**République Algérienne Démocratique et populaire**

**Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**Université Dr. Yahia Farés de Médéa**

**Faculté des Sciences et des technologies**

**Département du Génie Mécanique**



## Projet de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme de

**Master en Génie Climatique**

**Option : Energie et Froid Industriel**

# Thème :

# Etude thermique de l'utilisation des nanofluides dans les bassins solaires

**Présenté par :**

- **SALMI Dalila**
- **CHEIKH Fatma**

**Encadré par :**

**Dr. CHIBA Younes**

**2015/2016**

## ملخص

يتضمن المشروع دراسة مياه حوض شمسي مع الاستخراج المستمر للحرارة . الحوض عبارة عن إناء ذو قاع اسود مملوء بماء ملون ومغطى بغلافين بلاستكيين من اجل تفعيل الاحتباس الحراري , الحرارة تستخرج بسريان الماء ونانو السائل في أنبوب حلزوني موضوع في الوسط المائي الملون.لهذا قمنا باستعمال الماء و نانو السائل لنقل الحرارة والنتائج المحصل عليها تضمن فعالية الحوض وتم تحليل ومناقشة الإشعاع الشمسي والخصائص الحرارية الفيزيائية. لهذا الغرض تم تطوير برنامج باستخدام الفورتران من خلال المحاكاة العددية من اجل توضيح السلوك الحراري للحوض الشمسي .



**كلمات المفتاح** :المحاكاة العددية , حوض شمسي, نانو السائل



## Résumé

Le projet consistait à l'étude d'un bassin d'eau solaire peu profond avec l'extraction continue de la chaleur. Le bassin est considéré comme un vase avec un fond noir, rempli d'eau colorée et recouverte pour activer l'effet de serre, la chaleur est extraite par le fluide caloporteur l'eau ou le nano fluide s'écoulant dans un tube en plastique sous forme spirale disposé dans le bassin. Nous avons utilisé l'eau et nano fluide pour transmettre de la chaleur, les résultats obtenus incluant l'efficacité, rayonnement solaire et la propriété thermo physique du bassin. A cet effet, un code de calcul a été développé en utilisant le Fortran pour la simulation numérique afin de clarifier le comportement thermique du bassin solaire.



**Mots clés** : simulation numérique, bassin solaire, nano fluide.



## Abstract

The project consisted the study of a shallow solar pond with continuous extraction of heat. the basin is considered a vase with a black background and filled with colored water covered to activate the greenhouse effect, the heat is extracted by carrier fluid or nano fluid flowing in a plastic tube in a spiral form disposed in the basin. For this purpose the program using Fortran through numerical simulation developed in order to clarify the thermal behavior of the solar Basin.



**Key words**: numerical simulation, solar pond, nano fluids.



# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail aux personnes les plus chères au Monde à mes chers* ***parents****:*

*À la source de tendresse, de générosité de bonheur, à celle qui a consacré sa vie Pour que je réussisse dans tout ce que j'entretiens, à toi ma très chère mère,*

*À Qui je souhaite une longue vie.*

*À mon très cher père. Pour l'affection dont tu me comble, pour ta patience, ton Optimisme, ta tolérance, ta présence régulière et constante à tout Instant.*

*À mes très chères frères : Abd Khader, Djilali, Tayeb, Abd Ghane*

*À ma très chères sœur :Massouda , Barkahime ,Fatma ,Mlika ,Fatiha*

*À mone marée : Omar*

*Je remercie mes amies :lwiza, fatima, fatiha*

*À toutes mes collègues de la promotion 2015/2016.*

*Enfin À toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation De ce modeste travail.*

***DALILA***

# Remerciements

*Au Terme De Ce Travaille, Nous Tenons A Exprimée Nos Remerciements :*

*A Notre Dieu Qui Nous A Donné La Force Et La Santé A complir Ce Travail*

*A Notre Promoteur Dr. CHIBA Younes Pour Sont Encadrement Et Son Aide Précieuse*

*A Tous Les Professeurs De L'université De Médéa Qui Nous Ont Enseigné Durant La Période De Formation*

*Nos Remerciements Vont Éventuellement A Nos Famille Pour Leur Soutien, Confiance Et Patience*

*Et Dieu Merci*

# Dédicace

*Je dédie ce travail à mes très chers Parents, pour leur soutien*

*Et tous les efforts qu'ils m'ont donné le long de mon parcours et*

*Je leurs souhaite bonne santé et longue vie.*

*A Mon frère :Rachid,Aymen*
*et Mes chère Sœurs : Leila, Eldjia*

*A Toute Ma Famille.*

*A mon encadreur Dr. CHIBA Younes*

*A tous mes collègues et mes amis partout*

*A tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science et à tous ceux qui*

*Utilisent la science pour le bien et la prospérité de l'humanité.*

*FATMA*

# Table des matières

Remerciements et dédicace

Nomenclature

Liste des figures et Liste des tableaux

Introduction générale ---- 1

**Chapitre I: L'état de l'art**

I.1. Généralité sur le bassin solaire ---- 3
I.1.1.bassin solaire ---- 3
I.1.2.description ---- 3
I.1.3.Historique ---- 4
I.1.4.Principe de fonctionnement ---- 5
I.1.5.Différence type de bassin solaire ---- 6
I.1.5.1. Bassin très peu profonds ---- 6
I.1.5.2. Bassin avec une zone de convection ---- 7
I.1.5.3. Bassin destine à la production de sel ---- 7
I.1.5.4.Bassin munis de structures anti pertes ---- 8
I.1.5.5. Etangs tombants ---- 9
I.1.6. Pertes thermiques dans différents types de bassins solaires ---- 10
I.1.6.1.Réflexion à la surface ---- 10
I.1.6.2.Evaporation a la surface ---- 10
I.1.6.2.Convection a la surface ---- 10
I.1.6.3.Conduction par le sol ---- 10
I.1.7. Problèmes liés au fonctionnement des bassins solaires ---- 10
I.1.7.1.Vagues ---- 10
I.1.7.2.Poussières en suspension ---- 10
I.1.7.3.Croissance bactérienne ---- 11
I.1.7.4.Extraction de l'eau salée ---- 11
I.1.7.5.Consommation de sel et maintien du gradient de densité ---- 11
I.1.7.6.Extraction de la chaleur ---- 11
I.2. Généralité sur les nano fluide ---- 12
I.2.1.Définition ---- 12
I.2.2.Historique ---- 13

I .2.3.Préparation des nano fluides ---- 14
I .2.4.Les applications des nano fluides ---- 15
I .2.5.Autres applications ---- 16
I .2.6.Les avantages des nano fluides ---- 16
I .2.6.Les inconvénients des nano fluides ---- 16

**Chapitre II : Gisement solaire**

II.1.Introduction ---- 17
II.2. Le soleil ---- 17
II .3. Aspects géométriques du rayonnement solaire ---- 18
II.4. Mouvements de la terre ---- 18
II.5. Les coordonnées célestes ---- 19
II.5.1. Les coordonnées géographiques ---- 19
II.5.2. Les coordonnées horaires ---- 20
II.5.3. Les coordonnées horizontales ---- 21
II.6. Les temps solaires ---- 22
II.6.1. Le temps solaire vrai (T.S.V) ---- 22
II.6.2. Le temps solaire moyen (T.S.M) ---- 22
II .6.3. Le temps universel (T.U) ---- 23
II.6.4. Le temps légal (TL) ---- 23
II.7. Estimation horaire de l'ensoleillement ---- 23
II.7.1. Constante solaire ---- 23
II.7.2. Rayonnement solaire ---- 24
II.8. Répartition du rayonnement solaire ---- 24
II.9. Les différents types de rayonnement solaire ---- 25
II.9.1. Le rayonnement direct ---- 25
II.9.2. Le rayonnement diffus ---- 25
II.9.3.Le rayonnement global ---- 25

**Chapitre III : Modèle mathématique**

III.1.Introduction ---- 26
III.2. Paramètres influants sur le bassin ---- 26
III.2.1. Paramètres externes ---- 26
III.2.2. Paramètre internes ---- 27

III.2.2.1. Paramètre de position ---- 27
III.2.2.2. Paramètre de construction ---- 27
III.2.2.3. Paramètres optiques ---- 28
III.2.2.4. Paramètres thermo physique ---- 28
III.3.Bilan énergétique du bassin d'eau solaire ---- 28
III.3.1. Modalisation mathématique ---- 28
III.3.1.1. Coefficient global d'échange de chaleur ---- 28
III.3.1.2. Coefficient global de perte de chaleur Ul ---- 29
III.3.1.2.1. Coefficient de pertes thermiques vers l'avant du bassin ---- 30
III.3.1.2.2. Coefficient de pertes thermiques vers l'arrière du bassin ---- 32
III.3.1.2.3. Coefficient de pertes thermiques latérales du bassin ---- 32
III.3.1.3. Equation de bilan du bassin ---- 32
III.3.1.4. Rendement ---- 34
III.3.1.4.1. Rendement Instantané du bassin ---- 34
III.3.1.4.2.Rendement du bassin ---- 34
III.4. Propriétés thermo physiques des nano fluides ---- 35
III.4.1. la fraction volumique ($\varphi$) ---- 35
III.4.2. Conductivité thermique (K) ---- 35
III.4.3. Viscosité dynamique ($\mu$) ---- 38
III.4.4. La masse volumique ($\rho$) ---- 39
III.4.5.La chaleur massique ($C_p$) ---- 39
III.4.6. Coefficient d'expansion volumique ($\beta$) ---- 40

**Chapitre IV : Résultats et interprétation**

IV.1 .Evolution du rayonnement solaire ---- 41
IV.2.Variation de coefficient des perts thermique ---- 42
IV.3.Variation de la quantite de chaleur du bassin d'eau ---- 47
IV.4. Variation du rendement du bassin d'eau ---- 51
IV.5.Variation de proprieté thermophysique du nano fluides ---- 52
IV.6.Variation de la quantite de chaleur du bassin de nano fluide ---- 57
Conclusion générale ---- 59
Bibliographie ---- 60

# Nomenclature

| Symbole | Désignation | Unité |
|---|---|---|
| ð | La déclinaison | deg |
| $I_G$ | le rayonnement solaire globale | W/m$^2$ |
| $I_D$ | le rayonnement solaire direct | W/m² |
| $I_d$ | le rayonnement solaire diffus | W/m² |
| h | Hauteur du soleil | deg |
| K | conductivité thermique du fluide | W/m. °C |
| $U_{ar}$ | Coefficient de pertes thermiques vers l'arrière du bassin | W/m² |
| $U_{la}$ | Coefficient de pertes thermiques latérales du bassin | W/m² |
| $A_c$ | Surface du bassin solaire | m² |
| $A_e$ | Surface du tube | m² |
| C | Chaleur spécifique du bassin solaire | J /kg °C |
| $C_p$ | Chaleur spécifique de l'eau | J /kg °C |
| $D_i$ | Diamètres interne du tube | m |
| $\Delta t$ | Intervalle de temps | s |
| $\Delta TLM$ | Différence de température logarithmique moyenne | °C |
| $h_i$ | Coef .d'échange thermique par convection du fluide caloporteur | W/m²°C |
| $h^c_{(p-B)}$ | Coef. d'échange thermique par convection (plastique - bassin) | W/m² °C |
| $h^c_{(c-p)}$ | Coefficient d'échange thermique par convection (ciel - plastique) | W/m² °C |
| $h^r_{(c-p)}$ | Coefficient d'échange thermique par rayonnement (ciel - plastique) | W/m² °C |
| $h^r_{(p-B)}$ | Coef. d'échange thermique par rayonnement (plastique- bassin) | W/m² °C |
| $Q_U$ | Puissance utile du bassin solaire | W/m² |
| $T_0$ | Temps initial | s |
| $T_a$ | Température ambiante | °C |
| $T_B$ | Température du bassin solaire | °C |
| $T_{ee}$ | Température de l'eau à l'entrée de tube | °C |
| $T_{es}$ | Température de l'eau à la sortie du tube | °C |
| $T_{es0}$ | Température initiale estimée de l'eau à la sortie du tube | °C |
| $U_e$ | Coefficient globale d'échange de chaleur du bassin solaire | W/m²°C |
| $I_0$ | constant solaire =1367 | W/m² |
| $I_c$ | la valeur corrige | W/m² |

# *Liste des figures*

Figure I.1 : Bassin d'eau solaire peu profond……6
Figure I.2 :Bassin d'eau solaire peu profond a la production d'électricité……6
Figure I.3 :Bassin d'eau solaire avec zone convection…….....7
Figure I.4 : Bassin d'eau solaire destiné à la production de sel ……8
Figure I .5 : Bassin d'eau muni de structures anti pertes…….....8
Figure I.6 : Etangs toumants ……..9
Figure I.7 : Nano fluides vue au microscope électronique..……..13
Figure I.8 : Procèdes de synthèse de nano fluide en une seule étape (Argonne National Laboratory, USA)…… ……15
Figure II.1 : Réparatition spectrale du rayonnement solaire hors atmosphère ……18
Figure II.2 : Schématisation des mouvements de la terre autour du soleil……...19
Figure II.3 : Les coordonnées géographiques …….....20
Figure II.4 : Les coordonnées horaire …….....21
Figure II.15 : Les coordonnées horizontales …….....22
Figure III.1 : Schéma thermoélectrique du bassin …….....26
Figure IV.1 : Variation temporelle des rayonnement solaire …….....41
Figure IV.2 : Variation de $U_L$ en fonction de la vitesse …….....42
Figure IV.3 : Variation de $U_L$ en fonction de température ambiante …….....43
Figure IV.4 : Variation de $U_L$ en fonction de emissivite …….....44
Figure IV.5 : Variation de $U_L$ en fonction de temperature de bassin……45
Figure IV.6 : Variation de $U_L$ en fonction de temperature de plastique……...46
Figure IV.7 : Variation de Q en fonction de débit massique ……...47
Figure IV.8 : Variation de Q en fonction de température ambiante …….....48
Figure IV.9 : Variation de Q en fonction de $T_{sf}$ ……...49
Figure IV.10 : Variation de Q en fonction de $T_{si}$ …….....50
Figure IV.11 : Variation de rendment en fonction du temps……51
Figure IV.12 : Variation de la conductivité thermique en fonction de fraction……...52
Figure IV.13 : Variation de la chaleur spésifique en fonction de fraction……. …….53
Figure IV.14 : Variation de la masse volumique en fonction de fraction……. ……..54
Figure IV.15 : Variation de Coefficient d'expansio en fonction de fraction……55
Figure IV.16 : Variation de viscosité dynamique en fonction de fraction……56

# *Liste des tableaux*

Tableau I.1: Historique des bassins solaires ……..4
Tableau II .1 : Le quantième du jour de  l'année …….20

# Introduction générale

Les énergies renouvelables ont connu une première phase de développement à l'occasion des chocs pétroliers de 1973 et 1978, puis une période de repli après le contre- choc de 1986, avant de retrouver un second souffle en 1998 après la signature du protocole de Kyoto qui prévoit une baisse de 5.2% des émissions des gaz à effet de serre des pays riches sur la période de 2002-2012 par rapport à 1990.

L'énergie renouvelable la plus dominante est l'énergie solaire qui assure la vie sur terre, et qui a été exploitée par l'homme depuis très longtemps, sous diverses formes.[1]

L'effet de serre existe aussi sur Mars, bien qu'il soit très faible .On estime actuellement que l'élévation de la température due à l'effet de serre d'origine humaine est de l'ordre d'un demi-degré Celsius. On s'attend à un degré voire deux d'ici la fin du siècle. Même si cela paraît peu, deux degrés suffisent pour créer une modification majeure du climat. Au niveau des conséquences, ce type de changement sur le court terme pourrait induire une disparition des espèces de la faune et de la flore incapables de s'adapter rapidement.

L'énergie solaire est l'énergie transmise par le Soleil sous la forme de lumière et de chaleur. Cette énergie est virtuellement inépuisable à l'échelle des temps humains, ce qui lui vaut d'être classée parmi les énergies renouvelables (même si le Soleil disparaîtra un jour). L'énergie solaire peut être utilisée directement par l'Homme pour s'éclairer (fenêtres, puits de lumière), se chauffer et cuisiner (chauffe-eau solaire, four solaire) ou pour produire de l'électricité par l'intermédiaire de panneaux photovoltaïques.

L'énergie solaire est aussi la source de la plupart des énergies renouvelables et des hydrocarbures fossiles. Elle est en effet responsable de la mise en mouvement des masses d'eau (énergies marines) et d'air (énergie éolienne), du cycle de l'eau (énergie hydraulique) et de la photosynthèse (biomasse et hydrocarbures) L'énergie solaire reçue chaque année sur la terre est égale a plus de 20 une énergie largement suffisante pour couvrir tous nos besoins). Le soleil est notre plus grande source d'énergie inépuisable malgré l'alternance jour/nuit. L'énergie solaire est capturer par des capteurs (panneaux) installés généralement sur le toit qui la transforme soit en chaleur (solaire thermique) soit en électricité

(solaire photovoltaïque).

