

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT DE GENIE CLIMATIQUE

N°d'ordre :

MEMOIRE

N°Série :

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MAGISTER

en Génie Climatique

OPTION

THERMIQUE DU BATIMENT ET REFRIGERATION

THEME

**ETUDE DE L'UTILISATION D'UN BASSIN D'EAU
COMME CAPTEUR SOLAIRE**

PAR

Mr. CHIBA YOUNES

Soutenu publiquement le,20/12/2005

Devant le jury :

Président : Pr. A. KAABI

Professeur Université Mentouri

Rapporteur : Dr. S. SAOULI

Maître de Conférences Université Kasdi Merbeh

Examineurs : Dr. M. S.ROUABAH

Maître de Conférences Université Mentouri

Dr. Y. KHETTIB

Maître de Conférences Université Mentouri

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à Dr. Salah Saouli, maître de Conférences à l'université Kasdi Merbeh Ouargla, qui m'a permis de réaliser ce travail sous sa direction et pour le soutien et les conseils précieux tout long du travail.

Je remercie vivement :

- Pr. A. Kaâbi, Professeur à l'université Mentouri Constantine, qui a bien voulu accepter de présider le jury de soutenance.
- Dr. M.S.Rouabah, maître de Conférences à l'université Mentouri Constantine et Dr. Y. Khettib, maître de Conférences à l'université Mentouri Constantine pour avoir accepté de participer au jury de soutenance.

J'adresse tous mes remerciements aux personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail, en particulier :

- Mr M. Soltani et R. Gomri, maîtres assistants à l'université Mentouri Constantine.
- Mes collègues, Zakaria, Zohir, Jalal, Khiredine, Karima, Rebiha, Amel, Nadia, Fatima, Amine khodja Medjdoub, Walid, Fateh, Ismail, Laid, Yacine, Youcef.
- Mr M.A.B. Larbi youcef attaché de recherche à centre de développement des énergies renouvelables, Bouzaréah, Alger.
- Mr Karim, attaché de recherche à institut des énergies renouvelables, Ghardaïa.
- Equipe de laboratoire des énergies renouvelables dans les zones arides à l'université Kasdi Merbah Ouargla.
- Les ingénieurs en génie des procédés Mr. M.K Abdellaoui, F.Guericha à l'université Kasdi Merbeh Ouargla.

DEDICACE

Je dédie ce travail à mes très chers parents

et mon frère Mouhemed Lâardj

Sans oublier mes sœurs et mes frères.

L'AUTEUR

Mr : Chiba Younes

Adresse : BP 92 Gharbouz, RP Wilaya Ouargla 30.000 ALGERIE

Email : Chiba_younes@yahoo.co.uk



Diplômes:

1. Ingeieur d'état en génie climatique – Université Mintouri Constantine

Projet de l'ingéniorat :

**Climatisation d'un Immeuble Administratif et Proposition
d'un Système de Chauffage par énergie solaire**

2. Magister en thermique de bâtiment et réfrigération – Université Mintouri

Projet de Magister:

Etude de l'utilisation d'un bassin d'eau comme capteur solaire plan

INTRODUCTION

Les énergies renouvelables ont été utilisées depuis longtemps pour produire de la chaleur, l'eau chaude sanitaire, l'électricité etc. Bien que l'expérience accumulée soit considérable, ce domaine a connu, avec le développement technologique actuel, un renouvellement important sur le plan théorique et expérimentale.

L'énergie solaire dans les pays chauds est une ressource à ne pas négliger car son exploitation peut devenir un facteur important de leur développement. La plupart des pays à climat méditerranéen ou tempéré bénéficient d'une irradiation solaire appréciable au cours de l'année. L'application de l'énergie solaire aux conditions locales, jusqu'à présent, les installations solaires susceptibles de satisfaire ces usages n'ont pas été envisagées à cause de l'investissement important. Pourtant il est loin le temps où la crise de l'énergie était considérée comme un mythe. Même s'il n'existe pas de pénurie d'énergie à cause du principe de l'offre et de la demande, on ressent la crise par l'augmentation des prix nécessaires à la sauvegarde des ressources d'énergies primaires non renouvelables. Parmi les techniques d'utilisation rationnelle d'énergie à bas niveau en cours de développement sur les bassins solaires " Solar Ponds" qui offrent des potentiels encourageants.

Nous venons de présenter les problèmes d'exploitation de l'énergie solaire, ensuite la possibilité d'utilisation des bassins solaires sous des climats favorables en vue de réduire partiellement l'usage des énergies classiques.

Le travail que nous présentons est une contribution à l'étude d'un bassin solaire. Il se présente selon le plan suivant :

- Le premier chapitre présente une étude bibliographique concernant des généralités sur les capteurs solaires et les différentes méthodes de production d'eau chaude sanitaire, suivi d'un bref historique sur les bassins solaires ainsi que sur les différents types de bassins solaires et les problèmes liés à leurs fonctionnements.
- Le deuxième chapitre est consacré au gisement solaire où on a exposé un modèle semi-empirique pour déterminer le flux solaire incident sur le bassin solaire.

- Le troisième chapitre présente une étude théorique des différentes équations gouvernant le fonctionnement du système avec une étude de simulation, ainsi que les différents résultats obtenus avec leurs interprétations.
- Le quatrième chapitre présente une étude expérimentale avec les différents instrumentation, ainsi que les différents résultats obtenus avec leurs interprétations.
- Enfin, la partie annexe comprend notamment, la méthode numérique des trapèzes et les différents nombres adimensionnels.

SOMMAIRE

Introduction	1
CHAPITRE I : ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE	
I.1.Generalités sur les capteurs solaires	3
I.2.Bassin d' eau solaire	3
I.3.Pertes thermiques dans différent types de bassins solaires	10
I.4.Problème lié au fonctionnement des bassins solaires	11
CHAPITRE II :GISEMENT SOLAIRE	
II.1.Introduction	13
II.2.Sphère céleste	13
II.3.Coordonnées célestes	14
II.4.Temps solaires	16
II.5.Estimation de l'ensoleillement	17
CHAPITRE III : ETUDE THEORIQUE	
III.1.Introduction	22
III.2.Paramètres influents sur le bassin solaire	22
III.3.Bilan énergétique du bassin d'eau solaire	24
III.4.Simulation	32
III.5.Programme de calcul	32
III.6.Organigrammes	33
III.7.Résultats théoriques	36
III.7.1.Variation de la puissance solaire	36
III.7.2.Variation de coefficient de pertes thermiques	37
III.7.3.Variation de température du fluide caloporteur	39
III.7.3.1.Effet du débit du fluide caloporteur	39
III.7.3.2.Effet de masse de fluide de bassin solaire	40
III.7.4. Variation de température du fluide du bassin solaire	41
III.7.4.1.Effet du débit du fluide caloporteur	41
III.7.4.2.Effet de masse de fluide de bassin solaire	42
III.7.5.Variation des puissances utiles	43
III.7.6.Variation du rendement	44

CHAPITRE IV : ETUDE EXPERIMENTALE

IV1.Introduction	46
IV.2.Mesure du rayonnement solaire	46
IV.3.Instrumentations et mesures	46
IV.4.Description de l'expérience	47
IV.5.Résultats expérimentaux	53
IV.5.1.Variation de rayonnement solaire	53
IV.5.2.Variation de température de fluide caloporteur	56
IV.5.3.Variation de température du fluide de bassin solaire	58
IV.5.4.Variation de puissance utile	61
IV.5.5.Variation du rendement	63
IV.6.Comparaison des résultats théoriques et expérimentaux	66
IV.6.1.Puissance utile	66
IV.6.2.Température du fluide de bassin solaire	67
IV.6.3.Température de sortie du fluide caloporteur	68
Conclusion	69
Bibliographie	71
Annexes	
Annexe A : Méthode des trapèzes	75
Annexe B : Nombres adimensionnels	76

BIBLIOGRAPHIE

- [1] RAMAKRISHNA G.R. M. , PANDEY K.P. , Scope of fertiliser solar ponds in Indian agriculture, Solar Energy. Issue 2 Vol 27 (2002) pp117-126
- [2] KISHORE V.V.N., GUINDHI M.R. , Rao K.S. , Experimental and analytical studies of shallow solar pond systems with continuous heat extraction, Solar Energy. Vol.36 N°3 (1986) pp245-256.
- [3] DAGUENET M. , Les séchoirs solaires , théorie et pratique , Unisco, Paris, 1985.
- [4] SABETTA F. , PACETTI M. , PRINCIPI P. , An internal heat extraction system for solar Ponds, Solar Energy .Vol.34N°4/5 (1985) pp297-302 .
- [5] KISHORE V.V.N. , KUMAR A. , Solar pond an exercise in development of indigenous technology at kutch, India, Energy for Sustainable Development . Vol 3 N° 1 (1996) pp17-28.
- [6] HUSEYIN K., MEHMET O. A. , KORHAN B. , MAKINA E. B. , KARABUK T.E. F., The theoretical and experimental investigation of temperature and salinity gradient in salt gradient solar ponds, J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. Vol: 20, N°1 (2005) pp 125-135.
- [7] ANDREW D.C. , JEFFREY D. S. , SIMON J.R. , MARVIN D.S., A Model for simulating the performance of shallow pond as supplemental heat rejecter with closed-loop ground-source heat pump systems, American society of heating. Vol 106 Part 2 (2000) pp107-121.
- [8] DROPKIN D., SOMERSCALES E. , Heat transfer by natural convection in liquids confined by Two parallel plates which are inclined at various angles with respect to horizontal, ASME J. Heat Transfer (1965) pp77-87.

-
- [9] DUFFIE J. A. , BECKMAN W. A., Solar energy thermal processes, John Wiley and Sons, New York,1974.
- [10] SAYIGH A.A. , Basic of solar energy, Solar Energy Conversion, Pergamon Press, Ontario,1979.
- [11] SAYIGH A.A. , Characteristics of solar radiation, Solar Energy Conversion, Pergamon Press, Ontario ,1979.
- [12] CHIBA Y., SAOULI S. , Analyse théorique d'un bassin d'eau utilisé comme capteur solaire plan, Journées Etudes Nationales de Mécanique (JENM05), Ouargla, Algérie, 2005.
- [13] Shree S. N., John P. B. , Doug H. E. , Application of pond as a tool for analysis and planning, Fourteenth Annual Technical Report 2000.
- [14] FARES M. H., FADHIL N. S., Assessment of water bodies and lagoons of coastal sabkhas of abu dhabi as potential sites for naturel salinity-gradient solar pond(SGSP), International Conference on Energy, Environment and Disasters (INCEED), Charlotte, USA, 2005.
- [15] BESSEMOULIN P. , OLIVIERI J. , Le rayonnement solaire et sa composante Ultraviolette, La Météorologie. 8^{eme} série N° 31 (2000) p42-59.
- [16] OUIN J. , Transfert thermiques ,rappels de cours et applications, Casteilla, Paris 1998.
- [17] ZAIDI H. , Etude et optimisation des paramètres thermo physiques en vue de l'amélioration de la performance d'un distillateur solaire, Mémoire Magister, Université Mintouri Constantine, Algérie,2003.
- [18] GEORGE M. B. , Salt-Gradient Solar Ponds, American Chemical Society (ChemMatters).(1989) pp12-17.

- [19] STPHEN L., DIP A. S., DIP R. , AC. ,The solar salt heat gradient pond with biomass for Ethanol production as means to remediates salt –affected agricultural land, Lucks S.F.(2003) pp1-6.
- [20] KREITH F. , KREIDER J. , Principles of solar engineering, Hemisphere Publishing Corporation, Washington ,1978.
- [21] GOURDAN A. , BOUMAH RAT M. , Méthodes numériques appliquées, Office publications universitaires OPU, Alger,1993.
- [22] CHERON B. , Transfert thermique, résumé de cours - problèmes corrigés, Ellipses, Paris, 1999.
- [23] CAPDEROU M. , Atlas solaire de l'Algérie, Vol 1,2,3, Office publications universitaires OPU, Alger,1986 .
- [24] SACADURA J.F. , Initiation de transfert thermiques, Technique et documentation, Paris,1982.
- [25] BERNARD R. , MERGUY G. , SCHWARTZ M. , Le Rayonnement solaire conversion, Technique et documentation, Paris,1980.
- [26] SFEIR A.A. , GUARRACINO G. , Ingénierie des systèmes solaires, Application dans l'habitat, Technique et documentation, Paris 1981.
- [27] MOHANTY B. , Contribution de gestion optimale d'énergie solaire en vue de la production de froid par cycle à absorption, Thèse Doctorat, Institut national polytechnique de Toulouse, France,1985.
- [28] VELLUET M. P. , Système de réfrigération solaire par cycle à absorption - Possibilité d'autonomie mécanique, Thèse Doctorat, Université Pierre et Marie Curie Paris 6, France, 1980.

-
- [29] SEMMAR D. , BETROUNI S. , LARFI D. , Etude et réalisation d'un capteur solaire à air, Revue des énergies renouvelables(CDER). Issn 1112-2242 (1998) p 33-38.
- [30] BENKHELIFA A. ,Optimisation d'un capteur solaire plan, Revue des énergies renouvelables(CDER). Issn 1112-2242 (1998) p13-18.
- [31] HAMID A. , SADI A. , Etude expérimentale du comportement thermique d'une maison solaire passive destinée pour les régions sud de l'Algérie, Revue des énergies renouvelables(CDER). Issn 1112-2242 (1998) p45-48.
- [32] DARYL R. M., WILCOXA S., ANDERBERGA M. , ALAWAJIB S.H., ALABBADIB N. M. , BINMAHFOODHB M.Y. , Saudi arabian solar radiation network and data for validating satellite remote-sensig system, Published in Earth Observing Systems. IV SPIE Vol 3750 (1999) pp18-20.
- [33] OUMI M. , GUIWANI A. , BELGHITH A. , Simulation of the control of a salt gradient Solar pond in the south of Tunisia , Solar Energy. Issue 2Vol 75 (2003) pp95-101.
- [34] DAMOU M. , Mécanique des fluides, Office publications universitaires OPU, Alger,1994 .

IV.1.INTRODUCTION :

Ce chapitre présente une analyse expérimentale de l'utilisation d'un bassin d'eau peu profond comme un capteur solaire plan avec extraction continue de la chaleur. Le bassin est un récipient circulaire avec un fond noir et rempli d'eau coloré, la chaleur est extraite par la circulation d'eau dans un serpentin en PVC disposé dans le lit d'eau. Le bassin est ensuite couvert de deux films plastiques afin de favoriser l'effet de serre. L'influence de la température de l'entrée du fluide caloporteur, température de fluide du bassin et l'ensoleillement sur le comportement thermique du capteur en régime transitoire est étudiée.

L'appareillage a été conçu pour permettre la détermination expérimentale des paramètres globaux de transfert. Nous avons adopté des technologies déjà développées au laboratoire. L'installation de bassin solaire conçue en vue d'une application dans plusieurs domaines, c'est-à-dire pour satisfaire les conditions imposées (chauffage, réfrigération, séchage, etc.)

IV.2.MESURE DU RAYONNEMENT SOLAIRE :

Pour mesurer le rayonnement solaire au niveau de sol on peut utiliser les instruments suivantes:

1.LE RADIOMETRE :

Le radiomètre est un appareil permettant de mettre en évidence l'énergie transportée par les radiations, il est constitué d'une ampoule de verre contenant de l'air à faible pression et un petit moulin à quatre pales ayant chacune une face noire et une face blanche. Il en résulte une dissymétrie dans l'absorption du rayonnement incident, qui provoque la mise en rotation du moulin.

2.LE PYRANOMETRE :

Le pyranomètre est un radiomètre pour la mesure du rayonnement dans un plan, le rayonnement incident étant issu de l'ensemble de l'hémisphère situé au-dessus de l'instrument. la figure (IV.1.a)

3.LE PYRHELIOMETRE :

Le pyrhéliomètre est un radiomètre muni d'un collimateur, pour la mesure du rayonnement solaire direct sous incidence normale.

IV.3.INSTRUMENTATIONS ET MESURES :

IV.3.1.MESURE DE L'ECLAIREMENT GLOBAL :

La mesure de l'éclairement global est effectuée à l'aide d'un pyranomètre. est placé horizontalement sur la surface du bassin d'eau, ainsi que le solari mètre (afficheur numérique)

est placé dans la salle de contrôle du laboratoire ,tel que l'afficheur et le pyranomètre sont reliés par un simple fil électrique, la figure (IV.1.a).

IV.3.2. MESURE DE LA VITESSE DU VENT :

La mesure de la vitesse du vent est effectuée à l'aide d'un anémomètre. Ce dernier est placé au voisinage de bassin d'eau, la figure (IV.1.a).

IV.3.3. MESURE DES TEMPERATURES :

La mesure des température est effectuée à l'aide des thermomètres qui sont installés au niveau du bassin d'eau.

IV.3.4. MESURE DE DEBIT :

La mesure de débit est effectuée à l'aide d'un débitmètre qui est installé au niveau de l'entrée du fluide caloporteur. la figure (IV.1.a)

IV.3.5.POMPE :

La pompe est utilisé pour avoir circuler le fluide caloporteur et vaincre les pertes de charges, tel que lieu de l'expérience est situé loin de source d'alimentation en eau .

IV.4.DESCRPTION DE L'EXPERIENCE :

L'expérience ont été réalisées au moyen d'une installation de mesure montée dans le laboratoire des Energies Renouvelables dans les Zones Arides, Université de Ouargla .Il s'agit d'une installation permettant la mise en circulation du fluide caloporteur dans le bassin d'eau peu profond, une description détaillé de cette installation et des différents dispositifs de mesure est présentée dans la figure (IV.1.b). Le prototype, qui a été mise en place, à permet de connaître les évolutions des paramètres suivantes:

- 1.Eclairement global horizontal qui arrive sur la surface du bassin solaire.
- 2.Vitesse et direction du vent.
- 3.Température ambiante.
- 4.Température de bassin d'eau.
- 5.Température de l'entrée et de sortie du fluide caloporteur.
- 6.Calculer la quantité de chaleur reçue par le fluide caloporteur en utilisant la formule :

$$Q_U = \dot{m}.c_p(T_{es} - T_{ee}) \quad (VI.1)$$

Ainsi , les résultats obtenus sont résumées dans les tableaux.



Thermo-couple

Solarimètre



Débitmètre



Pyranomètre



Anémomètre

Figure (IV.1.a) : Les instruments de Mesure



Figure (IV.1.b) : Différents éléments constituant le bassin solaire

Tableau (IV.1) : Mesures et Résultats expérimentaux (Le, 26/04/2005)

Temps	V	\dot{m}	I	T_a	T_{ee}	T_{es}	ΔT	T_B	Q_U
heure	m/s	kg/s	W/m²	°C	°C	°C	°C	°C	W
08h:30	3.20	0.0016	215	24	25	29.5	4.50	31.00	30.13
09h:00	2.60	0.0016	361	24	26	30	4.00	31.00	26.78
09h:30	3.60	0.0016	446	25	27	32	5.00	32.00	33.48
10h:00	6.40	0.0016	535	27	29	34	5.00	33.00	33.48
10h:30	5.10	0.0016	625	27	30	35	5.00	34.00	33.48
11h:00	5.80	0.0016	698	27	31.5	36.5	5.00	35.00	33.48
11h:30	3.70	0.0016	770	27	32	39	7.00	37.00	33.48
12h:00	3.80	0.0016	808	28	34	40	6.00	39.00	33.48
12h:30	2.40	0.0016	835	28	34.5	41.5	7.00	41.00	46.87
13h:00	2.60	0.0016	846	28	35	43	8.00	42.00	53.57
13h:30	4.00	0.0016	790	29	36	45	9.00	45.00	60.26
14h:00	1.90	0.0016	796	29	37	46	9.00	46.00	60.26
14h:30	2.40	0.0016	745	29	37	46.5	9.50	47.00	63.61
15h:00	1.50	0.0016	683	29	37	47	10.000	47.50	66.96
15h:30	1.70	0.0016	602	29	36.5	47	10.50	49.00	63.61
16h:00	2.40	0.0016	513	29	36	46	10.00	49.00	66.96
16h:30	1.60	0.0016	383	29	35.5	46	10.50	49.00	70.31
17h:00	1.20	0.0016	283	29	35	46	11.00	47.00	73.66

Tableau (IV.2) : Mesures et Résultats expérimentaux (Le, 30/04/2005)

Temps	V	\dot{m}	I	T_a	T_{ee}	T_{es}	ΔT	T_B	Q_U
heure	m/s	kg/s	W/m²	°C	°C	°C	°C	°C	W
08h:30	2.30	0.0016	290	22.00	24.50	28.00	3.50	27.00	26.75
09h:00	2.50	0.0016	395	22.00	25.00	28.50	3.50	27.00	23.40
09h:30	0.90	0.0016	490	24.00	25.50	31.50	6.00	28.00	40.12
10h:00	1.70	0.0016	514	24.00	27.50	32.00	4.50	30.00	30.09
10h:30	1.90	0.0016	650	24.00	29.50	33.00	3.50	32.00	23.40
11h:00	1.30	0.0016	740	24.00	31.00	35.00	4.00	36.00	26.75
11h:30	3.20	0.0016	813	25.00	33.00	37.00	4.00	38.00	26.75
12h:00	2.50	0.0016	885	25.00	34.00	39.00	5.00	39.50	33.44
12h:30	3.30	0.0016	906	25.00	34.50	41.00	6.50	41.00	43.47
13h:00	2.90	0.0016	923	25.00	35.00	42.50	7.50	44.00	50.16
13h:30	2.50	0.0016	908	26.00	36.00	44.00	8.00	46.00	53.50
14h:00	2.60	0.0016	875	26.00	35.00	45.00	10.00	48.00	66.88
14h:30	3.50	0.0016	830	26.00	36.00	45.00	9.00	48.00	60.19
15h:00	3.40	0.0016	760	26.00	35.00	45.50	10.50	48.50	70.22
15h:30	4.00	0.0016	631	26.00	35.50	46.00	10.50	49.00	70.22
16h:00	3.80	0.0016	645	26.00	35.50	44.50	9.00	49.00	60.19
16h:30	3.10	0.0016	586	26.00	34.00	45.00	11.00	49.50	73.56
17h:00	2.80	0.0016	470	26.00	34.00	45.00	11.50	49.00	76.91

Tableau (IV.3) : Mesures et Résultats expérimentaux (Le, 02/05/2005)

Temps	V	\dot{m}	I	T_a	T_{ee}	T_{es}	ΔT	T_B	Q_U
heure	m/s	kg/s	W/m²	°C	°C	°C	°C	°C	W
08h:30	0.60	0.0016	330	23	27	26	1	27	6.68
09h:00	0.70	0.0016	416	24	29	28	1	29	6.68
09h:30	1.70	0.0016	503	24	30	29	1	30	6.68
10h:00	0.90	0.0016	600	25	34	32	2	32	13.37
10h:30	0.90	0.0016	667	25	36	34	2	33	13.37
11h:00	0.60	0.0016	750	25	38	35	3	36	20.06
11h:30	1.80	0.0016	835	25	41	37	4	39	26.75
12h:00	2.50	0.0016	905	25	43	38	5	42	33.44
12h:30	2.60	0.0016	932	25	44	38	6	44	40.12
13h:00	1.20	0.0016	950	26	46	38	8	46	53.50
13h:30	2.10	0.0016	936	26	47	38	9	48	60.19
14h:00	2.50	0.0016	905	26	49	37	12	50	80.25
14h:30	1.60	0.0016	860	26	50	35	15	51	100.32
15h:00	1.10	0.0016	810	26	50.5	36	14.5	51	96.97
15h:30	1.80	0.0016	750	26	50	36	14	52	93.63
16h:00	1.20	0.0016	687	26	51.5	35.5	16	52	107.00
16h:30	2.70	0.0016	502	26	49	35	14	52	93.63
17h:00	3.60	0.0016	370	26	48	34	14	51	93.63

Tableau (IV.4) : Mesures et Résultats expérimentaux (Le, 03/05/2005)

Temps	V	\dot{m}	I	T_a	T_{ee}	T_{es}	ΔT	T_B	Q_U
heure	m/s	kg/s	W/m²	°C	°C	°C	°C	°C	W
08h:30	0.70	0.0016	310	22	25	28.5	3.5	29	23.40
09h:00	0.50	0.0016	415	23	28	29	1	29	6.68
09h:30	0.30	0.0016	506	24	30	31	1	31	6.68
10h:00	1.20	0.0016	593	25	32.5	34	1.5	33	10.03
10h:30	0.50	0.0016	672	25	35	36.5	1.5	35.5	10.03
11h:00	2.10	0.0016	745	26	35	39	4	38	26.75
11h:30	1.60	0.0016	827	26	36.5	41.5	5	41	33.44
12h:00	0.70	0.0016	902	26	37	44	7	44	46.81
12h:30	1.20	0.0016	920	26	39	45	6	46	40.12
13h:00	1.70	0.0016	939	27	39	47	8	48	53.50
13h:30	1.20	0.0016	931	27	39	48	9	50	60.19
14h:00	1.80	0.0016	900	27	40	49	9	51	60.19
14h:30	1.70	0.0016	843	28	40	49	9	53	60.19
15h:00	1.50	0.0016	620	28	38	49	11	53	73.56
15h:30	0.90	0.0016	733	27	38	49	11	53	73.56
16h:00	1.50	0.0016	655	27	37	49	12	52	80.25
16h:30	2.00	0.0016	485	27	36.5	49	12.5	51	83.6
17h:00	1.40	0.0016	350	27	35	45.5	10.5	50	70.22

IV.5.RESLTATS EXPERIMENTAUX :

Les résultats obtenus dans la partie théoriques, fait encourager de les réaliser expérimentalement d'une façon simple avec d'un effort considérable avec d'une équipe de recherche dans le laboratoire des énergies renouvelables dans les zones arides au niveau de l'université kasdi Merbeh Ouargla.

