



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. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :
Azhar Wafa DHAHOUA

Le :

Etude de l'influence de l'inclinaison sur l'efficacité d'un capteur solaire : Application au site Biskra.

Jury :

Dr.	Kamel AOUES	MCA	Université de Biskra	Président
Pr.	Noureddine MOUMMI	Pr	Université de Biskra	Rapporteur
Dr.	Messaoud BENMACHICHE	MCB	Université de Biskra	Examineur

Dédicace

Je dédie le fruit de mon travail

À mes chers parents qu'ils m'ont aidés et

Supportés toute ma vie.

À ma chère maman Rachida pour ses sacrifices et ses

Efforts pendant toutes ces années.

À mon père Abd Alhamid qui il n'est pas épargné aucun effort

Pour m'aider durant mes études, je supplie dieu de

Leur donner le bonheur et la santé.

À mon encadreur Professeur Moumni Nouredine

À mon fiancé Monsieur Slimani Samir. À la famille Slimani

À mes chers frères Nacer Khaled Ahmed

À mes chères sœurs Madiha Samiha Naima

À toute ma chère famille Dhahoua

À tous mes amis et mes collègues.

Azhar ouafa

Remerciement

Avant tout, Je remercie, notre créateur ALLAH le tout puissant que nous a donné la force et la volonté pour terminer ce travail...

*Je remercie mon encadreur professeur **Moummi-Nouredine** pour son encouragement, sa disponibilité, ses orientations, ses conseils et pour le temps précieux qu'il m'a consacré durant l'année théorique et pour récolter le fruit de ce travail ...*

*Je tiens à remercier aussi Professeur **Aoues Kamel** (président de jury) et le membre du jury Docteur **Ben Machiche Messaoud** (examineur de jury).*

Je remercie tous mes enseignants durant mes années scolaires,

Je remercie toutes les personnes qui ont facilité la réalisation de ce travail.

Azhar wafa

Sommaire

Titre	Page
Dédicace.....	I
Remerciement.....	II
Sommaire.....	III
Liste des tableaux.....	IV
Liste des figures.....	V
Nomenclature.	VI
Résumé.....	IX
Introduction générale.....	01

Chapitre I : Etude Bibliographique

Chapitre II : Paramètres de fonctionnement

Introduction.....	21
II.2.1 Energie solaire.....	21
II. 2.2 Principales applications.....	21
II. 2.3les capteurs solaires	22
II. 2.3 .1 Les capteurs solaires thermiques.....	22
II. 2.3 .2 Les capteurs à concentration.....	23
II. 2.4 Performances d'un capteur solaire.....	23
II. 2.5 Avantages et limites.....	24
II. 2.5.a Avantages.....	24
II. 2.5 .b Limites.....	24
II. 2.6 L'énergie renouvelable en Algérie et à la sud algérienne réalité et avenir pour un développement durable.....	24
II.2.7. Les paramètres caractérisant le fonctionnement d'un capteur.....	25
II.2.7.1. Les paramètres externes.....	25
II.2.7.2. Les paramètres internes.....	26
II.2.8. Paramètres gouvernants le fonctionnement d'un capteur solaire plan.....	26
II.2.8.1. Paramètres d'environnement.....	26
II.2.8.2. Paramètres structurels du capteur.....	27
II.2.9. Influence du rayonnement solaire incident.....	28
II.2.10. Influence de la température ambiante sur le rendement.....	28
II. 2.11. Influence de la vitesse du vent.....	29

II.2.12. Influence de la nature du matériau de l'absorbeur sur le rendement.....	30
Conclusion.....	31

Chapitre III : Etude de l'influence de l'inclinaison sur les paramètres de Fonctionnement

Introduction.....	33
III. 3.1 Le gisement solaire en Algérie.....	33
III. 3.2. Mouvement de la terre autour du soleil.....	34
III. 3.3. Mouvement apparent du soleil.....	35
III. 3.4. Rayonnement solaire.....	36
III. 3.4.1. Rayonnement solaire hors l'atmosphère.....	37
III. 3.4.2. Rayonnement solaire reçu au niveau du sol.....	37
III. 3.5. Angle d'incidence du rayonnement solaire sur un plan quelconque(θ).....	38
III. 3.6. Angle d'inclinaison d'un capteur.....	39
III. 3.7. Inclinaison optimale d'un capteur.....	40
III. 3.8.Reperage du rayonnement solaire.....	41
III. 3.9. Modèles d'évaluation du rayonnement solaire existants.....	43
III. 3.10.Méthode Semi-Empirique de Perrin Brichambaut.....	43
III.3.11.Oranigramme détaillé du programme de calcul.....	45
Conclusion.....	

Chapitre IV : Résultat et discussions

Introduction.....	47
IV.4.1. Caractéristique de ville du Biskra:	47
IV.4.2. Appareillage utilisé.....	47
IV.4.3. Résultats : Variation du rayonnement solaire:	47
IV.4.4. Comparaison entre l'expérimental -Perrin de Brichambaut:	54
IV.4.5. Comparaison entre le modelé et l'expérimental (29 Novembre 2019).....	55
IV.4.6. Comparaison entre le modelé et l'expérimental (13 Décembre 2019).....	59
IV.4.7. Comparaison entre le modelé et l'expérimental (08 Janvier 2020).....	63
IV.4.8. Comparaison entre le modelé et l'expérimental (15 Février 2020).....	67
IV.4.9. Comparaison entre le modelé et l'expérimental (01 Mars 2020).....	71
Conclusion.....	75
Conclusion générale.....	77
Références Bibliographiques.....	79

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
III.1	Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques	34
III.2	Paramètres décrivant l'état de l'atmosphère	44

Liste des figures

N°	Titre	Page
Fig I.1.	Effet de (largeur et longueur et hauteur et l'épaisseur de lame d'air l'épaisseur de l'isolant) sur le facteur d'efficacité (F'), le coefficient global (F_R) et le rendement (η)	05
Fig I.2.	Evolution de rayonnement solaire global incline (Igl-Cal et R S G I mesuré) (Journée 25/05/2011) [2]	06
Fig I.3.	La variation du rayonnement solaire globale (R S G I) et des températures (T_{amb} , T_{sortie} et T_{abs}) en fonction du temps (Journée 28/05/2011)	06
Fig I.4.	Comparaison du rayonnement solaire global théorique et expérimental	06
Fig I.5.	Comparaison du rayonnement solaire global théorique et expérimental	07
Fig I.6.	Comparaison du rayonnement solaire global théorique et Expérimentale	07
Fig I.7.	Irradiation moyenne mensuelle avec K_t	08
Fig I.8.	Irradiation moyenne mensuelle avec K_t et \sinh	08
Fig I.9.	Evolution de l'ensoleillement théorique et expérimental pour la journée du 11-04	09
Fig I.10.	Evolution de la température théorique et expérimental de l'absorbeur pour la journée du 11-04	09
Fig I.11.	Evolution de la température théorique et expérimental de l'absorbeur pour la journée du 11-04	09
Fig I.12.	Courbe représentant le rendement en fonction de $G/T\Delta$	09
Fig I.13.	Influence de l'inclinaison des parois sur la température de l'absorbeur	10
Fig I.14.	Evolution de la température de l'absorbeur pour différents angles d'inclinaison (journée 11/04)	11
Fig I.15.	Température mesurée et température simulée de la configuration choisie	11
Fig I.16.	Comparaison des résultats obtenus par les modèles théoriques avec les résultats expérimentaux relatifs aux composantes du rayonnement solaire directe, diffuse et globale, sur un plan horizontal ainsi que l'erreur moyenne relative pour une journée type ciel clair de printemps (13/04/11) sur le site de Bouzaréah.	12

	Comparaison des résultats obtenus par les trois modèles avec les résultats expérimentaux relatifs aux composantes du rayonnement solaire directe, diffuse et globale sur un plan incliné ainsi que l'erreur moyenne relative pour une journée type ciel clair de printemps (13/04/11) sur le site de Bouzaréah.	13
Fig I.17.		
Fig I.18.	Comparaison : Rayonnement global modèles proposés – expérimental.	14
Fig I.19.	Comparaison avec le modèle général établi.	14
Fig I.20.	Comparaison du modèle général avec celui de Perrin de Brichambaut.	15
Fig I.21.	Comparaison du modèle général avec celui de Perrin de Brichambaut.	15
Fig I.22.	Comparaison des résultats pour une journée d'hiver	16
Fig I.23.	Comparaison des résultats pour une journée d'été	17
Fig I.24.	Variation du rayonnement direct en fonction de l'angle d'inclinaison	17
Fig I.25.	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « modèles proposés - Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois d'Avril pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 0^\circ$.	18
Fig I.26.	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « modèles proposés - Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois d'Avril pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 50^\circ$.	18
Fig I.27.	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « modèles proposés - Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois d'Avril pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 90^\circ$.	19
Fig II.1.	Capteur plan	22
Fig II.2.	Schéma de tubes transparents en verre	23
Fig II.3.	Evolution temporelle du rendement instantané du capteur	28
Fig II.4.	Evolution du rendement en fonction de la température ambiante	29
Fig II.5.	Evolution du rendement instantané en fonction de la vitesse du vent	30
Fig II.6.	Variation du rendement instantané en fonction de la matière de l'absorbeur	30
Fig III.1.	Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel	33
Fig III.2.	Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu.	34
Fig.III. 3.	Mouvement de la terre autour du soleil	35
Fig.III. 4.	Mouvement apparent du Soleil observé d'un point de latitude L	36

Fig.III. 5.	Spectre solaire	36
Fig.III. 6.	Variation mensuelle de la constante solaire	37
Fig.III. 7.	Composantes du rayonnement solaires	38
Fig.III. 8.	Azimut (orientation) et inclinaison d'un plan quelconque	38
Fig.III. 9.	Angle d'inclinaison d'un capteur solaire	40
Fig.III. 10.	Repérage de la position du Soleil	41
Fig.III. 11.	Système de coordonnées horaires	42
Fig.IV.1	Photo d'un Pyranomètre digital utilisé.	47
Fig.IV.2	Rayonnement solaire global correspondant l'étude expérimental selon le jour de 29 Novembre 2019.	48
Fig.IV.3	Rayonnement solaire global correspondant l'étude numérique suivant le jour de de 29 Novembre 2019.	49
Fig.IV.4	Rayonnement solaire global correspondant l'étude expérimental selon le jour de 13 Décembre 2019	49
Fig.IV.5	Rayonnement solaire global correspondant l'étude numérique suivant le jour de 13 Décembre 2019	50
Fig.IV.6	Rayonnement solaire global correspondant l'étude expérimental selon le jour de 08 Janvier 2020	51
Fig.IV.7	Rayonnement solaire global correspondant l'étude numérique suivant le jour de 08 Janvier 2020.	51
Fig.IV.8	Rayonnement solaire global correspondant l'étude expérimental selon le jour de 15 Février 2020.	52
Fig.IV.9	Rayonnement solaire global correspondant l'étude numérique suivant le jour de 15 Février 2020.	52
Fig.IV.10	Rayonnement solaire global correspondant l'étude expérimental selon le jour de 01 Mars 2020.	53
Fig.IV.11	Rayonnement solaire global correspondant l'étude numérique suivant le jour de 01 Mars 2020.	53
Fig.IV.12.a	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 29 Novembre 2019 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 0^\circ$.	55
Fig.IV.12.b	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 29 Novembre 2019 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 20^\circ$.	55

Fig.IV.12.c	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 29 Novembre 2019 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 30^\circ$.	56
Fig.IV.12.d	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 29 Novembre 2019 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 40^\circ$.	56
Fig.IV.12.e	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 29 Novembre 2019 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 50^\circ$.	57
Fig.IV.12.f	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 29 Novembre 2019 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 60^\circ$.	57
Fig.IV.12.g	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 29 Novembre 2019 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 70^\circ$.	58
Fig.IV.12	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le Jour 29 Novembre 2019.	58
Fig.IV.13.a	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 13 Décembre 2019 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 0^\circ$.	59
Fig.IV.13.b	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 13 Décembre 2019 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 20^\circ$.	59
Fig.IV.13.c	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 13 Décembre 2019 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 30^\circ$.	60
Fig.IV.13.d	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 13 Décembre 2019 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 40^\circ$.	60
Fig.IV.13.e	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 13 Décembre 2019 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 50^\circ$.	61
Fig.IV.13.f	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 13 Décembre 2019 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 60^\circ$.	61

Fig.IV.13.g	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 13 Décembre 2019 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 70^\circ$.	62
Fig.IV.13	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le Jour 13 Décembre 2019.	62
Fig.IV.14.a	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 08 Janvier 2020 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 0^\circ$.	63
Fig.IV.14.e	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 08 Janvier 2020 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 20^\circ$.	63
Fig.IV.14.c	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 08 Janvier 2020 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 30^\circ$.	64
Fig.IV.14.d	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 08 Janvier 2020 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 40^\circ$.	64
Fig.IV.14.e	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 08 Janvier 2020 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 50^\circ$.	65
Fig.IV.14.f	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 08 Janvier 2020 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 60^\circ$.	65
Fig.IV.14.g	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 08 Janvier 2020 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 70^\circ$.	66
Fig.IV.14	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le Jour 08 Janvier 2020.	66
Fig.IV.15.a	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 15 février 2020 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 0^\circ$.	67
Fig.IV.15.b	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 15 février 2020 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 20^\circ$.	67

Fig.IV.15.c	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 15 février 2020 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 30^\circ$.	68
Fig.IV.15.d	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 15 février 2020 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 40^\circ$.	68
Fig.IV.15.e	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 15 février 2020 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 50^\circ$.	69
Fig.IV.15.f	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 15 février 2020 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 60^\circ$.	69
Fig.IV.15.g	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 15 février 2020 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 70^\circ$.	70
Fig.IV.15	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le Jour 15 Février 2020.	70
Fig.IV.16.a	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 01 Mars 2020 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 0^\circ$.	71
Fig.IV.16.b	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 01 Mars 2020 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 20^\circ$.	71
Fig.IV.16.c	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 01 Mars 2020 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 30^\circ$.	72
Fig.IV.16.d	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 01 Mars 2020 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 40^\circ$.	72
Fig.IV.16.e	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 01 Mars 2020 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 50^\circ$.	73
Fig.IV.16.f	Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 01 Mars 2020 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 60^\circ$.	73

- Fig.IV.16.g Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 01 Mars 2020 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 70^\circ$. **74**
- Fig.IV.16 Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le Jour 01Mars 2020. **74**

Liste Des Abréviations Et Symboles

a : azimut soleil ($^{\circ}$)

a, b : Constantes

A, B, A', A'', B'' : Constantes qui dépendent de l'état de l'atmosphère.

d : la durée du jour (hh :mm :ss)

I : Eclairement direct par ciel clair (W/m^2)

D : Eclairement diffus incident (W/m^2)

DH : Eclairement diffus reçu par une surface horizontale (W/m^2)

Dj : Nombre de jours écoulés à partir du premier janvier

G : Eclairement global horizontal (W/m^2)

GH : Eclairement global reçu par une surface horizontale (W/m^2)

G(h) : le rayonnement globale en fonction de h (w/m^2)

h : angle horaire soleil ($^{\circ}$)

ET : Correction dite équation du temps

L : Longitude ($^{\circ}$)

Φ : Latitude ($^{\circ}$)

ω : L'angle horaire ($^{\circ}$)

δ : Déclinaison soleil ($^{\circ}$)

ω_l : Angle horaire au lever du soleil ($^{\circ}$)

ω_c : Angle horaire au coucher du soleil ($^{\circ}$)

i : Angle d'incidence ($^{\circ}$)

j : Numéro du jour de l'année

T_s : Température du sol en ($^{\circ}\text{C}$).

TSM : Temps solaire moyen (heure)

TSV : Temps solaire vrai (heure)

TU : Temps universel (heure)

Z : Altitude du lieu (Km)

β : Angle d'inclinaison ($^{\circ}$)

ρ, a^* : Albédo du sol

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

L'énergie solaire est une source d'énergie d'avenir. Elle est éniépuisable, gratuite, propre et couvre toute la planète. La caractérisation du rayonnement solaire à un endroit géographique donné est d'une importance capitale pour le développement des systèmes énergétiques solaires. Cependant les mesures du rayonnement solaire ne sont pas disponibles. Donc, il est important de recourir aux modèles d'estimation. Beaucoup de modèles ont été proposés pour prévoir le rayonnement solaire direct et diffus.

Pour obtenir des données d'irradiationssolaires, il est nécessaire de combiner différents types de modèles. Les principaux modèlesutilisés pour décrire le gisement solaire sont empiriques. Dans cette étude, on vise à confronter des mesures expérimentales à des modèles empiriques pour permettre d'estimer les irradianations globales journalières sur un plan d'inclinaison varie de 0°jusqu'à 70°.

Le présent travail vient répondre à cette problématique par le calcul du rayonnement solaire et effectuer une étude comparative pour le site de Biskra.

Ce travail est constitué de quatre chapitres :

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. Les paramètres de fonctionnement.

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 de l'influence de l'inclinaison sur les paramètres de fonctionnement.

Le dernier capitre est dédié aux résultats où nous exposés les courbes d'estimation du rayonnement solaire global et ainsi qu'une comparaison et discussion.



Chapitre I



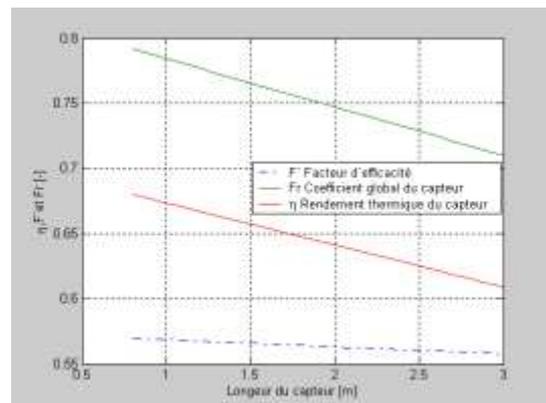
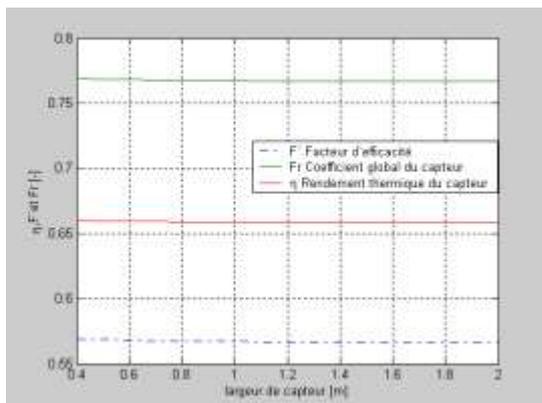
Etude Bibliographique

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

Le travail mené par ZEDAYRIA Merouane et al (2010),[1], est l'étude de l'effet des paramètres géométriques thermophysiques et optiques sur les performances thermiques des capteurs solaires plans à air. Afin d'améliorer les performances d'une gamme des capteurs solaires plans à air on a procédé a une investigation numérique des paramètres influents le fonctionnement du capteur étudié et la possibilité de le rendre fiable.

Dans cette investigation il a mis en évidence l'impact des paramètres géométriques, thermophysiques et optiques sur les performances thermiques des capteurs solaires plans à air, des courbes représentatives ont été établie pour visualiser ces impact des valeurs optimales des différents paramètres géométrique (dimensions des constituants d'un capteur solaire), optiques (vitrages et leurs types et nombre) et thermophysiques (constitutions de l'absorbeur sélectives et non sélectives, matériaux isolants) ont été proposées.

Résultats obtenus:



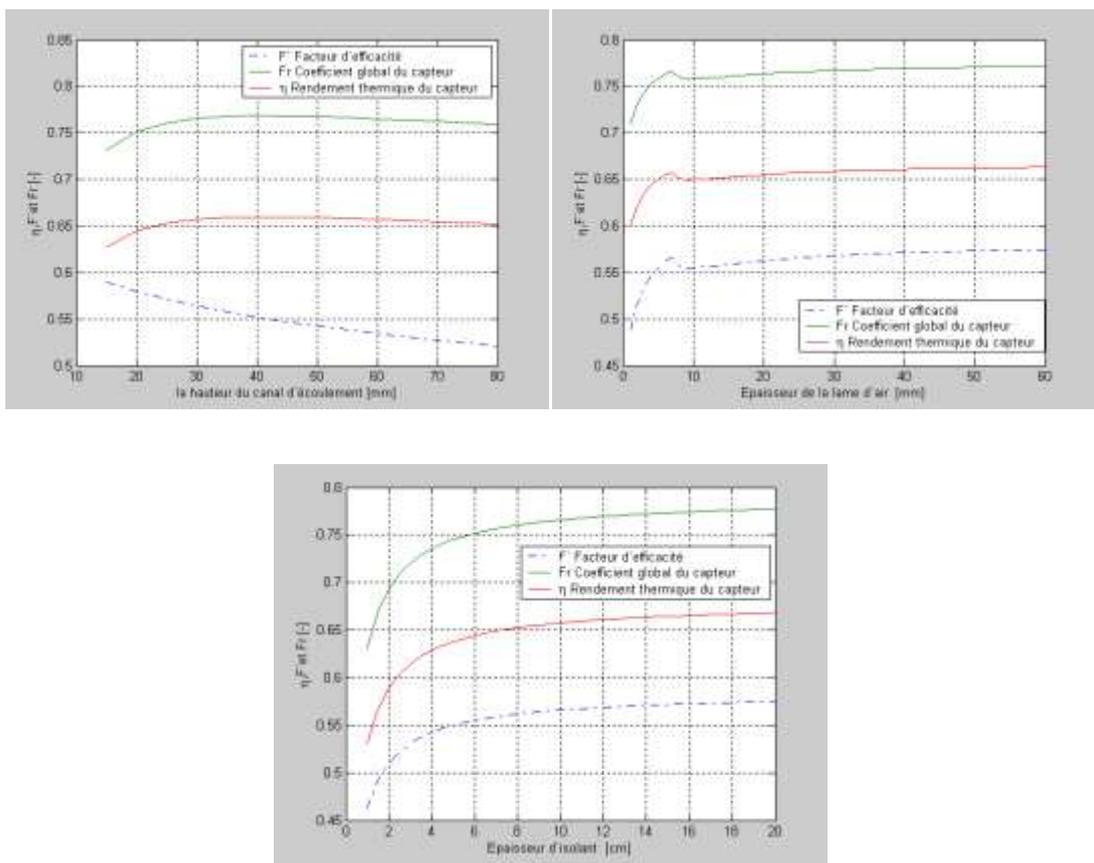


Figure I.1: Effet de (largeur et longueur et hauteur et l'épaisseur de lame d'air l'épaisseur de l'isolant) sur le facteur d'efficacité (F'), le coefficient global (F_r) et le rendement (η)[1].

HADJ BELKACEMI Mohammed et al (2011),[2], ont mené une modélisation et une étude expérimentale d'un capteur solaire non vitré et perforé. Ils sont destinés pour le préchauffage de l'air entrant dans un bâtiment, le séchage solaire pour le secteur agricole et le couplage avec les panneaux photovoltaïques. Dans leur travail ils ont discuté le comportement thermique de ce type de capteur. Une étude expérimentale a été réalisée sur un prototype installé sur la plateforme des essais expérimentaux de l'U.R.E.R d'Adrar (Lat. 27°, Long. 0.17W). Le modèle mathématique est basé sur une évaluation des bilans thermiques en régime stationnaire. Le paramètre clé de cette étude est le rayonnement solaire, ce dernier a été estimé et mesuré sur site et pour deux plans différents.

Resultats obtenus:

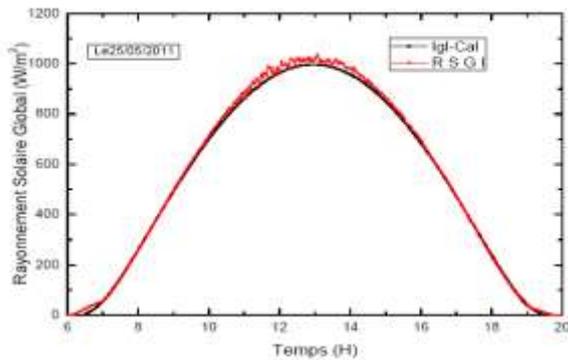


Fig .I. 2: Evolution de rayonnement solaire global incline

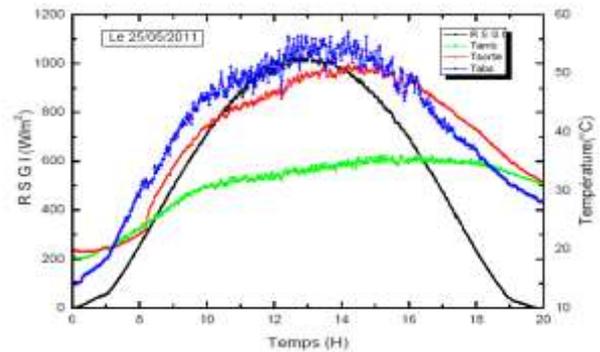


Fig .I.3: La variation du rayonnement solaire globale (R S G I)

(Igl-Cal et R S G I mesuré)(Journée 25/05/2011)[2]et des températures(Tamb,Tsortie et Tabs) Enfonction du temps (Journée 28/05/2011)[2]

BAISSI Mohamed Tahar et al (2012) ,[3],ont mené une étude théorique et expérimentale des paramètres de fonctionnement d’un capteur solaire plan. L’implantation d’un système solaire pour satisfaire à un besoin bien déterminé en un site donné qui ne doit se faire qu’après avoir estimé la productivité du système en fonction du gisement solaire local disponible réellement. La modélisation des paramètres intrinsèques et extrinsèques qui gouvernent le fonctionnement des insolateurs constitue le sujet essentiel de ce travail. Cette étude rentre dans le cadre de la caractérisation des sites pour d’éventuelles applications de l’énergie solaire.

Résultats Obtenus:

Évolution du rayonnement solaire global:

a. Modèle de Perrin de Brichambaut (à trois types de ciel) :

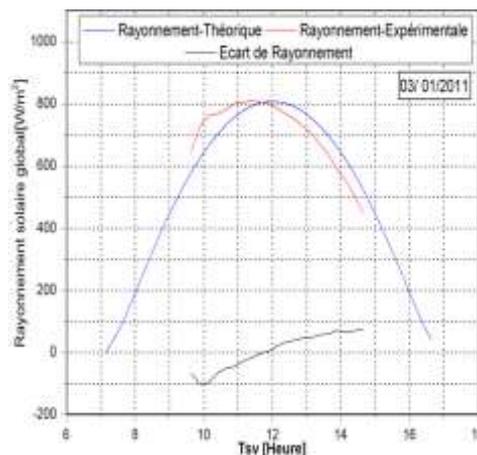


Fig.I.4:Comparaison du rayonnement solaire global théoriqueet experimental

b. Modèle de Lui et Jordan :

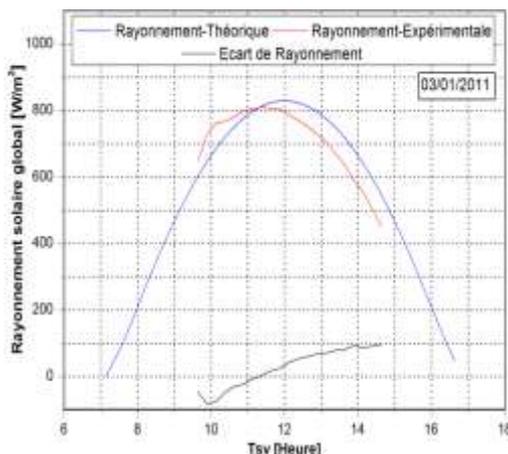


Fig.I.5 : Comparaison du rayonnement solaire global théorique et expérimental

c. Modèle de Perrin de Brichambaut (un type de ciel)

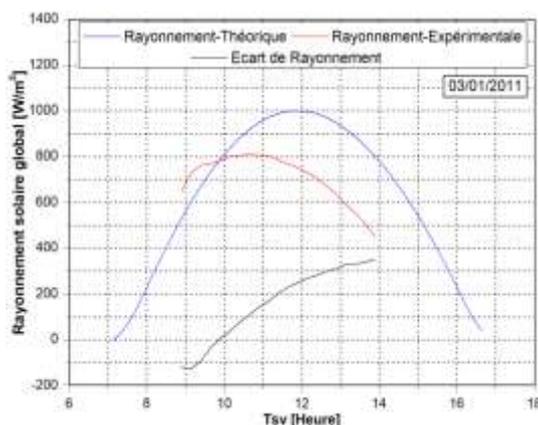


Fig.I.6 : Comparaison du rayonnement solaire global théorique et expérimentale [3]

K. Kerkouche 1, F. Cherfa, A. Hadj Arab S. Bouchakour, K. Abdeladim et K. Bergheul et al (2013),[4], ont étudié l'évaluation de l'irradiation solaire globale sur une surface inclinée selon différents modèles pour le site de Bouzaréah. Un des facteurs majeurs dans l'évaluation du gisement solaire, pour le dimensionnement des systèmes photovoltaïques, est la disponibilité des données d'irradiation globale, horizontale et inclinée qui soient cohérentes et de haute qualité.

Dans ce travail, les résultats fournis par neuf modèles isotropiques et anisotropiques pour l'estimation des valeurs horaires de l'irradiation solaire diffuse qu'ont été utilisées par la suite pour l'évaluation des irradiances solaires globales inclinées horaires. La validation des modèles est effectuée par une comparaison entre l'irradiation globale calculée et celle mesurée sur une surface orientée Sud, inclinée à 27° et avec un azimut de 20° . Les données des irradiances globales inclinées mesurées sont issues d'une banque de données obtenues par le monitoring de la centrale photovoltaïque (PV).

Connectée au réseau du CDER en utilisant des méthodes à la fois graphiques et statistiques. Différents modèles ont été validés par plusieurs indicateurs statistiques pour diverses conditions de ciel. Des systèmes de notation ont été appliqués dans le but de marquer la performance relative de ces modèles. De bons résultats ont été obtenus pour le cas de l'irradiation globale inclinée, avec une erreur ne dépassant pas les 10%.

Les modèles de Muneer et Ma-Iqbal donnent des résultats appréciables pour l'estimation de l'irradiation globale inclinée pour un ciel sans nuages et ceux de Ma-Iqbal et Klütcher pour un ciel très nuageux.

Résultats Obtenus:

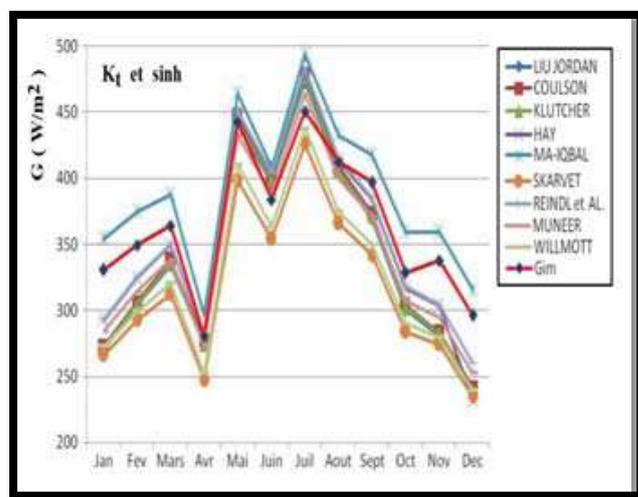
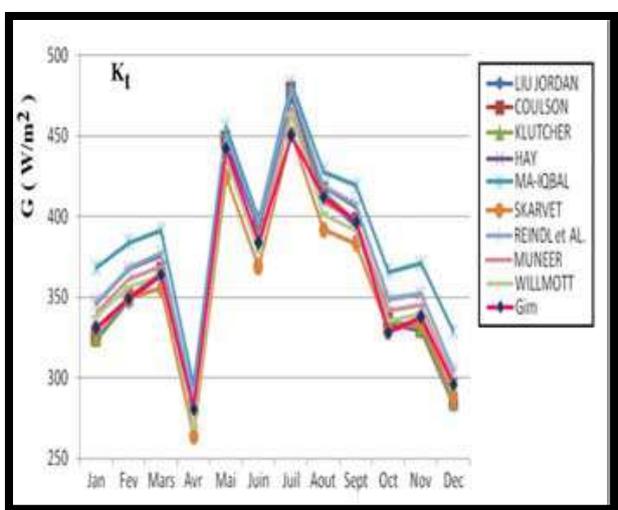


Fig.I. 7: Irradiation moyenne mensuelle avec Kt

Fig.I .8: Irradiation moyenne mensuelle avec Kt et sinh

M.S. Diallo, P. Faye, C. Mbow, M.L. Sow et J. Sarr et al (2014),[5]ont étudié l'influence de l'inclinaison des parois réfléchissantes d'un capteur solaire thermique sur la température de l'absorbeur. Dans cet article une série de simulations menée sur un capteur solaire boîte qui a la forme d'une pyramide tronquée et renversée. Afin d'améliorer les performances thermiques, le capteur est muni d'un double vitrage et les parois latérales sont inclinées par rapport à la verticale et sont recouvertes d'un mince film d'aluminium. La variation de l'inclinaison des parois latérales a une nette influence sur la production de chaleur. Ainsi les résultats des différentes configurations sont présentés et une étude comparative a abouti au choix d'une configuration permettant d'obtenir la température la plus élevée.