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.[2]

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 bassins solaire et les nano fluide, suivi d'un bref historique sur les bassins solaires et les nano fluide ainsi que sur les différents types de bassins solaires et les nano fluides et les problèmes liées à leurs fonctionnements des bassins solaire et les avantages et les inconvénients des nano fluides.
- 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 modèle mathématique des différentes équations gouvernant le fonctionnement du système avec un étude de simulation.
- En fin, le dernier chapitre, présente les résultats et interprétation et on termine notre mémoire par une conclusion générale.

## I.1.Généralités sur les bassins solaires

L'énergie solaire a été utilisée 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. [3]

### I .1.1.Bassin solaire

Un bassin solaire est un bassin d'eau salée qui agit comme un capteur solaire en énergie thermique à grande échelle avec le stockage de chaleur intégré pour fournir de l'énergie thermique. Un bassin solaire peut être utilisé pour diverses applications, telles que le chauffage du processus, le dessalement, la réfrigération, le séchage et la production d'énergie solaire. 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.

### I .1.2.Description

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'entée du fluide caloporteur et de l'ensoleillement sur le comportement thermique du capteur en régime transitoire est Étudiée.

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. [2]

**I .1.3.Historique**

KALECINSKY a proposé la première fois l'histoire des bassins solaires comme le concept d'un 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, Vanda dans l'Antarctique WILSON et WELLMAN et Eilat en Israël COHEN et al.

Le fond la première recherche pratique sur les bassins solaires a été lancé par R.BLOCH, 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 , En premier pas le but des travaux réalisées par les chercheurs WEINBERGER et al. 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 étés lancée 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 écartée dans plusieurs pays comme l'Australie, les Etats-Unis Canada, Inde etc. Tableau(I.1).En plus les bassins solaire ont étés portés une grande sucées 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.[2]

| 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)<br>330 (Thermiques) | 3350 | 1986 |

Tableau I.1. Historique des bassins solaires [2]

### I.1.4.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 l a 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 long duré.

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

### I .1.5.Diffèrent 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 .1.5.1.Bassin très peu profonds

Ces bassins sans sel, de 10à 20 cm de profondeur, de grandes surfaces recouvertes d'un double ou triple film plastique. On fait circuler l'eau dans ces bassins puis, on la recueille dans un réservoir, d'où elle est pompée vers une utilisation ou de nouveau vers le bassin.

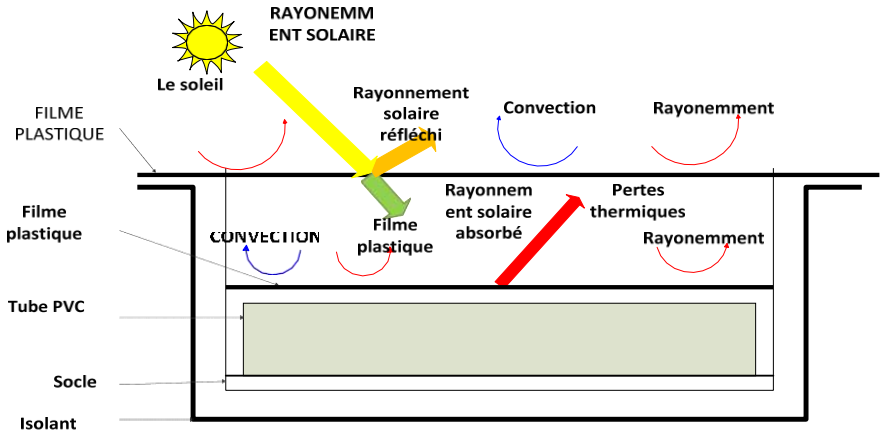



Fig I.1. Bassin d'eau solaire peu profond [2]

Le Lawrence Livemore 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).

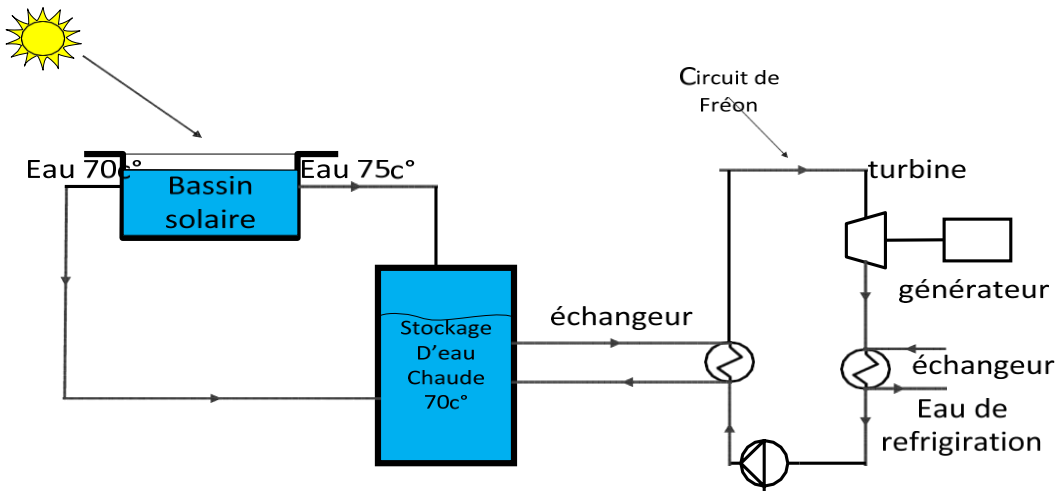



Fig I.2. Bassin d'eau solaire peu profond a la production d'électricité [2]

### I .1.5.2.Bassin avec une zone de convection

Ce type est étudié par RABL et al.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.

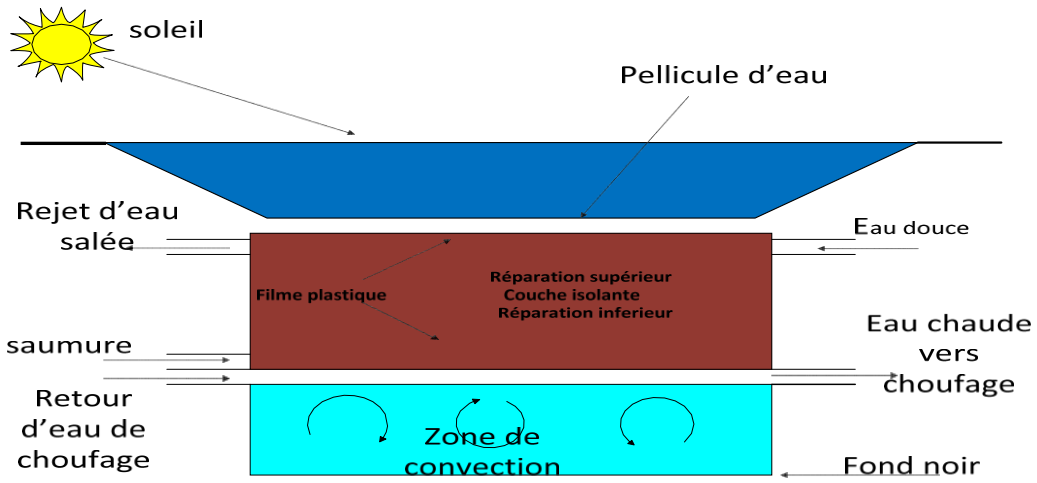



Fig I.3. Bassin d'eau solaire avec zone convection [2]

### I .1.5.3.Bassin destine à la production de sel

Une des applications 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

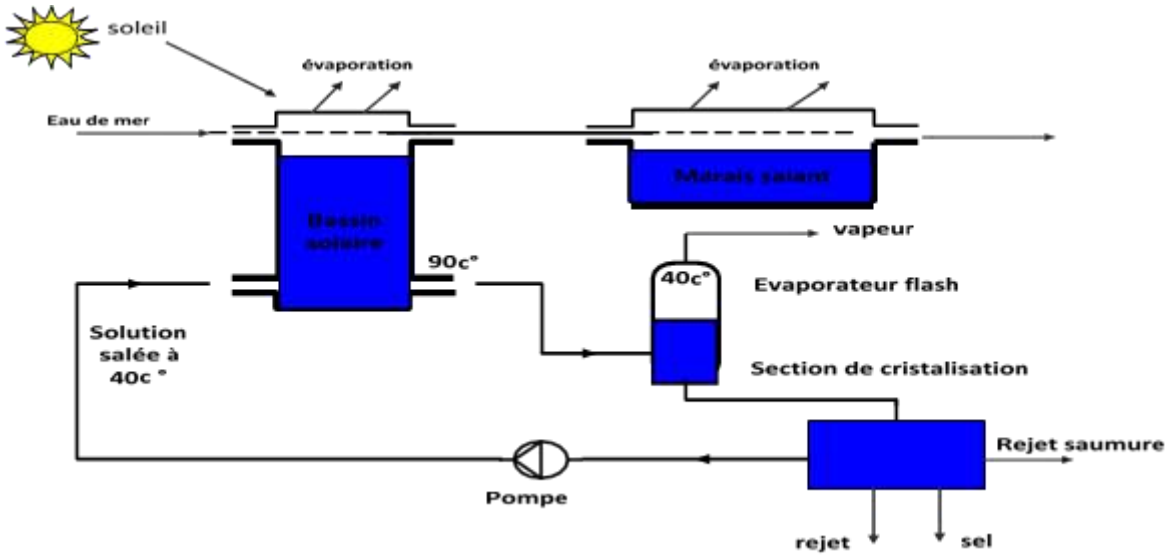



Fig I.4. Bassin d'eau solaire destiné à la production de sel [2]

### I .1.5.4.bassin munis de structures anti pertes

Le procédé repose sur le fait qu'avec des structures anti pertes, 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

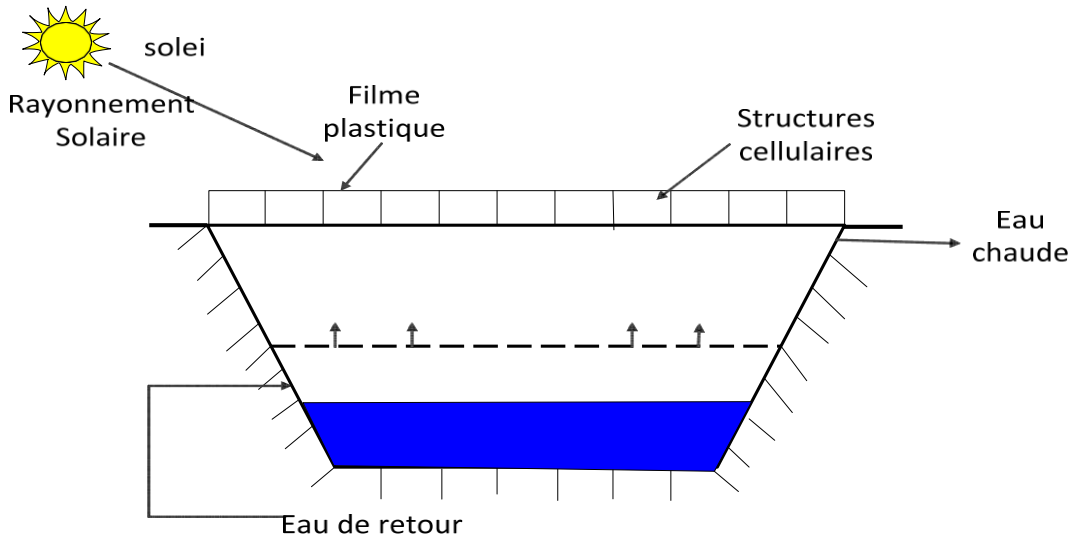



Fig I .5. Bassin d'eau muni de structures anti pertes [2]

### I .1.5.5.Etangs tombants

Ce type est étudié par TABOR, 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.

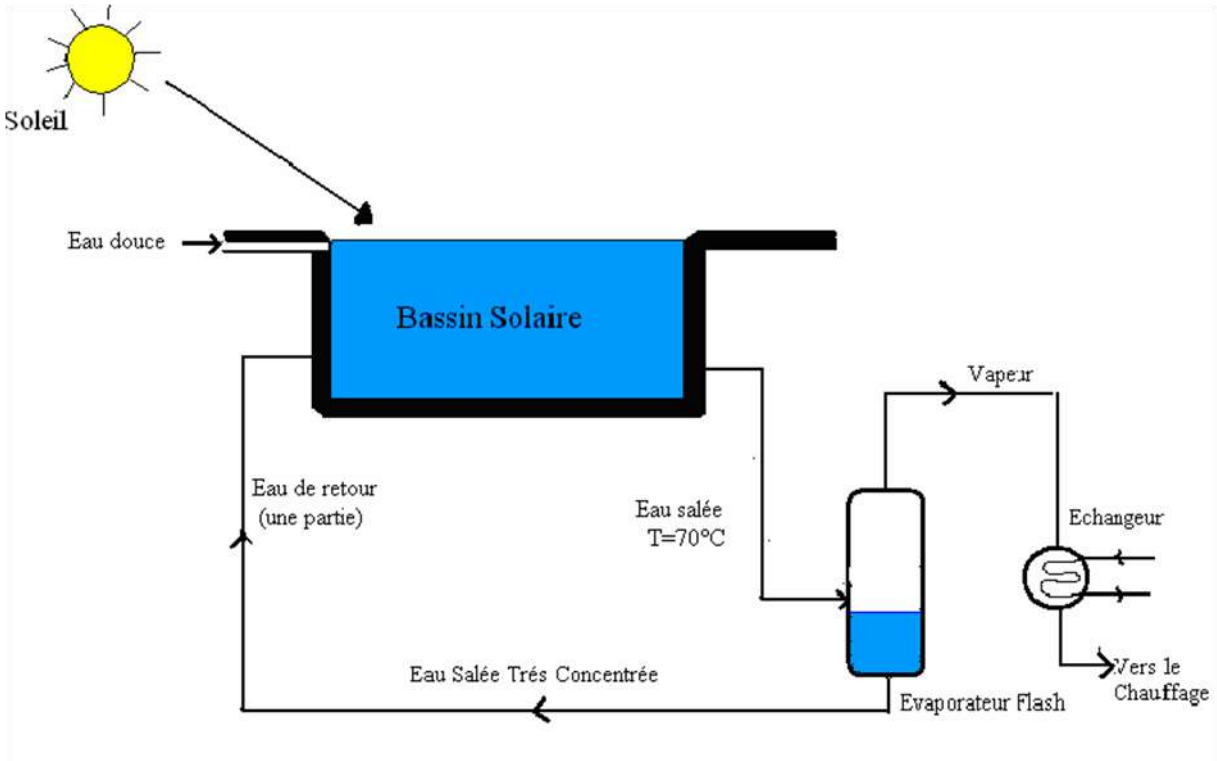



Fig I .6. Etangs toumants [2]

### I .1.6.Pertes thermiques dans différents types de bassins solaires

#### I .1.6.1.Réflexion à la surface

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

#### I .1.6.2.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 .1.6.3.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 .1.6.4.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 .1.7.Problèmes liés au fonctionnement des bassins solaires

#### I .1.7.1.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, cet inconvénient peut être minimisé en plaçant un film plastique ou d'huile à la surface ou un système coupe-vent.

#### I .1.7.2.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 .1.7.3.Croissance bactérienne

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 .1.7.4.Extraction de l'eau salée

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 problems de pollution.

### I .1.7.5.Consommation de sel et maintien du gradient de densité

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 .1.7.6.Extraction 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 grandes 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. [2]

## I .2.Généralités sur les nano fluide

### I.2.1.Définition

Les nano fluides sont des dispersions de particules de taille nanométrique (dont le diamètre est typiquement inférieur à 100 nm), appelées nanoparticules, dans un fluide de base afin d'en améliorer certaines propriétés.

Dans le cas des fluides caloporteurs, un des premiers paramètres à prendre en compte afin d'évaluer le potentiel d'échange de chaleur est la conductivité thermique. Or, les fluides les plus employés tels que l'eau, l'huile ou l'éthylène-glycol (EG) ne disposent que d'une conductivité thermique faible par rapport à celle des solides cristallins. Avec les nano fluides, l'idée est alors d'insérer, au sein du fluide de base, des nanoparticules afin d'augmenter la conductivité thermique effective du mélange. Ce terme nano fluide a été introduit par Choi. Les types de nanoparticules sont :

- ✓ **Métalliques :** le cuivre (Cu), l'aluminium (Al), l'or (Au), l'argent (Ag).
- ✓ **Oxydes :** l'oxyde de cuivre (CuO), l'oxyde de l'aluminium ($Al_2O_3$), l'oxyde de titane ($T_iO_2$)
- ✓ **Nanotubes de carbone.**

Un nano fluide est une solution colloïdale contenant des particules solides de petite taille, désignée sous le terme de « nanoparticules », en suspension dans un liquide de base dont on veut modifier au progresser certaines de propriétés, notamment thermiques.

