



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences et de la technologie
Département de génie mécanique

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques
Filière : Génie Mécanique
Spécialité : Energétique

Réf. :

Présenté et soutenu par :
Mme. Romaisa BENLAGHA

Le : Dimanche 23 juin 2019

Estimation de la température de sortie d'un
insolateur sous divers contextes climatiques

Jury :

Mr.	Adel BENCHABANE	Pr	Université de Biskra	Président
Mr.	Noureddine MOUMMI	Pr	Université de Biskra	Rapporteur
Mr.	Adnane LABED	MCA	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2018 - 2019

الإهداء

الحمد لله الذي أوصلني إلى طريق النجاح و الصلاة والسلام على رسول الله.

أهدي هذا الجزء المتواضع إلى نبع الحنان والعطاء إلى من نسجت طريق سعادتني بخيوط من قلبها

إلى أُمي الغالية "شريفة" بارك الله لي في عمرها.

إلى من كان سنداً لي في الحياة وسراجاً أضاء دربي جدي "بابا قادا" رحمه الله واسكنه فسيح جناته.

إلى زوجي الغالي جلال بشير الذي أشرقت شمسُه حياتي و البسها ثوب السعادة.

إلى أحوالي و خالاتي محمد، مجدة، عبد العالي، وليد، شكري، عبد الرحيم وهاجر.

وإلى زوجات أحوالي وأبنائهم سهام، إيمان، شريفة، سيف، فلة، نورهان، إبراهيم، محمد، أمة الله، عبد

القادر، عبد الباري، ادم، نور اليقين، إياد، وسيم والغالي على قلبي صهيب

شكر وتقدير

أشكر الله تعالى على إعطائي الشجاعة والصبر و القوة لإنجاز هذا العمل المتواضع.

بادئ ذي بدء ، أود أن أعرب عن امتناني الكبير للأستاذ **نور الدين مومي** ، الذي قدم لي مساعداته ونصائحه الثمينة وألهمني بهذا الموضوع وتابعني عن كثب ، وأشكره على انفتاحه ، تعاونه.

أشكر الأستاذ **نور الدين بلغار** على موافقته على رئاسة لجنة المناقشة.

أشكر السيد الأستاذ **عدنان العابد** على قبوله لدراسة هذه المذكرة المتواضعة وأن يكون عضوا في لجنة المناقشة بصفته ممتحنا.

كما أود أن أعرب عن خالص شكري لكل أساتذة الهندسة الميكانيكية الذين لهم الفضل في وصولي إلى هذه المرحلة وإلى كل من شارك من قريب أو بعيد في إنجاز هذا العمل المتواضع.

Tables des matières

Remerciements	i
Tables des matières	ii
Liste des figures	iv
Liste des tableaux	v
Nomenclature	vi
Résumé	vii
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Etude Bibliographique	2
Chapitre II : Principe et technologie d'un capteur solaire plan.....	15
II-1. Les différents types de capteurs solaires :	16
II-1.1. les Capteurs plans sans vitrage :	16
II-1.2. Les capteurs plans vitrés :	17
II-1.3. Les capteurs à tubes sous vides :	18
II-1.4. Capteurs à concentration.....	19
II-2. Principe.....	19
II-3. Eléments constituant.....	20
II-3.1. La couverture :	20
II-3.2. L'absorbeur :	21
II-3.3. Le fluide caloporteur.....	21
II-3.4 L'isolant	22
Chapitre III : Paramètres de fonctionnement	23
III-1. Paramètres conceptuels :	24
III-1.1. Les coordonnées géographiques d'un site :	24
III-1.2. Les coordonnées du soleil :	25
III-1.2.1. Le repère équatorial :	25
III-1.2.2. Le repère horizontal :	26
III-1.2.3. Orientation d'un plan :	27
III-1.2.4. Angle d'incidence sur un plan (i):	27
III-2. Paramètres d'environnement :	28
III-2.1. Rayonnement solaire :	28
III-2.1.1. Le rayonnement solaire direct (G_{dir}):	28
III-2.1.2. Le rayonnement solaire diffus (G_{dif}):	29
III-2.1.3. Le rayonnement solaire global :	29
III-3. La température ambiante :	30

III-3.1.Modèles existants :	30
III-3.2.Modèle Théorique :	31
III-3.2.1.Calcul de la température ambiante	31
III-3.2.2.Calcul de la température de sortie	31
III-4. Organigramme détaillé du programme de calcul	32
Chapitre IV : Résultats et interprétation.....	33
Introduction :	34
IV-1. Les différents sites étudiés	35
IV-1.1. Site de Biskra « $\varphi= 34.8, l= 5.73, z=85m$ ».....	35
IV-1.2. Site de Sétif « $\varphi= 36.18, l=5.42, z=1038m$ »	37
IV-1.3. Site de Tlemcen « $\varphi=35.02,l=1.47, z=247m$ » :	39
IV-2. Interprétation des résultats :	41
IV-2.1. Variation du rayonnement solaire :	41
IV-2.2. Variation de la température de sortie de l'air :	41
IV-2.3. Comparaison entre les résultats des trois sites :	42
Conclusion :	46
Conclusion générale	47
Bibliographie	

Liste des figures

	Page
Figure 1.1 Evolution temporelle de la température des absorbeurs au milieu du capteur	03
Figure 1.2 Evolution temporelle de la température de l'absorbeur à la sortie du capteur	03
Figure 1.3 Comparaison entre les rendements des absorbeurs	03
Figure 1.4 Rayonnement solaire global expérimental	04
Figure 1.5 Rayonnement solaire global théorique	05
Figure 1.6 Variation expérimentale de la vitesse de séchage du produit situé sur la première grille pour diverses températures de l'air ($G=122\text{kg/h}$, $W=0,0108-0,0158\text{kg eau/kg MS}$)	05
Figure 1.7 Evolution de la température de la chambre de séchage en fonction du temps de séchage du piment vert (13/4/2010, 13, 19/5/2010).	06
Figure 1.8 Evolution de la vitesse de séchage du piment vert en fonction du temps de séchage.	06
Figure 1.9 Lignes de courant type1 sans rugosité	06
Figure 1.10 Lignes de courant type2 rugosité rectangulaire	06
Figure 1.11 les lignes de courant type 3 rugosités circulaires	07
Figure 1.12 les lignes de courant type 4 rugosités triangulaires	07
Figure 1.13 Maillage adopté	08
Figure 1.14 Comparaison de la température de l'absorbeur	08
Figure 1.15 Schéma de principe du capteur à air	09
Figure 1.16 Mécanisme des échanges de chaleur détaillé	09
Figure 1.17 Disposition en ligne et en quinconce des chicane dans la veine d'air mobile	10
Figure 1.18 Impact de l'air en présence des chicanes de forme rectangulaire avec partie inclinée	10
Figure 1.19 Schéma du capteur solaire étudié	11
Figure 1.20 bilan thermique d'un capteur solaire plan	12
Figure 1.21 Schéma électrique équivalent d'un capteur solaire plan	12
Figure 1.22 Les deux capteurs solaires à air avec un lieu de mesure de la température	13
Figure 1.23 La plaque absorbante plate et cassée e a la forme v	13
Figure 1.24 Disposition de l'obstacle et position de la mesure de température sur un canal de capteur à virage serré avec un angle de résistance de 130 degrés	14
Figure 2.1 Schéma d'un capteur non vitré	17
Figure 2.2 Schéma d'un capteur solaire vitré.	18
Figure 2.3 Les capteurs à tube sous vide	19
Figure 2.4 Schéma de fonctionnement d'un capteur	20

Figure 3.1	Définition des coordonnées terrestre d'un lieu donné	24
Figure 3.2	Variation annuelle de la déclinaison solaire	25
Figure 3.3	Le repère horizontal	26
Figure 3.4	Angle d'inclinaison d'un capteur solaire	27
Figure 3.5	Les composants du rayonnement solaire	28
Figure 3.6	Organigramme détaillé du programme de calcul	32
Figure 4.1	Biskra 21/03/2019 « Tmin=10.5°C, Tmax=17.2°C »	35
Figure 4.2	Biskra 21/06/2018 « Tmin=25.4°C ,Tmax=35.3°C »	35
Figure 4.3	Biskra le 23/09/2018« Tmin=23.7°C ,Tmax=34.6°C »	36
Figure 4.4	Biskra 23/12/2018« Tmin=7.5°C ,Tmax=19.7°C »	36
Figure 4.5	Sétif 21/03/2019 « Tmin=2.6°C ,Tmax=9°C »	37
Figure 4.6	Sétif 21/06/2018 « Tmin=12.3°C , Tmax=29.6°C »	37
Figure 4.7	Sétif 23/09/2018 « Tmin=13.4°C , Tmax=27.6°C »	38
Figure 4.8	Sétif 23/12/2018 « Tmin=0°C , Tmax=15°C »	38
Figure 4.9	Tlemcen 21/03/2019 « Tmin=2.1°C , Tmax=14.4°C »	39
Figure 4.10	Tlemcen 21/06/2018 « Tmin=16.8°C , Tmax=28.6°C »	39
Figure 4.11	Tlemcen23/09/2018 « Tmin=15.6°C , Tmax=34°C »	40
Figure 4.12	Tlemcen 23/12/2018 « Tmin=3.8°C , Tmax=21.5°C »	40
Figure 4.13	Comparaison de la température de sortie pour les trois sites Qv=20 21/03/2019	42
Figure 4.14	Comparaison de la température de sortie pour les trois sites Qv=35 21/03/2019	42
Figure 4.15	Comparaison de la température d'entrée pour les trois sites 21/03/2019	43
Figure 4.16	Comparaison du rayonnement solaire pour les trois sites 21/03/2019	44
Figure 4.17	Comparaison de la température de sortie pour les trois sites Qv=20 23/12/2018	44
Figure 4.18	Comparaison de la température de sortie pour les trois sites Qv=35 23/12/2018	45
Figure 4.19	Comparaison de la température d'entrée pour les trois sites 23/12/2018	45
Figure 4.20	Comparaison rayonnement solaire pour les trois sites 23/12/2018	46

Liste des tableaux

	Page	
Tableau 2.1	Propriétés thermiques des quelque matériaux isolants	22
Tableau 3.1	Valeurs des coefficients du trouble atmosphérique	29
Tableau 3.2	Variation de la pression atmosphérique avec l'altitude	29
Tableau 4.1	Données géographiques et climatiques des sites étudiés	34

Nomenclature

h	Le hauteur du solaire ($^{\circ}$)
h_{\max}	Le hauteur maximal du solaire ($^{\circ}$)
i	Angle d'incidence sur un plan ($^{\circ}$)
a, b	Coefficients traduisant les troubles atmosphériques (-).
P	Pression atmosphérique du lieu (pa).
G_{dir}	Rayonnement solaire direct (W/m^2)
G_{dif}	Rayonnement solaire diffus (W/m^2)
G	Rayonnement solaire global (W/m^2)
T_{eq}	Température équivalente de l'air ambiant ($^{\circ}C$)
T_a	Température ambiante de l'air ($^{\circ}C$)
T_{ciel}	Température du ciel ($^{\circ}C$)
T_e	Température d'entrée de l'air ($^{\circ}C$)
T_{\max}, T_{\min}	Températures ambiantes maximale et minimale au cours de la journée ($^{\circ}C$)
T_S	Température de sortie de l'air ($^{\circ}C$)
tsv	temps solaire vrai (heure)
z	Altitude de lieu (m)

Indices

Lettres grecques

φ	Angle de la latitude du site ($^{\circ}$)	\max	maximale
L	Angle de la longitude du site ($^{\circ}$)	\min	minimale
δ	Angle de la longitude du site ($^{\circ}$)	dir	direct
ω	Angle horaire ($^{\circ}$)	dif	diffus
α	Angle azimutal du soleil ($^{\circ}$)	eq	équivalente
β	L'inclinaison du plan ($^{\circ}$)	e	entrée
τ_{dir}	Coefficient de transmission direct(-)	s	sortie
Δt	Durée du jour (heure)		

Résumé :

Le travail présenté dans ce mémoire est relatif à la conversion thermique de l'énergie solaire. Il s'agit de la simulation d'une méthode d'évaluation de la température de sortie de l'air chaud issue d'un capteur solaire plan. Cette méthode de prévision tient compte de la conception du système et des paramètres climatiques qui ont une influence directe sur la température de sortie. Les résultats obtenus pour divers sites de situations géographiques variées ont permis de mettre en évidence l'effet de la température ambiante, du rayonnement solaire et surtout de l'altitude du site qui a une influence prépondérante.

Mots clés : Conversion, énergie, solaire, air, température, site, simulation.

ملخص :

يتعلق العمل المقدم في هذه الرسالة بالتحويل الحراري للطاقة الشمسية. حيث قمنا باقتراح محاكاة لتقييم درجة حرارة خروج الهواء الساخن من مجمّع شمسي مسطح. تأخذ طريقة التنبؤ هذه في الاعتبار تصميم النظام والمعلومات المناخية التي لها تأثير مباشر على درجة حرارة الخروج. أتاحت النتائج التي تم الحصول عليها من مواقع مختلفة ذات أوضاع جغرافية متنوعة تسليط الضوء على تأثير درجة الحرارة المحيطة والإشعاع الشمسي وخاصة ارتفاع الموقع الذي له تأثير كبير على تغير درجة الحرارة الخروج.

كلمات مفتاحية : تحويل، طاقة، شمسي، هواء، حرارة، موقع، المحاكاة.

Introduction générale

Il est évident que les performances des capteurs solaires nous permettent de déterminer si l'énergie solaire est préférable à une autre source d'énergie pour un usage particulier. Les capteurs solaires d'air sont utilisés essentiellement pour le chauffage de l'air ambiant, des sources d'énergie solaire pour une série d'applications simples telles que le séchage industriel. En Algérie, le rayonnement direct reçu à différents endroits est l'un des plus élevés au monde, ce qui nous permet de calculer la température de sortie de l'air. En revanche, le rayonnement solaire étant mesuré sur certains sites, les données sur cette énergie ne sont pas toujours disponibles. L'utilisation de modèles de simulation est pratiquement le seul moyen de surmonter ce problème. Pour les données sur le rayonnement solaire, le rayonnement reçu sur Terre dépend des nuages et d'autres paramètres atmosphériques et géographiques.

À cette fin, nous avons consacré ces travaux à des simulations en fonction du temps solaire vrai du rayonnement solaire, de la température d'entrée sur trois sites en Algérie. Les résultats sont comparés. Cela a permis au calcul de la température de sortie de l'air.

Ce mémoire est composé des chapitres suivants:

Le chapitre I : comprend une étude bibliographique sur le thème proposé, ainsi qu'un résumé de certains des travaux de recherche achevés.

Le chapitre II : comprend une étude technologie d'un capteur solaire plan. Les différents composants ainsi que leurs natures et propriétés thermo physiques.

Le chapitre III est consacré à l'étude du gisement solaire en général et les paramètres qui permettent de caractériser un site. Aussi l'étude des paramètres de fonctionnement du capteur solaire plan. Ces paramètres sont de deux types : Externes, liés à la situation géographique du site d'installation du système et donc climatiques et internes liés à la conception du système.

Le dernier chapitre est dédiés aux résultats où nous exposés les courbes d'estimation du rayonnement solaire direct, de la température entrée et de la température de sortie de l'air et ainsi qu'une comparaison et discussion.

Chapitre I : Etude Bibliographique

Dans ce chapitre nous présentons les travaux sur les capteurs solaires plans à air.

Le travail qui a été présenté par Mohamed MOGHARBI et Daoud HALASSA [1] concerne la conception et la réalisation d'un capteur solaire plan à air à simple canal entre l'absorbeur et la couverture, fonctionnant en convection forcée.

Ils ont fait une étude comparative entre les composants du capteur. L'étude menée et les courbes expliquant le phénomène les ont conduits à l'optimiser. Ils ont trouvé que pour une meilleure efficacité du capteur, ils doivent choisir une couverture en verre ordinaire de 4 mm d'épaisseur et un absorbeur en cuivre dont l'épaisseur est égale à 0,8 mm.

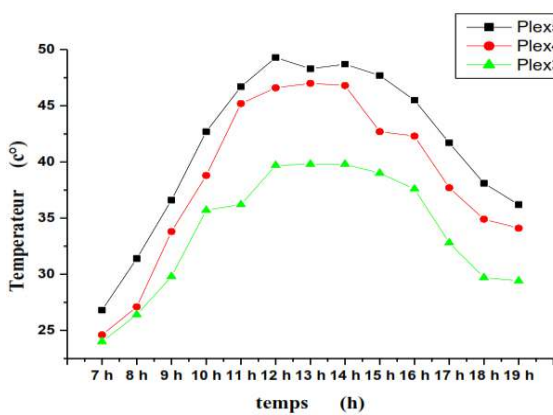


Figure 1.1 : Evolution temporelle de la température des absorbeurs au milieu du capteur [1]

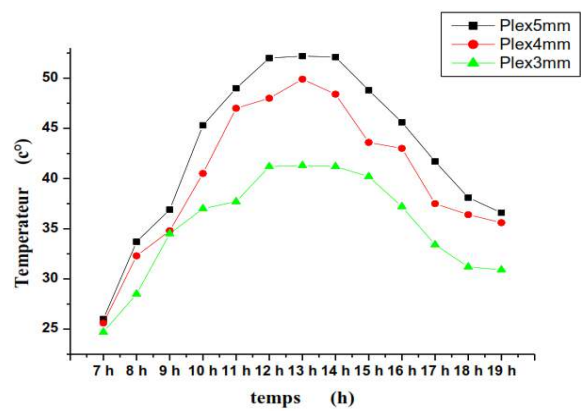


Figure 1.2 : Evolution temporelle de la température de l'absorbeur à la sortie du capteur [1]

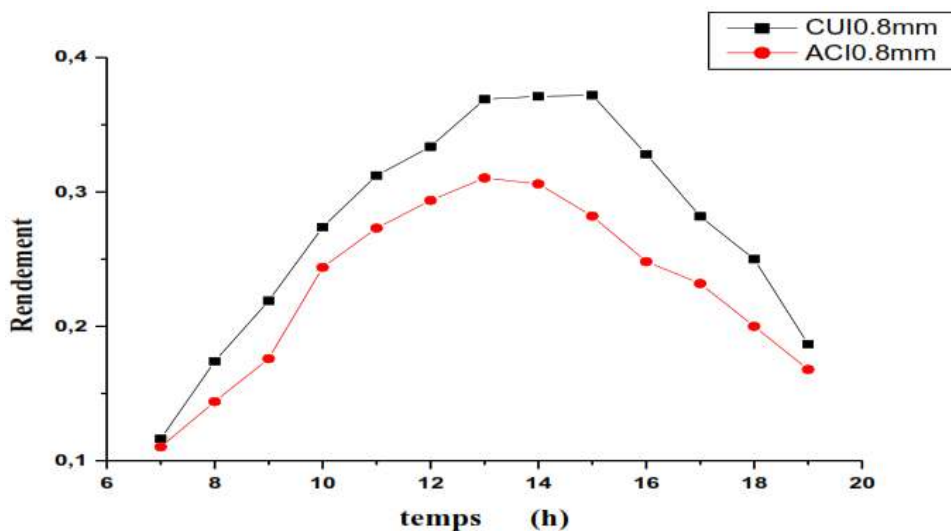


Figure 1.3 : Comparaison entre les rendements des absorbeurs [1]

Le travail de Drissi [2] est une contribution numérique à l'étude du rayonnement solaire incident sur un capteur solaire plan à air dans le site de Biskra pour estimer l'éclairement solaire G .

