

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



**UNIVERSITE DE BLIDA 1
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE MECANIQUE**

Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du Diplôme de Master en Spécialité énergétique

Etude des performances d'un système de production de vapeur cylindro parabolique

Promoteur :

KEBOUR Omar

Réalisé par :

SLIFI Abderrahmane

BENAROUS Abderrahim

Promotion: 2022/2023

Remerciements

Tout d'abord, Nous remercions ALLAH miséricorde de nous avoir donné la volonté, le courage et la patience qui nous ont permis de réaliser ce travail.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre encadreur Dr. KEBOUR Omar d'avoir proposé ce sujet, et dirigé notre travail durant la période d'élaboration de ce mémoire. Nous exprimons notre profonde gratitude pour nous avoir fait profiter de ces connaissances, mais aussi de sa méthode de travail, et surtout de sa rigueur scientifique.

Nos remerciements sont adressés également à tous les membres de Jury, qui ont accepté d'examiner et de juger notre travail. Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants du département mécanique.

Enfin, nos remerciements A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet de fin d'études.

Dédicaces

On voudrait dédier ce modeste travail à tous ceux qui sont chers à nos cœurs, qui ont pris soin de nous et qui ont tout sacrifié pour nous, nos chères mamans.

A nos papas qui nous ont soutenus tout le long de nos cursus scolaire et universitaire et qui ont su donner tant d'efforts pour notre bien et réussite. A nos frères et sœurs qui sont chers à nos cœurs

.

À toute la famille SLIFI et BENAROUS à tous nos amis qui nous ont accompagnés le long de nos cursus.

À tous nos professeurs de l'école primaire à l'université.

À tous ceux qui sont chers à nos cœurs.

Résumé

La production de vapeur est un processus essentiel dans de nombreux domaines industriels, tels que la production d'électricité, le chauffage et les processus chimiques. Dans le but d'améliorer l'efficacité énergétique et de réduire l'empreinte carbone, de nouvelles technologies ont été développées pour maximiser la production de vapeur à partir de sources renouvelables, parmi ces technologies, les systèmes de production de vapeur à concentration solaire, tels que le cylindre parabolique, qui ont suscité un intérêt croissant.

Ce travail présente une simulation comparative de la production de vapeur d'eau à l'aide de systèmes solaires Cylindro-parabolique avec poursuite et système fixe pour trois sites géographiques en Algérie : Alger, Tlemcen et Tamanrasset

Les mots clés : Production de vapeur d'eau, Système solaire avec poursuite, Système solaire fixe,

Abstrat

The production of steam is a fundamental process in many industrial sectors, such as electricity generation, heating, and chemical processes. In order to improve energy efficiency and reduce the carbon footprint, new technologies have been developed to maximize steam production from renewable sources. Among these technologies, solar concentration steam production systems, such as the parabolic trough, have garnered increasing interest.

This work presents a comparative simulation of water steam production using solar systems with tracking and fixed systems for three geographic locations in Algeria: Algiers, Tlemcen, and Tamanrasset.

Keywords: Water steam production, Solar system with tracking, Fixed solar system

تلخيص

إن إنتاج البخار عملية أساسية في العديد من المجالات الصناعية، مثل إنتاج الكهرباء والتدفئة والعمليات الكيميائية. بهدف تحسين الكفاءة الطاقية وتقليل الأثر الكربوني، تم تطوير تكنولوجيات جديدة لزيادة إنتاج البخار من مصادر متجددة، من بين هذه التكنولوجيات، أنظمة إنتاج البخار بتركيز الطاقة الشمسية مثل الأسطوانة الشمسية المعوجة، التي أثارت اهتمامًا متزايدًا.

يقدم هذا العمل محاكاة مقارنة لإنتاج بخار الماء باستخدام أنظمة الأسطوانة الشمسية المعوجة مع متابعة وأنظمة ثابتة لثلاث مواقع جغرافية في الجزائر: الجزائر العاصمة وتلمسان وتمنراست

الكلمات الرئيسية: إنتاج بخار الماء، نظام شمسي مع متابعة، نظام شمسي ثابت

Liste des figures et tableau

Chapitre I :

| | |
|--|----|
| Figure (I.1) : Variation saisonnière du rayonnement solaire | 6 |
| Figure (I.2) : Les coordonnées équatoriales et horizontales..... | 7 |
| Figure (I.3) : Les coordonnées géographiques | 8 |
| Figure (I.4) : Les coordonnées horizontales..... | 9 |
| Figure (I.5) : Les coordonnées horizontales..... | 9 |
| Figure (I.6) : Composantes du rayonnement global sur une surface inclinée | 14 |