L'expérimentation a débuté à la fin du mois d'avril 2005 et s'est poursuivie jusqu'au milieu du mois de mai 2005. Les quelques résultats que nous présentons sont obtenus avec la scénario suivant :

-Le départ du fonctionnement du bassin solaire à partir de 08^h:00 jusqu'au 17^h:00.

-Les grandeurs mesurés : rayonnement solaire, températures de fluide caloporteur et de fluide du bassin, la vitesse du vent et la puissance utile.

Les résultats obtenus sont traduit en graphes grâce au logiciel Origine 6, ainsi d'avoir une discussion convenables des différents résultats.

IV.5.1.VARIATION DE RAYONNEMENT SOLAIRE :

Les figures (IV.2.1), (IV.2.2), (IV.2.3) et (IV.2.4) montrent que l'évolution de l'éclairement global pour la journée considérée présente une forme de cloche ce qui conforme les théories de la plupart des modèles semi empiriques, on constate que les courbes expérimentaux présentent une irrégularité dans sa progression journalière, ceci est dû aux passage nuageux qui ont interrompe le déroulement de l'expérience.

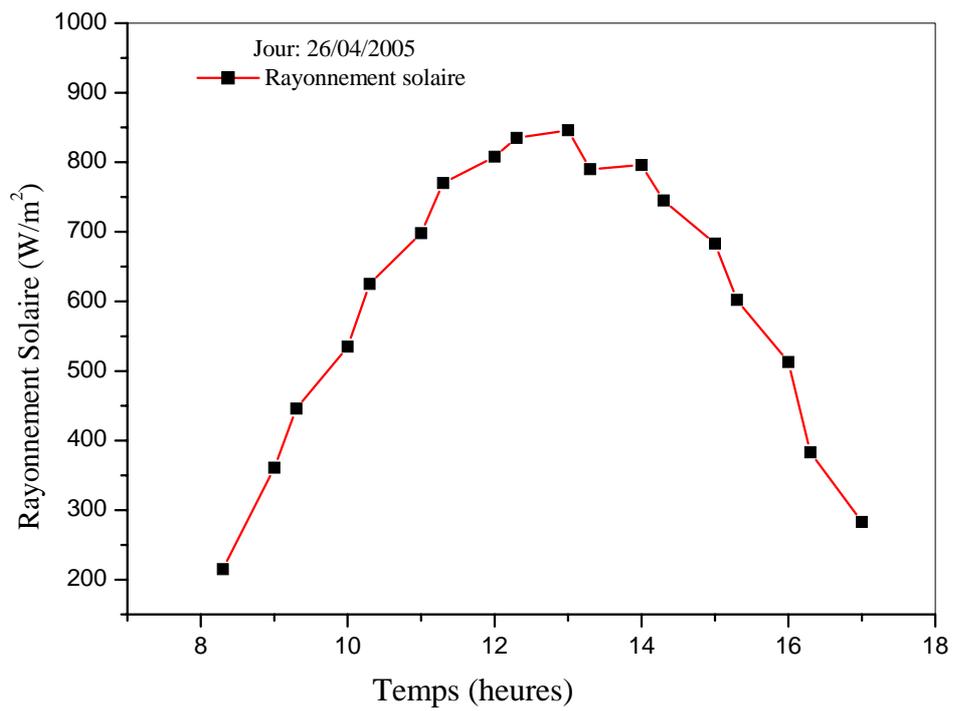


Figure (IV.2.1) :Variation temporelle du rayonnement solaire .

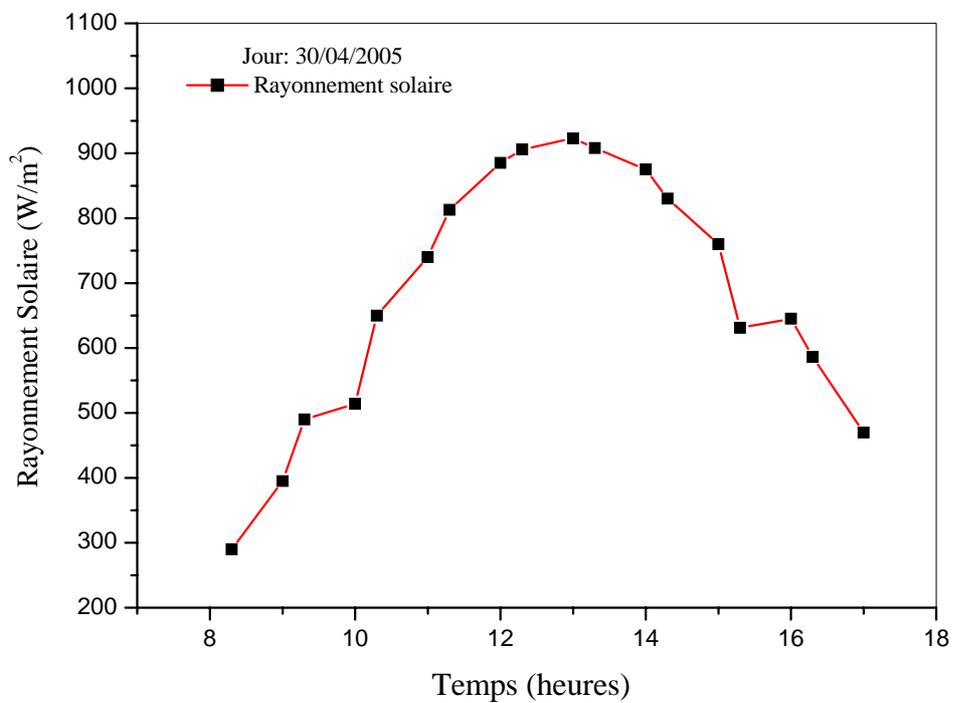


Figure (IV.2.2) :Variation temporelle du rayonnement solaire.

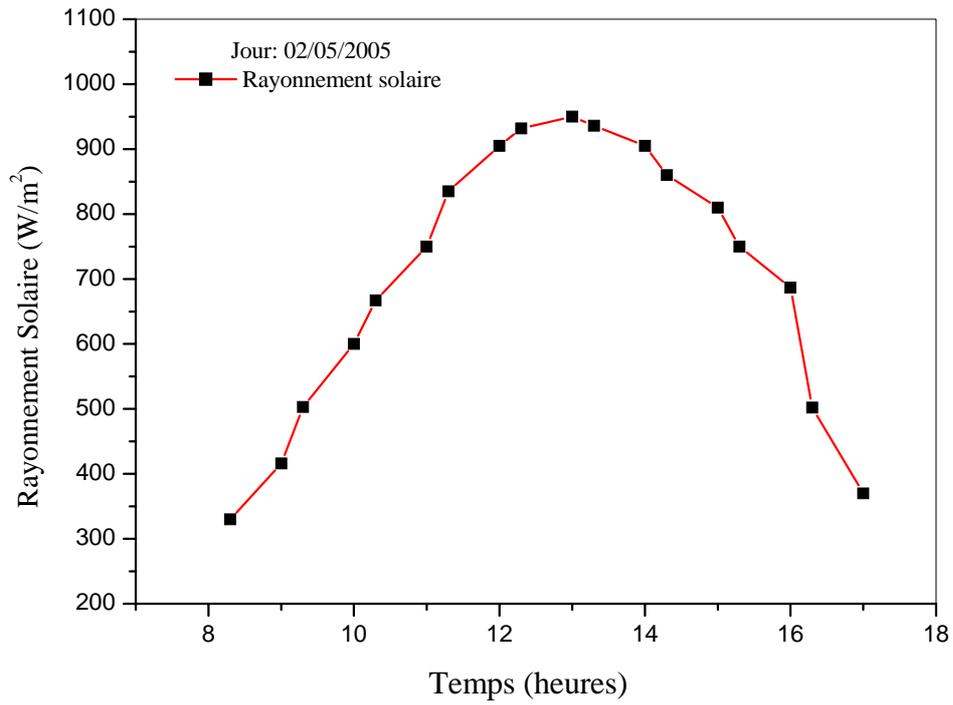


Figure (IV.2.3) :Variation temporelle du rayonnement solaire

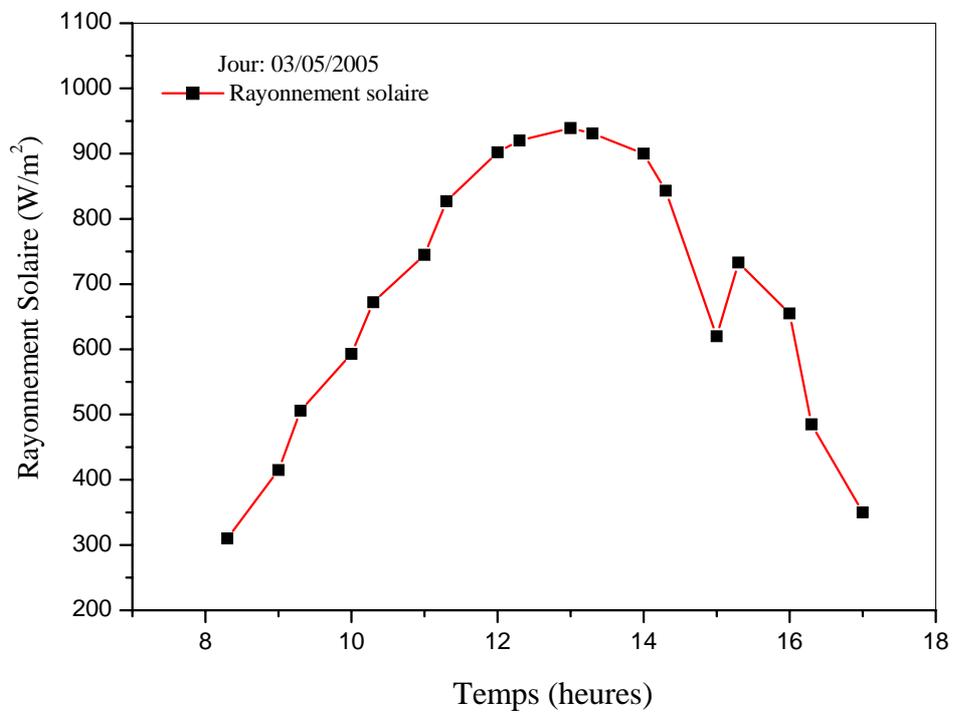


Figure (IV.2.4) :Variation temporelle du rayonnement solaire

IV.5.3.VARIATION TEMPERATURE DE FLUIDE CALOPORTEUR :

Les figures (IV.3.1), (IV.3.2), (IV.3.3) et (IV.3.4) présentent l'évolution des températures de l'entrée et de sortie du fluide caloporteur, on remarque que la température de sortie à une relation directe avec la puissance utile mesurée, ainsi une évolution proportionnelle de la température de sortie avec la température de l'entrée suivant le temps considéré.

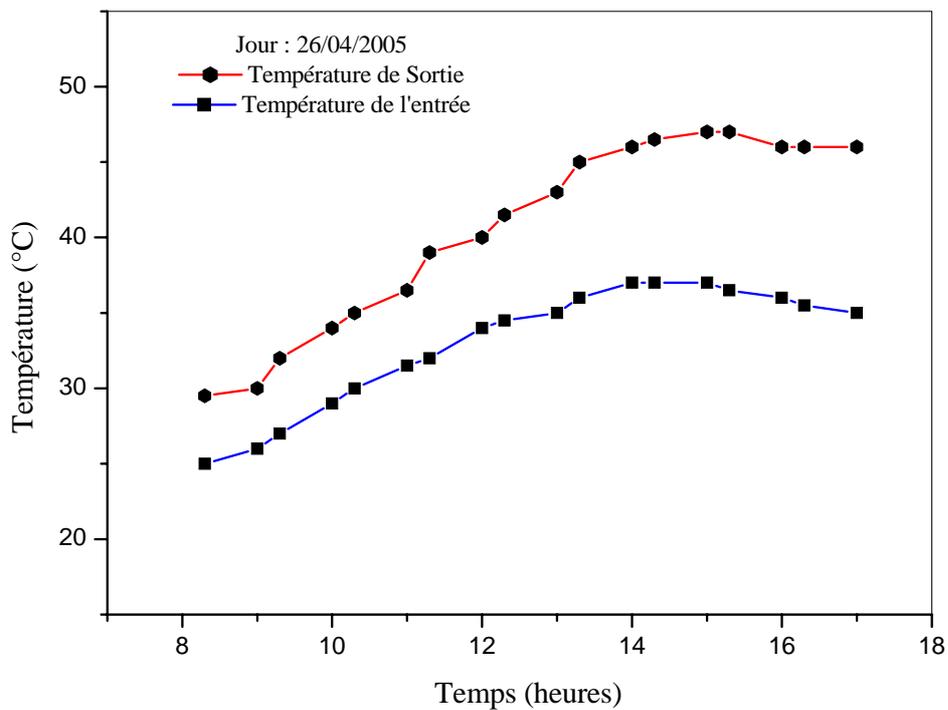


Figure (IV.3.1) : Variation temporelle des températures du fluide caloporteur.

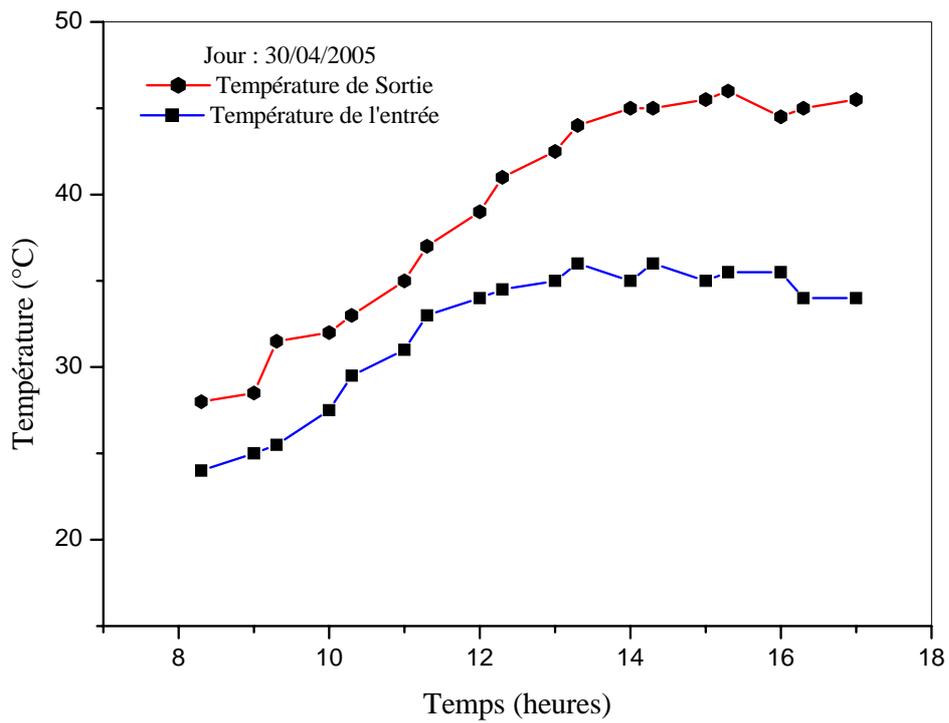


Figure (IV.3.2) : Variation temporelle des températures du fluide caloporteur.

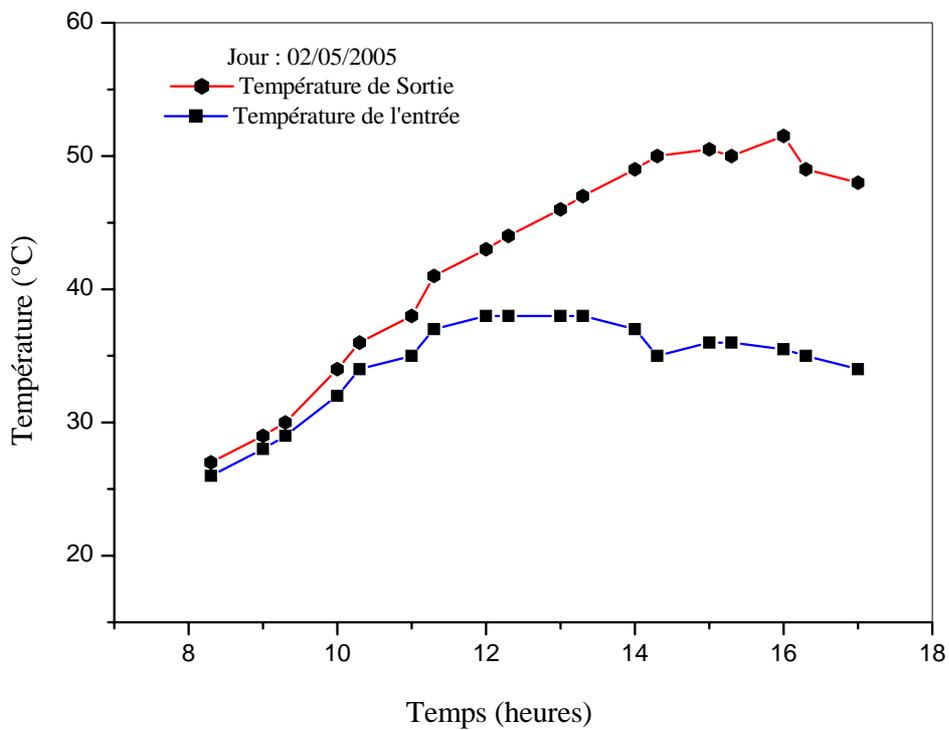


Figure (IV.3.3) : Variation temporelle des températures du fluide caloporteur.

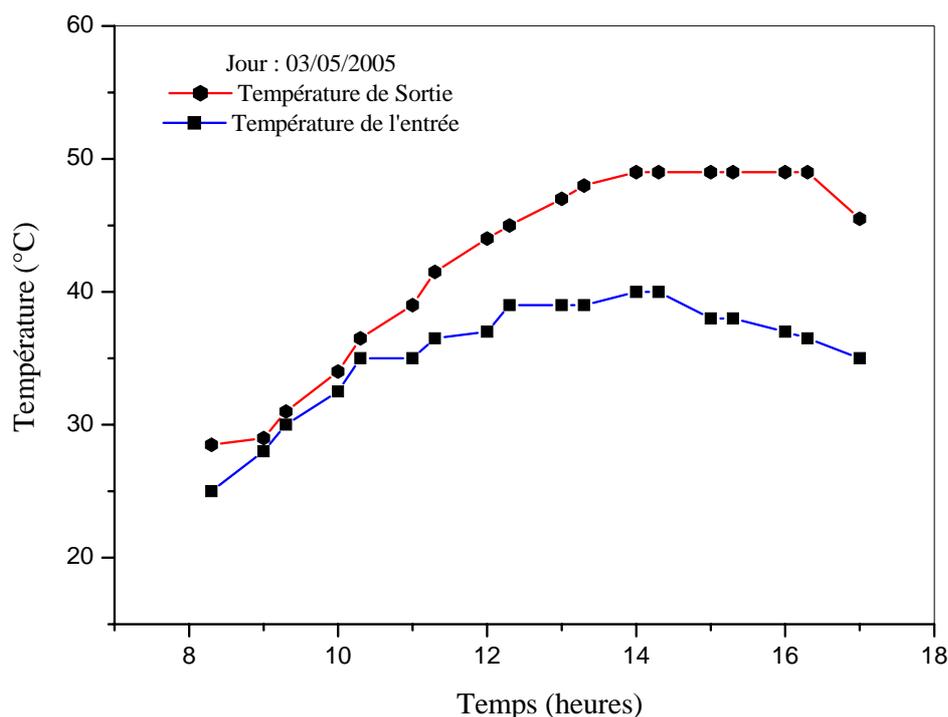


Figure (IV.3.4) : Variation temporelle des températures du fluide caloporteur.

IV.5.4.VARIATION DE TEMPERATURE DU FLUIDE DU BASSIN :

Les figures (IV.4.1), (IV.4.2), (IV.4.3) et (IV.4.4) présentent l'évolution de la température du bassin et la température ambiante au cours de la journée considérée, on remarque une augmentation progressive de la température du bassin par rapport à la température ambiante ceci est dû par l'influence de l'inertie thermique du bassin, malgré la présence des fluctuations atmosphériques ce qui conforme la possibilité d'utilisé le bassin solaire pour le stockage des calories.

Les courbes de températures du bassin solaire montrent qu'ils y'ont un grand retard de phase entre le rayonnement solaire, T_B et T_{es} , ce qui donne une indication que le bassin solaire stocker des calories. Cette observation suggère que le bassin solaire ne soit jamais à un état d'équilibre. Ce qui confirme que la température de sortie à n'importe quelle heure indiquée dépend non seulement des paramètres atmosphériques mais par autres phénomènes liées au fonctionnement du bassin.

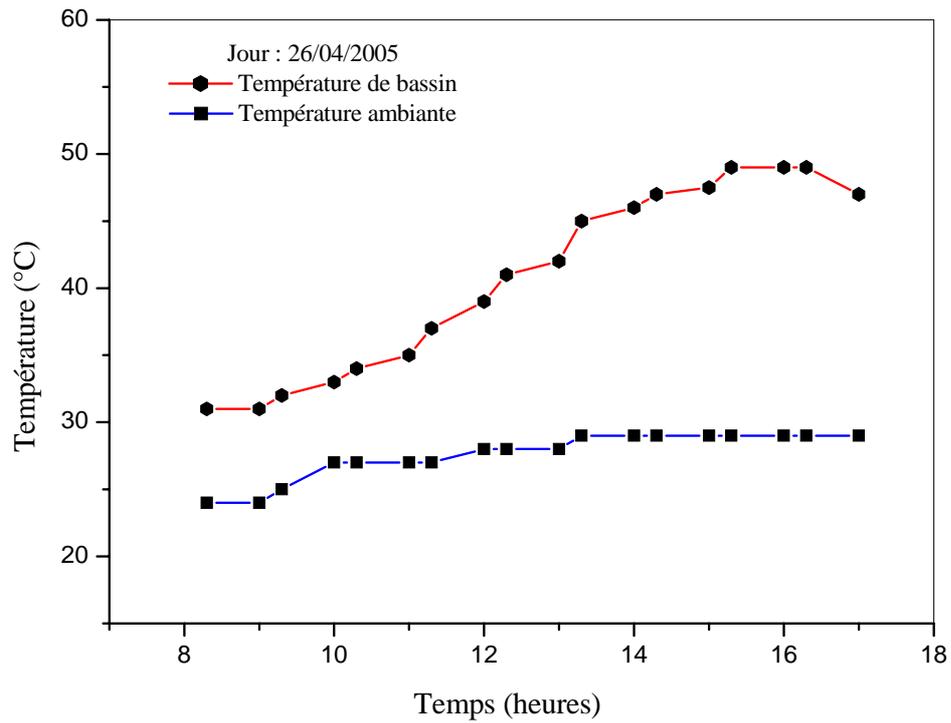


Figure (IV.4.1) :Variation temporelle de température de fluide du bassin.