Le modèle mathématique utilisé est basé sur la formule de Kasten. la simulation a été effectuée pour la comparaison du rayonnement solaire global entre l'étude expérimentale d'une part et pour l'estimation du rayonnement global instantané journalier incident sur un capteur plan d'orientation au sud et placé sur le site de Biskra d'autre part. Aussi l'influence de l'angle d'inclinaison sur le coefficient d'échange par convection naturelle ont fait la distance entre la vitre et l'absorbeur comprise entre 2 et 4 m est considérée. Les expériences sont menées sur un capteur solaire conçu à cet effet ont permis de déterminer les performances thermique du système avec et sans chicanes pour différents intervalles de débit.

Les résultats numériques ont été montrés que la formule de Kasten inappropriée pour le calcul de rayonnement global dans le site de Biskra.

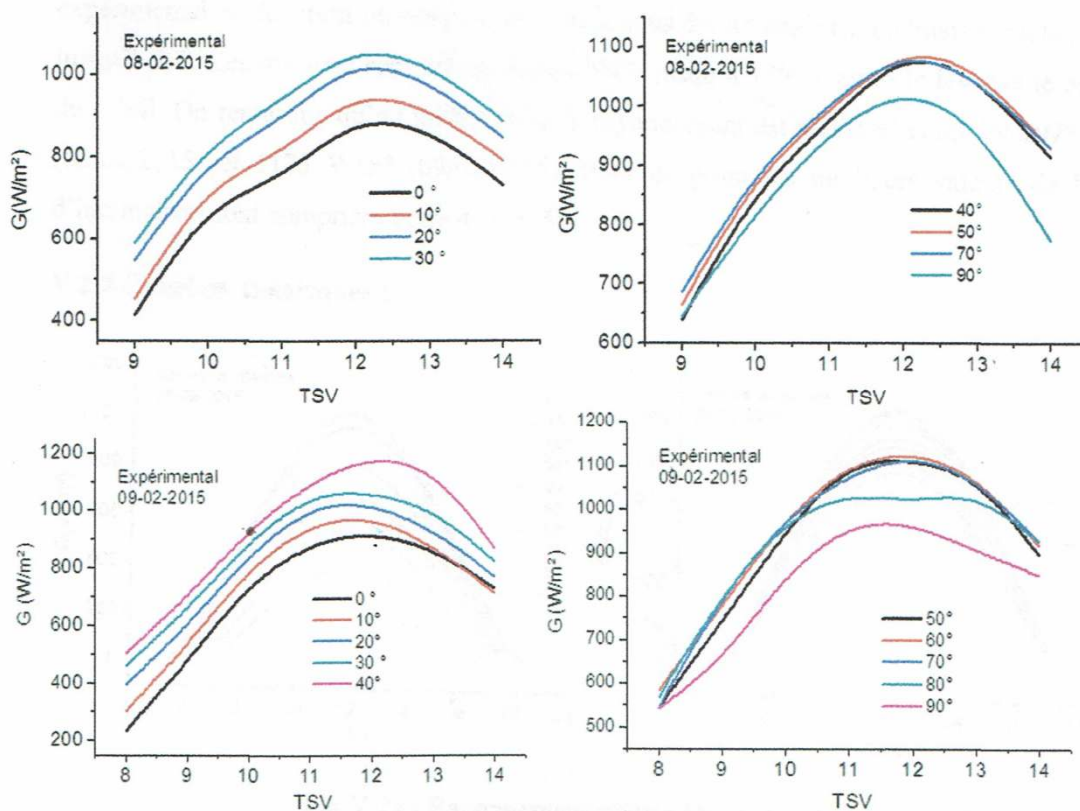


Figure 1.4 : Rayonnement solaire global expérimental [2]

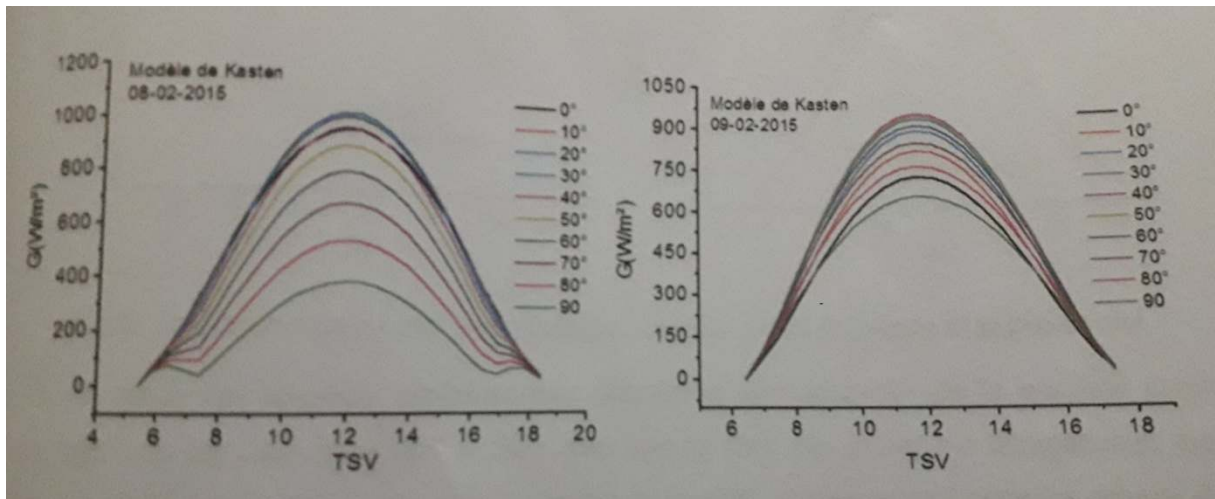


Figure 1.5 : Rayonnement solaire global théorique [2]

Le travail de GUENIFI SABER [3] concerne l'étude de faisabilité des applications solaires utilisant des capteurs solaires plans en fonction de leur température de sortie. Ils ont analysé deux applications de l'énergie solaire: le chauffage et séchage.

ils ont établi en première étape, une analyse des besoins en chauffage d'un local à partir des calculs des déperditions thermiques. La deuxième étape une analyse des résultats expérimentaux des séchoirs solaires réalisée pour le séchage de quelques produits alimentaires et agroalimentaires. Cette étude a permis la connaissance de la surface des capteurs solaires plans pour un intervalle de temps pourra assurer le maintien du confort demandée.

à travers des illustrations ils ont montrés que les besoins en chauffage comme en séchage peuvent être couverts par la chaleur extraite des capteurs solaires plans à air.

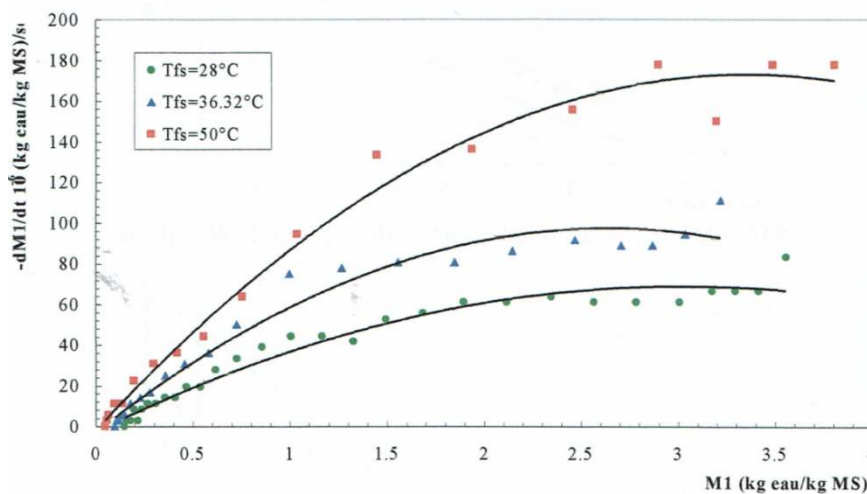


Figure 1.6 : Variation expérimentale de la vitesse de séchage du produit situé sur la première grille pour diverses températures de l'air ($G=122\text{kg/h}$, $W=0,0108-0,0158\text{kg eau/kg MS}$) [3]

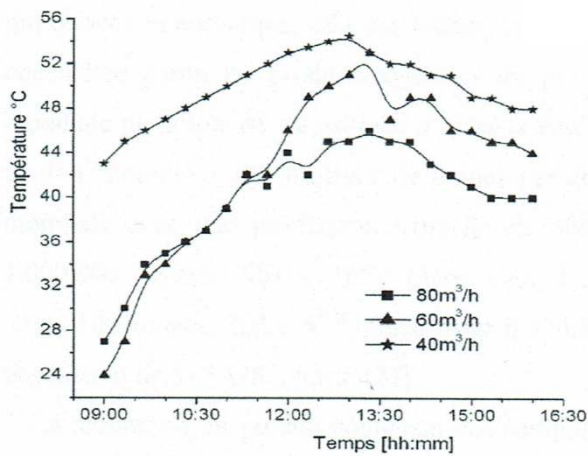


Figure 1.7 : Evolution de la température de la chambre de séchage en fonction du temps de séchage du piment vert (13/4/2010,13,19/5/2010). [3]

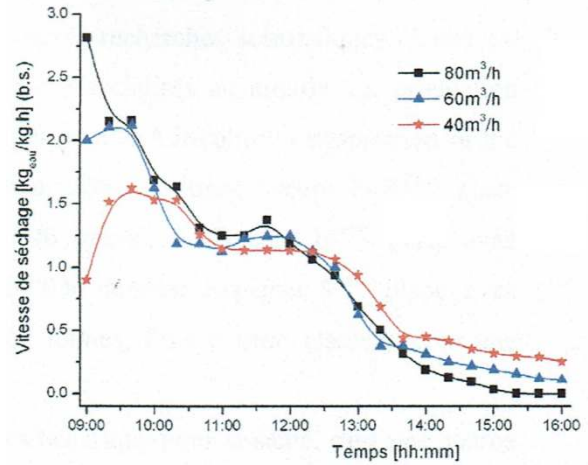


Figure 1.8 : Evolution de la vitesse de séchage du piment vert en fonction du temps de séchage. [3]

AMRAOUI et al. [4] a étudié une configuration numérique d'un capteur solaire plan à air influence de la forme de la rugosité, Dans le travail ils ont ajouté des rugosités au niveau de l'isolant permettant d'augmenter la surface d'échange et par voie de conséquence donner aux particules fluide une trajectoire très important pour capter le maximum d'énergie. Ils ont fait une étude numérique à l'aide de code du calcul « Fluent » pour étudier le comportement dynamique et thermique de l'écoulement d'air dans différents capteurs solaires plan « muni des chicanes sans rugosité, avec rugosité rectangulaire, avec rugosité triangulaire, avec rugosité circulaire ».

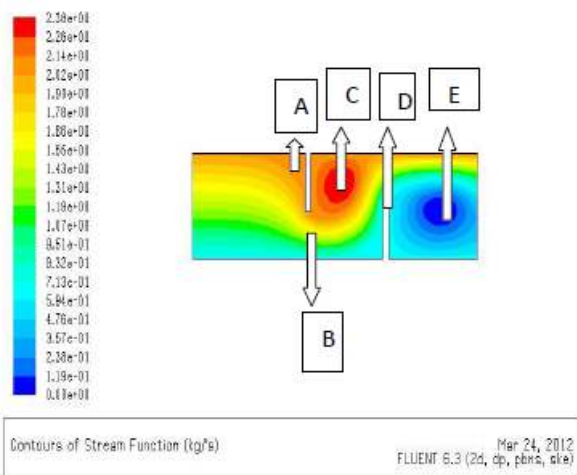


Figure 1.9 : Lignes de courant type1 sans rugosité [4]

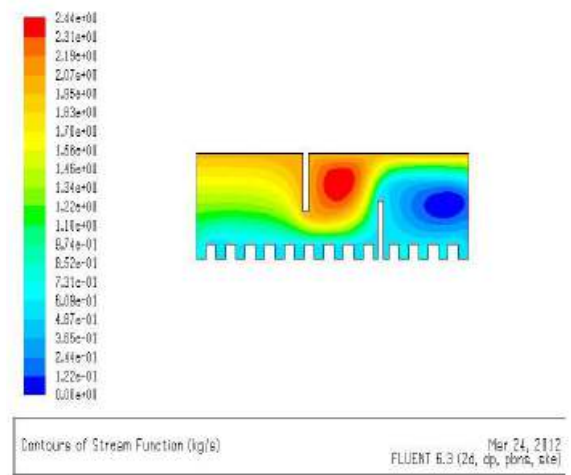


Figure 1.10 : Lignes de courant type2 rugosité rectangulaire [4]

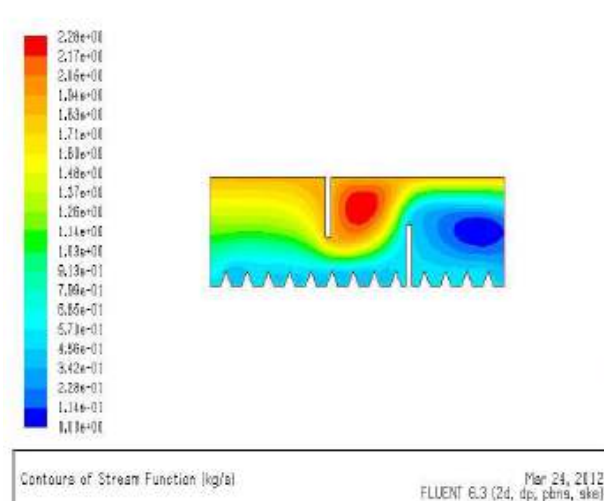


Figure 1.11 : les lignes de courant type 3 rugosités circulaires [4]

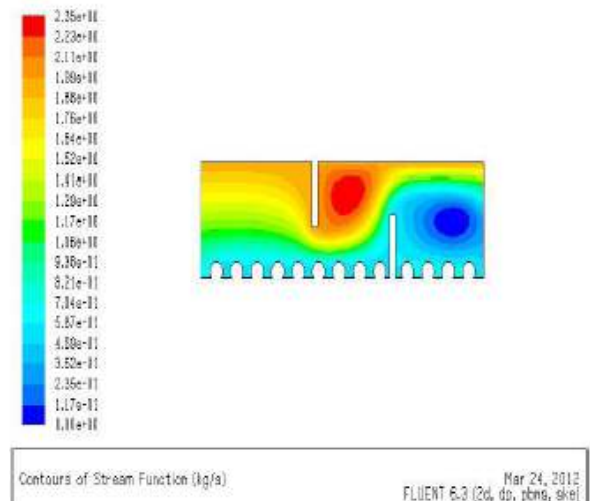


Figure 1.12 : les lignes de courant type 4 rugosités triangulaires [4]

HENAOUÏ [5] a étudié numériquement par le logiciel fluent pour fusionné des barrettes perforées dans la veine fluide du capteur solaire, de ce fait, le fluide caloporteur circule à l'intérieur de ces perforations ce qui permet la diminution des pertes de charges linéaire au niveau des parois de la conduite du capteur. Ils Ont cherché à étudier l'aérodynamique interne de ces perforations pour que le fluide caloporteur soit toujours dirigé vers l'absorbeur en imposant une orientation adéquate à ses perforations et, par suite, le faire gagner un maximum de calories. Trois types de comparaisons ont été examinés pour trois vitesses différentes : $v=3.9\text{m/s}$, $v=7.8\text{m/s}$ et $v=11.7\text{m/s}$):

1- Une comparaison entre un modèle de capteur solaire avec chicane simple (modèle classique), et un modèle de capteur avec chicanes munie de trois barrettes identiques. L'écoulement secondaire à l'intérieur de chaque barrette s'effectue dans un jeu annulaire $r=0.01\text{m}$.

2- Comparaison entre un modèle de capteur avec chicanes munis de trois barrettes pour deux jeux annulaires différents: $r= 0.01\text{m}$ et $r=0.005\text{m}$ (la moitié de la première) pour différentes vitesses.

3- Comparaison entre un modèle de capteur muni de trois barrettes identiques, et un modèle de capteur avec six barrettes.

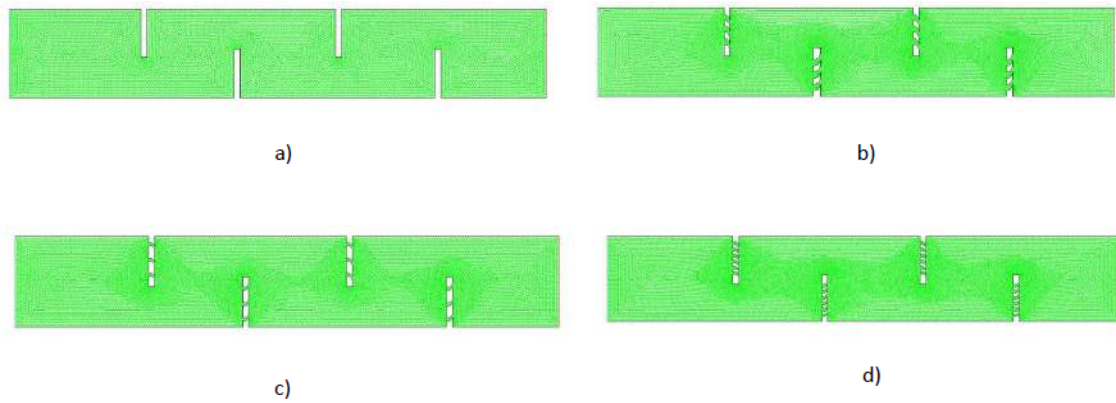


Figure 1.13 : Maillage adopté [5]

- a) Maillage pour capteur à chicane simple
- b) Maillage pour capteur à chicane à trois barrettes $r = 0.01\text{m}$
- c) Maillage pour capteur à chicane à trois barrettes $r = 0.005\text{m}$
- d) Maillage pour capteur à chicane à six barrettes $r = 0.005\text{m}$

BAISSI, M. T. [6] a réalisé une étude théorique et expérimentale des paramètres de fonctionnement d'un capteur solaire plan. Pour ce là ils ont utilisé des modèles théoriques permettant de simuler des paramètres intrinsèques et extrinsèques qui influent directement ou indirectement sur le fonctionnement d'un capteur solaire plan à air. Un code de calcul en langage Matlab a été élaboré. Il a été utilisé pour obtenir caractériser le gisement solaire à Biskra. Les résultats obtenus ont conduits au fait que les valeurs estimées du rayonnement solaire global, comparées aux valeurs mesurées pour les mois Janvier à Avril sont relativement différentes.

En deuxième phase de cette étude, au calcul de la température de sortie d'un capteur solaire issue du modèle théorique. Les valeurs calculées sont confrontées à celles issues des essais faits en fonction du temps.