Résultat obtenue :

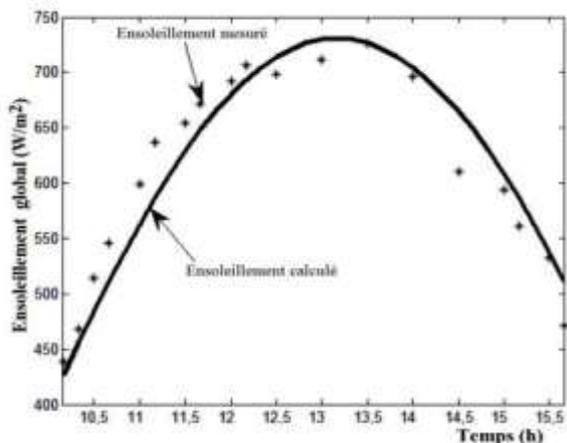


Fig.I.9: Evolution de l'ensoleillement théorique et expérimental pour la journée du 11-04

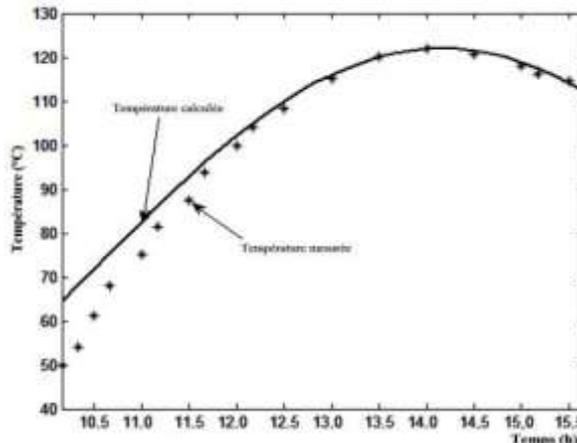


Fig.I.10: Evolution de la température théorique et expérimental de l'absorbeur pour la journée du 11-04

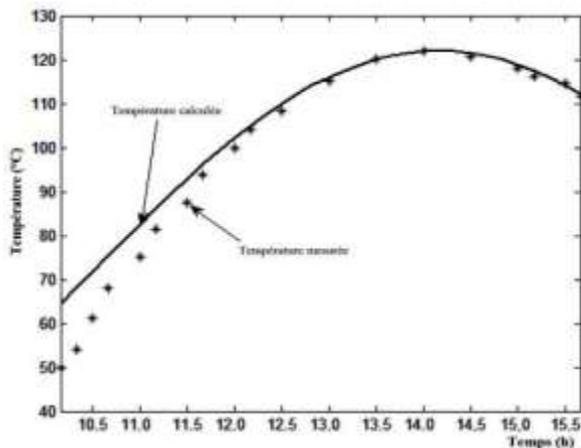


Fig.I.11: Evolution de la température théorique et expérimental de l'absorbeur pour la journée du 11-04

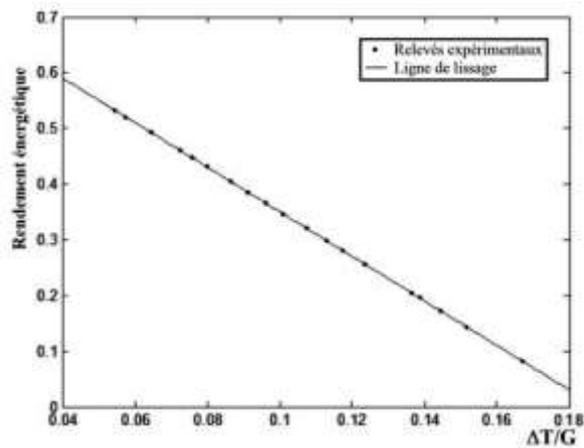


Fig.I.12: Courbe représentant le rendement en fonction de $G/T\Delta$

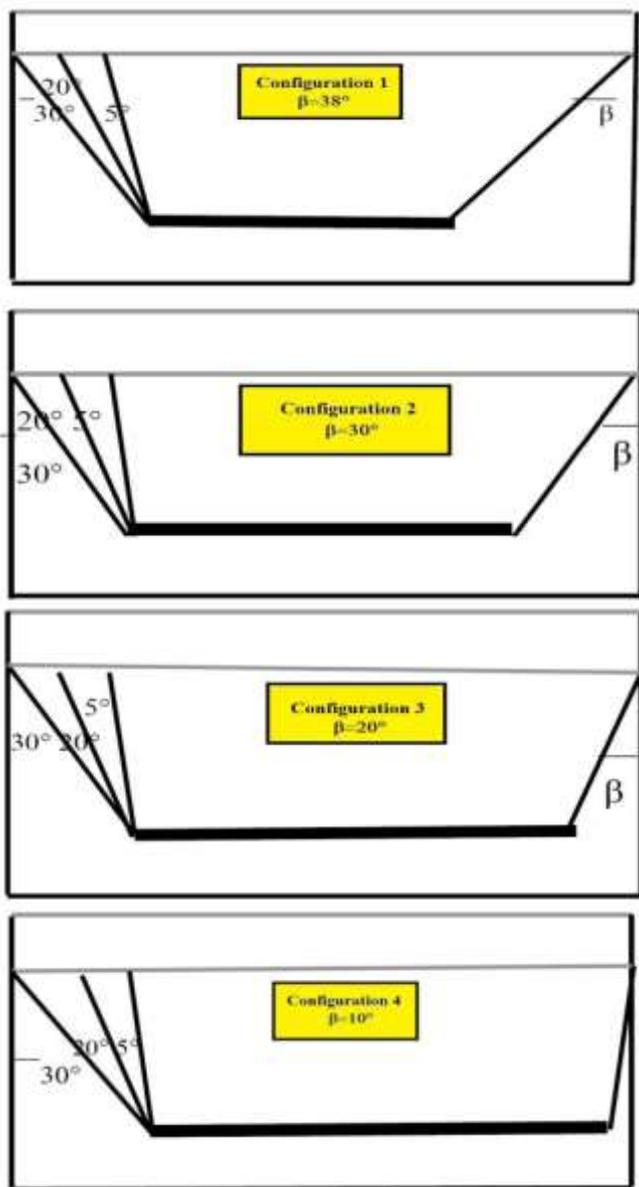
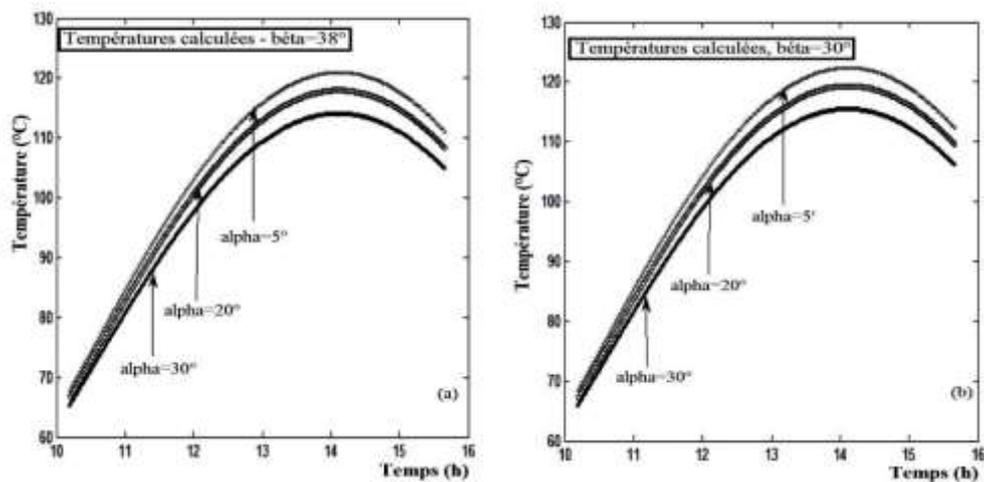


Fig.I.13: Influence de l'inclinaison des parois sur la température de l'absorbeur



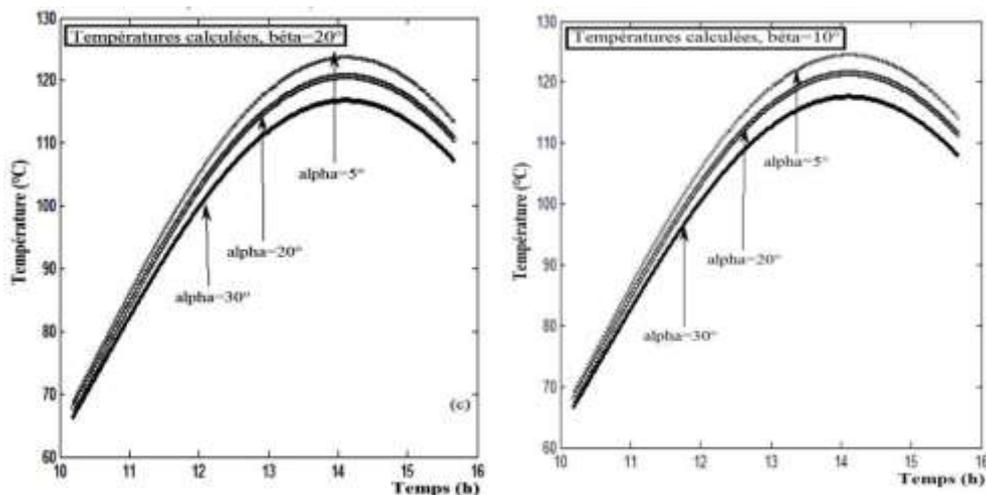


Fig.I.14: Evolution de la température de l’absorbeur pour différents angles d’inclinaison (journée 11/04)

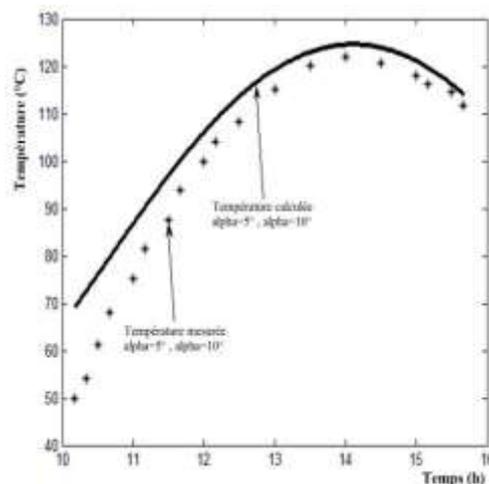


Fig.I.15: Température mesurée et température simulée de la configuration choisie

Aghilas Brahimi et al (2016),[6], ont étudié les performances d’un capteur solaire plan à eau en régime permanent (capteur Thermo cad).Après avoir donné un aspect général par des généralités sur les chauffe-eau-solaires ils ont dressé un état d’art sur les capteurs solaires plans.Par la suite, l’intérêt est porté sur les différents échanges thermiques mis en jeu au sein du capteur afin de définir les équations régissant le comportement thermique de ce dernier en régime permanent selon le manuscrit de Duffie and Beckmann. Ainsi, sur le logiciel de calcul Matlab, une étude comparative des trois modèles du rayonnement solaire (Capderou, Perrin de Brichambaut et Bird and Hulstrom), un paramètre dont les performances du dispositif dépendent grandement. Ensuite la mise au point un modèle pour simuler le comportement thermique de notre capteur et pour estimer ses performances. Un modèle validé avec un travail expérimental mené au Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER) de Bouzaréah (Alger). Au final, ils ont exploités le modèle du capteur pour étudier l’influence des différents paramètres opérationnels

sur le rendement instantané d'un capteur ; un outil commode pour une étude de conception des dispositifs solaires.

Résultats obtenus:

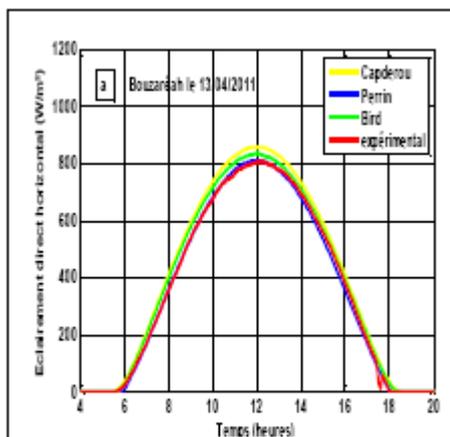


Figure (1a) : Rayonnement direct horizontal

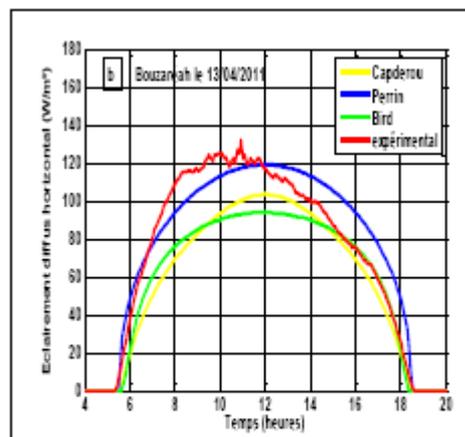


Figure (1b) : Rayonnement diffus horizontal

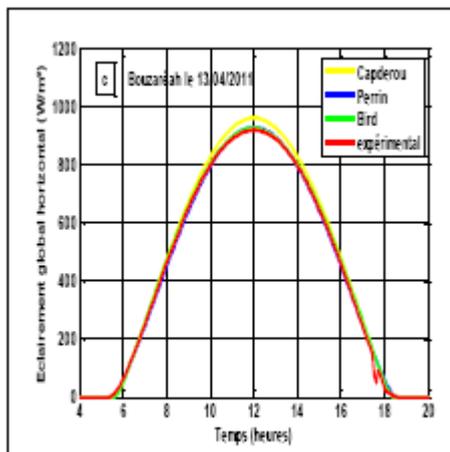


Figure (1c) : Rayonnement global horizontal

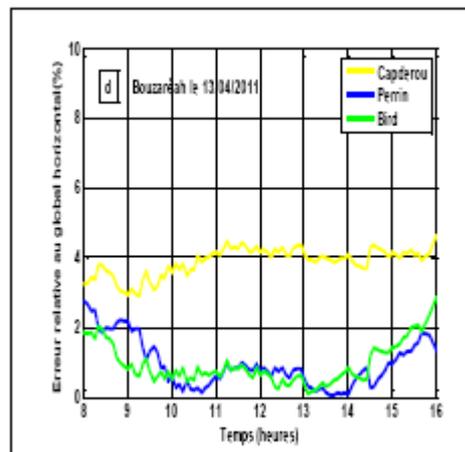


Figure (1d) : Err_{moy} relative au global horizontal

Fig.I.16: Comparaison des résultats obtenus par les modèles théoriques avec les résultats expérimentaux relatifs aux composantes du rayonnement solaire directe, diffuse et globale, sur un plan horizontal ainsi que l'erreur moyenne relative pour une journée type ciel clair de printemps (13/04/11) sur le site de Bouzaréah.

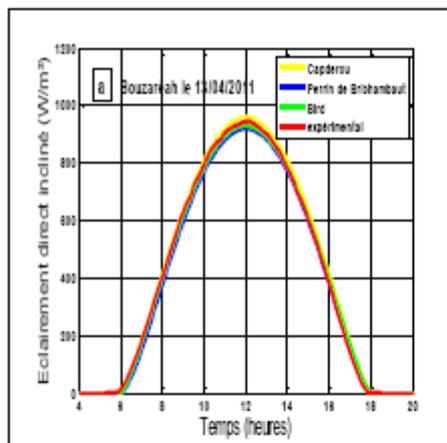


Figure (2a) : Rayonnement direct incliné

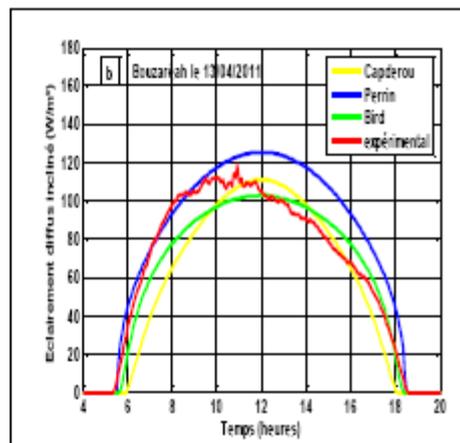


Figure (2b) : Rayonnement diffus incliné

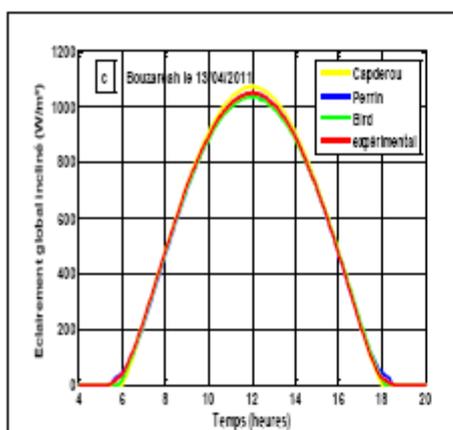


Figure (2c) : Rayonnement global incliné

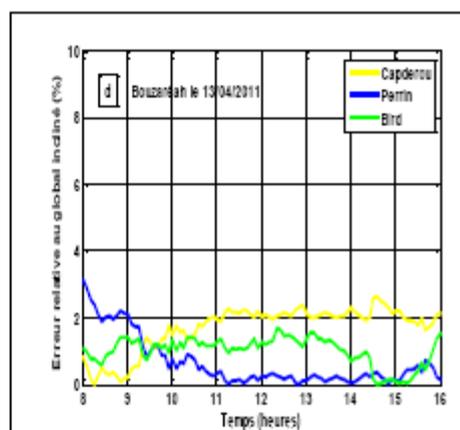


Figure (2d) : Erreur relative au global incliné

Fig.I.17: Comparaison des résultats obtenus par les trois modèles avec les résultats expérimentaux relatifs aux composantes du rayonnement solaire directe, diffuse et globale sur un plan incliné ainsi que l'erreur moyenne relative pour une journée type ciel clair de printemps (13/04/11) sur le site de Bouzaréah.

Mohammed Amine MELHEGUEG et al (2016) ,[7], ont présenté une étude théorique et caractérisation expérimentale du gisement solaire à Biskra. Cette étude a pour but de proposer des modèles adéquats pour prévoir selon divers contextes le rayonnement solaire global sur un plan horizontal. Pour cela et à l'issue de cette étude, l'élaboration d'un modèle adéquat pour un site comme première phase d'un quelconque projet solaire a été faite à travers une étude expérimentale. Il ressort des résultats expérimentaux que les valeurs trouvées sont en bon accord avec celles données par le modèle élaboré qui est en concordance avec celui de Perrin de Brichambaut. L'ensemble a été fait pour le site de Biskra pour une inclinaison nulle.

Resultats obtenus:

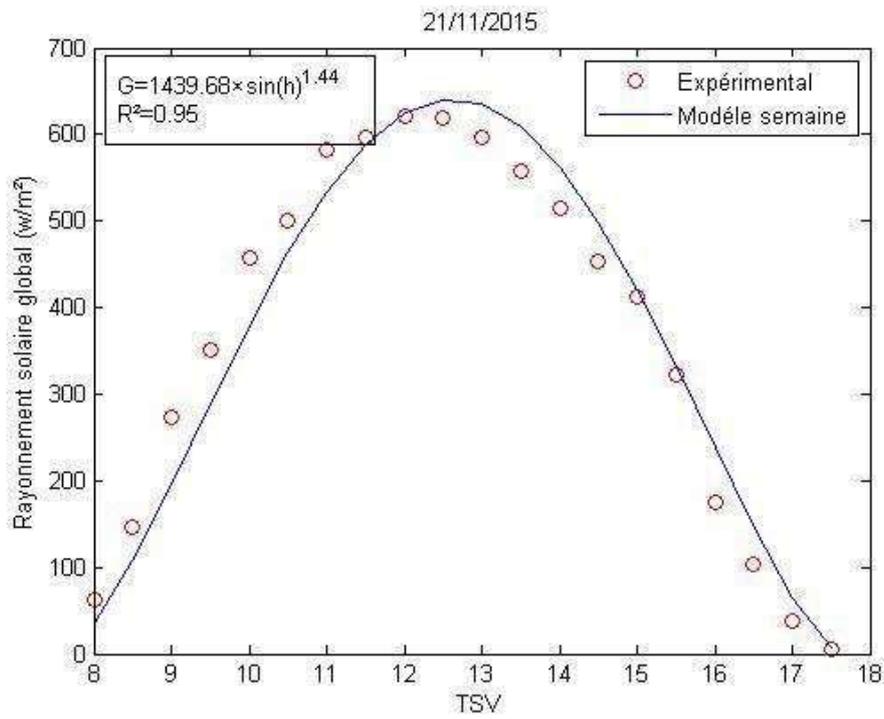


Figure.I.18: Comparaison : Rayonnement global modèles proposés -expérimental.[7]

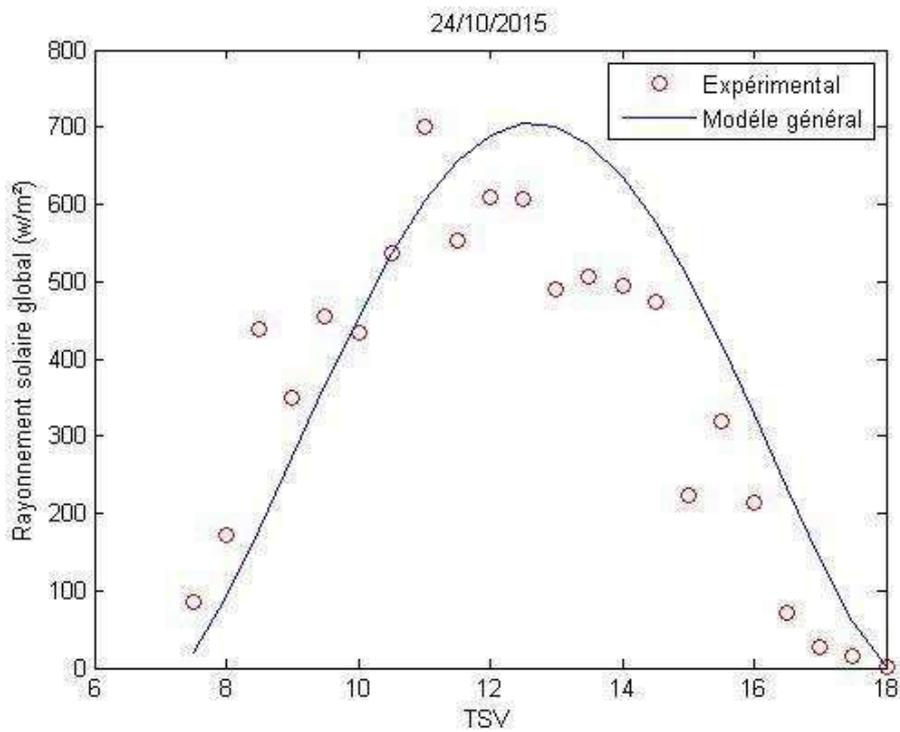
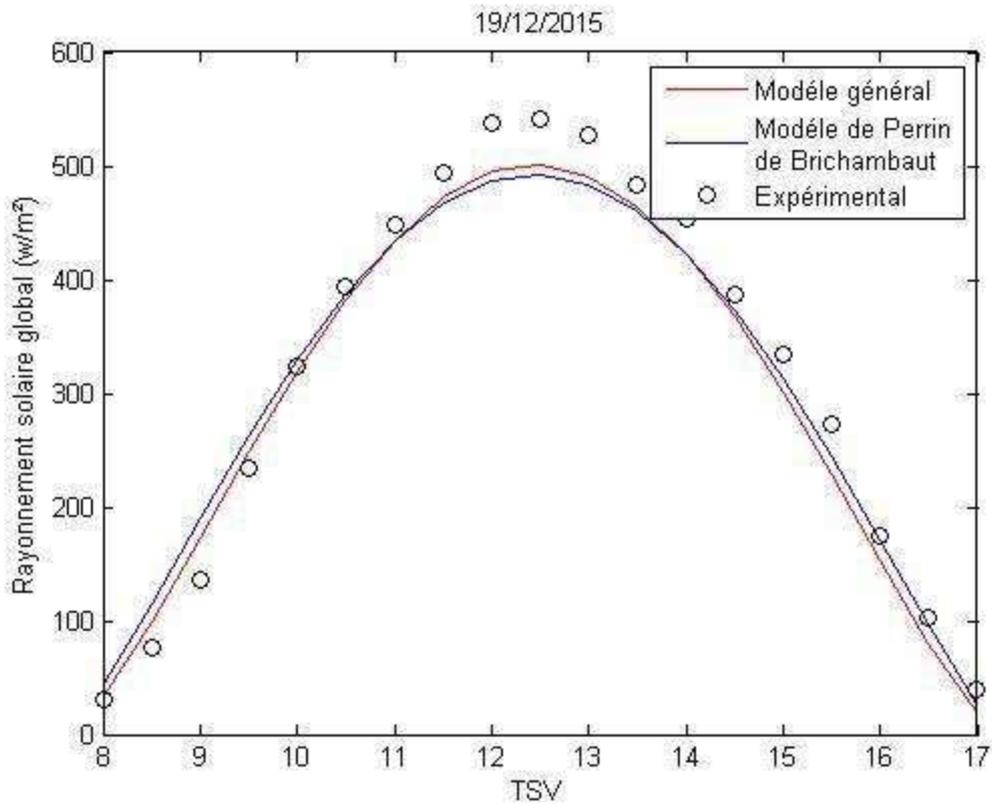
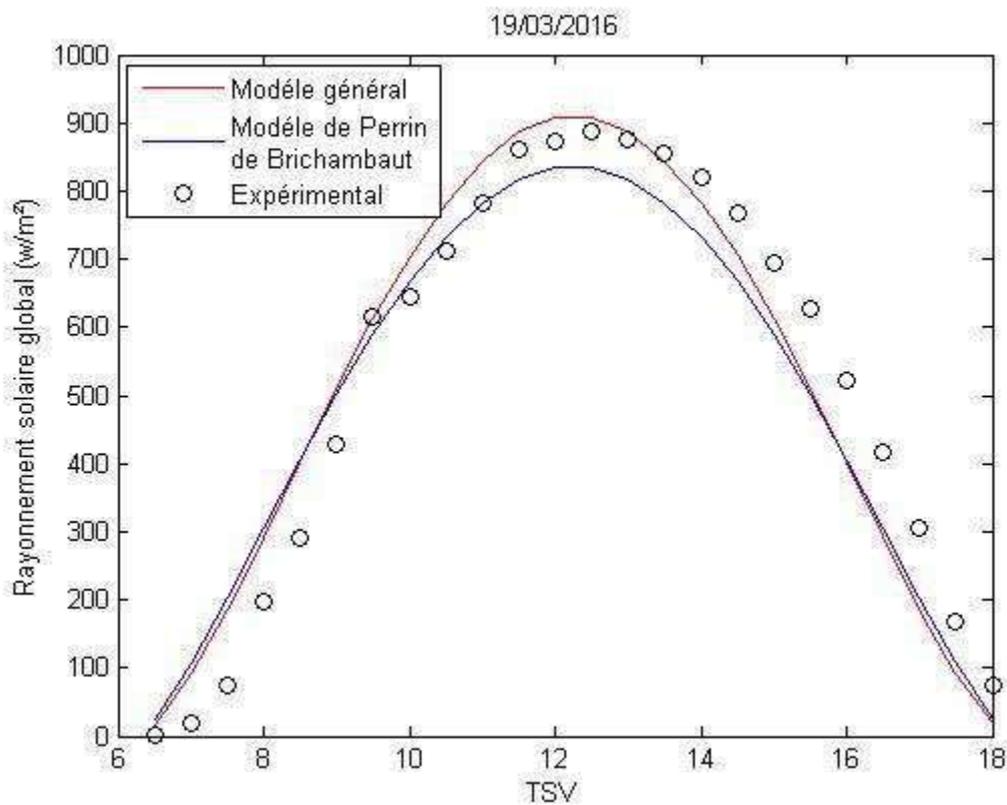


Figure.I.19: Comparaison avec le modèle général établi.

La figure ci-dessus montre une dispersion des données expérimentales due probablement aux passages nuageux.



Figures.I. 20: Comparaison du modèle général avec celui de Perrin de Brichambaut.



Figures.I.21: Comparaison du modèle général avec celui de Perrin de Brichambaut.[7]

BOUCETTA Lakhdar et al (2017), [8], ont présenté une estimation du rayonnement solaire à l'aide du modèle de l'Atlas Solaire de l'Algérie. L'évaluation à long terme des

performances des systèmes de distillation solaire s'établit par l'intermédiaire des programmes de simulation numérique qui nécessitent la connaissance des paramètres météorologiques et radiométriques à faible pas du temps ou à pas variable, tels que la température ambiante, la vitesse de vent et l'éclairement solaire. L'utilisation des modèles de rayonnement solaire reste pratiquement l'un des seuls moyens pour pallier au problème des données radiométriques à cause de la rareté des stations radiométriques sur le territoire national. Dans ce contexte, un programme informatique écrit en MATLAB a été développé en utilisant le modèle de rayonnement solaire proposé par Capderou en 1987 dans l'Atlas Solaire de l'Algérie pour un ciel totalement clair. L'application permet d'estimer l'ensemble du rayonnement solaire incident pour différentes inclinaisons et orientations dans la région d'Ouargla. Des excellents accords ont été observés quand ce modèle est validé par des données expérimentales.