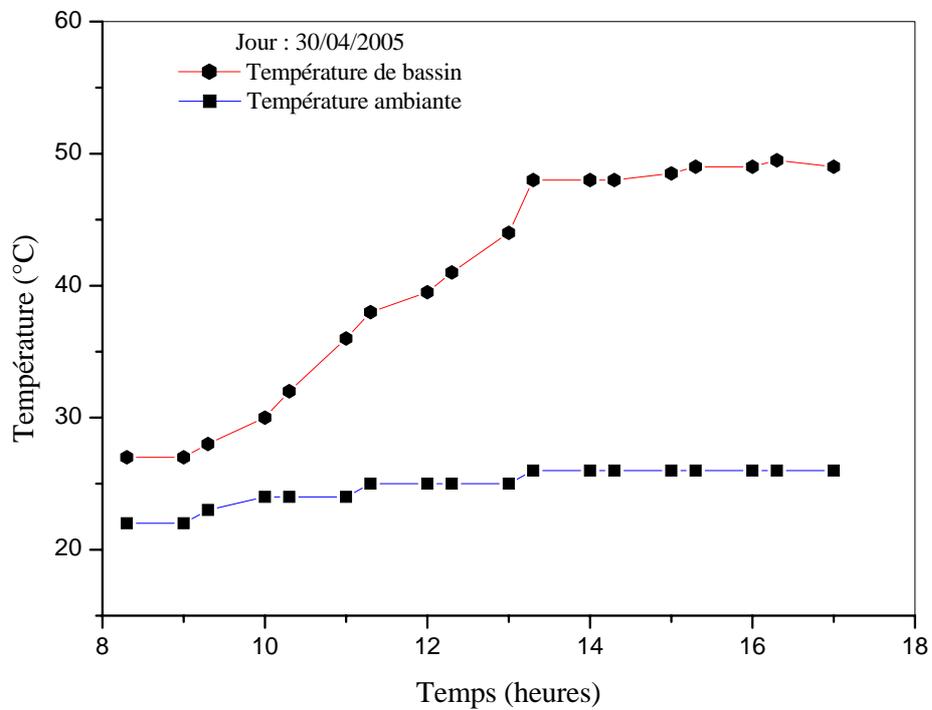


Figure (IV.4.2) :Variation temporelle de température de fluide du bassin.

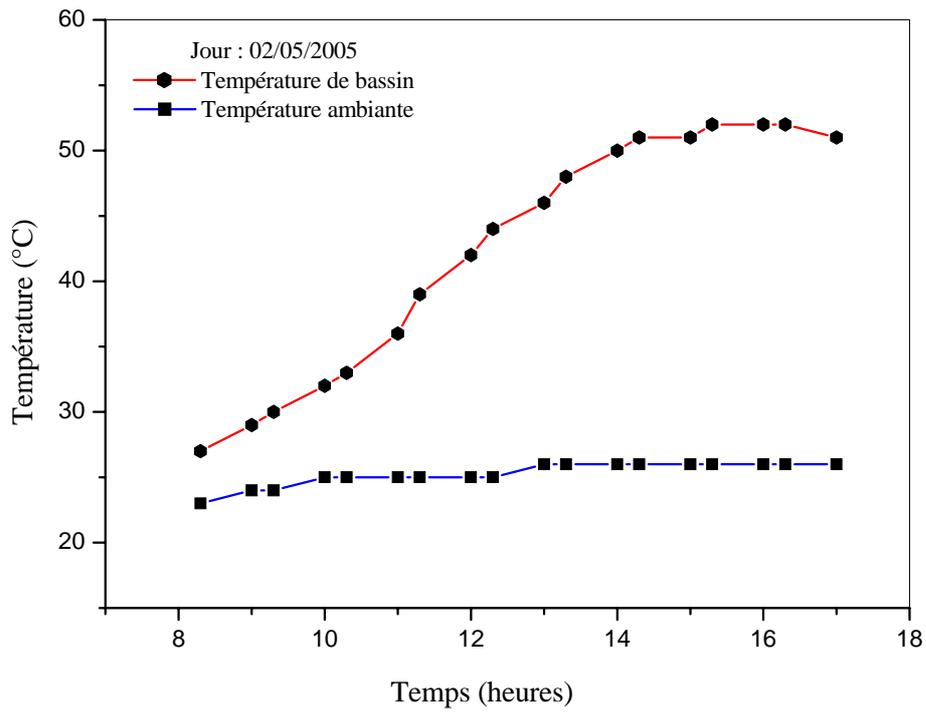


Figure (IV.4.3) :Variation temporelle de température de fluide du bassin

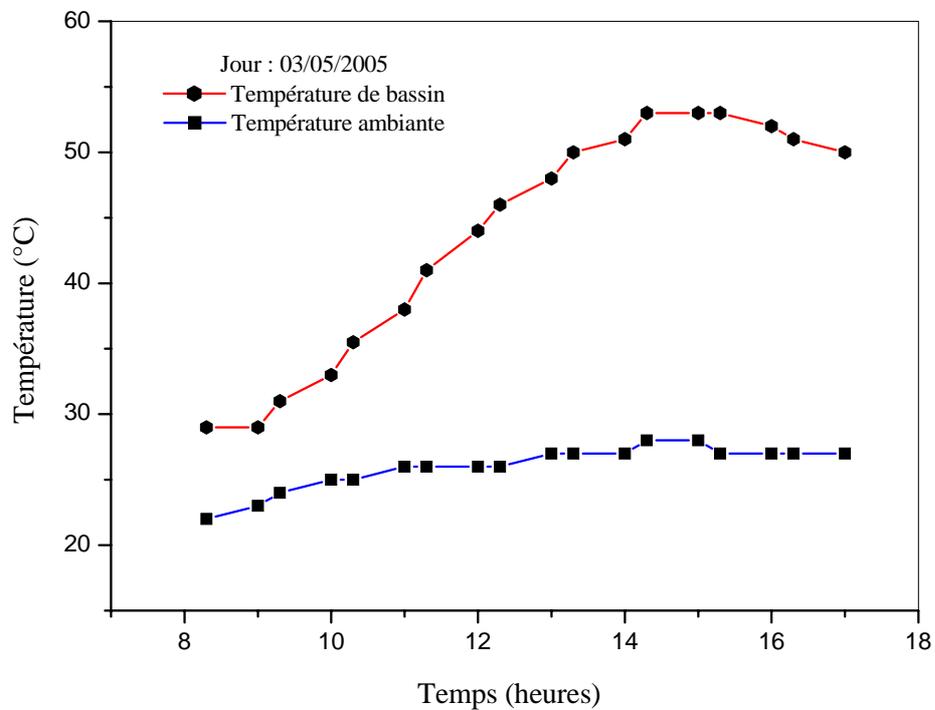


Figure (IV.4.4) :Variation temporelle de température de fluide du bassin

IV.5.5.VARIATION DE PUISSANCE UTILE :

Les courbes représentatives de la puissance utile sont portées en figures (IV.5.1), (IV.5.2), (IV.5.3) et (IV.5.4) presque linéaire et présente quelque fluctuations, ceci est dû par l'influence de perturbations atmosphériques et autres paramètres qui interviennent comme la température de l'entrée et de sortie du fluide caloporteur, la température de fluide de bassin solaire et le coefficient des pertes thermiques.

On remarque aussi que le bassin présente une grande seuil de production des calories, à cause de la continuité permanente durant la journée.

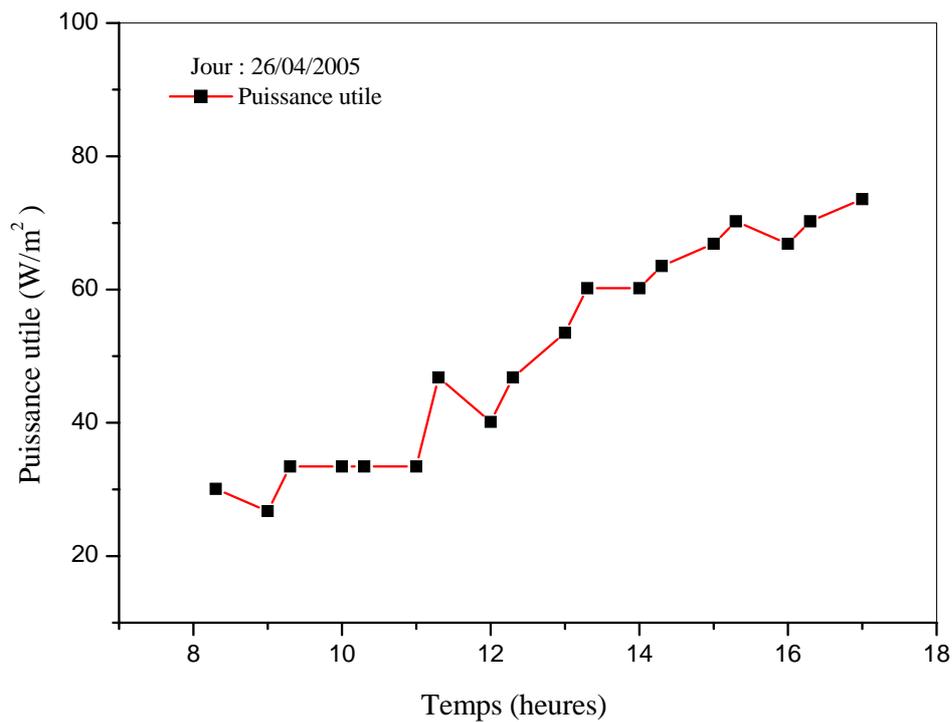


Figure (IV.5.1) :Variation temporelle de la puissance utile.

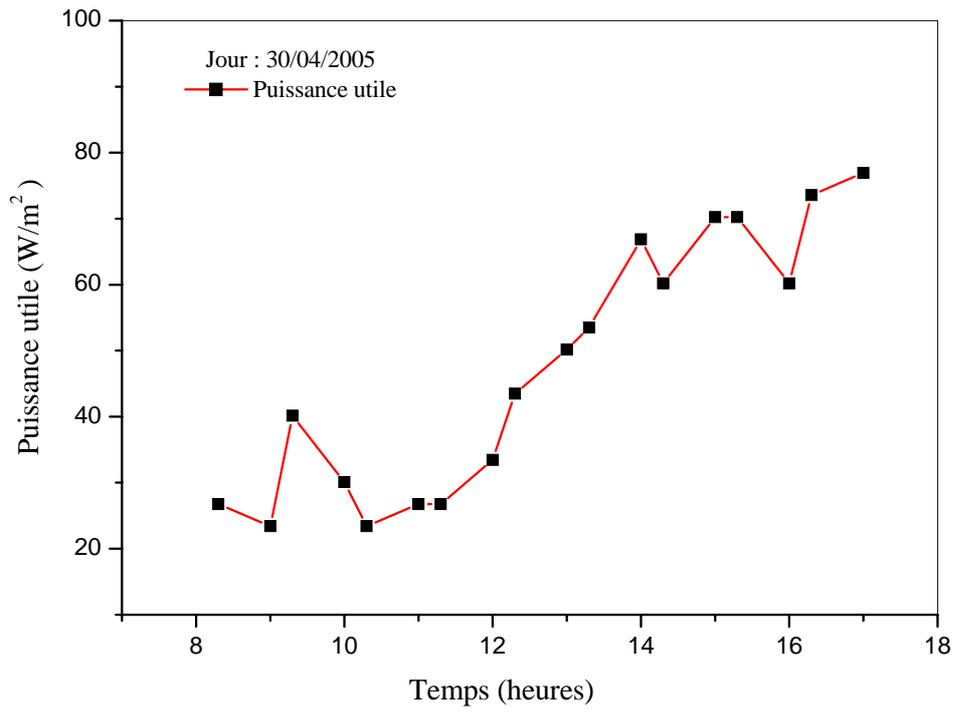


Figure (IV.5.2) :Variation temporelle de la puissance utile

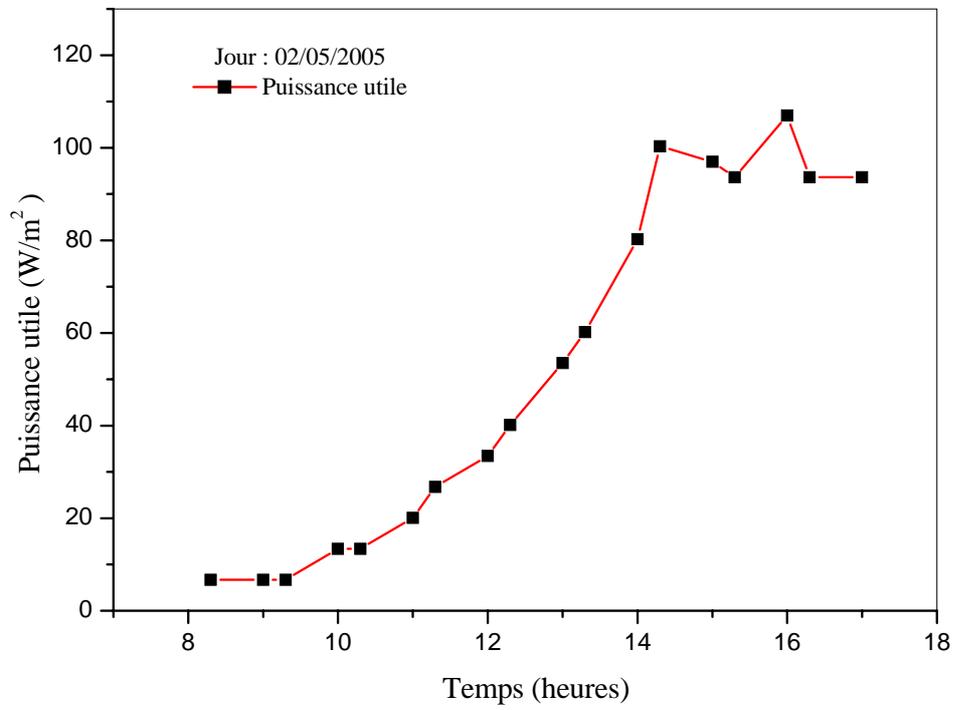


Figure (IV.5.3) :Variation temporelle de la puissance utile

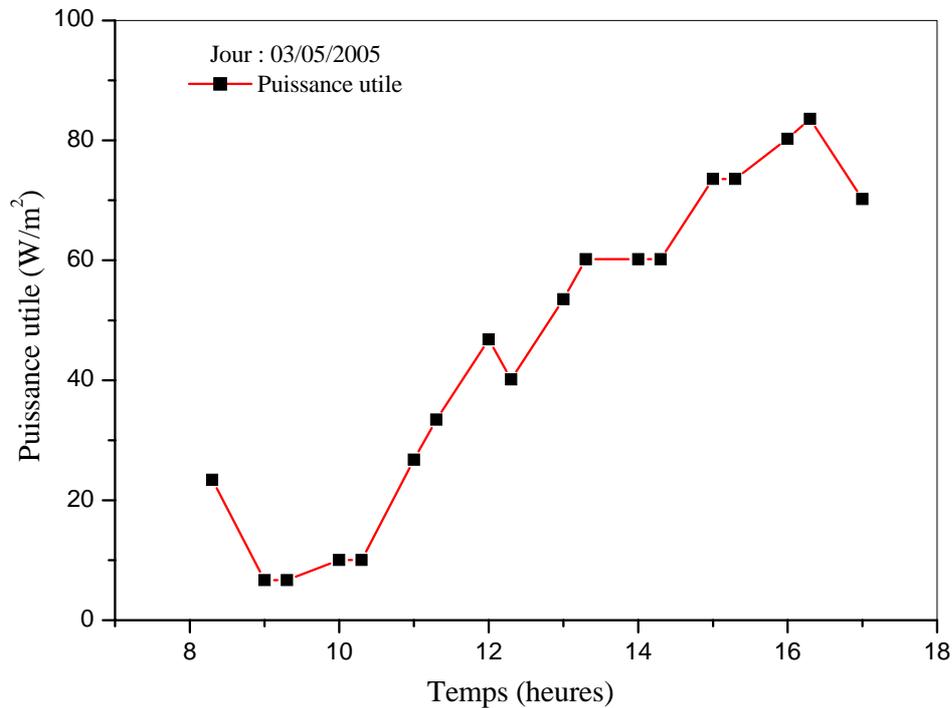


Figure (IV.5.4) :Variation temporelle de la puissance utile

IV.5.6.VARIATION DE RENDEMENT :

Le rendement de bassin est évalué par voie numérique en utilisant la méthode des Trapèzes pour calculer les intégrales dans l'équation (III.32), Avec un certain nombre d'itérations .

Les figures (IV.6.1), (IV.6.2), (IV.6.3) et (IV.6.4) montrent que la distribution des points dépend des fluctuations de coefficient des pertes thermiques U_L .

L'analyse des courbes des températures de bassin, de sortie du fluide caloporteur et ambiante peuvent que l'efficacité du bassin dépend de U_L et la limite de la durée du stockage qui n'est pas pris en considération.

Donc les simplifications qui ont été portées dans le modèle mathématique (théorique) sont raisonnables à cause de l'apparition dans les essais expérimentaux certaines incertitudes ne sont pas significatives.

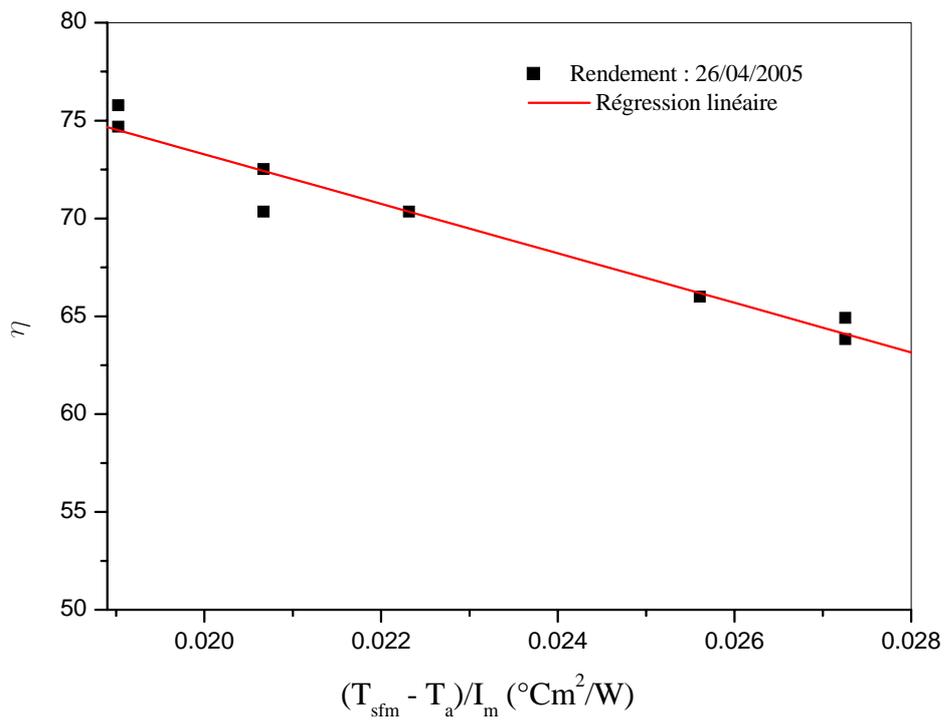


Figure (IV.6.1) :Variation du rendement journalière du bassin solaire

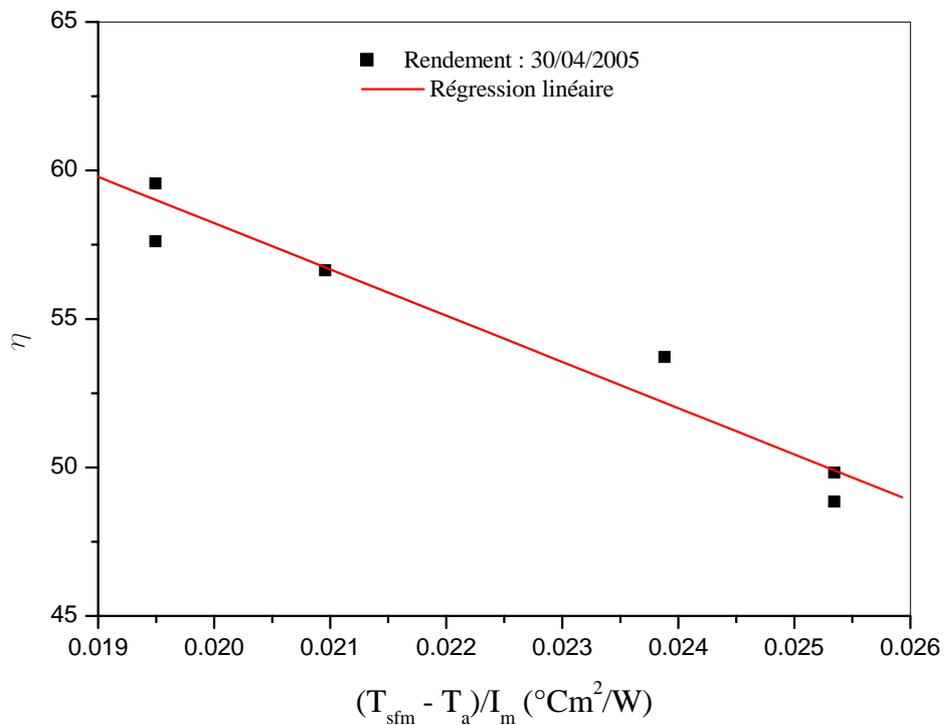


Figure (IV.6.2) :Variation du rendement journalière du bassin solaire.

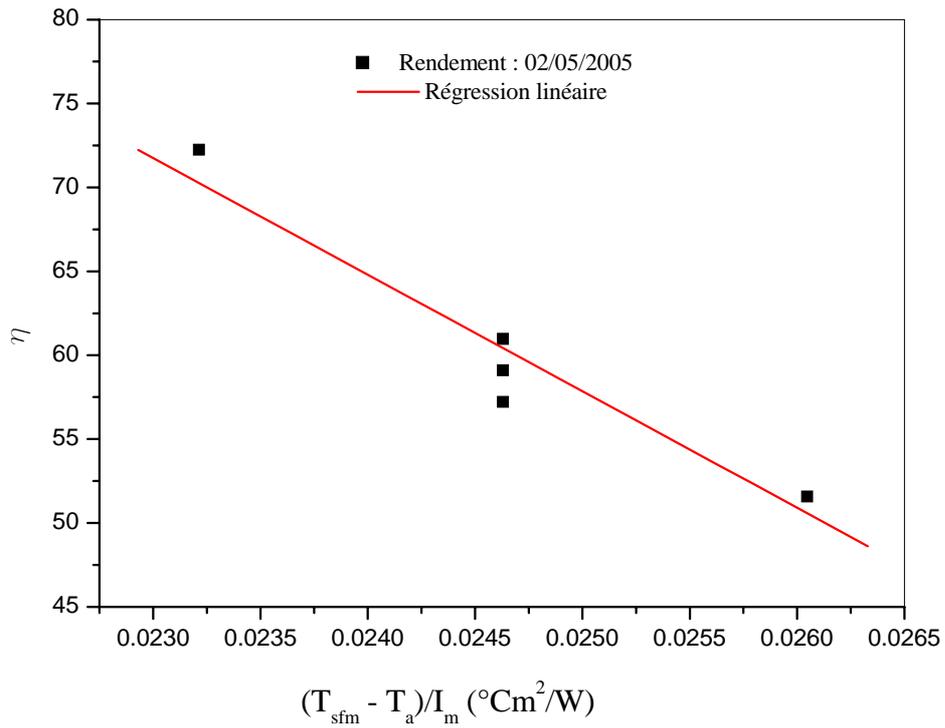


Figure (IV.6.3) :Variation du rendement journalière du bassin solaire.

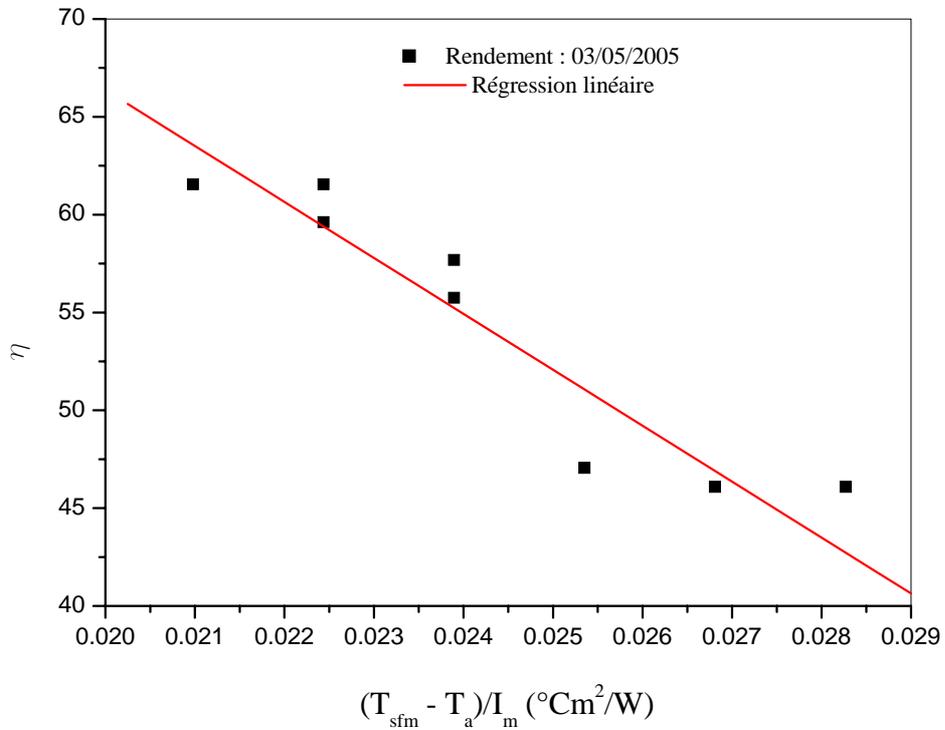


Figure (IV.6.4) :Variation du rendement journalière du bassin solaire.

