles.

L'angle d'incidence des rayons directs (angle formé par 2 vecteurs) sera donné par :

$$\cos \theta = \vec{n} \cdot \vec{s} = \sin h \cos \beta + \sin \beta \cos \gamma \cos a \cos h + \sin a \cos h \sin \beta \sin \gamma \quad (\text{II.10})$$

Ou encore :

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \sin \varphi \sin \delta \cos \beta - \sin \delta \cos \varphi \sin \beta \cos \gamma \\ &+ \cos \delta \cos \varphi \cos \beta \cos \omega \\ &+ \cos \delta \sin \varphi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \\ &+ \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned}$$

Pour une orientation plein sud ($\gamma = 0$), l'expression devient

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \sin \delta (\sin \phi \cos \beta - \cos \phi \sin \beta) \\ &+ \cos \delta \cos \omega (\cos \phi \cos \beta + \sin \phi \sin \beta) \quad (\text{II.11}) \\ &= \sin \delta \sin(\phi - \beta) + \cos \delta \cos \omega \cos(\phi - \beta) \end{aligned}$$

Ou encore :

$$\cos \theta = \sin h \cos \beta + \sin \beta \cos a \cos h \quad (\text{II.12})$$

II.3.4.2. Coefficient de correction géométrique (R_b) :

L'éclairement direct reçu sur un plan incliné est donné par [18] :

$$I_\beta = I_n \cos \theta / \sin h = R_b I_n \quad (\text{II.13})$$

Avec

R_b : coefficient géométrique donné par

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\sin h} \quad (\text{II.14})$$

h : la hauteur soleil.

II.3.4.3. Eclairage direct, diffus ciel, diffus sol :

Selon les modèles proposés, par Brichambaut : Capderou, [20] les composants de l'éclairage solaire peuvent être estimés pour l'Algérie.

- $I_d = 125 \sin h^{0.4} I_d$: éclairage diffus (II.15)
- $I_g = 1080 \sin h^{1.22} I_g$: éclairage global (II.16)
- $I_b = I_g - I_d$: éclairage direct (II.17)

II.3.4.4. Eclairage absorbé par la plaque absorbante (I_{abs}) :

La relation donnant l'éclairage I_{abs} est donnée par, [18] :

$$I_{abs} = R_b I_b (\tau\alpha)_{eff,b} + \frac{1+\cos\beta}{2} (\tau\alpha)_{eff,dc} I_d + \rho_s \frac{1-\cos\beta}{2} (\tau\alpha)_{eff,ds} I_g \quad (\text{II.18})$$

ρ_s : Albédo.

II.3.4.5. Eclairage reçu par un plan incliné (I_b) :

La relation donnant l'éclairage incident sur le plan et donnée par [18] :

$$I_b = R_b I_b + \frac{1+\cos\beta}{2} I_d + \rho_s \frac{1-\cos\beta}{2} I_g \quad (\text{II.19})$$

II.3.5. Rendement optique du capteur :

Le rendement optique est donné par la relation, [18] :

$$\eta_o = \frac{I_{abs}}{I_b} \quad (\text{II.20})$$

II.4. Analyse thermique :**II.4.1. Bilan thermique sur un capteur solaire plan :**

Un capteur solaire plan est un système thermodynamique ouvert (voir la figure II.6) entretenant des échanges thermiques avec l'environnement et traversé par un flux massique \dot{m} , [18].

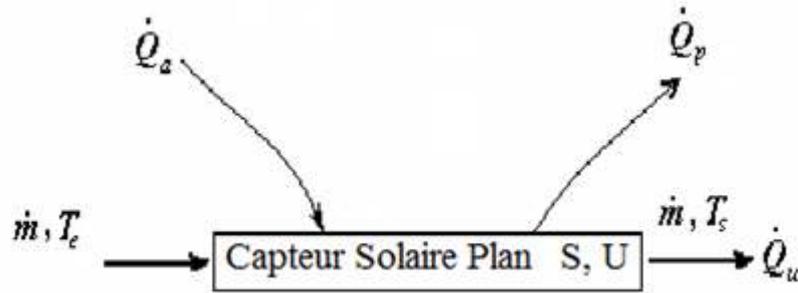


Figure (II.6) : Bilan d'énergie sur capteur plan.

Dans le cas du régime thermique permanent et pour les capteurs à air ou à eau, la quantité d'énergie stockée dans les différentes parties du capteur solaire est négligeable, ce qui conduit à :

$$\dot{Q}_u = \dot{Q}_a - \dot{Q}_p \quad (II.21)$$

Avec :

Q_a : puissance solaire absorbé par la plaque absorbante [W /m]

Q_p : Puissance thermique cédée à l'environnement [W/m]

Q_u : Puissance thermique utile récupérée par le fluide caloporteur [W/m]

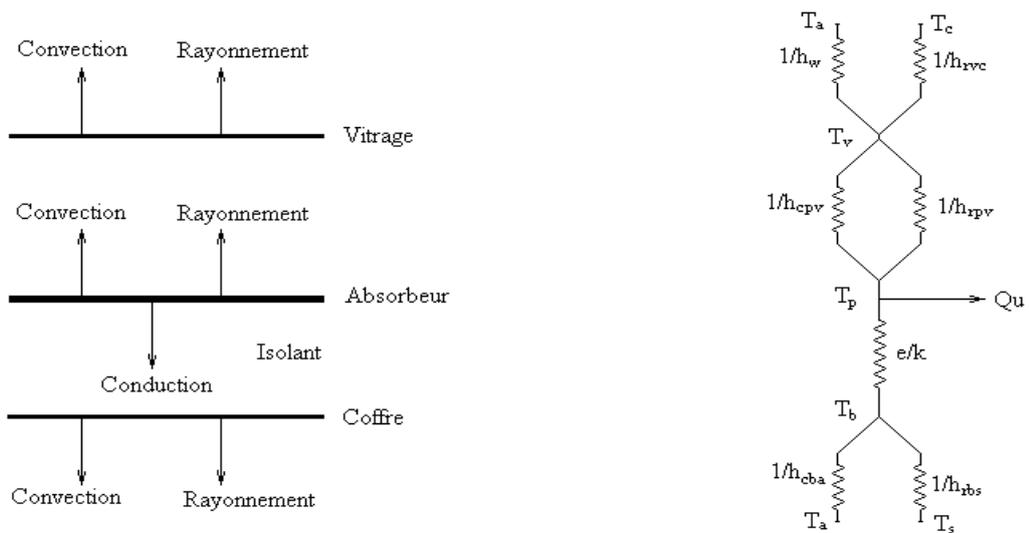


Figure (II.7) : Echanges thermiques Capteur – ambiance.

La figure II.7 : Représentent les différents échanges thermiques entre le capteur et son environnement ainsi que le schéma électrique équivalent.

Les pertes thermiques se subdivisent en :

- Pertes avant Q_{av}
- Pertes arrière Q_{ar}
- Pertes latérales Q_{lat}

II.4.1.1. Pertes avant :

En négligeant l'absorptivité du vitrage, un bilan d'énergie sur le ce dernier en régime permanent permet d'écrire, [3] :

$$\dot{Q}_{av} = \dot{Q}_{rpv} + \dot{Q}_{cpv} = \dot{Q}_{rvc} + \dot{Q}_w \quad (\text{II.22})$$

Avec :

\dot{Q}_{rvc} : Echanges radiatifs Vitrage – Ciel

\dot{Q}_w : Echanges convectifs du couvert dû à l'effet du vent.

\dot{Q}_{rpv} : Echanges radiatifs entre l'absorbeur et le vitrage.

\dot{Q}_{cpv} : Echanges convectifs entre l'absorbeur et le vitrage

En désignant par A la surface du vitrage et en supposant que les températures vitre et plaques sont respectivement uniformes, les différentes quantités d'énergie, échangées par unité de temps, sont données par :

$$d\dot{Q}_w = h_w (T_v - T_a) dA \quad (\text{II.23})$$

$$d\dot{Q}_{rvc} = h_{rvc} (T_v - T_a) dA \quad (\text{II.24})$$

$$d\dot{Q}_{cpv} = h_{cpv} (T_p - T_v) dA \quad (\text{II.25})$$

$$d\dot{Q}_{rpv} = h_{rpv} (T_p - T_v) dA \quad (\text{II.26})$$

Avec :

$$h_{rvc} = \varepsilon_v \sigma \frac{(T_v^4 - T_c^4)}{(T_v - T_a)} \quad (\text{II.27})$$

Hypothèse : que le ciel est un corps Noir

Et :

$$h_{rpv} = \frac{\sigma (T_p^2 + T_v^2)(T_p + T_v)}{\frac{1 - \varepsilon_p}{\varepsilon_p} + \frac{1}{F_{pc}} + \frac{1 - \varepsilon_v}{\varepsilon_v}} \quad (\text{II.28})$$

Avec : l'hypothèse plans // infinies

T_p : Température de la plaque [K]

T_a : Température ambiante [K]

T_v : Température de vitrage [K]

T_c : Température de ciel [K]

ε_p : Émissivité de la plaque

ε_v : Émissivité de vitrage

σ : constante de Stefan Boltzmann ($5.67 \cdot 10^{-8} \text{ w/m}^2 \text{K}^4$)

$T_c = 0.0552 T_a^{1.5}$ (Swemkle, [18])

F_{pc} : Facteur de forme entre la plaque et la couverture

Le coefficient de transfert par convection due au vent peut être estimé par la relation de Wattmuf qui donne, [18] :

$$h_w = 2.8 + 3V \quad (\text{II.29})$$

V étant la vitesse du vent

Le coefficient de transfert par convection entre l'absorbeur et le vitrage peut être estimé par la relation de Hollands, [18] qui donne :

$$N_U = \left[1 + \left[1 - \frac{1708}{Ra \cos \theta} \right]^+ \left[1 - \frac{1708(\sin 1.8\theta)^{1.6}}{Ra \cos \theta} \right] + \left[\left[\frac{Ra \cos \theta}{5830} \right]^{\frac{1}{3}} - 1 \right]^+ \right] \quad (\text{II.30})$$

Avec :

R_a : Nombre de Rayleigh

θ : Angle d'inclinaison par rapport à la verticale

Où les termes en (+) sont utilisés seulement dans le cas où ils sont positifs.

Les pertes avant sont donc données par :

$$\begin{aligned} d\dot{Q}_{av} &= (h_{rvc} + h_w)(T_v - T_a) dA \\ &= (h_{cpv} + h_{rpv})(T_p - T_v) dA \end{aligned} \quad (\text{II.31})$$

Éliminant T_v entre les 2 équations ; il vient

$$d\dot{Q}_{av} = U_{av} (T_p - T_a) dA \quad (\text{II.32})$$

U_{av} étant le coefficient de pertes global vers l'avant du capteur donné :

$$U_{av} = \left[\frac{1}{h_{rvc} + h_w} + \frac{1}{h_{cpv} + h_{rpv}} \right]^{-1} \quad (\text{II.33})$$

Ce coefficient est en fonction des différentes températures. Il ne peut donc être calculé que par un procédé itératif sur les différentes températures.