Présentation de la configuration étudiée:

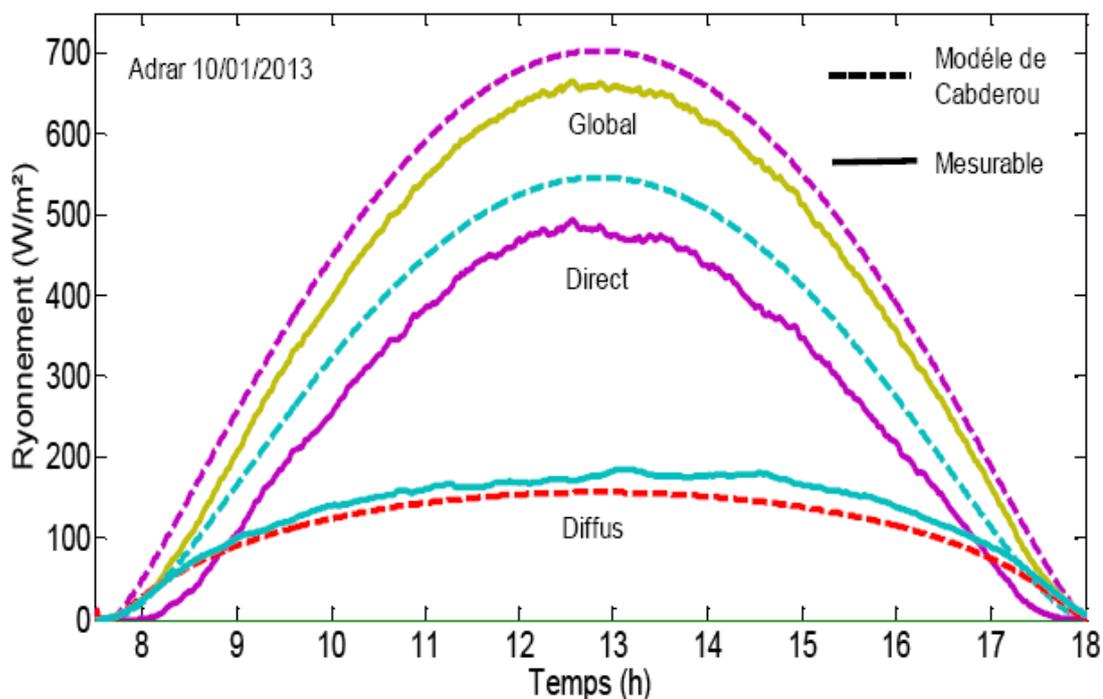


Fig.I.22: Comparaison des résultats pour une journée d'hiver

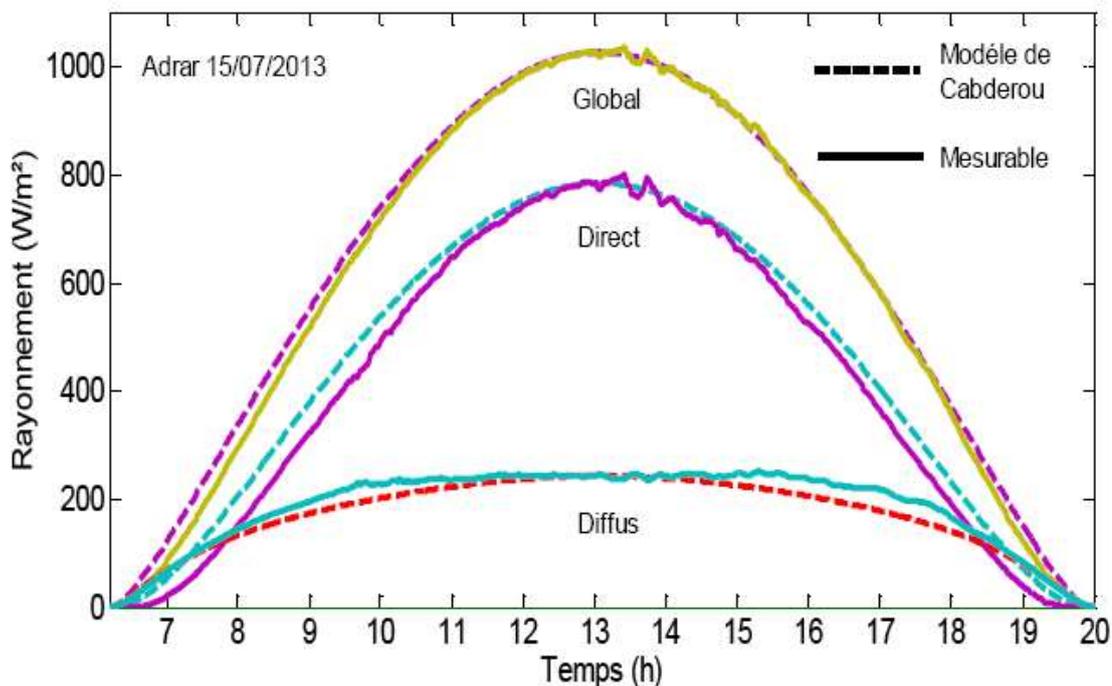


Fig.I.23: Comparaison des résultats pour une journée d’été

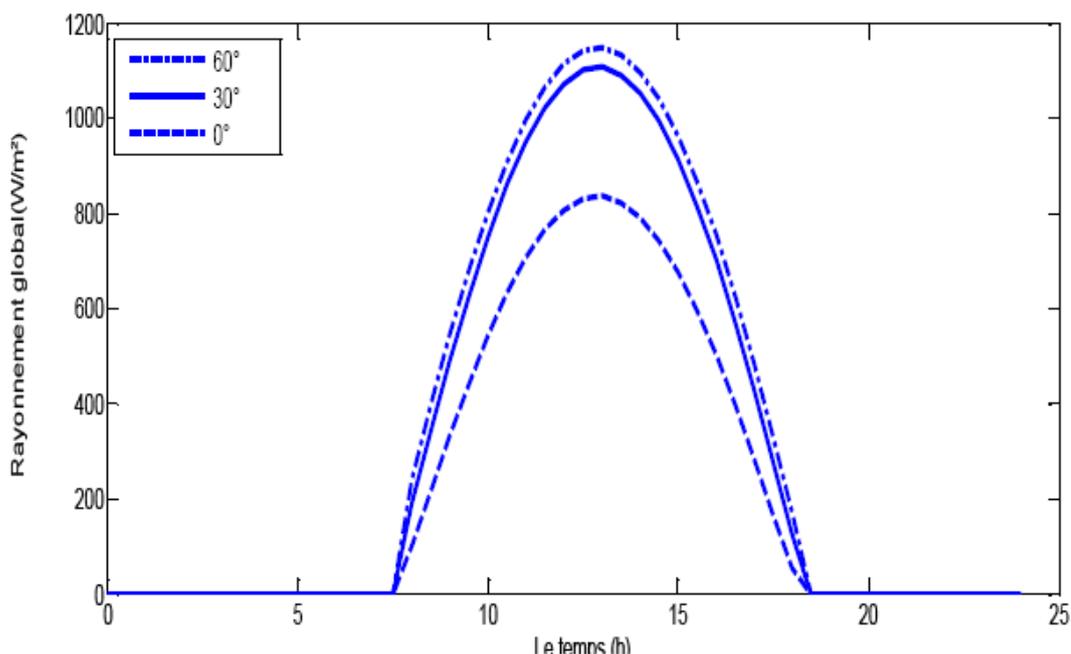


Fig.I.24: Variation du rayonnement direct en fonction de l’angle d’inclinaison

MECHRAOUI MOHAMED YAZID et al (2017) ,[9], ont mené une étude comparative de deux modèles de calcul du rayonnement solaire par ciel claire en Biskra . Dans ce travail, ils ont proposé un modèle pour prévoir selon divers contextes le rayonnement solaire global des valeurs mesurées sur un site algérien et des valeurs estimées par des modèles théorique proposés par divers chercheurs. Dans lesquels des données météorologiques et radiométriques sont continuellement collectées. Quant aux modèles théorique choisis, un modèle de ces modèle

(Capderou, Perrin Brichambaut ...) est celui qui sert de référence aux concepteurs de systèmes solaires en Algérie est le modèle de Perrin Brichambaut. Dans notre étude expérimentale nous avons simulé le modèle élaboré par étude comparative avec le modèle de Perrin Brichambaut, a montré que les résultats expérimentaux sont en bon accord avec celles données par le modèle élaboré qui est en concordance avec celui de Perrin de Brichambaut. Qui présente une meilleure estimation de rayonnement solaire global avec une faible erreur entre les valeurs mesurées et celles calculées. L'ensemble d'études a été fait pour le site de Biskra, sur quelque plan horizontal et incliné.

Résultats obtenus:

IV.4.3. Comparaison entre les deux modeles et l'expérimental (Avril) :

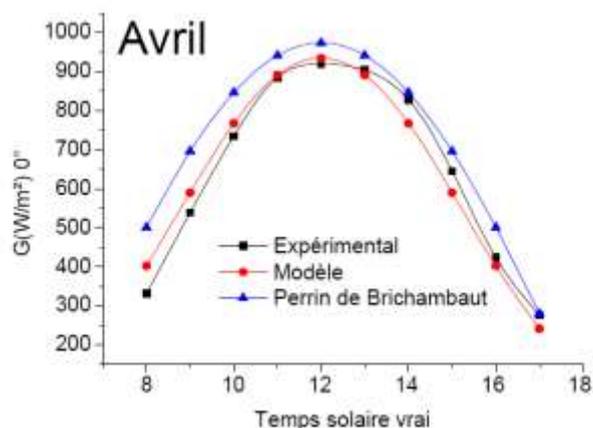


Fig .I.25: Comparaison: Expérimental – Perrin de Brichambaut Avril pour le cas d'angle d'inclinaison β = 0°.

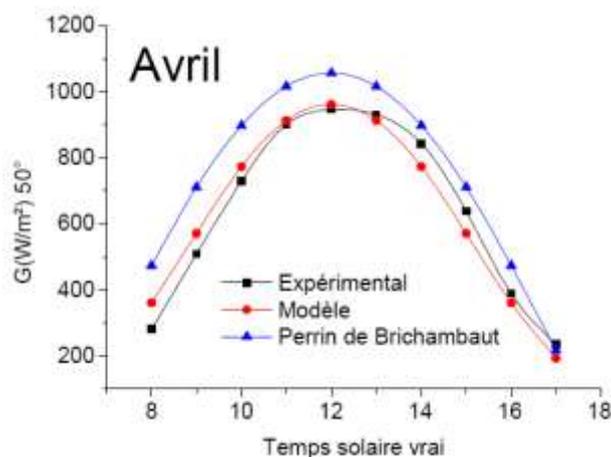


Fig .I.26: Comparaison: Expérimental – Perrin de Brichambaut Avril pour le cas d'angle d'inclinaison β = 50°.

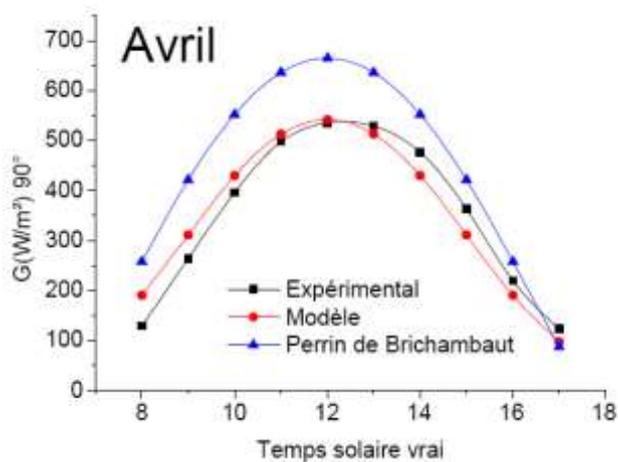


Fig.I.27: Comparaison: Expérimental – Perrin de Brichambaut » Avril pour le cas d'angled'inclinaison $\beta = 90^\circ$.



Chapitre II



Paramètres de fonctionnement

II. Introduction :

La transformation du rayonnement solaire en énergie thermique s'appuie sur des systèmes dits capteurs solaires. Cette énergie est utilisée directement en s'appuyant sur des systèmes dits passifs en la stockant dans des éléments de construction (véranda, serre, façade vitrée) ou indirectement par l'intermédiaire de systèmes dits actifs par le biais d'un fluide caloporteur qui peut être de l'eau, un liquide anti-gel ou même de l'air.

II.2.1 Energie solaire :

Le solaire thermique actif permet de récupérer la chaleur du rayonnement solaire au sein d'un fluide, parfois de l'air, le plus souvent de l'eau, par la mise en œuvre de capteurs solaires. Ces techniques peuvent assurer la production d'eau chaude sanitaire ou d'eau distillée, le chauffage des piscines et des habitations ainsi que le séchage de céréales.

Grâce à divers procédés, elle peut être transformée en une autre forme d'énergie utile pour l'activité humaine, notamment en chaleur, en électricité ou en biomasse. Par extension, l'expression « énergie solaire » est souvent employée pour désigner l'électricité ou la chaleur obtenue à partir de cette dernière. [10]

Le solaire thermique actif permet de récupérer la chaleur du rayonnement solaire au sein d'un fluide, parfois de l'air, le plus souvent de l'eau, par la mise en œuvre de capteurs solaires. Ces techniques peuvent assurer la production d'eau chaude sanitaire ou d'eau distillée, le chauffage des piscines et des habitations ainsi que le séchage de céréales.

II.2.2. Principales applications :

La production d'eau chaude sanitaire est peut-être l'application la plus répandue de l'énergie solaire thermique, dans ces systèmes, on peut utiliser aussi bien la circulation naturelle (thermosiphon) que la circulation forcée (pompes de circulation), de diverses configurations. En Europe et selon le climat il y a environ 40 à 70% des besoins énergétiques annuels qui peuvent être satisfaits par les collecteurs solaires de sorte qu'un chauffage d'appoint est toujours nécessaire. Or le chauffage des locaux peut se faire avec des collecteurs à eau ou à air, les systèmes peuvent être simples ou relativement complexes, on peut utiliser aussi bien le stockage inter saisonnier que le stockage à court terme.

Les systèmes sont pour la plupart développés pour satisfaire uniquement à une partie de la demande de chaleur ; étant donné le climat, un système qui couvrirait totalement les besoins est pratiquement impossible à réaliser, l'idéal est de coupler l'installation solaire avec une installation de distribution de la chaleur à basse température dans l'habitation. Une des manifestations les plus évidentes du rayonnement solaire est la chaleur qu'il apporte aux dispositifs qui

convertissent ce rayonnement solaire en chaleur, soit parce que le but recherché est justement la production de chaleur, soit parce qu'on la considère comme une étape intermédiaire dans la production d'énergie électrique. [11]

II.2.3. les capteurs solaires :

Le fonctionnement de ces systèmes repose sur l'effet de serre, qui réside dans le fait qu'un matériau peut être transparent pour le rayonnement solaire et opaque au rayonnement infrarouge [10].

On distingue deux types de capteurs solaires :

- Capteurs solaires thermiques, sans concentration.
- Capteurs solaires à concentration.

II.2.3.1. Les capteurs solaires thermiques :

Ce sont des dispositifs conçus pour recueillir l'énergie provenant du soleil et la transmettre à un fluide caloporteur.

Il existe différents types de capteurs solaires thermiques selon la géométrie, la nature du fluide caloporteur utilisé et le niveau de température qu'ils permettent d'atteindre. On peut citer :

➤ Capteurs solaires thermiques plans

Il sont principalement constitués d'un coffre rigide et vitré à l'intérieur duquel une plaque et des tubes métalliques noirs (absorbeur) reçoivent le rayonnement solaire et chauffent un liquide caloporteur, ce coffre est isolé à l'arrière et sur les côtés, (figure .1).



Figure II.1 : Capteur plan

Les capteurs plans ont de nombreux avantages, dont une technologie simple et un coût relativement bas. De plus, certains ont un rendement supérieur aux capteurs tubulaires, résultant du fait que les rayons solaires atteignent plus facilement l'absorbeur.

On distingue principalement deux catégories de capteurs plans :

❖ Les capteurs plans à caloporteur liquide

Le fluide caloporteur est généralement de l'eau. Ces capteurs se répartissent en deux types, les capteurs plans non-vitrés de structure très simple (réseau de tubes plastiques noirs), utilisés généralement pour le chauffage des piscines, et les capteurs plans-vitrés dans lesquels le

fluide, eau ou antigel, passe dans un serpentin derrière une vitre. Néanmoins le rendement de ces derniers n'est bon qu'en période estivale.

❖ Les capteurs plans à caloporteur gazeux

Le fluide est généralement de l'air. La différence essentielle par rapport aux capteurs à caloporteur liquide est que le coefficient d'échange par convection forcée entre le fluide et l'absorbeur est beaucoup plus faible (on utilise un absorbeur de grande surface, ou encore des ailettes placées sous l'absorbeur).

➤ Les capteurs tubulaires (capteurs sous vide)

Ils sont constitués de tubes transparents généralement en verre, comportant un espace vide d'air entre la paroi extérieure de chaque tube et son absorbeur, (figure 2).

Le vide étant un isolant presque parfait, les déperditions thermiques convectives de l'absorbeur sont ainsi quasiment éliminées. De plus, la forme tubulaire permet de réaliser un vide d'air, conduisant à une meilleure résistance à la pression atmosphérique qu'un vitrage de forme plane.



Figure .II.2: Schéma de tubes transparents en verre.

II.2.3.2. Les capteurs à concentration :

C'est un capteur solaire comportant un système optique (réflecteurs) destiné à concentrer sur l'absorbeur (circuit échangeur) le rayonnement solaire.

Ce type de capteur focalise le rayonnement solaire reçu sur l'absorbeur de manière à accroître l'intensité des rayons solaires et d'obtenir des températures élevées, entre 400 °C et 1000 °C. La chaleur solaire produit de la vapeur qui alimente généralement une turbine [12]

II.2.4. Performances d'un capteur solaire :

La performance d'un capteur solaire dépend de nombreux facteurs (l'intensité du flux solaire, la technologie,...), néanmoins l'irradiation solaire demeure la plus importante. Cette dernière est elle-même étroitement liée à de nombreux paramètres, dont l'heure, la saison, l'altitude, l'orientation, l'état du ciel, etc [10].

L'amélioration du rendement se base, essentiellement sur la réduction des pertes convectives (isolement par le vide), et par rayonnement (optimisation des corps noirs et de verre). De plus la géométrie des capteurs à tube permet également une surface d'absorption indépendante de l'angle d'incidence du rayonnement solaire.

En outre d'autres solutions peuvent contribuer à l'amélioration des systèmes solaires, à savoir :

- Les vitres traitées, qui laissent passer jusqu'à 95% de la lumière grâce à leur faible teneur en oxyde de fer (Fe_2O_3).
- Les tubes transparents « sous vide », afin d'éviter les déperditions thermiques Convectives de l'absorbeur.
- Des assemblages tube-ailettes, parfaitement solidaires, pour augmenter la surface d'échange, au cas où le fluide caloporteur est de l'air.
- Les surfaces nervurées, pour intensifier le transport thermique, en augmentant la surface d'échange. On obtient cet effet par l'application de nervures droites, longitudinales ou inclinées sur des surfaces planes.
- les surfaces sélectives (absorbeur), qui absorbent le rayonnement visible, mais réémettent peu dans l'infrarouge (rayonnement de l'absorbeur, corps noir à basse température).

II.2.5. Avantages :

II.2.5.a. Avantages :

L'utilisation thermique de l'énergie solaire présente, outre tous les avantages des énergies renouvelables, des avantages qui lui sont propres à savoir :

- Les technologies à mettre en oeuvre pour utiliser l'énergie solaire thermique sont aisément maîtrisables et adaptables aux situations de toutes les Régions.
- Les techniques et les matériaux utilisés sont similaires à ceux employés dans le secteur traditionnel du chauffage, du sanitaire et des verrières.
- La main d'oeuvre ne nécessite qu'une formation complémentaire aisément maîtrisable.
- Il s'agit d'une forme modulable de production d'énergie que l'on peut adapter en fonction de ses besoins.
- Les frais de maintenance sont réduits. Si l'entretien des installations ne doit pas être négligé, les frais de maintenance et donc de fonctionnement sont cependant relativement faibles.

II.2.5.b. Limites et inconvénients :

L'énergie solaire thermique active a toutefois certaines limites: Elle est variable dans le temps. Sous les climats tempérés, cette variation est surtout importante en fonction des saisons. Ceci entraîne une nécessité de stocker cette énergie, ce qui augmente considérablement le coût

des installations. C'est une énergie diffuse. La puissance disponible par unité de surface est relativement limitée ; ceci rend difficile une réponse à des besoins importants (grands ensembles d'appartements, par exemple).

II.2.6. L'énergie renouvelable en Algérie et à la sud algérienne réalité et avenir pour un développement durable :

La puissance moyenne reçue du soleil par la terre est d'environ 20 % du flux lumineux compte tenu du Jour et de la nuit, de la latitude de l'endroit, des saisons et de la couverture nuageuse. L'utilisation des énergies renouvelables en Algérie, n'a pas dépassé le seuil d'expérience durant trois décennies d'indépendance. Malgré la situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde.

La durée d'insolation sur la quasi totalité du territoire national dépasse annuellement les 2000 heures et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m² est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 KWhm² an Nord et 2263 KWhm² an au Sud . Au sud algérien, les premières expériences ont été effectués au début des années quatre-vingt où la première station d'énergie soleil a été installée à Melouka par une société du royaume de Belgique. La station est aujourd'hui à l'arrêt, le recours aux énergies renouvelables au sud algérien est indispensable et prioritaire dans tout développement durable de la région. [13]

II.2.7. Les paramètres caractérisant le fonctionnement d'un capteur plan :

Les paramètres caractérisant le fonctionnement d'un capteur plan peuvent être classés en deux catégories : les paramètres externes et les paramètres internes.

II.2.7.1. Les paramètres externes :

Les principaux paramètres externes qui peuvent intervenir directement sur les performances d'un capteur plan sont :

- ✓ Paramètre d'enseillement : le rayonnement solaire, position du soleil, durée d'insolation, ...etc
- ✓ Température ambiante
- ✓ Vitesse du vent

II.2.7.2. Les paramètres internes :

Paramètres géométriques :

- ✓ Les paramètres de position : angle d'inclinaison, orientation du capteur.
- ✓ La surface du capteur
- ✓ Les dimensions de différents éléments : épaisseur, longueur et largeur

Paramètres de fonctionnement :

- ✓ La température d'entrée du fluide caloporteur
- ✓ Le débit massique du fluide caloporteur
- ✓ Les températures des différents éléments du capteur

Ces paramètres sont très importants. Ils permettent, en tenant compte du coût, d'avoir une température de sortie du fluide élevée (puissance utile élevée). En d'autres termes ; un meilleur rendement du capteur [6].

II.2.8: Paramètres gouvernants le fonctionnement d'un capteur solaire plan :

Durant la conception et pour le bon fonctionnement d'un système de conversion thermique ou photovoltaïque de l'énergie solaire, il est important de tenir compte de tous les paramètres intérieurs et extérieurs au système et qui interviennent directement ou indirectement lors de son fonctionnement. Ces paramètres sont classés en deux :

II.2. 8. 1 : Paramètres d'environnement [14]:

Flux incident : les performances d'un capteur solaire augmentent en fonction du flux solaire global incident, celui-ci est constitué d'une composante directe et d'une composante diffuse dont le pourcentage est variable. Le rendement optique du capteur ($\tau\alpha$) dépend sensiblement de l'angle d'incidence du rayonnement incident, par contre il diminue quand le pourcentage du rayonnement diffus augmente.

Vitesse du vent : la vitesse du vent apparaît dans le coefficient d'échange par convection entre la vitre et l'environnement extérieur qui caractérise les pertes thermiques par effet de convection. Les pertes thermiques par l'avant sont proportionnelles à la vitesse du vent extérieur, c'est pourquoi la connaissance des données météorologiques est importante.

Température avant et arrière du capteur.

Température ambiante et température du ciel : En effet quand la température extérieure diminue, la température du ciel diminue aussi et les échanges convectifs entre la vitre et l'air ambiant augmentent.

II.2. 8. 2. Paramètres structurels du capteur :

Orientation du capteur sur l'horizontale (Inclinaison).

Température d'entrée du fluide caloporteur : il est souhaitable que la température d'entrée de l'air à l'entrée du capteur soit la plus faible possible afin de diminuer la moyenne, d'autre part la quantité de chaleur véhiculée par le fluide caloporteur dépend de l'écart de température qui existe depuis l'entrée du capteur jusqu'à la sortie de celui-ci

Débit du fluide caloporteur.

Nature du fluide caloporteur : Par rapport aux capteurs à eau, l'utilisation de l'air comme fluide caloporteur est susceptible de réduire le coût de fabrication et de l'entretien, ce choix se justifie par les faits suivants :

L'air comme fluide caloporteur ne pose pas le problème de corrosion ni d'étanchéité. L'eau, comme fluide caloporteur dans certains cas d'utilisations, nécessite l'addition d'une solution d'antigel évitant dans des conditions défavorables des surpressions provoquées par l'eau gelée dans les conduites de circulation surtout en période d'hiver ou la température ambiante est inférieure à 0° C .

Par rapport à l'eau l'air a les avantages suivants :

- Pas de problème de gel l'hiver ou d'ébullition l'été lorsque le soleil est fort.
- Avec de l'air sec, il n'y a pas de problème de corrosion.
- Toute fuite est sans conséquence.

Mais son utilisation entraîne les inconvénients suivants :

- L'air ne peut servir qu'au chauffage des locaux, le séchage des produits agro-alimentaire et le stockage de la chaleur.
- Le produit de la masse volumique ρ par la chaleur spécifique C_p est faible :
 $\rho C_p = 1225 \text{ J/m}^3 \cdot \text{K}$ pour l'air contre $4.2 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3 \cdot \text{K}$ pour l'eau.
- Les conduites doivent avoir une forte section pour laisser passer un débit suffisant.[14]

II.2.9. Influence du rayonnement solaire incident :

La variation du rendement du capteur en fonction du temps au cours d'une journée du lever au coucher du soleil est donnée dans la figure (II.3). Il est à noter l'existence de trois phases : de 07h jusqu'à presque 10h30mn, pour laquelle le rendement augmente en fonction de du rayonnement solaire, ensuite il est pratiquement constant au cours de la deuxième phase qui s'étend jusqu'à 15h et à partir de cet instant le rendement commence à décroître jusqu'au coucher du soleil où le rayonnement solaire s'annule.

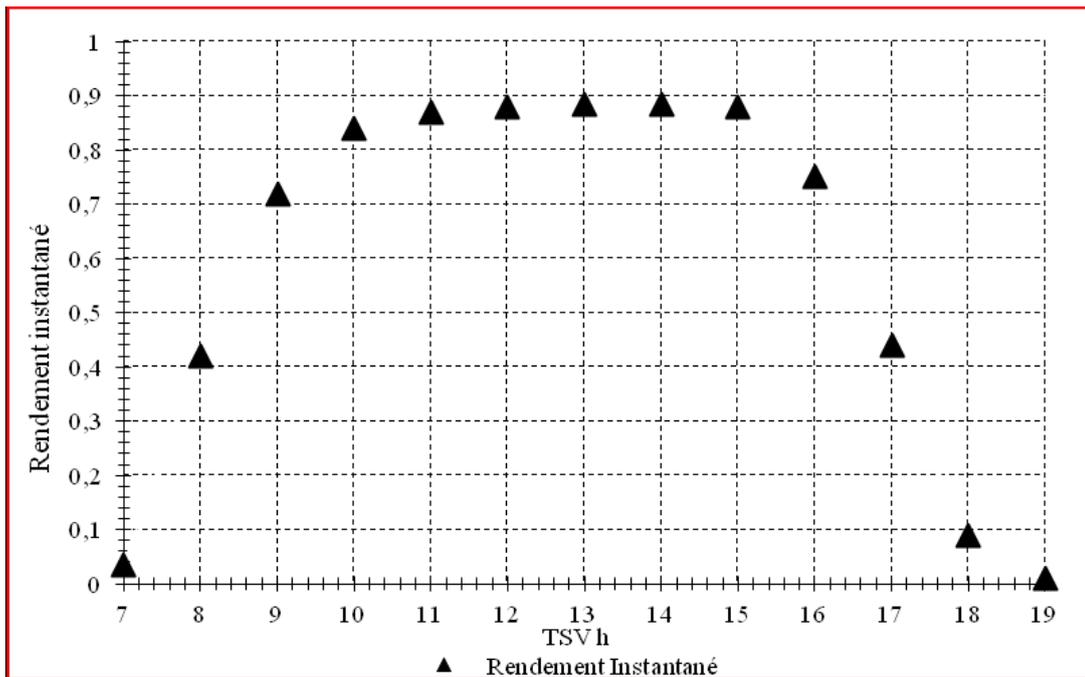


Figure II.3: Evolution temporelle du rendement instantané du capteur

Donc les performances du capteur augmentent en fonction du flux solaire global incident, celui-ci est constitué d'une composante directe et d'une composante diffuse dont le pourcentage est variable. Le rendement optique du capteur ($\tau \cdot \alpha$) sensible à l'angle d'incidence, diminue quand le pourcentage du rayonnement diffus augmente.

II.2.10. Influence de la température ambiante sur le rendement

La figure (II.4) montre l'influence, en fonction du rayonnement solaire incident, de la température ambiante sur le rendement du système. Des valeurs de température allant de 25°C jusqu'à 40°C sont considérées. On remarque qu'aux petites valeurs du rayonnement, le rendement augmente avec la température ambiante. Ensuite cette augmentation se voit moins pour des grandes valeurs du rayonnement incident. L'efficacité du système augmente avec

l'élévation de la température du milieu environnant. Ceci est dû au fait que pour une température du milieu ambiant grande un écart moins entre cette dernière et celle du système, donc moins de pertes thermiques.

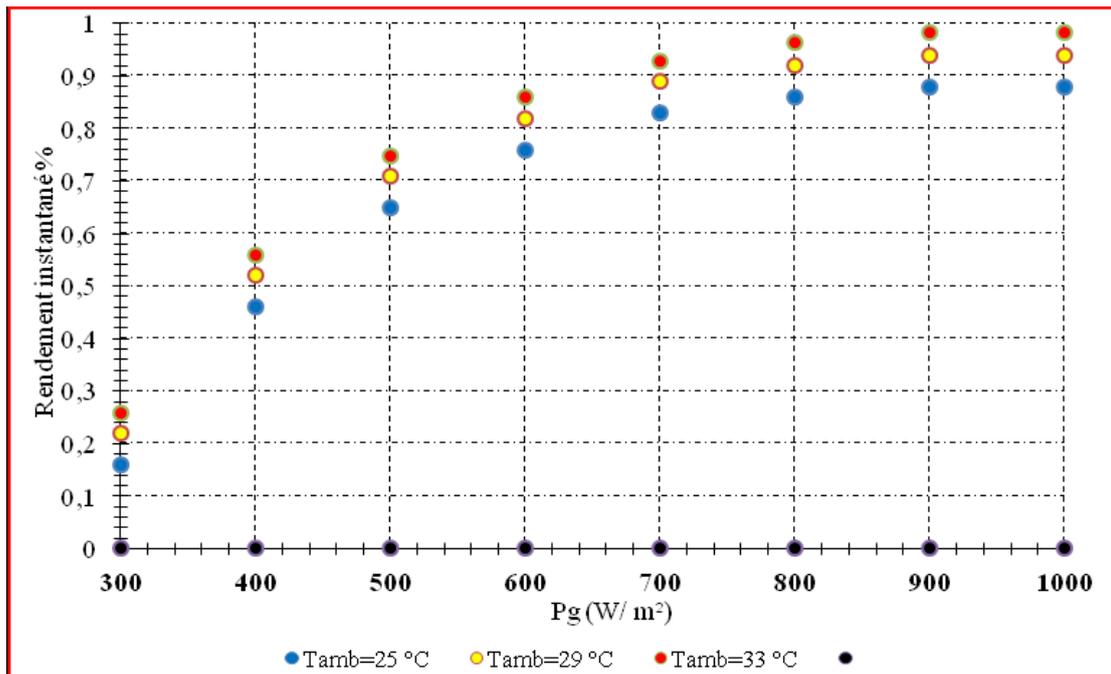


Figure II.4: Evolution du rendement en fonction de la température ambiante

II. 2.11. Influence de la vitesse du vent :

La chaîne énergétique solaire (capteur-armoire) est exposée directement aux conditions réelles climatiques extérieur. Le vent est un facteur qui affecte le fonctionnement de ce système. La figure (II.5) traduit cette influence. On a remarqué qu' au début de fonctionnement du système, c'est-à-dire pour des valeurs faibles du rayonnement solaire, les valeurs faibles de la vitesse du vent sont en faveur de l'efficacité alors que pour des valeurs supérieures, la vitesse du vent influe en défaveur du rendement. Ceci est en grande partie dû à un abaissement de la température du vitrage, ceci conduit à un écart plus ou moins important entre sa température et celle de l'absorbeur.