Le choix des liquides de bases est primordial pour un nano fluide, il permet d'assurer la stabilité de la suspension dans le temps et d'éviter tout phénomène d'agrégation, la sélection d'un telle fluide se fera en fonction de la nature de nanoparticule, les solvants plus utilisés sont :

- ✓ L'eau
- ✓ L'éthyléneglycol, EG
- ✓ Les huiles
- ✓ Le toluene [4]

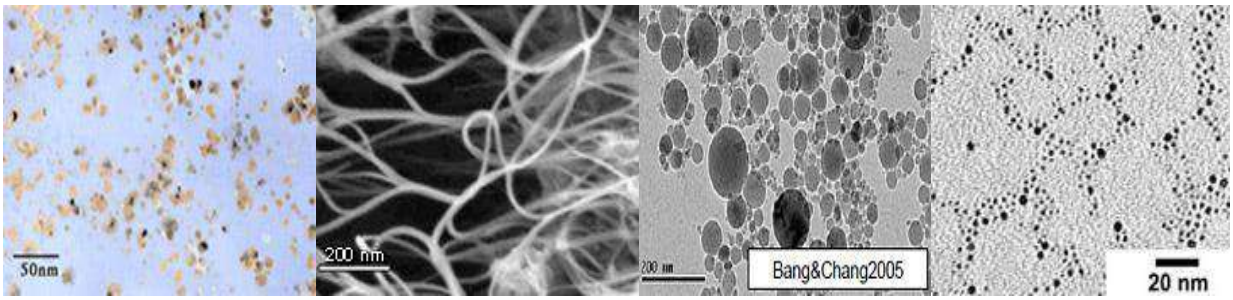



Fig I.7. Nano fluides vue au microscope électronique : éthylène glycol + cuivre 0.5% ; eau + nanotube ; eau + alumine ; eau + or à 2nm [4]

**I .2.2.Historique**

Nous présentons dans cette partie l'historique des études théoriques et expérimentales portant sur les nano fluides depuis leur découverte jusqu'à nos jours.

Le terme "nano fluide" est proposé premièrement par Choi pour désigner la suspension des nanoparticules solides dans un liquide de base. Choi a trouvé que la conductivité thermique effective du mélange eau-$Al_2O_3$ augmente de 20% pour une concentration en volume entre 1% et 5% d'$Al_2O_3$.

De plus l'adjonction dans un liquide de certains types de nanoparticules, même en très faible concentration (1% en volume), permet d'augmenter la conductivité thermique de ce dernier de 150% dans le cas de nanotubes de carbone Choi et al.et de 40% pour des nanoparticules d'oxyde de cuivre Eastman et al. et plus de 20% pour des oxydes d'aluminium.

De nombreuses recherches ont été menées depuis 2001 sur cette nouvelle classe de nano fluides afin de permettre une meilleure compréhension des mécanismes mis en jeu, et mettre ainsi au point des fluides caloporteurs plus performants. La forte conductivité thermique des nano fluides les désigne en effet comme des candidats potentiels pour le remplacement des fluides porteurs utilisés dans les échangeurs thermiques en vue d'améliorer leurs performances Keblinski . Certaines limitations susceptibles de réduire les performances des nano fluides utilisées à la place des fluides caloporteurs purs, ont été étudiées.

L'utilisation des nano fluides comme fluide caloporteur dans les échangeurs a montré que l'addition de nanoparticules dans un liquide augmente sa viscosité et de ce fait les pertes de charge Yang. De plus, le manque de stabilité dans le temps de certains nano fluides peut

Entraîner l'agglomération des nanoparticules et une modification de leur propriété de conduction thermique.

Néanmoins, en l'état actuel des recherches, ces deux effets restent moins importants lors de l'utilisation de nano fluides que dans le cas de suspension de microparticules classiques Daungthongsuk.

En dehors des applications industrielles possibles, l'étude des nano fluides présente un intérêt scientifique pour la compréhension des phénomènes mis en jeu aux échelles nanométriques. Les propriétés thermiques des nano fluides ne concordent pas avec les prévisions fournies par les théories classiques décrivant les suspensions de particules solides dans un liquide. Malgré le nombre élevé d'études publiées sur le sujet ces dernières années, aucune théorie ne parvient à décrire convenablement les résultats expérimentaux obtenus sur les nano fluides d'après Vadasz Il est à noter, que les résultats expérimentaux obtenus varient énormément d'une publication à l'autre ce qui ne facilite pas la comparaison entre ces derniers et les théories proposées. Des recherches complémentaires sont nécessaires pour valider ou infirmer les différentes théories proposées pour décrire les propriétés thermiques des nano fluides.

Différents types de nanoparticules ont été utilisés pour fabriquer les nano fluides. Nous pouvons de manière générale les classer en deux catégories de nano fluides : ceux contenant des nanoparticules métalliques et ceux contenant des nanotubes de carbone. [5]

### I .2.3.Préparation des nano fluides

Les procédés de fabrication de nanoparticules sont nombreux. Ils peuvent être classés en deux catégories :

- Les procédés physiques, comme le broyage mécanique.
- Les procédés chimique, comme la pyrolyse laser ou la précipitation chimique.

En outre, il existe deux méthodes principales pour produire des nano fluides :

**A. La méthode en deux étapes :** consiste à produire dans un premier temps les nanoparticules, puis à les disperser dans le fluide de base. Pour permettre une bonne dispersion, une forte action mécanique à l'aide d'un agitateur rotatif au d'ultrason est souvent nécessaire afin de briser agglomérant. En outre, pour éviter l'agglomération due aux forces d'attraction entre les particules, on utilise des forces de répulsion

Électrostatique en chargeant la surface des particules en adaptant le pH.

On peut également utiliser les forces de répulsion stérique à l'aide de molécule adsorbé ou greffées sur la surface.

**B.La méthode en une seule étape :** consiste à produire les nanoparticules dans le fluide de base. Moins industrielle, elle n'est utilisable que pour certains nano fluides mais permet d'éviter l'agglomération et plus la conductivité thermique du mélange est améliorée. Néanmoins, pour une famille de nano fluides donnée, les résultats de la littérature présentent une dispersion assez forte. Cette dispersion peut être attribuée au mode de synthèse des nano fluides et/ou à la méthode de mesure.

### I .2.4.Les applications des nano fluides

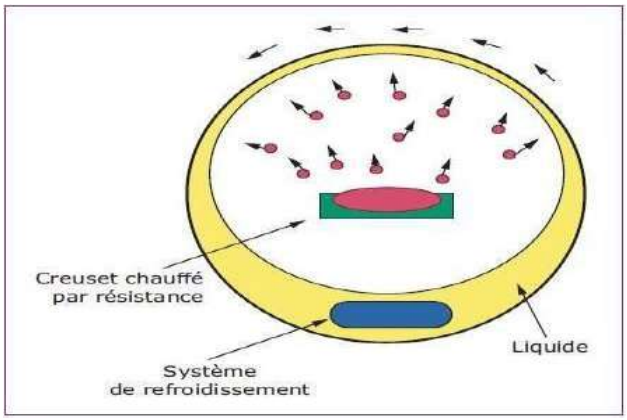



Fig I.8. Procèdes de synthèse de nano fluide en une seule étape (Argonne National Laboratory, USA). [4]

Les dispersions de nanoparticules trouvent déjà de nombreux domaines d'applications pour leurs propriétés magnétiques (paliers magnétiques à ferrofluides, agents de contraste en imagerie médicale), pour leurs propriétés électriques (dépôt conducteur électro mouillage pour lentilles liquides), et de marquage de cellules ou de contrefaçon avec des nanoparticules fonctionnalisées.

En thermique, les nano fluides peuvent être utilisés partout où des flux de chaleur importants doivent être évacués par des boucles liquides fermées : refroidissement de composants électriques et électroniques, radars, automobile...etc).

Les nano fluides pourraient apporter une solution intéressante dans le refroidissement des miroirs, cibles et filtres des lasers et rayons X de forte puissance, ainsi que des Micro Electro Mechanical Systems.

### I .2.5.Autres applications

- L'échangeur de chaleur.
- le refroidissement d'éléments électroniques (produire un nano fluide stable qui est compatible avec des circuits et des composants électroniques).
- Nanoparticules pour l'efficacité des réfrigérateurs (formulations de lubrifiants et liquides de refroidissement mélangés avec des nanoparticules pourraient entraîner une augmentation de l'efficacité énergétique des réfrigérateurs)
- Aéronautique et spatial.
- Refroidissement des systèmes nucléaire.
- Transport (gestion de refroidissement / véhicule moteur thermique).Autres applications (caloducs, piles à combustible, le chauffage solaire d'eau, forage, stockage thermique).

### I .2.6.Les avantages des nano fluides:

- Une grande surface de transfert de chaleur entre les particules et les fluides.
- Haute dispersion et stabilité avec prédominante mouvement brownien des particules.
- Réduit par rapport au liquide pur pour obtenir équivalent intensification de transfert de chaleur.
- Particules réduites de colmatage par rapport aux conventionnelles boues, favorisant ainsi la miniaturisation du système.
- Propriétés ajustables, dont la conductivité thermique et la mouillabilité de la surface, en faisant varier les concentrations de particules en fonction de différentes applications.

### I .2.7.Les inconvénients des nano fluides :

- Fortes pertes de charge.
- Erosion.
- Sédimentation.
- Bouchons dans les écoulements.
- Le coût élevé des nano fluides.
- Difficultés dans le processus de production. [4]

# II.1. Introduction

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé dans des domaines aussi variés que l'agriculture, la météorologie, les applications énergétiques et la distillation d'eau.

## II .2.Le soleil

Le soleil est une sphère gazeuse composée presque totalement d'hydrogène. Son diamètre est de 1391000 km (100 fois celui de la terre), sa masse est de l'ordre de $2.10^{27}$ tonnes.

Toute l'énergie du soleil provient des réactions thermo – nucléaires qui s'y produisent. Elles transforment à chaque seconde 564,106 tonnes d'hydrogène en 560,106 tonnes d'hélium, la différence (4 millions de tonnes) est dissipée sous forme d'énergie ($E=mc^2$),

qui représente une énergie totale de $36.10^{14}$kw. La terre étant à une distance de $150.10^6$km

du soleil, elle reçoit approximativement une énergie de $1{,}8.10^{14}$kw La valeur du rayonnement solaire Ic reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires placée à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre (soit à environ 80 km d'altitude) varie au cours de l'année avec la distance Terre/Soleil. Sa valeur moyenne $I_0$ appelée constante solaire est de l'ordre de de 1,356 kw .$m^2$ . En première approximation, on peut calculer la valeur de $I_C$ en fonction du numéro du jour de l'année nj par la relation :

$$I_c=I_0\ (I+0.003\cos(0.984nj)) \qquad \textbf{(II.1)}$$

La répartition spectrale du rayonnement solaire hors atmosphère est illustrée par la figure (II.1)

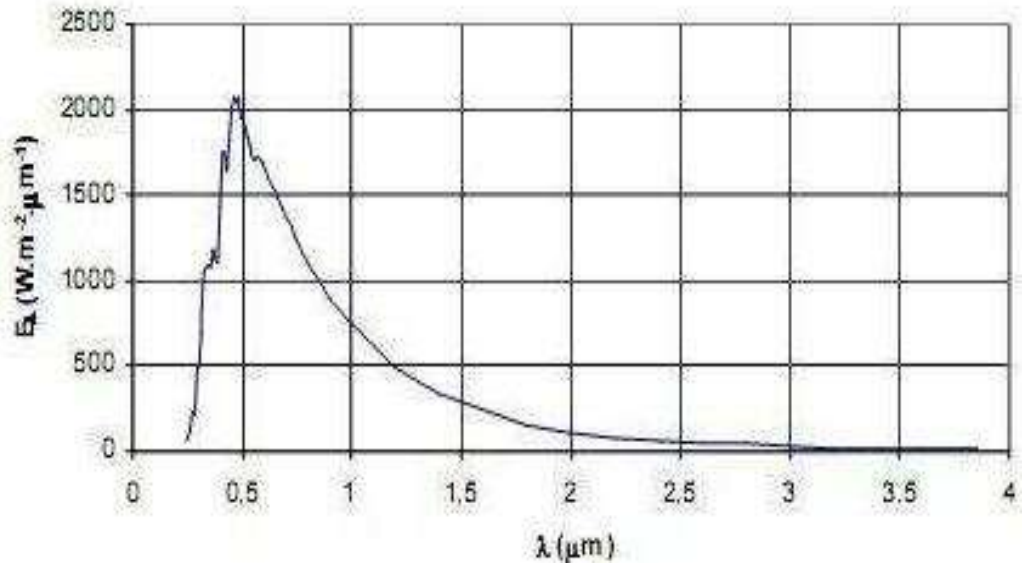



Fig II.1. Répartition spectrale du rayonnement solaire hors atmosphère [6]

On notera que 98 % du rayonnement solaire est émis dans des longueurs d'ondes inférieures à 4 m

En première approximation, le rayonnement solaire peut être assimilé au rayonnement d'un corps noir à une température de 5777K.

**II .3.Aspects géométriques du rayonnement solaire**

Dans le but ultérieur de calculer le flux reçu par un plan incliné placé à la surface de la terre et orienté dans une direction fixée, notre intérêt va porter dans ce qui suit sur les aspects géométriques du rayonnement solaire intercepté par la terre. La connaissance de ce flux est la base du dimensionnement de tout système solaire.

**II .4.Mouvements de la terre**

La trajectoire de la terre autour du soleil est une ellipse dont le soleil est l'un des foyers. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique. L'excentricité de cette ellipse est faible, ce qui fait que la distance Terre/ Soleil ne varie que de ±1,7 **%** par rapport à la distance moyenne qui est de 149 675 $10^6$km.

La terre tourne également sur elle – même autour d'un axe appelé l'axe des pôles et passant par le centre de la terre appelé l'**équateur**. L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire à l'écliptique, en fait l'équateur et l'écliptique font entre eux un angle appelé **inclinaison,** de l'ordre de 23°27'.

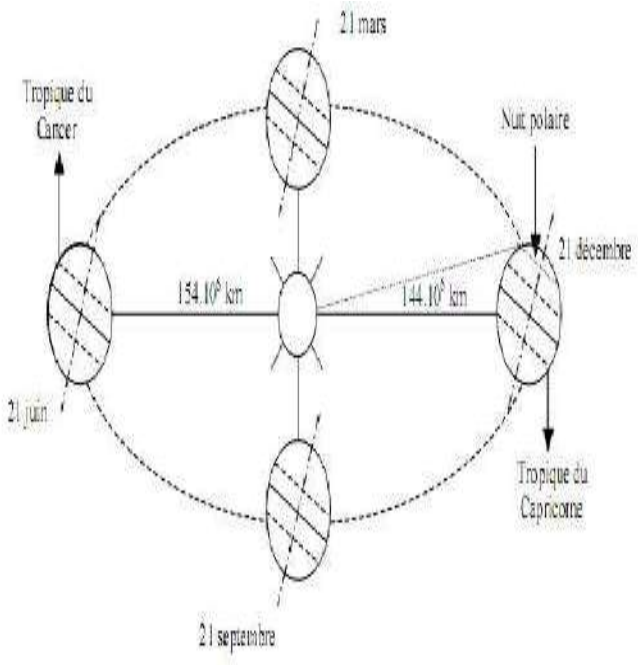



Fig II .2. Schématisation des mouvements de la terre autour du soleil [6]

## II .5.Les coordonnées célestes

### II .5.1.Les coordonnées géographique

Ce sont des coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre, on distingue notamment :

- ✓ **la longitude L :** elle est comptée positivement vers l'est et négativement vers l'ouest, à partir du méridien de **Greenwich.**
- ✓ **la latitude Φ :** permet de repérer la distance angulaire d'un point quelconque à l'équateur. Elle varie de 0° à 90° dans l'hémisphère nord et de 0° à -90° dans l'hémisphère sud.