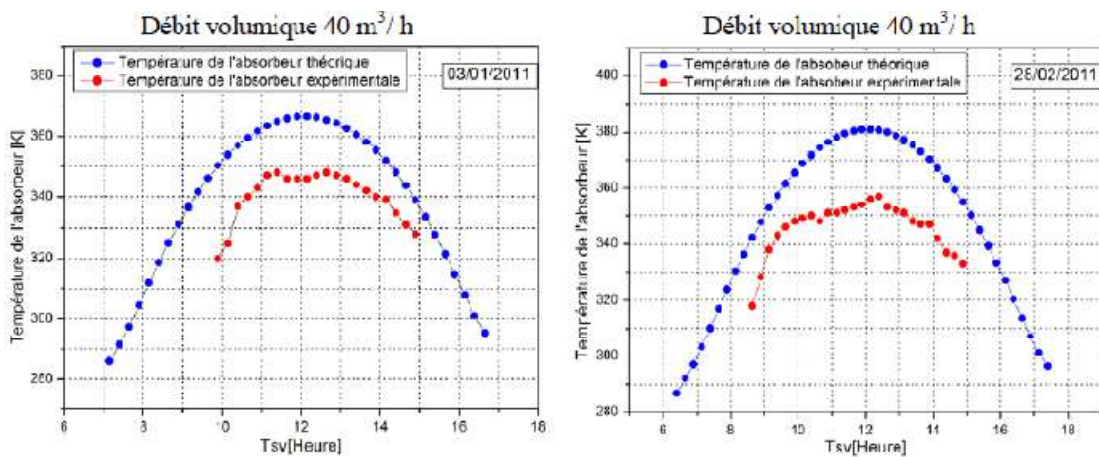


Figure 1.14 : Comparaison de la température de l'absorbeur [6]

KAOULAL et al. [7] ont effectués une étude dans le but d'analyser l'apport énergétique des capteurs solaires à air dans le cadre de l'étude de l'efficacité énergétique dans le secteur de bâtiment. En effet, le présent travail concerne l'étude théorique d'un capteur solaire plan à air à simple passe entre l'absorbeur et la vitre, intégré en façade, fonctionnant en régime dynamique en convection naturelle et destinée au chauffage. L'analyse du comportement de ce capteur a permis d'établir un modèle basé sur la résolution des équations de bilans thermiques par la méthode nodale. A l'aide de la simulation numérique sous Matlab (en utilisant la méthode de Runge- Kutta), ils ont pu déterminer les profils de températures, du vitrage, de l'absorbeur, et du fluide caloporteur (l'air) à la sortie du capteur, ainsi que le rendement thermique instantané.

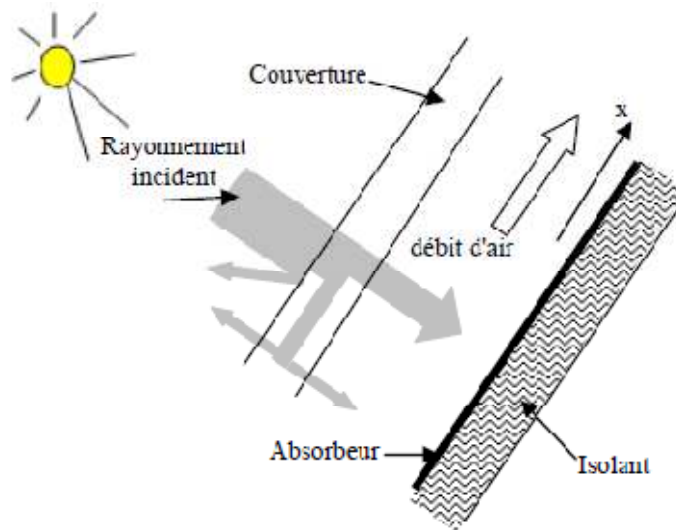


Figure 1.15 : Schéma de principe du capteur à air [7]

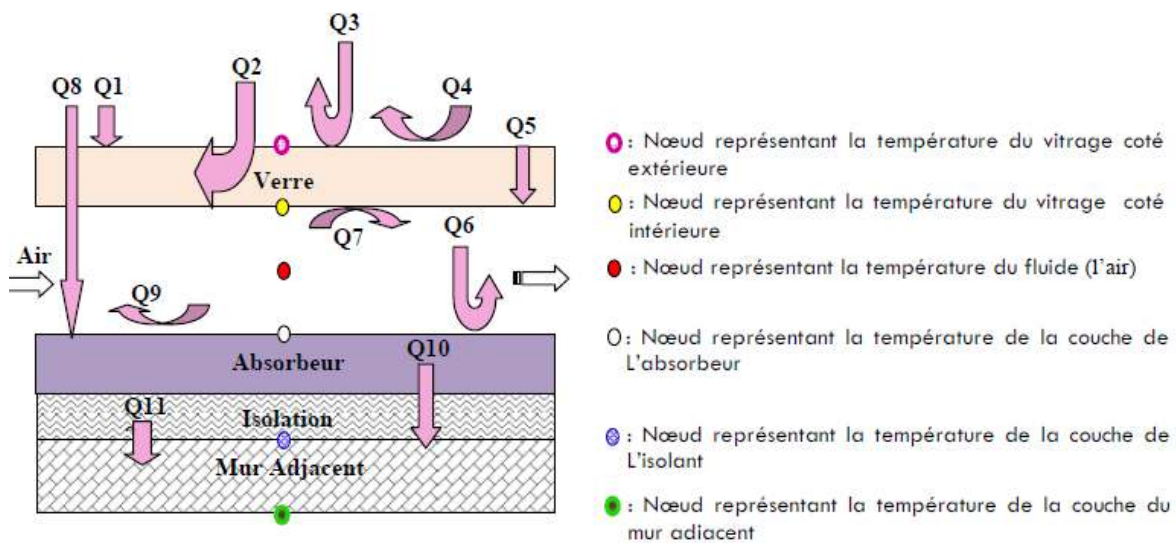


Figure 1.16 : Mécanisme des échanges de chaleur détaillé [7]

Le travail de MANASRI et al. [8] consiste à établir des modèles empiriques de calcul du coefficient d'échange thermique par convection, lors de l'écoulement de l'air dans un conduit utile rectangulaire d'un capteur solaire plan à air, dont le plan inférieur est muni de rugosités artificielles dites chicanes de formes rectangulaires disposées en quinconce. Par la méthode de l'analyse dimensionnelle, Ils ont pu relier tous les paramètres physiques, thermophysiques et les caractéristiques géométriques des chicanes, en fonction du régime d'écoulement on estime un coefficient d'échange global par convection dans l'espace d'écoulement du fluide.

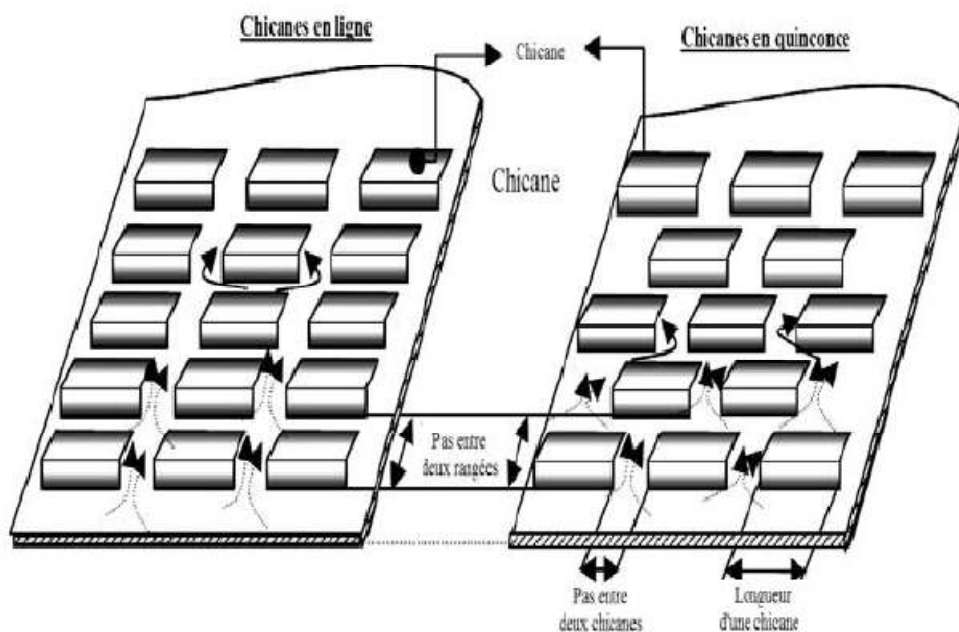


Figure 1.17 : Disposition en ligne et en quinconce des chicanes dans la veine d'air mobile [8]

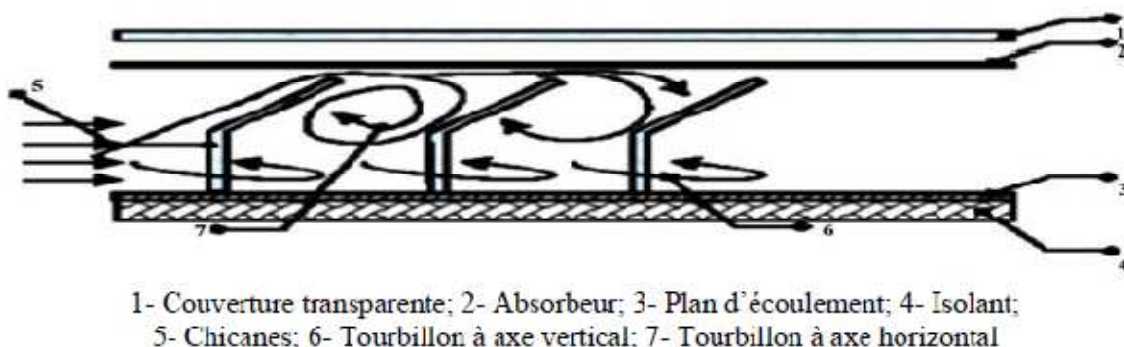


Figure 1.18 : Impact de l'air en présence des chicanes de forme rectangulaire avec partie inclinée [8]

Pour comprendre les mécanismes de propagation de la chaleur dans les différentes parties du plan air solaire, MOUMMI et al. [9] ont présenté une étude numérique concernant l'échange de chaleur entre les différentes parties d'un capteur solaire air plan avec un conduit lisse. Ils ont permis de fournir des informations presque exactes. Cela dépend des modèles utilisés pour l'évaluation des pertes sur la distribution de la température dans les composants principaux du capteur dans le cas d'un régime permanent. Ce travail vise à développer une méthode flexible d'analyse énergétique pouvant être exploitée ultérieurement dans des études comparatives de diverses configurations structurelles et conceptuelles de ces convertisseurs d'énergie.

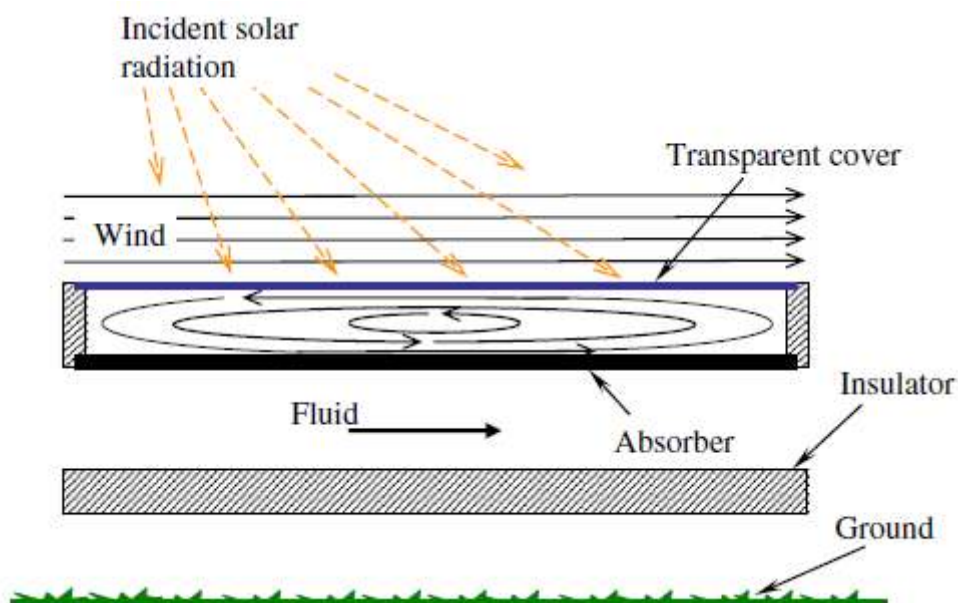


Figure 1.19 : Schéma du capteur solaire étudié [9]

Le travail de KHERRIS et al. [10] a porté sur une contribution à l'étude et à la caractérisation d'un capteur solaire plan destiné aux applications à basse température. Une modélisation mathématique du système en question basée sur le modèle de PERRIN BRICHAMBAUT pour la détermination de l'éclairement solaire journalier ainsi qu'un programme sous l'environnement Matlab ont été élaborés pour étudier les transferts convectifs entre l'absorbeur et l'isolant afin d'optimiser l'épaisseur de l'isolant permettant d'augmenter le rendement du capteur.

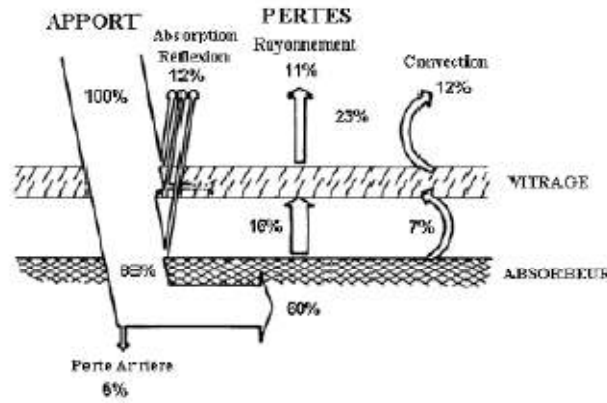


Figure 1.20 : bilan thermique d'un capteur solaire plan [10]

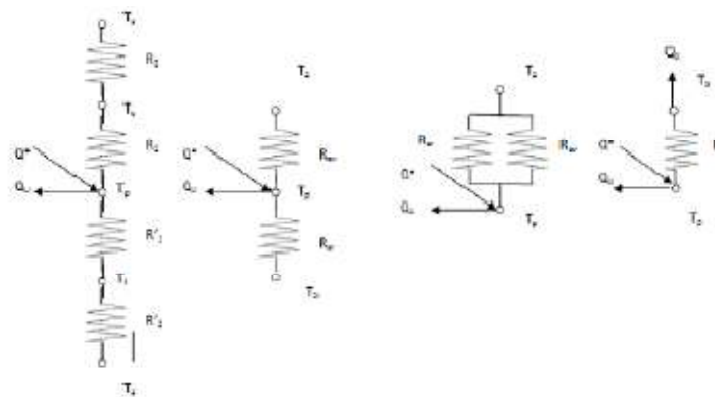


Figure 1.21 : Schéma électrique équivalent d'un capteur solaire plan [10]

L'objectif de recherche du GEORGE et al. [11] est d'améliorer les performances thermiques du collecteur d'air solaire. En le fournissant par plaque absorbante avec différentes dimensions et formes. Déterminer la forme optimale de l'absorbeur afin d'obtenir un rendement élevé par rapport au capteur solaire conventionnel avec plaque absorbante plate. Les expériences ont été réalisées pour les deux collecteurs dans les mêmes conditions météorologiques de la ville de LATTAKIA. Cette enquête a montré que la température de l'air de sortie du collecteur avec la plaque d'absorption ondulée est supérieure à celle d'une plaque plate et ondulée. Cette étude a montré que les performances thermiques du collecteur d'air solaire avec plaque absorbante ondulée (en forme de V) sont bien inférieures à celles de l'absorbeur à plaque plate. Les valeurs maximales de performance thermique sont respectivement de 41,5 [%] et 30 [%]. Où la différence maximale est de 14,36 [%] au 3/1/2017. Cette étude a également montré que les performances thermiques du collecteur d'air solaire avec une plaque d'absorbeur ondulée placée perpendiculairement au flux d'air étaient plus élevées que celles placées en parallèle. Les valeurs maximales de performance thermique

sont respectivement de 32 [%] et 26 [%]. Où la différence maximale est de 10 [%] au 16/1/2017



Figure 1.22 : Les deux capteurs solaires à air avec un lieu de mesure de la température [11]



Figure 1.23 : La plaque absorbante plate et cassée e a la forme v [11]

Un moyen d'augmenter le taux de séchage à l'aide d'un capteur solaire consiste à augmenter la température de l'air du capteur et le temps de circulation de l'air chaud fourni à la chambre de séchage. Il a été démontré que l'optimisation de l'absorbeur de chaleur en utilisant l'énergie solaire dépend fortement des caractéristiques de débit du fluide dans le canal du collecteur. L'étude de SYUHADA et al. [12] a examiné le canal de virage brusque sur le passage de l'air

d'un capteur solaire. La taille du collecteur utilisé était de 305 cm x 80 cm et comportait 10 chicanes à canaux tournants tranchants.

Le matériau absorbant les radiations solaires utilisé dans cet essai de collecteur est du sable de fer avec trois variations d'épaisseur, à savoir 3, 6 et 9 cm. Les résultats des mesures montrent que la température de l'air pouvant être produite par le capteur de 3 cm d'épaisseur d'absorbeur atteint 85 degrés Celsius avec un temps de séchage effectif de 8 heures et que les essais de température finale de l'air côté capteur sont encore de l'ordre de 40 degrés Celsius à une température de l'air de 32 degrés Celsius. À une épaisseur d'absorbeur de 6 cm, la température de l'air à l'intérieur du capteur était d'environ 83 degrés et une durée de séchage de 10 heures, la température de l'air à l'extérieur du capteur étant d'environ 39 degrés Celsius à une température de l'air de 30 degrés Celsius. Contrairement aux 9 cm d'épaisseur de l'absorbeur, la température de l'air de séchage n'était que de 81 degrés Celsius, le temps de séchage de 12 heures et la mesure de la température finale de l'air était de 40 degrés Celsius à la température ambiante de 27 degrés Celsius. Ce résultat peut être perçu comme l'effet de l'absorbeur collecteur épais sur l'énergie thermique solaire, qui peut également être absorbé par le collecteur solaire absorbant.