IV.6.COMPARAISON DES RESULTATS THORIQUES ET EXPERIMENTAUX :**IV.6.1.PUISSANCE UTILE :**

La figure (IV.7.1) montre que les deux courbes présentent même allures et quelques fluctuations. L'écart noté entre les deux courbes n'a pu dépasser 10 % pendant la journée, ceci s'explique du fait que la température de l'entrée du fluide caloporteur est prise constante dans le calcul de la courbe théorique, par contre elle est variable dans la courbe expérimentale .Ainsi la puissance utile théorique est constante à partir du 13^h:30,or la puissance expérimentale n'est pas constante ,ce qui montre que la seuil de production dans la réalité dépend de plusieurs facteurs : température de sortie du fluide caloporteur, la température ambiante et la température de fluide du bassin etc.

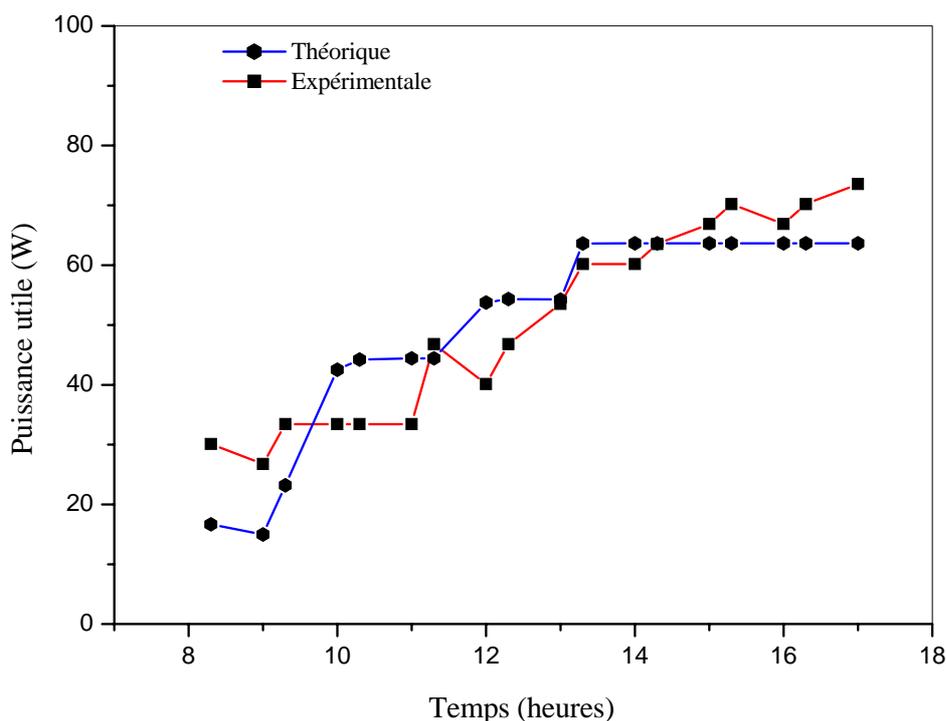


Figure (IV.7.1) : Variation temporelle des puissance théorique et expérimentale

IV.6.2.TEMPERATURE DU FLUIDE DE BASSIN :

La figure (IV.7.2) montre que deux courbes présentent même allure .Ainsi que l'écart entre la courbe théorique et expérimentale à partir de 13^h30 dépasse 25 % et ceci s'explique les hypothèses simplificatrices qui ont portées sur le modèle théorique.

La courbe théorique reste constante à partir de 13^h30 par contre commence son évolution dans la courbe expérimentale ce qui définit l'apparition de stockage dans le bassin solaire.

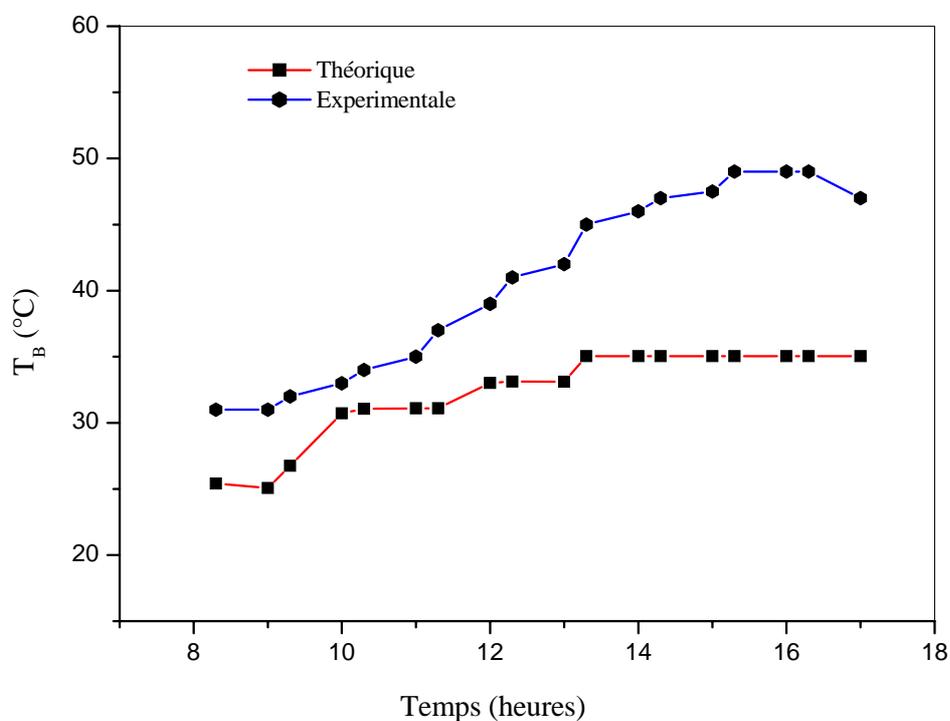


Figure (IV.7.2) : Variation temporelle des températures théorique et expérimentale de fluide du bassin.

IV.6.3. TEMPERATURE DE SORTIE DU FLUIDE CALOPORTEUR :

La figure (IV.7.3) montre que les deux courbes présentent presque même allure, par contre à partir de 13^h30 la température de sortie du fluide caloporteur reste constante mais dans la courbe expérimentale commence son évolution jusqu' à 14^h00 du fait de stockage et la diminution de cette température après 16^h00, du fait des pertes thermiques, la température ambiante, la température de l'entrée du fluide caloporteur et l'éclairement global.

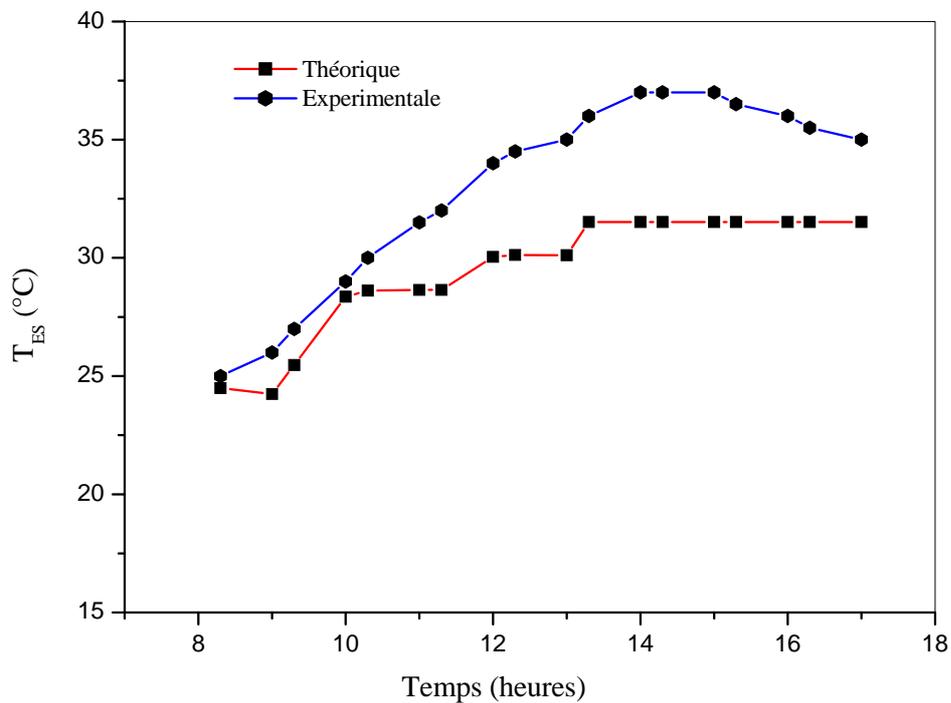


Figure (IV.7.3) : Variation temporelle des températures théorique et expérimentale de sortie du fluide caloporteur.

II.1.INTRODUCTION :

Pour toutes les applications directes de l'énergie solaire, le gisement solaire local doit être caractérisé soigneusement puisqu'il présente des variations géographiques et saisonnières importantes. Pour cela ils existent plusieurs modèles théoriques et expérimentaux détaillés sous formes de banques de données et de logiciels de calcul et de simulation.

Il est très important de procéder préalablement à des campagnes de mesures du gisement solaire, par exemple en cas de possibilité de microclimats très accentués ou de projets de centrales solaires à concentrateurs où la connaissance fine de la répartition entre le rayonnement direct et le rayonnement diffus est nécessaire.

II.2.SPHERE CELESTE :

La sphère céleste est une sphère imaginaire de rayon indéfini, établie dans les cieux et ayant comme centre l'œil d'un observateur terrestre. La sphère est la base du système de coordonnées employé pour déterminer les positions des astres. Elle est également utilisée pour désigner les intervalles de temps.

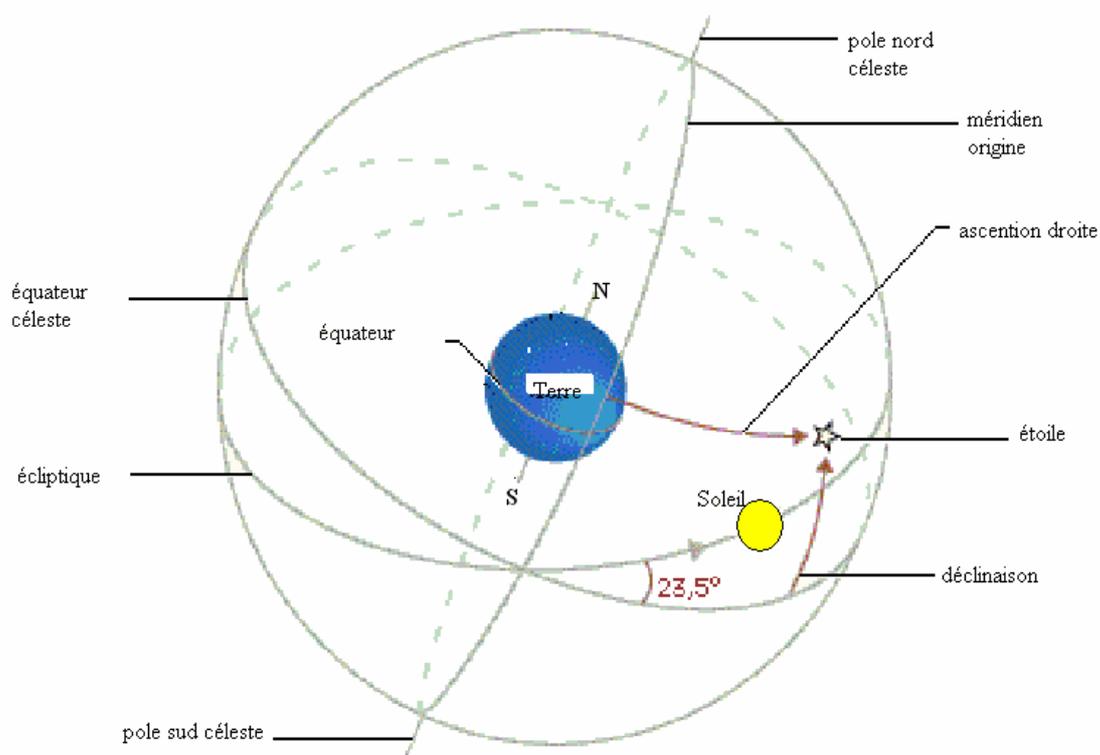


Figure (II.1) : La sphère céleste

II.3.COORDONNEES CELESTES :

II.3.1.COORDONNEES GEOGRPHIQUES :

Sont des coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre.
(figure II.2)

- a. **La longitude (L)** : est comptée positivement de 0 à +180° vers l'est et négativement de 0 à -180° vers l'ouest, à partir du méridien Greenwich.
- b. **La latitude (Φ)** : permet de repérer la distance angulaire d'un point quelconque à l'équateur. Elle est comptée positivement de 0 à +90° vers le nord et négativement de 0 à -90° vers le sud.

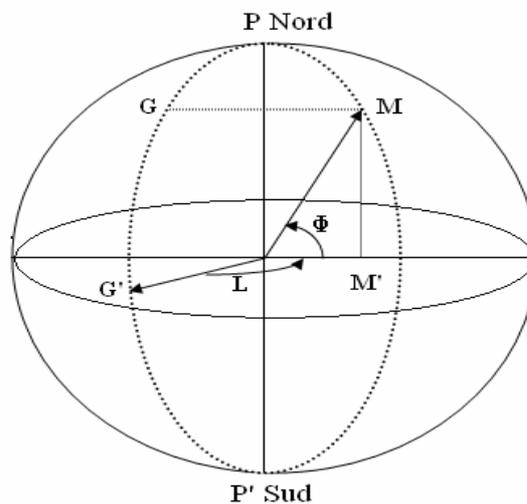


Figure (II.2) : Les coordonnées géographiques

II.3.2.COORDONNEES HORAIREES :

- a. **L'angle horaire (ω)**:est déterminé par la rotation régulière de la terre autour de son axe .Elle est comptée positivement dans le sens rétrograde de 0 à +360°, une heure sidérale vaut donc 15° d'angle et $\omega=0^\circ$ (12^h:00) au méridien de Greenwich.
- b. **La déclinaison (δ)** :c'est l'angle fait par le plan de l'équateur avec celui de l'écliptique. Elle est variée au cours de l'année de +23°27' à -23°27'et détermine l'inégalité des durées des jours. δ est donnée par la relation suivante [3,7,9,11] :

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{360}{365}(N + 284)\right) \quad (\text{II.1})$$

N : Le numéro du jour dans l'année compté à partir du 1^{ère} janvier (1 à 366).

Elle est comptée positivement de 0 à $+90^\circ$ de (E) vers P (pole boréal) , et négativement de 0 à -90° de (E) vers P' (pole austral).

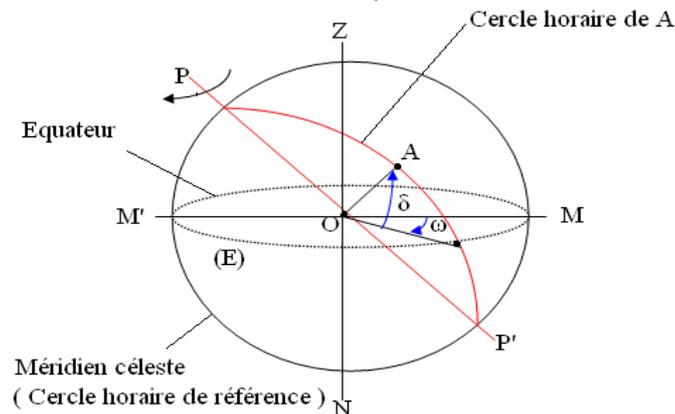


Figure (II.3) : Les coordonnées horaires

II.3.3.COORDONNEES HORIZONTALES :

- a. **La hauteur (h)**:est l'angle entre la direction du soleil et sa projection .Elle est comptée positivement de 0 à $+90^\circ$ vers le zénith et négativement de 0 à -90° vers le nadir.
- b. **L'azimut (a)** : est l'angle entre la direction de soleil et la direction de sud. On peut le compter positivement de 0 à $+180^\circ$ vers l'ouest et négativement de 0 à -180° vers l'est.

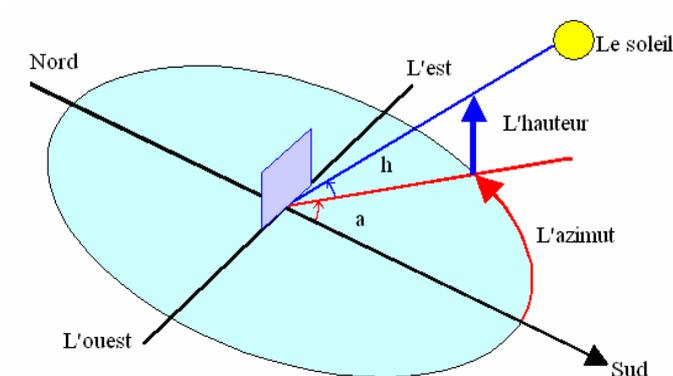


Figure (II.4) : Les coordonnées horizontales

II.4.TEMPS SOLAIRES :**II.4.1.TEMPS SOLAIRE VRAIS (TSV) :**

Le temps solaire vrais, en un instant et un lieu donné, est l'angle horaire du soleil, ce temps est indiqué par les cadrans solaires et les héliographes, Il est donné par la relation suivante [3,25] :

$$TSV = 12 + \frac{\omega}{15} \quad (\text{II.2})$$

II.4.2.LE TEMPS SOLAIRE MOYEN (TSM) :

Le temps solaire moyen est appelé parfois temps local, Il est donné par la relation suivante [9] :

$$TSM = TSV - Et \quad (\text{II.3})$$

Où :

$$Et = 9.87 \sin \left[2 \cdot \frac{360}{365} (N - 81) \right] - 7.53 \cos \left[\frac{360}{365} (N - 81) \right] - 1.5 \sin \left[\frac{360}{365} (N - 81) \right]$$

Et : est l'équation du temps exprimée en minutes.

N: est le numéro du jour dans l'année.

II.4.3.LE TEMPS CIVIL :

Le temps civil est le temps moyen avec l'origine à minuit.

II.4.4.TEMPS UNIVERSEL (TU) :

Le temps universel est le temps civil moyen du méridien de Greenwich (méridien origine), appelé encore GMT (Greenwich Mean Time). Est donné par la relation suivante [3,25] :

$$TU = TSM - \frac{L}{15} \quad (\text{II.4})$$

Où : L est la longitude .Tel que :

$L < 0$: Pour les sites situées à l'Est de Greenwich.

$L > 0$: Pour les sites situées à l'Ouest de Greenwich.

$L = 0$: Pour les sites situées au méridien de Greenwich

II.4.5. TEMPS LEGAL (TL) :

Le temps légal est une heure liée au TU par une différence fixe exprimée en un nombre entier d'heures qui dépend de la longitude et des coutumes de chaque pays. est donné par la relation suivante[3,25] :

$$TL = TU + \Delta H \quad (\text{II.5})$$

Où : ΔH : Est le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considérée.

II.5. ESTIMATION HORAIRE DE L'ENSOLEILLEMENT :

II.5.1. CONSTANTE SOLAIRE :

L'énergie solaire reçue par unité de temps à la limite supérieure de l'atmosphère sur une surface unité perpendiculaire aux rayons solaires et pour une distance Terre - Soleil égale à sa valeur moyenne, est appelée la constante solaire. La constante solaire a été estimée à 1367 W/m^2 par C. FROHLICH et C. WEHRLI [15] du Centre radiométrique mondial de Davos (Suisse), essentiellement d'après des résultats de mesures faites entre 1969 et 1980 FROHLICH, 1978 [15] : sept séries de mesures effectuées par des radiomètres installés sur des fusées ou des ballons stratosphériques et une série de mesures effectuées par un radiomètre embarqué sur un satellite. Cette valeur de la constante solaire a été adoptée par la Commission des instruments et des méthodes d'observation (CIMO) de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) en octobre 1981[15] .

La relation ci-dessous donne la valeur corrigée de la constante solaire[3,20] :

$$I_c = I_0 [1 + 0.0034 \cos(30(m-1) + N)] \quad (\text{II.6})$$

Où : $I_0 = 1367 \text{ W/m}^2$.

m : Le numéro du mois dans l'année.

N : Le numéro du jour dans le mois.

II.5.2.REPARTITION DU RAYONNEMENT SOLAIRE :

Le rayonnement solaire est affaibli par la réflexion, les diffusions multiples et l'absorption par les particules de poussière et les molécules de gaz. Le rayonnement solaire est ainsi divisé en deux composantes [7,9] :

$$I_G = I_D + I_d \quad (\text{II.6})$$

Où :

I_G : est le rayonnement solaire global.

I_D : est le rayonnement solaire direct .

I_d : est le rayonnement solaire diffus .

a. le rayonnement direct : c'est-à-dire la part du rayonnement qui traverse l'atmosphère sans rencontrer d'obstacles.

La relation suivante donne l'expression du rayonnement solaire direct [3] :

$$I_D = I_c . a . \cos i . \text{Exp} \left[- \frac{b}{\sinh} \right] \quad (\text{II.7})$$

Tel que : a et b sont des coefficients de trouble du ciel dont les valeurs sont données dans le tableau suivant :

Tableau (II.1) : coefficients de trouble du ciel[3]

	Conditions normales	Ciel dégagé et très pur	Zone industrielle
a	0.88	0.87	0.91
b	0.26	0.17	0.43

b. le rayonnement diffus: c'est-à-dire la part du rayonnement solaire qui est réfléchi ou absorbée par les particules de poussière et les molécules de gaz et atteint la surface de la terre dans tous les sens.

La relation suivante donne l'expression du rayonnement solaire diffus [3,9] :

$$I_d = \alpha_0 \frac{1 + \cos \beta}{2} + \rho(I_0 \sinh + \alpha_0) \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (\text{II.8})$$

$$\alpha_0 = I_c \sinh \left[0.271 - 0.2939 \text{Exp} \left[-\frac{b}{\sinh} \right] \right]$$

Où :

ρ : Est l'albédo du sol, dont les valeurs sont données dans le tableau suivant :

Tableau (II.2) : Albédo typique de différents types de surfaces [15,20].

Nature du sol	Albédo
Neige fraîche	0.50 à 0.70
Sol rocheux	0.15 à 0.25
Sol cultivé	0.07 à 0.14
Foret	0.06 à 0.20
Etendue d'eau	0.05
Neige ancienne	0.8 à 0.9

II.5.3. PUISSANCE ABSORBÉE PAR LE BASSIN SOLAIRE :

La puissance solaire absorbée par le bassin solaire est exprimée par la formule suivante[7] :

$$Q_{\text{Bassin}} = I_G \cdot (1 - \rho') \cdot A_{\text{Bassin}} \quad (\text{II.9})$$

I_G : Rayonnement solaire incident sur la surface du bassin solaire.

ρ' : Coefficient de réflexion du rayonnement solaire de la surface.

A_{Bassin} : Surface du bassin solaire.

Le pouvoir de réflexion du rayonnement solaire est étudié par Spencer et al.[7], Snell propose la relation suivante[7] :

$$\rho' = \tau - \tau_a \quad (\text{II.10})$$

τ : coefficient de transmission du rayonnement solaire dans le bassin solaire.

τ_a : coefficient définit la transmission et l'absorption du rayonnement solaire dans différents composants du bassin solaire.

Duffie et Beckman propose la relation suivante [1] :

$$\tau_a = \text{Exp}\left(-\frac{\mu.d}{\cos\theta_r}\right) \quad (\text{II.11})$$

μ : Coefficient d'extinction de l'eau.

d : Profondeur du bassin solaire .

θ_r : Angle de réfraction du rayonnement solaire.

$$\tau = \frac{1}{2} \left[\frac{1-r}{1+r} + \frac{1-r_{\perp}}{1+r_{\perp}} \right] \text{Exp}\left(-\frac{\mu.d}{\cos\theta_r}\right) \quad (\text{II.12})$$

r , r_{\perp} : Représentent les composantes vertical et horizontal du rayonnement solaire,

Duffie et Beckman propose les relations suivantes [7] :

$$r = \frac{\text{tg}^2(\theta_r - i)}{\text{tg}^2(\theta_r + i)} \quad (\text{II.13})$$

$$r_{\perp} = \frac{\sin^2(\theta_r - i)}{\sin^2(\theta_r + i)} \quad (\text{II.14})$$

II.5.4. DIRICTION DU RAYONNEMENT SOLAIRE :

Soit un plan quelconque sur la terre à un instant quelconque. Repérons sa position par les deux angles β , α , Figure (II.5), te que :

i : angle de l'incidence.