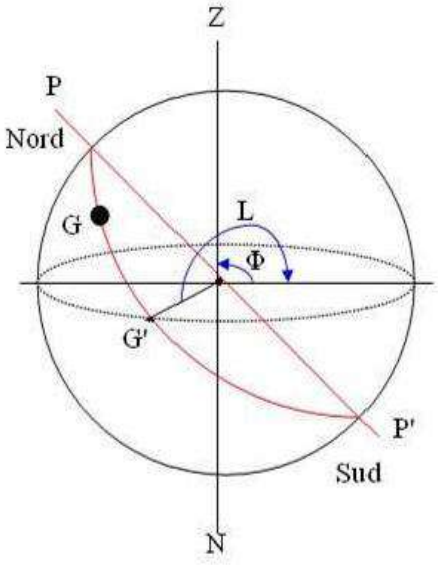



Fig II.3. Les coordonnées géographiques [6]

### II .5.2.Les coordonnées horaires

Nous citerons :

- ✓ **La déclinaison δ :** qui est l'angle que fait le plan de l'équateur avec celui de l'écliptique. Elle varie au cours de l'année de + 23°27' à -23°27' et détermine l'inégalité des durées des jours. Elle s'obtient à partir de la formule suivante :

$$ð = 23.45\sin(\frac{284+nj}{365}360) \qquad \textbf{(II.2)}$$

nj étant le numéro du jour dans l'année compté à partir du 1$^{er}$janvier

| Mois | jan | Fév | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Aout | Sept | Oct | Nov | Des |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Numéro du 1$^{er}$ jour | 1 | 32 | 60 | 91 | 121 | 152 | 182 | 213 | 244 | 274 | 305 | 335 |

Tableau II .1 : Le quantième du jour de l'année [6]

- ✓ **L'angle horaire w** : déterminé par la rotation régulière de la terre autour de son axe. Il est compté positivement dans le sens rétrograde de **0°** à **360°**.

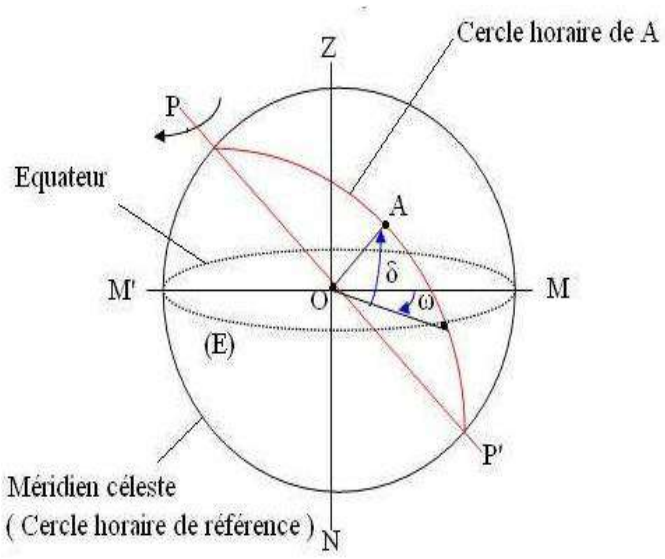



Fig II.4. Les coordonnées horaires [6]

### II .5.3.Les coordonnées horizontales

Le repérage du soleil se fait par l'intermédiaire de deux angles qui sont :[6]

- **L'azimut a :** l'angle que fait la projection de la direction du soleil avec la direction sud.

$$\cos(X) = \frac{\cos(\delta).\cos(\omega).\cos(\varphi) - \sin(\delta).\sin(\varphi)}{\cos(\gamma s)} \qquad \textbf{(II.3)}$$

- **La hauteur du soleil h :** l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection.

$$\text{Sinh} = \sin(\delta).\sin(\varphi) + \text{con}(\delta).\cos(\varphi).\cos(\boldsymbol{\omega}) \qquad \textbf{(II.4)}$$

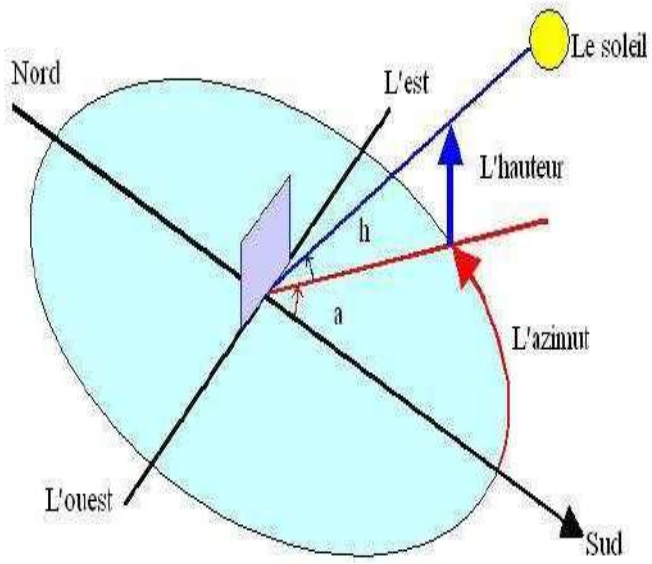



Fig II .5. Les coordonnées horizontales [6]

## II .6.Les temps solaires

On distingue:

### II .6.1.Le temps solaire vrai (T.S.V)

En un instant et à un lieu donné, le temps solaire vrai est l'angle horaire du soleil.w Il est donné par l'expression :

$$TSV = 12 + w/15 \quad \textbf{(II.5)}$$

w est exprimé en degré.

Si w = 0, TSV=$12^h$ .00

Si w < 0, la matinée

Si w > 0, l'après-midi.

### II .6.2.Le temps solaire moyen (T.S.M)

Il est donné par la relation :

$$TSM=TSV-Et \quad \textbf{(II.6)}$$

**Et,** est l'équation du temps, qui corrige le **T.S.V** par rapport au **T.S.M,** exprimée par la relation :

$$Et = 9.87 \sin(2N') - 7.53 \cos(N') - 1.5 \sin(N') \ [min] \quad \textbf{(II.7)}$$

N' = (nj — 81) x 360/365 **(II.8)**

### II .6.3.Le temps universel (T.U)

C'est le temps moyen du méridien de Greenwich (méridien origine) :

$$TU = TSM - L/15 \quad \textbf{(II.9)}$$

Où L est la longitude.

**L** > 0 pour les villes situées à l'Est de Greenwich.

**L** < 0 pour les villes situées à l'Ouest de Greenwich.

TU = TSM pour le méridien de Greenwich.

### II .6.4.Le temps légal (TL)

C'est le temps officiel d'un état, il est donné par :

$$TL=TU+\Delta H \quad \textbf{(II.10)}$$

Où:

ΔH: le décalage horaire entre méridien de Greenwich et l'état considéré. [6]

### II .7.Estimation horaire de l'ensoleillement

### II .7.1.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 relation ci-dessous donne la valeur corrigée de la constante solaire :

$$I_c=I_o\,[1+0.034\cos(30(m-1)+N)] \quad \textbf{(II.11)}$$

Où : $I_0$= 1367 W/m²

m : le numéro du moins dans l'année

N : le numéro du jour dans le moins

## II .8.Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire désigne l'ensemble des ondes électromagnétiques émises par le Soleil. Il se compose donc d'ultraviolets, de la lumière visible, mais également d'ondes radio en plus de rayons cosmiques.

Le rayonnement solaire est une condition fondamentale de la vie et la question de son incidence sur la santé humaine dans les environnements urbains denses, fortement créateurs d'ombre, est posée depuis un siècle et demi. Loin d'être univoques, les relations entre environnement et rayonnement sont complexes et fluctuantes. elles varient bien sûr avec l'évolution des connaissances scientifiques mais elles se développent également en suivant l'évolution des sensibilités, et celle des relations entre milieu construit et environnement naturel. Cet article discute l'évolution de ces relations depuis la seconde moitié du XIX$^{e}$ siècle. Nous proposons un aperçu historique de cette évolution et de la manière dont les théories architecturales et urbaines en rendent compte, à travers les diverses propositions plus ou moins utopiques formulées à ce sujet tout au long du XX$^{e}$ siècle. Le panorama ainsi créé offre une base pour discuter la question solaire dans la ville durable. Cette question n'est pas seulement technique ou économique, comme on la saisit le plus souvent face à l'urgence énergétique, mais elle apparaît également culturelle et sociale. Nous développons l'idée d'un désenchantement solaire qui se manifeste notamment par une technicisation accrue et une privatisation de notre rapport au rayonnement.

### II .8.1.Répartition 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

$$I_G=I_D+I_d \qquad \textbf{(II.12)}$$

Où :

$I_G$ : est le rayonnement solaire global. (w/m$^2$)

$I_D$ : est le rayonnement solaire direct. (w/m$^2$)

$I_d$ : est le rayonnement solaire diffus. (w/m$^2$)

## II .9.Les différents types de rayonnement solaire

### II .9.1.Le rayonnement direct

Ce sont les rayons UV du soleil .c'est ce type de rayonnement qui est utilisé dans les systèmes à concentration (four solaire, centrale solaire thermodynamique et photovoltaïque

$$I_D = I_o . \zeta^m . \cosh . \cos\beta \quad \textbf{(II.13)}$$

### II .9.2.Le rayonnement diffus

Ce sont des rayons qui proviennent de l'atmosphère, qu'il fasse beau ou pas. Des rayons lumineux issus du Soleil traversent les nuages et se diffusent sur toute la surface de la Terre. Il contribue à l'éclairement mais ne peut pas être concentré (à l'inverse du rayonnement direct).

$$I_d = I_0 \times T_n(TL) F_d \quad \textbf{(II.14)}$$

$$F_d = A_1 + A_2 \sin(h_0) + A_3 \sin^2(h_0) \quad \textbf{(II.15)}$$

### II.9.3.Le rayonnement global

C'est la somme du rayonnement direct et diffus. C'est celui-ci qui est utilisé pour faire fonctionner les panneaux solaires thermiques et photovoltaïques (systèmes sans concentration).[2]

$$I_G = I_d + I_D \quad \textbf{(II.16)}$$

## 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)

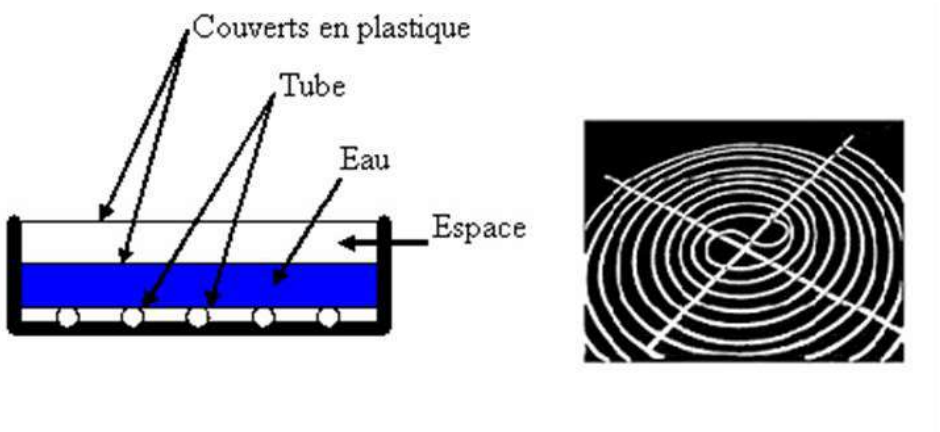



Fig III.1. Schéma du bassin d'eau solaire[2]

### III.2.Paramètres 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.Paramètres 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.Paramètre interne

#### III.2.2.1.Paramètre 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 : $\beta = \Phi - 10°$

-Pendant l'été : $\beta = \Phi + 20°$

- pendant l'année: $\beta = \Phi + 10°$

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

#### III.2.2.2.Paramètre 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 attaque 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 dépôts de minéraux et de son coût.

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

**III.2.2.3.Paramètres optiques**

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

**III.2.2.4.Paramètres thermo physique**

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

**III.3.Bilan énergétique du bassin d'eau solaire**

**III.3.1.Modalisation mathématique**

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.Coefficient global d'échange 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.

$$\frac{1}{Ue} = \frac{1}{hi} \qquad \textbf{(III.1)}$$

Le coefficient de transfert thermique est le résultat de différents procédés de transfert de chaleur à une interface et dépendant de nombreux paramètres. Comme il est difficile par le calcul de tenir compte de tous ces paramètres, la

détermination du coefficient de transfert thermique se fait à l'aide du nombre de Nusselt via la relation

$$Nu=\frac{hL_c}{K} \quad \textbf{(III.2)}$$

Avec:

h : coefficient de transfert thermique

$L_c$ : longueur caractéristique

k : conductivité thermique du fluide.

De nombreuses corrélations empiriques fournissent une équation pour calculer le nombre de Nusselt d'où il est possible d'extraire le coefficient de transfert thermique

**III.3.1.2.Coefficient global de perte de chaleur Ul**

Les pertes thermiques sottes 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 :

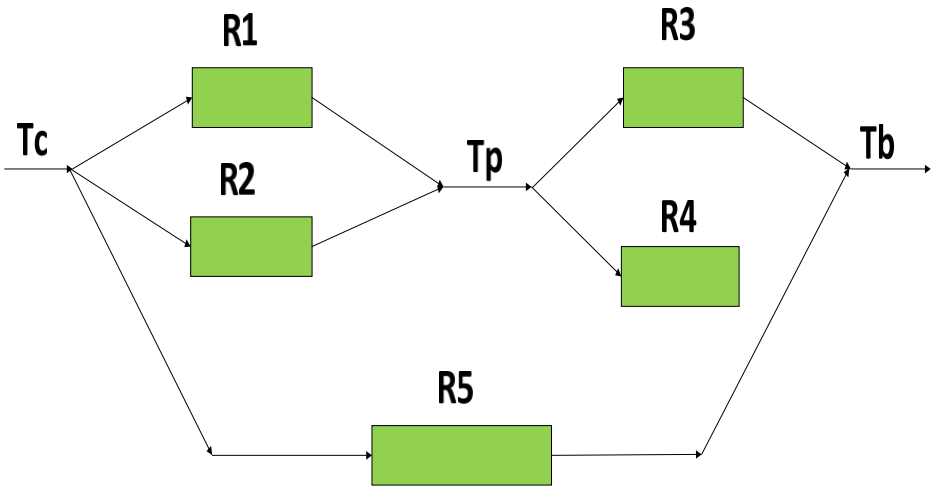
- Régime Transitoire.

- 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).




FigIII.2. schéma thermoélectrique du bassin solaire [2]

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

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

R3:Resistance 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 :

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

- Coefficient d'échange par rayonnement entre le plastique et l'air ambiant dû au vent :[12]

$$h^c(c\text{-}p) = = \varepsilon p\ \sigma.\frac{(Tp+Tc).(Tp^2+Tc^2).(Tp-Tc)}{Tp+T\alpha} \quad \textbf{(III.4)}$$

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

$$Tp=T\alpha - 6 \quad \textbf{(III.5)}$$

$Tc=T\alpha + 5$ **(III.6)**

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

$$h^{c}_{(p-B)}=(1\text{-}0.0018\times Tm\text{-}10)\times 1.613\frac{\Delta T^{0.218}}{L} \quad \textbf{(III.7)}$$

$$T_m=\frac{T_B+T_p}{2} \quad \textbf{(III.8)}$$

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

-Coefficient d'échange par rayonnement entre le film plastique et le fluide du bassin[11] :

$$h^{r}_{(p-B)}=\sigma \times \frac{(T_B+T_P)(T_B^2+T_P^2)}{\frac{2}{\varepsilon p}-1} \quad \textbf{(III.10)}$$

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

$$U_t=\frac{1}{\frac{1}{h^{c}_{(c-p)}+h^{r}_{(c-p)}}+\frac{1}{h^{c}_{(p-B)}+h^{r}_{(c-p)}}}+U_B \quad \textbf{(III.11)}$$

Où :

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

$$U_B=\varepsilon_B\times\sigma\times\tau^2\frac{(T_B^4-T_c{}^4)}{(T_B-T_c)(1-x)} \quad \textbf{(III.12)}$$

**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:

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

### 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:

$$U_{la} = \frac{\lambda_l}{e_l} \times \frac{A_l}{A_c} \quad \textbf{(III.14)}$$

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

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

Tel que :

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

D'après :

$U_b \approx$ 2.36 w/m.k

### III.3.1.3.Equation de bilan du bassin

Le bilan thermique de bassin en régime transitoire est:

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

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

La résolution de l'équation du bilan nécessite l'introduire de certaine simplifications qui sont : L'Utilisation la notion de la température logarithmique moyenne :

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

A partir de laquelle on calcule la température du bassin :

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

Où:

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

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

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

Ainsi, la température de bassin solaire devient:

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

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

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

Où :

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

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

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

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

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

Avec:

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

### III.3.1.4.Rendement

#### III.3.1.4.1.Rendement Instantané du bassin

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

η = Puissance thermique utile du bassin / Flux solaire incident sur le plan du bassin Cette définition Ce traduit par l'expression suivante:

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

Où :

$$Q_u = (\tau_\alpha) \times I \times A_c + U_L \times A_c (T_B - T_a) \quad \textbf{(III.30)}$$

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

Cette définition ce traduit par l'expression suivante :

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

L'équation (31) peu s'écrire sous forme intégrale comme suit :

$$\eta = \frac{\int Q_u \, dt}{\int A_c \times I \times dt} \quad \textbf{(III.32)}$$

#### III.3.1.4.2.Rendement du bassin

Une partie du rayonnement solaire qui atteint le bassin est perdu 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 UL. 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 ):

$$\eta + \frac{(M \times c)_B \times \Delta T_{es}}{A_c \times s \int Idt} = \tau\alpha - U_L \times \frac{\frac{1}{s}(T_{es} - T_a) - \frac{(1-s)}{s}(T_{es} - T_a)}{\int Idt} \Delta t \quad \textbf{(III.33)}$$

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 .[2]

## III.4. Propriétés thermo physiques des nano fluides

De nombreuses études ont été menées afin de mesurer, mais aussi d'expliquer et de prédire, l'augmentation de la conductivité thermique des nano fluides. Différentes méthodes de mesure de conductivité thermique ont été employées, la plus courante reste la méthode utilisant un fil chaud en régime transitoire. Néanmoins, compte tenu de la dispersion des résultats, des biais expérimentaux ont été suspectés et d'autres méthodes de mesure ont été utilisées, comme la méthode 3ω, les méthodes stationnaires utilisant une différence de température entre deux plaques ou deux cylindres et les méthodes optiques basées sur la variation de l'indice de réfraction en fonction de la température.