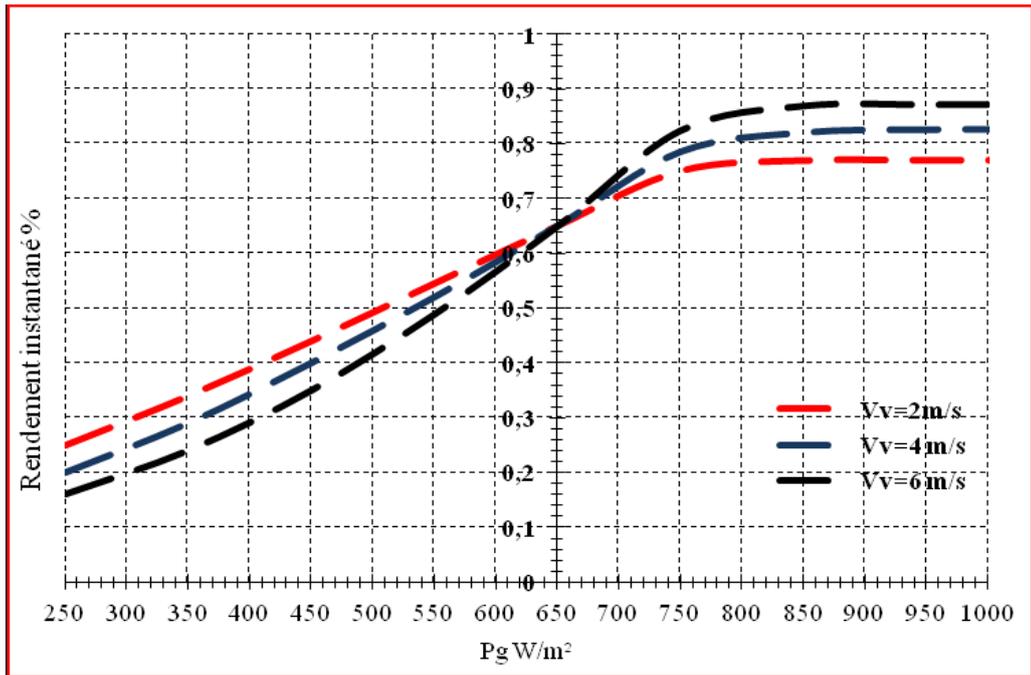


Figure II.5: Evolution du rendement instantané en fonction de la vitesse du vent

II.1.12. Influence de la nature du matériau de l'absorbeur sur le rendement :

La nature du matériau utilisé dans la conception des convertisseurs thermiques de l'énergie solaire a une grande influence sur son efficacité. La figure (II.6) traduit l'évolution de l'efficacité instantanée du capteur en fonction de la variation de la puissance solaire pour trois différents types de matériaux utilisés comme absorbeurs. On voit clairement que le rendement du capteur est plus important pour le cas d'un absorbeur en acier.

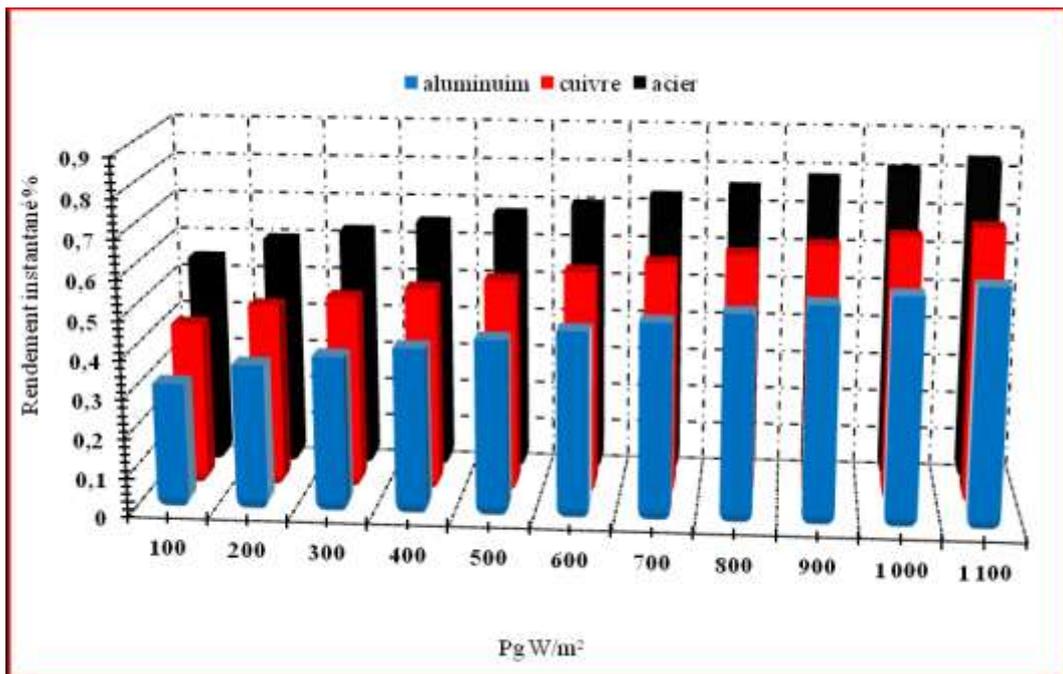


Figure II.6: Variation du rendement instantané en fonction de la matière de l'absorbeur

Conclusion :

La caractérisation d'un site est la première phase du projet solaire. Il s'agit d'une description temporelle et spatiale de l'évolution du rayonnement solaire disponible. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement probable d'un système énergétique solaire et donc faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu des demandes à satisfaire. La technologie des systèmes solaires thermique est très vaste. La classification de ces systèmes peut être faite selon plusieurs critères : Températures fournies, géométrie, fluide caloporteur.

A decorative scroll graphic with a white background and a black outline, featuring a small grey circle at the top right corner. The text "Chapitre III" is centered within the scroll.

Chapitre III

A decorative rounded rectangle graphic with a white background and a black outline, containing the text "Etude de l'influence de l'inclinaison sur les paramètres de Fonctionnement".

Etude de l'influence de
l'inclinaison sur les
paramètres de
Fonctionnement

III. 1. Introduction :

Le soleil est une sphère de plasma, semblable à un réacteur nucléaire, c'est le siège de réaction thermonucléaire de la fusion du noyau d'hydrogène qui donne naissance à un noyau d'hélium. Cette réaction produit une énergie énorme à tel point que la petite fraction que nous en recevons chaque jour sur Terre à plus de 150 millions de kilomètres suffirait à subvenir aux besoins en énergie de l'ensemble de l'humanité pendant environ 30 ans.

III. 3.1 Le gisement solaire en Algérie :

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire [16].

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisement solaire énorme comme le montre la figure .III.1 :

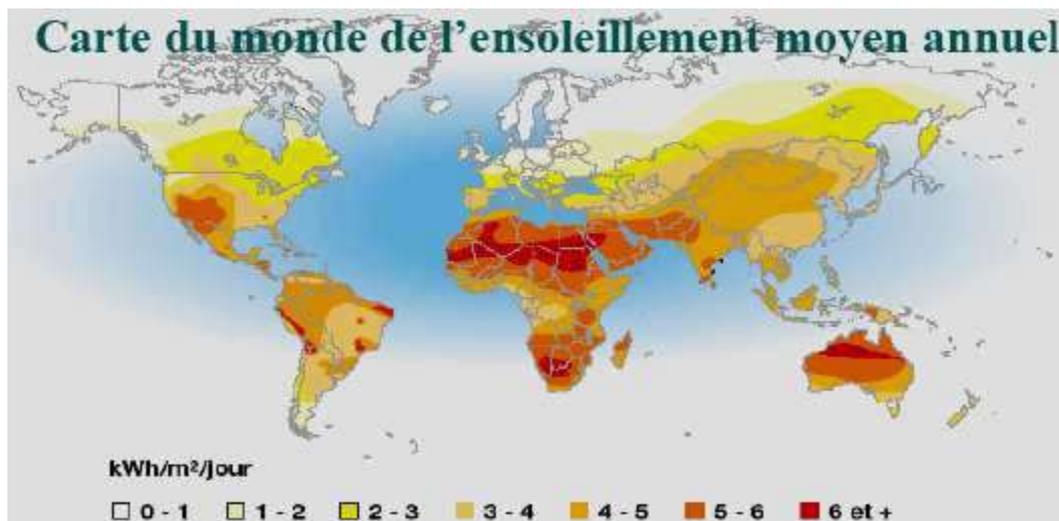


Figure .III.1 : Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel [16].

Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque. Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à Hassi R'Mel. La répartition du potentiel solaire par région climatique au niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau 1.2 selon l'ensoleillement reçu annuellement [7]

Régions	Régions côtières	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moy. d'ensoleillement (h/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (kWh/m ² /an)	1700	1900	26500

Tableau .III.1 : Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques [16].

La durée d'insolation dans le Sahara algérien est de l'ordre de 3500h/an est la plus importante au monde, elle est toujours supérieure à 8h/j et peut arriver jusqu'à 12h/j pendant l'été à l'exception de l'extrême sud où elle baisse jusqu'à 6h/j en période estivale.

La région d'Adrar est particulièrement ensoleillée et présente le plus grand potentiel de tout l'Algérie (figure.III.3) [16].

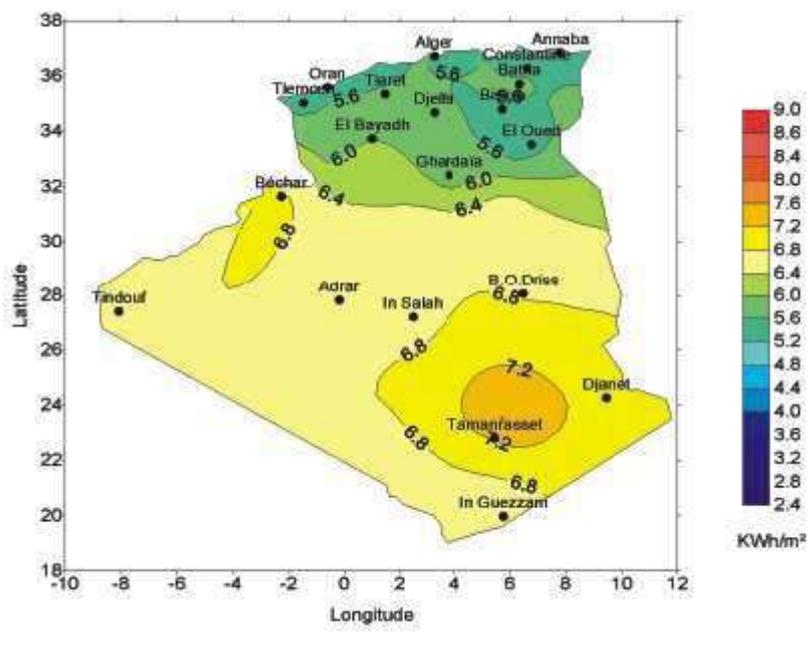


Figure.III.2: Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu [16].

III.3.2. Mouvement de la terre autour du soleil :

La terre décrit une ellipse dans son mouvement autour du soleil. La révolution complète s'effectue en une période de 365,25 jours. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique.

La terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles. Cette rotation s'effectue en une journée. L'axe des pôles et l'écliptique font entre eux un angle appelé déclinaison, il est égal à 23°27'.

C'est au solstice d'hiver (21 décembre) que la terre est la plus proche du soleil : 147 millions de km. Au 21 juin la distance terre-soleil est de 152 millions de km, c'est le jour où la terre est la plus éloignée, c'est le solstice d'été. Le 21 mars et le 21 septembre sont appelés respectivement équinoxes de printemps et équinoxes d'automne. Aux équinoxes le jour et la nuit sont égaux[6].

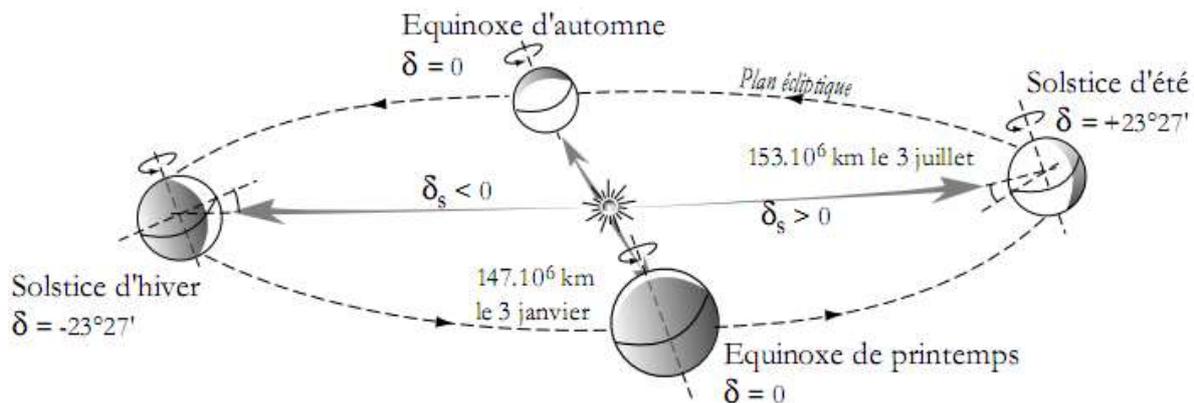


Figure . III.3 : Mouvement de la terre autour du soleil [6].

III.3.3. Mouvement apparent du soleil :

Le mouvement que paraît faire le Soleil en une journée vu par un observateur situé sur Terre est appelé "Le mouvement apparent du Soleil". En dehors des régions polaires, de l'Equateur et des tropiques :

- Le matin ; le Soleil est à l'Est, bas sur l'horizon, c'est le « lever du Soleil »
- A midi ; le Soleil est positionné au Sud ou au Nord, et il est au plus haut de son trajet apparent ;
- Le soir ; le Soleil apparaît à l'Ouest, bas sur l'horizon, c'est le « coucher du Soleil »

Le mouvement apparent du Soleil observé par un homme fixe en un point de latitude L au Nord de l'Equateur est schématisé sur la figure (1-3).

L'angle que fait la direction du Soleil avec la verticale du lieu au midi solaire est égal à (L-d).

La durée du jour est de 12h aux équinoxes, elle est inférieure à 12h entre le 21 septembre et le 21 mars, supérieure à 12 entre le 21 mars et le 21 septembre.

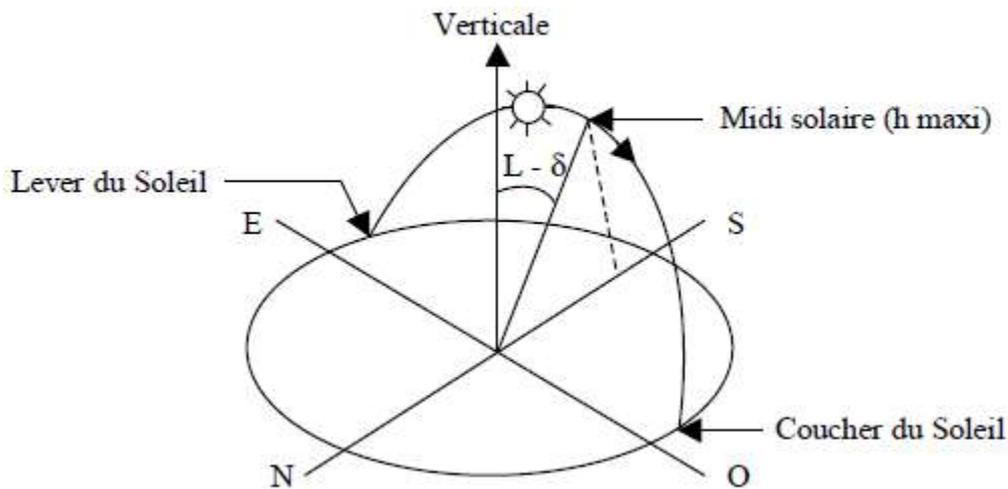


Figure .III. 4 :Mouvement apparent du Soleil observé d'un point de latitude L [6].

III.3.4. Rayonnement solaire :

Le rayonnement électromagnétique émis par le soleil est la manifestation externe des interactions nucléaires qui se produisent au coeur du soleil et de l'ensemble des interactions secondaires qu'elles génèrent dans son enveloppe, il constitue la quasi-totalité de l'énergie expulsée par le soleil, le rayonnement solaire est défini par différentes caractéristiques dont la plus importante est la constante solaire, qui est une donnée fondamentale indépendante des conditions météorologiques [17].

La deuxième caractéristique du rayonnement solaire est sa répartition spectrale, qui est à peu près celle d'un corps noir à 5800 K, le rayonnement solaire est une superposition d'ondes dont les longueurs vont de 0,25 micromètres à 4 micromètres [17].

La figure. 6 illustre le rayonnement solaire, ses fréquences et ses longueurs d'ondes.

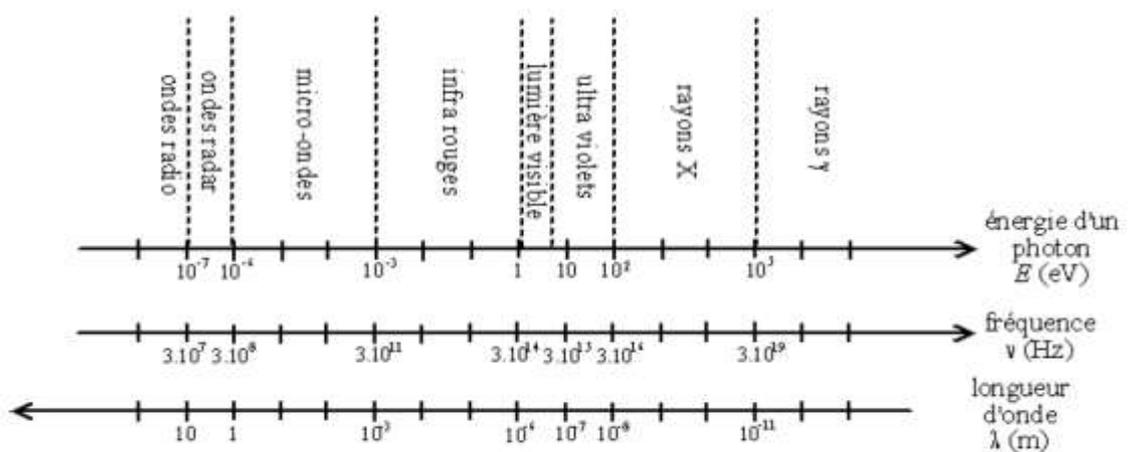


Figure.III.5 : Spectre solaire [17].

III.3.4.1 : Rayonnement solaire hors l'atmosphère :

Le rayonnement solaire hors atmosphère ne dépend que des paramètres astronomiques, il est caractérisé par une donnée fondamentale appelée constante solaire [17].

➤ constante solaire

La valeur du rayonnement solaire « I », reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires placée à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre (soit à environ 80 km d'altitude) varie au cours de l'année avec la distance terre-soleil, sa valeur moyenne « I₀ » appelée constante solaire est de l'ordre de 1354 W.m⁻², en première approximation, on peut calculer la valeur de « I » (voir figure 7), en fonction du numéro du jour de l'année « j » par la relation suivante [17]:

$$I = 1354 \times (1 + 0,033 \cdot \cos(J))$$

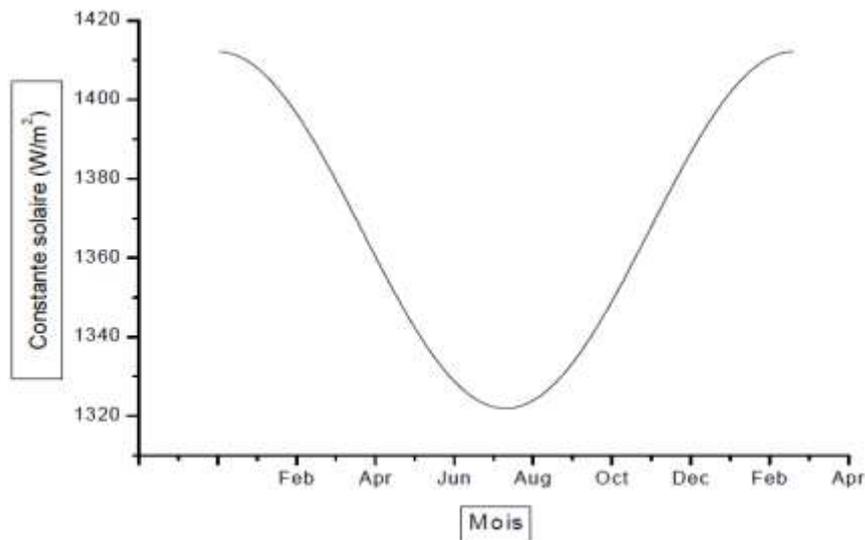


Figure.III.6 : Variation mensuelle de la constante solaire [17].

III.3.4.2. Rayonnement solaire reçu au niveau du sol :

L'atmosphère terrestre perturbe grandement et par des processus variés le flux de photons issu du soleil, donc après sa traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire peut être considéré comme la somme de deux composantes [17]:

➤ Rayonnement direct

Le rayonnement direct est celui qui traverse l'atmosphère sans subir de modifications, il provient du disque solaire seulement à l'exclusion de tout rayonnement diffusé, réfléchi ou réfracté par l'atmosphère [17].

➤ rayonnement diffus

Le rayonnement diffus est la part du rayonnement solaire provenant de toute la voûte céleste, à l'exception du disque solaire, et diffusé par les particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère, il n'a pas de direction privilégiée [17].

➤ **rayonnement global**

Le rayonnement global est le rayonnement reçu sur une surface horizontale provenant du soleil et de la totalité de la voûte céleste, il est la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus. La figure 8 illustre les différents composants du rayonnement solaire au niveau du sol [17].

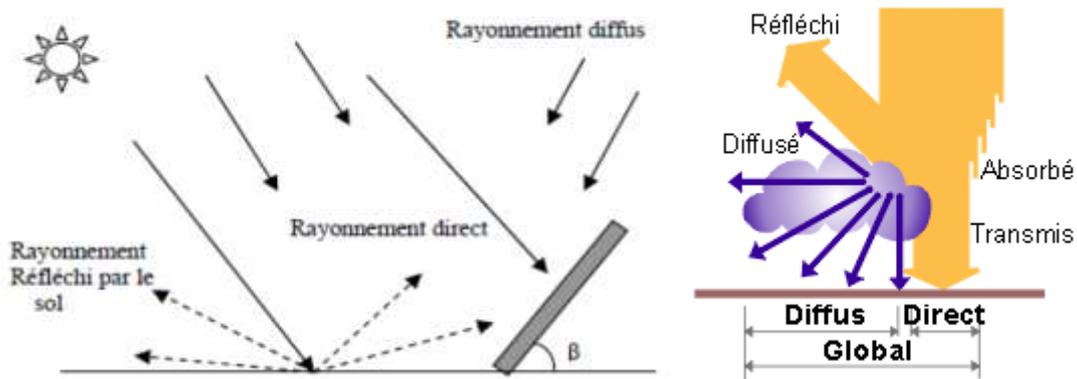


Fig III.7 : Composantes du rayonnement solaires [17].

III.3.5. Angle d'incidence du rayonnement solaire sur un plan quelconque (θ) :

C'est comment calculer l'angle (θ) entre un rayon arrivant directement du soleil et la normale à un plan quelconque (souvent ce plan représente la surface avant réceptrice du rayonnement solaire (insolateur par exemple) l'orientation du capteur solaire est définie par [17] :

- Son inclinaison (i): angle que fait le capteur avec le plan horizontal
- Son azimut (γ): angle que fait la normale à la surface du capteur et le plan méridien.

Les deux angles (i) et (γ) sont bien illustrés sur la figure 7.

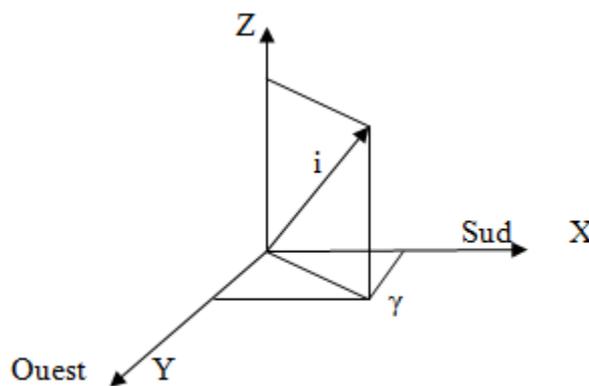


Figure.III.8 : Azimut (orientation) et inclinaison d'un plan quelconque [17].

$\gamma > 0$ vers l'ouest

$\gamma < 0$ vers l'est.

$\gamma = 0$, direction sud

L'angle peut être exprimé en fonction de

Au cours d'une journée (θ) est minimale au midi solaire vrai où l'angle (ω) est égal à 0° .

La surface de captage devrait toujours être orientée autant que possible perpendiculairement au rayonnement pour une exploitation optimale du rayonnement solaire. Cependant comme la position du soleil par rapport à la terre varie continuellement au cours d'une journée et d'une année, l'angle d'incidence du rayonnement sur le capteur (fixé sur un socle ou sur une toiture) varie également [17].

III.3.6. Angle d'inclinaison d'un capteur :

Surface horizontale : surface verticale :

Cet angle est souvent pondéré en fonction de l'application et de l'utilisation souhaitée [17]:

Un système qui fonctionne toute l'année devra être dimensionné en prenant les valeurs d'ensoleillement les plus défavorables. L'angle d'inclinaison sera égale à la latitude du lieu augmentée de 10° afin d'optimiser la performance hivernale. Un champ solaire destiné à fonctionner en période estivale verra son angle d'inclinaison positionné à la latitude du lieu diminuée de 10° .

Des inclinaisons moins fortes favorisent le gain solaire en été. Des inclinaisons plus fortes favorisent le gain solaire en hiver [17].

Orientation d'un plan :

Dans les applications solaires, le positionnement de la surface des dispositifs solaires (capteur plan par exemple) est essentiel. Deux angles sont importants à la définition d'un plan quelconque [17] :

L'inclinaison du plan : (β)

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° 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° [17].

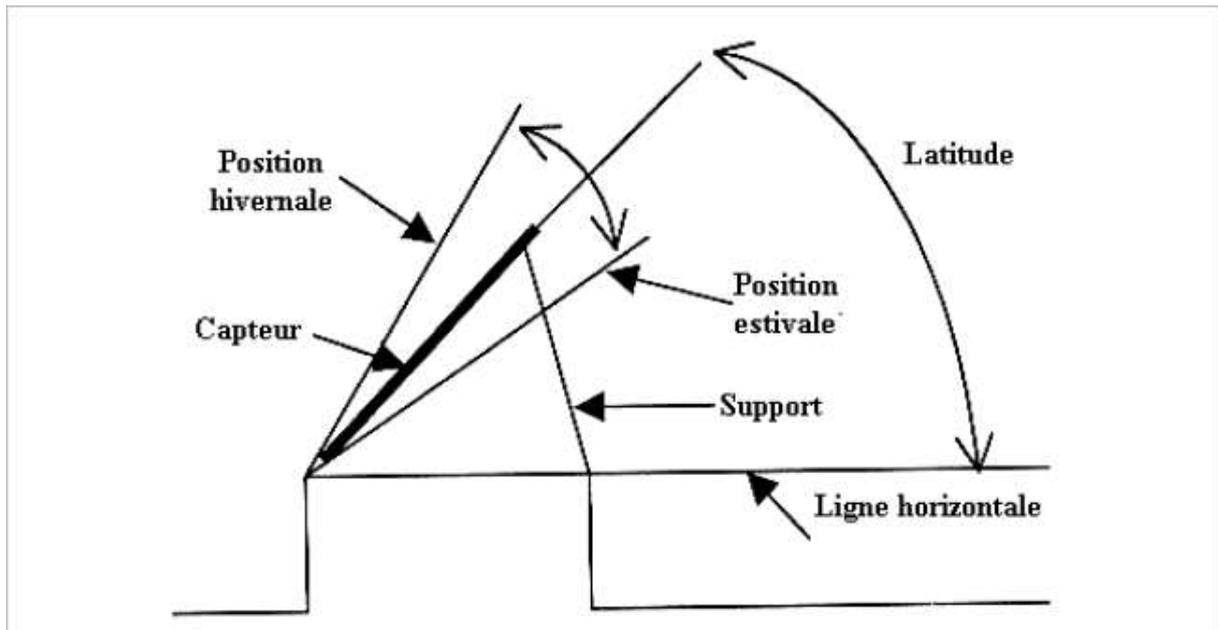


Figure .III.9 : Angle d'inclinaison d'un capteur solaire [17].

Angle d'incidence sur un plan (i) :

L'angle d'incidence représente l'angle compris entre le plan du capteur et la radiation solaire il est exprimé par :

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

Cas particuliers :

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

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

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

$$\cos(i) = \cos(\omega) \cos(\delta)$$

- pour une incidence parfaite (cas d'un système de poursuite du soleil) $i=0$ [18].

III.3.7. Inclinaison optimale d'un capteur :

Pour permettre à un capteur un captage maximal du rayonnement solaire, il doit être incliné d'un angle particulier qu'on appelle l'inclinaison optimale. Ce qui revient à une position perpendiculaire par rapport aux rayonnements solaires.

En tenant compte des déplacements permanents de la terre et du soleil, pour chaque moment correspond une inclinaison optimale, ainsi la meilleure solution est d'équiper le capteur avec un système de poursuite. Cependant, cette solution peut être coûteuse.

L'inclinaison de la plupart des capteurs plans est généralement fixe et son optimum serait de $L+\delta/2$ en hiver et de $L-\delta/2$ en été et cela afin d'avoir le plus faible angle entre l'incidence du flux solaire et la normale du capteur [18].

III.3.8. Repérage du rayonnement solaire :

Tout point de la surface terrestre est repéré par ses coordonnées géographiques et par les angles formés par la trajectoire du soleil (coordonnées équatoriales et coordonnées horizontales) pour un temps bien déterminé [7].

Le repérage du Soleil s'effectue par l'intermédiaire de deux angles :

Sa hauteur h :

Angle compris entre l'horizon astronomique et l'axe issu du point considéré au soleil. Il est compté de 0° à 90° si le soleil se trouve dans l'hémisphère Nord (Zénith) et de 0 à -90° si le soleil se trouve dans l'hémisphère Sud (Nadir).

Son azimut a :

Angle entre la projection de la direction du soleil (OS), sur le plan horizontal et le Sud, il est compté positivement vers l'Ouest et négativement vers l'Est.

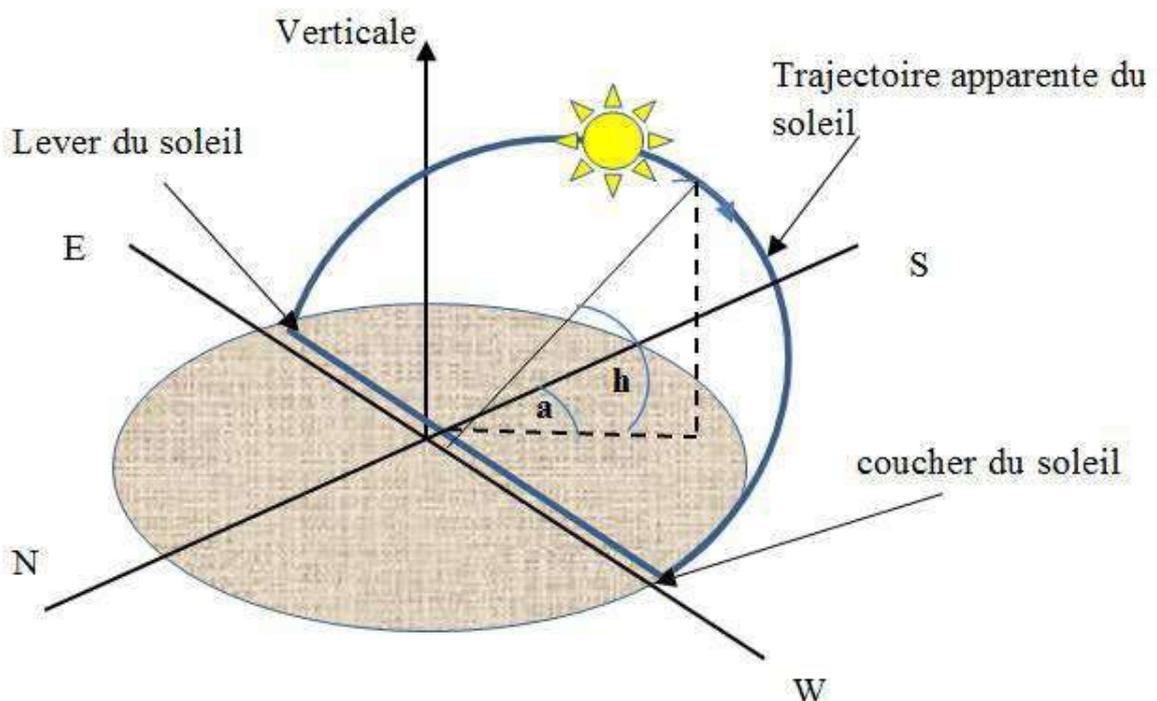


Figure. III.10 : Repérage de la position du Soleil [7].