Chapitre II :

| | |
|--|----|
| Figure (II.1) : Représentation du système de poursuite | 17 |
| Figure (II.2) : position du soleil par rapport à une surface inclinée | 20 |
| Figure (II.3) : Orientation d'une surface (axe vertical)..... | 20 |
| Figure (II. 4) : Orientation d'une surface (axe horizontal)..... | 21 |
| Figure (II.5) : Monture altazimutale..... | 23 |
| Figure (II.6) : Monture équatoriale | 23 |
| Figure (II.7) : Concentrateur cylindro-parabolique..... | 25 |
| Figure (II. 8) : Système de production de vapeur..... | 26 |
| Figure (II.9) : collecteur cylindro-parabolique au niveau d'université Saad Dahlab..... | 27 |

Chapitre III :

| | |
|---|----|
| Figure III.1. Organigramme de calcul..... | 32 |
|---|----|

Chapitre V :

| | |
|---|----|
| Figure (V .1) : vapeur produite par les systèmes solaires cylindro-paraboliques dans (alger 23 mai 2023) pendant la période de 6h à 19h | 40 |
| Figure (V.2) : vapeur produite par les systèmes solaires cylindro-paraboliques dans (Tlemcen 23 mai 2023) pendant la période de 6h à 19h | 41 |
| Figure (V.3) : Vapeur produite par les systèmes solaires cylindro-paraboliques dans (Tamanrasset 23 mai 2023) pendant la période de 6h à 19h | 42 |
| Tableau N 1 : tableau de vapeur produit de chaque place de 6h a 19h..... | 43 |

Sommaire

| | Page |
|---|-------------|
| Introduction générale | 2 |
| CHAPITRE I : ESTIMATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE | |
| Introduction | 5 |
| I. Energie solaire | 5 |
| I.1. Captation | 5 |
| I.1.1. L'énergie solaire thermique | 5 |
| I.1.2. L'énergie solaire thermodynamique | 5 |
| I.2. Aspects géométriques | 6 |
| I.2.1. Mouvement du globe terrestre | 6 |
| I.2.2. La position du soleil par rapport à la terre | 6 |
| I.3. Les coordonnées célestes | 7 |
| I.3.1. - Les coordonnées géographiques | 7 |
| I.3.2. Les coordonnées horaires..... | 8 |
| I.3.3. Angle horaire de coucher du soleil | 10 |
| I.4. Rayonnement solaire | 10 |
| I.4.1. Type de rayonnement..... | 10 |
| I.4.1.1. Le rayonnement solaire direct..... | 10 |
| I.4.1.2. Rayonnement diffus | 10 |
| I.4.1.3. Rayonnement global | 10 |
| I.5. Estimation du rayonnement solaire..... | 10 |
| I.5.1. Rayonnement extraterrestre | 11 |
| I.5.2. Coefficient de clarté..... | 11 |

| | |
|--|----|
| I.5.3 Estimation du rayonnement solaire instantané sur une surface horizontale | 11 |
| I.5.3.1 Relations entre les moyennes mensuelles | 11 |
| I.5.3.2 Relation entre les valeurs horaire..... | 12 |
| I.5.4 Estimation du rayonnement solaire instantané sur une surface inclinée..... | 13 |
| I.5.4.1 Rayonnement direct sur une surface inclinée | 13 |
| I.5.4.2. Rayonnement diffus sur une surface inclinée | 13 |
| I.5.5. Rayonnement provenant de la réflexion | 14 |
| I.5.6. Rayonnement global sur surface inclinée | 14 |
| I.6. Les systèmes de la poursuite solaire | 15 |
| I-6-1 : Définition | 15 |
| I-6-2 : Types de suiveurs solaires..... | 15 |
| I.6.2.1. Les systèmes de poursuite à un axe | 15 |
| I.6.2.2. Les systèmes de poursuite à deux axes | 15 |
| Conclusion..... | 15 |