### III.4.1. la fraction volumique ($\varphi$)

La fraction volumique est un rapport sans dimension entre deux volumes, le volume de solide ou particule (nanoparticules) sur le volume total (nanoparticules + fluide de base). La valeur de la fraction volumique est variée entre 0 (fluide de base pure) et 1. La fraction volumique est donnée par la relation suivant :

$$\varphi = \frac{volume\ \ solide}{volume\ \ totale\ \ du\ nanofluide} = \frac{V_s}{V_s + V_f} \qquad \textbf{(III.34)}$$

Où $V_s$ : Volume des nanoparticules solides [$m^3$].

$V_f$ : Volume du fluide de base [$m^3$]

### III.4.2 .Conductivité thermique (K)

La conductivité thermique généralement est une propriété importante, principalement dans notre étude parce qu'elle joue un rôle très importants dans le phénomène de transfert de chaleur, elle peut indiquer clairement l'efficacité du transfert de chaleur du fluide ou du solide, la conductivité dépends de la température.

En plus de sa variation en fonction de la température, la conductivité thermique du nano fluide varié en fonction de la fraction volumique aussi, la conductivité thermique d'un nano fluide est calculée selon les deux modèles suivant :

**A-Modèle de Maxwell**

Maxwell à présenter son modèle pour calculer la conductivité thermique d'un nano fluide en fonction de la fraction volumique de nano fluide, mais ce modèle est valable uniquement dans le cas des nano fluides qui contiennent des nanoparticules sphériques, et que cette condition peut être considérer comme un point négative pour le modèle, donc pour l'utilisation de ce modèle on est obligée de considérer seulement les nanoparticules du forme sphériques. Le modèle de Maxwell (1873) est donné par la formule suivante :

$$K_{nf} = \frac{K_s + 2K_f + 2(K_s - K_f)\varphi}{K_s + 2K_f - (K_s - K_f)\varphi} K_f \qquad \textbf{(III.35)}$$

Où $K_{nf}$ : La conductivité thermique du nanofluide.

$K_f$ : La conductivité thermique du fluide de base.

$K_s$ : La conductivité thermique des particules solides.

**B-Modèle de Hamilton et Crosser**

Le modèle de Hamilton et Crosser (1962) a été établi pour résoudre la limite de modèle de Maxwell.

Puisque ce dernier n'a valable que dans le cas des particules sphériques une chose qui rend le modèle nos efficace pour la description du phénomène étudié. Pour cela le modèle du Hamilton et Crosser a été développé pour rendre plus efficace le calcul de la conductivité thermique du nano fluide quelque soit la forme de la nanoparticule, et ça en introduisant la notion du facteur géométrique appelé la sphéricité ($\psi$). Ce facteur est définit comme étant le rapport de la surface de la sphère ayant le même volume que les nanoparticules sur la surface d'une nanoparticule.

La conductivité thermique apparente du milieu est donnée par l'expression suivant:

$$K_{nf} = \frac{K_s + (n+1)K_f - (n+1)(K_f - K_s)\varphi}{K_s + (n+1)K_f + (K_f - K_s)\varphi} K_f \qquad \textbf{(III .36)}$$

Où (n) est un facteur de forme empirique donné par : $n=3/\psi$

n=3 pour les particules sphériques et n=6 pour les particules cylindriques.

Pour ($\psi$=1) (particules sphériques) le modèle de Hamilton et Crosser est identique au modèle de Maxwell.

**C-Modèle de Yu et Choi**

Une autre expression pour calculer la conductivité thermique a été introduite par Yu et Choi (2003). Ils ont proposé de modéliser les nano fluides comme un liquide de base et des particules solides séparés par une couche nanométrique. Cette couche agit comme un pont thermique entre le fluide et les nanoparticules. De plus, ils ont supposé que la conductivité thermique da la couche nanométrique est plus grande que la conductivité thermique de liquide. Le modèle de Maxwell est donné par la formule suivante :

$$K_{nf}=\frac{K_s+2K_f+2(K_s-K_f)(1+\beta)^3\,\varphi}{K_s+2K_f-2(K_s+K_f)(1+\beta)^3\,\varphi}\,K_f \qquad \textbf{(III .37)}$$

Où $\beta$ est le rapport de l'épaisseur de la couche nanométrique sur le rayon des particules.

**D-Modèles corrélations semi-empirique**

Il existe plusieurs corrélations semi-empiriques basées sur des résultats expérimentaux utilisées pour calculer la conductivité thermique des différentes nano fluides:

$K_{nf} = (28.905\varphi^2 + 2.873\,\varphi + 1)\,K_f$ Pour le nano fluide (EG+Al2O3) **(III.38)**

$K_{nf} = (-13\varphi^2 + 6.3\varphi + 1)\,K_f$ Pour le nano fluide (Al2O3+eau) **(III.39)**

$K_{nf} = (11.6\,\varphi^2 + 9.6\,\varphi + 1)\,K_f$ Pour le nano fluide (Cu+eau) **(III.40)**

$K_{nf} = (714\,\varphi^2 + 76.6\,\varphi + 1)\,K_f$ Pour le nano fluide (huile+ntc) **(III.41)**

Les équations (III.38), (III.39), (III.40) et (III.41) sont des corrélations empiriques utilisées pour estimer la conductivité thermique des nano fluides (EG+Al2O3), (Al2O3+eau), le nano fluide (Cu+eau) et le nano fluide (huile+nanotube de carbone) respectivement.

### III.4.3.Viscosité dynamique (μ)

La viscosité peut être définit comme étant une propriété d'un fluide pour qu'il résiste aux déformations lorsqu'il est mis en mouvement.

On peut donc parler de la viscosité comme étant une mesure du frottement interne d'un fluide. Un liquide très visqueux est un liquide qui présente un frottement interne élevé.

La dispersion des nanoparticules dans un liquide a un effet sur la viscosité dynamique de ce dernier. La viscosité obtenue devient la viscosité dynamique du nano fluide qui peut être influencé énormément par la qualité de la dispersion de la nanoparticule dans le fluide de base et de la température. Cette viscosité dynamique peut être calculée à partir de la viscosité du fluide de base et la fraction volumique du nano fluide. Pour ce qui suit nous allons citer deux modèles pour le calcul des viscosités apparentes :

**A-Modèle d'Einstein**

La viscosité dynamique d'un nano fluide est donnée par Einstein (1906) pour un mélange contenant des suspensions diluées de particules fines sphériques et rigides est la suivantes :

$$\mu_{nf} = \mu_f (1+2.5)\, \varphi \qquad \textbf{(III.42)}$$

Où $\mu_{nf}$ : La viscosité dynamique du nano fluide.

$\mu_f$ : La viscosité dynamique du fluide de base.

$\varphi$ : La fraction volumique des nanoparticules. Cette relation est valable juste pour $\varphi$=0.03

**B-Modèle de Brinkman**

Par contre, Brinkman (1952) a étudié la formule d'Einstein pour couvrir une large plage de concentrations volumiques.

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_f}{(1-\varphi)^{2.5}} \qquad \textbf{(III.43)}$$

**Remarque :** Pour les faibles fractions volumiques, la relation de Brinkman conduit exactement à celle d'Einstein. Ces relations n'intègrent pas les effets du mouvement Brownien ni ceux de la taille des particules.

### III.4.4.La masse volumique (ρ)

La détermination de la masse volumique d'un nano fluide parfaitement homogène (bonne dispersion des nanoparticules dans le fluide) en fonction de la fraction volumique à une température donnée, se fait à partir de la définition de la masse volumique d'un mélange.

Dans le cas d'un mélange, la masse volumique est donnée par la relation suivante :

$$\rho_{nf} = \left[\frac{m}{V}\right]_{nf} = \frac{m_f + m_s}{V_f + V_s} = \frac{\rho_f V_f + \rho_s V_s}{V_f + V_s} \quad \textbf{(III.44)}$$

A partir de la relation (I.1), on déduit alors la masse volumique du nano fluide :

$$\rho_{nf} = (1 - \varphi)\,\rho_f + \varphi\,\rho_s \quad \textbf{(III.45)}$$

Où $\rho_{nf}$: La masse volumique du nano fluide.

$\rho_f$: La masse volumique du fluide de base.

$\rho_s$: La masse volumique des nanoparticules.

### III.4.5.La chaleur massique ($C_p$)

La chaleur massique ou la chaleur spécifique est la capacité calorifique par unité de masse d'une substance ou d'un système homogène $C_p = dQ / mdT$ . La chaleur spécifique correspond à l'apport de chaleur nécessaire pour élever la température de l'unité de substance de 1 K lors de la transformation considérée. Pour la détermination de la chaleur spécifique d'un nano fluide, on peut citer les deux modèles suivantes :

**A-Modèle du Pak et Cho**

Pak et Cho (1998) ont utilisé la formule suivante :

$$(C_p)_{nf} = (1-\varphi)(C_p)_f + \varphi(C_P)_s \quad \textbf{(III.46)}$$

**B-Modèle du Xuan et Roetzel**

Xuan et Roetzel (2000) ont utilisé la formule suivante :

$$(\rho C_p)_{nf} = (1-\varphi)(\rho C_p)_f + \varphi(\rho C_P)_s \quad \textbf{(III.47)}$$

### III.4.6.Coefficient d'expansion volumique (β)

Pour calcul la valeur de ce coefficient pour les nano fluides, de très nombreux auteur ont utilisé à la suite des premiers travaux sur les nano fluides et par analogie avec la relation (45), on déduit l'expression suivante :

$$\beta_{nf} = (1 - \varphi)\,\beta_f + \beta_s \qquad \textbf{(III.48)}$$

Où

$\beta_{nf}$: Le coefficient de dilatabilité du nano fluide.

$\beta_f$: Le coefficient de dilatabilité du fluide de base.

$\beta_s$ : Le coefficient de dilatabilité des nanoparticules. [4]

**IV.1 .Evolution du rayonnement solaire :**

La figure IV.1 montre la variation du rayonnement solaire en fonction du temps qui augmenté pour Atteindre son maximum entre 12h00 et 13h00.

Ainsi La figure presente Variation temporelle des rayonnement solaire on constate une augmentation de RG et Rd jusqu'au valeur ( 1100et 1000) puis les dimunuent apres avoir atteindre sa valeur maximal,on observe aussi que le RD augmente avec des petites valeus apres il diminu.

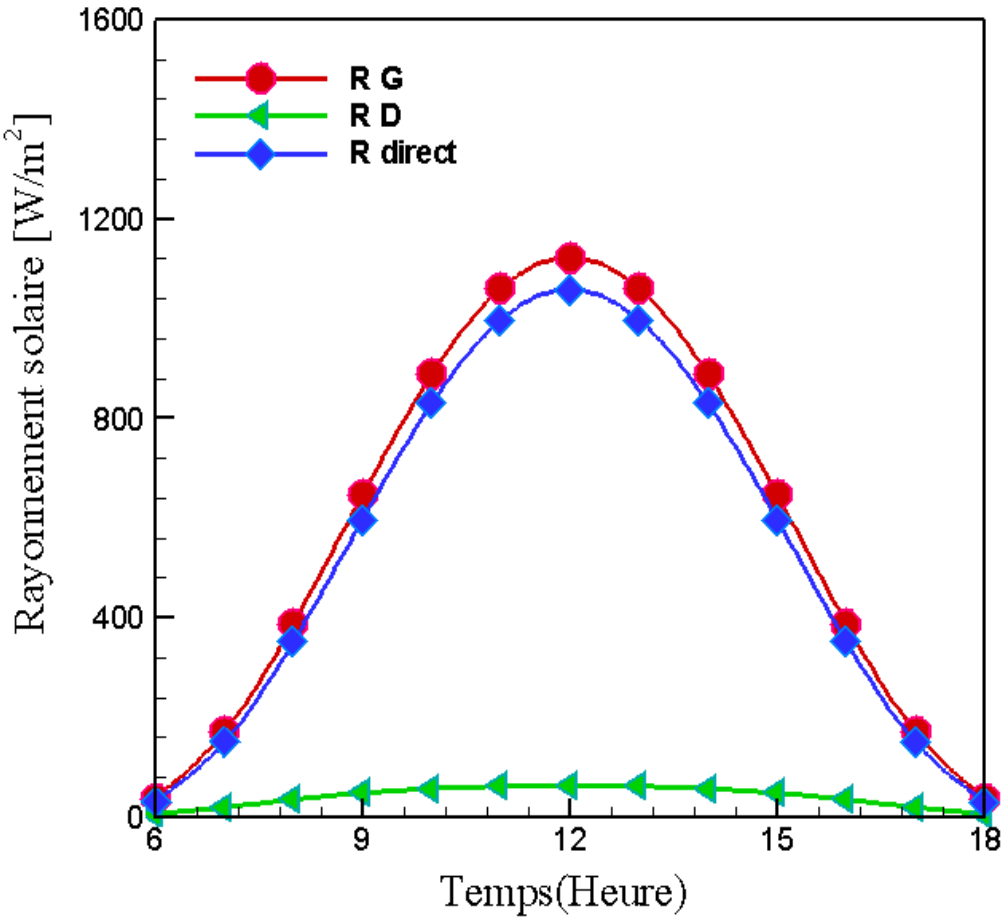



Fig IV.1. Variation temporelle des rayonnement solaire

## IV.2.Variation de coefficient des perts thermique

La figure (IV.2) présente l'évolution théorique du coefficient des pertes thermique $U_L$ en fonction de la vitesse de fluide du bassin.

On observe que les pertes thermique augmente en fonction de la vitesse jusqu'au une valeur 13, Puis de plus en plus ralentit en fonction de la vitesse.

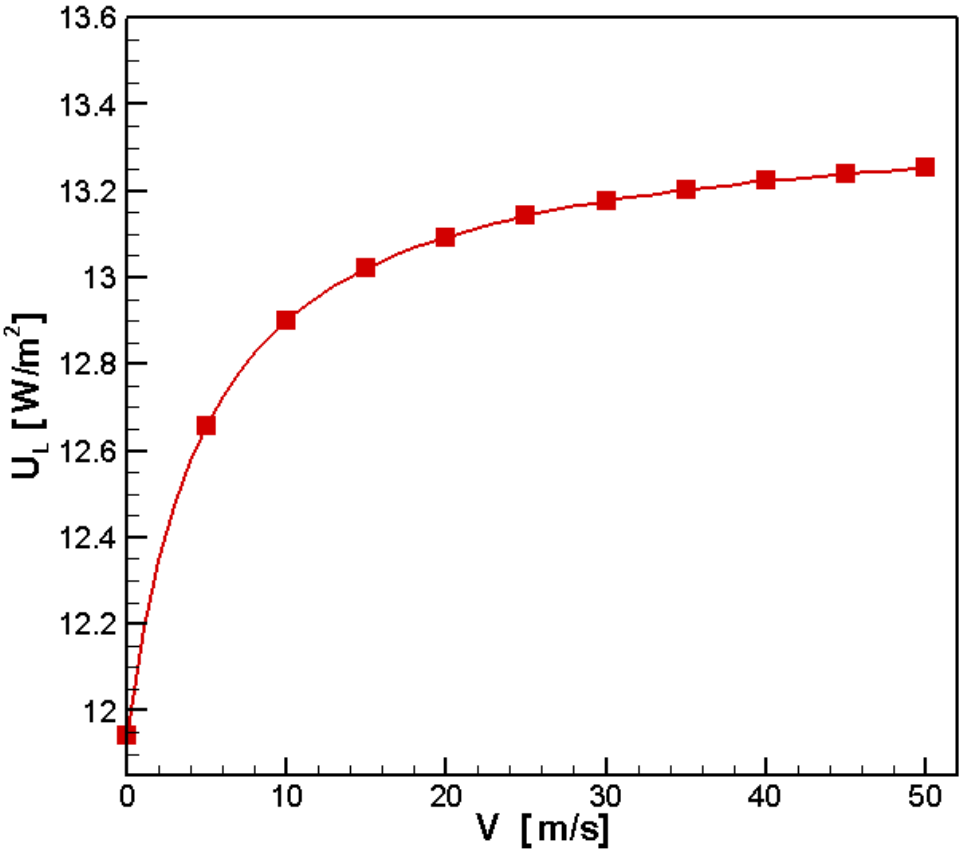



Fig IV.2. Variation de $U_L$ en fonction de la vitesse de vent

La figure (IV.3) présente l'évolution théorique du coefficient des pertes thermique $U_L$ en fonction de la température ambiante de fluide du bassin, on constate que, quant la température ambiante augmente les pertes augmentent aussi.