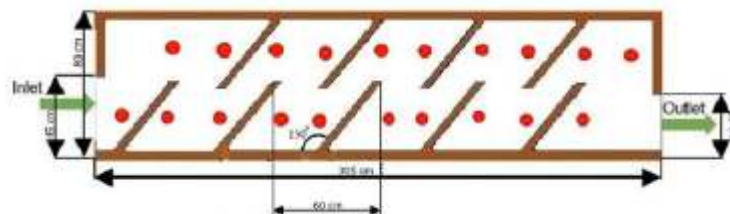


Figure 1.24 : Disposition de l'obstacle et position de la mesure de température sur un canal de capteur à virage serré avec un angle de résistance de 130 degrés [12]

Chapitre II : Principe et technologie d'un capteur solaire plan

Les technologies solaires, certains primitives, certains plus avancées ont été utilisées dans tous les âges et dans tous les coins du monde, mais l'invention et le développement de technologies solaires modernes ne remonte qu'à quarante ou cinquante ans. Maintenant le monde a vu de nombreuses démonstrations pratiques qui sont des installations perfectionnées de l'énergie solaire allant de l'échelle d'une maison individuelle, à un grand complexe industriel ou commercial, ou même toute une ville, une île ou une région rurale. En principe, chaque toit ou la façade des bâtiments peuvent à l'avenir devenir une centrale solaire. [6]

II-1. Les différents types de capteurs solaires :

II-1.1. les Capteurs plans sans vitrage :

Les capteurs plans sans vitrage sont ordinairement faits de plastique polymère noir. Normalement, ils n'ont pas de revêtement sélectif et n'ont ni cadre ni isolation en arrière. Ils sont simplement posés sur un toit ou sur un support en bois. Ces capteurs de faible coût captent bien l'énergie solaire, cependant les pertes thermiques vers l'environnement augmentent rapidement avec la température de l'eau, particulièrement dans les endroits venteux en conséquence. Les capteurs sans vitrage sont couramment utilisés pour des applications demandant une fourniture d'énergie à basse température (piscines, eau d'appoint en pisciculture, chaleur industrielle, etc.) dans les climats froids, ils sont habituellement utilisés exclusivement durant l'été à cause de leurs pertes thermiques élevées. [6]

Avantages

- ✓ Coût moindre.
- ✓ Rendement élevé pour des températures <40°C.
- ✓ L'absorbeur peut constituer lui-même le toit des bâtiments.

Inconvénient

- ✓ Fonctionne uniquement pour des faibles températures. [4]



Figure 2.1 : Schéma d'un capteur non vitré [14]

II-1.2. Les capteurs plans vitrés :

L'application la plus courante du solaire thermique est le chauffe-eau solaire. On peut aussi recourir au solaire thermique pour le chauffage, soit par l'eau soit par l'air. Les systèmes solaires sont utilisés pour le chauffage des piscines, les chauffe-eaux des hôtels, des hôpitaux, le refroidissement de l'air ou de système remplaçant le chauffage, le dessalement de l'eau de mer dans les endroits où l'eau potable est rare. La figure 2.2 montre une structure d'un capteur solaire à vitre.

Avantage :

- ✓ Longueur durée de vie.
- ✓ Efficacité énergétique.

Inconvénients :

- ✓ Ne convient qu'à hautes températures.
- ✓ La température interne peut monter très rapidement dans l'absence de circulation de fluide caloporteur. [4]

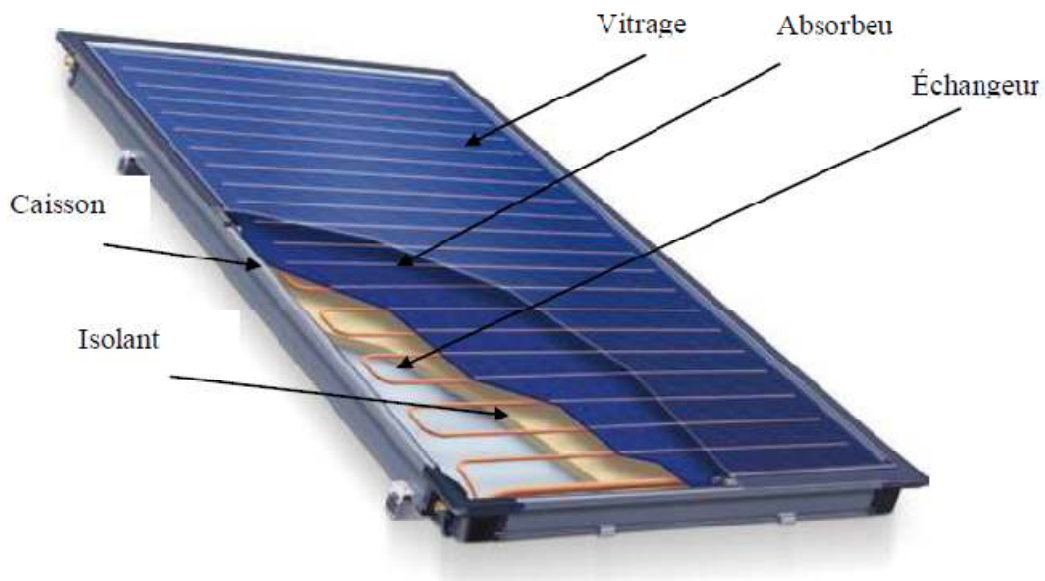


Figure 2.2 : Schéma d'un capteur solaire vitré.[15]

II-1.3. Les capteurs à tubes sous vides :

Le tube cylindrique subit un traitement de surface qui maximise l'absorption solaire. Suivant les technologies le cylindre sous vide est constitué de 2 tubes concentriques emboîtés l'un dans l'autre. Entre ces 2 tubes est réalisé le vide d'air qui n'est fait qu'entre les 2 tubes, la partie centrale du tube interne n'est pas sous vide. Dans une autre technique un seul tube transparent dans lequel le vide est complet. La restitution de l'énergie captée se fait au niveau d'un collecteur de chaleur placé au sommet du capteur dans lequel les tubes sous vides sont enfichés. La transmission d'énergie thermique au liquide caloporteur se fait par deux méthodes. Le premier fait passer directement le liquide caloporteur au contact de l'absorbeur, l'autre technique utilise un caloduc. Le caloduc est une simple tige de cuivre creuse qui contient un liquide à changement de phase. Au contact de la chaleur ce liquide se vaporise et échange sa chaleur au liquide caloporteur. Cet échange de chaleur le condense et ainsi de suite. [13]

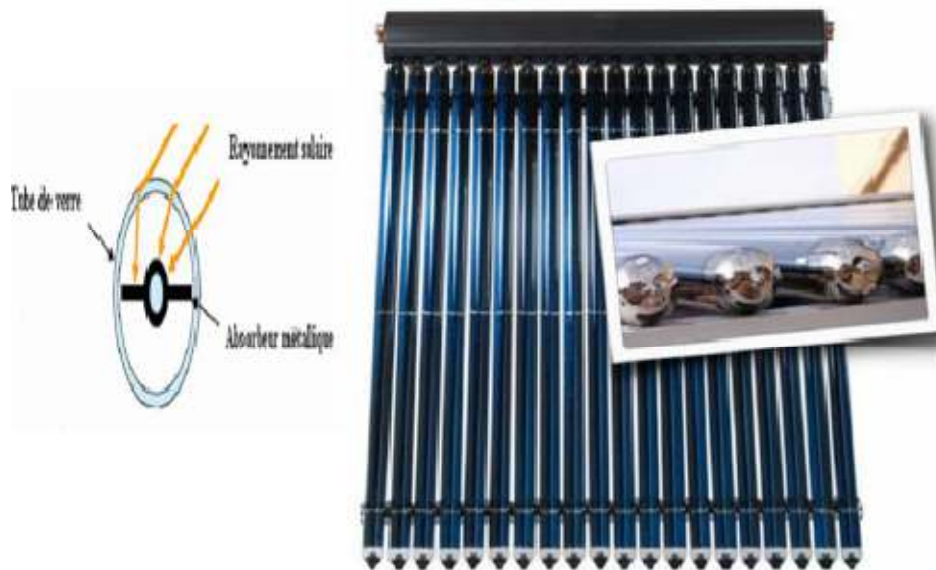


Figure 2.3 : Les capteurs à tube sous vide [4]

II-1.4. Capteurs à concentration

Ces capteurs utilisent des surfaces réfléchissantes (miroirs) paraboliques ou cylindro-paraboliques pour concentrer les rayons solaires respectivement dans le foyer ponctuel ou dans le foyer linéaire de ces surfaces. Dans le foyer ponctuel ou le long du foyer linéaire se trouvent les récepteurs (absorbeurs) qui captent la chaleur solaire ainsi concentrée. Naturellement ces concentrateurs doivent suivre le mouvement du soleil. [1]

II-2. Principe

Le principe de fonctionnement d'un capteur solaire plan est très simple (figure 2.4).

Le rôle d'un capteur solaire thermique est de transformer le rayonnement solaire qu'il reçoit en énergie calorifique utilisable, le plus souvent par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur (eau, air,...). Le rayonnement solaire peut être transformé en chaleur à basse température, par des capteurs plans utilisant conjointement l'absorbeur, surface sélective et l'effet de serre créé par le vitrage. Ces capteurs ont l'avantage d'utiliser aussi bien les rayons directs du soleil que les rayons diffusés, 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. [13]

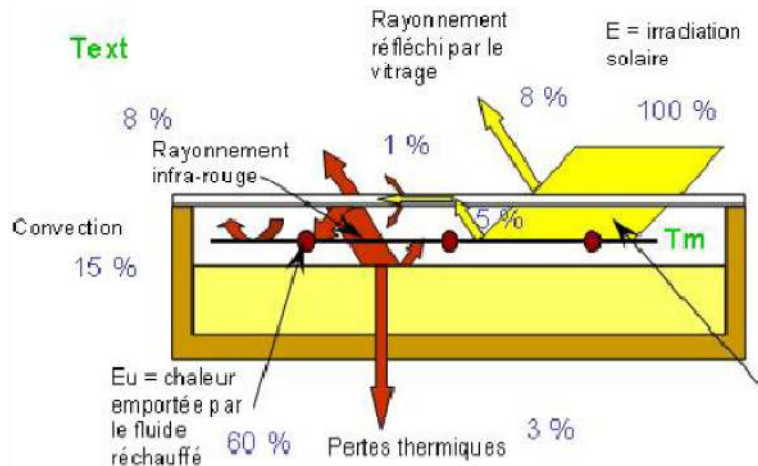


Figure 2.4 : Schéma de fonctionnement d'un capteur [15]

II-3.Éléments constituant

II-3.1.La couverture :

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 couvrir une lame d'air au-dessus de l'absorbeur, de façon à limiter les échanges convectifs. 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. [13]

Le matériau pour le vitrage doit avoir les propriétés adéquates : une excellente transparence et un coefficient de réflexion proche de zéro ainsi qu'un faible coefficient d'absorption et une isolation thermique grande. Il existe des matériaux spécifiquement adaptés à de telles applications mais ceux-ci sont la plupart du temps très chers. On peut citer les verres à protection contre les UV, les verres autonettoyants, double vitrage,...etc.

- ✓ **Poly méthacrylate de méthyle (plexiglas)**: Ce matériau peut également remplacer le verre. Il est moins fragile mais il présente l'inconvénient de ne pas supporter une température de l'ordre de 95°C , son coefficient de transmission est plus faible que celui du verre, de l'ordre de 83%.
- ✓ **Polycarbonate** : Le polycarbonate a l'avantage d'avoir une double paroi reliée par des alvéoles réduisant ainsi le problème de convection entre les deux plaques

transparentes. Il transmet environ 84% du rayonnement reçu. Il a également l'avantage d'avoir une solidité mécanique à toute épreuve et une facilité au découpage pour l'utilisation, il réduit également l'inertie du capteur par sa légèreté.

- ✓ **plastique** : peut convenir pour un panneau solaire. Cependant, les plastiques sont beaucoup moins résistants à l'élévation de température que le verre et doivent être travaillés pour la résistance aux UV [14].

II-3.2.L'absorbeur :

Le rôle principal d'un absorbeur est le captage du rayonnement solaire et sa conversion en énergie calorifique. Il est généralement peint en noir pour absorber tous les rayonnements dans le spectre du visible, du l'ultraviolet et une faible quantité dans l'infrarouge. [15]

Il a deux fonctions :

1. absorber la plus grande partie du rayonnement solaire possible
2. transmettre la chaleur produite vers le fluide caloporteur avec un minimum de pertes.

De plus, il devra être le plus léger possible afin de limiter l'inertie de mise en régime et construit avec un bon matériau conducteur. Les absorbeurs sont généralement réalisés avec des feuilles minces de métaux présentant une bonne conductibilité et une bonne tenue mécanique. C'est pourquoi, la plupart du temps, les absorbeurs sont réalisés au moyen d'un support en cuivre de 0,2 mm et sont recouverts par un traitement de surface. L'absorbeur en général est disposé de 25 mm à 30 mm d'isolant. Le rôle de l'absorbeur est de capter au maximum le rayonnement et d'en réémettre le moins possible. Ces types de surfaces absorbant au maximum et réémettant au minimum ont été nommées surfaces « sélectives ».

La sélectivité de l'absorbeur est très importante; elle est améliorée au moyen de traitements de surface qui ajoutent au support des caractéristiques telles que le rayonnement solaire est très bien absorbé et que le rayonnement infrarouge émis (dû à l'échauffement) est limité [16].

II-3.3.Le fluide caloporteur

On utilise généralement comme fluide caloporteur soit de l'air, soit de l'eau pour évacuer la chaleur stockée par la plaque absorbante. Par rapport à l'eau, l'air présente les avantages suivants:

- ✓ Il ne présente pas de problèmes de gel pendant l'hiver ou d'ébullition pendant l'été
- ✓ L'air sec ne présente pas de problèmes de corrosion,
- ✓ Une fuite d'air est sans conséquence,
- ✓ Le système à mettre en place est plus simple et plus fiable.

L'utilisation de l'air par rapport à l'eau entraîne les inconvénients suivants :

- ✓ L'air ne peut servir qu'au chauffage de locaux,
- ✓ Les conduites doivent avoir une grande section pour laisser passer un débit suffisant,
- ✓ 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 [15].

II-3.4 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 joue le rôle d'isolant. Son épaisseur ne doit pas être trop importante pour limiter les transferts par convection ; 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; le tableau 2.1 regroupe les principales propriétés thermiques de quelques matériaux isolants.

Tableau 2.1 : Propriétés thermiques des quelque matériaux isolants [13]

Matériau	Conductivité Thermique $\lambda(W/m^2)$	Chaleur massique $C_p(J/kg.K)$	Masse volumique $\rho(kg/m^3)$	Diffusivité $\alpha(m^2/s) = \frac{\lambda}{\rho C_p}$
Laine de verre	0.036	840	40	10.7
Polystyrène expansé	0.04	1500	20	13.3
Laine de roche	0.04	840	40	11.9
Laine (vêtement)	0.04	1880	450	0.47
Liège expansé	0.048	1380	120	2.9
Bois de Spain	0.144	272	535	9.9
Caoutchouc pure	0.153	2170	1200	0.6

Chapitre III : Paramètres de fonctionnement

Dans ce chapitre on présente les principaux paramètres internes et externes au système et qui ont une influence directe ou indirecte sur son fonctionnement

III-1. Paramètres conceptuels :

III-1.1. Les coordonnées géographiques d'un site :

Tout point de la sphère terrestre peut être repéré par deux coordonnées, appelées coordonnées terrestres, à savoir la latitude φ et la longitude L [15]

- La latitude (φ) : est l'angle avec le plan équatorial que fait le rayon joignant le centre de la terre à ce lieu, elle varie entre $+90^\circ$ au pôle Nord et -90° au pôle Sud.

$\varphi < 0$ L'hémisphère Sud.

$\varphi > 0$ L'hémisphère Nord.

$\varphi = 0$ Sur le plan de l'équateur.

- La longitude (L) : est l'angle entre le plan méridien passant par ce lieu avec la méridienne origine de Greenwich, elle varie de -180° à $+180^\circ$ de l'ouest à l'est.

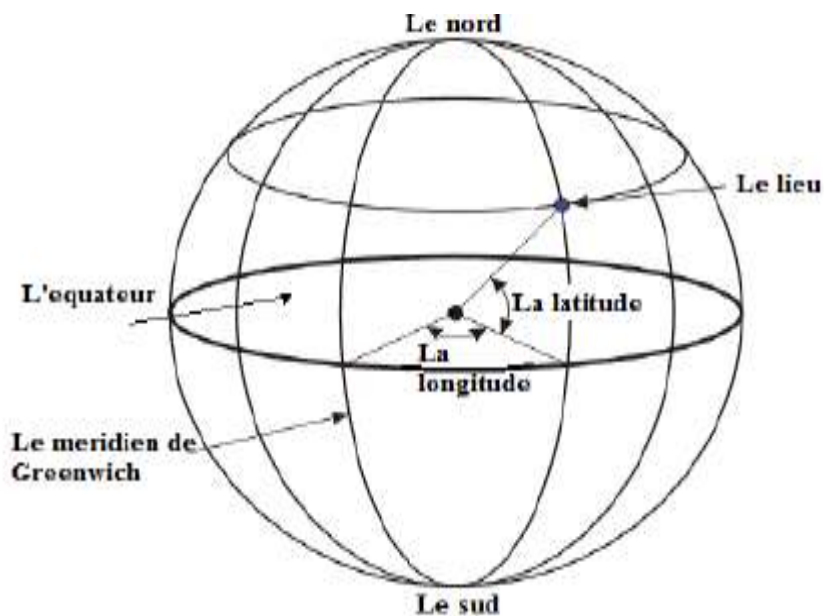


Figure 3.1 : Définition des coordonnées terrestre d'un lieu donné [15]

III-1.2. Les coordonnées du soleil :

III-1.2.1. Le repère équatorial :

- La déclinaison du soleil (δ) : C'est l'angle que fait la direction du soleil avec le plan équatorial, elle varie autour de l'année entre $(-23^{\circ}27')$ et $(+23^{\circ}27')$; donc elle est maximale au solstice d'été (21 juin) et minimale au solstice d'hiver (21 décembre), elle est nulle aux équinoxes (21 mars et 21 septembre). Elle est calculée comme suit :

$$\delta = 23.45 \sin\left(284 + nj\right) \frac{360}{365} \quad (3.1)$$

Avec, nj : le numéro du jour de l'année (1er janvier=1)

Elle varie de $-23,45^{\circ}$ au solstice d'hiver à $+23,45^{\circ}$ au solstice d'été, et elle est nulle aux équinoxes.

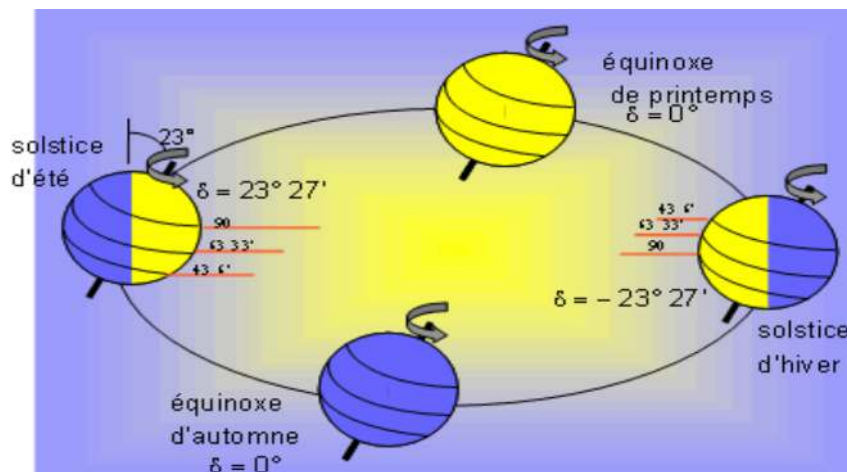


Figure 3.2 : Variation annuelle de la déclinaison solaire [17]

- L'angle horaire (ω) : Il représente le déplacement angulaire du soleil à l'est et à l'ouest du méridien local du à la rotation de la terre autour de son axe de 15° par heure
 - ✓ négative le matin.
 - ✓ Positive l'après-midi.
 - ✓ $w=0$ quand le soleil est au zénith, perpendiculaire au méridien local (où se trouve l'observateur). [14]

C'est aussi l'angle compris entre la projection du soleil sur le plan équatorial et la méridienne origine du lieu considéré passant par le sud. Il est donné par la relation suivante:

$$\omega = 15(t_{sv} - 12) \tag{3.2}$$

Où, t_{sv} : est le temps solaire vrai.