Chapitre II : Description du système de poursuite du soleil

| | |
|--|----|
| Introduction | 17 |
| II/ Composante du système de poursuite..... | 17 |
| II .1. Partie commande | 17 |
| II .2. Partie Electronique..... | 17 |
| II.3 Position du soleil par rapport à un observateur | 18 |
| II.3.1- Angle de zénith..... | 18 |
| II.3.2- Angle d'azimut | 18 |
| II.3.3- Angle extérieur d'azimut | 19 |
| II.3.4- Angle d'incidence | 19 |

| | |
|---|----|
| II.4. Orientation de la surface | 20 |
| II.4.1- Rotation suivant un axe | 20 |
| II.4.1.1-Axe vertical et inclinaison fixe de la surface | 20 |
| II.4.1.2- Axe horizontal, surface parallèle à l'axe | 21 |
| II.4.2- Rotation suivant deux axes | 22 |
| II.5-Différents types de montures..... | 22 |
| II.5.1- Monture al azimutale..... | 22 |
| II.5.2- Monture équatoriale | 23 |
| II.6 / les avantages et les inconvénients des systèmes de suivi solaire | 24 |
| II.7 / Conception du dispositif | 25 |
| II.7.1- Concentrateur cylindro-parabolique | 25 |
| II.7.2- Récepteur de chaleur | 26 |
| II.7.3- Suiveur solaire..... | 26 |
| II.7.4- Système de production de vapeur..... | 26 |
| II.7.5- Sécurité et contrôle | 27 |
| II.7.6. Caractérisation du système fixe cylindro-parabolique | 27 |
| II.7.6.1. Dimensions du collecteur cylindro-parabolique..... | 27 |
| II.7.6.2. Matériaux utilisés | 27 |
| II.7.6.3. Configuration du système | 28 |

Chapitre III : Méthodologie de travail

| | |
|---|----|
| III. La méthode de travail | 30 |
| III.1.1. Étude de faisabilité | 30 |
| III.1.2. Conception | 30 |
| III.1.3. Fabrication et installation | 30 |
| III.1.4. Configuration et mise en service | 30 |

| | |
|--|-----------|
| III.1.5. Maintenance et surveillance | 30 |
| III.2. Modélisation..... | 31 |
| III.2.1. Calcul de la quantité du vapeur produite avec système mobile de poursuite solaire dans la région Nord (Vnp)..... | 33 |
| III.2.2. Calcul de la quantité du vapeur produite avec un système fixe dans la région Nord (Vnf)..... | 34 |
| III.2.3. Calcul de la quantité du vapeur produite avec système mobile de poursuite solaire dans la région Hauts Plateaux (Vhp) :) | 35 |
| III.2.4. Calcul de la quantité du vapeur produite avec un système fixe dans la région hauts plateaux (Vhf) | 35 |
| III.2.5. Calcul de la quantité du vapeur produite avec système mobile de poursuite solaire dans la région Sud (Vsp)..... | 36 |
| III.2.6. Calcul de la quantité du vapeur produite avec un système fixe dans la région sud (Vsf) | 36 |
| III.3. Simulation Matlab | 37 |
| Chapitre V : Résultats et discussion | |
| V. Les quantités de vapeur produites avec la poursuite solaire et | |
| Un système fixe pour trois sites différents | 39 |
| V.1. Alger | 40 |
| V.2. Tlemcen | 41 |
| V.3. Tamanrasset..... | 42 |
| CONCLUSION GENERALE | 45 |
| REFERENCES..... | 47 |
| Annexe..... | 49 |

Introduction générale

Introduction générale

Selon des études faites par certains instituts de recherche, la consommation en énergie des pays en voie de développement va connaître une augmentation très importante, surtout après la mondialisation du commerce et des échanges entre les états.

-Une importance particulière est en train d'être accordée à la recherche dans le domaine des énergies renouvelables, ceci pour plusieurs causes qui peuvent être principalement résumées, d'une part, en la croissance accrue de la demande mondiale en énergie conventionnelle et ses problèmes d'approvisionnement, et d'autre part, en l'élévation de son coût et la pollution qu'elle provoque. L'eau, le soleil, le vent, les végétaux, les marées, la chaleur de la terre peuvent fournir de l'énergie propre qui favorise un développement durable [1].

-Parmi les sources utilisées pour le remplacement des énergies produites des combustibles fossiles, on retrouve le soleil qui représente la source primaire de production d'énergie.

-Le but de cette étude du système de poursuite solaire est d'obtenir un rendement énergétique solaire plus élevé.