Les angles (h) et (a) varient au cours de la journée à cause de la rotation de la terre sur elle-même, c'est pour cette raison qu'un second système de coordonnées a été défini et axé sur la direction des pôles, c'est le système des coordonnées horaires : Le trièdre de référence de ce système est celui représenté ci-dessous :

OX' dans le plan (OX, OZ) est perpendiculaire à OZ' .

OY' vers l'ouest, OZ' vers le pôle nord.

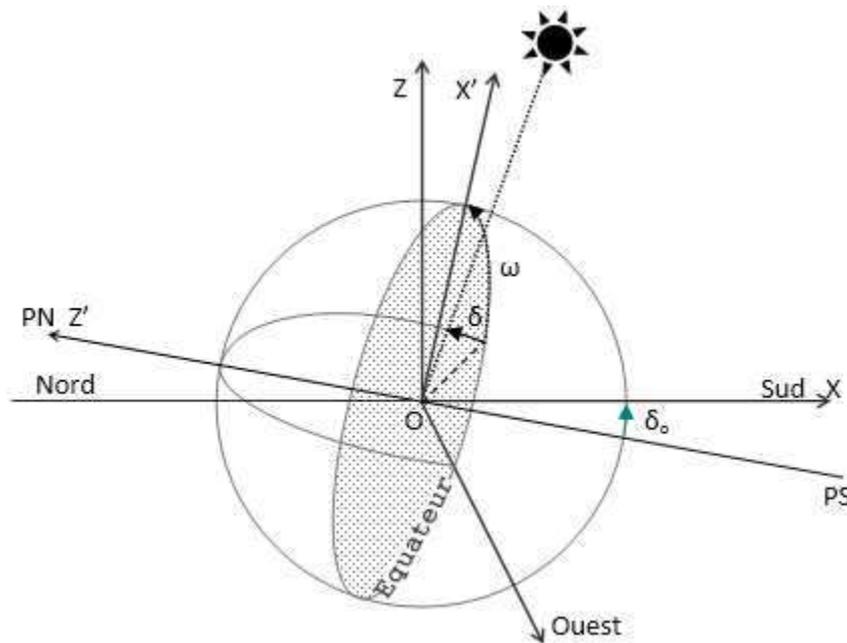


Figure. II.11: Système de coordonnées horaires [7].

Les coordonnées angulaires du soleil dans ce repère sont alors :

Sa déclinaison (δ) :

Angle entre la direction terre soleil et le plan équatorial de la terre ou bien la latitude du lieu où le soleil est à la verticale à midi solaire. Cet angle varie de $-23^{\circ}27'$ au solstice d'hiver à $23^{\circ}27'$ au solstice d'été et il est nul aux équinoxes. La déclinaison, qui est fonction du jour de l'année est définie par son quantième (Dj), nombre de jours écoulés à partir du premier janvier). Elle est donnée par l'expression suivante :

$$\sin \delta = 0.398 \sin [0.986 (Dj- 82)] \text{ (II.1) Ou bien } \delta = 23.45 \sin [0.986 (284 + Dj)] \dots\dots\dots\text{(II.2)}$$

L'angle horaire (ω) :

Entre les plans (OZ', OS) et (OZ', OX') : L'angle horaire est formé par le plan méridien passant par le centre du soleil et le plan vertical du lieu. A midi solaire l'angle horaire (ω) est égale à 0° , ensuite chaque heure correspond à 15° car la terre effectue un tour complet (360°) sur elle-même en 24 heures. L'angle (ω) est compté négativement le matin lorsque le soleil est vers l'Est et positivement après le midi solaire. En pratique on exprime les angles (h) et (a) en fonction de la latitude du lieu, la déclinaison et l'angle horaire du soleil :

$$\sin h = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \text{ (II.3) Et } \sin(a) = \frac{\cos(\delta) \cdot \sin(\omega)}{\cos(h)} \dots\dots\dots\text{(II.3)}$$

Durée du jour :

La valeur ω_l de l'angle horaire au lever du soleil s'obtient en considérant $\sin h$ nul car la hauteur du soleil est égale à 0 au lever et au coucher du soleil, ce qui conduit à écrire :

$$\cos(\omega_l) = -\tan(L) \tan(\delta) \dots \dots \dots (II.4)$$

L'heure solaire au lever du soleil a donc pour valeur :

$$(TS_l) = 12 - \frac{\omega_l}{15} \dots \dots \dots (II.5)$$

L'angle horaire au coucher du soleil est l'opposé de l'angle horaire à son lever, donc

$$\omega_c = -\omega_l \text{ et la durée du jour vaut : } d = 2 \frac{\omega_l}{15} \text{ (II.6)}$$

III.3.9. Modèles d'évaluation du rayonnement solaire existants :

Dave et ses collaborateurs décomposent l'atmosphère en couches horizontales et étudient successivement les phénomènes d'absorption et de diffusion auxquels est soumis le rayonnement solaire [7]. D'autres modèles donnent le rayonnement solaire en fonction de paramètres atmosphériques et astronomiques. Citons quelques exemples de ces modèles :

Modèle de Perrin de Brichambaut

C'est un modèle qui estime la moyenne quotidienne de l'irradiation reçue sur un plan horizontal par ciel clair.

Modèle de Cole-Barbaro et al

Ce modèle donne la puissance moyenne reçue sur une surface perpendiculaire aux rayons solaires au niveau du sol.

Modèle de Capderou

La modélisation du facteur de trouble atmosphérique de Linke TL par ciel clair en fonction des seuls paramètres géo-astronomiques a permis à Capderou de proposer les expressions précédentes.

Modèle de Kasten

Le modèle d'estimation du trouble atmosphérique le plus récent est celui présenté par Kasten en 1996. Il exprime le trouble de Linke à partir de l'irradiation directe reçue sur un plan normal par journée de ciel clair.

III.3.10. Méthode Semi-Empirique de Perrin Brichambaut :

Les différentes composantes du rayonnement solaire varient en fonction de la hauteur du soleil, de l'angle d'incidence, des intempéries et de l'état de visibilité de l'atmosphère [19]. La modélisation théorique des éclaircissements solaires est très compliquée, ils sont en fonction des variations climatiques et des intempéries. Perrin Brichambaut a présenté une méthode empirique pour l'estimation de l'énergie reçue par un capteur d'orientation quelconque.

Estimation du rayonnement solaire par ciel clair

Pour un ciel clair, les éclairements du rayonnement direct I, diffus D et global G reçus par un capteur sont donnés par les relations suivantes :

$$D = \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) D_H + \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right) a^* G_H$$

$$I = A \cos(i) \exp\left(-\frac{1}{B \sin(h+2)} \right)$$

$$D_H = A' (\sin(h))^{0.4}$$

$$G_H = A'' (\sin(h))^B$$

$$G = I + D$$

Où DH : Eclairement diffus reçu par une surface horizontale.

GH : Eclairement global reçu par une surface horizontale.

a* : Albédo du sol (coefficient de réflexion du sol).

A, B, A', A'', B'' : sont des constantes qui dépendent de l'état de l'atmosphère.

β : Inclinaison en unité d'angle (°)

i : Angle d'incidence (°)

$$a^* = \begin{cases} 0.9 \text{ à } 0.8 & \text{neige} \\ 0.8 \text{ à } 0.4 & \text{sol clair} \\ 0.4 \text{ à } 0.2 & \text{verdure} \end{cases}$$

$$a^* = \begin{cases} 0.9 \text{ à } 0.8 \\ 0.8 \text{ à } 0.4 \\ 0.4 \text{ à } 0.2 \end{cases}$$

A, B, A', A'', B'' : sont des constantes qui dépendent de l'état de l'atmosphère.

Etat de l'atmosphère	A	B	A'	A''	B''
Ciel bleu foncé	1300	6	87	1150	1.15
Ciel bleu clair	1230	4	125	1080	1.22
Ciel bleu laiteux	1200	2.5	187	990	1.25

Tableau. III.2 : Paramètres décrivant l'état de l'atmosphère

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons donné des notions générales indispensables à la compréhension du gisement solaire ainsi, la connaissance des paramètres de caractérisation déclinaison, l'angle horaire et la hauteur et les coordonnées géographiques (latitude, longitude) qui sont des notions très importantes pour comprendre cette discipline.

A decorative scroll graphic with a white background and a black outline. The scroll is unrolled in the middle, with the top and bottom edges curled up. The text "Chapitre IV" is centered on the unrolled portion.

Chapitre IV

A decorative rounded rectangle graphic with a white background and a black outline. The text "Résultats et discussion" is centered inside the rectangle.

Résultats et discussion

Introduction :

Pour l'estimation de l'irradiation solaire, on a recours aux modèles théoriques. Ces modèles sont établis sous forme de corrélations. Pour qu'ils soient applicables aux sites considérés, ces derniers doivent être confrontés aux valeurs réellement mesurées sur le site considéré sur une période qui couvrira les différentes saisons de l'année.

Ici, une étude comparative a été effectuée sur les éclairissements solaires globaux incidents sur un plan horizontal et sur une surface inclinée à latitude du lieu orientée vers le Sud. Pour ce faire, plusieurs journées ont été sélectionnées pour comparer les valeurs calculées par le modèle de Perrin de Brichambaut.

IV.4.1. Caractéristiques de ville du Biskra :

Caractérisée par son climat saharien la ville de Biskra est située à une latitude de $34^{\circ}48'$ nord et une longitude de $5^{\circ}44'$ Est, son altitude par rapport au niveau de la mer est 81m, la pression atmosphérique à cette altitude est 1,004 Bar.

IV.4.2. Appareillage utilisé :

Les mesures du flux solaire incident global sur une surface horizontale sont effectuées à l'aide d'un Pyranomètre digital :



Figure. IV.1 : Photo d'un Pyranomètre digital utilisé.

IV.4.3. Résultats : Variation du rayonnement solaire :

Dans cette étude nous présentons les résultats obtenus à partir de modèles proposés comparés à ceux obtenus expérimentalement : Les flux solaires sont obtenus pour les jours clairs dans des conditions correspondant à un ciel exempt de tout nuage. Ce sont des flux réels obtenus à partir des tests.

Le plan peut s'incliner selon différents angles. L'idée la plus simple qui nous est apparue consiste à créer des patrons avec un angle prédéfini. Nous avons retenu 7 angles différents pour construire nos modèles : 0° , 20° , 30° , 40° , 50° , 60° , 70° .

La période des tests comprend les mois suivants : Novembre-Décembre-Janvier- Février -Mars. Les jours des tests sont ceux pour lesquels on a fait la simulation.

Les figures qui suivent traduisent les résultats obtenus à partir du modèle, comparés à ceux obtenus expérimentalement.

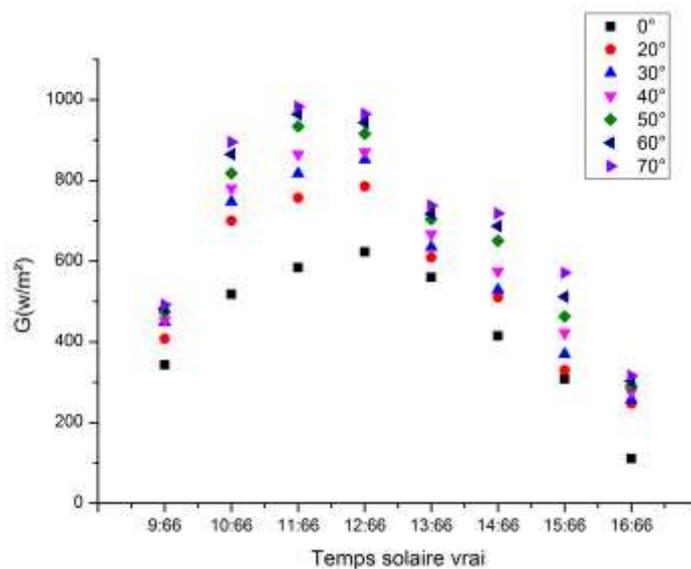


Figure .VI.2 : Evolution expérimentale du rayonnement solaire global 9 Novembre 2019 .

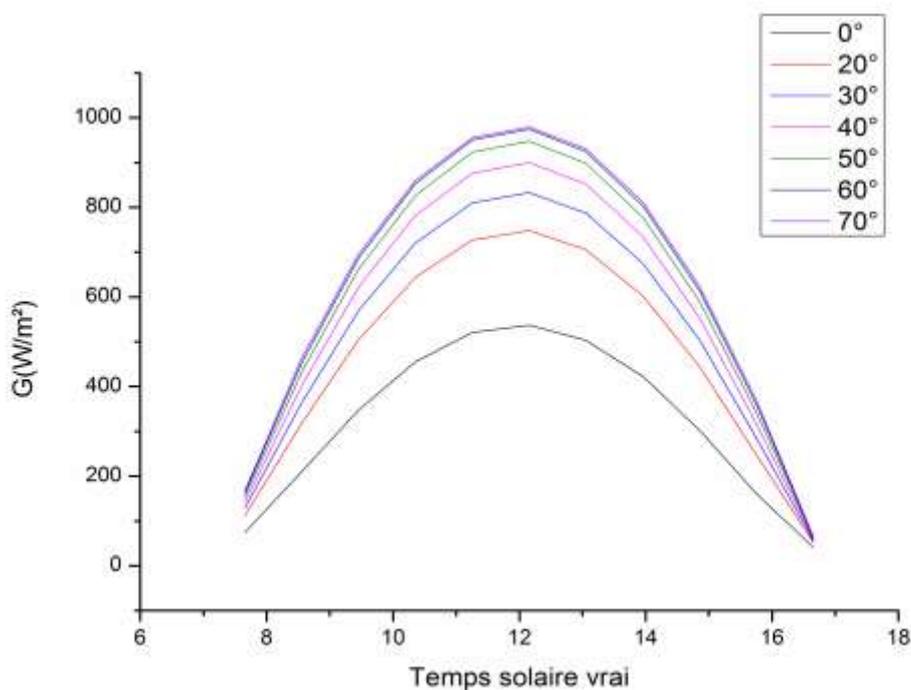


Figure .IV.3: Evolution théorique du rayonnement solaire global 29 Novembre 2019.

Les figures ci-dessus représentent l'évolution du rayonnement solaire global selon l'étude expérimentale et numérique pour un jour du mois de Novembre. Les résultats illustrent la variation de rayonnement solaire global sur un plans variant de 0° jusqu'à 70°. La valeur maximale est égale à 983(W/m²) suivant l'angle d'inclinaison 70° au midi solaire.

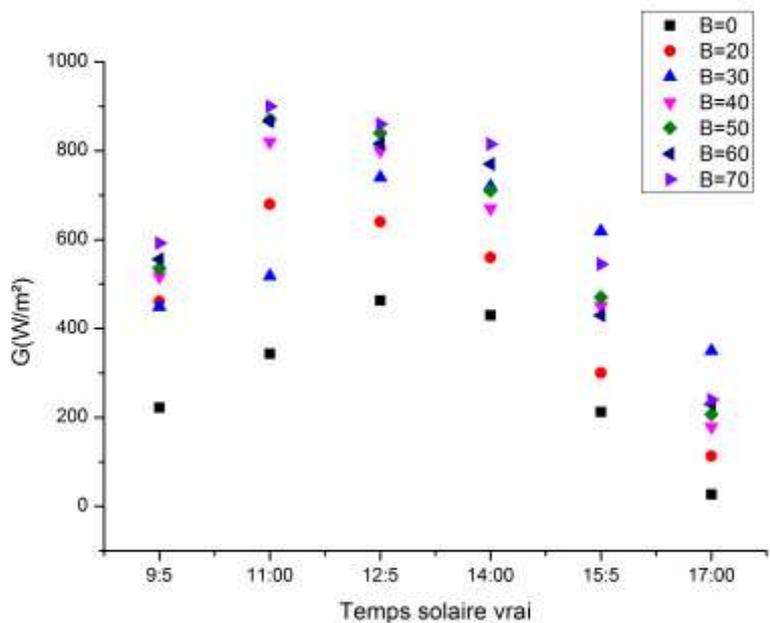


Figure .IV.4 : Evolution expérimentale du rayonnement solaire global 13 Décembre 2019 .

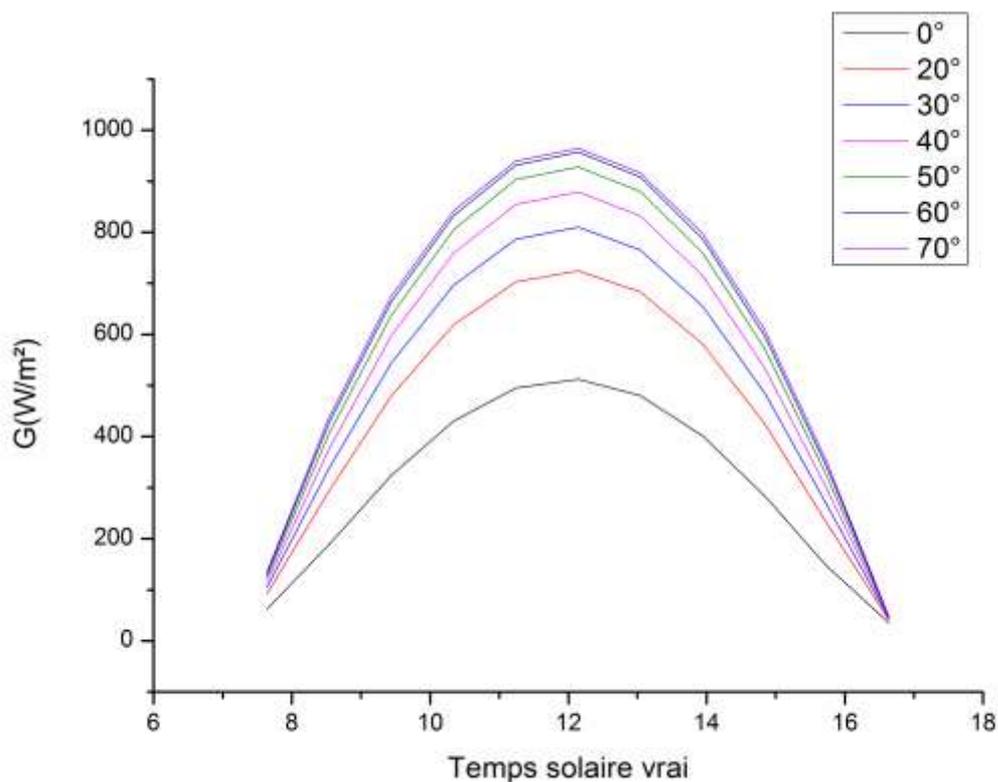


Figure .IV.5 : Evolution théorique du rayonnement solaire global 13 Décembre 2019 .

Pour le mois de janvier 2020

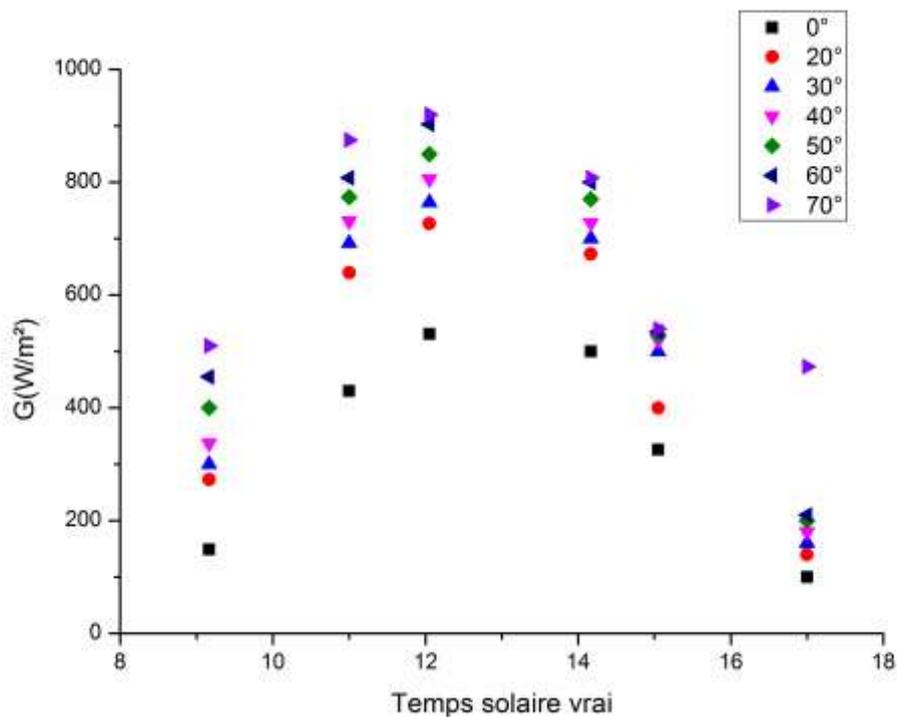


Figure .IV.6: Evolution **expérimentale** du rayonnement solaire global de 08 Janvier 2020

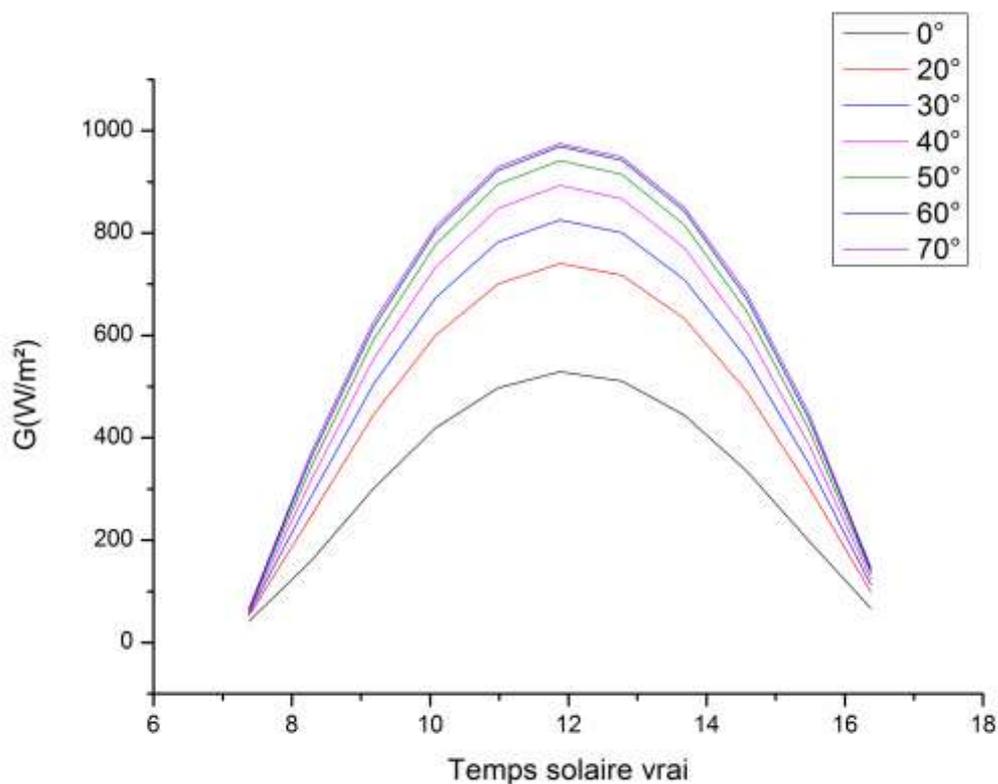


Figure .IV.7 : Evolution **théorique** du rayonnement solaire global 08 Janvier 2020

Mois de février 2020

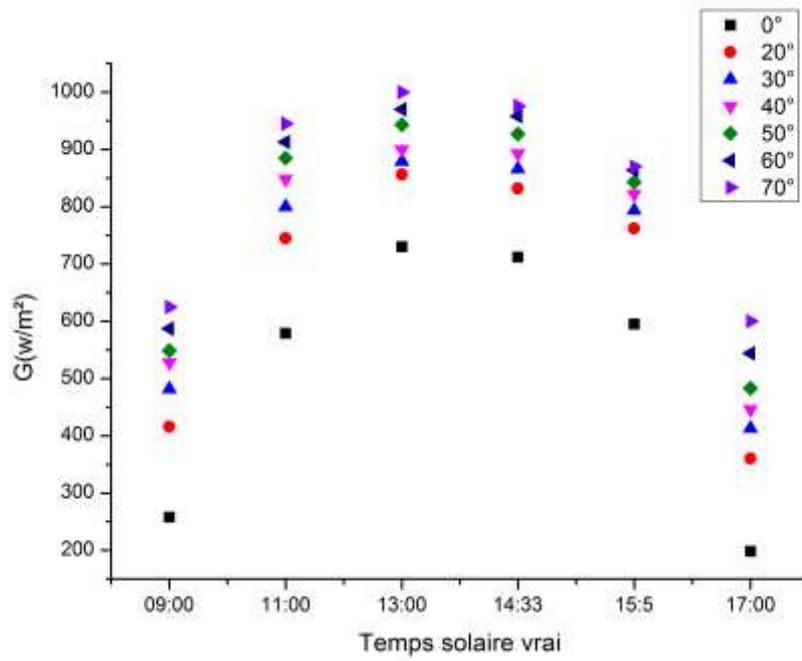


Figure .IV.8 : Evolution expérimentale du rayonnement solaire global 15 Février 2020 .

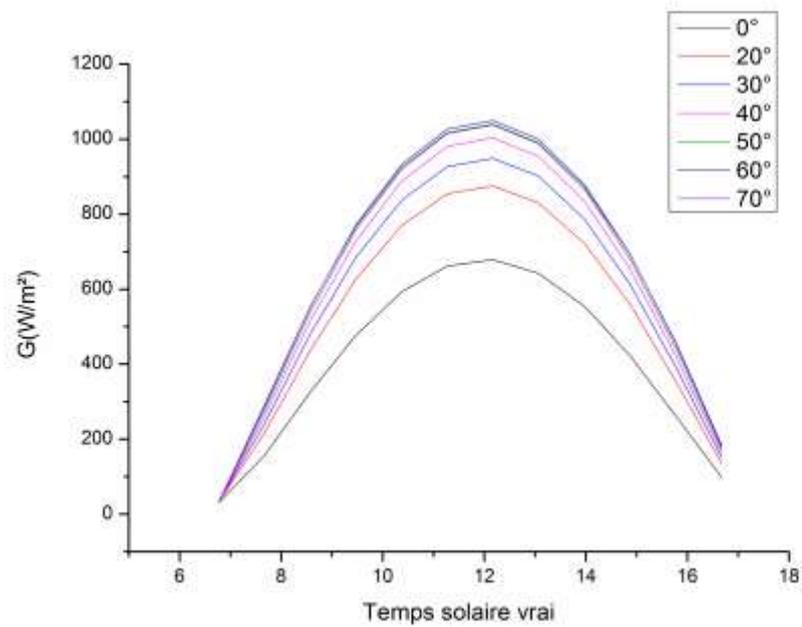


Figure .IV.9 : Evolution théorique du rayonnement solaire global 15 Février 2020 .

Mois de mars

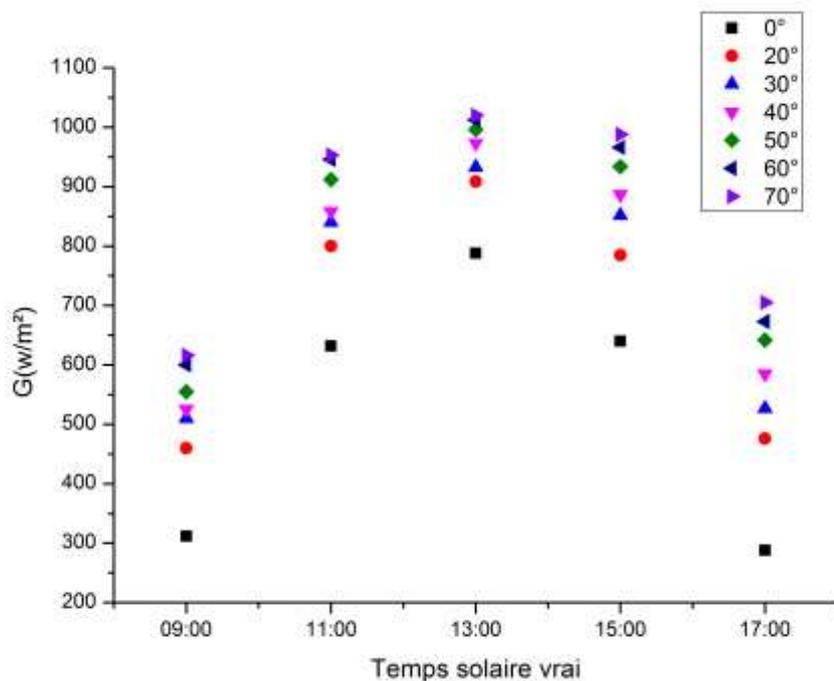


Figure .IV.10 : Evolution **expérimentale** du rayonnement solaire global 01 Mars 2020.

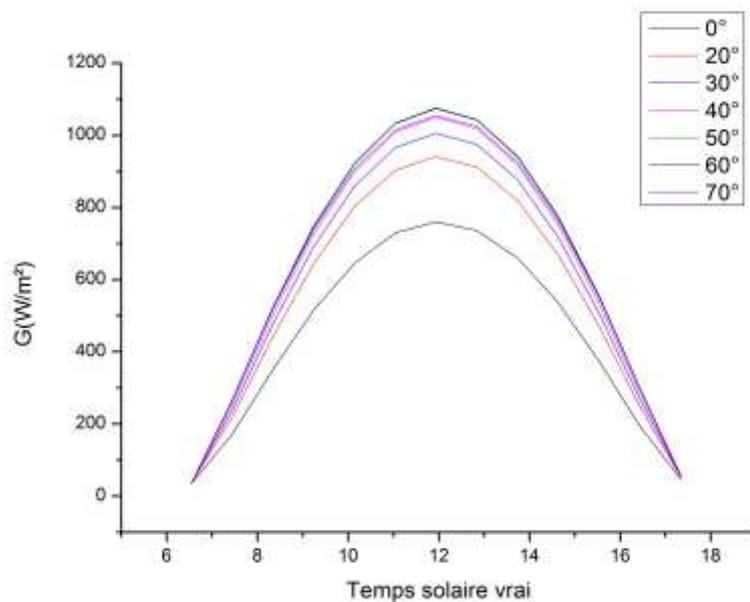


Figure .IV.11 : Rayonnement Evolution **théorique** du rayonnement solaire global 01 Mars 2020

Interprétation

Les Ci-dessus montrées qui traduisent la variation théorique et expérimentale en fonction du temps du rayonnement solaire global, montrent que pour des inclinaisons allant de 0 à 70° , les valeurs maximales expérimentales et théoriques sont obtenues pour des inclinaisons allant de 30 à 70°

IV.4.4. Comparaison entre les mesures expérimentales et celles du modèles de Perrin de Brichambaut :

Il existe plusieurs modèles pour la simulation de l'éclairement solaire global, exprimés par des approches semi empiriques. Dans le domaine de la conversion thermique de l'énergie solaire, plusieurs études ont été menées afin de modéliser ce paramètre. Mais dans tous les modèles rencontrés, les valeurs obtenues sont plus ou moins proches de la réalité. Pour nous le meilleur est celui qui traduit le mieux de la variation du paramètre modélisé. En effet la confrontation des valeurs issues, aux mesures expérimentales permet de juger l'exactitude du modèle. Dans ce contexte la comparaison qui suit a été menée. Elle consiste donc à comparer les valeurs théoriques et celles expérimentales.