β : angle entre le plan horizontal et le plan considéré (inclinaison).

α : angle entre le méridien local et la normale.

\vec{N} : Vecteur unitaire porté par la direction des rayons solaires.

\vec{n} : Vecteur unitaire porté par la normale de la surface.

L'angle de l'incidence et la hauteur du soleil sont définis par les formules suivantes [3,9,11,25]:

$$\begin{aligned} \vec{N} \cdot \vec{n} &= N \cdot n \cdot \cos(i) \\ \cos i &= \sin \delta \sin \phi \cos \beta + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ &+ \cos \delta \sin \beta \sin \alpha \sin \omega - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \alpha \\ &+ \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \alpha \cos \omega \end{aligned} \quad (\text{II.15})$$

$$\sin h = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega \quad (\text{II.16})$$

Avec :

$\alpha = 0$: Vers le sud, $\alpha < 0$: Vers le l'Est, $\alpha > 0$: Vers le l'Ouest.

$\beta > 0$: Le plan regarde l'équateur, $\beta = 90$: Pour un plan vertical, $\beta = 0$: Pour un plan horizontal.

$\omega = 0$: Au midi solaire, $\omega < 0$: Le matin, $\omega > 0$: Après midi.

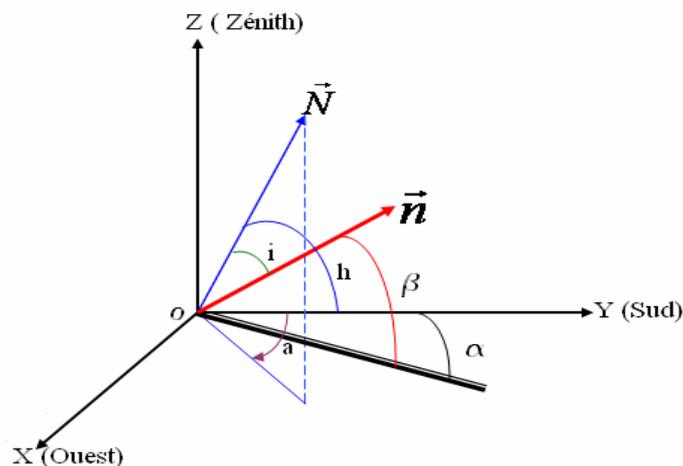


Figure (II.5) : Direction du rayonnement solaire

III.1.INTRODUCTION :

Ce chapitre concerne le développement d'un nouveau dispositif permettant la réception et le stockage de l'énergie solaire en utilisant un bassin rempli d'eau. Ainsi, un modèle théorique du comportement thermique du bassin est proposé. Nous abordons ici l'analyse du fonctionnement de bassin solaire, qui sera représenté par un diagramme dont le fonctionnement est bien connu, le système est considéré en régime transitoire, les performances seront exprimées globalement par un rendement dont la valeur est en fonction de ses entrées et sorties .le système est schématisé dans la figure (III.1)

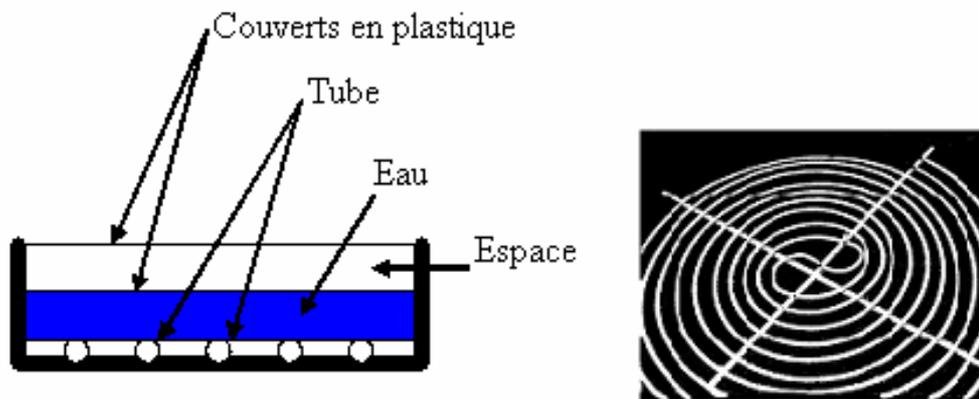


Figure (III.1) : Schéma du bassin d'eau solaire

III.2.PARAMETRES INFLUANTS SUR LE BASSIN :

On doit tenir compte deux types de paramètres :

1. paramètres externes par rapport au bassin solaire.
2. paramètres internes par rapport au bassin solaire.

III.2.1.PARAMETRES EXTERNES :

Ces paramètres influent sur le fonctionnement et le rendement du bassin solaire ils dépendent de :

1. Conditions météorologiques : le rayonnement solaire, le vent, la température ambiante, etc.
2. Conditions géographiques : la latitude, la longitude et la hauteur de soleil.

III.2.2.PARAMETRES INTERNES :

III.2.2.1.PARMETRES DE POSITION :

a. L'emplacement :

Les bassins solaires sont placés de façon à éviter les obstacles, qui empêche le rayonnement solaire d'atteindre la surface de captation.

b. L'orientation :

L'orientation des systèmes solaires dépend de la période du fonctionnement pendant la journée, tel que :

- Pendant la matinée : l'orientation s'effectue vers l'est.
- Pendant l'après midi : l'orientation s'effectue vers l'ouest.
- Durant toute la journée: l'orientation s'effectue vers le sud.

Généralement les bassins solaires sont réalisés horizontalement.

c. L'inclinaison:

L'inclinaison des systèmes solaires dépend de la période du fonctionnement pendant l'année, tel que :

- Pendant l'hiver : $\beta = \Phi - 10^\circ$
- Pendant l'été : $\beta = \Phi + 20^\circ$
- pendant l'année: $\beta = \Phi + 10^\circ$

Aussi on distingue l'absence de l'inclinaison dans la réalisation des bassins d'eau solaires.

III.2.2.2.PARMETRES DE CONSTRUCTION :**a. La couverture :**

La couverture du bassin est caractérisé essentiellement par : sa nature, sa transparence au rayonnement solaire, sa mouillabilité, par l'eau, son opacité au rayonnement infrarouge de grande longueur d'onde, sa résistance aux attaques du vent et des particules solides, et le nombre des couvertures.

c. La surface absorbante :

Certains chercheurs ont montrés que le choix de la matière absorbante du rayonnement solaire dépend de: son inertie thermique, sa résistance à l'oxydation par l'eau,des dépôt de minéraux et de son coût.

Dans notre cas on utilise comme matière absorbante l'eau coloré.

III.2.2.3.PARMETRES OPTIQUES :

Généralement les paramètres optiques influents sur la couverture et la surface absorbante , tel que: l'absorptivité, la réflectivité et la transmittivité.

III.2.2.4.PARMETRES THERMOPHYSIQUES :

Les paramètres thermo physiques sont représentés par: la conductivité thermique, la chaleur spécifique, la diffusivité thermique et la viscosité etc.

III.3.BILAN ENERGITIQUE DU BASSIN D'EAU SOLAIRE :**III.3.1.MODILISATION MATHEMATIQUE :**

La figure(III.1) représente une coupe transversale du capteur. Il consiste d'un bassin cylindrique contenant un volume d'eau coloré. Le fluide caloporteur circule dans un serpentin en PVC disposé dans le fond. Deux couverts en plastique sont disposés sur le bassin pour favoriser l'effet de serre.

III.3.1.1.COFFICIENT GLOBAL D'ECHANGE DE CHALEUR :

Pour déterminer le Coefficient global de transfert de chaleur on opte les hypothèses suivantes :

1. La température est uniforme sur le long du tube.
2. On néglige le transfert de chaleur par conduction sur le long du serpentin.
3. On néglige le transfert de chaleur par convection à l'extérieur du serpentin.

Le transfert de chaleur s'effectue par convection forcée entre le fluide caloporteur et l'eau du bassin. Dans ce cas on a la relation suivante :

$$\frac{1}{U_e} = \frac{1}{h_i} \quad (\text{III.1})$$

h_i est déterminé à l'aide des formules empiriques, d'après [2] on a :

$$Nu = \frac{h_i D_i}{\lambda} = 1.86 \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{\dot{m} c_p}{\lambda L} \right)^{1/3} \quad (\text{III.2})$$

III.3.1.2. COEFFICIENT GLOBAL DE PERTE DE CHALEUR U_L :

Les pertes thermiques sont dues à la différence de température entre le bassin et le milieu ambiant. Elles se divisent en quatre catégories :

1. Pertes vers l'avant .
2. Pertes vers l'arrière.
3. Pertes latérales.
4. pertes thermiques due au fluide du bassin.

Pour évaluer toutes ces pertes, on adopte les hypothèses suivantes:

- Régime Transitoire.
- Résistance du film plastique à la conduction négligeable.
- La température du fluide de bassin est uniforme.
- La température de l'entrée du fluide caloporteur est constante pendant la journée.

A fin de faciliter l'évaluation des pertes thermiques, on établit le schéma thermoélectrique du bassin représenté en figure (III.2).

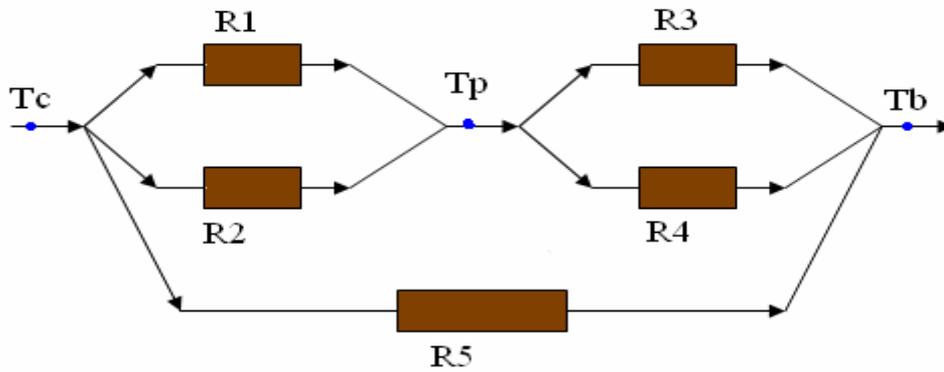


Figure (III .2) : Schéma thermo-électrique du bassin solaire

R₁: Résistance thermique due au rayonnement (ciel – film plastique).

R₂: Résistance thermique due au convection (ciel – film plastique).

R₃: Résistance thermique due au rayonnement (film plastique – fluide du bassin).

R₄: Résistance thermique due au convection (film plastique – fluide du bassin).

R₅: Résistance thermique due au fluide du bassin.

III.3.1.2.1. Coefficient de pertes thermiques vers l'avant du bassin:

A l'avant du bassin , entre le plastique et l'ambiance, on enregistre des pertes par convection et par rayonnement , qui peuvent être déterminées comme suit:

- Coefficient d'échange par convection entre le plastique et l'air ambiant dû au vent [2,9,7] :

$$h^c_{(c-p)} = 5.7 + 3.8v \quad (III.3)$$

- Coefficient d'échange par rayonnement entre le plastique et l'air ambiant dû au vent [3] :

$$h^r_{(c-p)} = \varepsilon_p \cdot \sigma \cdot \frac{(T_p + T_c)(T_p^2 + T_c^2)(T_p - T_c)}{T_p - T_a} \quad (III.4)$$

Les températures du film plastique et le ciel sont donnés d'après [2] comme suit :

$$T_p = T_a - 6 \quad (III.5)$$

$$T_c = T_a + 5 \quad (III.6)$$

- Coefficient d'échange par convection entre le film plastique et le fluide du bassin [2] :

$$h^c_{(p-B)} = (1 - 0.0018\bar{T} - 10) \cdot 1.613 \cdot \frac{\Delta T^{0.218}}{L^{0.157}} \quad (\text{III.7})$$

$$\bar{T} = \frac{T_B + T_p}{2} \quad (\text{III.8})$$

$$\Delta T = T_B - T_p \quad (\text{III.9})$$

- Coefficient d'échange par rayonnement entre le film plastique et le fluide du bassin :

$$h^r_{(p-B)} = \sigma \cdot \frac{(T_B + T_p)(T_B^2 + T_p^2)}{\frac{2}{\varepsilon_p} - 1} \quad (\text{III.10})$$

Donc le coefficient de pertes thermiques global vers l'avant du bassin sera donnée par la relation suivante[2] :

$$U_t = \frac{1}{\frac{1}{h^c_{(c-p)} + h^r_{(c-p)}} + \frac{1}{h^c_{(p-B)} + h^r_{(p-B)}}} + U_B \quad (\text{III.11})$$

Où :

U_B : est le coefficient de pertes thermiques dû au fluide du bassin, d'après [2] est donnée par la relation suivante:

$$U_B = \varepsilon_B \cdot \sigma \cdot \tau^2 \frac{(T_B^4 - T_c^4)}{(T_B - T_c)(1 - \chi)} \quad (\text{III.12})$$

III.3.1.2.2.Coefficient de pertes thermiques vers l'arrière du bassin:

Le bassin est isolé à l'arrière, l'expression évaluant ce coefficient est donnée par:

$$U_{ar} = \frac{\lambda_i}{e_i} \quad (\text{III.13})$$

III.3.1.2.3.Coefficient de pertes thermiques latérales du bassin:

La surface latérale du bassin est peu importante, l'expression évaluant ce coefficient est donnée par:

$$U_{La} = \frac{\lambda_l}{e_l} \cdot \frac{A_l}{A_c} \quad (\text{III.14})$$

Le coefficient de pertes thermiques global vers l'extérieur du bassin est exprimé comme Suit [2] :

$$U_L = U_t + U_b \quad (\text{III.15})$$

Tel que :

$$U_b = U_{ar} + U_{La} \quad (\text{III.16})$$

d'après [2] : $U_b \approx 2.36W / m^2K$

III.3.1.3.EQUATION DE BILAN DE BASSIN :

Le bilan thermique de bassin en régime transitoire est:

La variation de l'énergie interne = L'énergie entrante - L'énergie sortante

$$(\tau\alpha)I.A_c = (M.c)_B \cdot \frac{dT_B}{dt} + U_L.A_c.(T_B - T_a) + \dot{m}.c_p.(T_{es} - T_{ee}) \quad (\text{III.17})$$

La résolution de l'équation du bilan nécessite l'introduction de certaines simplifications qui sont :

L'Utilisation la notion de la température logarithmique moyenne :

$$\Delta T_{LM} = \frac{(T_B - T_{ee}) - (T_B - T_{es})}{Ln \frac{T_B - T_{ee}}{T_B - T_{es}}} \quad (\text{III.18})$$

A partir de laquelle on calcule la température du bassin :

$$T_B = \frac{T_{es} \cdot e^F - T_{ee}}{e^F - 1} \quad (\text{III.19})$$

Où :

$$F = \frac{A_e \cdot U_e}{\dot{m} \cdot c_p} \quad (\text{III.20})$$

L'efficacité de l'échangeur de chaleur peut se calculer comme :

$$s = \frac{T_{es} - T_{ee}}{T_B - T_{ee}} \quad (\text{III.21})$$

Ainsi , la température de bassin solaire devient:

$$\frac{dT_B}{dt} = \frac{1}{s} \cdot \frac{dT_{es}}{dt} \quad (\text{III.22})$$

La combinaison des équations (III.17), (III.19) est donne l'équation suivante pour la température du bassin :

$$\frac{d\theta}{dt} = b - a.\theta \quad (\text{III.23})$$

Où :

$$\theta = T_{es} - T_a \quad (\text{III.24})$$

$$a = \frac{U_L + \frac{\dot{m}.c_p.s}{A_c}}{\frac{(M.c)_B}{A_c}} \quad (\text{III.25})$$

$$b = \frac{(\tau\alpha).I.s + \left(U_L.(1-s) + \frac{\dot{m}.c_p.s}{A_c} \right) (T_{ee} - T_a)}{\frac{(M.c)_B}{A_c}} \quad (\text{III.26})$$

la solution de l'équation différentielle (III.23) nous donne finalement. La variation temporelle de la température du bassin:

$$\frac{\theta_1 - \theta_0}{\frac{b}{a} - \theta_0} = 1 - e^{-a\Delta t} \quad (\text{III.27})$$

Avec: $\Delta t = t_1 - t_0 \quad (\text{III.28})$

III.3.1.4.RENDEMENT:**III.3.1.3.1.Rendement Instantané du bassin :**

Le rendement du bassin que l'on définit par le rapport suivant:

$\eta = \text{Puissance thermique utile du bassin} / \text{Flux solaire incident sur le plan du bassin}$

Cette définition se traduit par l'expression suivante :

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c \cdot I} \quad (\text{III.29})$$

Où :

$$Q_u = (\tau\alpha) \cdot I \cdot A_c + U_L \cdot A_c \cdot (T_B - T_a) \quad (\text{III.30})$$

Le rendement journalier du bassin c'est la somme des énergies utiles prises pendant la journée par la somme des ensoleillements correspondants.

Cette définition se traduit par l'expression suivante :

$$\eta = \frac{\sum Q_u}{\sum A_c \cdot I} \quad (\text{III.31})$$

L'équation (III.31) peut s'écrire sous forme intégrale comme suit :

$$\eta = \frac{\int Q_u \cdot dt}{\int A_c \cdot I \cdot dt} \quad (\text{III.32})$$

III.3.1.3.2.Rendement du bassin :

Une partie du rayonnement solaire qui atteint le bassin est perdue par réflexion et absorption. Le rendement optique prend ces pertes en compte.

Durant leur montée en température, les bassins solaires cèdent de la chaleur à l'environnement par conduction, rayonnement et convection. Ces déperditions sont prises en compte par le coefficient de pertes U_L . Le coefficient de pertes et le rendement optique constituent le rendement du bassin qu'il est possible de calculer par la formule résultante des équations (III.17), (III.22) :

$$\eta + \frac{(M \cdot c)_B \cdot \Delta T_{es}}{A_c \cdot s \int I \cdot dt} = \tau\alpha - U_L \cdot \frac{s}{\int I \cdot dt} \cdot \frac{1}{s} (T_{es} - T_a) - \frac{(1-s)}{s} (T_{es} - T_a) \quad (\text{III.32})$$

Si la différence entre les températures de bassin solaire et ambiante est nulle, le bassin ne cède pas de chaleur à l'ambiance et le rendement η est à son maximum ; on parle de rendement optique .

III.4. SIMULATION :

La simulation se fait à l'aide d'un micro-ordinateur pour calculer les paramètres de fonctionnement du bassin solaire en régime transitoire, Ainsi les données météorologiques sont chargées sous forme des fichiers et des formules empiriques approchées. Ainsi que les données et résultats sont chargées sous forme des vecteurs pour faciliter la programmation en Fortran et l'impression des résultats (graphes) sont réalisées grâce le logiciel Origine 6.

III.5.PROGRAMME DE CALCUL :

III.5.1.EFFET DE DEBIT VARIABLE:

Ce programme permet d'établir :

- 1.Différents paramètres liés au fonctionnement du bassin. .
- 2.Les coefficients d'échanges thermiques.
- 3.La convergence du coefficient des pertes thermiques.
- 4.l'évolution des températures de bassin et de sorties du fluide caloporteur.
- 5.La puissance utile (le flux de chaleur dégagée par le fluide caloporteur).

III.5.2.EFFET DE MASSE VARIABLE :

Ce programme permet d'établir :

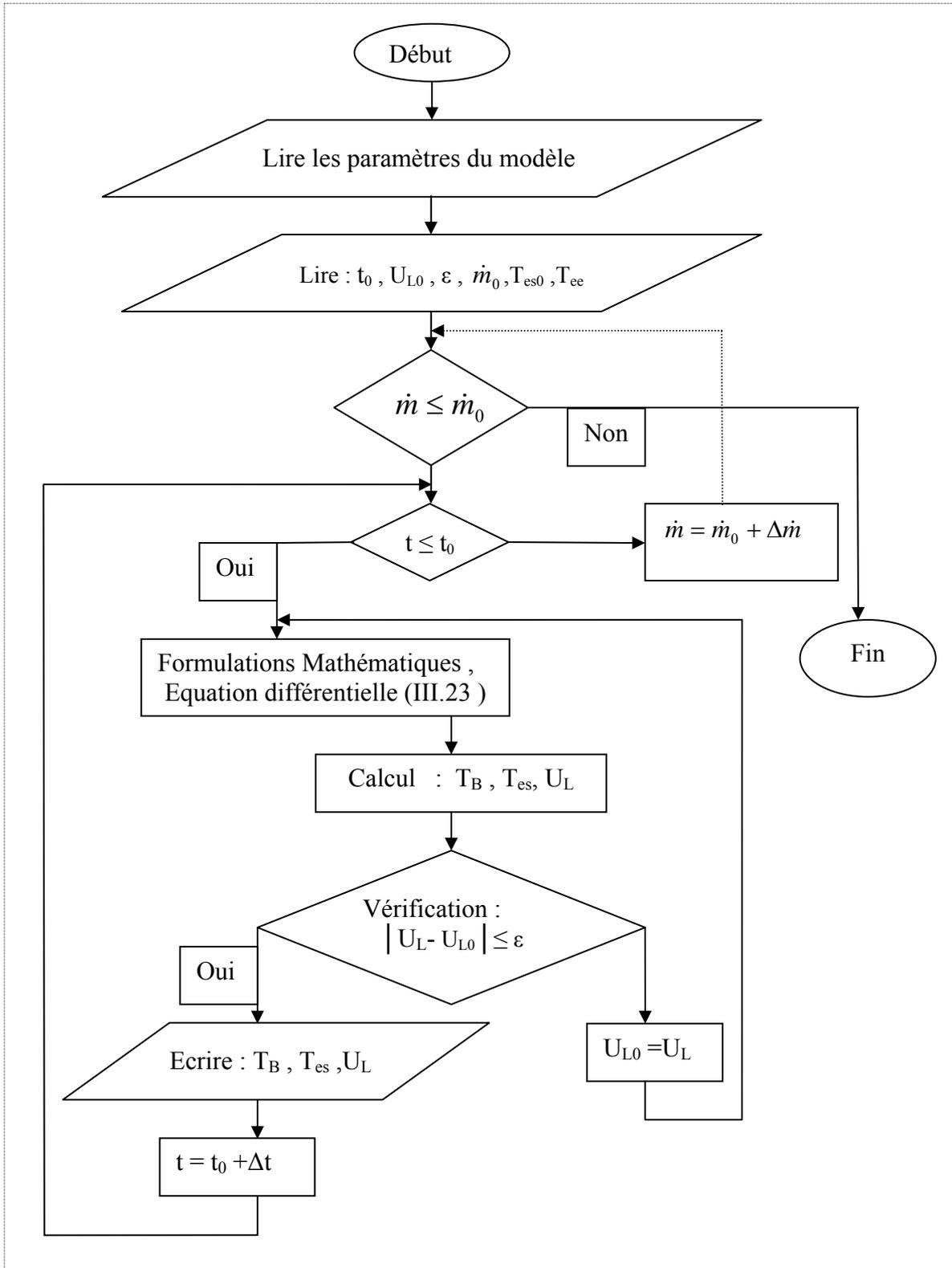
- 1.Différents paramètres liés au fonctionnement du bassin. .
- 2.Les coefficients d'échanges thermiques.
- 3.La convergence de coefficient des pertes thermiques.
- 4.l'évolution des températures de bassin et de sorties du fluide caloporteur.
- 5.La puissance utile (le flux de chaleur dégagée par le fluide caloporteur).