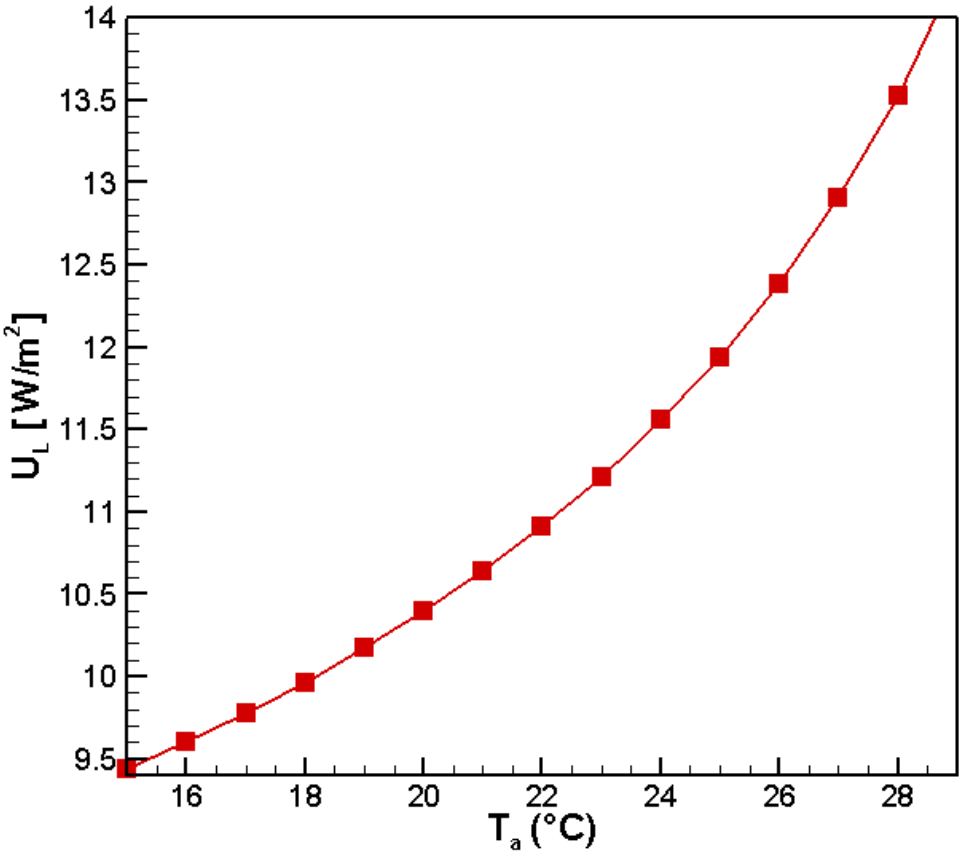



Fig IV.3. Variation des pertes en fonction de température ambiante

La figure (IV.4) présente l'évolution théorique du coefficient des pertes thermique $U_L$ en fonction de l'émissivité de fluide du bassin.

On observe que , quant l'emissivite augmante , la variantion de $U_L$ augmante

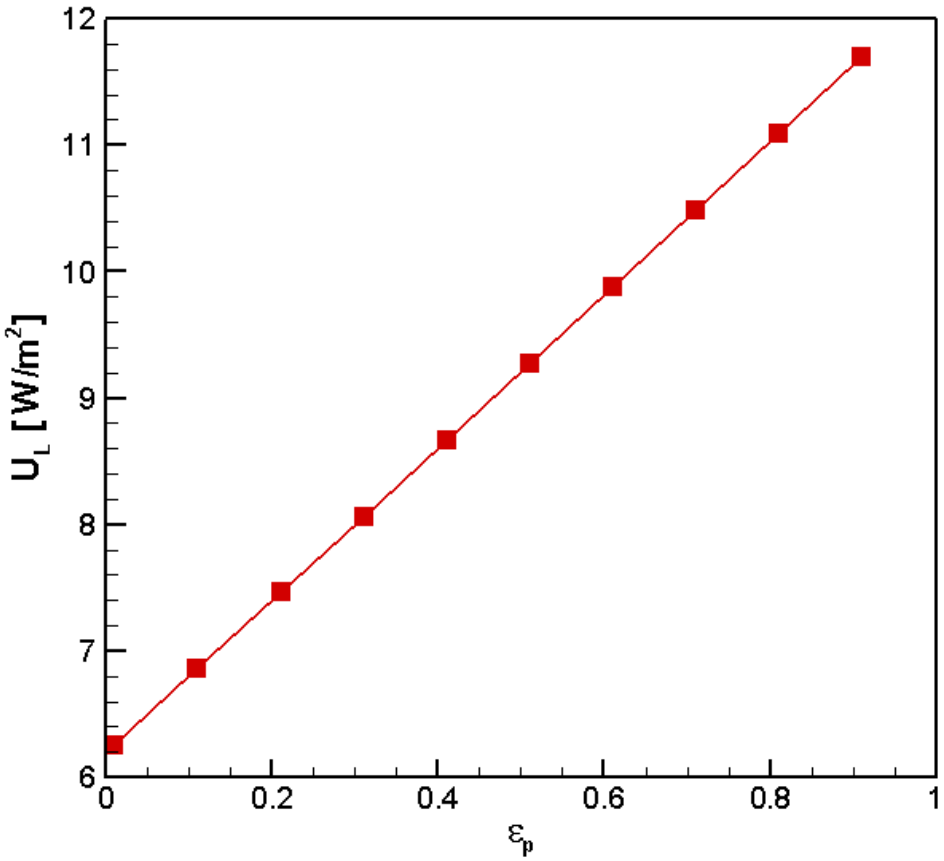



Fig IV.4. Variation de $U_L$ en fonction de emissivite

La figure (IV.5) présente l'évolution théorique du coefficient des pertes thermique UL en fonction de température de bassin

Les pertes decroissantent en fonction de la temperature jusqu'au T=50°C.quant la température dépasse 50 la valeur des pertes augmente lentement .

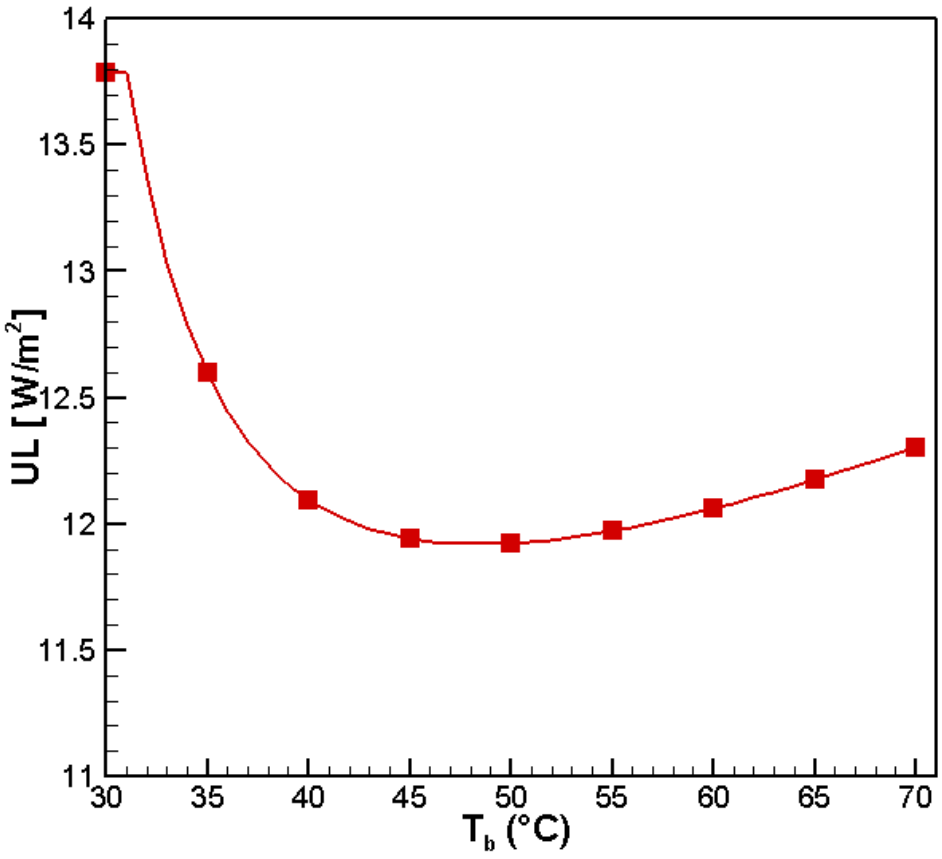



Fig IV.5. Variation de $U_L$en fonction de temperature de bassin

La figure (IV .6) présente l'évolution théorique du coefficient des pertes thermique $U_L$ en fonction de température de plastique

On à observe une augmentation des pertes en fonction de temperature de plastique avec des petites valeurs jusqu'au 30. Apres T=30°C on constate une augmentation des pertes avec des grandes valeurs.

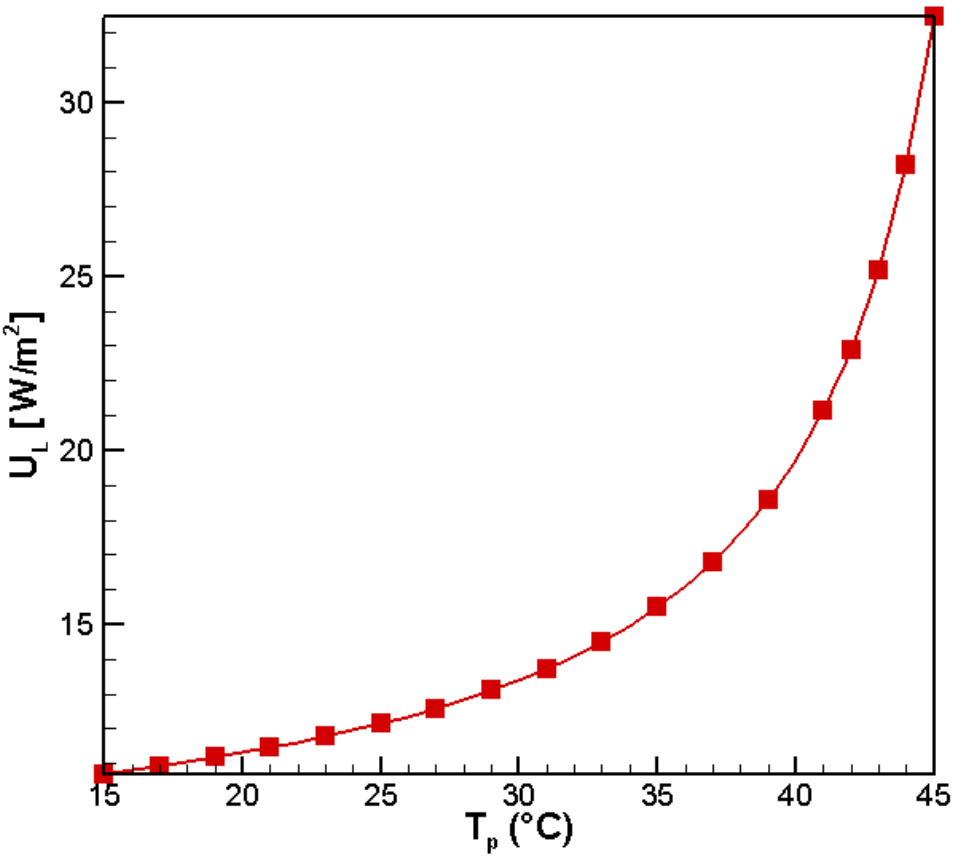



Fig IV.6. Variation de $U_L$ en fonction de température de plastique

## IV.3.Variation de quantité de chaleur du bassin d'eau

La figure IV.7 présente l'évolution théorique du quantité de chaleur en fonction de la débit massique.

On observe que , quant debit massique augmante , la variantion de la quantite de chaleur augmante

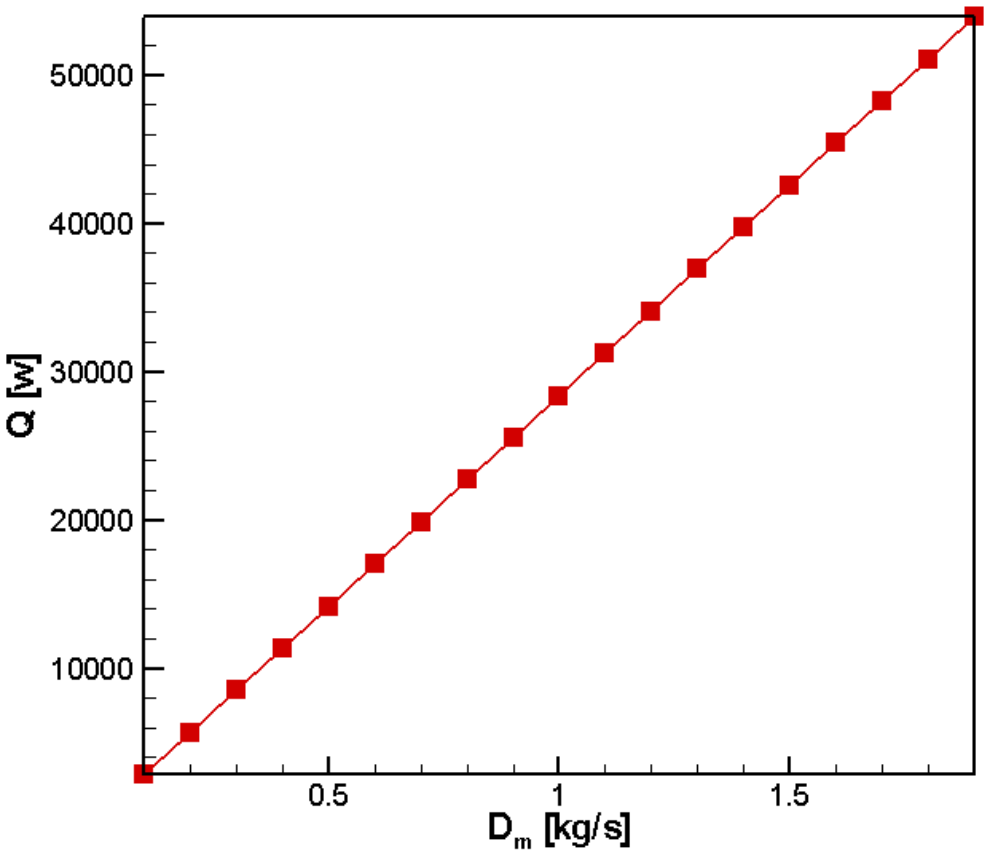



Figure IV.7. Variation de la quantité de chaleur en fonction de debit massique

La figure IV .8 présente l'évolution théorique de la quantite de chaleur en fonction de la température ambiante de fluide du bassin, on constate que, quant la température ambiante augmente les quantite de chaleur augmentent aussi.