III-1.2.2. Le repère horizontal :

- **L'azimut du soleil (α) :** L'azimut solaire la projection sur le plan horizontal local de la droite reliant la terre au soleil. L'angle est mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère sud, en utilisant les projections sur le plan horizontal du point d'observation

$$\sin(\alpha) = \frac{\cos(\delta) \sin(\omega)}{\cos(h)} \tag{3.3}$$

- ✓ positif quand le soleil est à l'ouest.
- ✓ Négatif quand le soleil est à l'est. [14]

- **La hauteur du soleil (h) :** Elle correspond à l'angle formé par le vecteur directionnel du soleil et sa projection sur le plan horizontal, figure (3.3), elle vaut 0° au lever et coucher du soleil et elle prend sa valeur maximale (90°) à midi solaire. Elle est évaluée par la relation suivante :

$$\sin(h) = \cos(\delta) \cos(\varphi) \cos(\omega) + \sin(\delta) \sin(\varphi) \tag{3.4}$$

La hauteur maximale du soleil correspond à $\omega = 0$, obtenu à midi en temps solaire vrai elle est évaluée par la relation suivante :

$$h_{\max} = 90 - (\varphi - \delta) \tag{3.5}$$

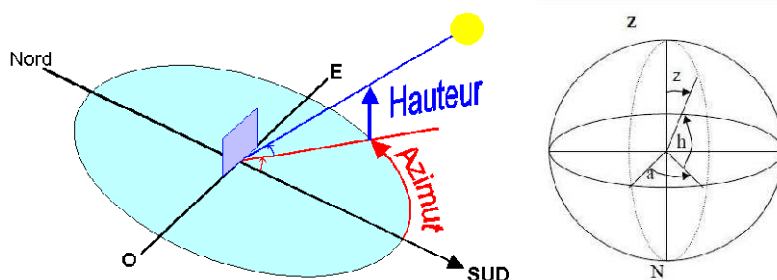


Figure 3.3 : Le repère horizontal [18]

III-1.2.3. Orientation d'un plan :

- L'inclinaison du plan : (β)

Correspond à l'angle que fait le plan du capteur avec l'horizontale. Le calcul de l'angle d'inclinaison se fait en déduisant la déclinaison du soleil de la latitude géographique du lieu de l'emplacement du capteur. En général, il correspond à la latitude de l'emplacement plus ou moins 10 à 15°. Il est recommandé d'employer un angle d'inclinaison plus élevé à la latitude de 10 à 15 degrés durant les mois d'hiver lorsque la trajectoire du soleil est basse dans le ciel (position hivernale). Par contre, en été (position estivale), lorsque la trajectoire du soleil est plus haute dans le ciel, il faut employer un angle d'inclinaison moins élevé à la latitude de moins 10 à 15 degrés. [15]

Pour un captage annuel, l'angle d'inclinaison du capteur est fixé à la latitude de lieu.

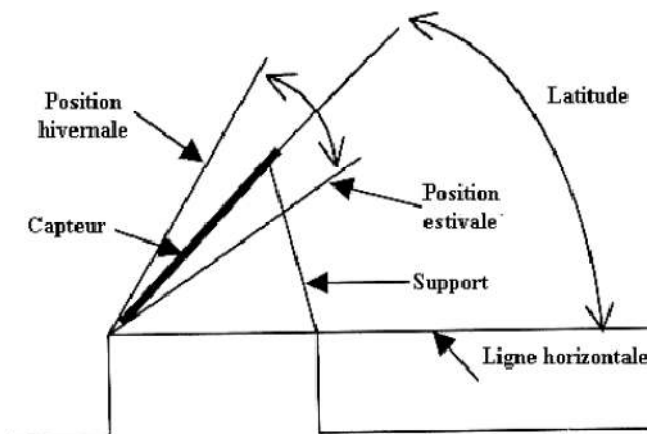


Figure 3.4 : Angle d'inclinaison d'un capteur solaire [14]

III-1.2.4. Angle d'incidence sur un plan (i):

L'angle d'incidence représente l'angle compris entre le plan du capteur et la radiation solaire.[14] . Il est exprimé par :

$$\cos(i) = \sin(\varphi) \sin(\delta) \cos(\beta) - \sin(\delta) \cos(\varphi) \sin(\beta) \cos(\alpha) + \cos(\delta) \cos(\varphi) \cos(\beta) \cos(\omega) + \cos(\delta) \sin(\alpha) \cos(\beta) \cos(\omega) + \cos(\varphi) \sin(\alpha) \sin(\omega) \quad (3.5)$$

Cas particuliers :

- Capteur orienté plein sud ($\alpha = 0$) :

$$\cos(i) = \sin(\delta) \sin(\varphi - \beta) + \cos(\omega) \cos(\delta) \cos(\varphi - \beta) \quad (3.6)$$

- Pour un captage annuel de type ($\beta = \varphi$)

$$\cos(i) = \cos(\omega) \cos(\delta) \quad (3.7)$$
- Pour une incidence parfaite (cas d'un système de poursuite du soleil) $i = 0$

III-2. Paramètres d'environnement :

III-2.1. Rayonnement solaire :

L'énergie reçue au niveau du sol est d'environ 1354 w/m^2 : (la constante solaire) car l'atmosphère absorbe une partie du rayonnement solaire (environ 15%) et la réémet dans toutes les directions sous forme de rayonnement diffus. L'atmosphère réfléchit une autre partie du rayonnement solaire vers l'espace (environ 6%). Le rayonnement global au niveau du sol se définit donc comme la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus figure (3.5) L'énergie reçue par une surface dépend en outre de la saison, de la latitude, des conditions météorologiques, du relief, de la pollution, de l'orientation de la surface considérée, etc.[18]

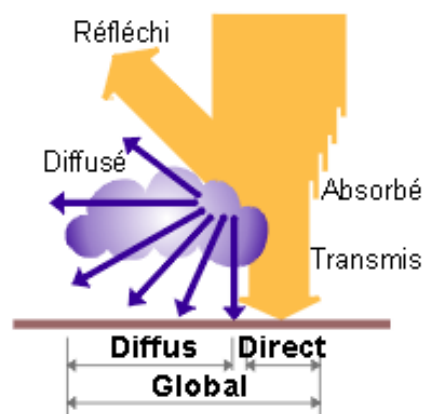


Figure 3.5 : Les composants du rayonnement solaire [18]

III-2.1.1. Le rayonnement solaire direct (G_{dir}):

Le rayonnement direct est le rayonnement incident sur un plan donné en provenance d'un petit angle solide centré sur le disque solaire, il parvient en ligne droite et par temps clair.

L'état du ciel est défini par deux coefficients, a et b qui symbolisent le trouble atmosphérique du lieu où se trouve le capteur solaire (tableau 3.1).[17]

La transmissivité totale de l'atmosphère pour le flux solaire incident direct est donnée par :

$$\tau_{dir} = a \times \exp\left(\frac{-p \times b}{1000 \sin(h)}\right) \quad (3.8)$$

Où:

a, b : coefficients traduisant les troubles atmosphériques.

h: hauteur du soleil.

P : pression atmosphérique du lieu.

Tableau 3.1 : Valeurs des coefficients du trouble atmosphérique

	Ciel pur	Conditions normales	Zones industrielle
a	0.87	0.88	0.91
b	0.17	0.26	0.43

Tableau 3.2 : Variation de la pression atmosphérique avec l'altitude

Altitude(m)	0	500	1000	1500	2000	5000
P(mbar)	1000	950	900	850	800	500

III-2.1.2. Le rayonnement solaire diffus (G_{dif}):

Le rayonnement diffus est le rayonnement émis par des obstacles (nuages, sol, bâtiments) et provient de toutes les directions. La part du rayonnement diffus n'est pas négligeable et peut atteindre 50% du rayonnement global (selon la situation géographique du lieu). Le rayonnement global sur la terre et sa part de rayonnement diffus varie au cours de l'année.

Le rayonnement diffus provient de tous les éléments irradiés par le soleil. Le flux diffus reçu par la surface de captation se caractérise par deux composantes du flux à savoir :

1. Le flux diffus émis par la voûte céleste
2. Le flux émis par le sol [18]

III-2.1.3. Le rayonnement solaire global :

Le rayonnement global (G) est la somme des rayonnements diffus et direct : [17]

$$G = G_{dir} + G_{dif} \quad (3.9)$$

III-3. La température ambiante :

Il existe plusieurs modèles pour calculer la température, et d'eux :

III-3.1. Modèle adapté :

Généralement les stations météorologiques nous fournissent les valeurs minimale et maximale enregistrées la journée considérée. Ceci n'est pas suffisant pour suivre son évolution surtout que beaucoup de phénomènes de transferts de chaleur y sont liés.

Elle-même est liée étroitement à la température rayonnante de la voûte céleste « température du ciel ». Ceci aurait une influence. En effet, pour les sites situés en altitudes, les pertes thermiques doivent être prises en considération. La température équivalente de l'air ambiant peut être calculée d'après l'expression suivante :

$$T_{eq} = \frac{T_a \times h_{cve} + T_{ciel} \times h_{rve}}{H_{ve}} \quad (3.10)$$

Où T_a : est la température ambiante de l'air.

h_{cve} : est le coefficient de pertes thermiques par convection entre la face avant du capteur et le milieu extérieur $\left(\frac{W}{m^2 K}\right)$.

h_{rve} : est le coefficient de pertes thermiques par rayonnement entre la face avant du capteur et le milieu extérieur $\left(\frac{W}{m^2 K}\right)$.

$$T_{ciel} = \left(T_a^4 - \frac{R}{S}\right)^{0.25} \quad (3.11)$$

Dans cette expression, R représente le flux net de rayonnement échangé par le fluide pour les basses longueurs d'ondes, souvent mesuré par les stations météorologiques (appelés parfois R4), et qui dépend sensiblement de l'altitude. Si cette mesure n'est pas disponible la valeur de la température du ciel est calculée par la loi de Swinbank [19] :

$$T_{ciel} = 0.0552 \times T_a^{1.5} \quad (3.12)$$

III-3.2.Modèle Théorique :

III-3.2.1.Calcul de la température ambiante

L'évolution théorique de la température ambiante, qui est la température d'entrée de l'air dans le capteur, peut être modélisée par l'équation :

$$T_e(t) = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} - \left(\frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} \right) \cos\left(\frac{2\pi \times tsv}{\Delta t} \right) \quad (3.13)$$

Avec :

T_{\max} et T_{\min} : sont les températures ambiantes maximale et minimale au cours de la journée.

tsv : temps solaire vrai.

Dans ce modèle la température maximale est atteinte au midi solaire vrai où le flux est maximal. Ce modèle ne correspond pas à la réalité car on considère que la température maximale n'est atteinte qu'au midi thermique qui correspond en temps solaire vrai, midi solaire vrai plus 1/8 de la durée du jour solaire (Δt), cela est dû à l'inertie thermique du sol, l'équilibre thermique entre le milieu ambiant et le sol.[6]

III-3.2.2.Calcul de la température de sortie

L'expression de la température de sortie du collecteur :

$$T_s = \left(\frac{102.7G}{P} \right) + T_e \quad (3.14)$$

Pour $Q_v = 20 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-2}$ débit d'air

$$T_s = \left(\frac{71.4G}{P} \right) + T_e \quad (3.15)$$

Pour $Q_v = 35 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-2}$ débit d'air

III-4. Organigramme détaillé du programme de calcul

L'organigramme des calculs du rayonnement solaire, la température ambiante et enfin le calcul de la température de sortie du fluide caloporteur est le suivant :

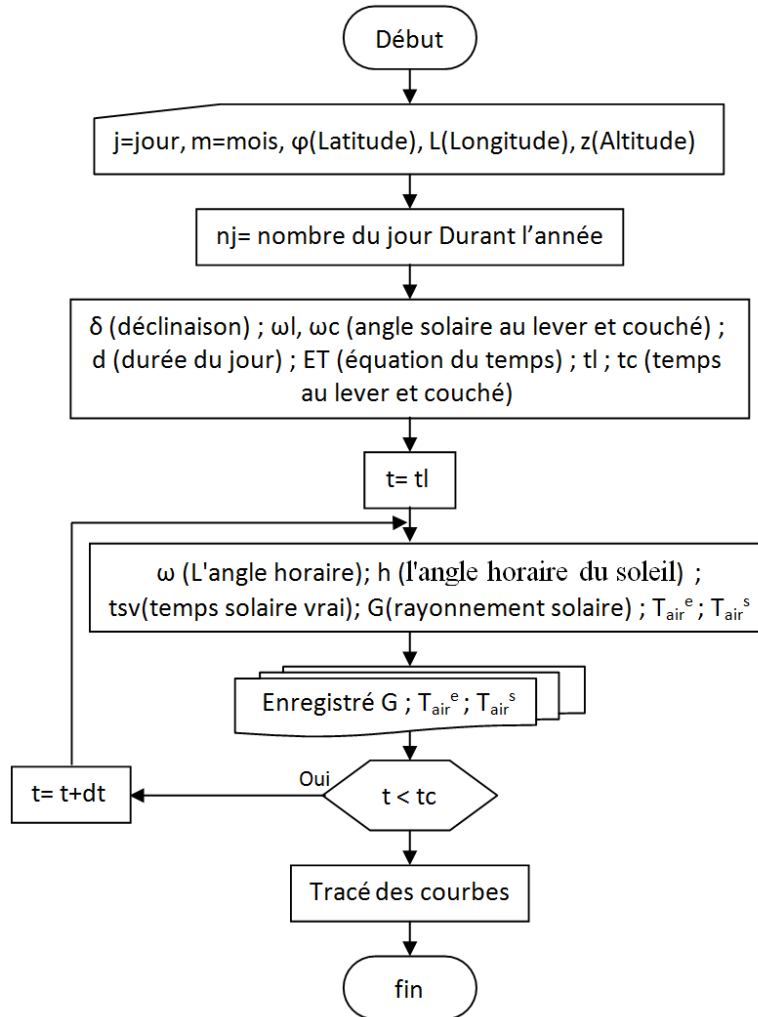


Figure 3.6 : Organigramme détaillé du programme de calcul

Chapitre IV : Résultats et interprétation

Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats obtenus relatifs à la simulation des paramètres liés au calcul de la température de sortie du système étudié. On a proposé un programme en langage «Matlab » pour les calculs du rayonnement solaire, la température ambiante et enfin le calcul de la température de sortie du fluide caloporteur. Pour cela, nous avons pris quelques sites de différentes régions en Algérie (Tlemcen, Biskra, Sétif) qui se différencient par leur géographie et leurs climats. Les calculs sont faits pour différentes mois.

Le tableau suivant donne les données géographiques et climatiques des sites étudiés :

Tableau 4.1 : Données géographiques et climatiques des sites étudiés

		Biskra	Setif	Tlemcen
Latitude (°)		34.8	36.18	35.02
Longitude (°)		5.73	5.42	1.47
Altitude (m)		85	1038	247
21/06/2018	T _{min}	25.4	12.3	16.8
	T _{max}	35.3	29.6	28.6
	P	1013	1020	1015
23/09/2018	T _{min}	23.7	13.4	15.6
	T _{max}	34.6	27.6	34
	P	1018	1025	1020
23/12/2018	T _{min}	7.5	0	3.8
	T _{max}	19.7	15	21.5
	P	1032	1031	1030
21/03/2019	T _{min}	10.5	2.6	2.1
	T _{max}	17.2	9	14.4
	P	1013	1014	1024

Les figures suivantes représentent l'évolution journalière théorique en fonction du temps solaire vrai du rayonnement solaire direct, de la température ambiante et de la température de sortie pour les différents sites étudiés

IV-1. Les différents sites étudiés

IV-1.1. Site de Biskra « $\phi = 34.8, l = 5.73, z = 85m$ »

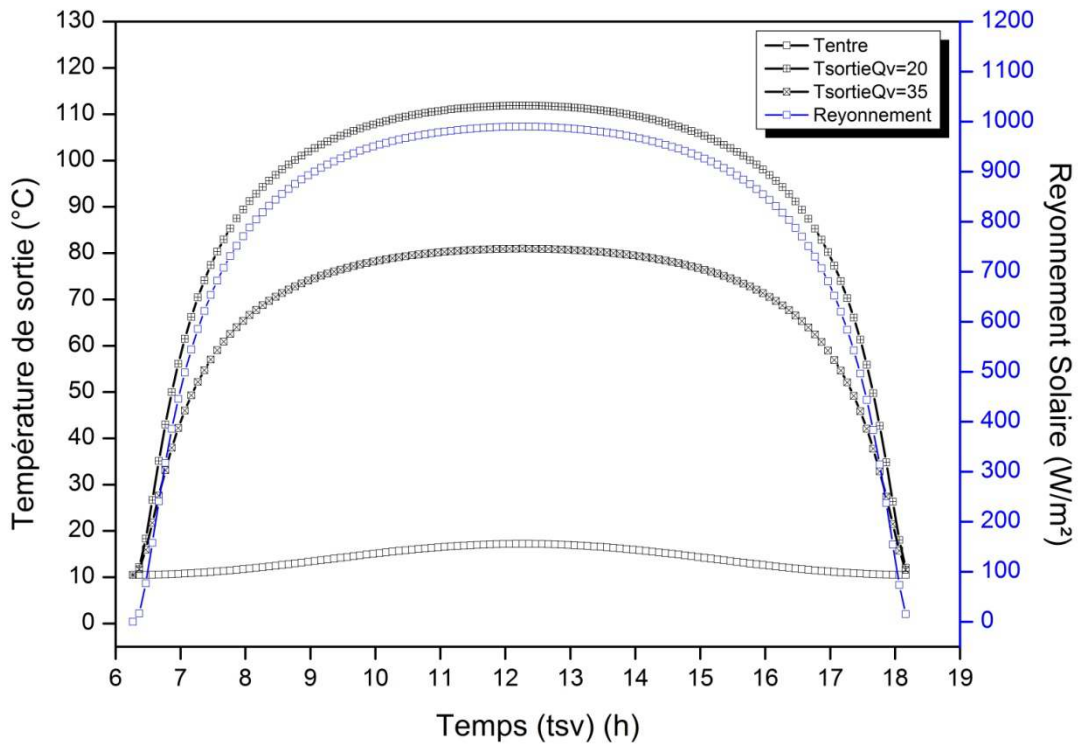


Figure 4.1 : Biskra 21/3/2019 « $T_{min} = 10.5^{\circ}C, T_{max} = 17.2^{\circ}C$ »