II.4.1.2. Pertes arrière et latérales :

Pour les pertes à l'arrière (dos du capteur) et les pertes latérales, on supposera, compte tenu de l'isolation, que la face externe du capteur (coffre ou bac) est à la température ambiante. Ce qui signifie que les échanges se font par sa conduction, à travers l'isolant, seule. Soit, en désignant par e et k_{is} l'épaisseur et la conductivité de l'isolant, respectivement, [21] :

$$\dot{Q}_{ar} = A \frac{k_{is}}{e} (T_p - T_a) = A U_{ar} (T_p - T_a) \quad (\text{II.34})$$

De même on a

$$\dot{Q}_{lat} = A_{lat} \frac{k_{is}}{e} (T_p - T_a) = A_{lat} U_{lat} (T_p - T_a) \quad (\text{II.35})$$

Les pertes globales sont données par :

$$\begin{aligned} \dot{Q}_p &= \dot{Q}_{av} + \dot{Q}_{ar} + \dot{Q}_{lat} = A \left[U_{av} + U_{ar} + \frac{A_{lat}}{A} U_{lat} \right] (T_p - T_a) \quad \text{(II.36)} \\ &= A U_g (T_p - T_a) \end{aligned}$$

Avec :

T_p : Température de la plaque [K]

T_v : Température de vitre [K]

T_a : Température ambiante [K]

T_c : Température de ciel [K]

U_g : Coefficient de pertes global

h_w : Coefficient de transfert convectif du au vent [W/m^2K]

ε_p : Émissivité de la plaque absorbante

ε_v : Émissivité de vitrage.

II.5. Bilan énergétique sur un élément de l'absorbeur :

- Absorbeur à ailettes :

Il est constitué d'un tube, généralement en cuivre, sur lequel sont fixées des ailettes en cuivre, acier ou aluminium. Le liquide caloporteur circule dans les tubes (voir la figure II.8) [22].

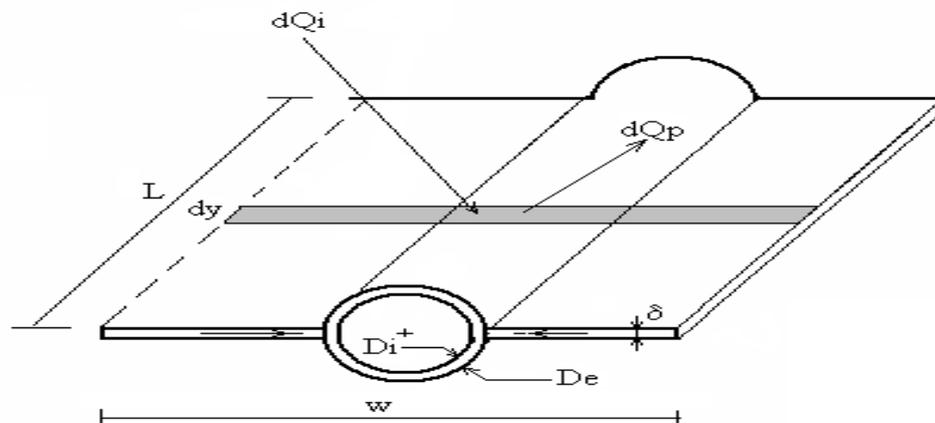


Figure (II.8) : Bilan thermique sur un élément de surface.

II.5.1. Calcul de la quantité de chaleur reçue par l'ailette [23] :

L'équation générale de la chaleur dans le cas où le régime permanent s'écrit :

$$k_p \nabla^2 T = 0 \quad (\text{II.37})$$

En faisant un bilan thermique sur l'élément dx nous obtenons :

$$q_{x+dx} e - (q_x e + q_i dx) = 0 \quad (\text{II.38})$$

Sachant que :

$$q_{x+dx} = q_x + \frac{dq_x}{dx} dx \quad (\text{II.39})$$

Et :

$$q_x = -k_p \frac{dT}{dx} (\text{II.40})$$

En remplaçant les équations (II.41) et (II.42) dans l'équation on obtient :

$$\frac{d^2 T}{dx^2} + \frac{1}{k_p e} q_i = 0 \quad (\text{II.41})$$

Or le flux incident sur l'ailette q_i est donné par :

$$q_i = q_a - q_p (\text{II.42})$$

Sachant que le flux perdu par l'ailette q_p est :

$$q_p = U_p (T - T_a) (\text{II.43})$$

En injectant les équations (II.43) et (II.44) dans l'équation (II.42) ; on obtient :

$$\frac{d^2 T}{dx^2} - \frac{U_p}{k_p e} \left[T - \left(T_a + \frac{q_a}{U_p} \right) \right] = 0 (\text{II.44})$$

Les conditions aux limites sont :

$$\begin{cases} \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=0} = 0 \\ x=l \rightarrow T(l) = T_l \end{cases}$$

Pour résoudre l'équation (II.46) on procède au changement de variable suivant :

$$\theta = T - \left(T_a + \frac{q_a}{U_p} \right) (\text{II.45})$$

Et :

$$m^2 = \frac{U_p}{k_p e} \quad (\text{II.46})$$

On aboutit une équation plus simple :

$$\frac{d^2\theta}{dx^2} - m^2\theta = 0 \quad (\text{II.47})$$

Conditions aux limites deviennent :

$$x = 0 \rightarrow \frac{d\theta}{dx} = 0 \quad x = l \rightarrow \theta(l) = \theta_l$$

Tel que :

$$\theta_l = T_l - \left(T_a + \frac{q_n}{U_p}\right)$$

L'équation (II.48) a une solution de la forme :

$$\theta(x) = A \sinh(mx) + B \cosh(mx) \quad (\text{II.48})$$

En appliquant l'équation (II.49) aux extrémités de l'ailette nous obtenons les constantes A et B tel que :

$$A = B = \frac{\theta_l}{2 \cosh(ml)} \quad (\text{II.49})$$

En remplaçant les constantes A et B par leurs valeurs dans l'équation on trouve :

$$\theta(x) = \frac{\theta_l}{\cosh(ml)} \cosh(mx) \quad (\text{II.50})$$

Finalement :

$$T(x) = \left[T_l - \left(T_a + \frac{q_n}{U_p}\right)\right] \frac{\cosh(mx)}{\cosh(ml)} \quad (\text{II.51})$$

II.5.2. Flux transmis à la base de l'ailette [23] :

Soit la quantité de chaleur par unité de longueur de tube transmise depuis l'ailette vers le tube :

$$Q_{ail} = q_{ail} e \quad (\text{II.52})$$

Pour $x = l$

$$q_{ail} = -k_p \left. \frac{dT}{dx} \right|_{y=0} \quad (\text{II.53})$$

Finalement la quantité de chaleur transmise de l'ailette vers le tube sera :

$$Q_{ail} = q_{ail}e = -k_p e \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=l} \quad (\text{II.54})$$

En dérivant sur toute la longueur de l'ailette on obtient :

$$Q_{ail} = [q_a - U_p (T_l - T_a)] \frac{th(ml)}{ml} l \quad (\text{II.55})$$

Avec :

$$m = \sqrt{\frac{U_p}{k_p e}} \quad (\text{II.56})$$

Sachant que l'efficacité de l'ailette est donnée comme suit :

$$F = \frac{th(ml)}{ml} \quad (\text{II.57})$$

Finalement l'équation(II.55) devient :

$$Q_{ail} = [q_a - U_p (T_l - T_a)] F l \quad (\text{II.58})$$

II.5.3. Quantité de chaleur reçue par le tube [23] :

On considère que la température est uniforme sur tout le pourtour du tube est égale à la température à la base de l'ailette $T = T_l$, la quantité de chaleur reçue par le tube est exprimée comme suit :

$$Q_t = [q_a - U_p (T_l - T_a)] * d \quad (\text{II.59})$$

II.5.4. Calcul de la quantité de chaleur transmise au fluide [23] :

Divisant l'absorbeur en partie égales, chacune se composant d'un tube de largeur/placée de part et d'autre du tube, le gain thermique pour chaque élément (tube +2 ailettes) et par unité de longueur sera :

$$Q_T = Q_t + 2Q_{ail} \text{ (II.60)}$$

L'équation(II.60)devient :

$$Q_T = [q_a - U_p (T_l - T_a)] * (d + 2lF) \text{ (II.61)}$$

Cette quantité de chaleur se transmet au fluide avec une résistance thermique entre l'absorbeur et le fluide caloporteur, cette dernière notée R_{af} s'exprime :

$$R_{af} = R_t + R_b + R_f \text{ (II.62)}$$

Avec :

R_f : Résistance de contact solide-fluide exprimé par :

$$R_f = \frac{1}{\pi d_i h_i}$$

h_i : Coefficient d'échange par convection entre la paroi interne du tube et le fluide.

R_t : Résistance thermique du tube exprimé comme suit :

$$R_t = \frac{de - di}{\pi d_i k_p}$$

R_b : Résistance de contact entre l'ailette et le tube.

En introduisant la résistance de contact entre l'absorbeur et le fluide, la quantité de chaleur transmise au fluide devient :

$$Q_T = \frac{1}{R_{af}} (T_l - T_f) \text{ (II.63)}$$

Les équations(II.63)et(II.62) nous permettant d'éliminer T_l et d'écrire Q_T en fonction de la température du fluide T_f , la température ambiante T_a et du flux total transmis depuis l'absorbeur vers le fluide :

$$Q_T = [q_a - U_p (T_f - T_a)] \left[\frac{1/U_p}{\left(\frac{1}{U_p (d + 2lF)} + R_{af} \right) (d + 2l)} \right] (d + 2l) \quad (\text{II.64})$$

Posons :

$$F' = \frac{1/U_p}{\left(\frac{1}{U_p (d + 2lF)} + R_{af} \right) (d + 2l)} \quad (\text{II.65})$$

Le coefficient F' représente l'efficacité du capteur qui représente le rapport de la résistance thermique entre l'absorbeur et l'extérieur et la résistance thermique entre le fluide et l'extérieur selon Sfeir A.A et Guarracino G.(1981).[2]

$$Q_T (y) = [q_a - U_p (T_f (y) - T_a)] (d + 2l) F' \quad (\text{II.66})$$

II.5.5. Calcul du flux absorbé entre l'entrée et la sortie du tube [23] :

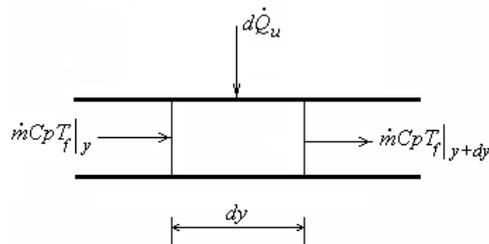


Figure (II.9) : Bilan thermique sur un élément de fluide.