IV.4.5. Comparaison modèle et expérimental (29 Novembre 2019) :

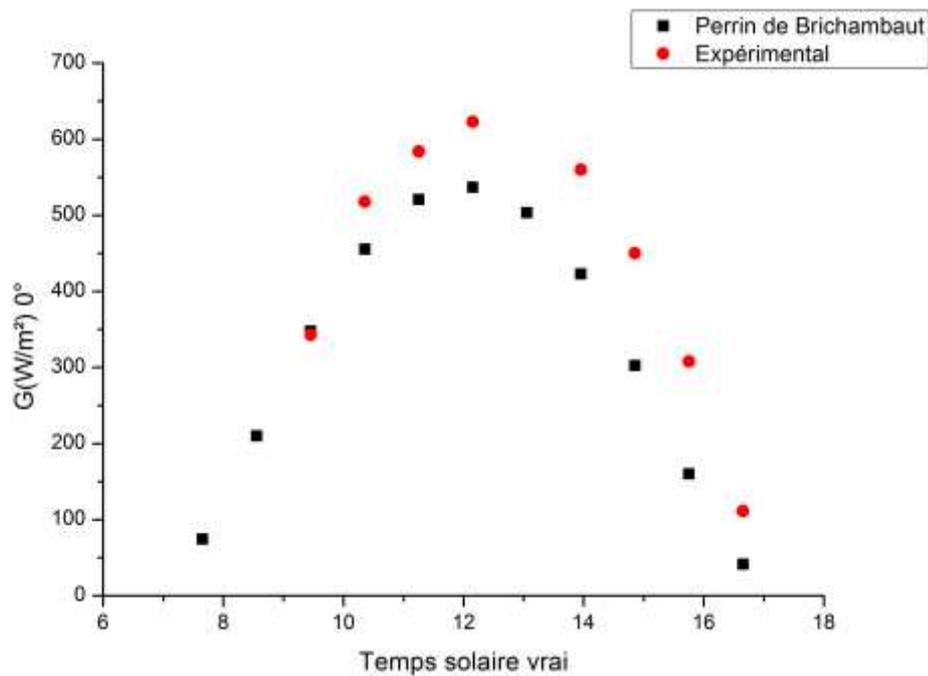


Figure IV.12.a : Comparaison : L'évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » 29 Novembre 2019 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 0^\circ$.

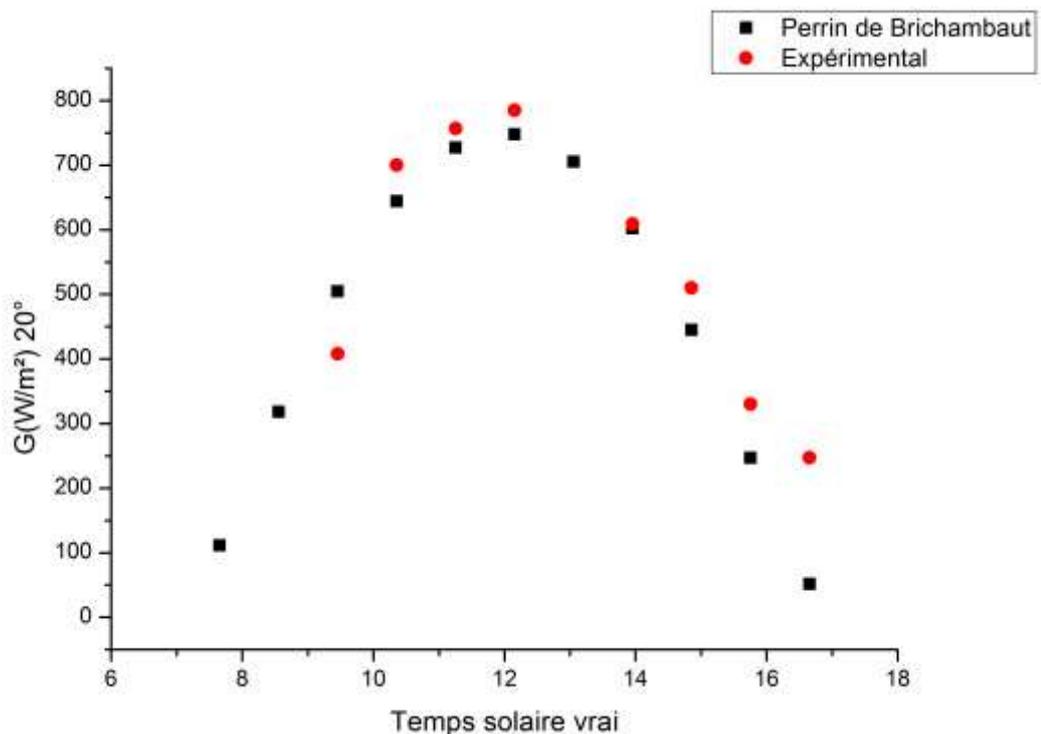


Figure IV.12.b : Comparaison : Expérimental – Perrin de Brichambaut 29 Novembre 2019 pour le cas d’angle d’inclinaison $\beta = 20^\circ$.

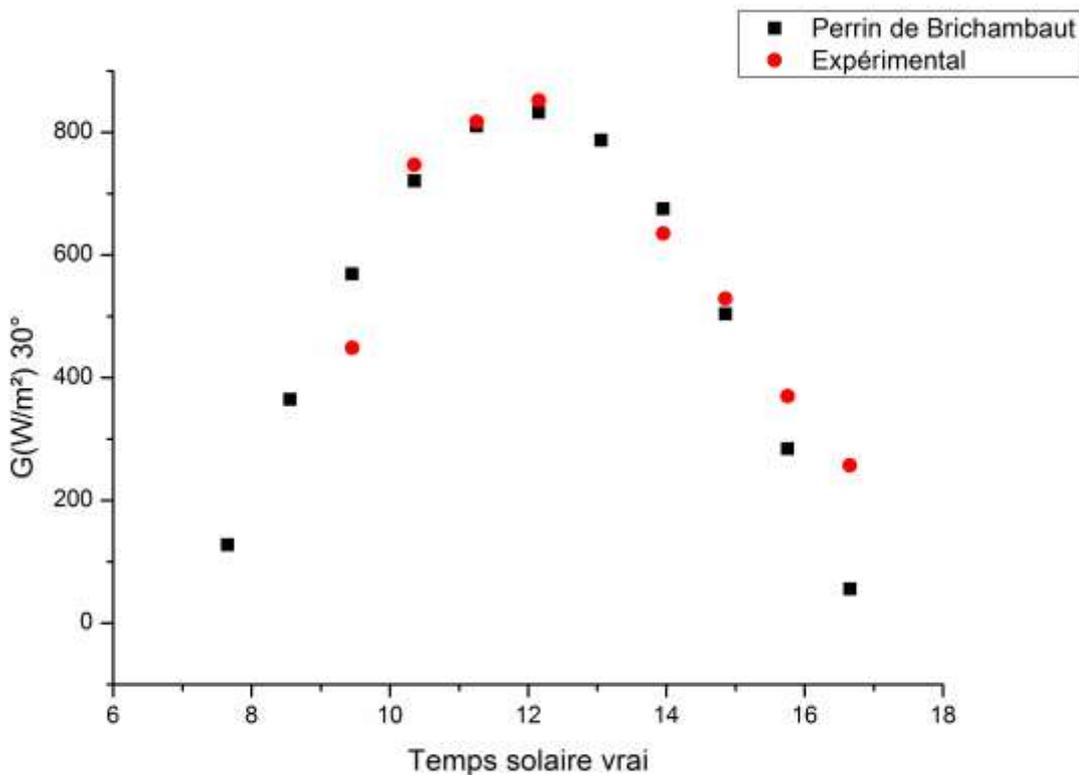


Figure IV.12.c : Comparaison : Expérimental – Perrin de Brichambaut 29 Novembre 2019 pour le cas d’angle d’inclinaison $\beta = 30^\circ$.

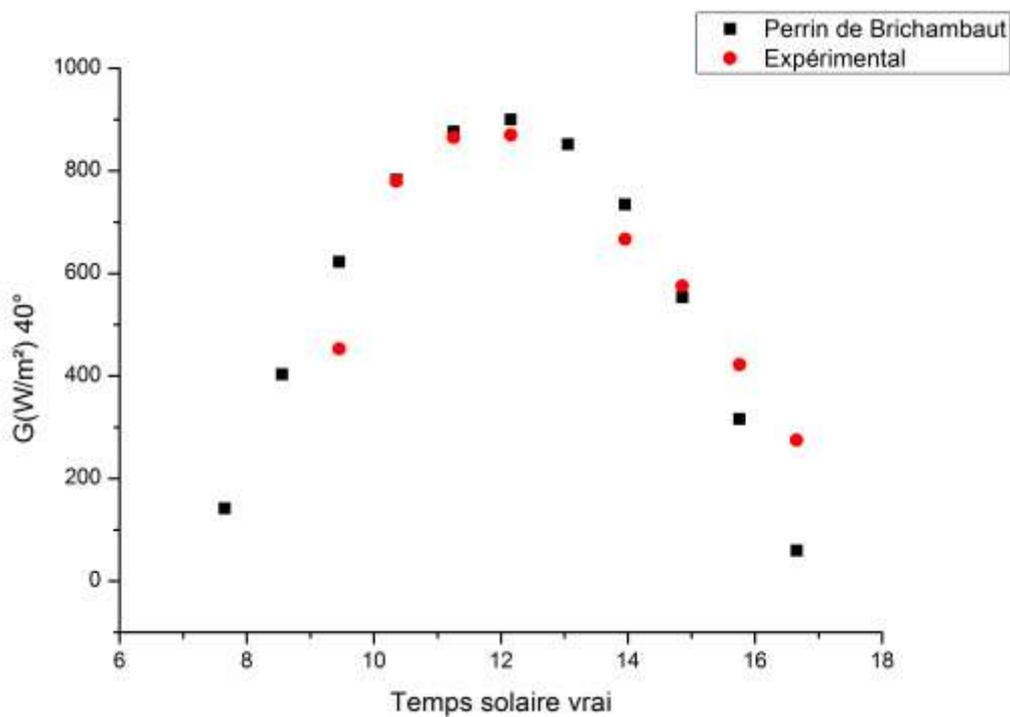


Figure IV.12.d : Comparaison Expérimental – Perrin de Brichambaut 29 Novembre 2019 pour le cas d’angle d’inclinaison $\beta = 40^\circ$.

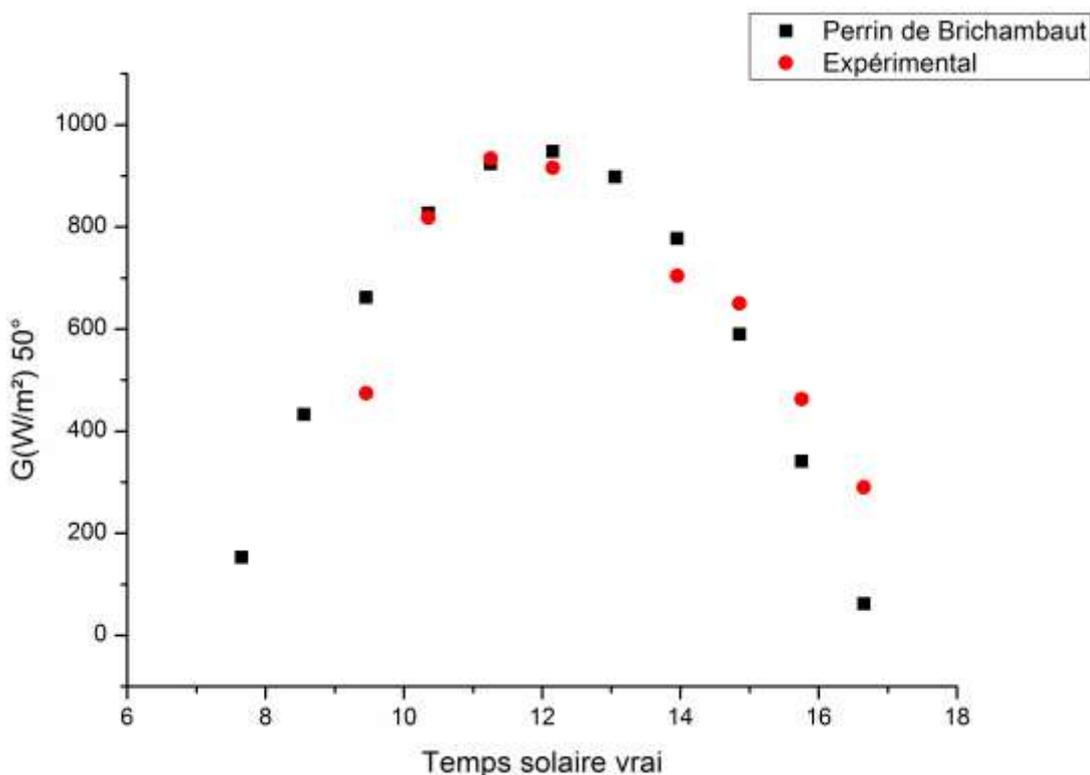


Figure IV.12.e : Comparaison Expérimental – Perrin de Brichambaut 29 Novembre 2019 pour le cas d’angle d’inclinaison $\beta = 50^\circ$.

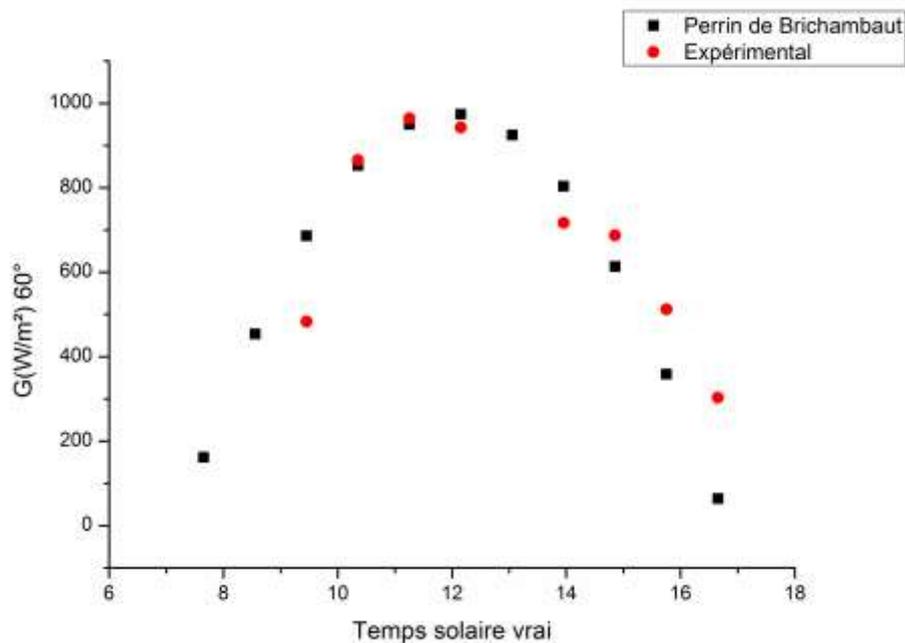


Figure IV.12.f : Comparaison : Expérimental – Perrin de Brichambaut 29 Novembre 2019 pour le cas d’angle d’inclinaison $\beta = 60^\circ$.

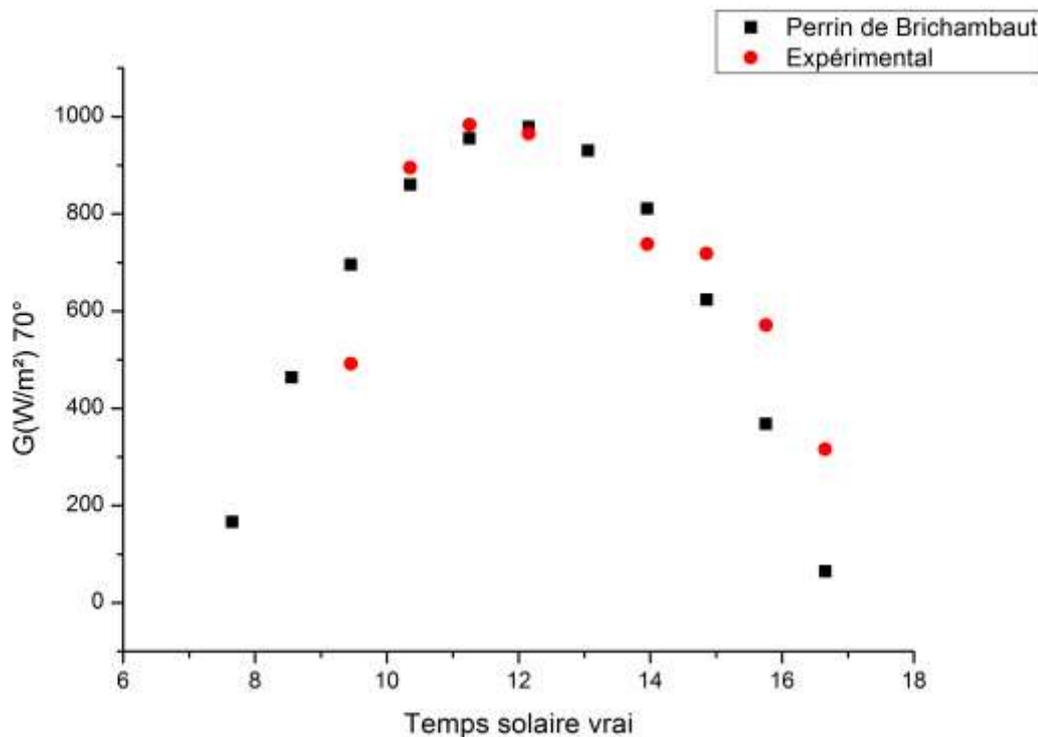


Figure IV.12.g : Comparaison : Expérimental – Perrin de Brichambaut 29 Novembre 2019 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 70^\circ$.

Les Figures ci-dessus, représentent la variation du rayonnement solaire global en fonction du temps solaire vrai dans le site de Biskra pour un jour du mois de Novembre pour les cas d'angles d'inclinaison $\beta = 0^\circ$, $\beta = 20^\circ$, $\beta = 30^\circ$, $\beta = 40^\circ$, $\beta = 50^\circ$, $\beta = 60^\circ$, $\beta = 70^\circ$. On remarque que la variation de modèle perrin Brichambaut du rayonnement solaire global est proche aux selon données mesurées, donc le modèle d'estimation est en concordance avec les valeurs mesurées.

IV.4.6. Comparaison entre le modelé et l'expérimental (13 Décembre 2019) :

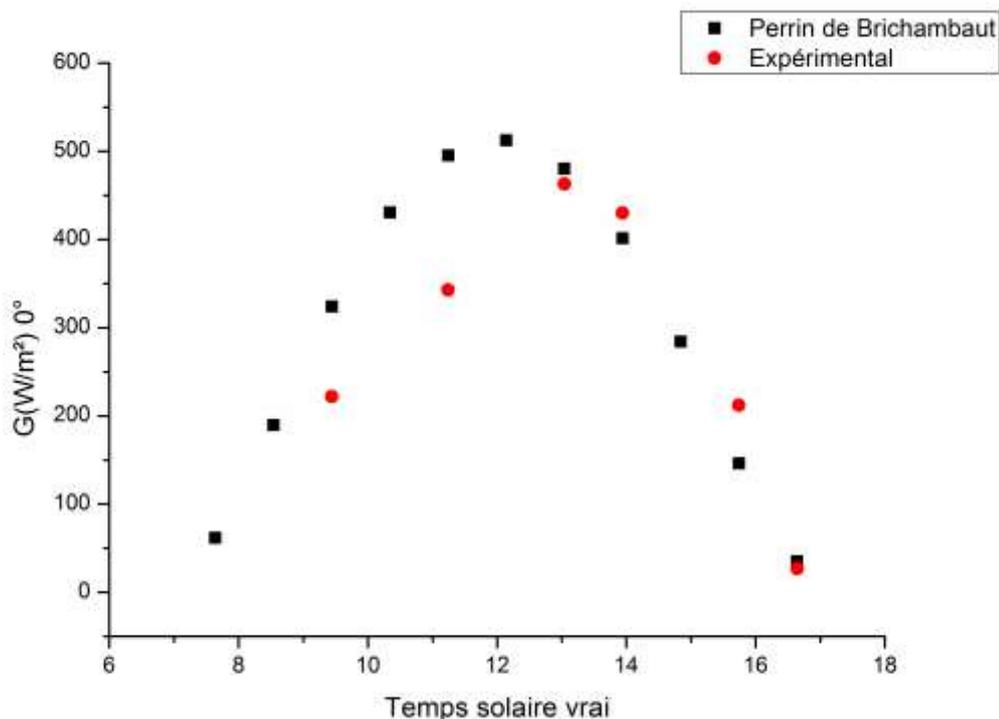


Figure IV.13.a : Comparaison : Expérimental – Perrin de Brichambaut 13 Décembre 2019 pour le cas d’angle d’inclinaison $\beta = 0^\circ$.

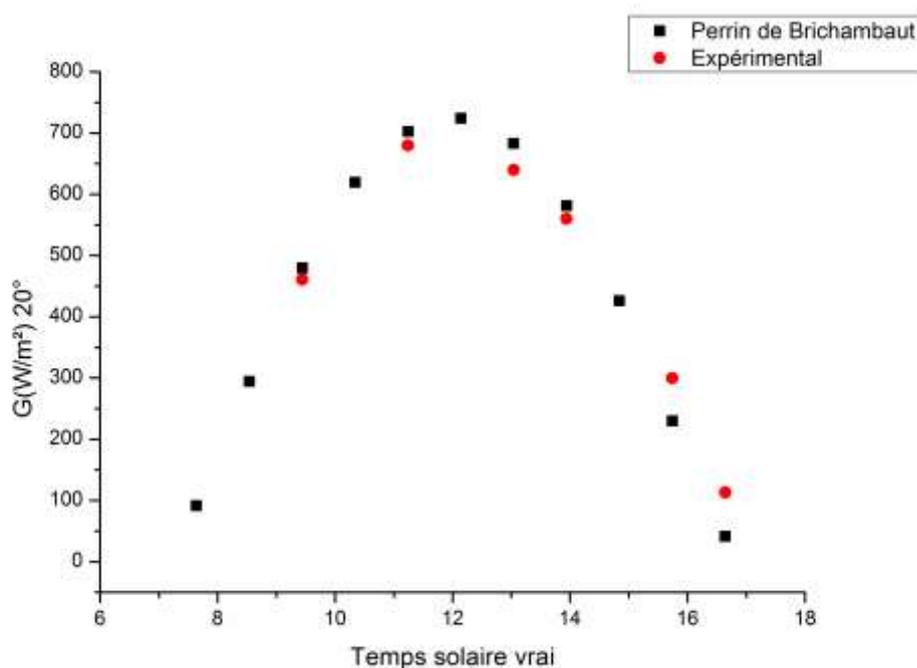


Figure IV.13.b : Comparaison : L’évolution de rayonnement global « Expérimental – Perrin de Brichambaut » suivant le mois de 13 Décembre 2019 pour le cas d’angle d’inclinaison $\beta = 20^\circ$.

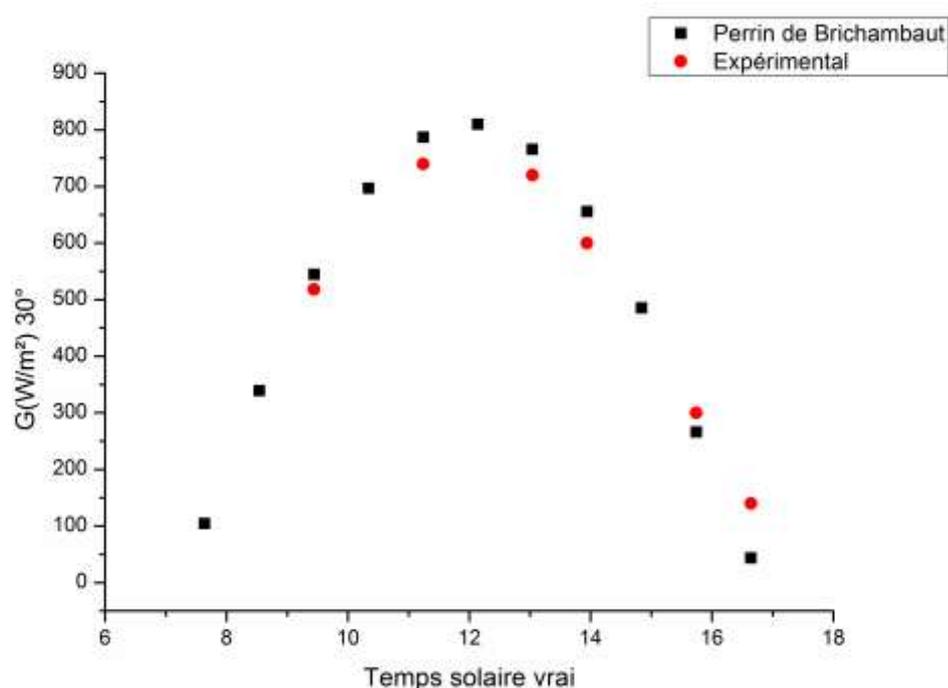


Figure IV.13.c : Comparaison Expérimental – Perrin de Brichambaut 13 Décembre 2019 pour le cas d’angle d’inclinaison $\beta = 30^\circ$.

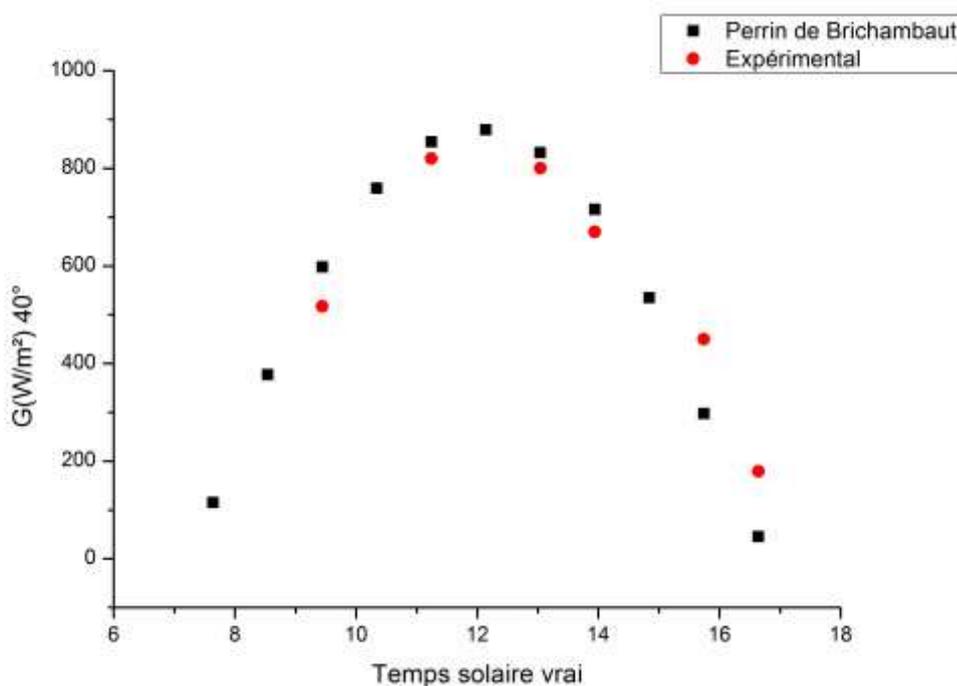


Figure IV.13.d : Comparaison : Expérimental – Perrin de Brichambaut 13 Décembre 2019 pour le cas d’angle d’inclinaison $\beta = 40^\circ$.

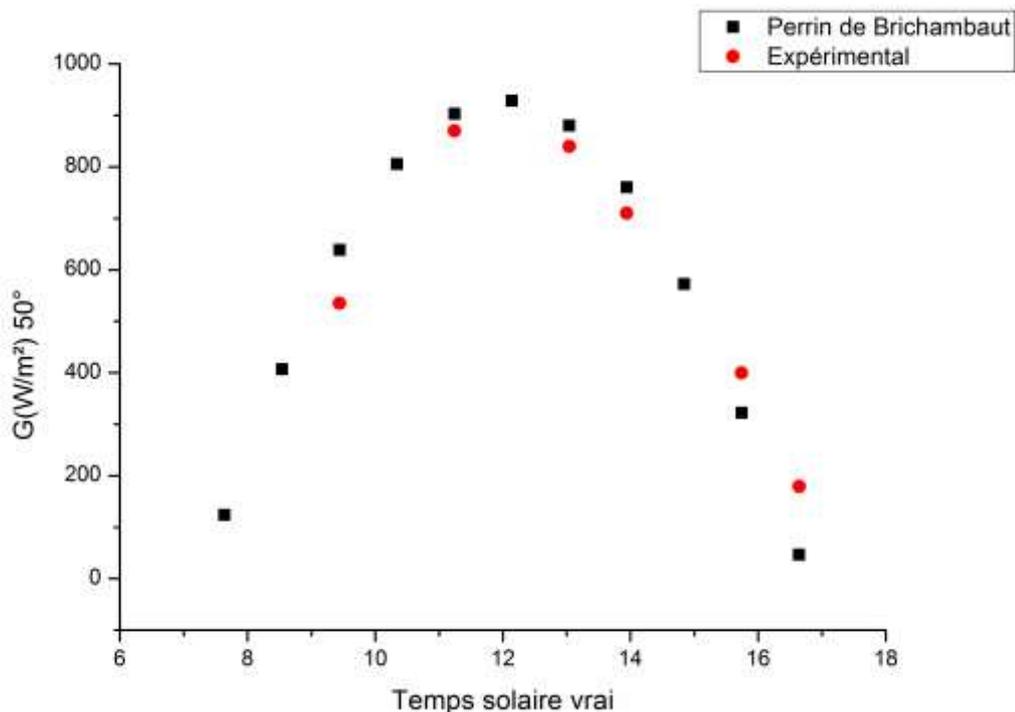


Figure IV.13.e : Comparaison : Expérimental – Perrin de Brichambaut 13 Décembre 2019 pour le cas d’angle d’inclinaison $\beta = 50^\circ$.

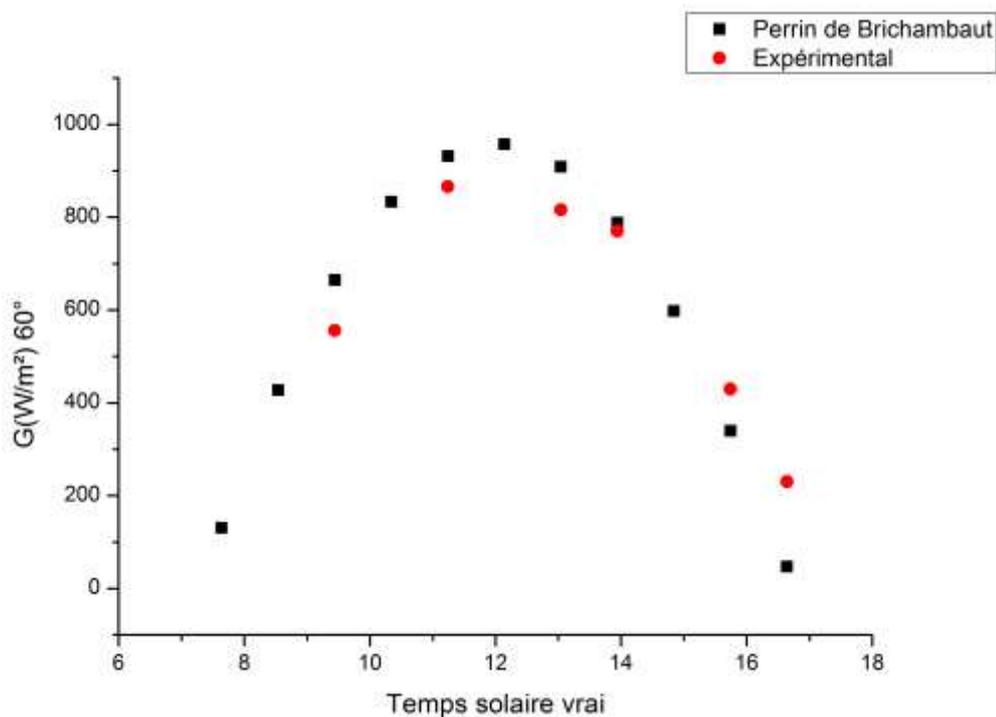


Figure IV.13.f : Comparaison : Expérimental – Perrin de Brichambaut 13 Décembre 2019 pour le cas d’angle d’inclinaison $\beta = 60^\circ$.