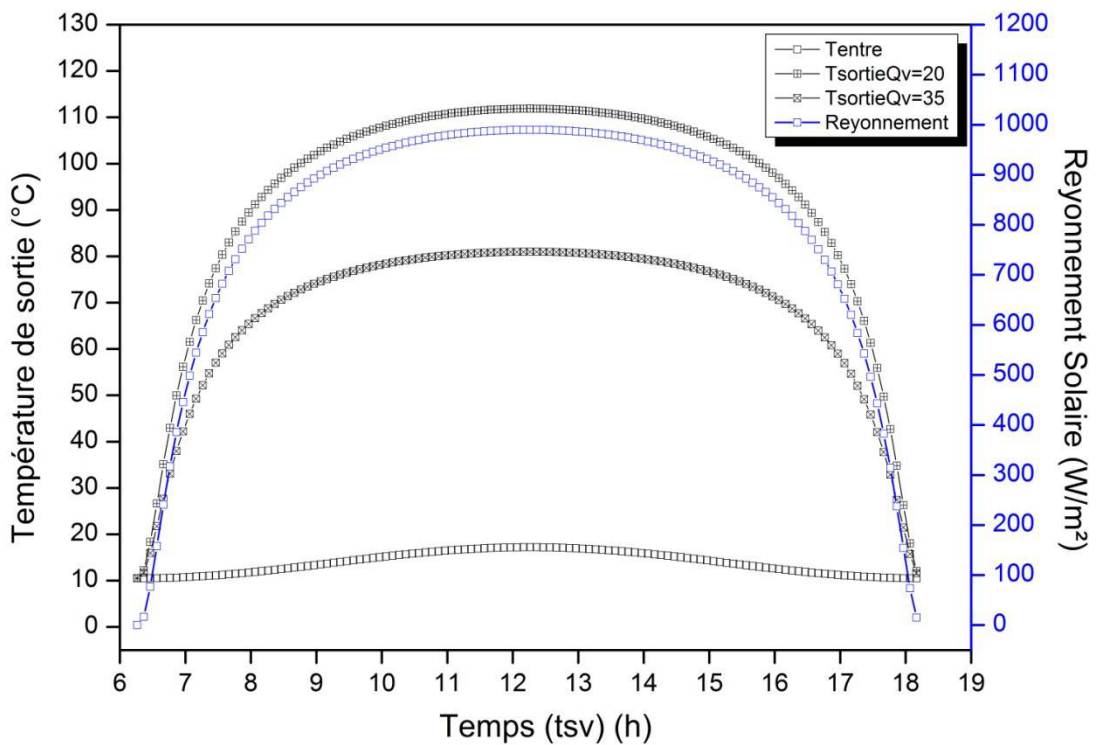


Figure 4.2 : Biskra 21/06/2018 « $T_{min} = 25.4^{\circ}C, T_{max} = 35.3^{\circ}C$ »

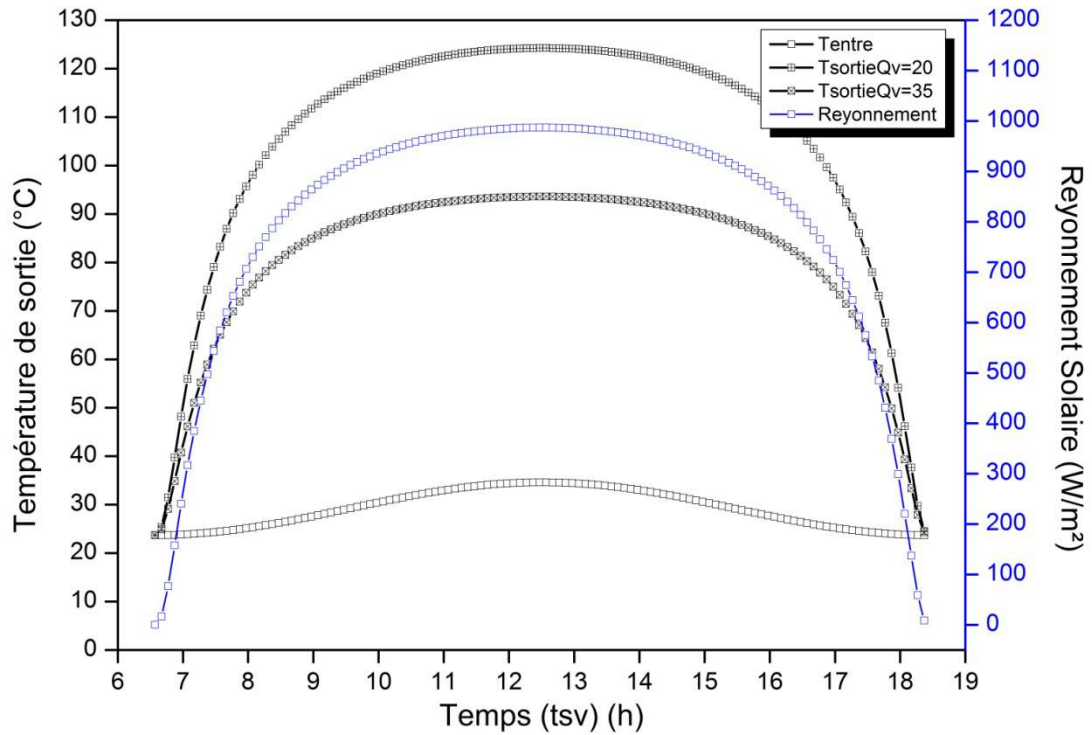


Figure 4.3 : Biskra le 23/9/2018« Tmin=23.7°C ,Tmax=34.6°C »

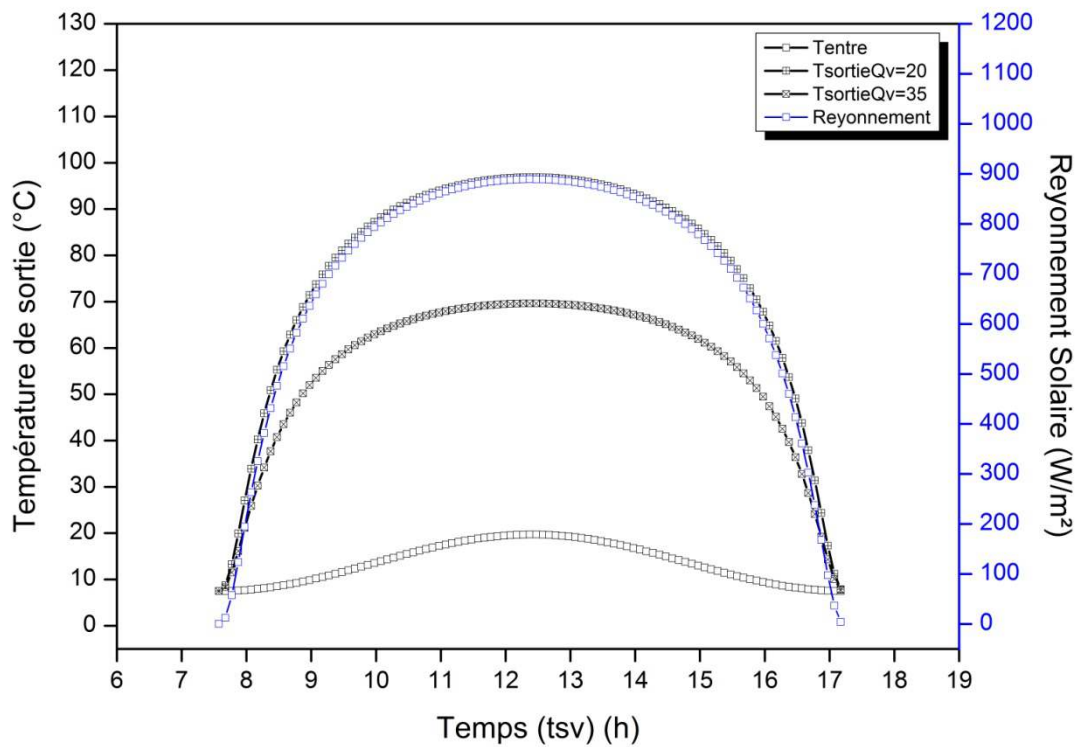


Figure 4.4 : Biskra 23/12/2018« Tmin=7.5°C ,Tmax=19.7°C »

IV-1.2. Site de Sétif « $\varphi= 36.18$, $l=5.42$, $z=1038m$ »

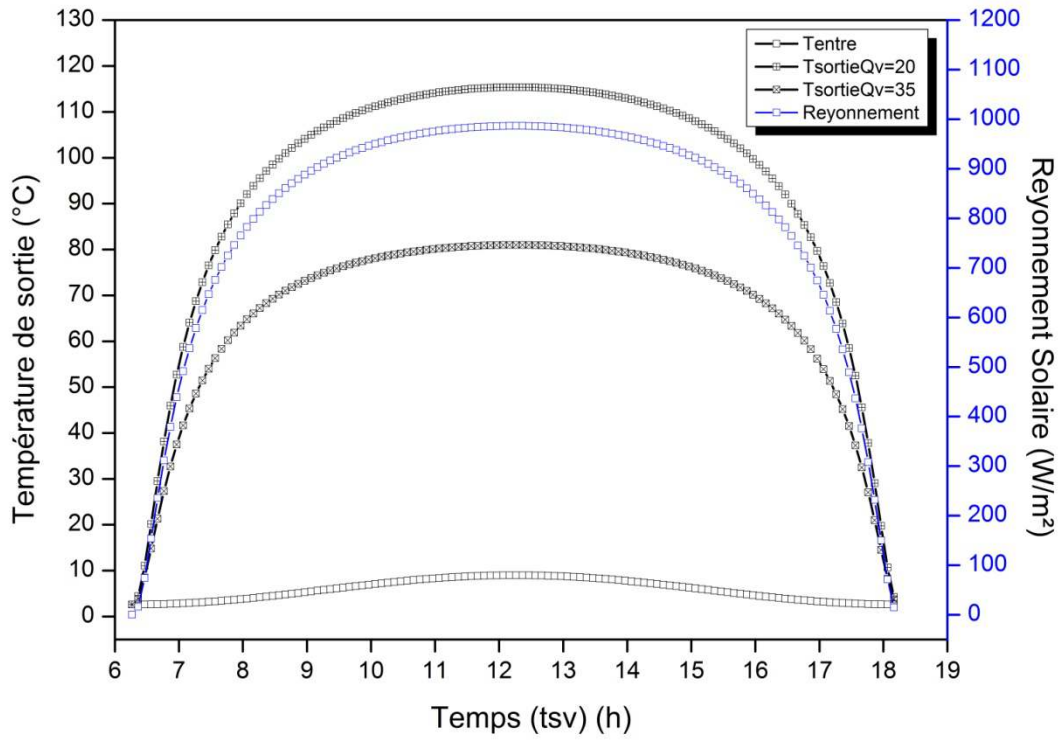


Figure 4.5 : Sétif 21/3/2019 « $T_{min}=2.6^{\circ}C$, $T_{max}=9^{\circ}C$ »

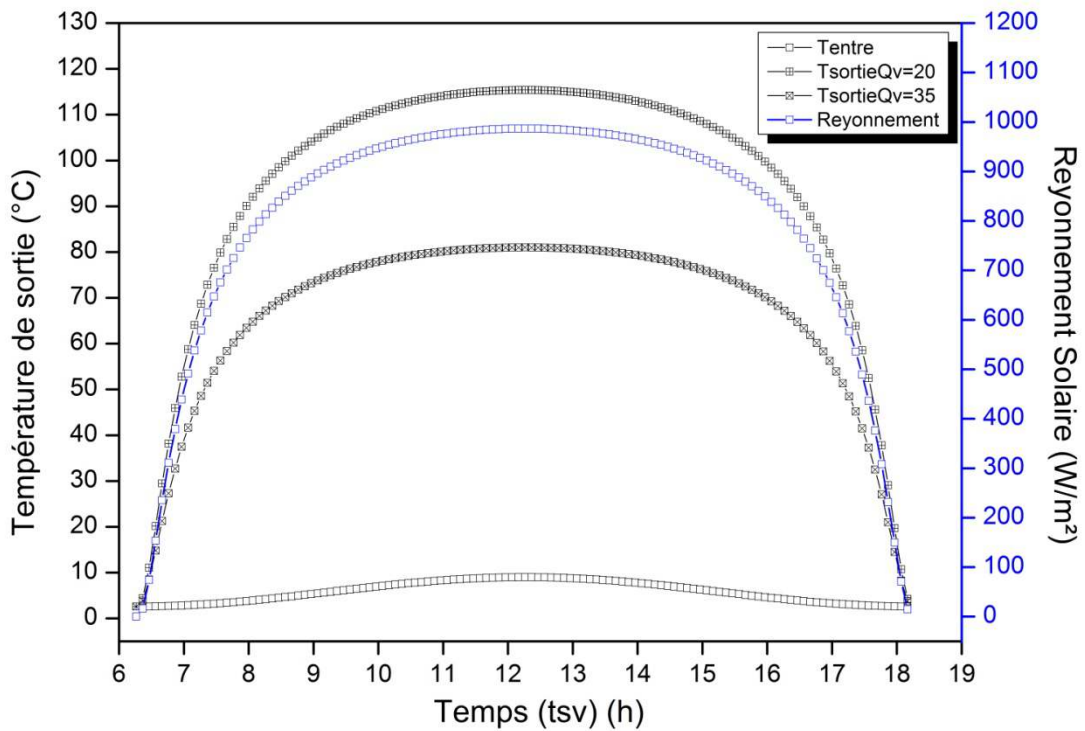


Figure 4.6 : Sétif 21/6/2018 « $T_{min}=12.3^{\circ}C$, $T_{max}=29.6^{\circ}C$ »

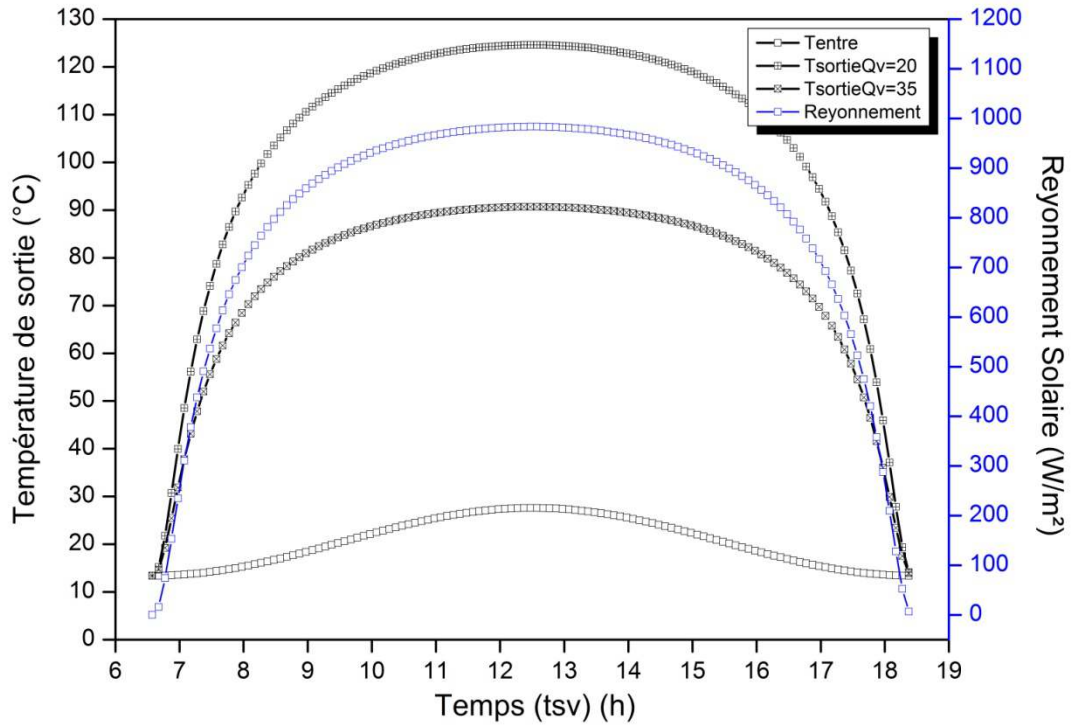


Figure 4.7 : Sétif 23/9/2018 « Tmin=13.4°C , Tmax=27.6°C »

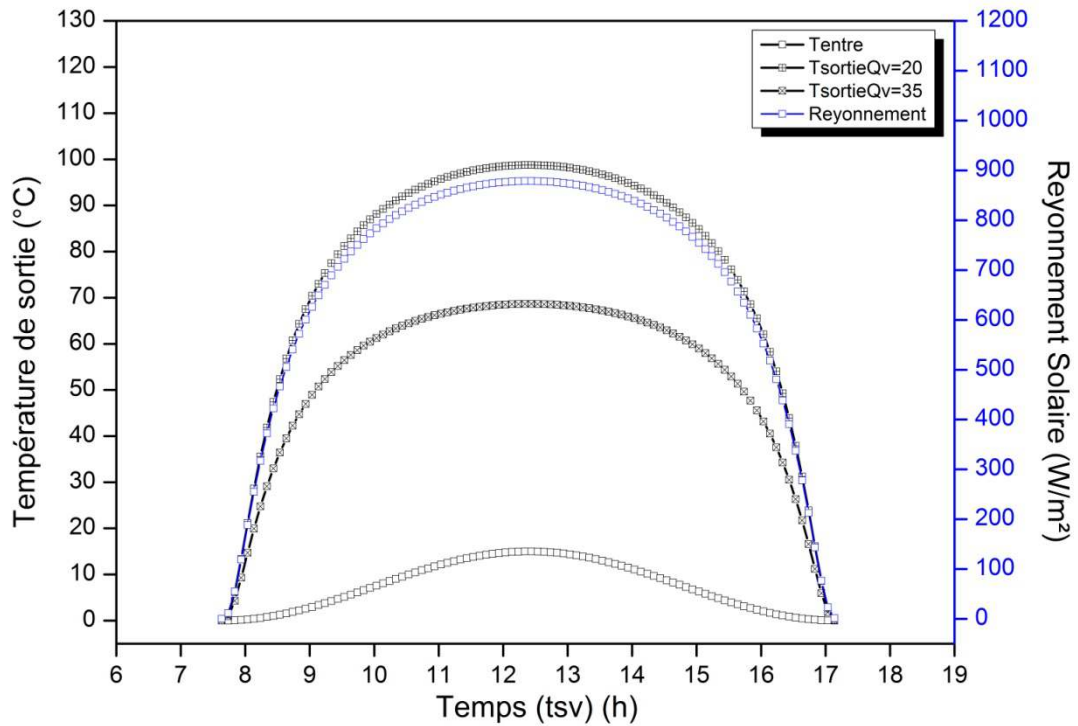


Figure 4.8 : Sétif 23/12/2018 « Tmin=0°C , Tmax=15°C »

IV-1.3. Site de Tlemcen « $\varphi=35.02, l=1.47, z=247m$ » :