En faisant un bilan sur un élément de tube, selon Sfeir A.A et Guarracino G. (1981) [2], on a :

$$\dot{m}_f c_p T_f|_{y+dy} - \dot{m}_f c_p T_f|_y + Q_T (y) dy = 0 \quad (\text{II.67})$$

D'où :

$$Q_T(y) = \frac{dT_f(y)}{dy} m_{f\ cp} \quad (\text{II.68})$$

Des équations (II.67) et (II.68), on obtient :

$$Q_T(y) = \frac{dT_f(y)}{dy} m_{f\ cp} = [q_a - U_p(T_f(y) - T_a)](d + 2l)F' \quad (\text{II.69})$$

Après transformation de l'équation(II.69), on aboutit à :

$$\frac{dT_f}{T_f - \left(T_a + \frac{q_a}{U_p}\right)} = \frac{-U_p}{m_{f\ cp}} (d + 2l)F' dy \quad (\text{II.70})$$

Avec les conditions aux limites suivantes :

$$\begin{cases} y = 0 \rightarrow T_f(0) = T_e \\ y = l_1 \rightarrow T_f(l_1) = T_s \end{cases}$$

En intégrant entre l'entrée et la sortie du tube on obtient :

$$T_s = T_a + \frac{q_a}{U_p} + \left\{ \left[T_e - \left(T_a + \frac{q_a}{U_p} \right) \right] \exp \left[- \frac{U_p}{m_{f\ cp}} (d + 2l)F' l_1 \right] \right\} \quad (\text{II.71})$$

Désignons par G le débit massique par unité de surface du capteur telle que :

$$G = \frac{m}{(d + 2l)l_1} \quad (\text{II.72})$$

La puissance reçue par unité de surface du capteur sera :

$$Q_u = G \cdot cp \cdot (T_s - T_e) \quad (\text{II.73})$$

En introduisant le facteur de conductance de l'absorbeur qui est défini par :

$$Fr = \frac{G \rho c_p}{U_p} \left[1 - e^{-\frac{U_p F'}{G \rho c_p}} \right] \quad (\text{II.74})$$

La puissance utile récupérée par le fluide sera finalement :

$$Q_u = Fr [q_a - U_p (T_e - T_a)] \quad (\text{II.75})$$

II.5.6. Le rendement de l'ailette étant donné par [18] :

$$F = \frac{\text{th} \left(b \left(\frac{w - D_e}{2} \right) \right)}{b \left(\frac{w - D_e}{2} \right)} \quad (\text{II.76})$$

Avec : $b^2 = \frac{U_g}{k \delta} \quad (\text{II.77})$

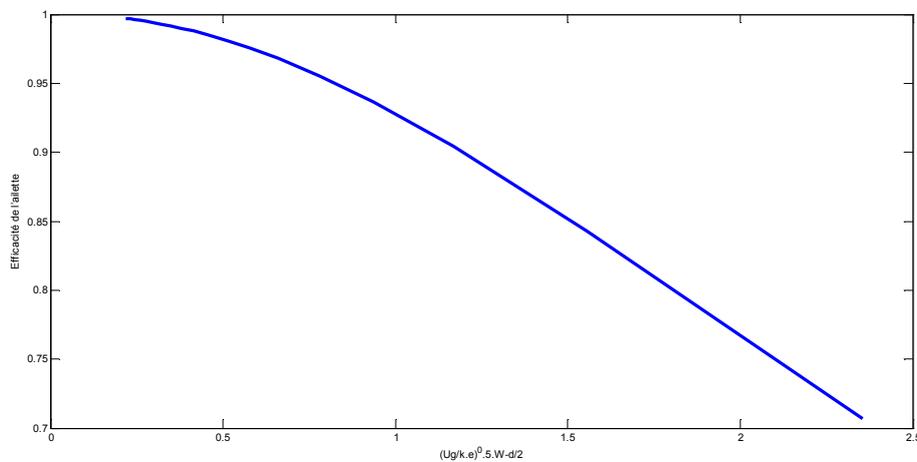


Figure (II.10) : Efficacité de l'ailette (de notre propre travail de simulation).

II.6. Rendement instantané d'un capteur plan :

Le rendement instantané (soit en régime permanent) du capteur solaire plan est donné par le rapport du flux de chaleur récupérée par le fluide : caloporteur à l'éclairement solaire reçu par le capteur, soit [24] :

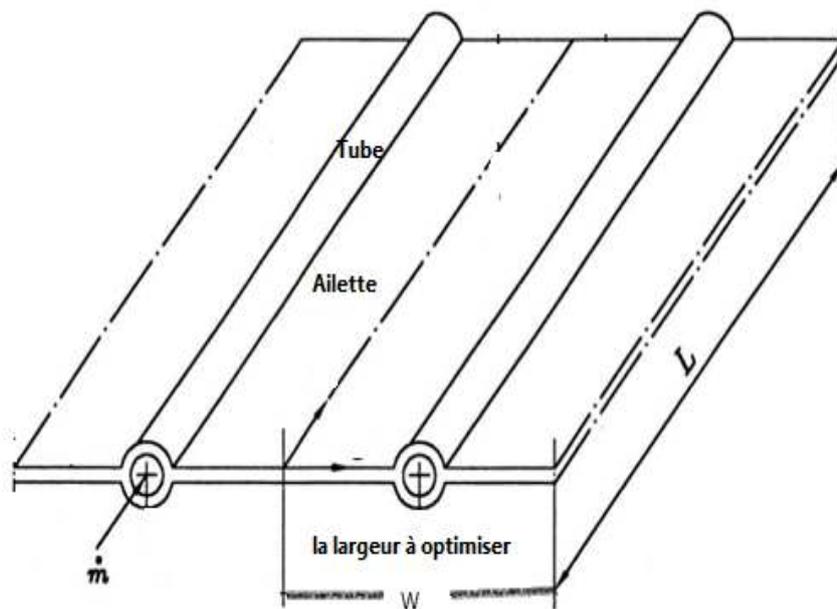
$$\eta = \frac{\dot{Q}_u}{A I_g} = \frac{A Fr [(\tau\alpha)_e I_g - U_g (T_i - T_a)]}{A I_g} \quad (\text{II.78})$$

Ou encore :

$$\eta = Fr(\tau\alpha)_e - FrU_g \frac{T_i - T_a}{I_g} \quad (\text{II.79})$$

II.7.Optimisation de la largeur de l'ailette :

L'énergie utile récupérée par un capteur solaire du type tube et ailettes (ou autre) est fonction de l'efficacité de l'ailette. De part son expression, il est évident que cette efficacité est elle-même fonction de la largeur (équation (II.76)). Le but de cette partie du travail est d'exprimer la variation de l'énergie utile en fonction de la largeur de l'ailette pour des dimensions fixes du capteur.



Figure(II.11) : Modèle d'optimisation (Tubes-Ailettes).

La variation de la largeur de l'ailette entraîne :

- la variation du nombre de tubes. Pour un débit global fixe, cette dernière variation entraîne à son tour une variation du débit unitaire et donc du coefficient de transfert par convection fluide-paroi.
- La variation de la quantité de matière utilisée

L'étude portant sur l'optimisation d'une ailette peut être réalisée en considérant une approche :

- Entropique (travaux de Amara et al,)
- Economique en prenant en compte la quantité de matière ainsi les travaux de manufacture (soudures, découpes, etc...)

Nota : Faute de données l'aspect manufacture n'a pas été considéré.

- **Optimisation par rapport à la quantité de matière :**

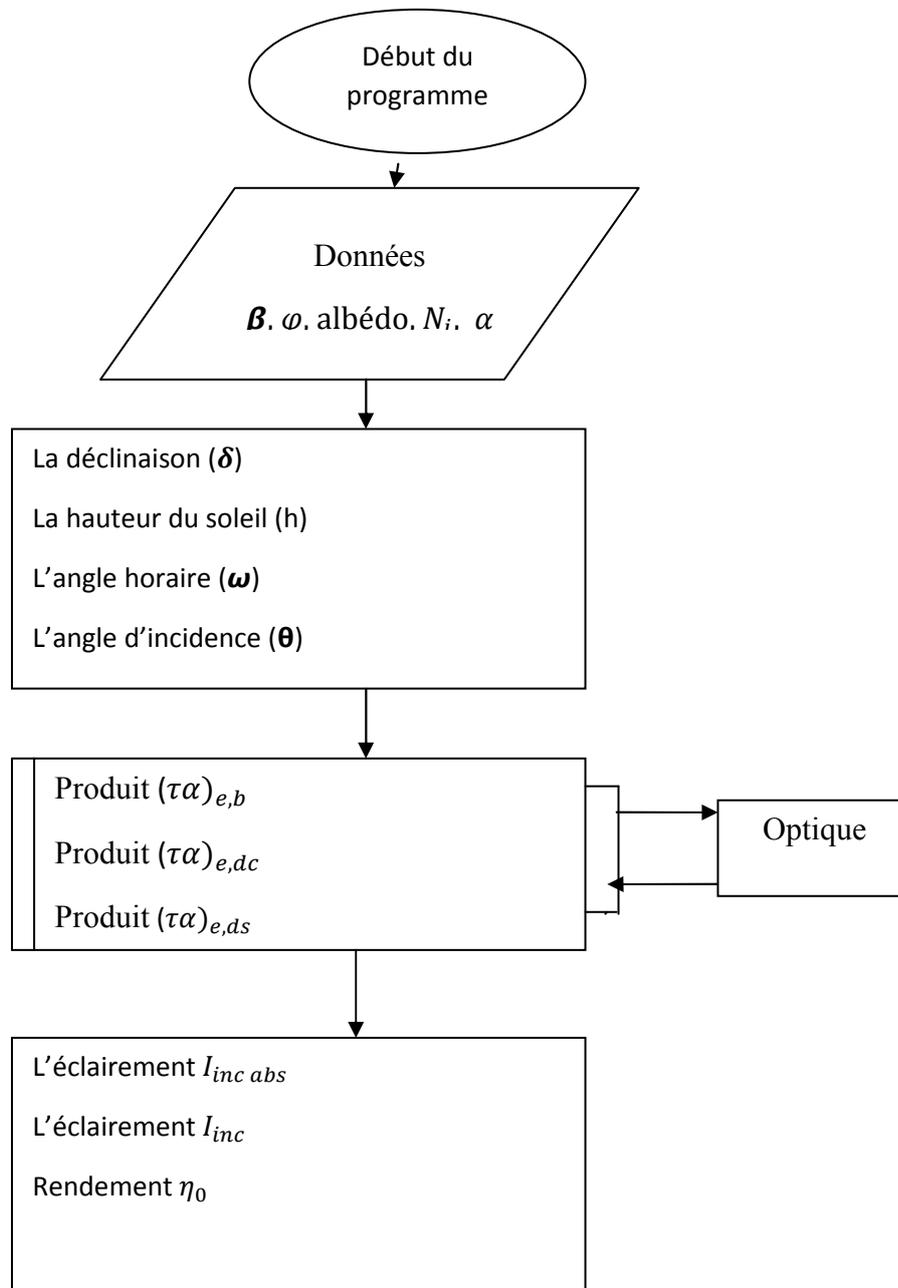
le capteur solaire plan à eau est caractérisé par les paramètres suivant :

- ✚ Le rendement d'ailettes (F) .
- ✚ Coefficient d'efficacité de l'ailette (F') .
- ✚ Facteur de conductance (Fr) .
- ✚ Coefficient des pertes globale (U_p) .
- ✚ Le rendement instantané du capteur solaire plan (η) .