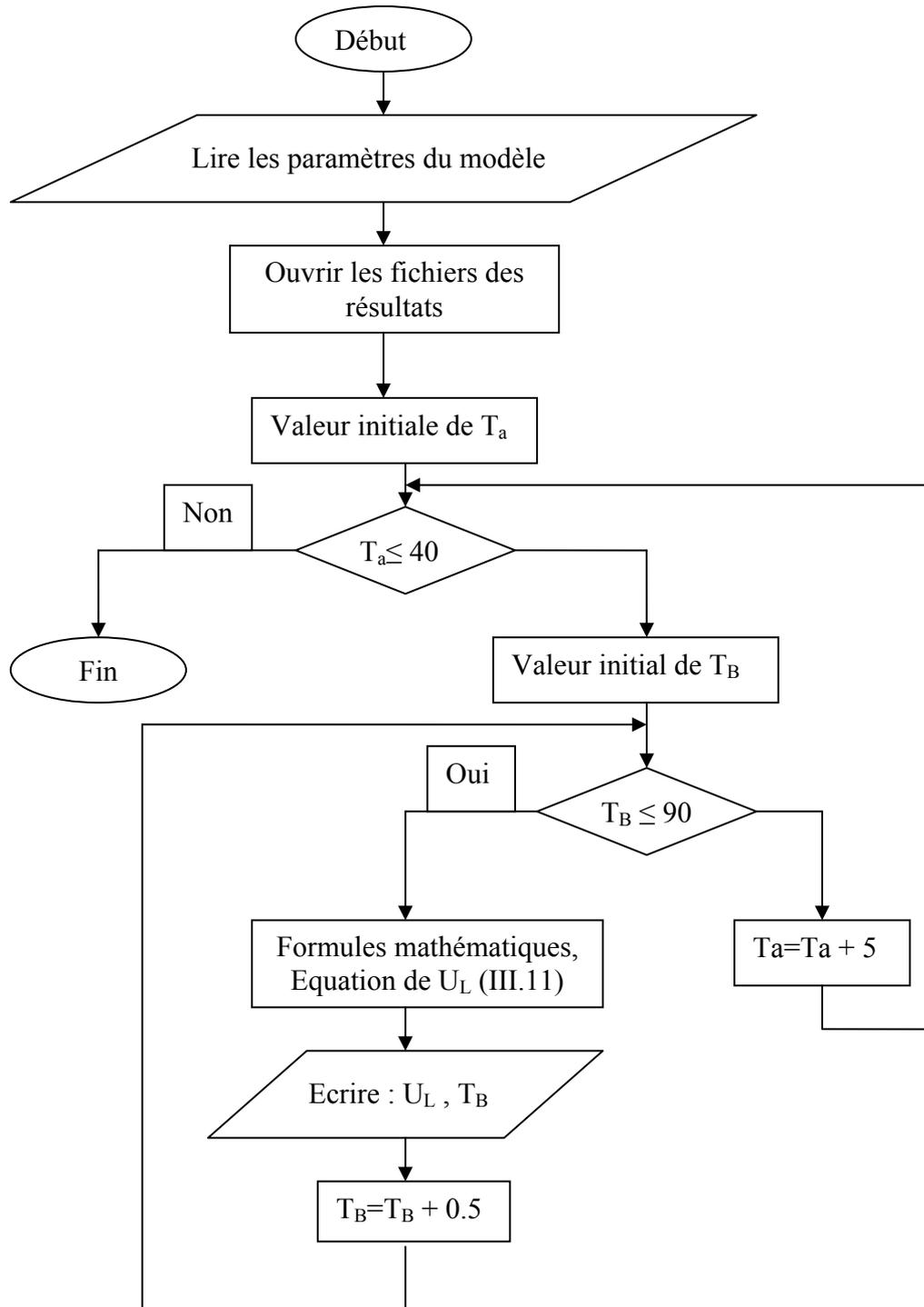
III.5.3.RENDEMENT THEORIQUE :

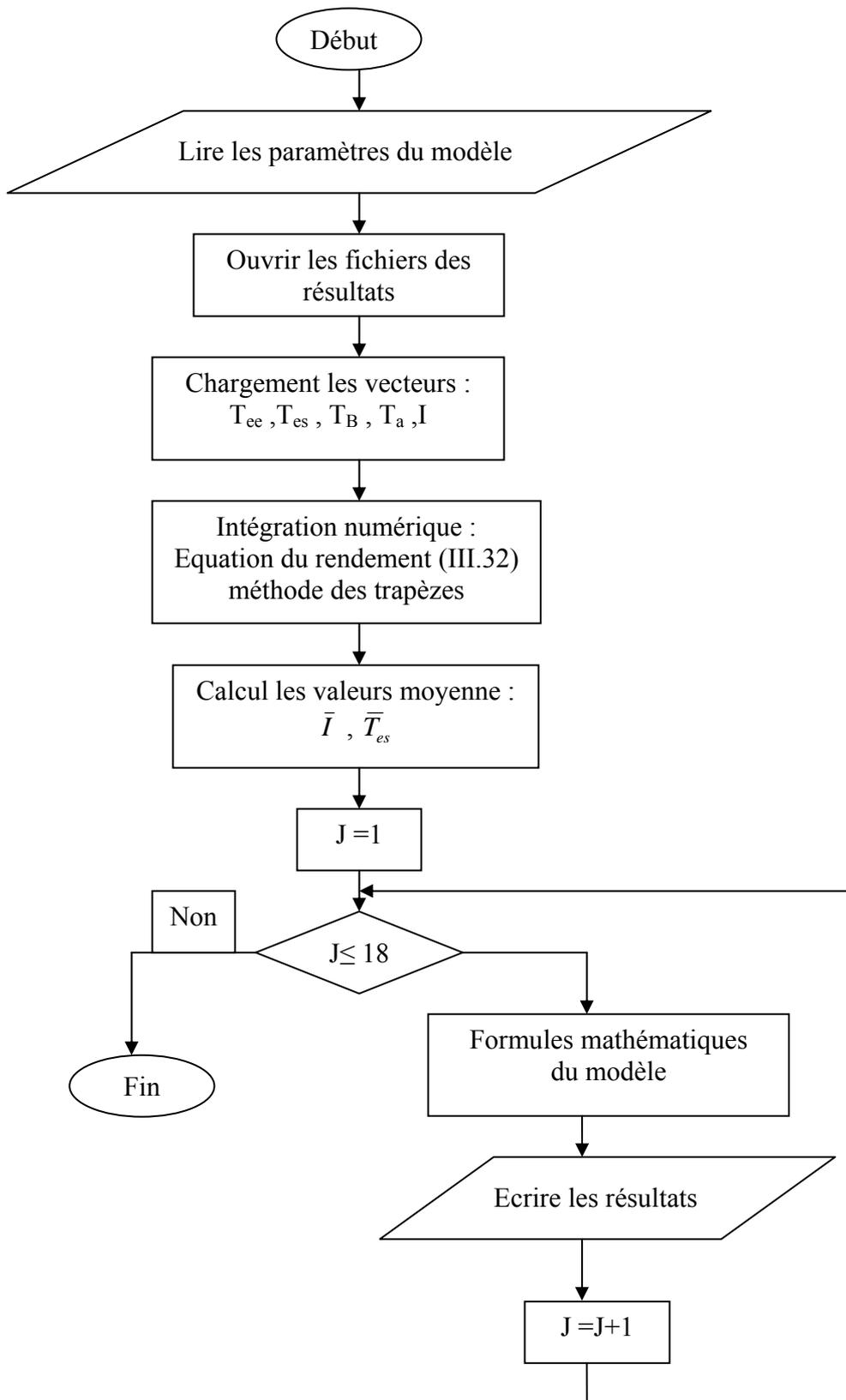
Les résultats obtenus dans ces programmes précédentes sont exploitées dans le calcul du rendement du bassin, et on utilise la méthode numérique des trapèzes pour le calcul des intégrales dans l'équation (III.32).

III.6.ORGANIGRAMME :

III.6.1.ORGANIGRAMME DE CALCUL DE T_B , T_{FS} ET U_L (EFFET DE DEBIT):



III.6.2.ORGANIGRAMME DE CALCUL DE L'EVOLUTION DE U_L :

III.6.3.ORGANIGRAMME DE CALCUL DU RENDEMENT :

III.6.4.ORGANIGRAMME DE CALCUL DE T_B , T_{FS} ET U_L (EFFET DE MASSE):

Pour calculer les différents paramètres du bassin, on utilise les mêmes étapes réalisées dans l'organigramme effet de débit (on fixe le débit et on fait varier la masse).

III.7.RESULTATS THEORIQUES :

Les résultats obtenus dans la partie théorique sont basés sur la résolution de l'équation différentielle (III.23) ,qui permet d'avoir la sensibilité des paramètres sur le comportement thermique du bassin solaire. Ainsi l'article mentionnée dans la bibliographie [12] présente une étude détaillée de l'influence des différents paramètres sur le bassin solaire en exploitant une simulation informatique avec des hypothèses simplificatrices :

- Ecoulement laminaire.
- Régime transitoire.
- température est uniforme sur le long du bassin solaire.
- Estimation des pertes vers l'arrière du bassin solaire.
- Absence des réactions chimiques dans le bassin solaire.
- Transfert de chaleur unidimensionnel.
- Système en équilibre mécanique.
- La convection extra tubulaire est négligée.

III.7.1.VARIATION DE LA PUISSANCE SOLAIRE :

La figure (III.3) présente l'évolution de l'éclairement global pendant la journée. Ainsi que cette courbe est obtenue expérimentalement, en plus on doit l'exploiter ce vecteur dans notre programme machine pour avoir un modèle plus proche de la réalité.

La figure (III.3) montre que la variation du rayonnement solaire en fonction du temps présente une forme de cloche atteint son maximum à 13^h00, et ces variations sont similaires à la plupart des modèles semi empiriques.

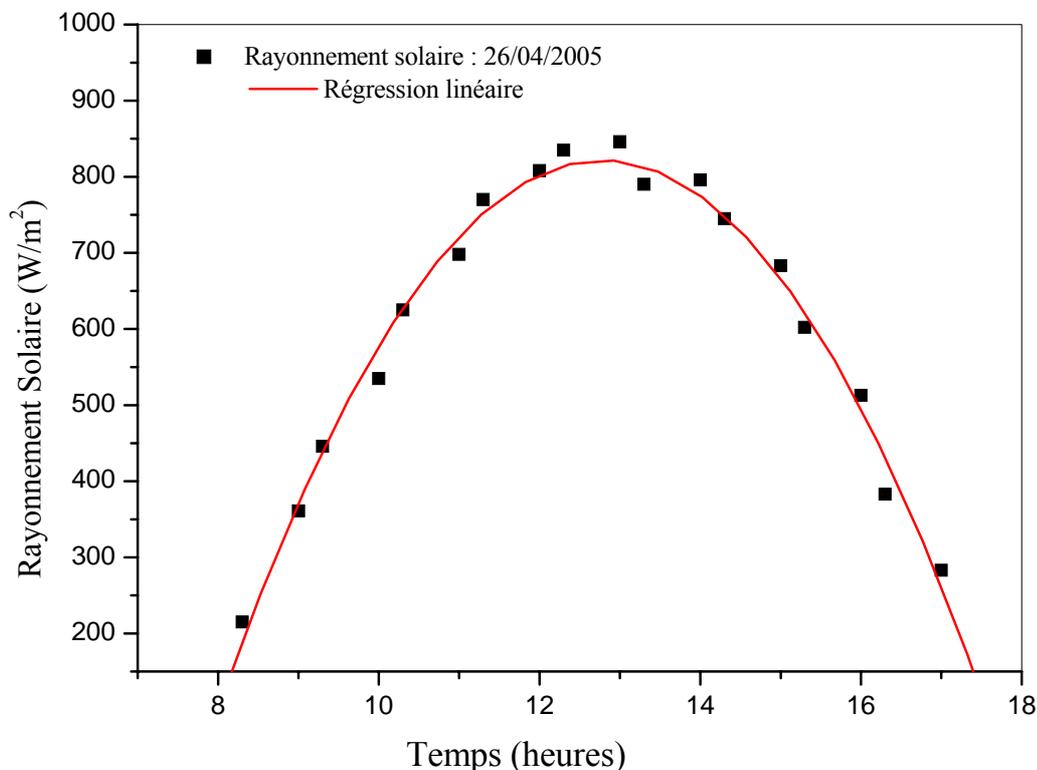


Figure (III.3) : Variation temporelle des rayonnements solaire.

III.7.2.VARIATION DE COEFFICIENT DES PERTES THERMIQUES :

Les figures (III.3.1), (III.3.2) et (III.3.3) présentent l'évolution théorique du coefficient des pertes thermique U_L en fonction la température de fluide du bassin sous l'effet de la vitesse du vent avec différents valeurs de la température ambiante.

Ainsi ces figures montrent que la vitesse du vent présente une grande influence sur le fonctionnement et la stabilité du bassin solaire à ne pas négligée .

On remarque dans les graphes cités que U_L est maximum au début de l'échauffement de fluide du bassin et diminué jusqu'à un certaine T_B et après commence son évolution d'une façon lente. Ce qui signifie que U_L varie proportionnellement avec la vitesse du vent et cette inconvénient peut être minimisé en plaçant un film plastique ou un système coupe vent.

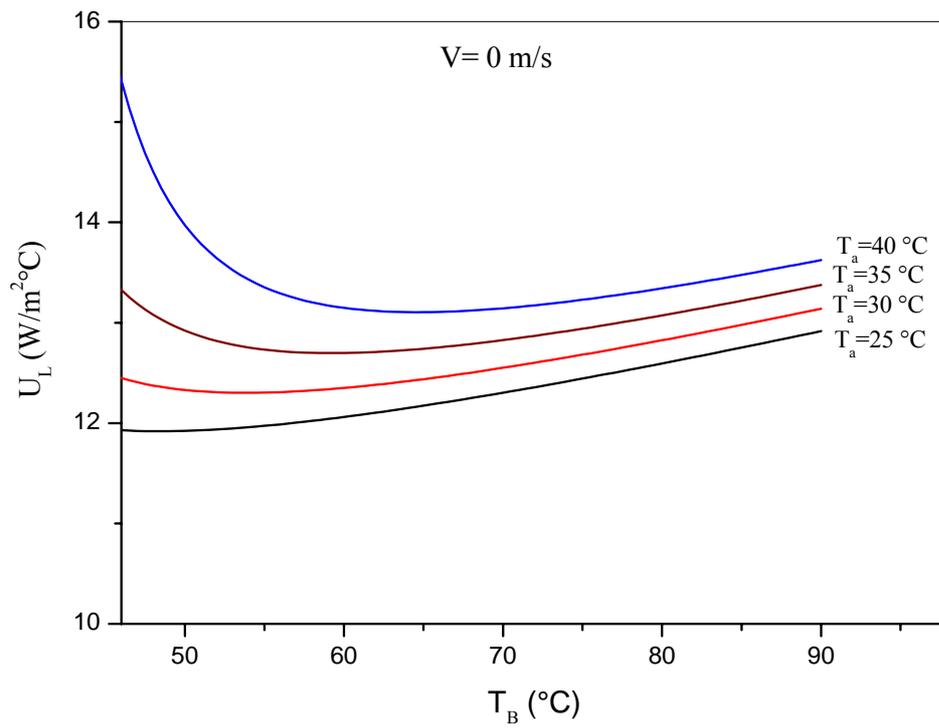


Figure (III.3.1) : Variations théoriques de U_L en fonction T_B (effet de vent)

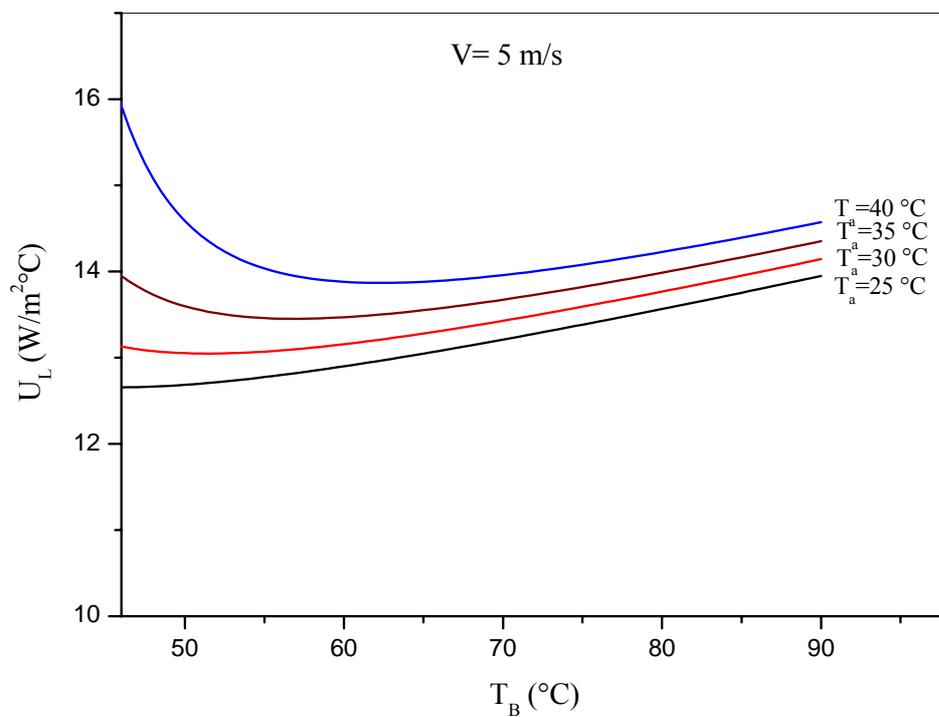


Figure (III.3.2) : Variations théoriques de U_L en fonction T_B (effet de vent)

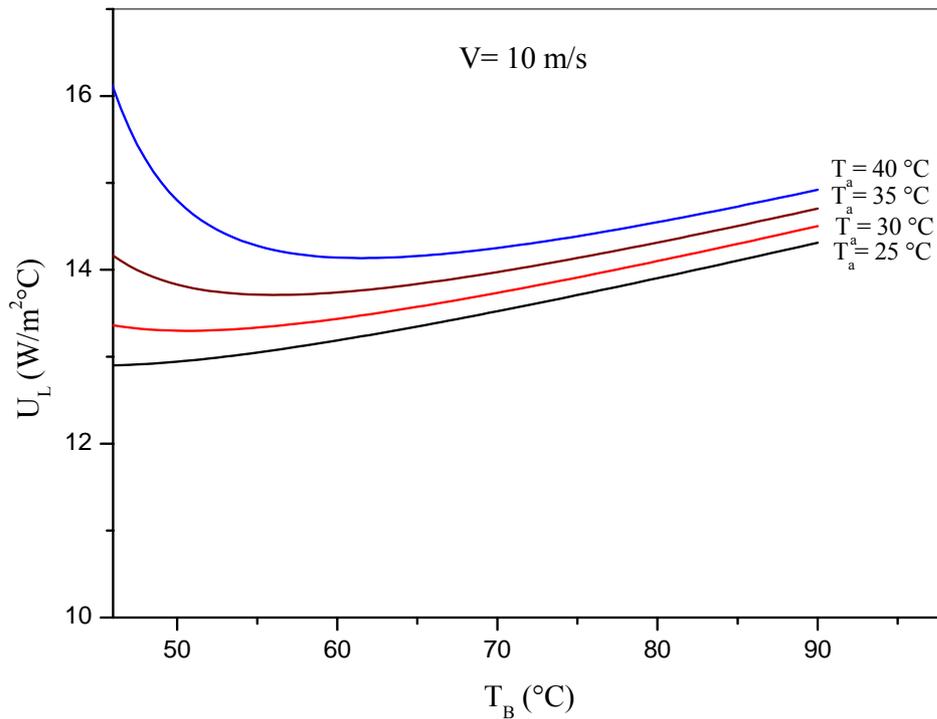


Figure (III.3.3) : Variations théoriques de U_L en fonction T_B (effet de vent)

III.7.3.VARIATION DE TEMPERATURE DU FLUIDE CALOPORTEUR :

III.7.3.1.EFFET DE DEBIT DU FLUIDE CALOPORTEUR :

La figure (III.5) montre que la température de sortie du fluide caloporteur présente une forme d'escalier pendant la journée et varie proportionnellement suivant le temps pour différents valeurs des débits. Ainsi, pour les mêmes valeurs de débit la température de sortie du fluide caloporteur atteinte son maximum à 13^h30, puis elle devient constante, ce montre que la progression de température de sortie à une relation direct avec l'éclairement global et la température du fluide de bassin solaire.

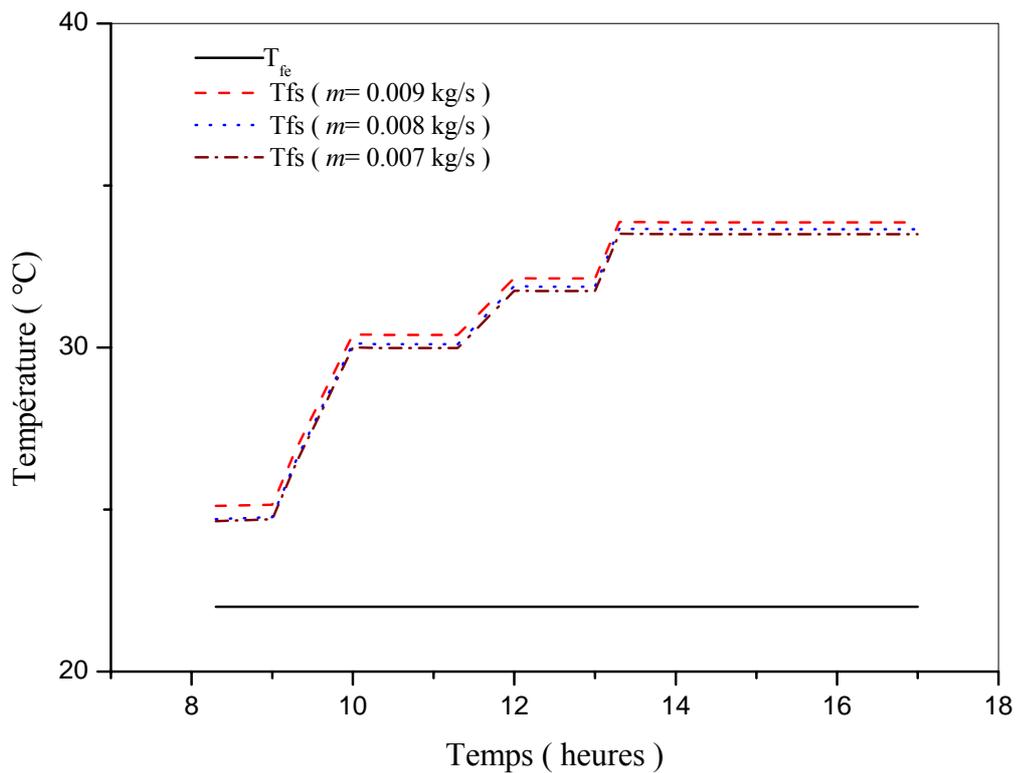


Figure (III.5) : Variation temporelle des températures de sortie du fluide caloporteur (effet de débit)

III.7.3.2.EFFET DE LA MASSE DE FLUIDE DU BASSIN :

La figure (III.6) présente une variation disproportionnel de la température de sortie du fluide caloporteur avec la masse de fluide du bassin solaire et un allure sous forme escalier. Ainsi cette température atteinte son maximum à 13^h:30, et puis devient constante malgré de la diminution de l'éclairement global, ce qui donne l'idée que les bassins solaire peuvent être utilisés pour le stockage des calories.

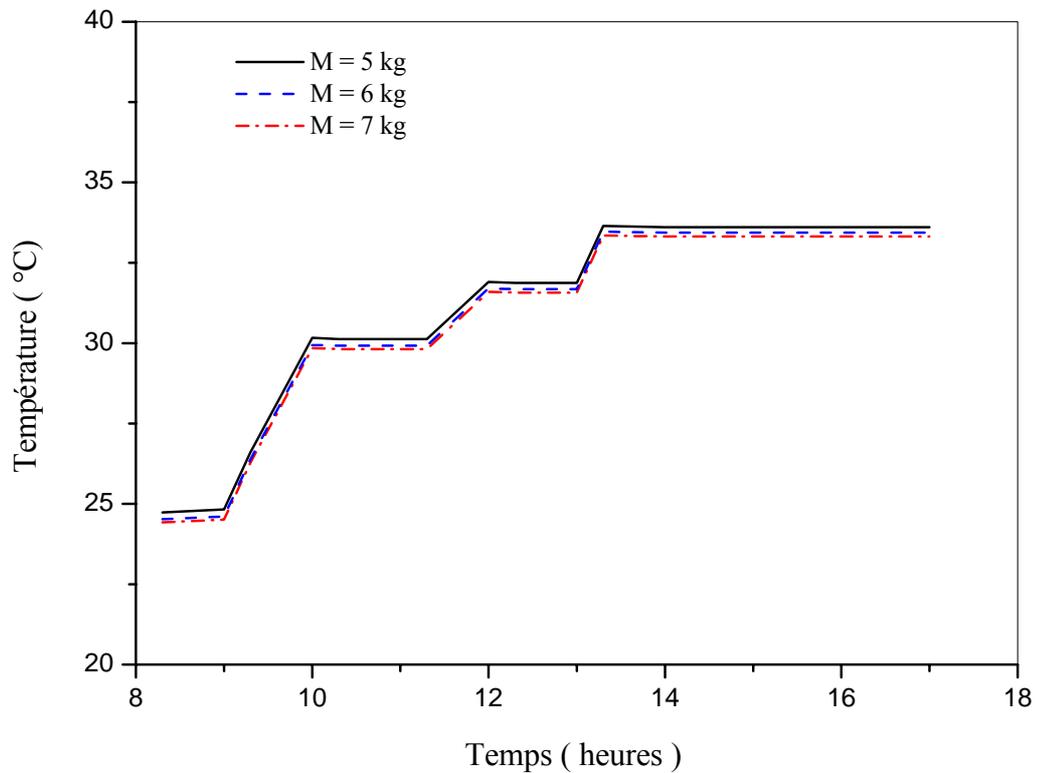


Figure (III.6) : Variation temporelle des température de sortie du fluide caloporteur (effet de la masse)

III.7.4. VARIATION DE TEMPERATURE DE FLUIDE DU BASSIN:

III.7.4.1.EFFET DE DEBIT DU FLUIDE CALOPORTEUR :

La figure (III.7) présente même l'allure de la température de sortie du fluide caloporteur, c'est-à-dire que la variation de température du fluide du bassin est proportionnel à celle du fluide caloporteur.