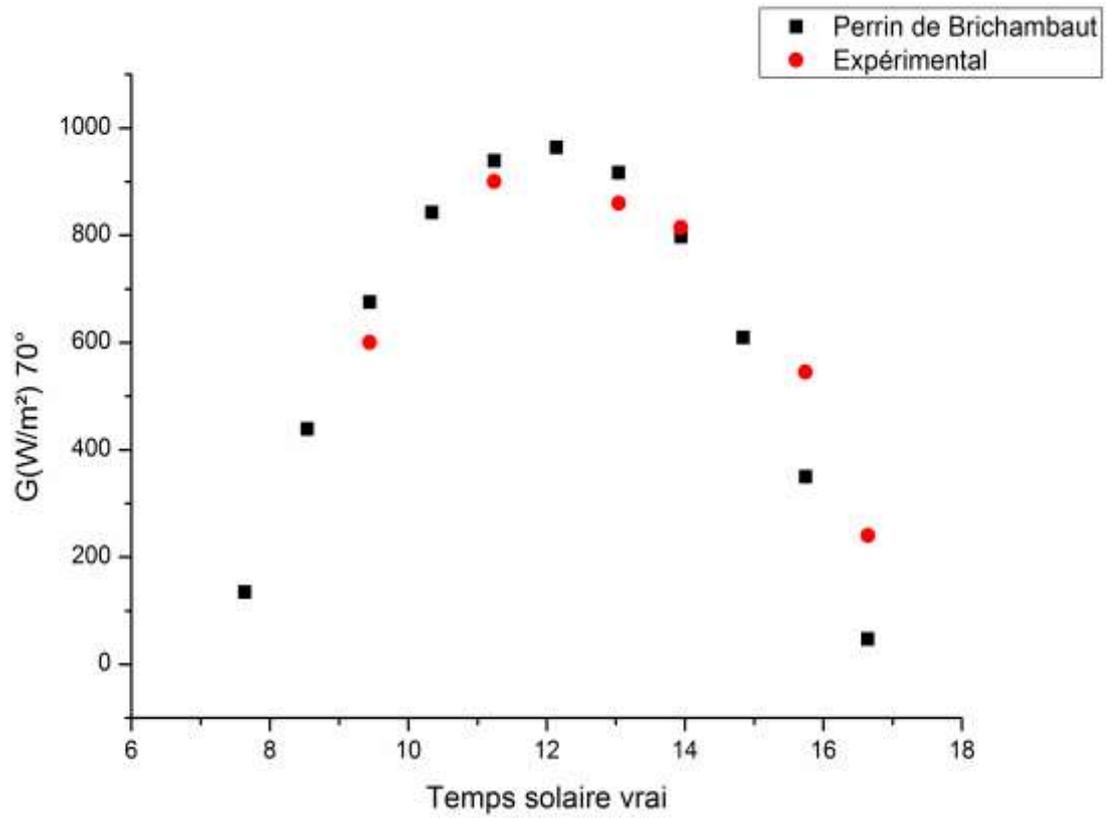


Figure IV.13.g : Comparaison : Expérimental – Perrin de Brichambaut 13 Décembre 2019 pour le cas d’angle d’inclinaison $\beta = 70^\circ$.

IV.4.7. Comparaison entre le modelé et l'expérimental (08 Janvier 2020) :

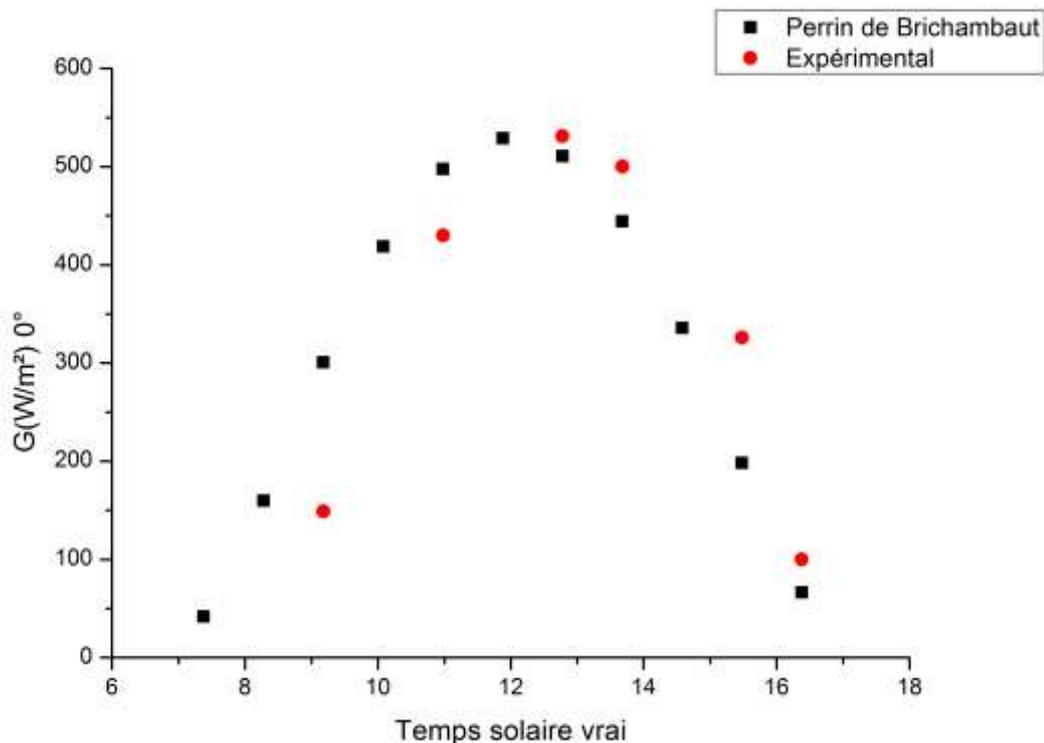


Figure IV.14.a : Comparaison : Expérimental – Perrin de Brichambaut 08 Janvier 2020 pour le cas d'angled'inclinaison $\beta = 0^\circ$.

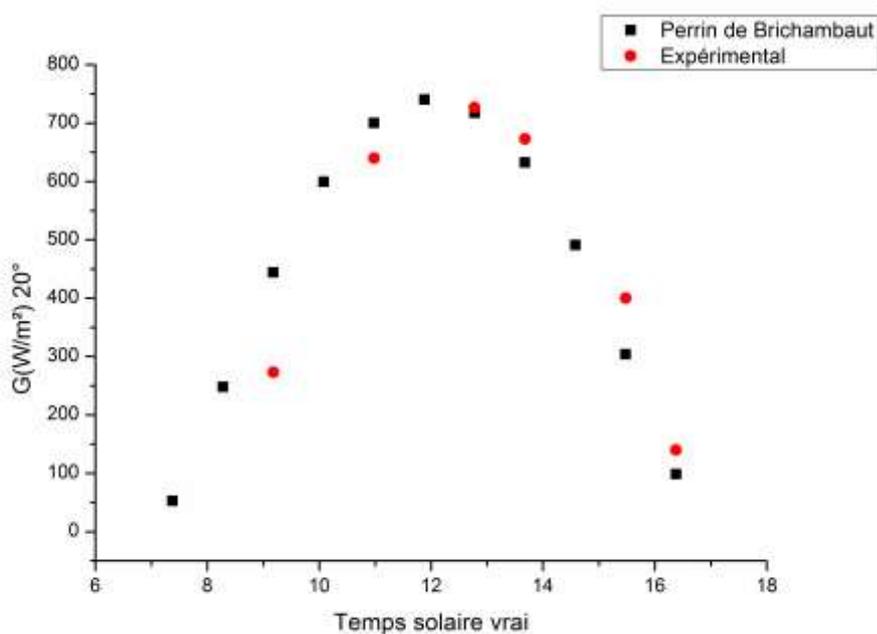


Figure IV.14.b : Comparaison Expérimental – Perrin de Brichambaut 08 Janvier 2020 pour le cas d'angled'inclinaison $\beta = 20^\circ$.

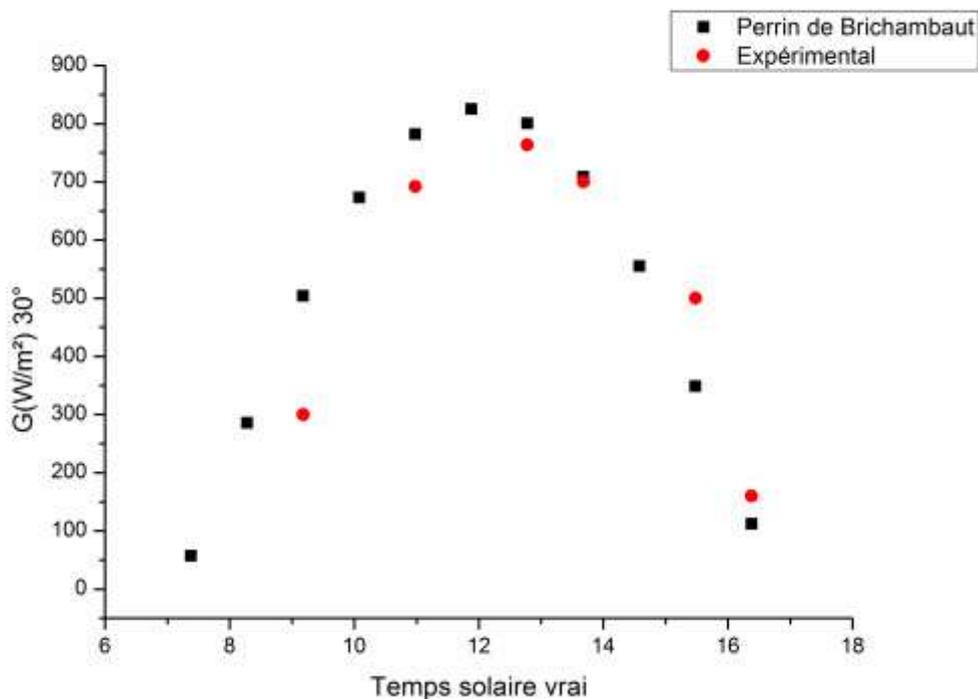


Figure IV.14.c : Comparaison : Expérimental – Perrin de Brichambaut 08 Janvier 2020 pour le cas d’angle d’inclinaison $\beta = 30^\circ$.

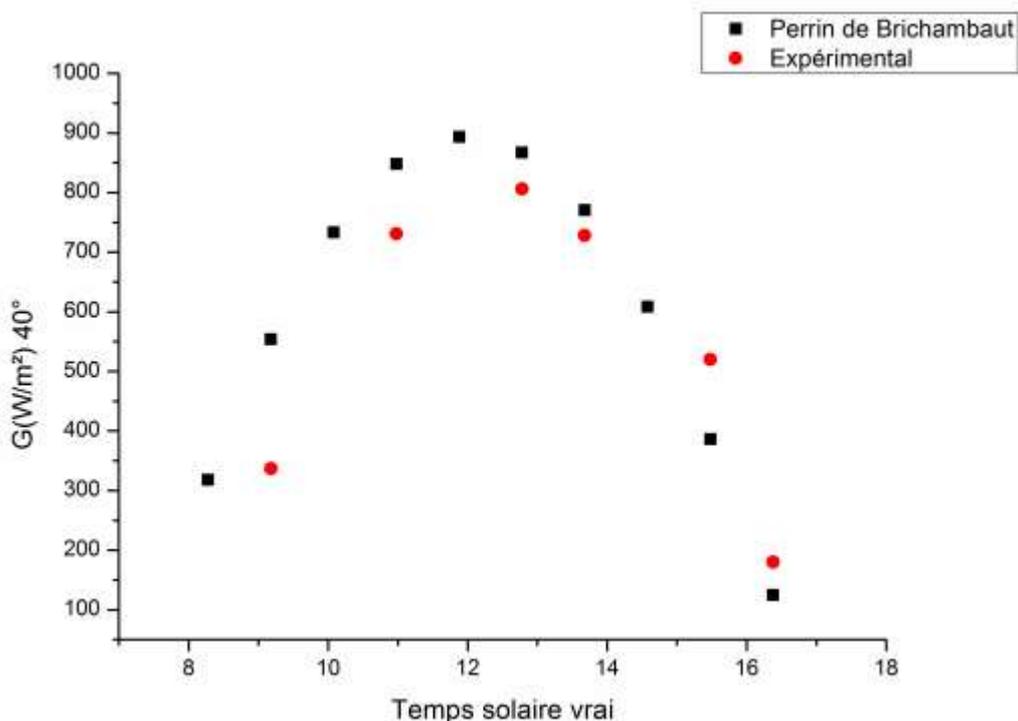


Figure IV.14.d : Comparaison : Expérimental – Perrin de Brichambaut 08 Janvier 2020 pour le cas d’angle d’inclinaison $\beta = 40^\circ$.

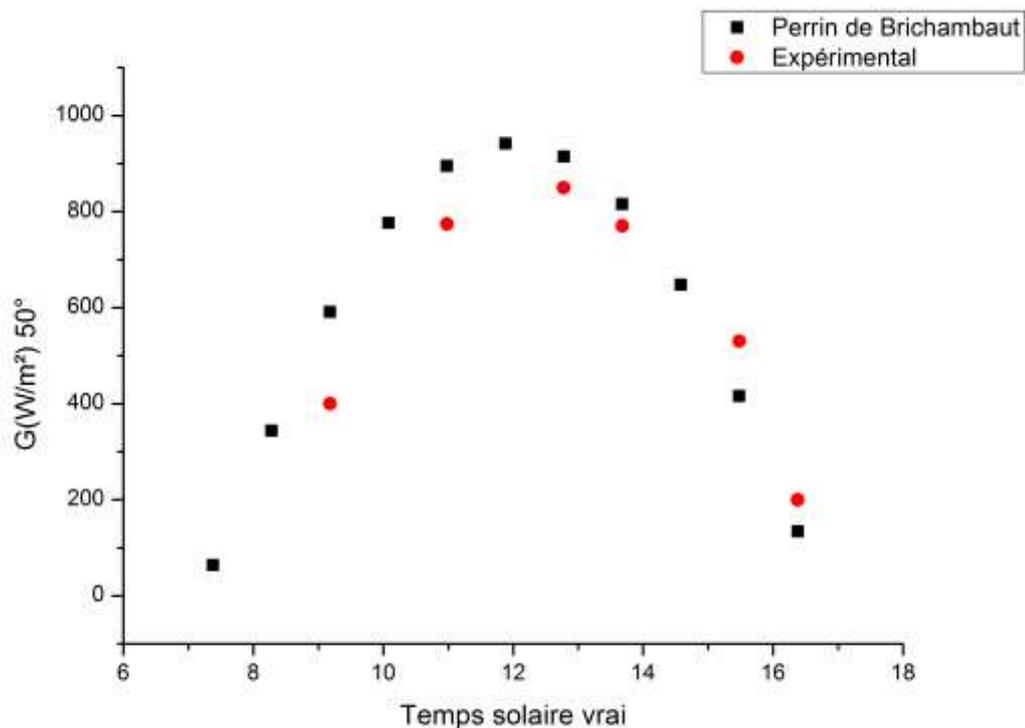


Figure IV.14.e : Comparaison : Expérimental – Perrin de Brichambaut 08 Janvier 2020 pour le cas d’angle d’inclinaison $\beta = 50^\circ$.

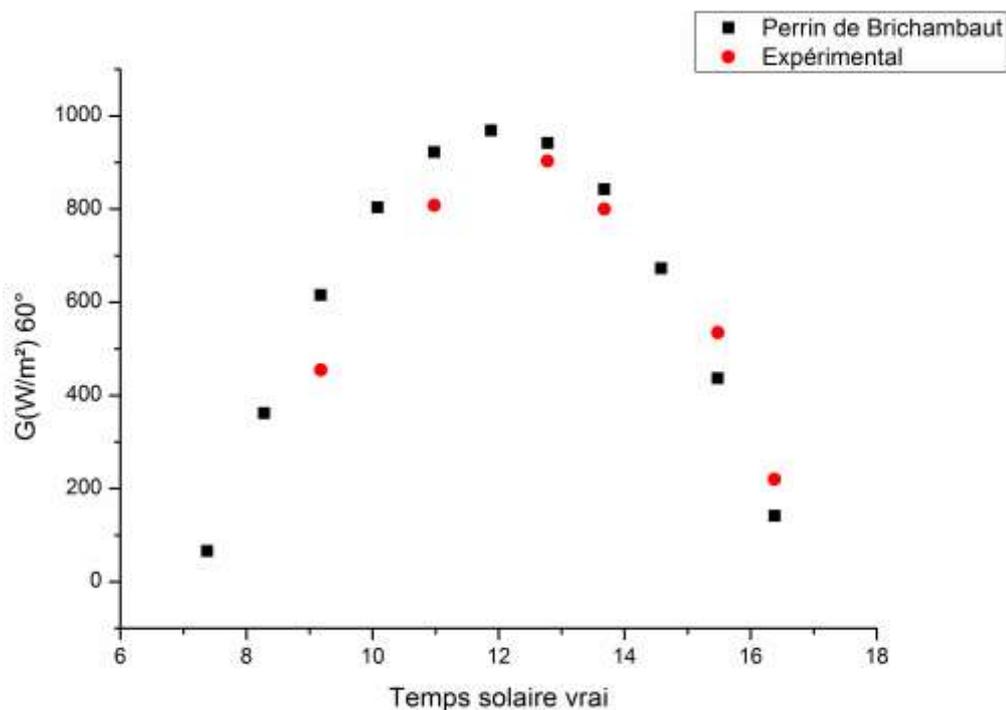


Figure IV.14.f : Comparaison : Expérimental – Perrin de Brichambaut 08 Janvier 2020 pour le cas d’angle d’inclinaison $\beta = 60^\circ$.

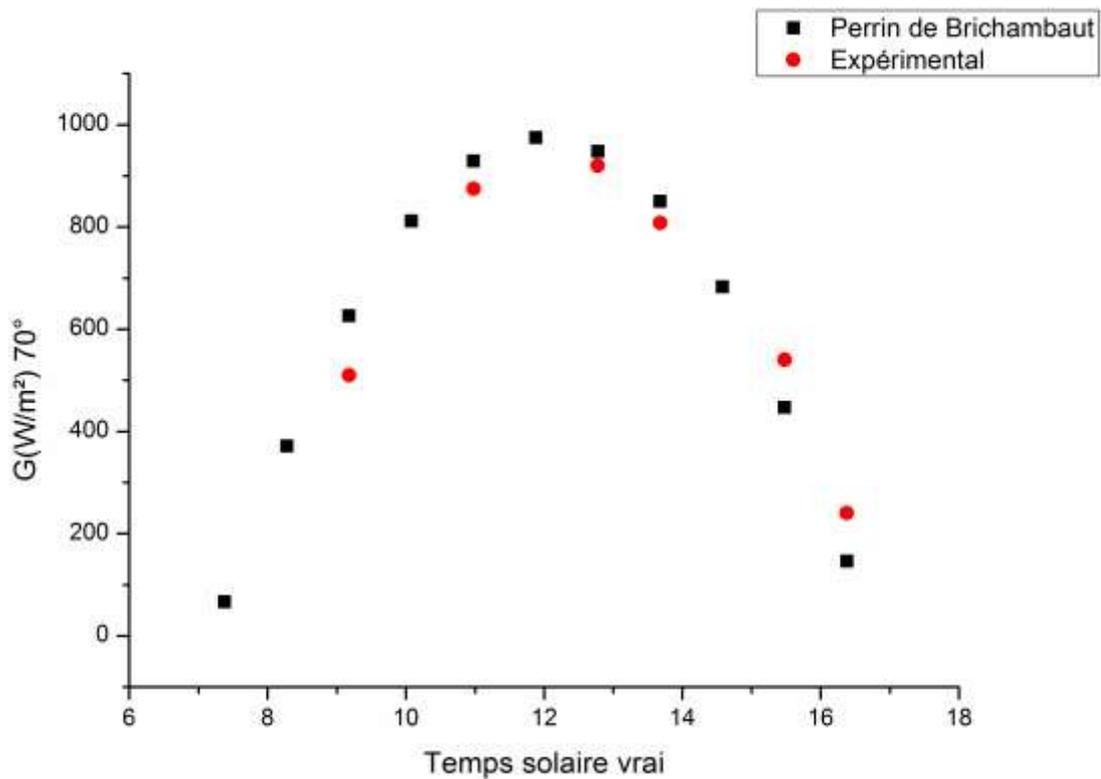


Figure IV.14.g : Comparaison Expérimental – Perrin de Brichambaut 08 Janvier 2020 pour le cas d’angle d’inclinaison $\beta = 70^\circ$.

IV.4.8. Comparaison entre le modèle et l’expérimental (15 Février 2020) :

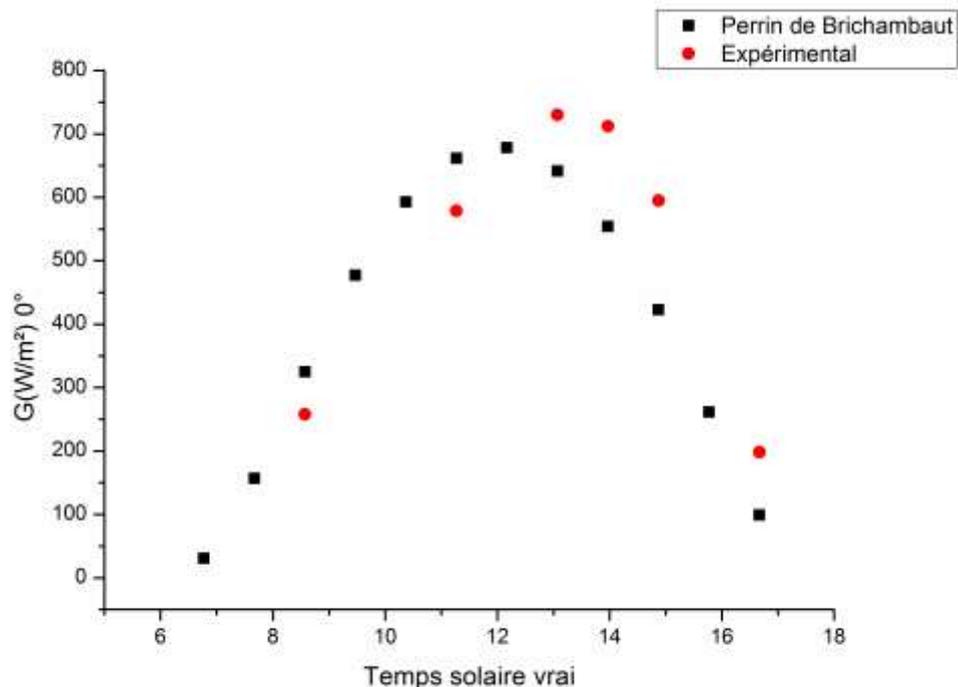


Figure IV.15.a : Comparaison : Expérimental – Perrin de Brichambaut 15 février 2020 pour le cas d’angle d’inclinaison $\beta = 0^\circ$.

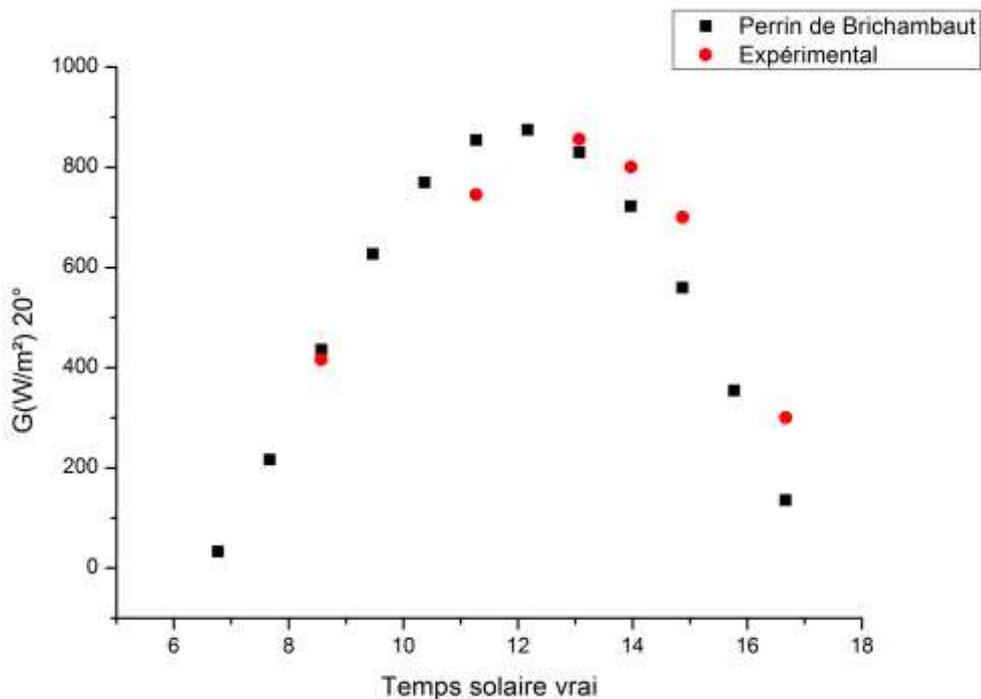


Figure IV.15.b : Comparaison : Expérimental – Perrin de Brichambaut 15 février 2020 pour le cas d’angle d’inclinaison $\beta = 20^\circ$.

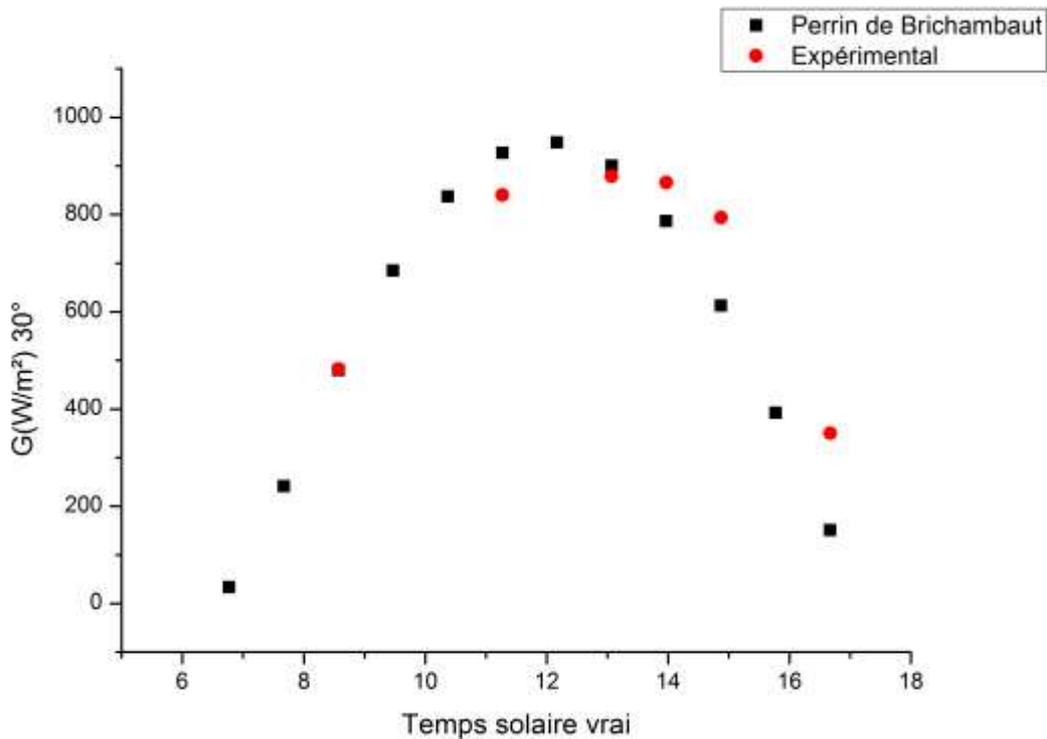


Figure IV.15.c : Comparaison Expérimental – Perrin de Brichambaut 15 février 2020 pour le cas d’angle d’inclinaison $\beta = 30^\circ$.

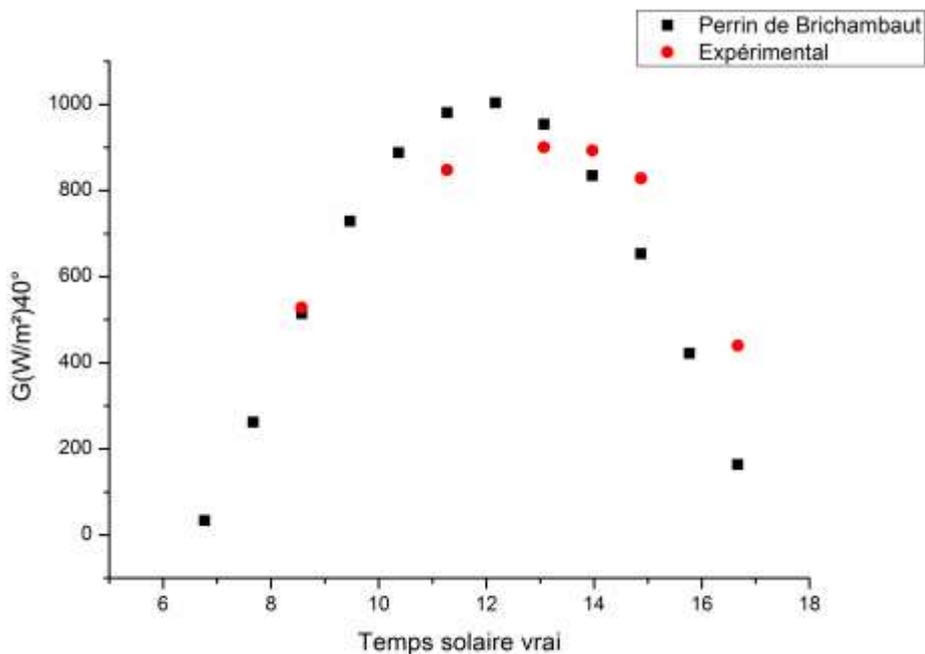


Figure IV.15.d : Comparaison : Expérimental – Perrin de Brichambaut 15 février 2020 pour le cas d’angle d’inclinaison $\beta = 40^\circ$.

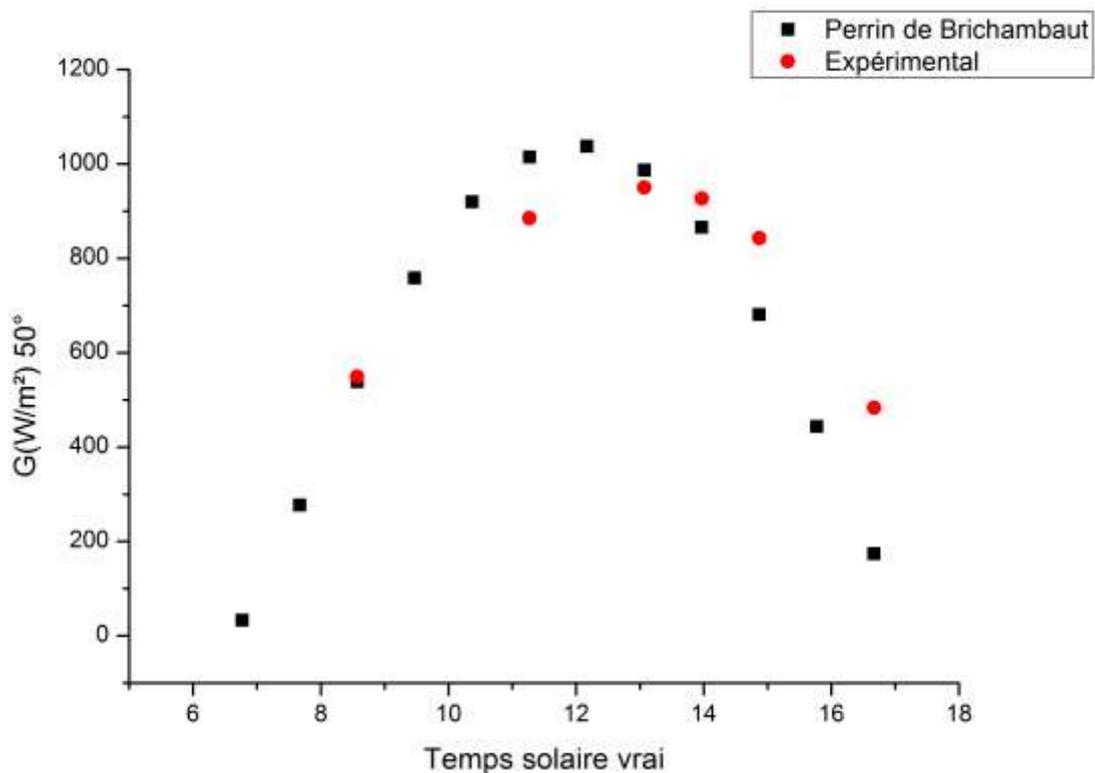


Figure IV.15.e : Comparaison : Expérimental – Perrin de Brichambaut 15 février 2020 pour le cas d’angle d’inclinaison $\beta = 50^\circ$.