On va utiliser l'algorithme établi pour la détermination du rendement on faisant varier le nombre de tube et donc la largeur d'ailette.

II.8. Organigramme de calcul :

L'organigramme permettant l'estimation du rendement instantané d'un capteur solaire plan est représenté en suit [25] :



Conclusion

Dans ce chapitre nous avons abordé toutes les étapes théoriques de l'analyse d'un capteur plan.

Les performances d'un capteur plan sont influencées par un certain nombre de paramètres.

L'énergie utile récupérée par un capteur peut être évalué à chaque instant par Facteur de conduction Fr , le coefficient des pertes thermiques globales U_p et le rendement η .

Nous avons les conditions d'optimisation de la largeur de l'ailette pour chaque type de matériaux. Ensuite on a développé un programme de simulation sous MATLAB.

Chapitre III : Résultats et discussions

III.1.Introduction :

Dans ce chapitre, nous présenterons les résultats obtenus par simulation en s'appuyant sur la modélisation définie dans le second chapitre.

Dans un premier temps, ces résultats seront comparés aux données de la littérature.

En second lieu, nous élargirons l'étude à l'effet des paramètres sur la variation de la largeur optimale de l'ailette .Pour ce faire, nous établirons une simulation des différents effets en fonction de la quantité de matière à utiliser.

On va déterminer théoriquement le nombre des tubes nécessaires pour une largeur de capteur fixe.

III.2.Caractéristiques du capteur :

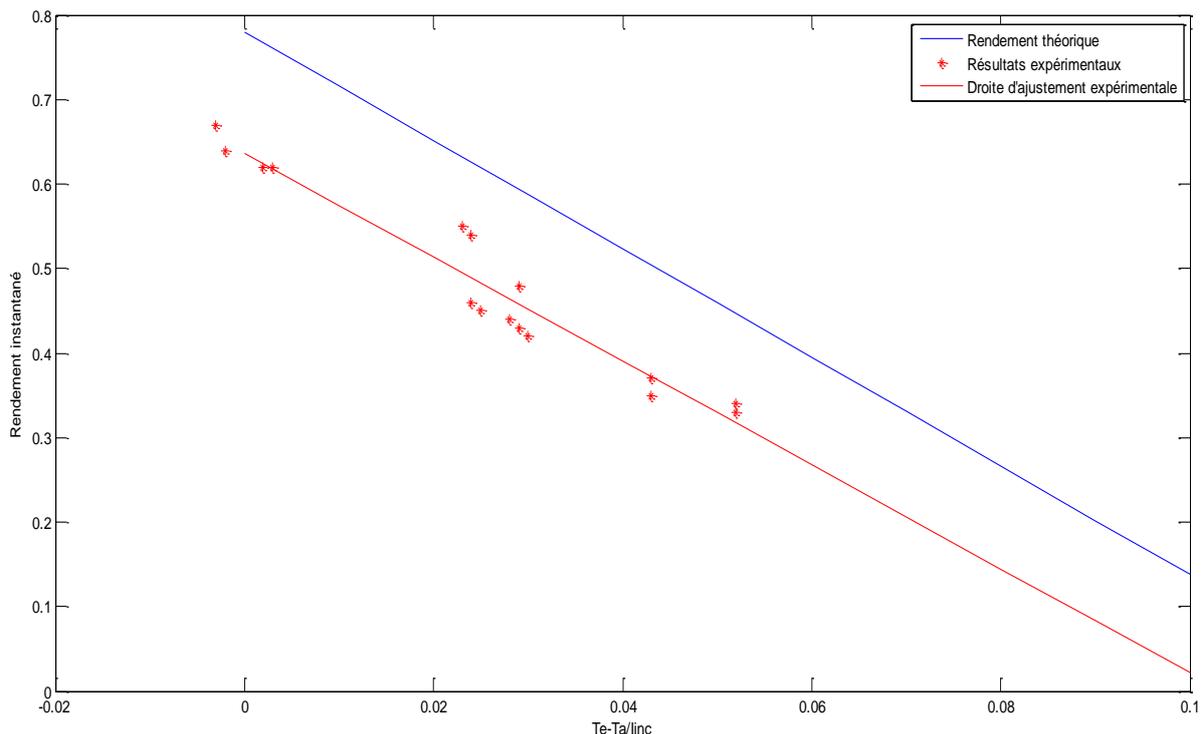
Pour le site ($\varphi = 36.8^\circ N$; $L=3^\circ E$) ; Le 22 juin (N=173) .

Tableau III.1 : Les caractéristiques technique du capteur solaire plan.

Elements	Caracteristique et dimension
Capteur	Surface = 2 m ² Largeur = 1 m Longeur = 2m Epaisseur = 0.004 m
Absorbeur	Conductivité(Cuivre) = 380 w/K.m Conductivité(Aluminium) = 200 w/K.m Conductivité(Acier) = 46 w/K.m Conductivité plastique = 0.2 w/K.m Epaisseur = 0.8 10 ⁻³ m
Fluide caloporteur	Debit massique = 0.02 kg/s.m ²
L'isolant	Conductivité isolant = 0.026 w/K.m Epaisseur = 0.0294 m

III.3. Validation des résultats du programme de simulation :

Les tests expérimentaux sur le prototype réalisé à la station ont été effectués en Outdoor à Bouzaréah (36.8 degré de latitude Nord et 3 degré de longitude Est) durant l'automne. La comparaison entre les résultats théorique et expérimentaux est représentée en figure (III.1), [Kasbadji Nachida, Merzouk Mustapha, Capteur Solaire Premier, Rapport Technique interne, CDER, 1989].



Figure(III.1) : Variation du rendement théorique et expérimental.

Pour la validation des résultats, nous avons réuni les mêmes conditions d'orientation appliquées pour la latitude ($\phi=36.8^\circ$).

La figure suivante montre que notre travail donne des résultats comparables à ceux obtenus, on montre que :

- Il y a un écart important au niveau du rendement optique (glissement parallèle de la courbe). Cet écart est sûrement dû aux propriétés thermo-physiques des constituants.
- La pente des deux courbes est du même ordre, ce qui signifie que le coefficient des pertes globales est du même ordre (facteur en fonction de la largeur de l'ailette).

- Nous pouvons donc utiliser notre programme.

Le critère retenu pour l'optimisation sera la masse de la matière constituant l'absorbeur . la quantité de matière en fonction de la largeur de l'ailette (**w**).

hypothèse :

- largeur de capteur fixe

la masse de matière est donnée par :

$$M = \left[\frac{(w - d)}{2} * Nt * e_p + \pi d * e_t \right] * l * \rho$$

Les conditions

W_{optimale} : pour $\frac{Qu}{M} \Rightarrow \max$

$$W_{\text{optimale}} \text{ est donnée par : } \left. \frac{\partial \left(\frac{Qu}{M} \right)}{\partial w} \right|_{L=\text{cte}} = 0$$

En considérant les variables sont constants (épaisseur, la masse volumique).

III.4.Optimisation avec des données standards :

Hypothèses :

- Latitude =36.8° N
- Longitude =3° E
- L'inclinaison = latitude
- Albédo=0.2
- Date 22 juin (N=173)
- La surface du capteur 2 m²
- Absorptivité α=0.94
- Emissivité de la plaque absorbante ε=0.90
- La conductivité de l'absorbeur k=380 $\frac{W}{m K}$
- Débit de fluide caloporteur m=0.02 kg/s. m²

- La masse volumique $\rho = 8700 \text{ Kg/m}^3$
- On fait l'optimisation pour un absorbeur en cuivre :



Figure (III.2) : Variation de nombre de tubes en fonction de la masse de Cuivre.

Discussion :

La variation de nombre du tube en fonction de la masse de Cuivre croit linéairement.

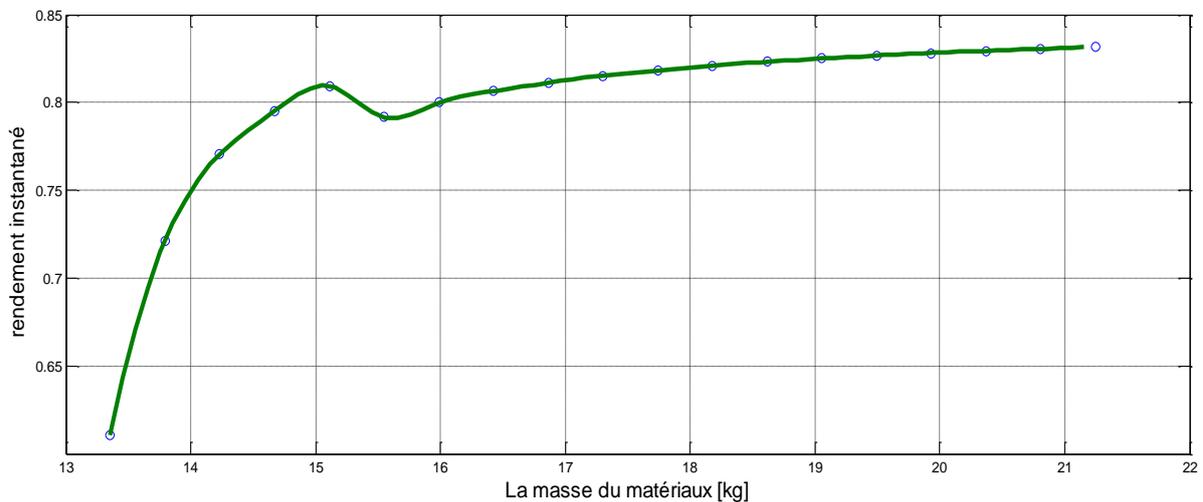


Figure (III.3) : Variation de rendement instantané en fonction de la masse de Cuivre.

Discussion :

On remarque que la variation de rendement instantanée en fonction de la masse de Cuivre est croissante mais on a trois phases d'augmentation.

Remarque :

Les trois phases d'augmentations sont dues au régime d'écoulement, la discontinuité due au passage de régime transitoire.