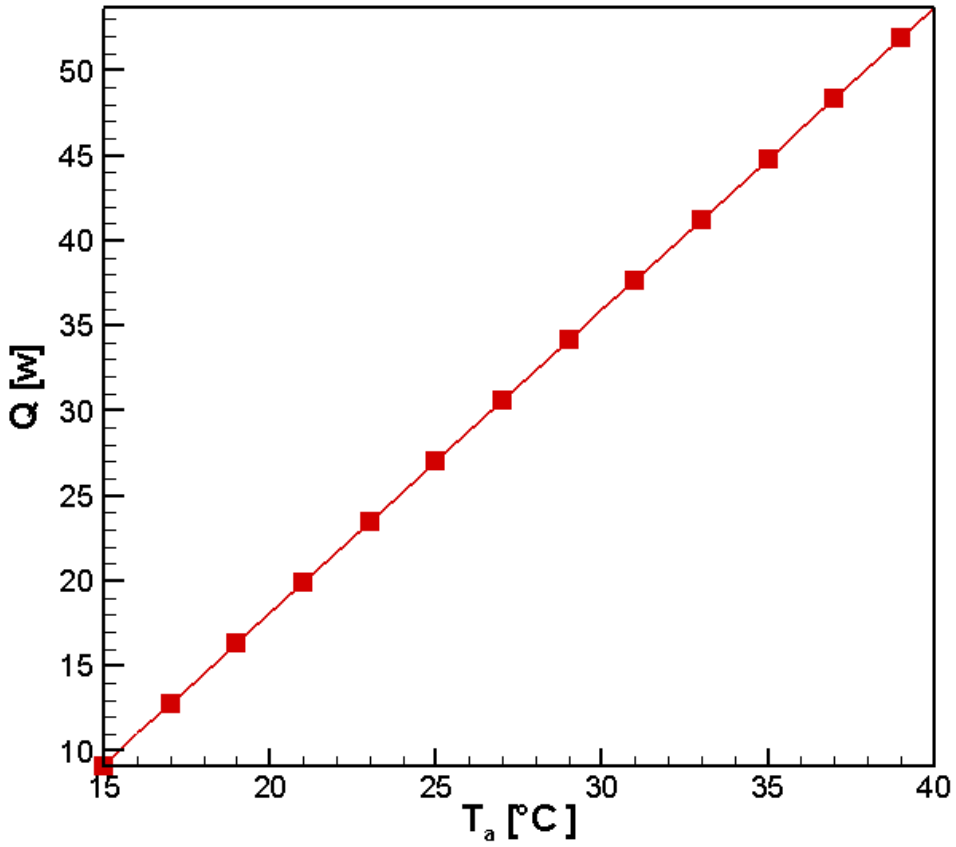



Fig IV.8.Variation de la quantité de chaleur en fonction de temperature ambiante

Figure IV .9 présente l'évolution théorique de la quantite de chaleur en fonction de la température de sortie de fluide du bassin, on constate que, quant la température de sortie de fluide de bassin augmente les quantite de chaleur augmentent aussi.

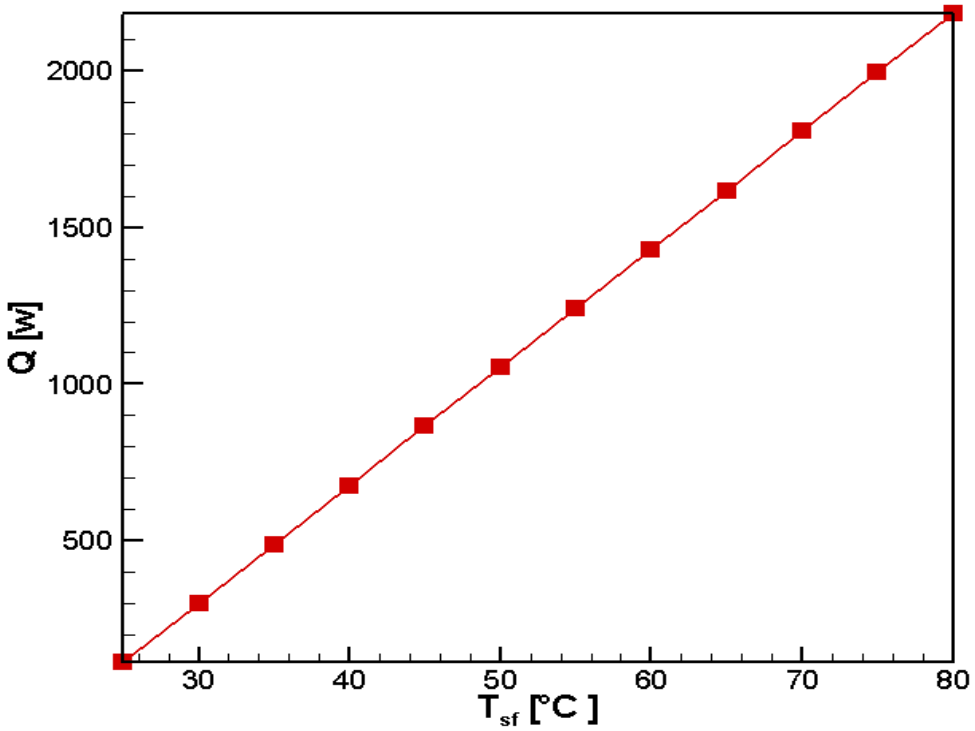



Fig IV.9. Variation de la quantité de chaleur en fonction de temperature sortie de fluide

Figure IV.10 represente la variation de la quantite de chaleur en fonction de la temperature estimeé de sortie de l'eau initiale

On remarque que l'augmentation de la quantite de chaleur avec la temperature estimeé de sortie de l'eau initiale.

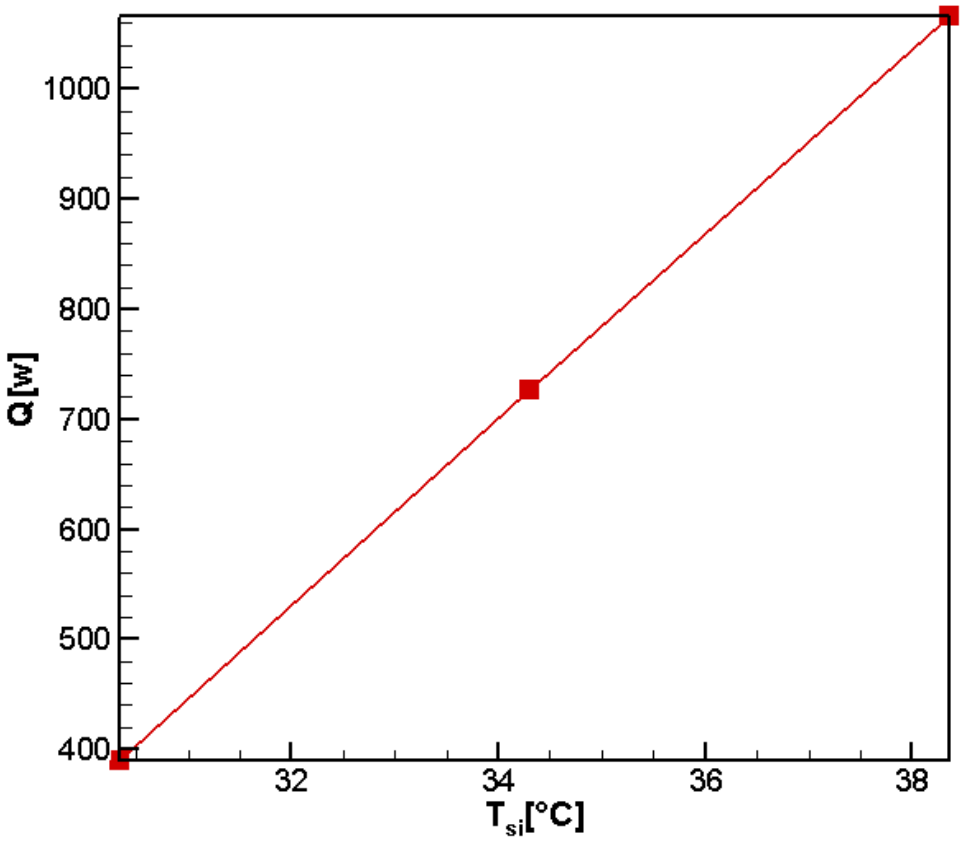



Fig IV.10. Variation de la quantité de chaleur en fonction de temperature estimeé de sortie de l'eau initiale

### IV.4.Variation du rendement du bassin d'eau

Fig IV.11 presente la variation de rendement en fonction du temps

On remarque que le rendement augmente avec l'augmentation de temps,aprés il se déminué .

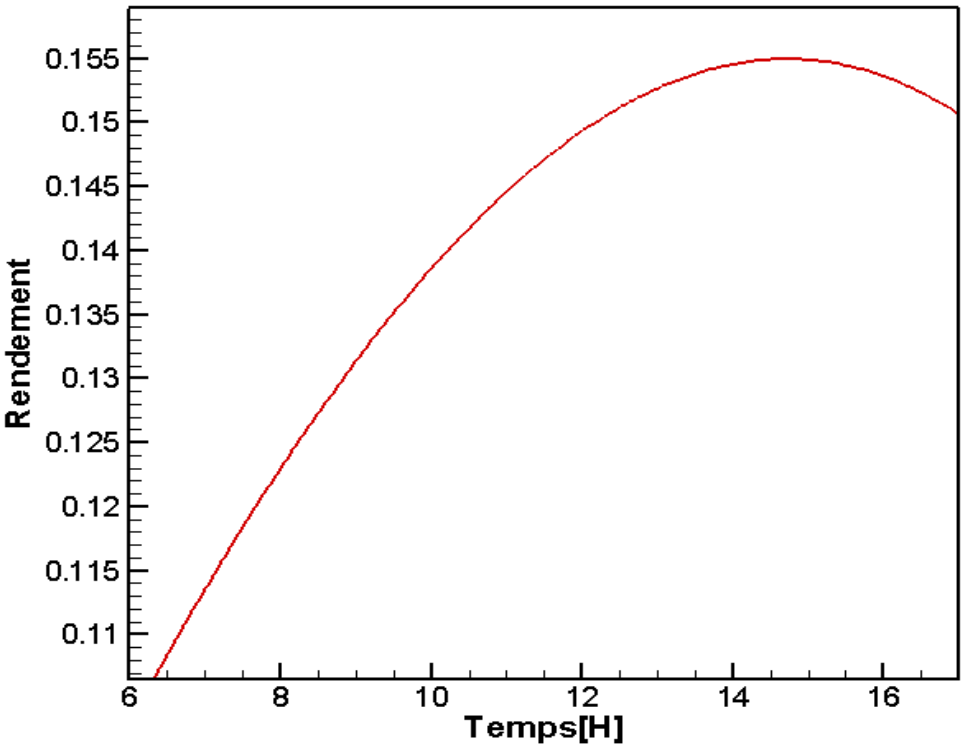



Fig IV.11. Variation de rendement en fonction du temps

## IV.5.Variation des proprieté thermophysique du nano fluide

La figure IV.12 presente la Variation de la conductivité thermique en fonction de fraction du nano fluide.

On observe que les cinq graphes ($AL_2O_3$,Ag,Cuo,$Tio_2$,Au) commencent à augmenter de meme point (0 , 0.6 ) en fonction de la fraction volumique , mais a partir de 0.2 on constate que le graphe ($Tio_2$) a devier par rapport les autres graphes ( 0.2, 0.8)

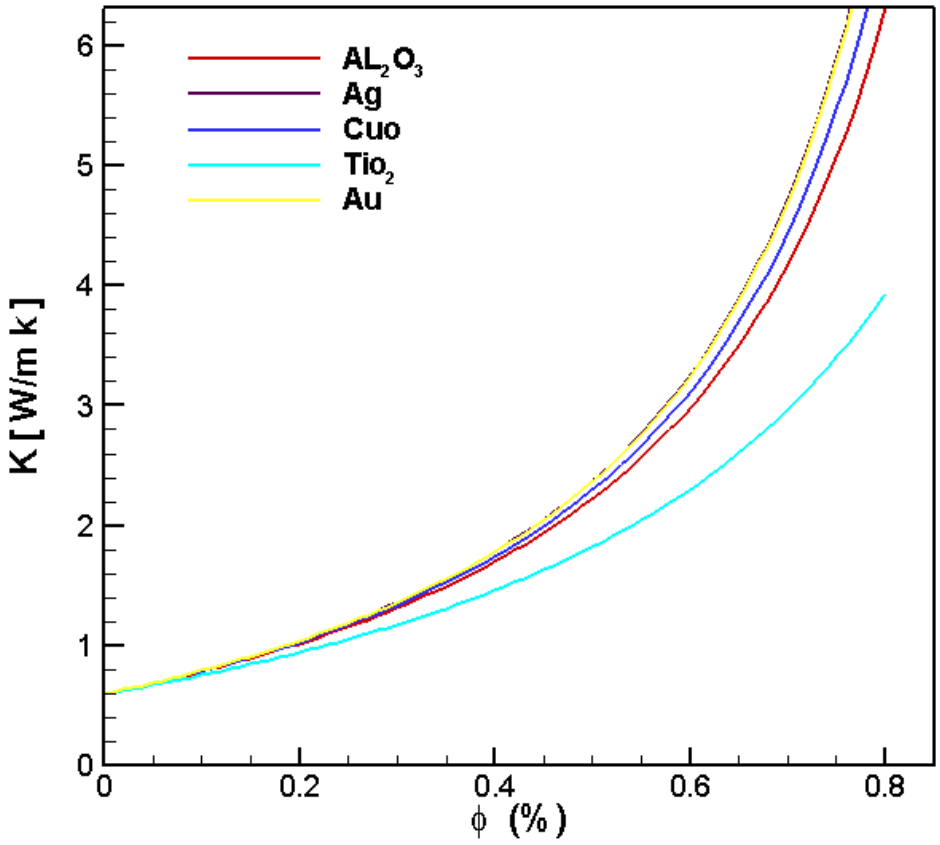



Figure IV.12. Variation de la conductivité thermique en fonction de fraction volumique[7,8]

La figure IV.1 3 présente la Variation de fraction de chaleur spésifique des particules ($AL_2O_3$,Ag,Au,Cuo,$Tio_2$).

On observe que toute les graphes commencent a partir de meme point (4180) puis ils dimunuent en fonction de la fraction volumique .

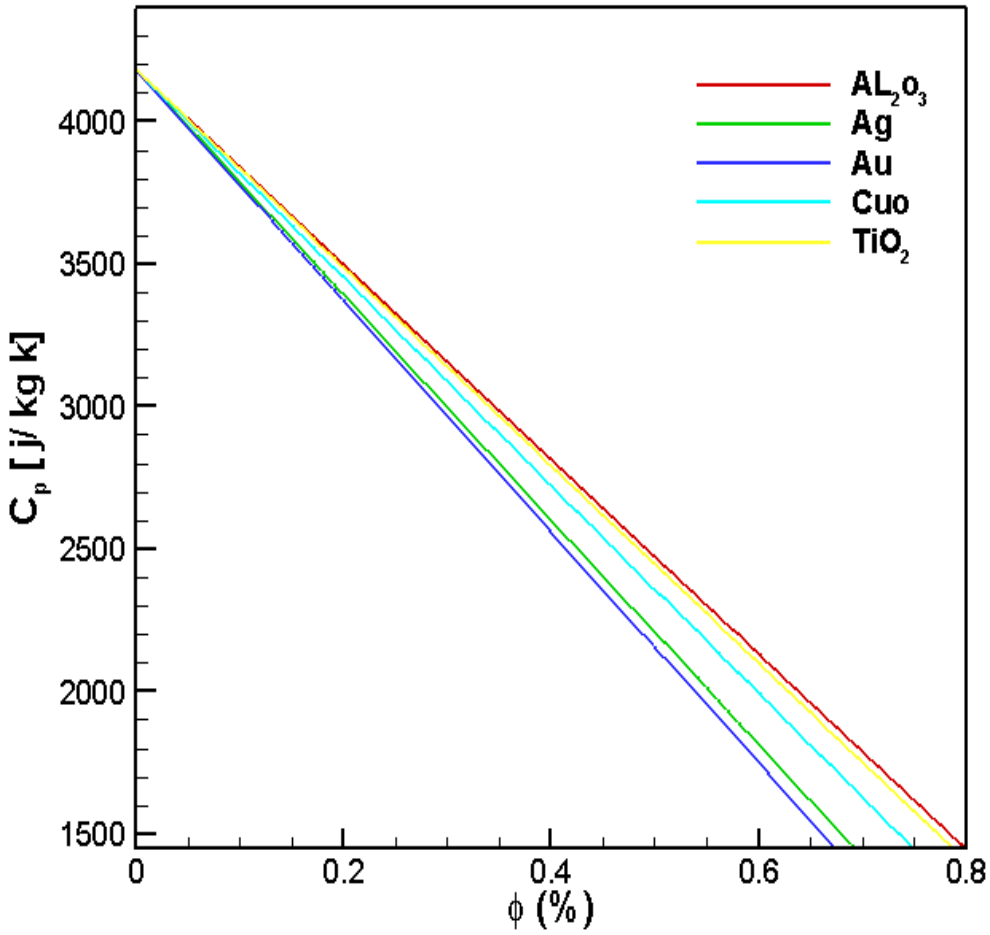



Fig IV.13. Variation de chaleur spésifique en fonction de la fraction [4,8]

La figure IV.14 présente la Variation de la masse volumique du ($AL_2O_3$,Ag,Au,Cuo,$Tio_2$). en fonction de la fraction

On observe que toute les graphes commencent a partir de meme point puis ils augmentent en fonction de la fraction .