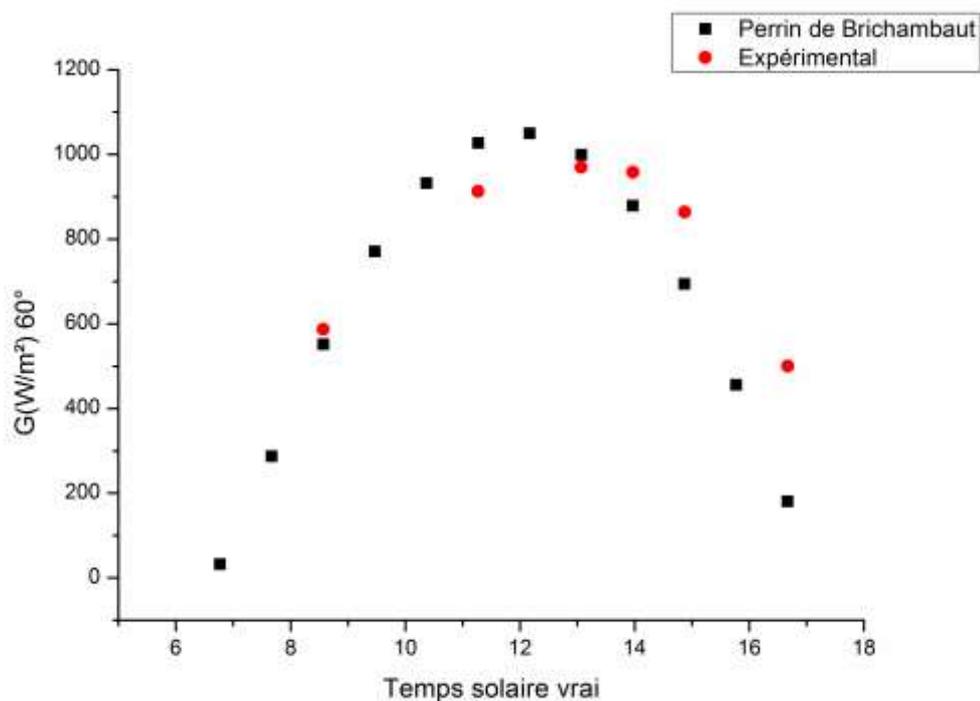


Figure IV.15.f : Comparaison : Expérimental – Perrin de Brichambaut 15 février 2020 pour le cas d’angle d’inclinaison $\beta = 60^\circ$.

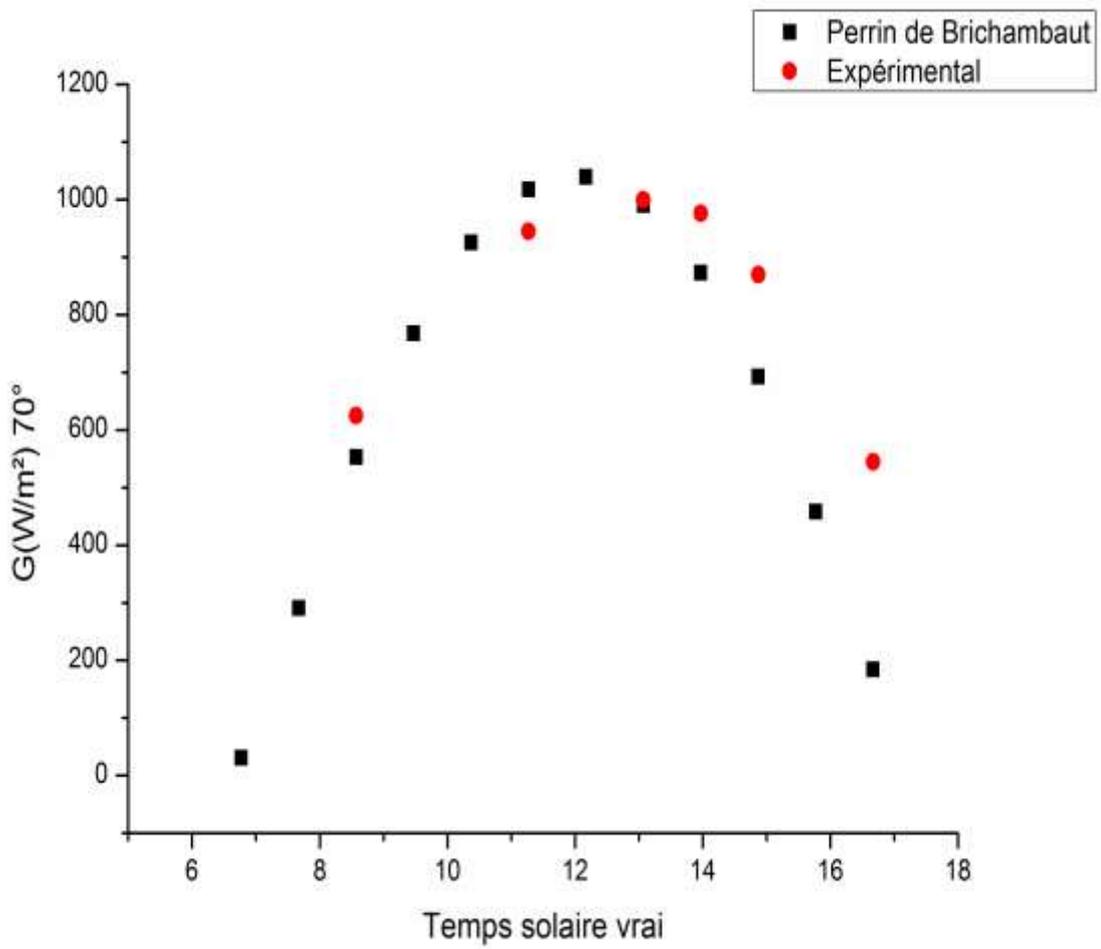


Figure IV.15.g : Comparaison : Expérimental – Perrin de Brichambaut 15 février 2020 pour le cas d’angle d’inclinaison $\beta = 70^\circ$.

IV.4.9. Comparaison entre le modèle et l'expérimental (01 Mars 2020) :

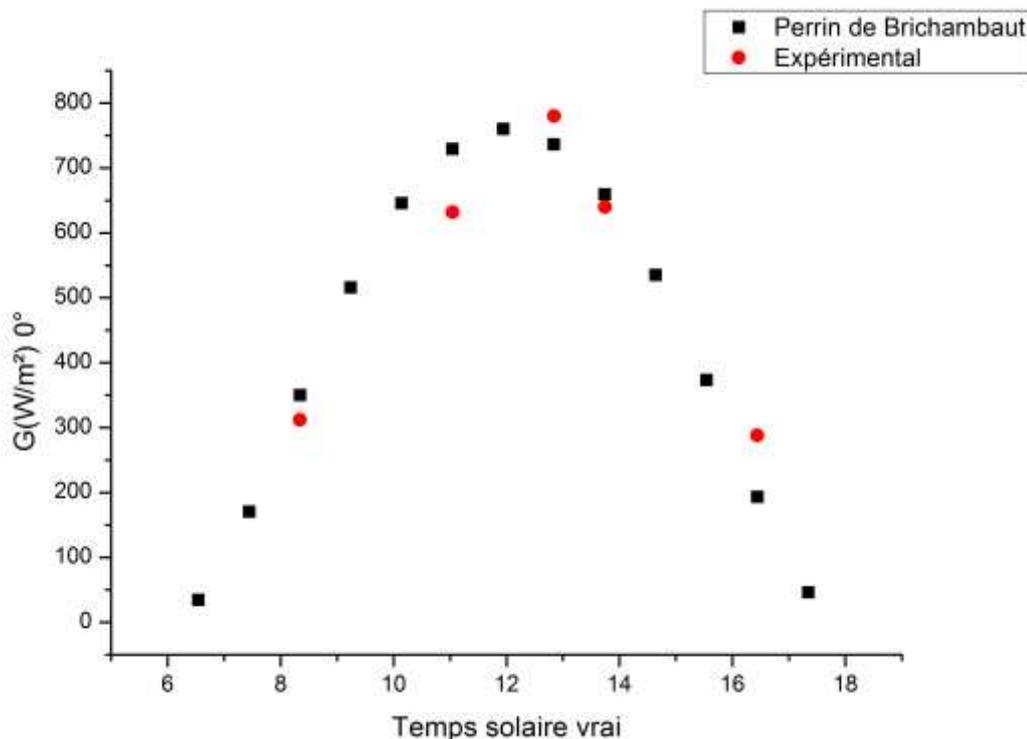


Figure IV.16.a : Comparaison : Expérimental – Perrin de Brichambaut 01 Mars 2020 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 0^\circ$.

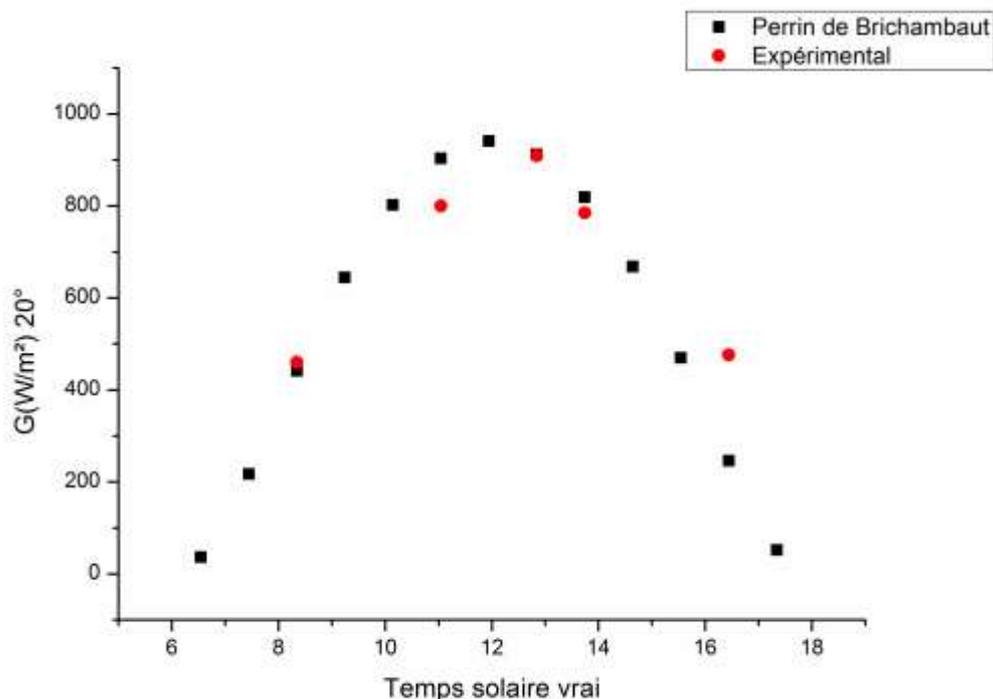


Figure IV.16.b : Comparaison : Expérimental – Perrin de Brichambaut 01 Mars 2020 pour le cas d'angle d'inclinaison $\beta = 20^\circ$.

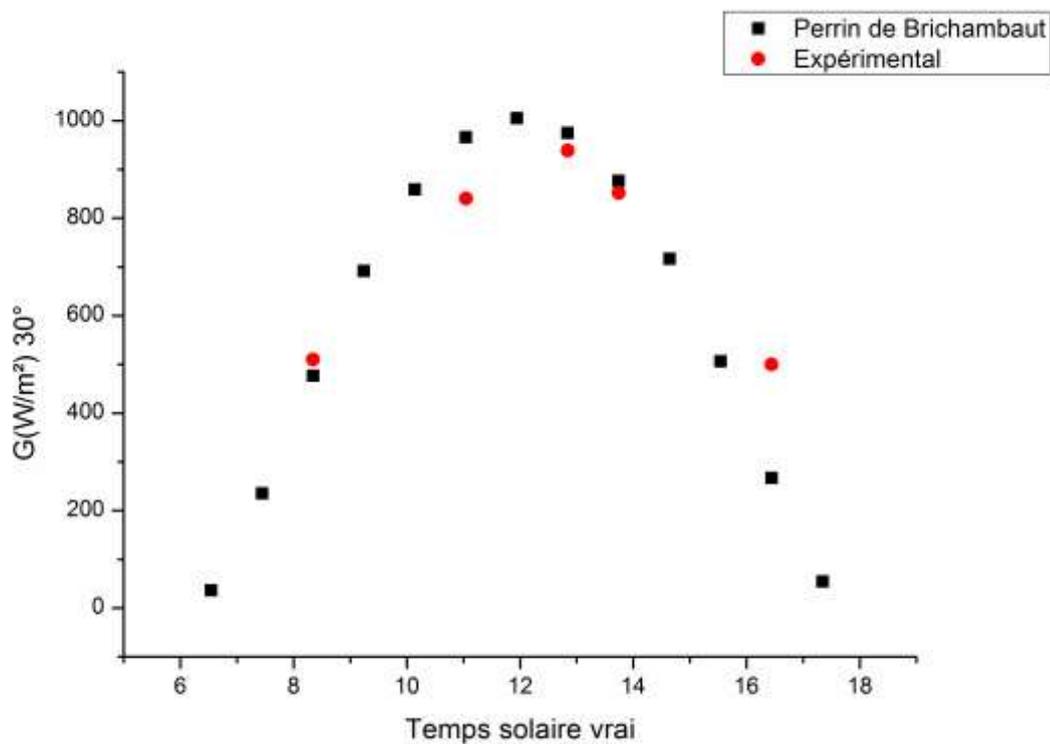


Figure IV.16.c : Comparaison : Expérimental – Perrin de Brichambaut 01 Mars 2020 pour le cas d’angle d’inclinaison $\beta = 30^\circ$.

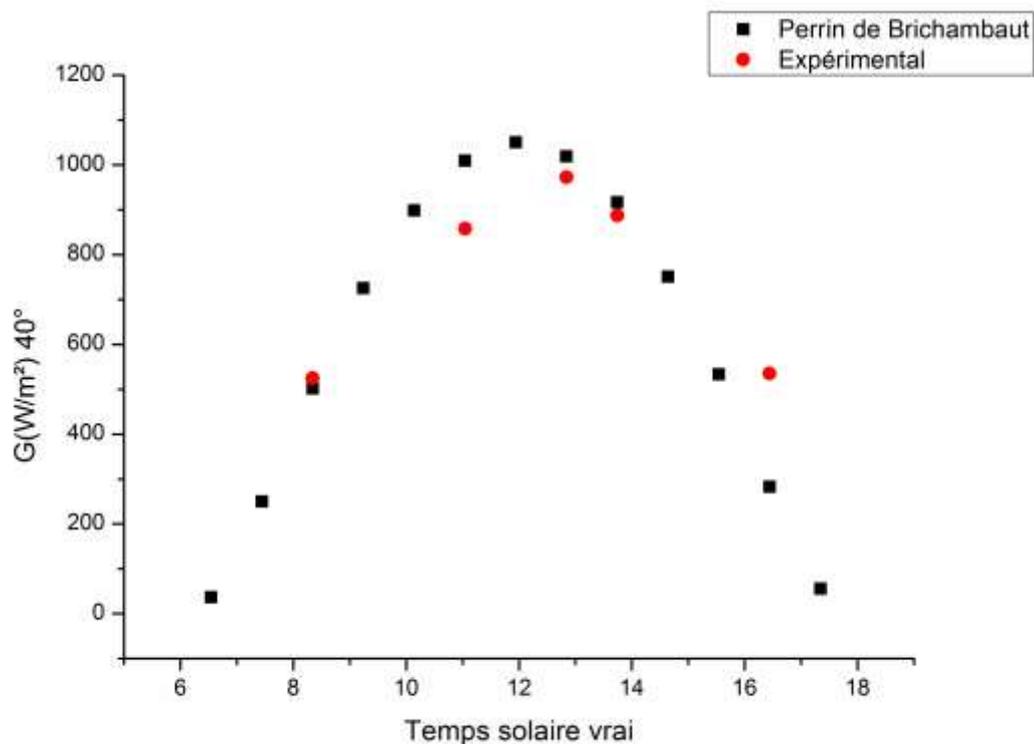


Figure IV.16.d : Comparaison : Expérimental – Perrin de Brichambaut 01 Mars 2020 pour le cas d’angle d’inclinaison $\beta = 40^\circ$.

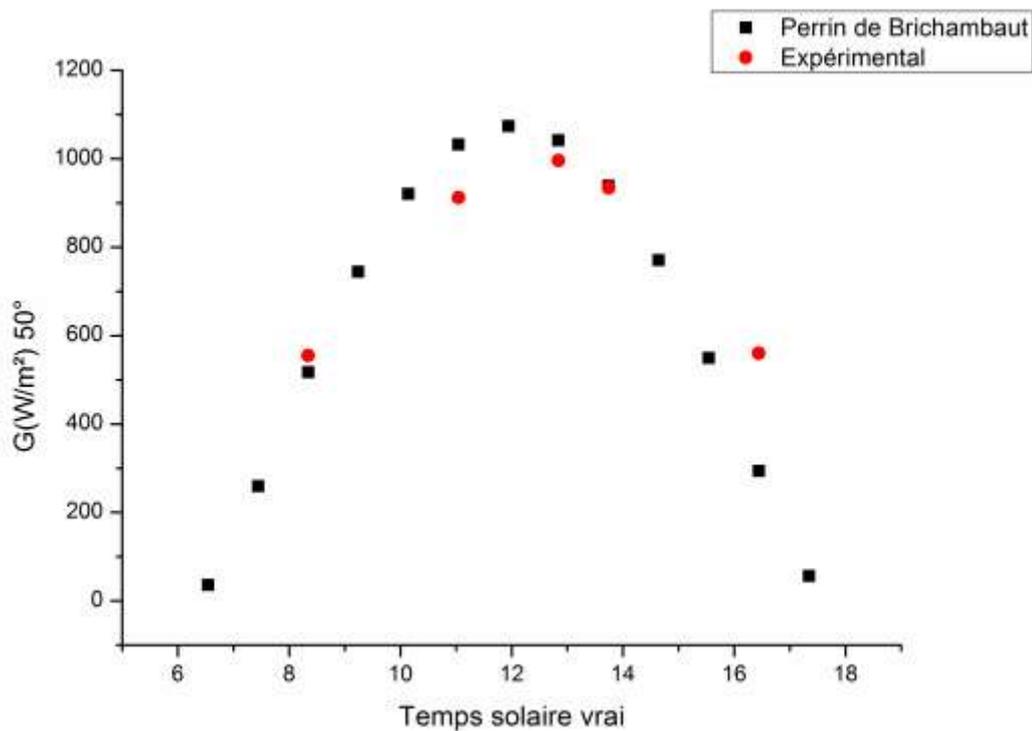


Figure IV.16.e : Comparaison : Expérimental – Perrin de Brichambaut 01 Mars 2020 pour le cas d’angled’inclinaison $\beta = 50^\circ$.

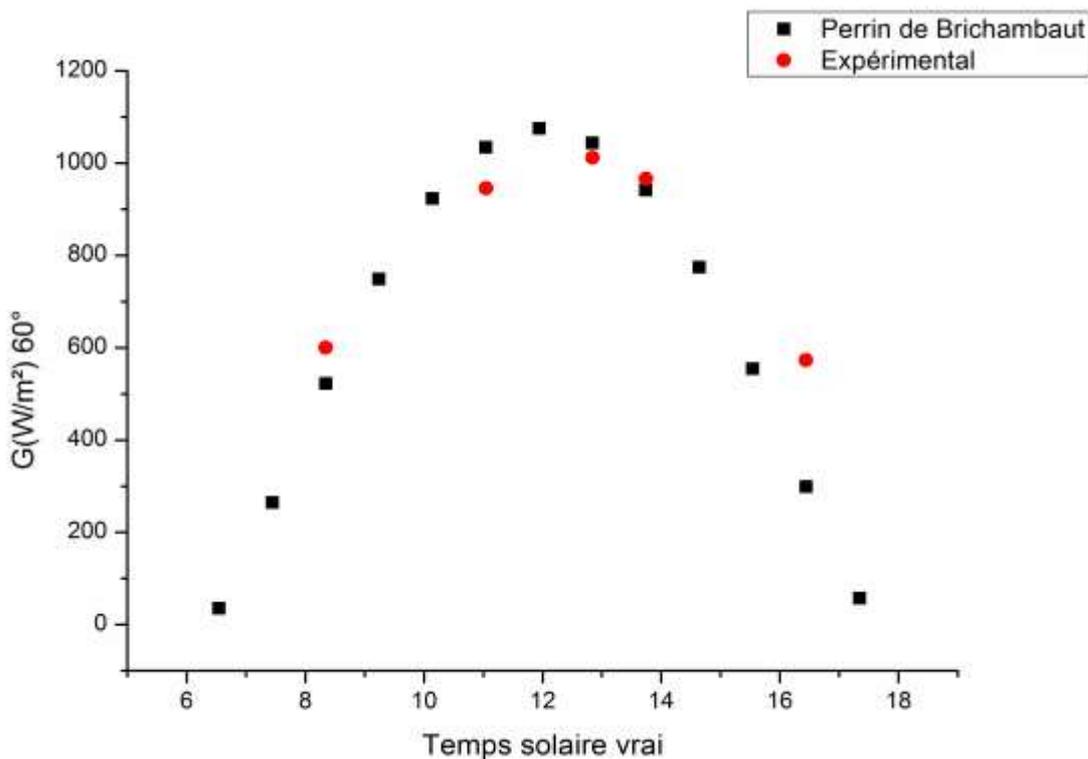


Figure IV.16.f : Comparaison : Expérimental – Perrin de Brichambaut 01 Mars 2020 pour le cas d’angled’inclinaison $\beta = 60^\circ$.

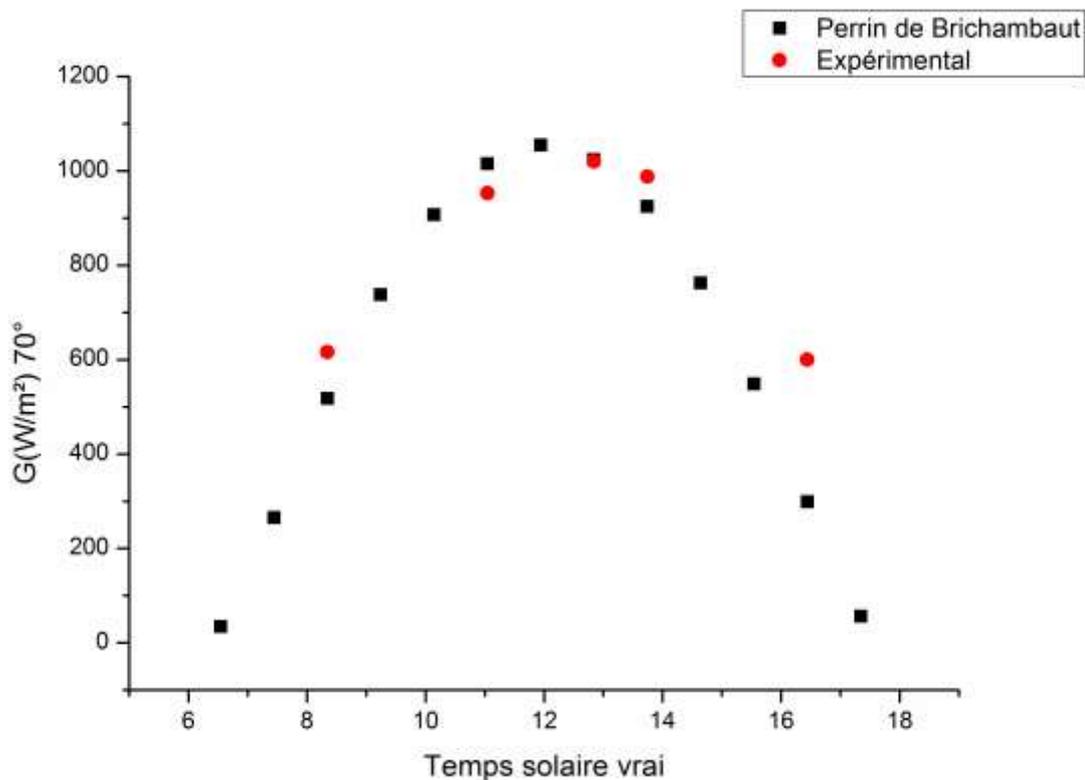


Figure IV.16.g : Comparaison : Expérimental – Perrin de Brichambaut 01 Mars 2020 pour le cas d’angle d’inclinaison $\beta = 70^\circ$.

Interprétation

Les figures ci-dessus qui traduisent la comparaison faite entre des valeurs réelles issues des expériences faites pour quelques mois de l’année ont montrées que le modèle choisi évalue d’une façon plus au mois précise le rayonnement solaire pour des inclinaisons différentes.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Ce travail, est réalisé pour proposer un modèle suffisamment pour prévoir selon divers contextes de rayonnement solaire global sur un plan horizontal et d'autre plan inclinés. Ceci est très important pour toute une série d'applications de la conversion de l'énergie solaire. En effet, l'absence de données auparavant, on ne saura pas quelle sera le potentiel solaire préalable pour assurer d'une telle faisabilité ou telle fonction.

Les travaux rencontrés qui, analysés dans la littérature relatifs à la modélisation du rayonnement solaires, montrent une diversité des modèles. Il y'en a ceux qui sont basés sur des données expérimentales propres aux sites étudiés et puis ceux qui sont basés sur la simulation. Mais pour chaque cas le modèle peut être amélioré ou remis en question ; son lieu et domaine de validité peuvent être clairement aperçus.

Après cette étude, l'élaboration d'un modèle adéquat pour le site de Biskra pour Cinq angles d'inclinaison, d'un quelconque projet solaire a été faite à travers une étude expérimentale. Il ressort des résultats expérimentaux que les valeurs trouvées donnent une bonne estimation du rayonnement solaire et sont en bon accord avec ceux donnés par le modèle élaboré choisi celui de Perrin de Brichambaut, aussi plus particulièrement pour une incidence sur un plan incliné.

L'énergie globale incidente sur un plan incliné est la plus appropriée que celle incidente sur un plan horizontal. La mise au point de la modélisation a été effectuée à l'aide instrument de mesures de l'éclairement solaire global sur des surfaces horizontales et inclinées.

Le traitement des données est effectué sur des mesures choisies couvrant l'année 2020, collectées chaque une heure pour le site de Biskra. Toutes ces étapes permettent de choisir des modèles adéquats. A partir de ces études les valeurs trouvées sont en bon accord avec ceux donnés par le modèle de Perrin de Brichambaut (très proches de l'expérimental).

Selon les confrontations et les résultats obtenus, nous avons jugé que :

En conclusion, nous affirmons à travers cette étude que le modèle de Perrin de Brichambaut peut servir en l'absence de mesures pour calculer les éclaircissements instantanés incidents sur un site pour différentes inclinaisons.

En perspectives, nous espérons que les prochaines promotions utilisent nos résultats comme base de données qui servira comme référence des études dans le domaine du gisement solaire.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] ZEDAYRIA Merouane «Effet Des Paramètres Géométriques, Thermophysiques Et Optiques Sur Les Performances Thermiques Des Capteurs Solaires Plans À Air » Thèse De Magistère En Énergétique, Université MOHAMED KHIDER BISKRA, 2010.
- [2] HADJ BELKACEMI Mohammed«Modélisation Et Etude Expérimentation D'un Capteur Solaire Non Vitré Et Perforé» Thèse De Magistère En *Energétique Et Matériaux*, Université Abou Bekr Belkaid De Tlemcen, 2011.
- [3] BAISSI Mohamed Tahar«Etude Théorique Et Expérimentale Des Paramètres De Fonctionnement D'un Capteur Solaire Plan» Thèse De Magistère En Systèmes Thermiques Et Maîtrise De L'énergie, Université MOHAMED KHIDER BISKRA, 2012.
- [4] K. Kerkouche 1, F. Cherfa, A. Hadj Arab S. Bouchakour, K. Abdeladim Et K. Bergheul «Evaluation De L'irradiation Solaire Globale Sur Une Surface Inclinée Selon Différents Modèles Pour Le Site De Bouzaréah »Revue Des Energies Renouvelables Vol. 16 N°2 (2013) 269 – 284
- [5] M.S. Diallo *, P. Faye, C. Mbow, M.L. Sow Et J. Sarr «Influence De L'inclinaison Des Parois Réfléchissantes D'un Capteur Solaire Thermique Sur La Température De L'absorbeur»*Revue Des Energies Renouvelables Vol. 17 N°1 (2014) 97 – 107*
- [6] Aghilas Brahim «Etude De Performances D'un Capteur Solaire Plan À Eau» Thèse De Magistère En Mécanique Et Énergétique, UNIVERSITE DE LORRAINE, 2016.
- [7] Mohammed Amin MELHEGUEG«Etude Théorique Et Caractérisation Expérimentale Du Gisement Solaire À Biskra» Thèse De Magistère En Énergétique Université MOHAMED KHIDER BISKRA, 2016.
- [8] BOUCETTA Lakhdar«Estimation Du Rayonnement Solaire À L'aide Du Modèle De l'Atlas Solaire De l'Algérie» Thèse De Magistère En Physique, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 2017.
- [9] MECHRAOUI MOHAMED YAZID«Etude Comparative De Deux Modelés De Calcul Du Rayonnement Solaire Par Ciel Claire En Biskra»
- [10] [Http://www.Techno-Science.Net/?Onglet=Glossaire&Definition=3392](http://www.Techno-Science.Net/?Onglet=Glossaire&Definition=3392)
- [11] RENE FRANCOIS BIZEC (1980) « La Recherche Sur Les Énergies Nouvelles »Sciences Édition.
- [12] RAYMOND BACQ (1982) « Le Guide De L'énergie Solaire Et Les Pompes À

- Chaleur » Edition Marabout.
- [13] <https://www.Connaissancedesenergies.Org/Fiche-Pedagogique/Geothermie>
- [14] Inconnu
- [15] MANAA SAADEDDINE «Contribution À L'étude Du Transfert De Chaleur D'un Capteur Solaire Placé Dans Un Climat Aride : Cas De La Région De Biskra. » Thèse De Doctorat En Énergétique ,Université MOHAMED KHIDER BISKRA, 2017.
- [16] BENKHELIFA Abdelaziz «Modélisation Et Expérimentation D'un Capteur Solaire Plan À Eau Influence De L'intensité De L'éclairement Solaire Et De L'inclinaison Du Capteur Solaire Sur Le Rendement Du Capteur» Thèse De Magistère En Génie Chimique, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 2012.
- [17] Faris AISSAOUI «Contribution À L'étude Du Transfert De Chaleur D'un Capteur Solaire Placé Dans Un Climat Aride : Cas De La Région De Biskra. » Thèse De Doctorat En Énergétique ,Université MOHAMED KHIDER BISKRA, 2017.
- [18] Romaiissa BENLAGHA «Estimation De La Température De Sortie D'un Insolateur Sous Divers Contextes Climatiques» » Thèse DeMagistère En Énergétique, Université MOHAMED KHIDER BISKRA, 2019.
- [19] Fouad. CHABANE. « Modélisation Des Paramètres De La Conversion Thermique De L'es' » Thèse De Doctorat En, Université Mohamed Khider Biskra ,2015.