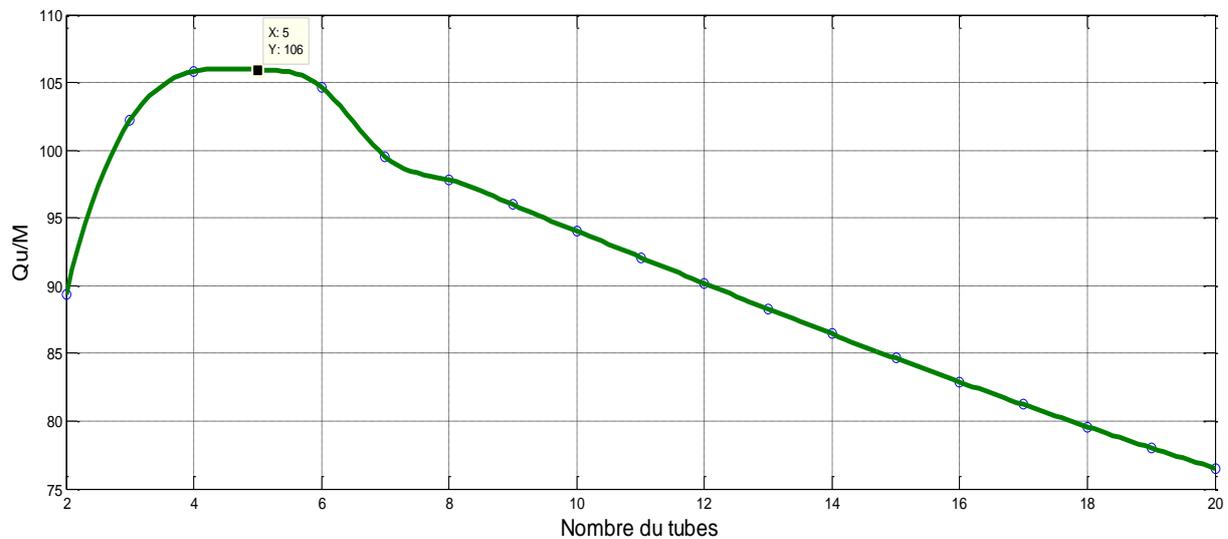


Figure (III.4) : Variation du rapport (Q_u/M) en fonction de nombre de tubes.

Discussion :

La variation du rapport (Q_u/m) en fonction du Cuivre, présente une forme en cloche (représentent un optimum).

Remarque :

Le temps où il y'a la chute (début de décroissance) on a un seule point qui est l'optimum.

Résultat :

Pour le cas de cuivre l'optimum équivalent est obtenu pour un nombre de tubes égale à 5 correspondant à une largeur optimale de l'ailette est de 9.4 cm.

III.5. Etude paramétriques :**III.5.1. Effet de la conductivité des différents matériaux :**

On va faire une étude sur l'absorbeur en Aluminium, en Acier et aussi en Plastique

Aluminium :

Masse volumique : $\rho = 2700 \text{ Kg/m}^3$

Conductivité : $k=200 \text{ W/m K}$

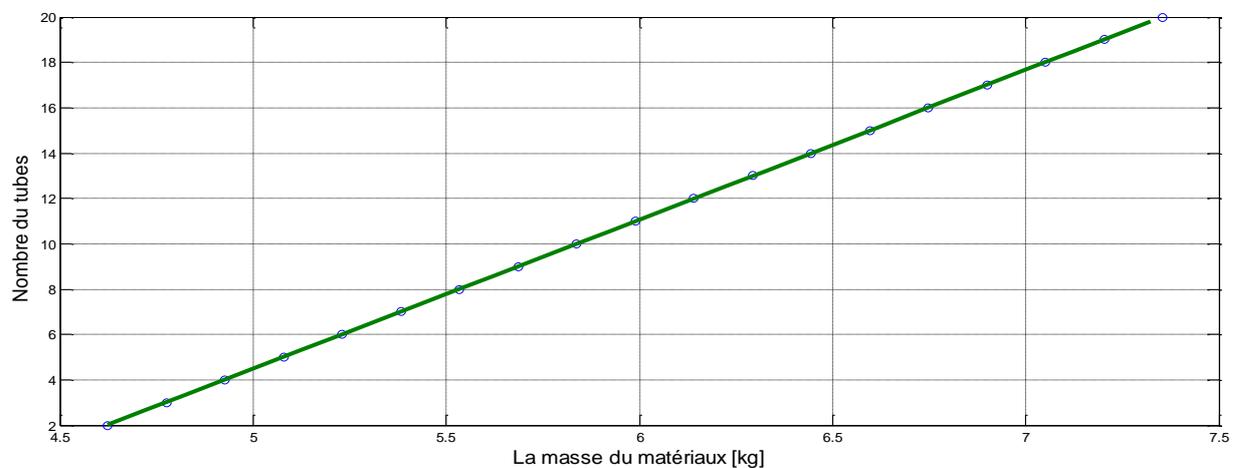


Figure (III.5) : Variation de nombre de tubes en fonction de la masse de l'Aluminium.

Discussion :

La variation de nombre du tube en fonction de la masse de l'Aluminium croit linéairement dans la forme retenue.

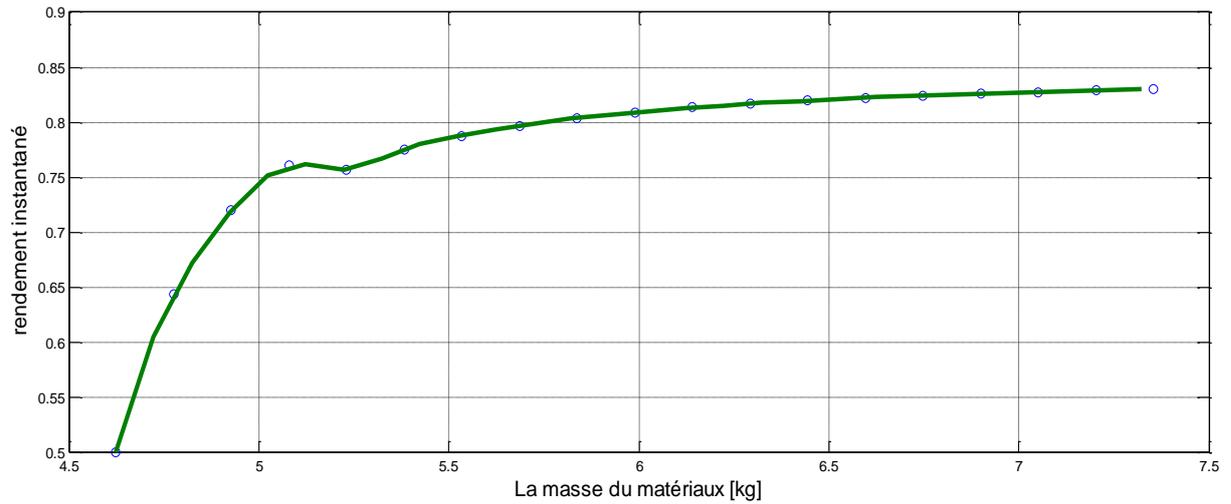


Figure (III.6) : Variation de rendement instantané en fonction de la masse d'Aluminium.

Discussion :

La variation de rendement instantané en fonction de la masse de l'Aluminium est croissante mais on remarque une discontinuité autour de passage.

Remarque :

Cette discontinuité est due au régime transitoire de l'écoulement du fluide.

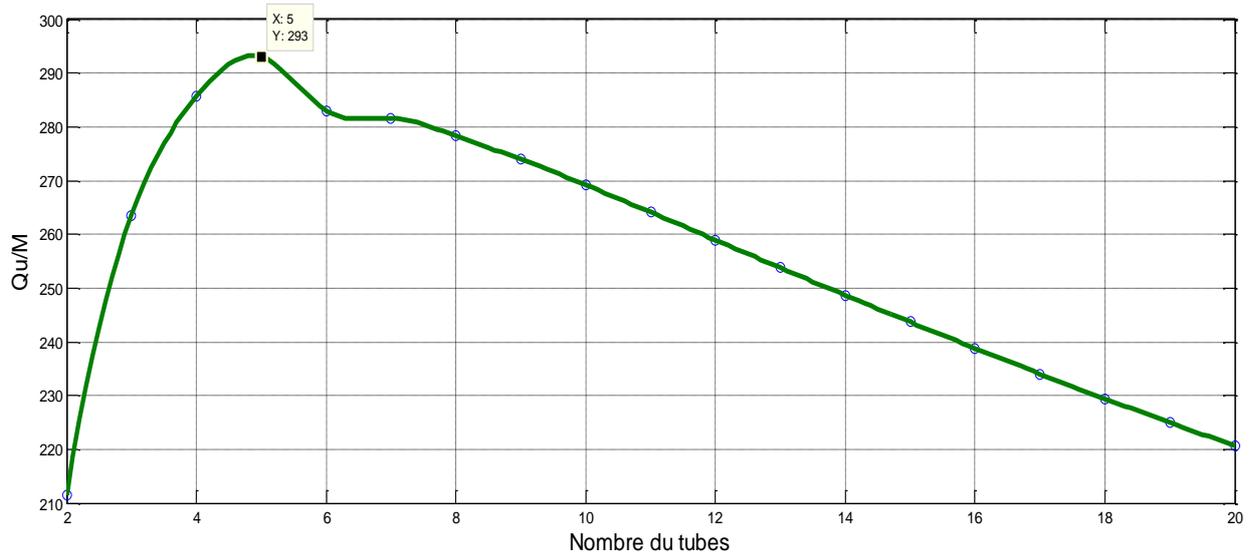


Figure (III.7) : Variation du rapport (Qu/M) en fonction de nombre de tubes.

Discussion :

La variation du rapport (Q_u/M) en fonction d'Aluminium présente une forme en cloche (qui représente un optimum).

Remarque :

Le temps où il y'a la chute (début de décroissance) on a un seul point qui est l'optimum.

Résultat :

Pour le cas d'Aluminium l'optimum équivalent est obtenu pour un nombre de tube égale à 5 correspondant à une largeur optimale de l'ailette est de 9.4 cm.

Acier :

Masse volumique : $\rho = 7800 \text{ Kg/m}^3$

Conductivité : $k=46 \text{ W/m K}$

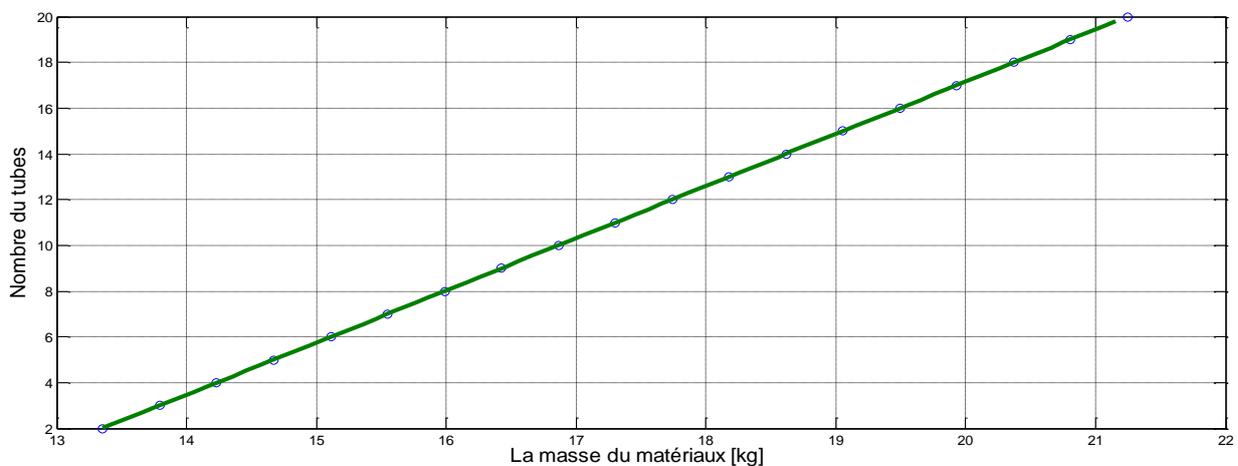


Figure (III.8) : Variation de nombre de tubes en fonction de la masse de l'Acier.