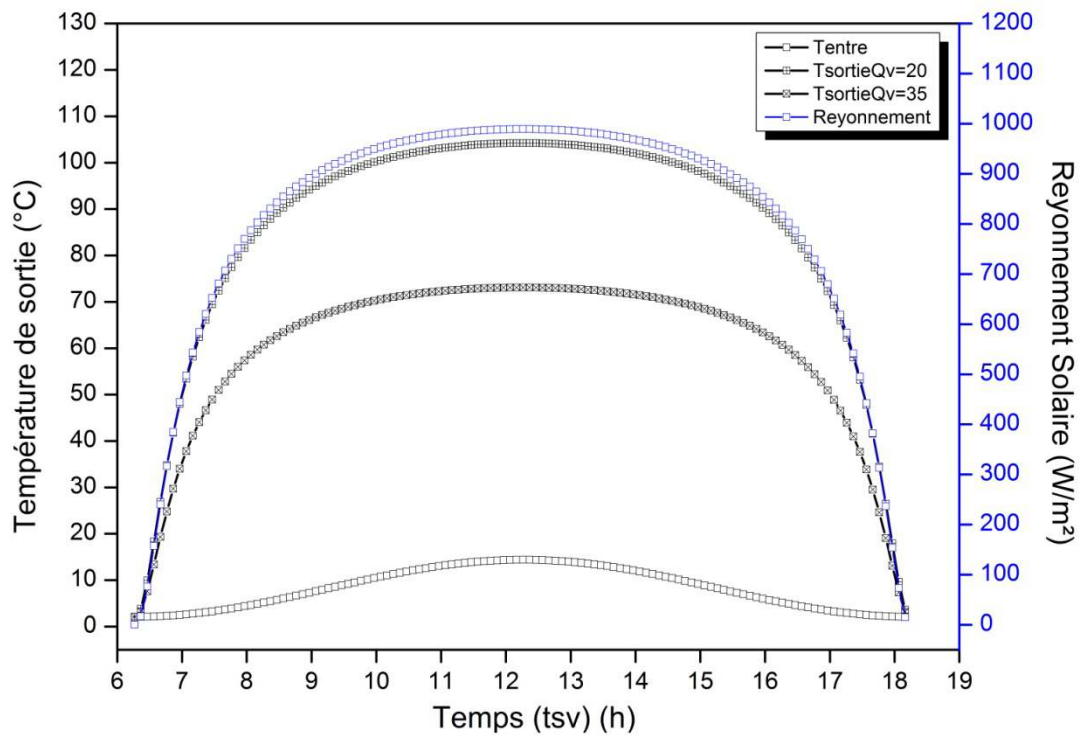


Figure 4.9 : Tlemcen 21/3/2019 « Tmin=2.1°C , Tmax=14.4°C »

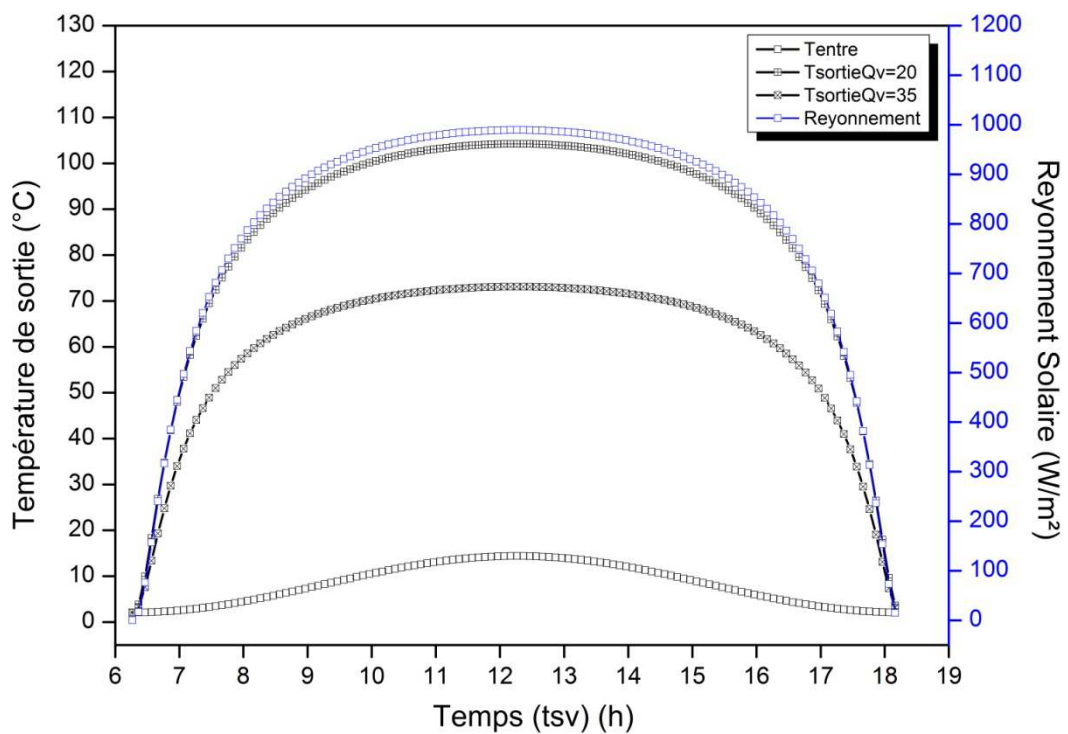


Figure 4.10 : Tlemcen 21/6/2018 « Tmin=16.8°C , Tmax=28.6°C »

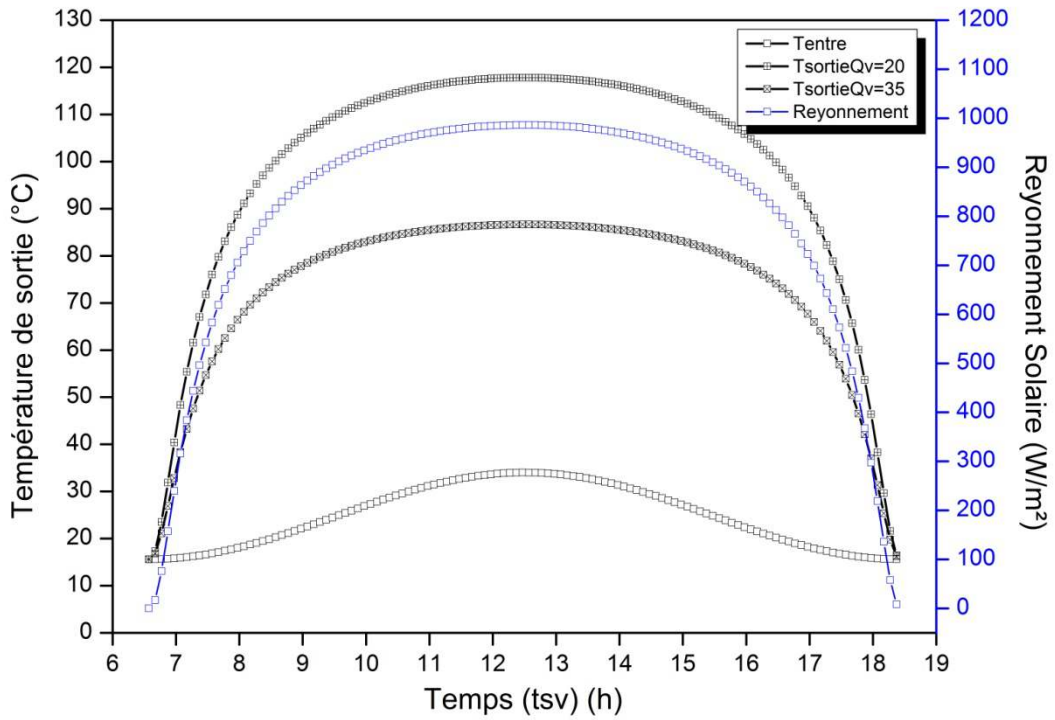


Figure 4.11 : Tlemcen23/9/2018 « Tmin=15.6°C , Tmax=34°C »

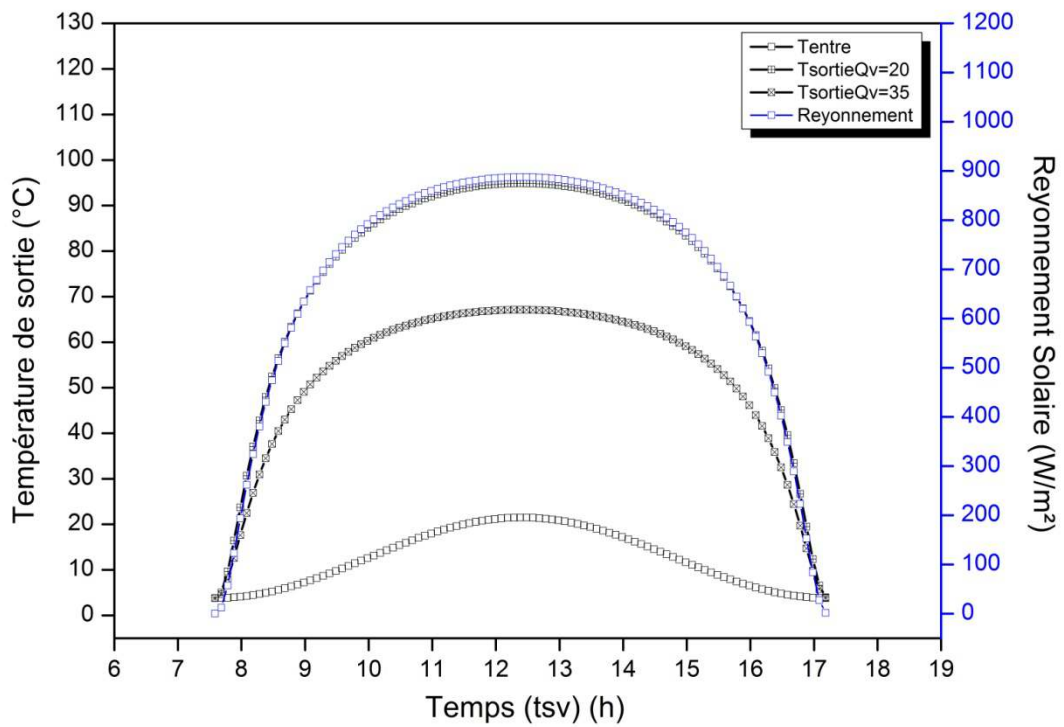


Figure 4.12 : Tlemcen 23/12/2018 « Tmin=3.8°C , Tmax=21.5°C »

IV-2. Interprétation des résultats :**IV-2.1. Variation du rayonnement solaire :**

Les courbes qui montrent l'évolution temporelle du rayonnement solaire direct pour les différents sites obtenus sont illustrée d'après les figures (4.1 jusqu'à 4.12).

La comparaisons cas par cas entre ces graphiques a permis de distinguer un écart, selon les différents sites étudiés et différents jours, à titre d'exemple, pour le site Biskra, on retient la valeur maximale du rayonnement obtenu de l'ordre de $1021,41 \text{ W/m}^2$ le 21/6/ figure (4.2).

Ainsi pour le site de Sétif, l'analyse des courbes des figures (4.5) jusqu'a (4.8) permet de constater que les valeurs du rayonnement direct est $1020,60 \text{ W/m}^2$.

De même sorte, dans le cas du site de Tlemcen, Il est aisé d'observer sur les figures (4.9 jusqu'a 4.12) que les valeurs de rayonnement maximale est $1021,29 \text{ W/m}^2$. A remarquer que ces résultats sont plus proches avec ceux fournis par les résultats de Biskra pour le même jour.

IV-2.2. Variation de la température de sortie de l'air :

Les résultats représentés sur les figures (4.1) a (4.12) pour différent jours ont montré que la valeur maximale de la température de sortie de l'air est de $129,98 \text{ }^\circ\text{C}$ pour un débit de $20 \text{ m}^3/\text{h}$ et $98,11$ pour une débit de $35 \text{ m}^3/\text{h}$ à 12,38 heure le 21/6/2018 à Biskra, Pour Sétif et pour le même jour $128,24 \text{ }^\circ\text{C}$ pour un débit de $20 \text{ m}^3/\text{h}$ et $92,90 \text{ }^\circ\text{C}$ pour un débit de $35 \text{ m}^3/\text{h}$ à 12,62 heure. Pour Tlemcen la température maximale pour un débit de $20 \text{ m}^3/\text{h}$ est $128,56 \text{ }^\circ\text{C}$ et $123,15 \text{ }^\circ\text{C}$ pour un débit de $35 \text{ m}^3/\text{h}$ à 12,37 heures. Cette différence peut être due au fait que la température de sortie est liée au rayonnement solaire et à la température d'entrée.

IV-2.3. Comparaison entre les résultats des trois sites :

Les résultats obtenus pour les différents sites étudiés sont comparés et illustrés dans les figures qui suivent :

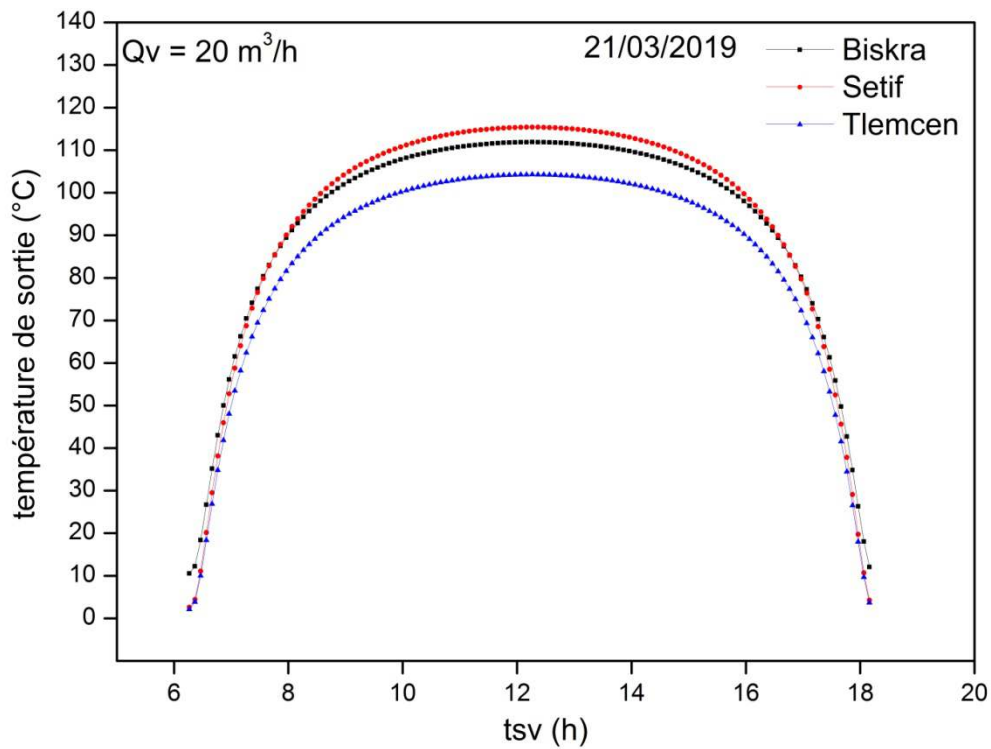


Figure 4.13 : Comparaison de la température de sortie pour les trois sites

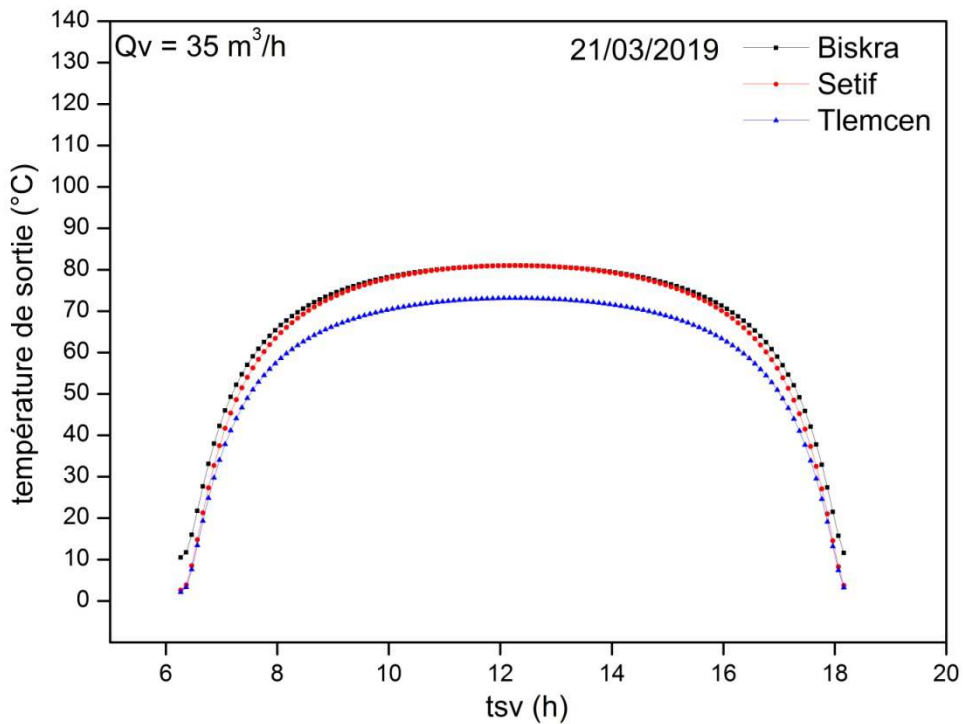


Figure 4.14 : Comparaison de la température de sortie pour les trois sites

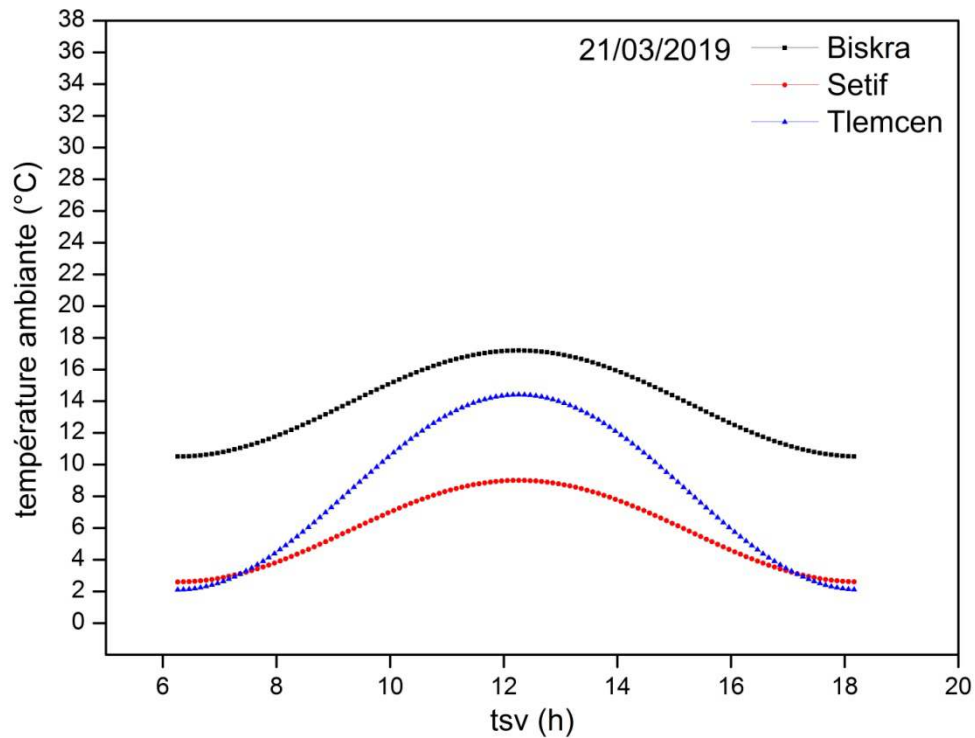


Figure 4.15 : Comparaison de la température d'entrée pour les trois sites

La comparaison montre que les valeurs de la température de sortie pour le 21 mars par exemple sont pour le site de Sétif supérieures à celle de Biskra. La situation géographique est en faveur du site de Biskra. Ici c'est l'effet de l'altitude qui est favorable pour les sites situés en altitude. La même remarque est conservée pour le moi de décembre qui est montré dans ce qui suit à titre d'illustration.