La température du fluide de bassin solaire atteinte son maximum à 13^h:30 pour différents valeurs de débit et sa variation dépend de la température de sortie du fluide caloporteur.

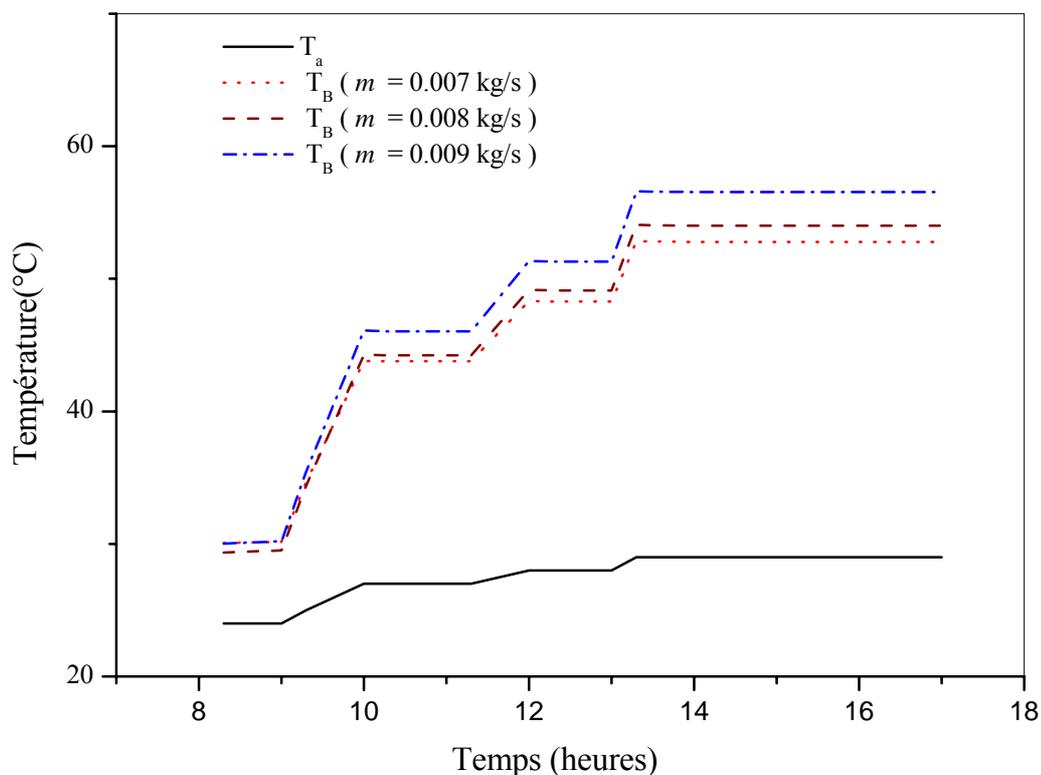


Figure (III.7) : Variation temporelle des températures de fluide de bassin (effet de débit)

III.7.4.2.EFFET DE LA MASSE DE FLUIDE DU BASSIN :

La figure (III.8) présente même l'allure de la température de sortie du fluide caloporteur (effet de masse), c'est-à-dire la variation de la température du fluide du bassin et proportionnel à celle du fluide caloporteur.

La température de fluide du bassin solaire atteinte son maximum (plus de 55 °C) à 13^h:30 et la variation de la masse de fluide du bassin solaire ne porte une grande influence sur la progression de la température de fluide du bassin solaire mais sur la durée d'atteindre la température désirée, ce que conforme aussi l'idée d'utilisé les bassins solaires dans le stockage des calories.

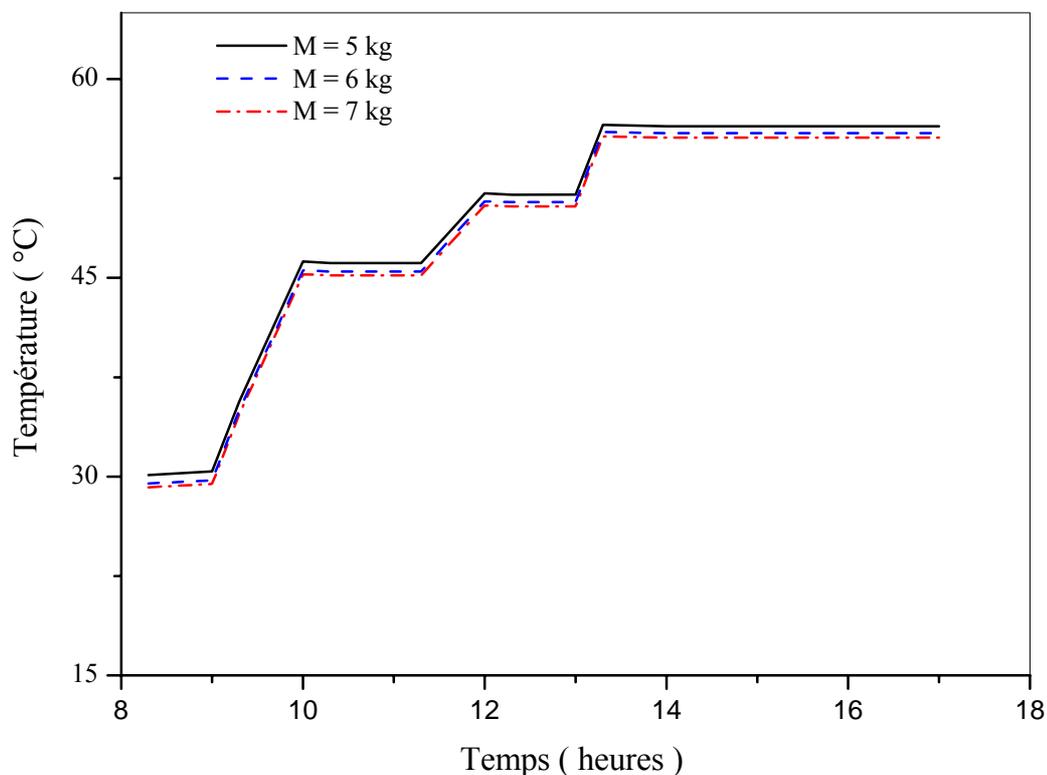


Figure (III.8) : Variation temporelle des températures de fluide du bassin (effet de masse)

III.7.5.VARIATION DES PUISSANCES UTILES :

La figure (III.9) montre que l'effet utile du bassin solaire est varié proportionnel avec la variation de débit du fluide caloporteur suivant un intervalle de temps donné. Ainsi que la courbe de la puissance utile présente quelques fluctuations, cela est dû au fait que le programme de calcul nécessite l'admission d'une valeur constante de vecteur de température de l'entrée, or cette dernière est une donnée non linéaire.

La figure (III.9) montre aussi que le flux de chaleur évacué à une relation directe avec la température de sortie du fluide caloporteur, la température de fluide du bassin solaire, tel que la puissance utile atteinte son maximum à 13^h30 puis devient constante, du fait que le bassin solaire est la limite de seuil de production, il arrive juste à vaincre ces pertes.

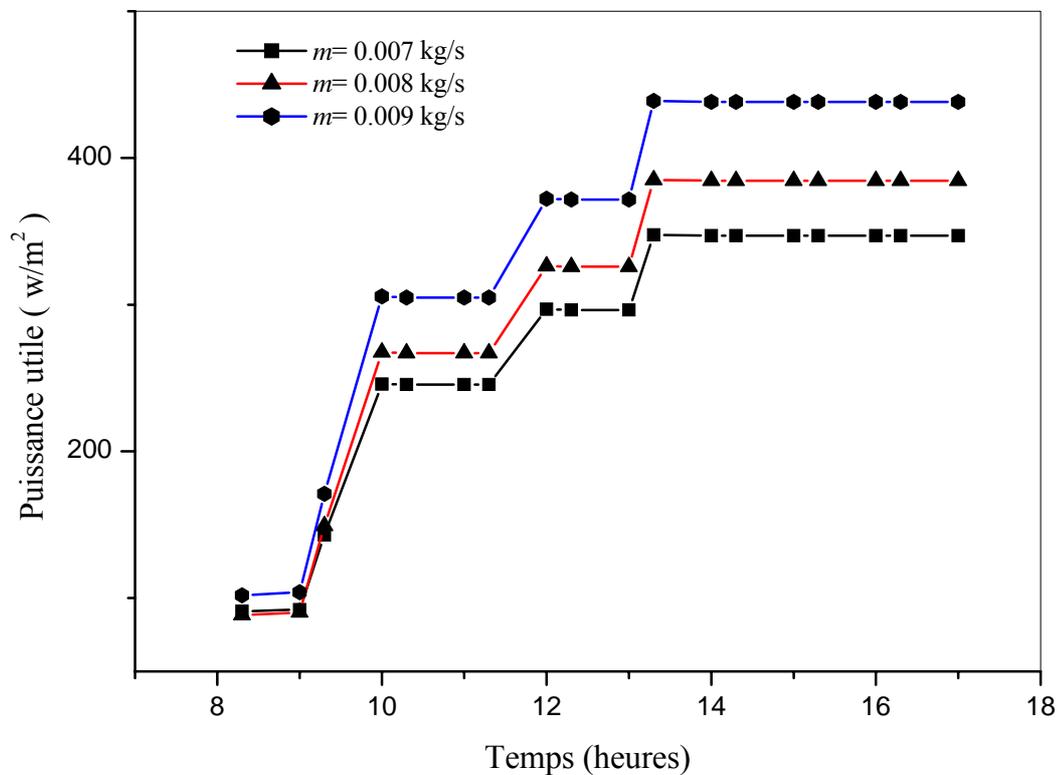


Figure (III.9) : Variation temporelle des puissances utiles du bassin

III.7.6.VARIATION DU RENDEMENT :

La figure (III.10) : présente la variation de rendement du bassin solaire en fonction de rapport de différence température moyenne de sortie du fluide caloporteur et la température ambiante sur le l'éclairement moyen pendant la journée est improportionnelle et linéaire, et cela, dû par les pertes thermiques et les hypothèses simplificatrices supposés au cours de développement du programme machine et ce rendement est déterminé numériquement par la méthode des trapèzes .

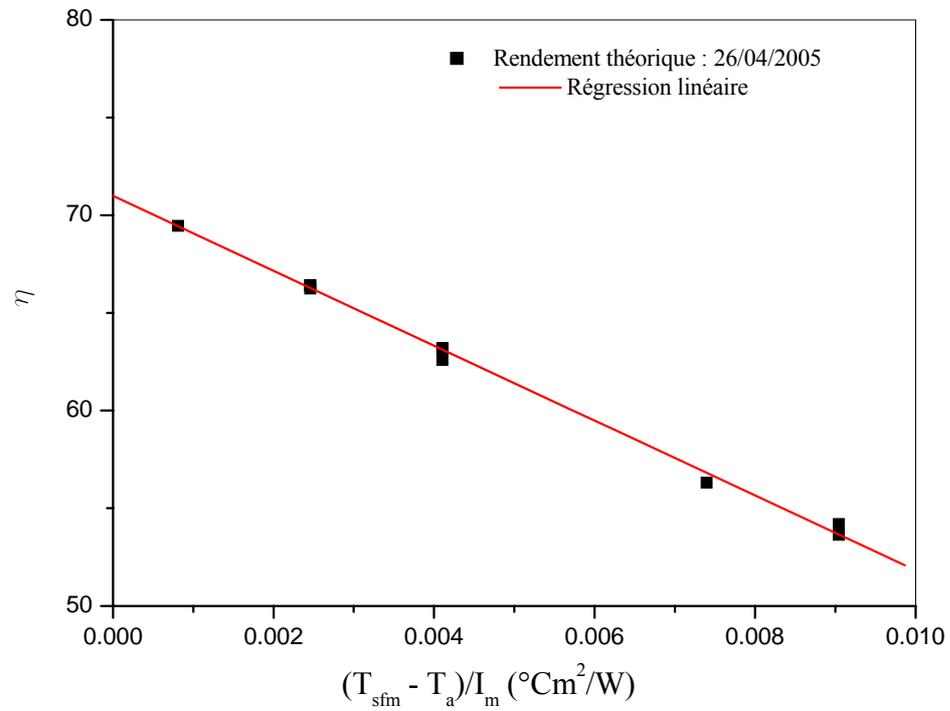


Figure (III.10) :Variation du rendement journalière du bassin solaire

INTRODUCTION

CHAPITRE II

GISEMENT SOLAIRE

CHAPITRE III

ETUDE THEORIQUE

CHAPITRE IV

ETUDE EXPERIMENTALE

ANNEXES

BIBLIOGRAPHIE

RESUME

CHAPITRE I

ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

CONCLUSION ET
RECOMMANDATIONS

I.1.GENERALITEES SUR LES CAPTEURS SOLAIRES :

Un capteur solaire est un dispositif destiné à absorber le rayonnement solaire et à transmettre la chaleur ainsi produite à un fluide caloporteur.

- Le capteur solaire plan: un capteur plan est un capteur sans concentration dans lequel la surface de l'absorbeur est sensiblement plane.

- Le capteur solaire à circulation de liquide: un capteur à circulation de liquide est un capteur dans lequel le fluide caloporteur est un liquide.

- Le capteur solaire à air: un capteur à air est un capteur dans lequel le fluide caloporteur est l'air.

- Le capteur solaire intégré: un capteur solaire intégré est un capteur solaire faisant office de toiture. Il entre dans la garantie décennale d'un bâtiment.

-Le capteur solaire à concentration:un capteur à concentration est un capteur solaire comportant un système optique (réflecteur, lentilles, etc.) destiné à concentrer sur l'absorbeur le rayonnement ayant traversé l'ouverture.

- Le capteur solaire à tube sous vide: un capteur à tube sous vide est un capteur solaire fait de tubes transparents généralement en verre, comportant un espace vide d'air entre la paroi extérieure de chaque tube et son absorbeur. En général, la pression dans l'espace vide est inférieure à 1 Pa. Ainsi, les déperditions thermiques convectives de l'absorbeur sont quasiment éliminées.

- Le distillateur solaire: La distillation solaire est une technique qui utilise le rayonnement solaire pour chauffer de l'eau saumâtre dans un bac couvert par une vitre inclinée. L'eau dans le bac s'évapore et la vapeur d'eau se condense sur la surface de la vitre. La condensation forme des gouttes d'eau pures qui coulent sur la vitre inclinée pour être récupérée dans un récipient propre.

I.2.BASSIN D'EAU SOLAIRE :

I.2.1.HISTORIQUE :

L'énergie solaire a été utilisé depuis longtemps pour produire de la chaleur et bien que l'expérience accumulée soit considérable,ce domaine a connu, avec le développement actuel, un renouvellement important sur le plan théorique et expérimental.

Les bassins d'eau solaires peuvent être utilisés dans plusieurs applications nécessitant des températures basses et modérées, telles que le conditionnement d'air, dessalement des eaux etc.

KALECINSKY [1] a proposé la première fois l'histoire des bassins solaires comme le concept d'une lac solaire, tel que la température de cette lac dans Transylvanie à une profondeur de 1320 millimètres à la fin de l'été atteinte 70 °C. Ceci a suivi l'identification des lacs normaux solaires semblables dans d'autres parties comme: Orovilve dans Washington ANDERSON [1], Vanda dans l'Antarctique WILSON et WELLMAN [1] et Eilat en Israël COHEN et al.[1].

Le fond la première recherche pratique sur les bassins solaires a été lancé par R.BLOCH [1], le directeur du développement des travaux de mer mort en Israël a proposé l'idée de créer les bassins solaires artificiels en 1954. Un effort sérieux de recherches a été lancé en Israël par TABOR [1], En premier pas le but des travaux réalisées par les chercheurs WEINBERGER et al.[1] est de créer une source énergétique alternative pour la production d'énergie avec quelques utilisations dans l'industrie et le domaine agricole .

Ainsi que les recherches sur les bassins solaires de gradient de sel ont été lancées en Israël en 1958, par utilisation des petits bassins solaires pour examiner divers régimes et paramètres de fonctionnement. La recherche sur les bassins solaires au plus tard est écarté dans plusieurs pays comme l'Australie, les Etats-Unis Canada, Inde etc.Tableau1[1].En plus les bassins solaire ont été portés une grande succès vers la fin de 1990, tel que les gouvernements de l'Inde, Israël et autres pays soutient le support financier de ces recherches et les exploiter dans les domaines opérationnels .

Tableau I.1: Historique des bassins solaires [1]

Etat / Site	Energie (KW)	Surface de Bassin (m ²)	Année
Ein Boqek, Israël	150	6250	1979-1986
Beith Ha 'Arava, Israël	5000	250000	1984-1989
Alice Springs, Australie		1600	1985-1989
El Paso, Etat -unis	70 (Electricité) 330 (Thermiques)	3350	1986

I.2.2.PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

Un bassin solaire est constitué par une masse d'eau peu profonde, chauffé par le soleil. L'eau absorbe le rayonnement infrarouge, mais est relativement transparente aux rayons visibles et ultraviolets qui pénètrent dans la masse d'eau.

L'énergie solaire incidente atteint le fond rendu, au préalable noir. Elle est alors absorbée de sorte que les couches d'eau intérieures sont chauffées par le rayonnement émis par le fond du bassin solaire.

A cause de l'évaporation du rayonnement, de la conduction et surtout de la convection, on n'observe qu'un faible écart vertical de température. Ainsi la propagation de la chaleur à travers la masse d'eau est limitée car les transferts thermiques qui s'effectuent que par conduction et rayonnement et il en résulte un gradient de température assez élevé.

Il y a donc captage d'énergie solaire sur une surface qui peut être importante et stockage de chaleur dans la couche du fond car le transfert conductif vertical est très faible .

Contrairement aux capteurs classiques qui peuvent être orientés de façon à être autant que possible perpendiculaire au rayonnement direct, le bassin solaire est toujours horizontal et pourtant la quantité d'énergie captée varie considérablement selon les saisons. C'est en été que l'apport calorifique est le plus important puisque l'ensoleillement est supérieur, l'angle d'incidence plus favorable, les pertes par réflexion moins importantes, alors que c'est en hiver que l'on a besoin des calories. Malgré ces contraintes, il faut s'assurer de l'aptitude du bassin solaire à jouer le rôle de stockage. Il est à noter, cependant, que si les bassins solaires ne constituent pas de parfaits stockage saisonniers, ils permettent le stockage longue durée.

Le fonctionnement des bassins solaires dépend d'un certain nombre de facteurs dont le plus important leur stabilité.

I.2.3.DIFFERENT TYPES DE BASSIN SOLAIRE :

A partir de l'idée que l'on peut capter l'énergie solaire, on peut imaginer de très nombreuses variantes du bassin solaire classique .

I.2.3.1.BASSIN TRES PEU PROFONDS :

Ce type est étudié par V.V.N.KISHORE et al.[2,3], Ces bassins sans sel , de 10à 20 cm de profondeur, de grande surface recouverts d'un double ou triple film plastique. On fait circuler l'eau dans ces bassin puis, on la recueille dans un réservoir, d'où elle est pompée vers une utilisation ou de nouveau vers le bassin. (Figure I.1).

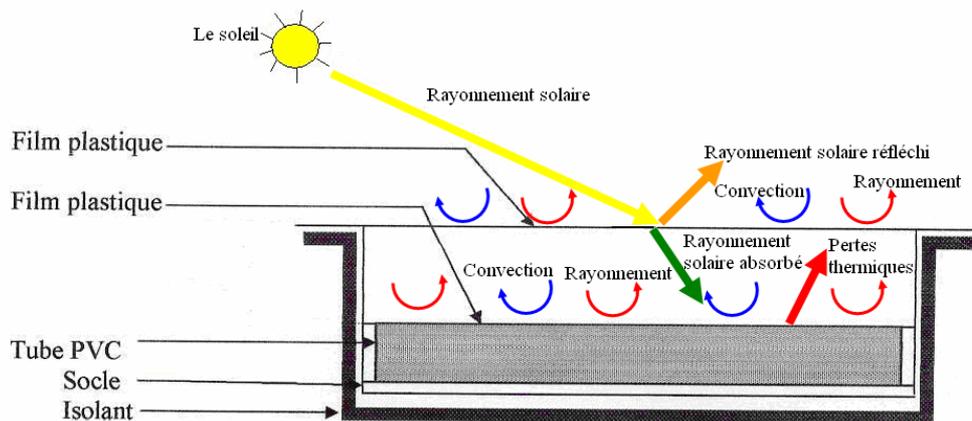


Figure I.1 : Bassin d'eau solaire peu profond

Le Lawrence Livermore Laboratory (Université de Californie) à étudié un système de production de l'électricité par voie thermodynamique où l'énergie est apportée par un bassin de ce type. (Figure I.2).

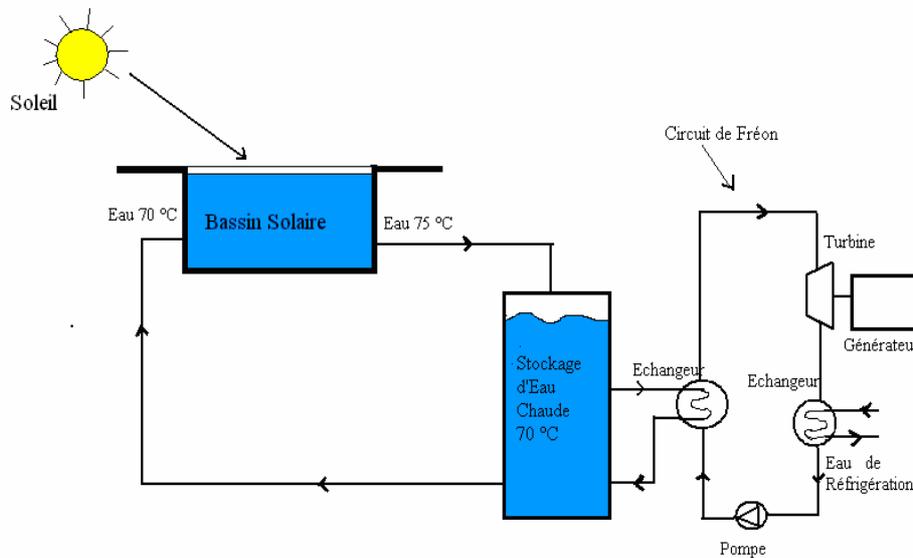


Figure I.2 : Bassin d'eau solaire peu profond à la production d'électricité

I.2.3.2. BASSIN AVEC UNE ZONE DE CONVECTION :

Ce type est étudié par RABL et al. [1,3,4,5,6], est constitué de deux zones superposées :

- * Une zone isolante, semblable au bassin solaire classique (épaisseur d'environ 1m, gradient de concentration de sel...)
- * Une zone de convection jouant le rôle de stockage des calories (épaisseur d'environ 1.5 m, température uniforme, eau destinée au chauffage).

Les deux zones sont séparées par un film plastique transparent. Pour éviter les pertes par évaporation, RABL et NIELSEN proposent de couvrir le bassin d'un autre film plastique recouvert d'une fine pelliculaire d'eau qui minimisera la réflexion. (Figure I.3).

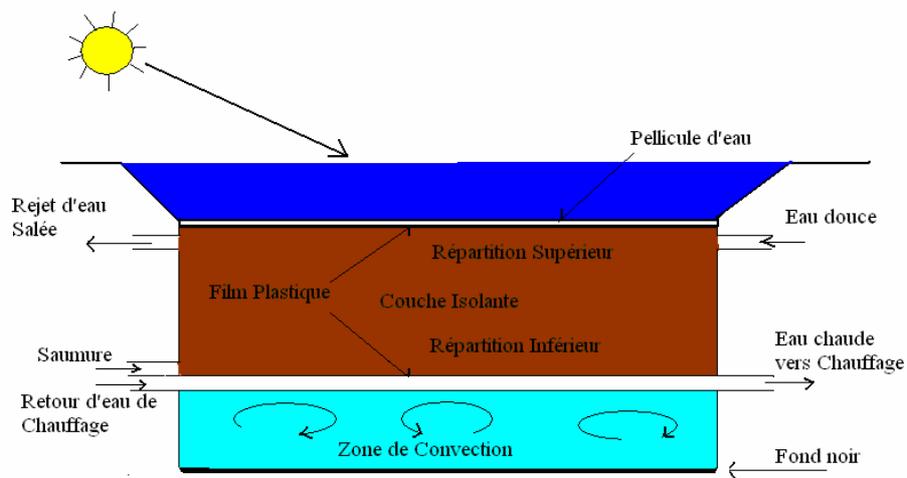


Figure I.3 : Bassin d'eau solaire avec zone de convection

I.2.3.3.BASSIN DESTINE A LA PRODUCTION DE SEL :

Une des application les plus intéressantes des bassins solaires est la production simultanée de sel et d'énergie, ce qui abaisse le prix de revient. De plus,cette solution élimine les problèmes de rejets d'eau salée.(FigureI.4).