Discussion :

La variation de nombre du tube en fonction de la masse de l'Acier croît linéairement.

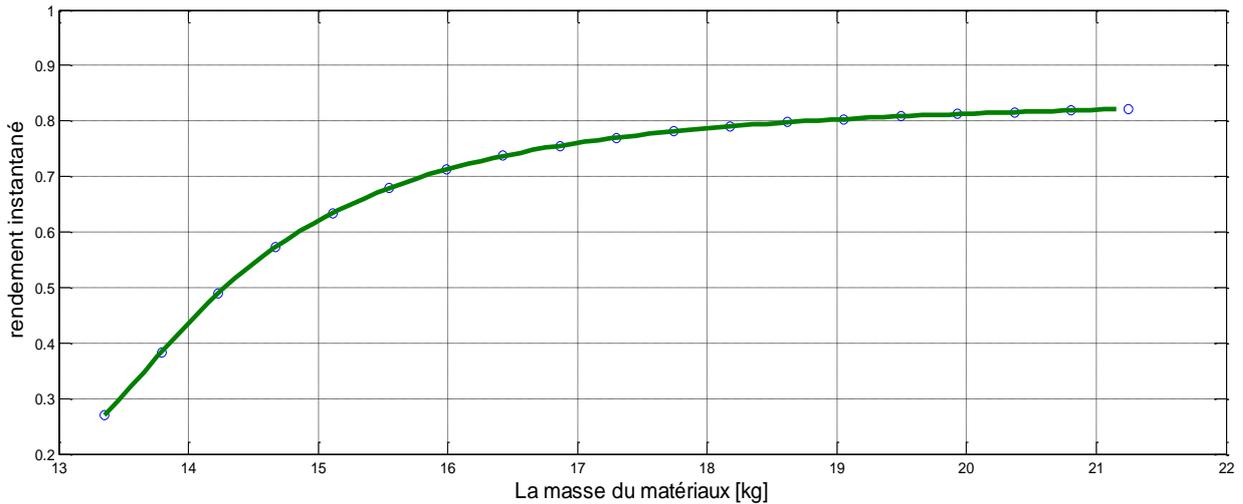


Figure (III.9) : Variation de rendement instantané en fonction de la masse de l'Acier.

Discussion :

La variation de rendement instantané en fonction de la masse d'Acier est croissante.

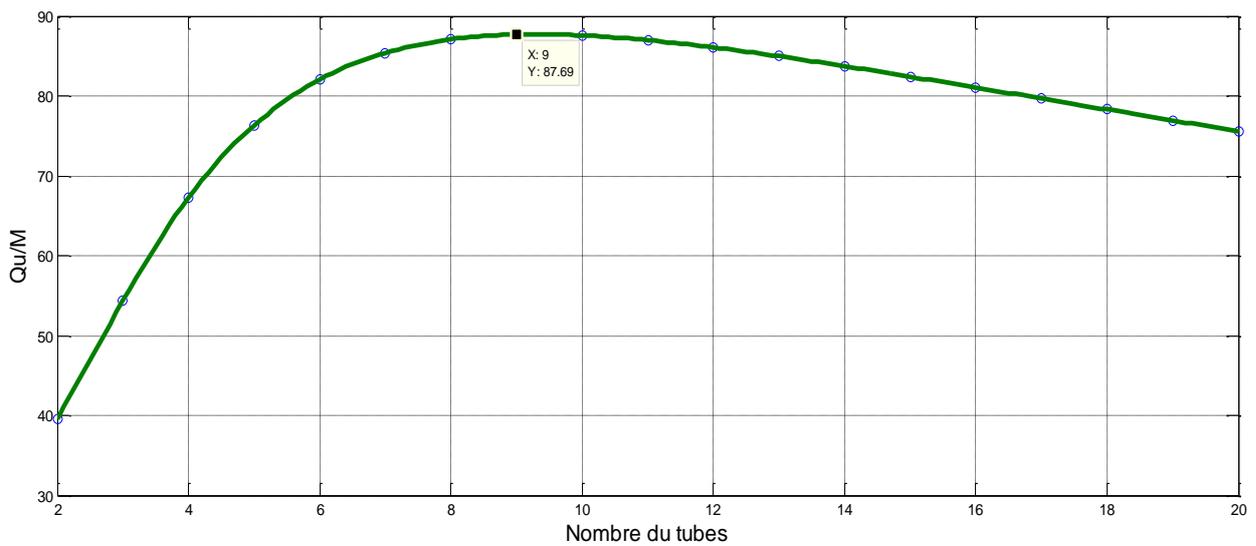


Figure (III.10) : Variation du rapport (Qu/M) en fonction de nombre de tubes.

Discussion :

La variation du rapport (Qu/m) en fonction du l'Acier, présente une forme en cloche (représentent un optimum).

Remarque :

Le temps où il y'a la chute (début de décroissance) on a un seule point qui est l'optimum.

Résultat :

Pour le cas de l'Acier l'optimum équivalent est obtenu pour un nombre de tubes égale à 9 correspondant à une largeur optimale de l'ailette est de 4.96 cm.

Plastique :

Masse volumique : $\rho = 1200 \text{ Kg/m}^3$

Conductivité : $k=0.2 \text{ W/m K}$



Figure (III.11) : Variation de nombre des tubes en fonction de la masse de Plastique.

Discussion :

La variation de nombre du tube en fonction de la masse du Plastique croit linéairement.



Figure (III.12) : Variation de rendement instantané en fonction de la masse de Plastique.

Discussion :

On remarque que la variation de rendement instantané en fonction de la masse de Plastique est croit linéairement.

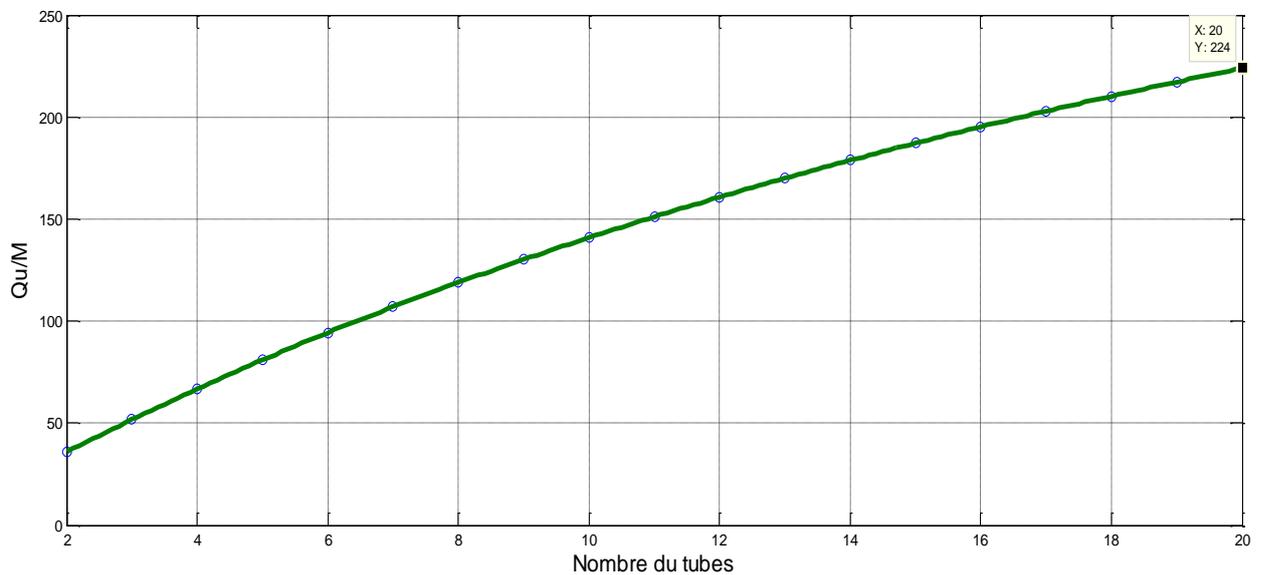


Figure (III.13) : Variation de (Qu/M) en fonction de nombre de tubes.

Discussion :

La variation de (Qu/m) en fonction du Plastique, présente une forme en cloche (représentent un optimum).

Résultat :

Pour le cas de Plastique l'optimum équivalent est obtenu pour un nombre de tubes égale à 20 de plus correspondant à une largeur optimale de l'ailette est de 1.9 cm.

Remarque :

Lorsque la conductivité thermique diminue, l'effet du régime transitoire disparaît.

III.5.2.Effet de la variation du débit de fluide caloporteur :

Pour le cas du cuivre comme le montre la figure suivante on constate :

Lorsqu'on augmente le débit l'énergie utile augmente avec.

On fait une variation du débit (0,01 0,02 0,04 0,06)

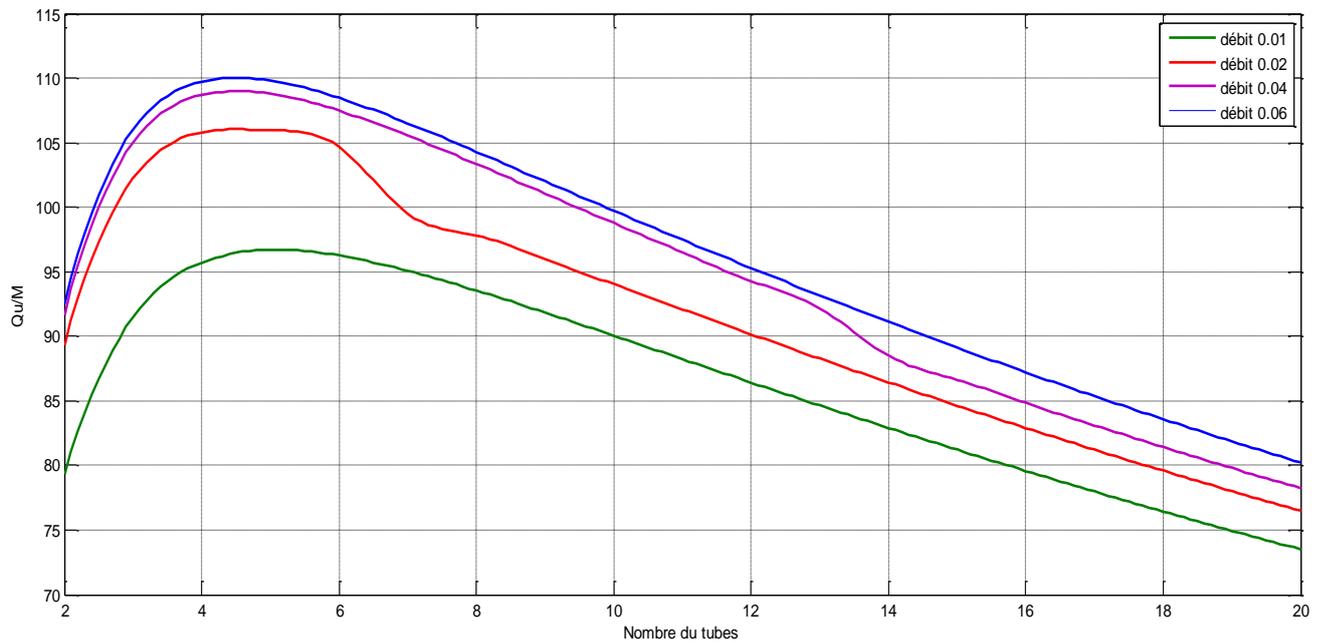


Figure (III.14) : Variation de (Q_u/M) en fonction de nombre des tubes et du débit.