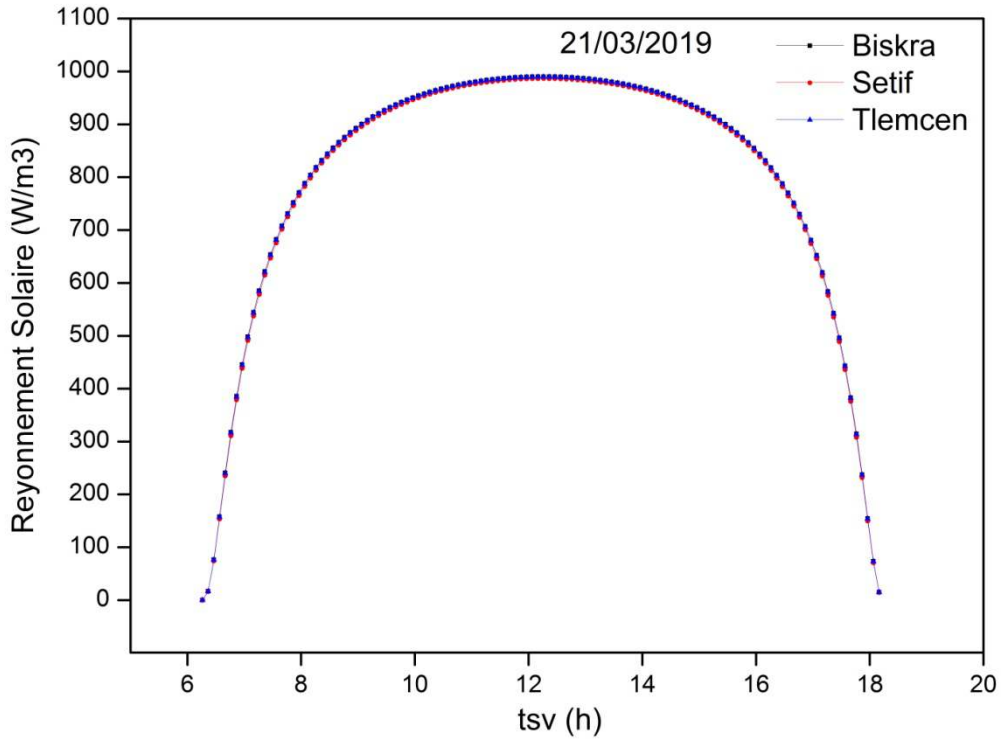


Figure 4.16 : Comparaison du rayonnement solaire pour les trois sites

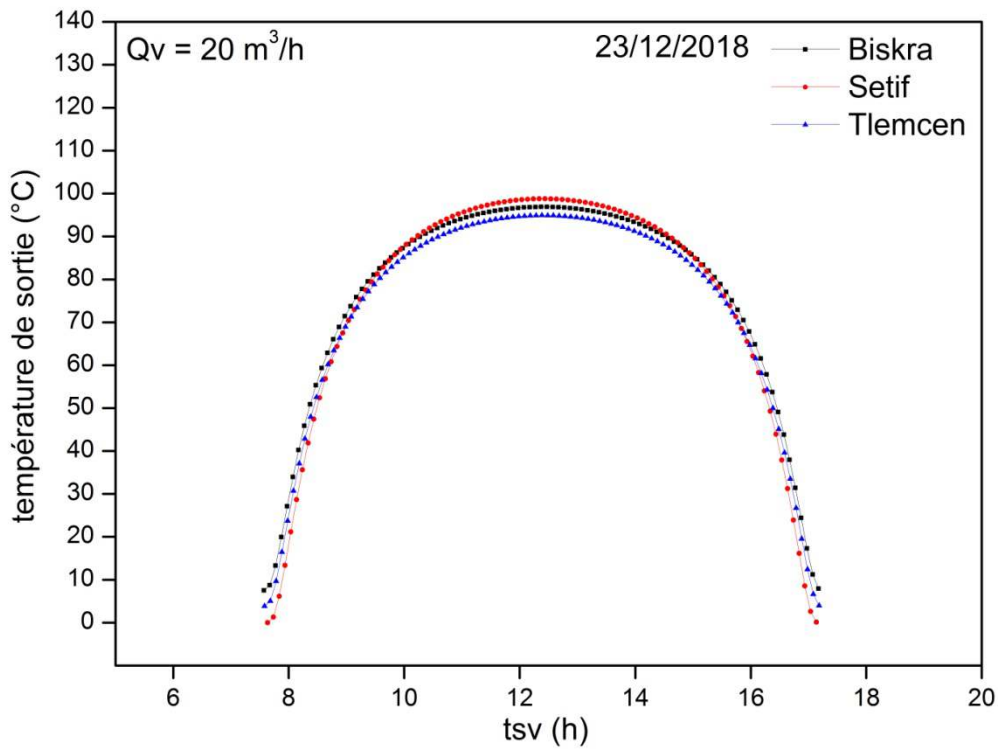


Figure 4.17 : Comparaison de la température de sortie pour les trois sites

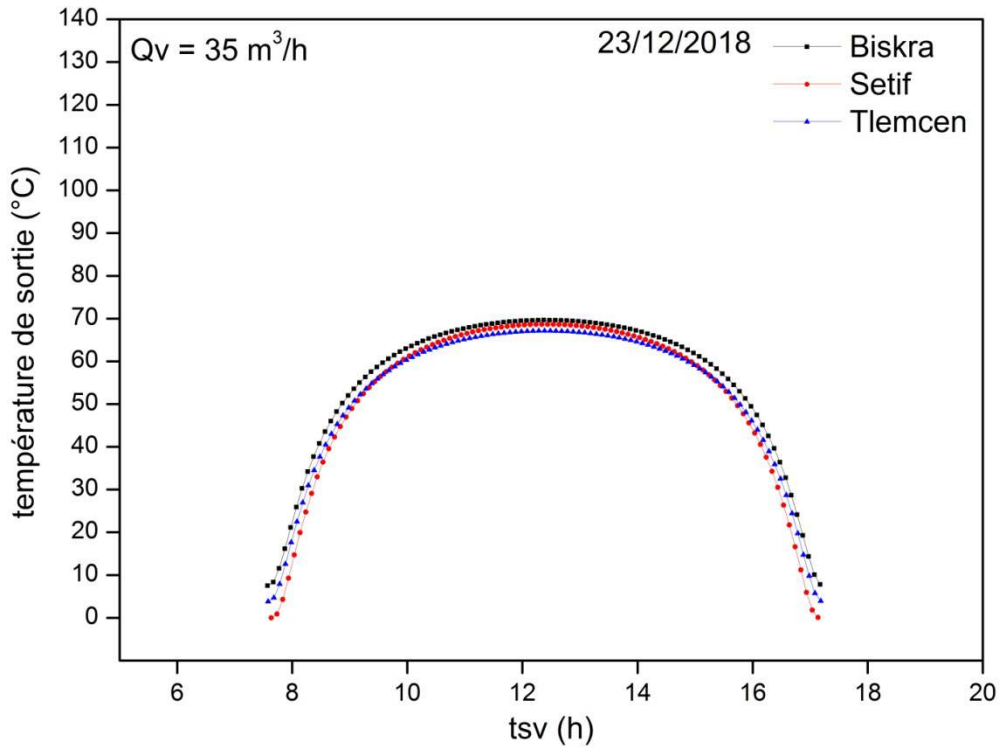


Figure 4.18 : Comparaison de la température de sortie pour les trois sites

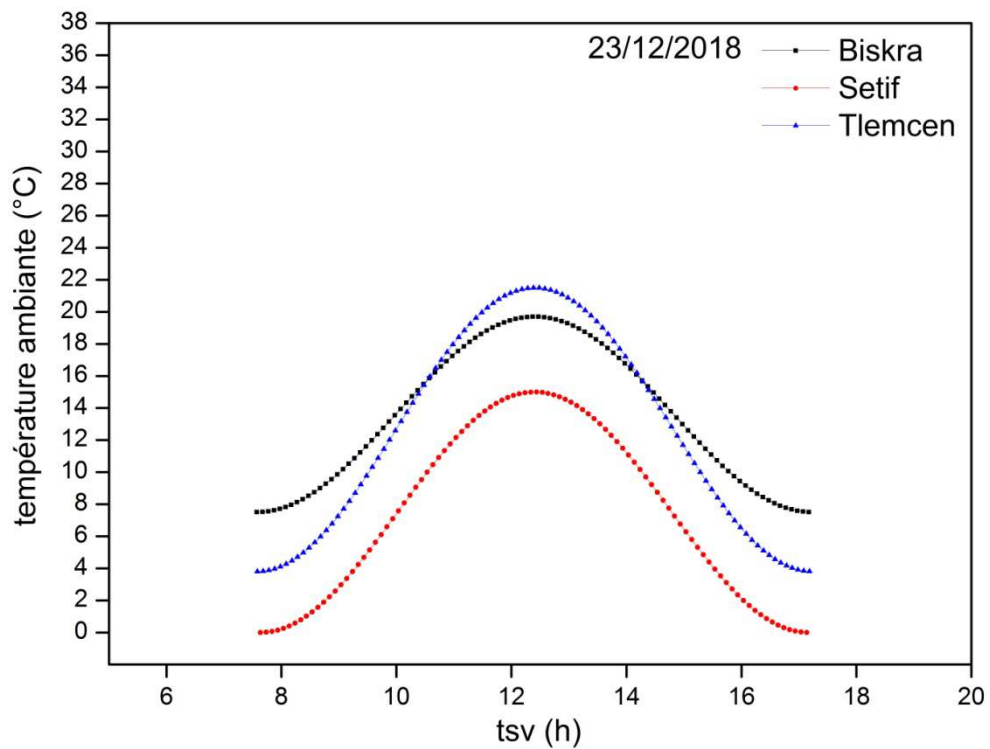


Figure 4.19 : Comparaison de la température d'entrée pour les trois sites

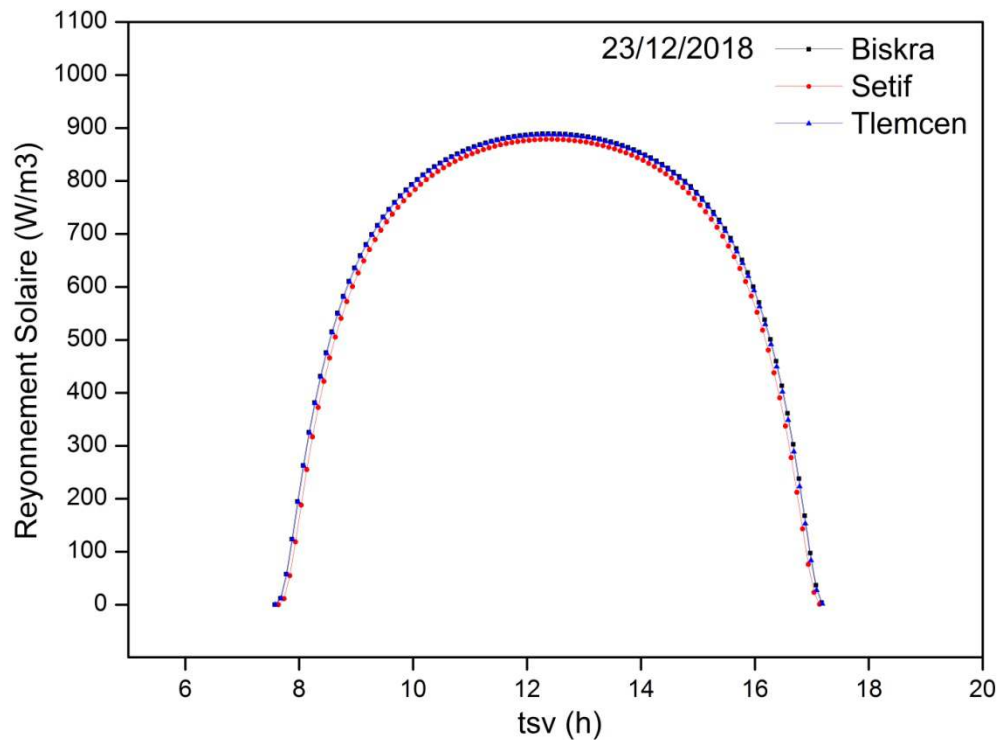


Figure 4.20 : Comparaison rayonnement solaire pour les trois sites

Conclusion :

Il est à constater que pour un site la température de sortie dépend de la variation à la fois du rayonnement solaire, de celle de la température ambiante, de l'environnement et de l'altitude. Pour les différents sites, une différence est remarquée par rapport à la position géographique et par rapport à l'altitude.

Nous constatons que l'évolution du rayonnement solaire direct et de la température d'entrée et de sortie de l'air atteignent leurs valeurs maximales aux alentours de midi solaire.

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire concerne l'étude théorique de quelques paramètres qui influent sur le fonctionnement solaire plan. Pour ce faire, nous avons utilisé des modèles théoriques permettant de simuler quelques paramètres intrinsèques et extrinsèques qui influent sur son comportement dans des situations géographique et climatiques différentes. Un code de calcul en langage Matlab a été élaboré. Les résultats obtenus indiquent que les valeurs estimées des températures de sortie pour les mois de juin, septembre, décembre et mars varient en fonction de l'emplacement, de la température d'entrée et du rayonnement solaire direct contrôlé par plusieurs facteurs, "la température minimale et maximale ...".

La comparaison cas par cas entre ces graphiques a permis de distinguer un écart, selon les différents sites étudiés et différents jours, à titre d'exemple, pour le site Biskra, on retient la valeur maximale du rayonnement obtenu de l'ordre de $1021,41 \text{ W/m}^2$ le 21/6/2018.

Ainsi pour le site de Sétif, l'analyse des courbes permet de constater que les valeurs du rayonnement direct est 1020.60 W/m^2 . De même sorte, dans le cas du site de Tlemcen, Il est aisé d'observer sur les obtenues que les valeurs du rayonnement maximal est $1021,29 \text{ W/m}^2$. A remarquer que ces résultats sont plus proches avec ceux fournis par les résultats de Biskra pour le même jour.

Il est à constater que pour un site la température de sortie dépend de la variation à la fois du rayonnement solaire, de celle de la température ambiante, de l'environnement et de l'altitude. Pour les différents sites, une différence est remarquée par rapport à la position géographique et par rapport à l'altitude.

Nous constatons que l'évolution du rayonnement solaire direct et de la température d'entrée et de sortie de l'air atteignent leurs valeurs maximales aux alentours de midi solaire.

Bibliographie

- [1] MOGHARBI, M., & HALASSA, D. (2011). Conception et réalisation d'un capteur solaire plan à air. Master Université Kasdi MERBAH de Ouargla.
- [2] DRISSI, R. (2015). Etude théorique et expérimental d'un CPS à air. Master Université Mohamed Khider Biskra.
- [3] GUENIFI S. (2016). Etude de faisabilité des applications solaires utilisant des CPS en fonction de leur température de sortie. Master Université Mohamed Khider Biskra.
- [4] AMRAOUI, M. A. Etude numérique d'un capteur solaire plan à air Influence de la forme de la rugosité (Doctoral dissertation, L'université Abou Bekr Belkaid Tlemcen).
- [5] HENAOUI, M. ETUDE DE L'AERODYNAMIQUE INTERNE DES BARRETTES PERFOREES PLACEES DANS UN CAPTEUR SOLAIRE PLAN A AIR (Doctoral dissertation, L'université Abou Bekr Belkaid Tlemcen).
- [6] BAISSI, M. T. (2012). Etude théorique et expérimentale des paramètres de fonctionnement d'un capteur solaire plan (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- [7] KAOUALAL, R., BEKKOUCHE, S. M. E., BENOUAZ, T., & KHERROUR, S. (2014). Modélisation numérique d'un capteur solaire plan à air fonctionnant en régime transitoire en vue d'intégration au bâtiment. In Conférence IBPSA France-Arras-2014.
- [8] MENASRIA, F., MOUMMI, A., MOUMMI, N., ZEDAYRIA, M., & GUESTAL, M. (2011). Modélisation des échanges convectifs dans le conduit utile d'un capteur solaire plan à air muni de rugosités artificielles de formes rectangulaires. *Revue des Energies Renouvelables*, 14(3), 369-379.
- [9] MOUMMI, N., MAHBOUB, C., MOUMMI, A., AOUES, K., & ALI, S. Y. (2011). A numerical study of the phenomena of heat transfer in plane air solar collectors. *International Journal of Sustainable Energy*, 30(3), 169-178.
- [10] KHERRIS, S., MEBARKI, B., DRAOUI, B., ZEBBAR, D., BECHRI, D., & AKERMI, M. Étude et caractérisation d'un capteur solaire destiné aux applications à basse température.
- [11] جورج, رامي, زوزو, & ماهر. (2018). الدراسة التجريبية لتأثير شكل الصفيحة الماصة على الأداء الحراري. *سلسلة العلوم الهندسية*. Print ISSN: 2079-3081, Online ISSN: 2663-4279, 40(2).
- [12] SYUHADA, A., & MAULANA, M. I. (2018). Absorber Thickness Effect on the Effectiveness of Solar Collectors to Production Hot Air for Drying. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 67, p. 04028). EDP Sciences.
- [13] فرجاني, & أحمد طه. Développement d'un logiciel de simulation des performances thermiques des capteurs solaires plans (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra 2013).
- [14] BOUZIANE, H., & CHALABI, M. Amélioration le rendement des capteurs solaires plan à eau par qualité des matériaux (Doctoral dissertation, L'université Abou Bekr Belkaid Tlemcen).
- [15] BRAHIMI, A. (2016). Etude de performances d'un capteur solaire plan a eau (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).
- [16] KHANFRI, O. Simulation de l'écoulement turbulent et du transfert de chaleur dans un convertisseur thermo-solaire à air comportant de chicane triangulaires orientées en amont et en aval (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra 18-10-2018).
- [17] Souad, S. A. A. D. I. (2010). Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire plan. *UNIVERSITE MENTOURI DE CONSTANTINE*, 2(51), 3.
- [18] BELKACEMI, M. H. (2011). Modélisation et étude expérimentation d'un capteur solaire non vitré et perforé. Mémoire de Master en Energétique et Matériaux, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen.
- [19] Chabane, F. (2015). Modélisation des paramètres de la conversion thermique de l'énergie solaire (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).