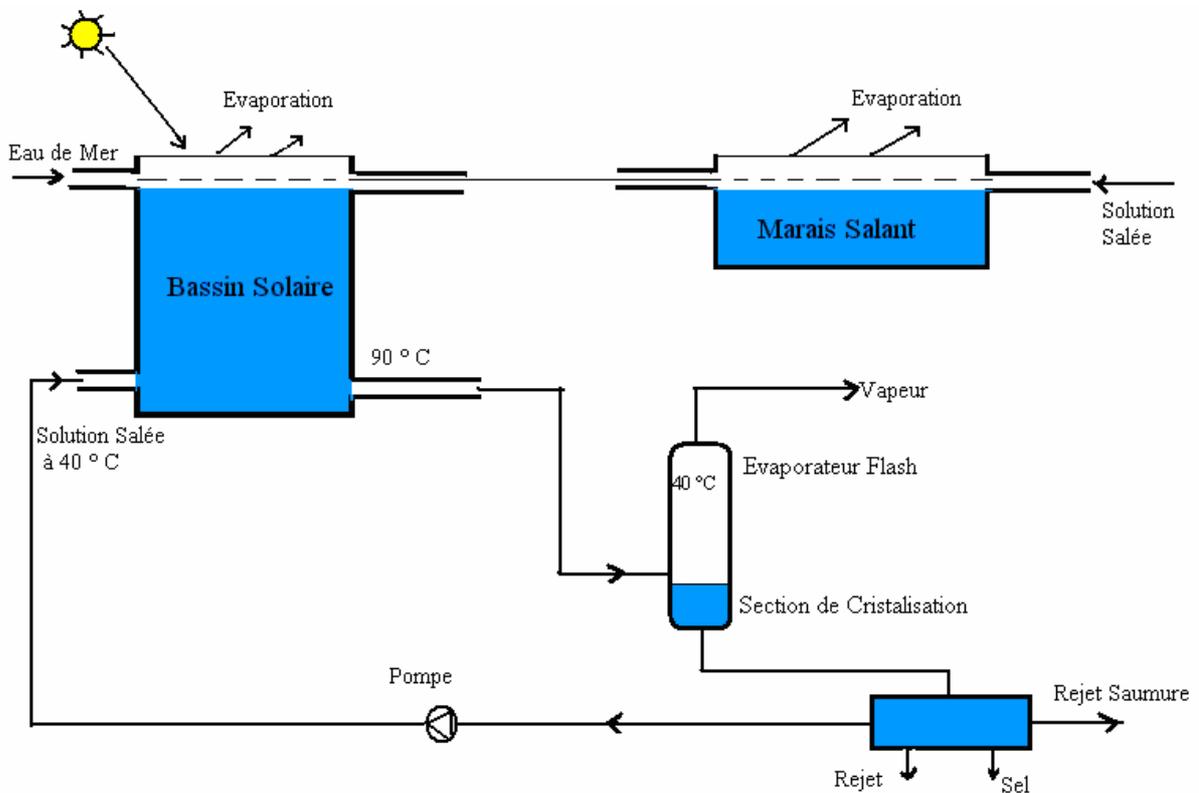


Figure I.4 : Bassin d'eau solaire destiné à la production de sel

I.2.3.4. BASSIN MUNIS DE STRUCTURES ANTIPERTES :

Le procédé repose sur le fait qu'avec des structures antipertes, on pourrait avoir des températures élevées à la surface du bassin et donc se passer du gradient de concentration en sel. Le gradient de température est inversé à la conception classique. (Figure I.5).

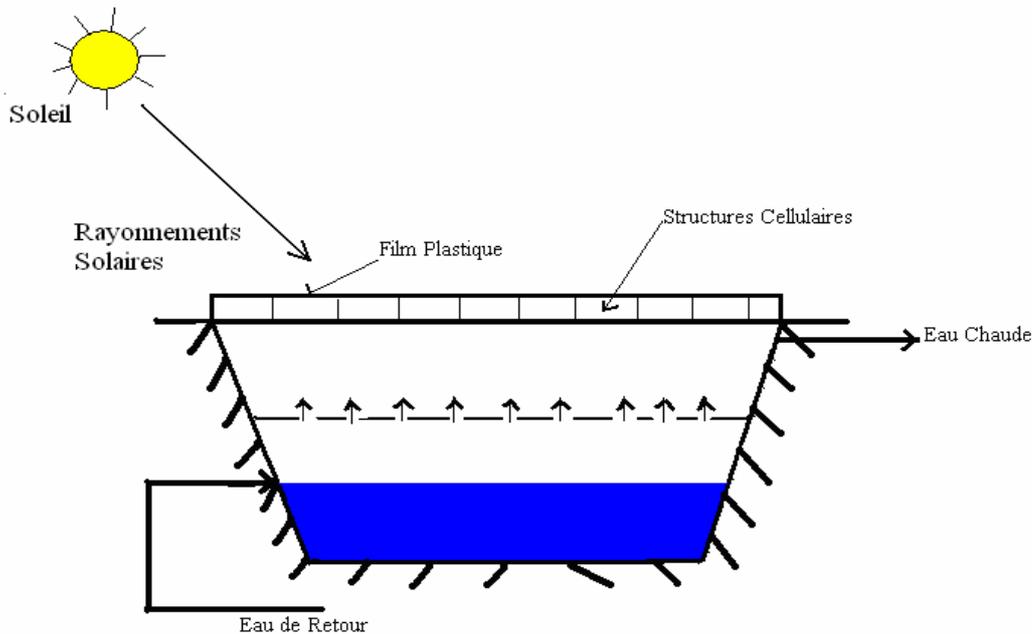


Figure I.5 : Bassin d'eau solaire muni de structures antipertes

I.2.3.5. ETANGS TOMBANTS :

Ce type est étudié par TABOR [3], tel que la chaleur est soutirée par décantation de la couche du fond et conduite à un évaporateur. En outre, la solution est concentrée dans l'évaporateur et renvoyée au fond du bassin pour y être réchauffée, tandis que de l'eau fraîche (eau de mer) est ajoutée à la surface. Comme il y a addition d'eau à la surface et soutirage au fond, le mouvement convectif descendant de l'eau s'oppose au mouvement du sel vers la surface. Avec une régulation convenable des débits d'eau, la concentration en sel reste stationnaire dans le bassin qui peut fonctionner sans consommer du sel après le remplissage initial. Comme la vitesse de chute nécessaire pour équilibrer la diffusion est plus petite que celle nécessaire pour soutirer toute la chaleur captée avec l'évaporateur, il faut compenser la baisse de concentration de la couche, d'eau salée provenant de l'évaporateur. (Figure I.6)

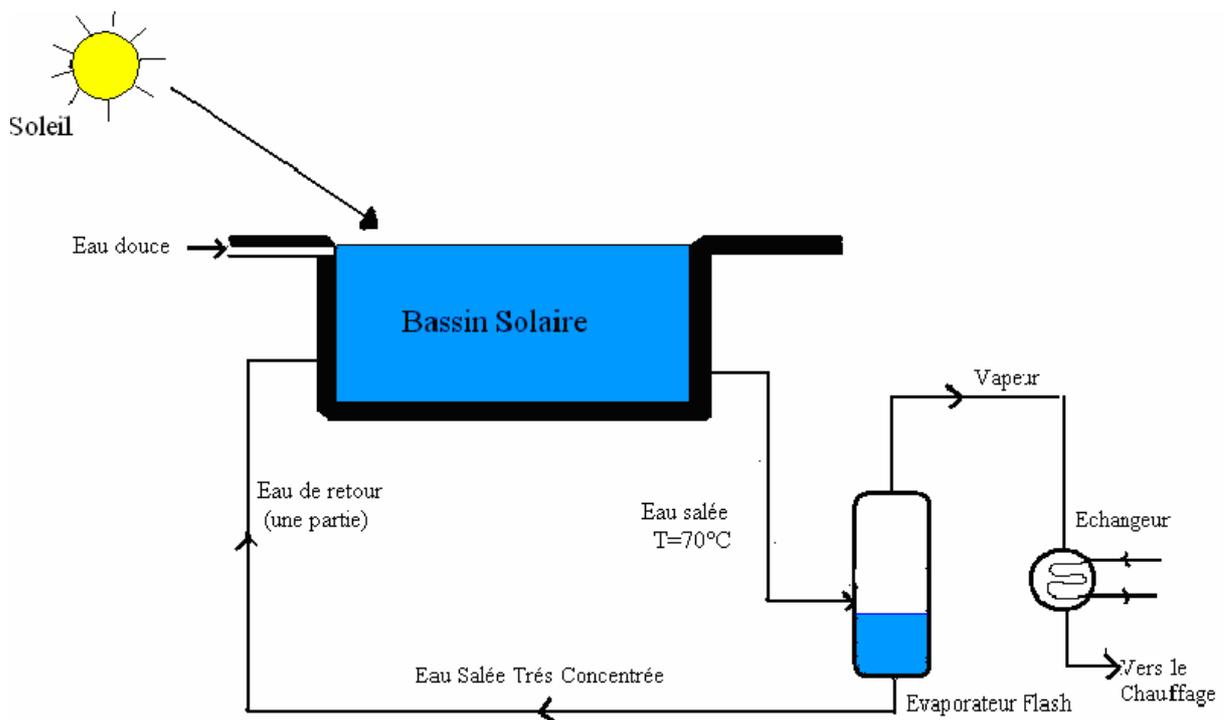


Figure I.6 : Etangs tournants

I.3. PERTES THERMIQUES DANS DIFFERENTS TYPES DE BASSINS SOLAIRES:

I.3.1. REFLEXION A LA SURFACE :

Les pertes sont importantes en début et fin de la journée, surtout en hiver il n'y a pratiquement aucun palliatif possible.

I.3.2. EVAPORATION A LA SURFACE :

L'évaporation constitue la perte la plus importante dans le bassin. En la supprimant, on peut faire monter notablement la température. Cette perte pourrait être diminuée en couvrant la surface d'un film plastique ou d'huile, mais cette solution n'est pas sans inconvénient (réflexion augmentée, transparence diminuée etc.)

I.3.3.CONVECTION A LA SURFACE :

Le vent entraîne aussi des pertes car le coefficient d'échange thermique et les vagues provoquent des courants de convection près de la surface. On peut l'éviter en mettant un film plastique ou l'huile.

I.3.4.CONDUCTION PAR LE SOL :

Si on ne veut pas utiliser le sol au-dessous du bassin ,il faudra éviter la conduction par le sol qui entraîne une perte importante quand il y a des courants souterrains .Pour la supprimer il faut mettre un isolant au fond du bassin et sur les bords.

I.4.PROBLEMES LIES AU FONCTIONNEMENT DES BASSINS SOLAIRES :**I.4.1.VAGUES :**

Les vagues donnent lieu à une zone de brassage près de la surface , ce qui augmente les pertes et diminue l'efficacité du bassin. De plus, des courants induits en profondeur affectent la stabilité du bassin et les transferts thermiques. Toutefois, cette inconvénient peut être minimisé en plaçant un film plastique ou d'huile à la surface ou un système coupe vent.

I.4.2.POUSSIÈRES EN SUSPENSION :

Les poussières agissent sur la transparence du bassin en absorbant le rayonnement solaire dans la couche d'eau intermédiaire et par conséquent, la captation au fond diminue. Cette sensibilité à la transparence est préjudiciable à la production de chaleur à basse température mais non à celle de sel.

I.4.3.CROISSANCE BACTERIENNE :

Des bactéries et des algues peuvent se développer près de la surface mais non au fond du bassin où la température est assez élevée. Pour prévenir leur développement, il suffit d'un système de stérilisation au chlore qui peut fonctionner lors de la mise en strates du bassin (chloration du mélange injecté) ou lors de renouvellement de la couche superficielle.

I.4.4.EXTRACTION DE L'EAU SALEE :

Pour minimiser la consommation d'eau, il faudrait rejeter l'eau salée issue du lavage de la surface du bassin, à la concentration la plus élevée possible. Mais cette concentration est limitée par :

- Problèmes hydrodynamiques à la surface (convection dans la couche supérieure).
- Des problèmes de pollution.

I.4.5. CONSOMMATION DE SEL ET MAINTIEN DU GRADIENT DE DENSITE :

La diffusion moléculaire tend à homogénéiser les concentrations dans le bassin .Pour maintenir le gradient initial, il faut donc apporter de la saumure à la couche du fond et éliminer du sel en surface, ceci pouvant se faire d'une façon continue. Si le sel est perdu, la consommation en sel est donc proportionnelle au gradient de concentration. Cette consommation pourrait être réduite par l'utilisation d'un sel un gradient de concentration plus faible .L'optimisation du bassin doit donc prendre en considération la consommation de sel.

I.4.6. EXTACTION DE LA CHALEUR :

C'est un problème difficile à résoudre. On peut soutirer la chaleur au fond du bassin en utilisant un ensemble de tuyaux où circule un fluide caloporteur, mais ce système n'est pas pratique pour les bassins de grande surfaces. En plus de coût des tuyaux et du pompage, il faut tenir compte du fait qu'il ne doit y avoir de convection ni naturelle ni forcée dans le bassin. Mais alors l'extraction de chaleur sera très faible et limitée à une couche d'une certaine épaisseur au fond du bassin .

Il serait très logique de procéder à la décantation d'une couche de fluide au fond en utilisant la possibilité de faire s'écouler, sans perturber les couches superficielles, une couche horizontale de fluide qui passerait dans un échangeur de chaleur avant de retourner dans le bassin . A cause du gradient de densité, on sait qu'il est possible de soutirer une couche sans provoquer un brassage total, mais la situation se complique si l'on veut recycler le fluide: on a alors un gradient de densité et zone convective, au fond, qui a tendance à croître en épaisseur.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

L'objectif de ce travail est l'étude d'un bassin solaire peu profond à partir d'un modèle théorique réalisé expérimentalement dans le laboratoire. Les essais effectués sur le prototype sont basés sur l'étude du comportement thermique du bassin solaire. Le modèle qui on mise en place à permis d' avoir les évolutions des paramètres de base de fonctionnement du bassin solaire peu profond. Ainsi que les résultats obtenus illustrent parfaitement l'intérêt de cette étude dans les zones arides.

Cependant, de la facilité de fabrication et de rentabilité par rapport aux capteurs solaires, les bassins solaires ne sont pas encore appréciés, pour les raisons :

- La technologie des bassins solaires n'est pas développée au même degré des capteurs solaires plans.
- Les bassins solaires ne sont pas disponibles dans la commerce surtout en Algérie.
- Le rayonnement solaire utilisable par les bassins solaires est moins influant du fait qu'ils ne peuvent pas être inclinés.
- Les problèmes quotidiens liés au remplissage, vider l'eau et la formation de grands trous d'air au-dessous de la couverture du film plastique en contact avec l'eau, ce qui nécessite une régulation pour le remplissage et vider de l'eau. Mais de telles mesures compliqueront nécessairement la conception des bassins solaires.

L'intérêt de notre travail actuel réalisé, est de proposition d'une conception d'un bassin solaire dans lequel un échangeur de chaleur est installé dans le lit d'eau et la chaleur est extraite, sans interruption, sans déranger la couche d'eau dans le bassin. Malgré les bonnes caractéristiques de transmission de la feuille en plastique, on l'a avéré non durable grâce à l'exposition continue à la lumière du soleil et de vent rendu le fragile après un certain temps du fonctionnement. Les bonnes feuilles en plastique résistantes sont facilement disponibles dans les pays développés mais elles ne sont pas fabriquées en

Algérie à notre connaissance. Les feuilles de PVC sont avérées meilleures et durables presque pendant l'année, mais elles ont l'inconvénient inhérent de la transmission élevée pour le long rayonnement de vague, ayant pour résultat un coefficient global élevé de perte de chaleur.

Des différentes phases d'avancement de ce travail, de point de vue que l'étude expérimentale est une complémentaire de l'étude théorique, Ainsi que de nombreuses remarques envisagées et parmi eux :

- Le bassin d'eau solaire peu profond peut fonctionner comme capteur solaire plan.
- La simplicité de réalisation et de fonctionnement.
- Les frais d'investissements moins chères à celles des capteurs solaires plans.
- La capacité de stockage de l'énergie solaire.
- L'absence de corrosion.

Quelques recommandations peuvent être avancées, dont l'étude des paramètres thermo physique de différents types des bassins solaires notés dans le chapitre analyse bibliographique à travers différentes zones du territoire nationale pour la validation du modèle étudiée.

NOMENCLATURE

Symbole	Désignation	Unité
A_c	: Surface du bassin solaire	m^2
A_e	: Surface du tube	m^2
C	: Chaleur spécifique du bassin solaire	$J /kg \text{ } ^\circ C$
C_p	: Chaleur spécifique de l'eau	$J /kg \text{ } ^\circ C$
D_i	: Diamètres interne du tube	m
Δt	: Intervalle de temps	s
ΔT_{LM}	: Différence de température logarithmique moyenne	$^\circ C$
F	: Coefficient d'extraction d'énergie	
h_i	: Coefficient d'échange thermique par convection du fluide caloporteur	$W /m^2 \text{ } ^\circ C$
$h^c_{(p-B)}$: Coefficient d'échange thermique par convection (plastique - bassin)	$W /m^2 \text{ } ^\circ C$
$h^c_{(c-p)}$: Coefficient d'échange thermique par convection (ciel - plastique)	$W /m^2 \text{ } ^\circ C$
$h^r_{(c-p)}$: Coefficient d'échange thermique par convection (ciel - plastique)	$W /m^2 \text{ } ^\circ C$
$h^r_{(p-B)}$: Coefficient d'échange thermique par rayonnement (plastique - bassin)	$W /m^2 \text{ } ^\circ C$
I	: Intensité du rayonnement solaire	W / m^2
\bar{I}	: Intensité du rayonnement solaire moyen	W / m^2
L	: Longueur caractéristique de tube	m
M	: Masse du bassin solaire	kg
\dot{m}	: Débit massique du fluide caloporteur	kg / s
\dot{m}_0	: Débit massique estimé du fluide caloporteur	kg / s
Q_u	: Puissance utile du bassin solaire	W/m^2
s	: Efficacité du bassin solaire	
t_0	: Temps initial	s
T_a	: Température ambiante	$^\circ C$
T_B	: Température de bassin solaire	$^\circ C$
T_{ee}	: Température de l'eau à l'entrée de tube	$^\circ C$
T_{es}	: Température de l'eau à la sortie du tube	$^\circ C$
T_{es0}	: Température initiale estimée de l'eau à la sortie du tube	$^\circ C$

T_c	: Température du ciel	°C
T_p	: Température du film plastique	°C
\bar{T}	: Température moyenne (bassin – plastique)	°C
\bar{T}_{es}	: Température moyenne de l'eau à la sortie du tube	°C
U_e	: Coefficient global d'échange de chaleur du bassin solaire	W /m ² °C
U_L	: Coefficient global d'échange de chaleur du bassin solaire	W /m ² °C
U_{L0}	: Coefficient global estimée d'échange de chaleur du bassin solaire	W /m ² °C
V	: Vitesse de vent	m / s

Lettres grecques	Désignation	Unité
-----------------------------	--------------------	--------------

α	: Coefficient d'absorption	
ε	: Emissivité	
β	: Inclinaison	
σ	: Constante de Stephen Boltzmann	W /m ² °C
η	: Rendement thermique	
λ	: Conductivité thermique	w/m ² °C
μ	: Viscosité dynamique	kg /m.s
ν	: Viscosité cinématique	m ² / s
ρ	: Masse volumique	kg / m ³
τ	: Coefficient de transmission	
θ	: Température du basin solaire	°C
χ	: Coefficient d'extinction du film plastique	

B.NOMBRES ADIMENSIONNELS :**B.1.NOMBRE DE REYNOLDS (R_E) :**

Le nombre de Reynolds, qui est sans dimension, représente le rapport des force d'inertie aux forces de frottement visqueux.

$$R_E = \frac{\rho.V.D}{\mu}$$

Avec : $\mu = \rho . \nu$

Où :

V : Vitesse moyenne en m/s.

ν : Viscosité cinématique en m^2/s .

μ : Viscosité dynamique en $kg\ s /m^2$.

D : Diamètre du tuyau en m.

ρ : Masse volumique du fluide en kg/m^3 .

B.2.NOMBRE DE PRANDTL P_r :

Le nombre de Prandtl est défini par la relation suivante :

$$P_r = \frac{\nu}{a}$$

Avec : $a = \frac{\lambda}{\rho . C}$

Où : a : Diffusivité thermique en m^2 /s

λ : Conductivité thermique en $W/m\ ^\circ C$

C : Capacité calorifique massique du fluide en $J/kg\ ^\circ C$

B.3.NOMBRE DE NUSSOLT :

Le nombre de Nusselt est défini par la relation suivante :

$$N_u = \frac{h.L}{\lambda}$$

Où :

h : Coefficient d'échange de chaleur par convection en $W/m^2 \text{ } ^\circ C$.

λ : Conductivité thermique en $W/m \text{ } ^\circ C$.

L : Longueur caractéristique en m.

A. METHODE D'INTEGRATION NUMERIQUE:

A.1. INTRODUCTION :

Dans la plupart des cas, les fonctions analytiques, du fait de leurs complexités, ne sont pas intégrables analytiquement. Dans d'autres cas, on a des fonctions qui sont évaluées numériquement en différents points de l'intervalle où ces dernières sont données, et l'intégrale de ces types de fonctions ne peut être obtenue que par des approches numériques. Dans ces cas, on s'intéresse aux méthodes utilisées fréquemment, à savoir la méthode des trapèzes.

A.2. METHODE DES TRAPEZES :

Soit $f(x)$ la fonction à intégrer sur $[a,b]$ L'intégrale I de $f(x)$ s'écrit en utilisant la méthode des trapèzes :

$$I = \int_a^b f(x)dx = \frac{h}{2} \left[f(x_1) + f(x_{n+1}) + 2 \sum_{i=2}^n f(x_i) \right] + E$$

Où :

$$h = \frac{b - a}{n}$$

$$x_i = a + (i - 1)h, \quad i = 1, 2, 3, 4, \dots, n, n + 1$$

Le terme représentant l'erreur est :

$$E \approx -\frac{b-a}{12} h^2 \cdot \bar{f}''(x) \approx -\frac{b-a}{12n^2} \bar{f}''(x)$$

$\bar{f}''(x)$ est la moyenne de $f''(x)$ sur l'intervalle $[a,b]$. L'erreur E est inversement proportionnelle à la valeur de n^2 .

ABSTRACT

In this work the author presents a theoretical and an experimental analysis of shallow pond as a solar collector with continuous heat extraction. The pond is a circular container filled with colored water.

The heat is removed by water flowing through helicoidal PVC tube placed inside the pond. Two plastic cover are fixed on the top of the pond to enhance the green house effect.

The influence of the mass flow rate the mass of water in the pond the inlet temperature of water is presented. The theory of the thermal behavior of the pond is studied. valid the model to, a set of experimental tests was carried out compared to the predicted results.

Key words :

Solar pond, Solar collector, Thermal behavior, transit.

RESUME

Dans ce travail l'auteur présente une analyse théorique et expérimentale de l'utilisation d'un bassin d'eau peu profond comme un capteur solaire plan avec extraction continue de chaleur. Le bassin est un récipient circulaire avec un fond noir et rempli d'eau colorée, la chaleur est extraite par la circulation d'eau dans un serpentin en PVC disposé dans le lit d'eau. Le bassin est ensuite couvert de deux films plastiques afin de favoriser l'effet de serre. L'influence du débit massique du fluide caloporteur, de la masse d'eau contenu dans le bassin, la température d'entrée du fluide caloporteur et de l'ensoleillement sur le comportement thermique du capteur en régime transitoire est étudiée. L'auteur a entrepris une étude paramétrique à l'aide d'une simulation mathématique pour cela, nous avons établi un modèle mathématique résultant d'une équation différentielle, la résolution de cette équation a été basée sur la méthode analytique, ce qui définit l'évolution des températures et le rendement au niveau du bassin. La partie expérimentale consiste à la réalisation du modèle considéré. Enfin, une interprétation des résultats obtenus pour valider le modèle utilisé.

Mot Clés: Bassin solaire, capteur solaire, comportement thermique, régime transitoire.