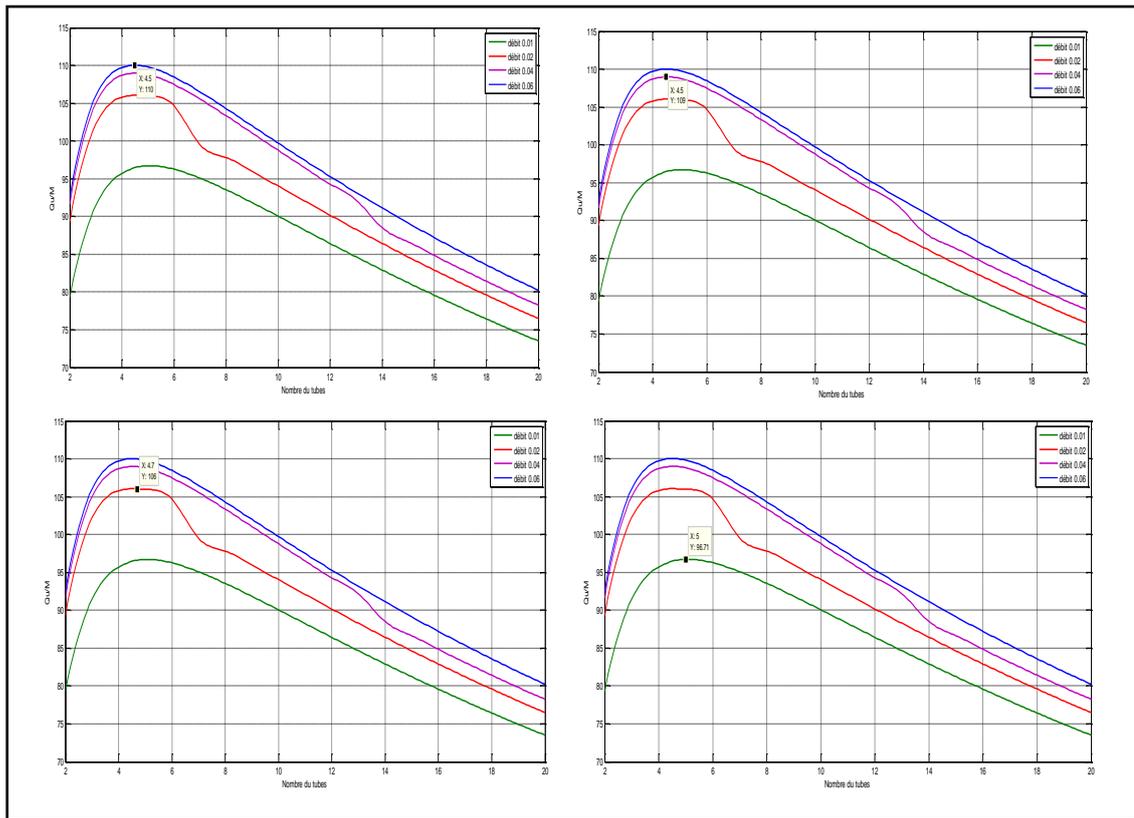


Figure (III.14-1) : Variation du rapport (Q_u/M) en fonction de nombre des tubes et du débit.

III.5.3.Effet de variation de l'émissivité :

Pour le cuivre :

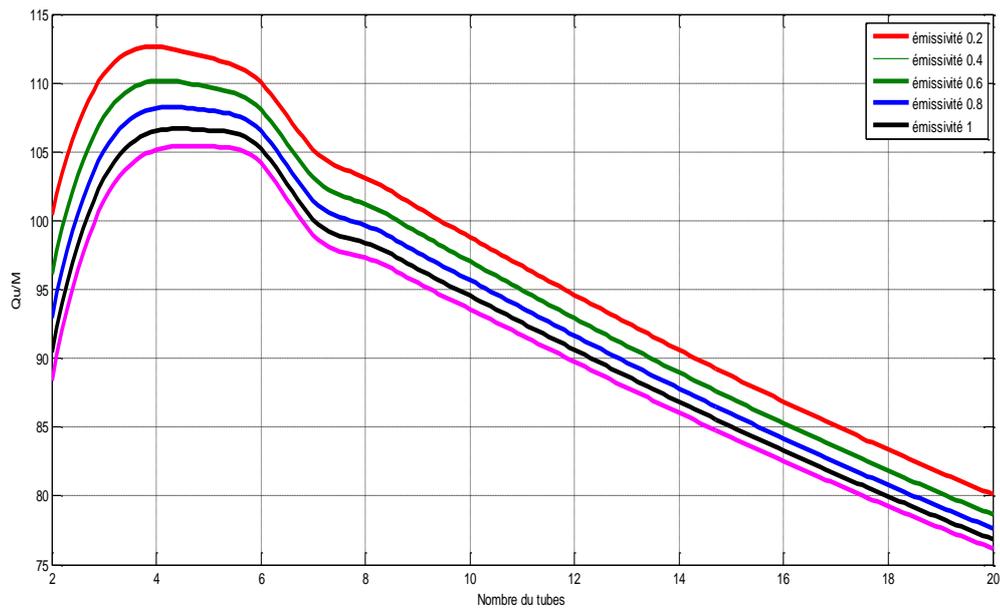


Figure (III.15) : Variation du rapport (Q_u/M) en fonction de nombre des tubes et de l'émissivité.

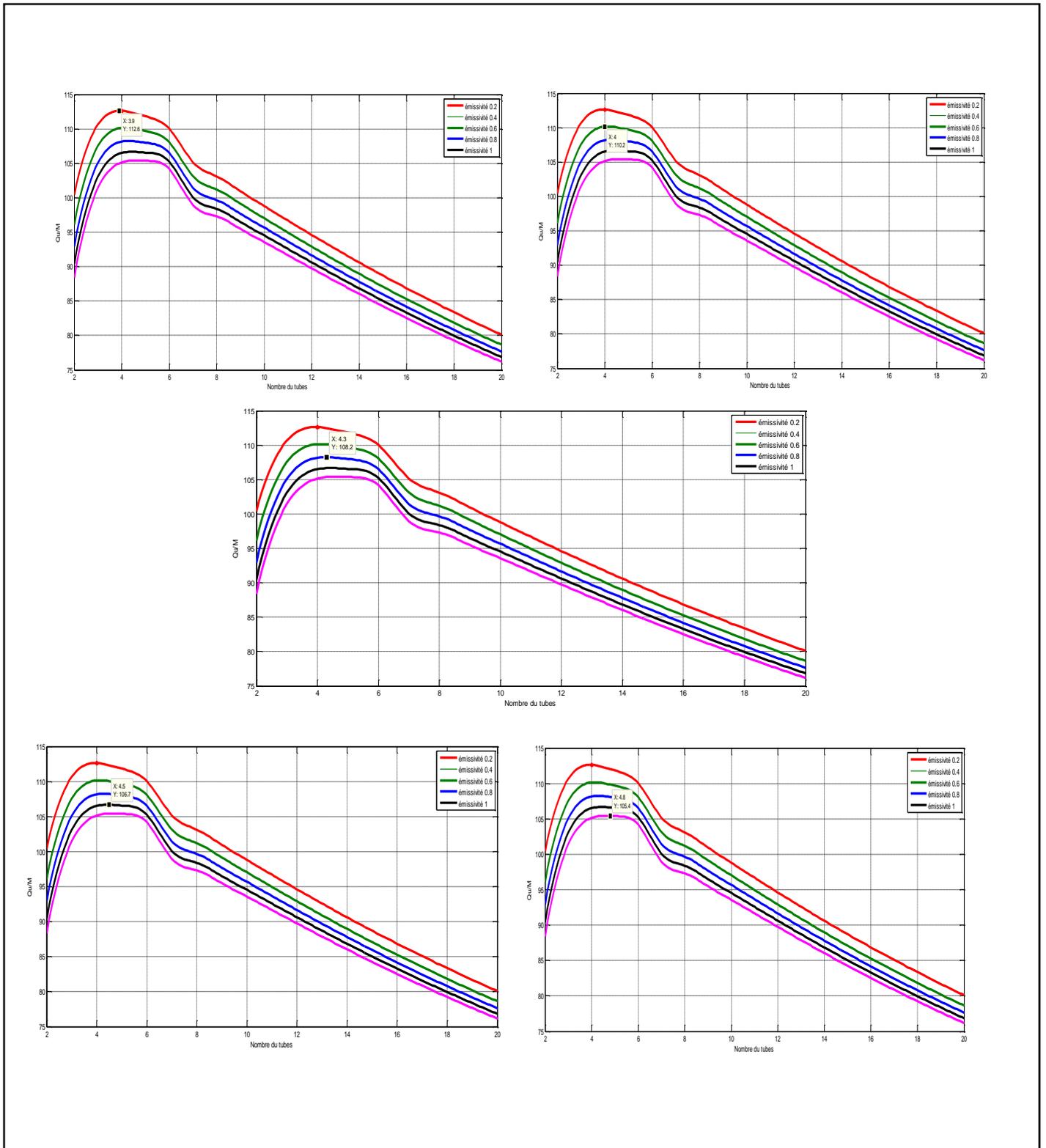


Figure (III.15-1) : Variation du rapport (Q_u/M) en fonction de nombre des tubes et de l'émissivité.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la validation des résultats du programme de simulation qui montre qu'il y a un écart systématique entre les deux courbes due aux propriétés thermo-physiques. Puisque l'allure des tubes identique, je peux utiliser mon modèle pour l'estimation et optimisation.

La largeur de l'ailette est optimisée par rapport à la quantité de matière pour le cas du cuivre dans un programme sous Matlab.

Dans notre étude paramétrique, nous abordons **l'effet de la conductivité** des différents matériaux (Cuivre, Aluminium, Acier, Plastique). Nous concluons que plus la conductivité du matériau est élevée, plus la largeur de l'ailette est grande (en sens inverse).

Nous avons également étudié **l'effet de la variation de débit du fluide caloporteur** pour le cas du cuivre. On constate que l'augmentation du débit entraîne un accroissement de l'efficacité de l'ailette et donc la largeur optimale est réduite.