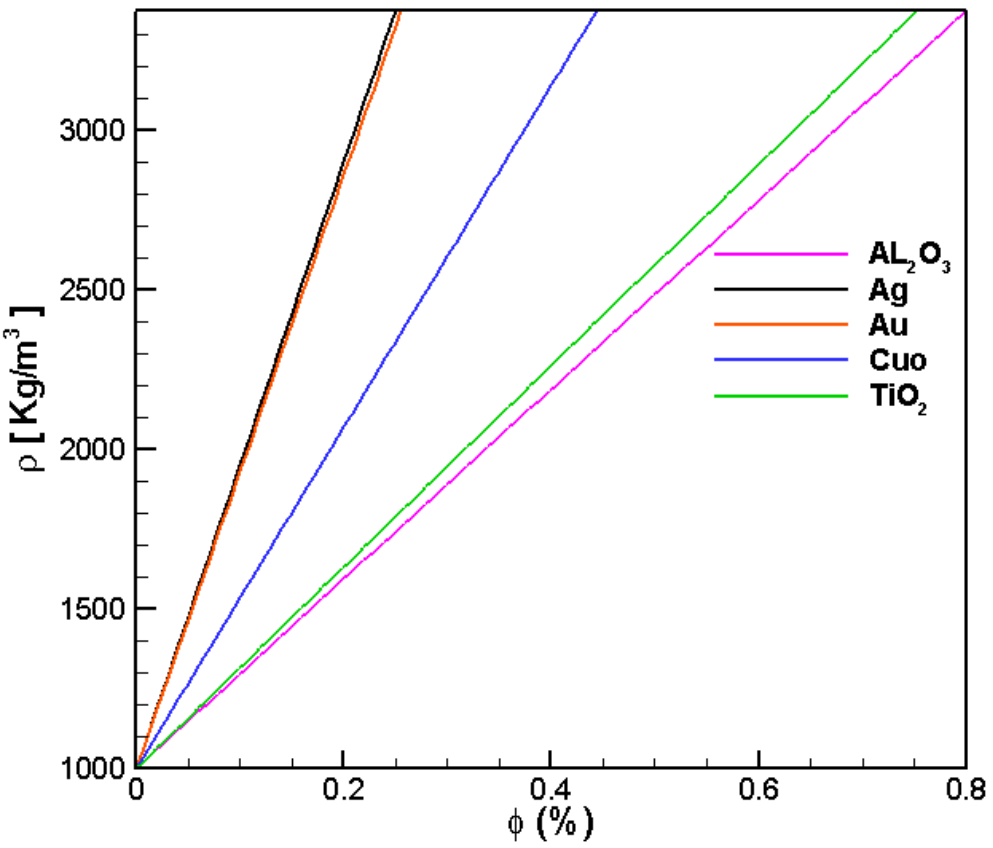



Fig IV.14. Variation de la masse volumique en fonction de la fraction [4,8]

La figure IV.15 presente la variation de coeffitient d'expansion volumique du nano fluide en fonction de la variation de fraction .

on observe que toute les graphes commencent de( 218-230) a dimunuer en fonction de la varition de fraction (0.7-0.8)

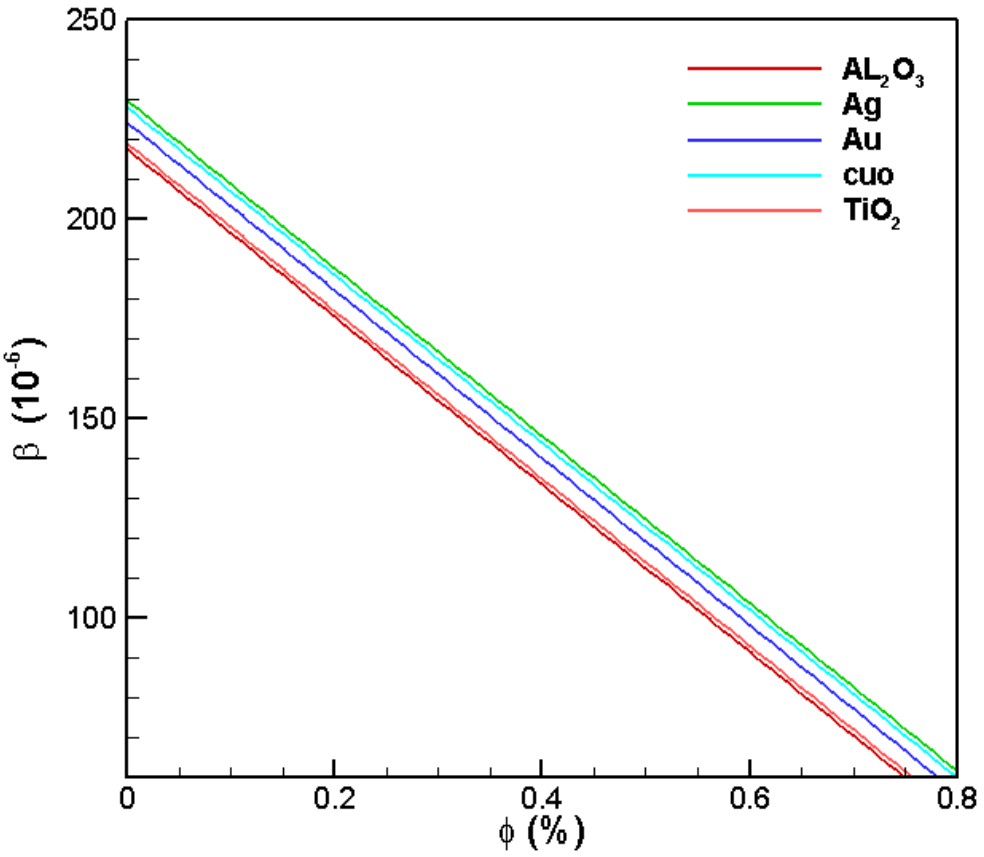



Fig IV.15. Variation de la coefficient d'expansion volumique en fonction de la fraction[5]

Figure IV.16 presente la variation de viscosite dynamique des nanofluides en fonction de la fraction .

On remarque que le graphe de $Al_2O_3$ augmente rapidement et le graphe de $Tio_2$ augmente lentement .

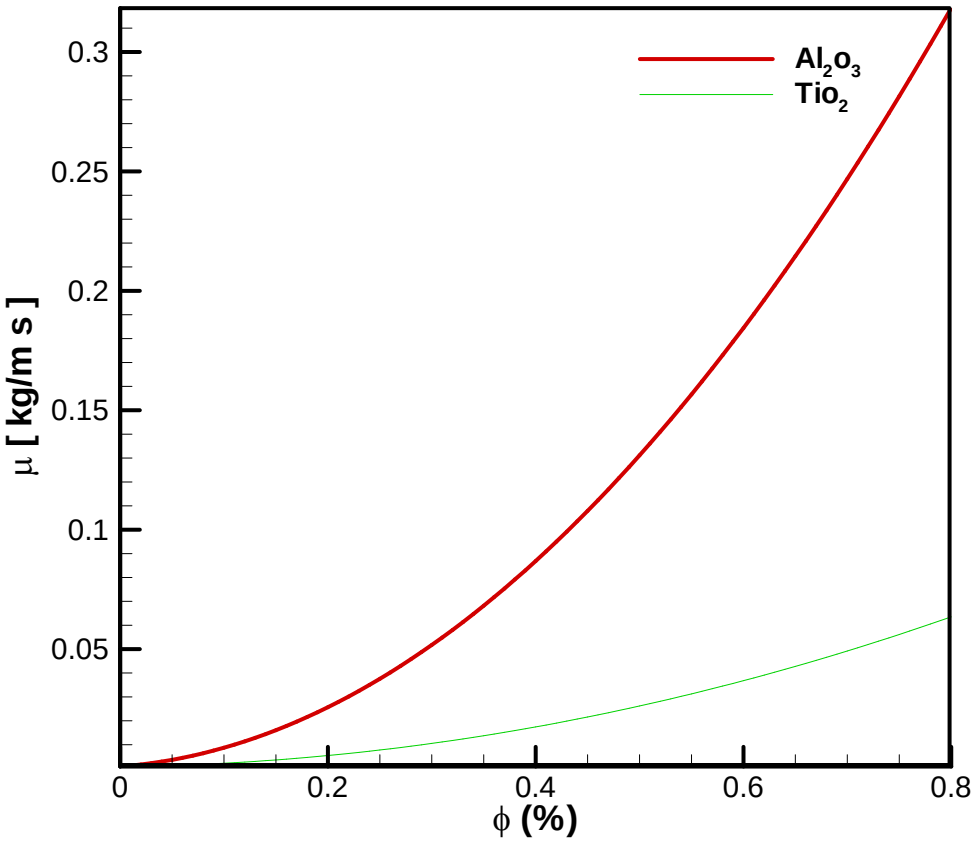



Fig IV.16. Variation de viscosite dynamique des nanofluides en fonction de la fraction[7]

## IV.6.Variation de la quantite de chaleur du bassin de nano fluide

Figure IV.17 présente la variation de la quantite de chaleur ($AL_2O_3$+eau) en fonction de la temperature estimeé de sortie de l'eau initiale

On remarque que l'augmentation de la quantite de chaleur avec la temperature estimeé de sortie de l'eau initiale.

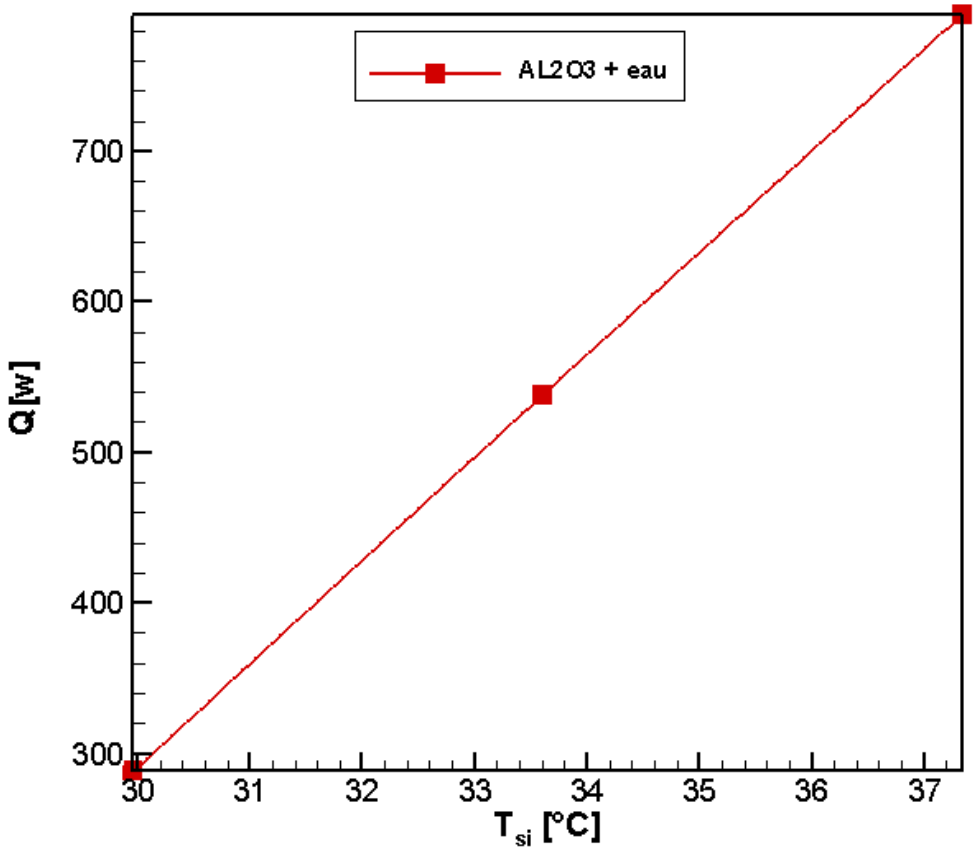



Fig IV.17. Variation de la quantite de chaleur de ($AL_2O_3$+eau) en fonction de la temperature estimeé de sortie de l'eau initiale

Fig IV.18 présente la variation de la quantite de chaleur de ($AL_2O_3$+eau) en fonction de la temperature estimeé de sortie de l'eau initiale , on constate que, quant la température estimeé de sortie de l'eau initiale augmente les quantite de chaleur augmentent aussi.

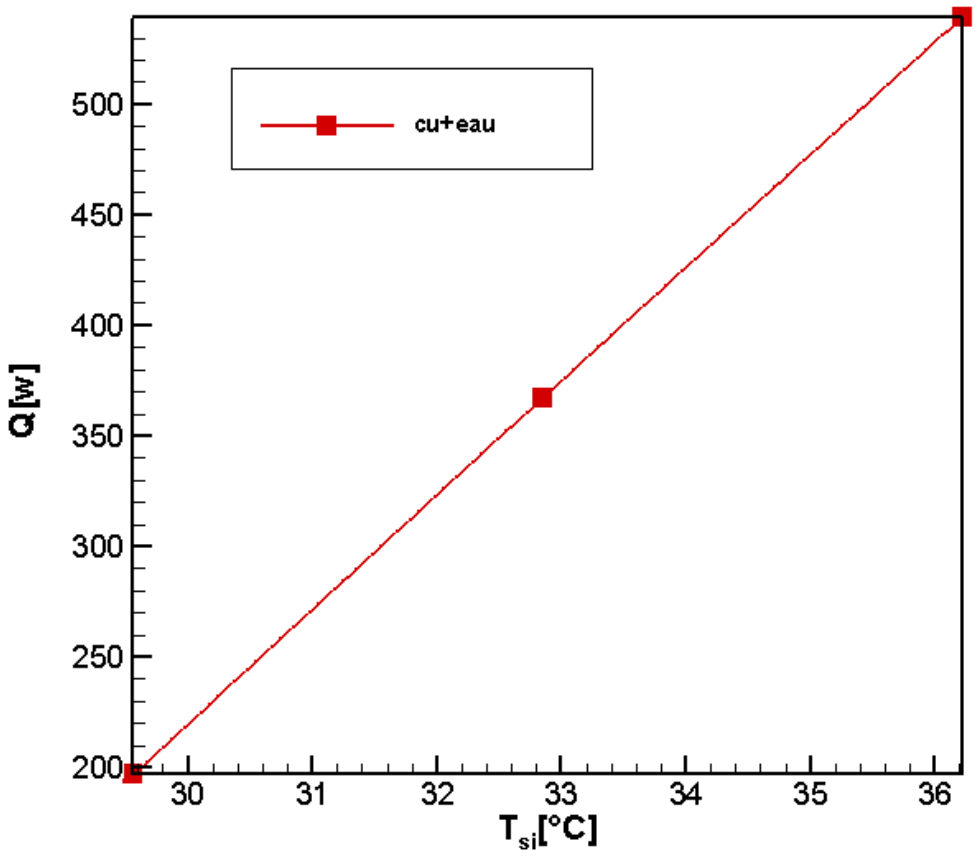



Fig IV.18. Variation de la quantite de chaleur de (cu+eau) en fonction de la température estimeé de sortie de l'eau initiale

# Conclusion générale

L'objectif de ce travail est l'étude d'un bassin solaire peu profond à partir d'un modèle théorique. Les simulations numériques effectuées sont basés sur l'étude du comportement thermique du bassin solaire. Le modèle qui est-on mise en place nous a 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 semi-arides.

L'intérêt de notre travail actuel réalisé, est de proposition d'une conception d'un bassin d'eau solaire dans lequel une 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 certaine 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.

L'utilisation des nano fluides dans les bassins solaires nous a permis de conclure :

- Augmentation de pertes dans les bassins solaires
- Une grande quantité de chaleur produite dans les bassins
- Meilleures rendement

## Référence

[1] OUBIRI Ahmed, simulation numérique du refroidissement de l'absorbeur d'un réfrigérateur solaire à adsorption par convection. juin 2012

[2] BERDJEM Assia et hambli dalila, simulation numérique d'un bassin d'eau solaire utilisé comme capteur solaire, université de médéa. 2014/2015

[3] CHIBA Younes, étude de l'utilisation d'un bassin d'eau comme capteur solaire. 2005

[4] LEBBIHI Saci, refroidissement par convection naturelle d'une source de chaleur loclisee au fond d'une enceinte remplie de nanofluide. juin 2014

[5] GLADES Bachir, Contribution à l'étude de la convection naturelle dans les nanofluides en configuration de Rayleigh-Bénard. 14 /10 /2010

[6] MANDI Benaissa, Analyse thermo énergétique d'un procéde de déssalement d'eau de mer par voie solaire. 2012/2013

[7] Heat Transfer Enhancement with Nanofluids - Vincenzo Bianco, Oronzio Manca, Sergio Nardini, Kambiz Vafai (CRC). 2015

[8] MAOUASSI Ammar, Intensification des echanges de chaleur par l'utilisation des nanofluides. 2012

[9] Review article, An overview of nanofluids, A new media towards green environnement. 2012

[10] SOUFI El habib, Application des nanofluides pour le refroidissement, étude d'un cas d'une géométrie simple. 2012/2013

[11] B.A. Nigusse and G.L. Morrison, Simulation of Shallow Solar Pond Batch Water Heaters Proceedings of Solar '97 - Australian and New Zealand Solar Energy Society

[12] S.C.Sharma and Ashesh Tiwari, Performance enhancement of shallow solar pond by system modification, International Journal on Emerging Technologies 1 (1): 92-96(2010)