Enfin, nous avons étudié **l'effet de la variation de l'émissivité de l'absorbeur** pour le cas du cuivre. On conclut lorsque l'émissivité du matériau est élevée la largeur de l'ailette est grande.

NOMENCLATURE

Nomenclature

Symboles	Désignation	Unité
δ	Déclinaison	Degré
TSV	Temps solaire vrai	Heure
E_t	Equation du temps	min
D	Décalage horaire	Heure
T_l	Temps local	Heure
L_{ref}	Longitude de référence	Degré
L_{lieu}	Longitude du lieu	Degré
D_j	Durée du jour	Heure
R_b	Coefficient de correction géométrique	/
$\theta_{e,sol}$	Angle d'équilibre diffus de sol	Degré
$\theta_{e,cil}$	Angle d'équilibre diffus du ciel	Degré
I_{abs}	Eclairement absorbé	W / m ²
I_g	Eclairement global	W / m ²
I_d	Eclairement diffus	W / m ²
I_b	Eclairement direct	W / m ²
ρ_s	Albédo	/
I_b	Eclairement reçu par un plan incliné	W / m ²
η_0	Rendement optique	/
Q_a	Puissance solaire absorbé par la plaque absorbante	W
Q_p	Puissance thermique cédée à l'environnement	W
Q_u	Puissance thermique récupérée par le fluide caloporteur	W
ω	L'angle horaire	Degré
φ	Latitude	Degré
h	La hauteur du soleil	Degré
a	L'azimut du soleil	Degré
k	Coefficient d'extinction	m ⁻¹
l	Chemin optique	m
h_{rvc}	Coefficient de transfert par rayonnement vitrage- ciel	W /m ² K
h_{rpv}	Coefficient de transfert par rayonnement plaque- vitrage	W /m ² K
h_w	Coefficient de transfert convectif du au vent	W /m ² K
T_c	Température du ciel	K
T_a	Température ambiante	K
T_p	Température de plaque	K
T_v	Température de vitrage	K

NOMENCLATURE

ε_p	Emissivité de la plaque absorbante	/
ε_v	Emissivité de vitrage	/
U_{av}	Coefficient de pertes thermiques avant	W / m ² K
U_{lat}	Coefficient de pertes thermiques latérales	W / m ² K
U_{ar}	Coefficient de pertes thermiques arrière	W / m ² K
U_g	Coefficient de pertes thermiques global	W / m ² K
A	Surface du capteur	m ²
e	Epaisseur de l'isolant arrière	m
k_{is}	Conductivité de l'isolant arrière	W / m K
N_U	Nombre de Nusselt	/
R_a	Nombre de Rayleigh	/
e_v	Epaisseur du vitrage	m
D_e	Diamètre externe de tube de l'absorbeur	m
A_{lat}	Surface latérale	m ²
dy	Elément de la longueur du capteur	m
w	Largeur de l'ailette	m
F	Rendement de l'ailette	/
D_i	Diamètre interne du tube de l'absorbeur	m
C_p	Chaleur spécifique de l'eau	J / kg K
h_f	Coefficient de transfert par convection entre le fluide- paroi	W / m ² K
T_f	Température du fluide	K
F'	Efficacité de l'absorbeur	/
n	Nombre de tubes	/
K	Conductivité de la plaque absorbante	W / m K
F_R	Facteur de conductance de l'absorbeur	/
$K_{\tau\alpha}$	Facteur de correction	/
η	Rendement global du capteur	/
\dot{m}	Débit massique	kg / s m ²
σ	Constante de Stefan Boltzmann	W / m ² K ⁴

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale :

Un système solaire thermique exploite le rayonnement du soleil afin de le transformer directement en chaleur (énergie calorifique), le solaire thermique permet de produire de la chaleur (à basse, moyenne ou haute température) ¹.

L'énergie transportée par le rayonnement solaire peut être exploitée par différentes technologies selon l'usage final recherché. Les technologies solaires thermiques exploitent l'énergie calorifique que ce rayonnement crée dans des matériaux l'ayant absorbé ¹.

La conversion du rayonnement solaire en chaleur se fait grâce au capteur solaire thermique.

L'utilisation de capteurs plans thermiques pour transformer en énergie calorifique les photons solaires. De manière pratique le rayonnement traverse une vitre qui laisse pénétrer la lumière et retient la chaleur (effet de serre) et est capté par une surface absorbante. La chaleur ainsi absorbée est ensuite récupérée grâce à un fluide caloporteur circulant sous la surface absorbante. La température du fluide obtenue ne dépasse pas beaucoup les 100°C ¹.

Cette chaleur est utilisée pour la production d'eau chaude sanitaire ou pour le chauffage de maison (plancher solaire).

Dans le but de changer les matériaux classiques utilisés dans la réalisation des absorbeurs des capteurs solaires plans afin de réduire le coût de réalisation. Pour cela une étude de l'influence de ce changement sur les performances du capteur solaire plan s'impose. Le capteur choisi est du type radiateur (ensemble « tubes-ailettes »).

Les surfaces étendues ou ailettes sont utilisées pour améliorer le taux de transfert de chaleur entre un solide et un fluide adjacent ². Elles jouent un rôle très important dans le domaine de transfert de chaleur et les écoulements des fluides.

Après avoir établi une étude théorique afin de modéliser le comportement du capteur vis-à-vis ce changement, les calculs nous ont permis de comparer plusieurs types de matériau de l'ensemble (Cuivre, Acier, Aluminium, Plastique).

¹ : Thèse de magister en matériaux et énergies renouvelables « Etude comparative et rendement énergétique des différents degrés de concentration des convertisseurs thermodynamique de l'énergie solaire », KADRAOUI Hicham, UNIVERSITE ABOU-BAKR BELKAID –TLEMCEN, 2011.

² : Thèse de magister en énergies renouvelables « Elaboration d'une interface de dimensionnement d'une ailette », AHMED BACHA Mohamed Said et SELKA Arslane Chakib, 2008.

INTRODUCTION GENERALE

L'objet de ce travail porte sur :

- ✚ La détermination du rendement d'un capteur solaire plan en fonction des différents paramètres intrinsèques et extrinsèques.
- ✚ L'optimisation de la largeur de l'ailette en fonction de la quantité de matière.
- ✚ Une étude paramétrique de la validation des performances (effet du débit, effet d'émissivité).

Notre travail est constitué par les chapitres suivants :

- Introduction générale.
- Premier chapitre, consacré à l'étude bibliographique ou on s'est basé sur les ailettes.
- Le second chapitre, nous procéderons à l'étude théorique et à la modélisation de capteur solaire plan et l'élément de notre étude (ailette).
- Le dernier chapitre, présente les résultats et l'optimisation de ces ailettes à différent matériaux sous forme des courbes ainsi que les discussions et analyses nécessaires.
- On termine ce mémoire par une conclusion générale.

LISTE DES REFERENCES

Références :

- [1] : A. Mefti, M.Y. Bouroubi et A. Khellaf ; Revue Energ. Ren. Vol. 2 (1999) 69-85, « Analyse Critique du Modèle de l'Atlas Solaire de l'Algérie ».
- [2] : HARIZ Abdelkader Abdelhafid, Thèse de Magistère en génie Mécanique, Option : Énergétique : « Etat de l'Art sur les Energies Solaire et Eolienne en Algérie » ; 2010.
- [4] : M.capderou, « Atlas solaire de l'Algérie », tome 1, voll et 2, modèles théoriques et expérimentaux, office des publications universitaires, Algérie, (1987).
- [5] : J.hofierka, M.suri, « The solar radiation model for open source GIS: implementation and applications », proceedings of the open source GIS-GRASS user's conference, Italy, (2002).
- [6] : <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/solres/solmod3.htm>.
- [7] : M.hamdani, « Etude et effet de l'orientation de deux Pièces d'un habitat en Pierre Situe à Ghardaïa », Thèse magister, Université de Tlemcen, (2011).
- [8] : H.benmossa, B.Gharbi, S.Mammeri, « Etude et réalisation d'un réfrigérateur solaire » 'Mémoire d'ingénieur ', Batna 1979.
- [9] : JACQUES DESAUTEL, « Les capteurs héliothermique », Edition EDISUD 1978.
- [10] : FERDJANI Mohamed Taha, Thèse pour l'obtention de Diplôme Magistère en génie Mécanique « Développement d'un logiciel de simulation des performances thermiques des capteurs solaires plans » ; 2013.
- [11] : B.p.ACELL, « A Simple Equation For The Effect Of Multiple Reflections On The Solar Radiation Absorbed a Collector With a Double Glazed Cover Plate », Division of Mechanical Engineering, The Manchester School of Engineering, University of Manchester, Oxford.Road, Manchester M 139 PL, U.K (accpted 17 November 1997).
- [12] : MEHEMMAI Mohammed, HAFIED Rezik, MEHIRAALI, Article « Comparaison des efficacités des ailettes en cascade » ; 2016.
- [13] : REZIK HAFIED, Magistère en mécanique « Etude des transferts de chaleur et de masse de l'ailette humide » ; 2014.
- [14] : A.D. Kraus, A. Aziz, J. Welty, « Extended Surface Heat Transfer », John Wiley & Sons, New York, (2001).

LISTE DES REFERENCES

- [15] : AHMED BACHA Mohamed Said et SELKA Arslane chakib, Thèse « Elaboration d'une interface de dimensionnement d'une ailette » ; 2008.
- [16] : LUCQUIN B, PIRONNEAU O, « Introduction au Calcul Scientifique Masson 1997 », Introduction to Scientific Computing for Engineers (Wiley). (Traduit du français) 1998.
- [17] : JEANNOT Y, « Cours transfert thermique cours 2ème année, Ecole des mines, Nancy, France 2009.
- [18] : J. A. Duffie, W. A. Beckman. « Solar engineering of thermal processes », John Wiley and Sons. (1980).
- [19] : A.A.SFEIR, G.GUARRACINO, Livre « Ingénierie des systèmes solaires, applications à l'habitat » ; Technique ET Documentation, 1981.
- [20] : M.Capderou, « Atlas solaire de l'Algérie », Edition EPAU, Alger 1985.
- [21] : F, Benyelles; B, Benabadjia; B, Benyoucef; Z, Ziani, « Comparaison entre un Capteur à aérogel de Silice et d'autres Capteurs Plans », 13^{èmes} Journées Internationales de Thermique. (2007).
- [22] : Kaci K. « Etude et réalisation d'un nouveau prototype de capteur solaire plan à contact direct eau-plaque absorbante, configuration convexe ». Mémoire PFE, Université de Blida ; (1997).
- [23] : MERZOUK Mustapha, « Les cours de Master 1 et 2 » au niveau de département des énergies renouvelables, Université Saad Dahleb Blida.
- [24] : F, Benyelles; B, Benabadjia; B, Benyoucef; Z, Ziani. « Comparaison entre un Capteur à aérogel de Silice et d'autres Capteurs Plans ».
- [25] : K.Smaili ; « Modélisation des pertes thermiques d'un capteur solaire plan » ; Mémoire de Master ; Université de Blida, 2016.