-Ce mémoire comporte 4 chapitres :

Le Chapitre I présente une estimation du rayonnement solaire disponible dans les régions d'études. Cela permet d'évaluer le potentiel énergétique de la zone et de déterminer la viabilité de l'utilisation de l'énergie solaire dans ce contexte spécifique.

Dans le Chapitre II, le système de poursuite ~~du~~ solaire est décrit en détail. Les composants clés du dispositif, tels que les capteurs, les moteurs et les mécanismes de suivi, sont expliqués en mettant l'accent sur leur fonctionnement et leur importance pour l'optimisation de la collecte de l'énergie solaire.

Le Chapitre III expose la méthodologie de travail utilisée pour l'étude. Il explique les différentes étapes suivies, les données recueillies, les simulations effectuées et les analyses réalisées. Cette méthodologie constitue la base de l'approche scientifique adoptée pour évaluer les performances du système et identifier les possibilités d'amélioration.

Dans le Chapitre IV, les résultats obtenus sont présentés et discutés en détail. Les performances du dispositif de poursuite solaire sont évaluées en fonction des données expérimentales et des simulations réalisées. Les avantages, les limites et les défis potentiels de ce système sont

analysés et discutés, en mettant l'accent sur les aspects techniques, économiques et environnementaux.

CHAPITRE I : ESTIMATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE

Introduction :

La ressource de base la plus importante pour tous les potentiels énergétiques renouvelables est l'énergie solaire, c'est le rayonnement émis dans toutes les directions par le soleil, et que la terre reçoit à raison d'une puissance moyenne de $1,4 \text{ kW/m}^2$ [1], pour une surface perpendiculaire à la direction terre-soleil. Ce flux solaire est atténué lors de la traversée de l'atmosphère par absorption ou diffusion, suivant les conditions météorologiques, la latitude, et la longitude du lieu au niveau du sol. Afin d'exploiter au mieux cette ressource énergétique et pour un bon dimensionnement des installations solaires, il est nécessaire de connaître la quantité de l'énergie solaire disponible à un endroit spécifique à chaque instant de la journée et de l'année. Pour cette raison, nous avons jugé nécessaire de présenter dans ce chapitre une notion générale sur les coordonnées célestes ainsi que le rayonnement solaire.

I. Energie solaire :

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. L'énergie solaire peut être utilisée directement par l'Homme pour s'éclairer (fenêtres), se chauffer et cuisiner (chauffe-eau solaire, four solaire) ou pour produire de l'électricité.

I.1. Captation :

Il existe différentes techniques pour capter une partie de cette énergie solaire à savoir.

I.1.1. L'énergie solaire thermique :

L'énergie thermique solaire est un procédé de transformation de l'énergie solaire en une forme thermique, qu'on peut utiliser :

- En usage direct de la chaleur : chauffe-eau solaire, chauffage solaire, cuisinière et séchoir solaire.
- En usage indirect où la chaleur sert pour un autre usage : centrales solaires thermiques, tours solaires.

I.1.2. L'énergie solaire thermodynamique :

L'énergie solaire thermodynamique utilise le solaire thermique pour produire de l'électricité selon le même principe qu'une centrale électrique classique. Trois types principaux de centrales sont utilisés [2].

- Les centrales à capteurs cylindro-paraboliques pour atteindre des températures entre 300 et 350 °C.
- Les centrales à capteurs paraboliques pour atteindre des températures de 1000°C ou plus.
- Les centrales à tour pour atteindre 1000 °C.

I.2. Aspects géométriques :

Les aspects géométriques liés au soleil sont importants pour comprendre le rayonnement solaire reçu sur la Terre. Les principaux aspects géométriques liés au soleil sont la distance Terre-Soleil, l'angle d'incidence et la durée d'ensoleillement et nous avons :

I.2.1. Mouvement du globe terrestre :

La terre décrit autour du soleil une orbite elliptique quasi circulaire avec une période de 365,25 jours. Le plan de cette orbite est appelé plan de l'écliptique. C'est au solstice d'hiver (21décembre) que la terre est la plus proche du soleil, et au solstice d'été (22juin) qu'elle en est la plus éloignée [3]. La terre tourne sur elle-même avec une période de 24h. Son axe de rotation (l'axe des pôles) a une orientation fixe dans l'espace. Il fait un angle $d = 23^{\circ}27'$ avec la normale au plan de l'écliptique (FigureI.1).

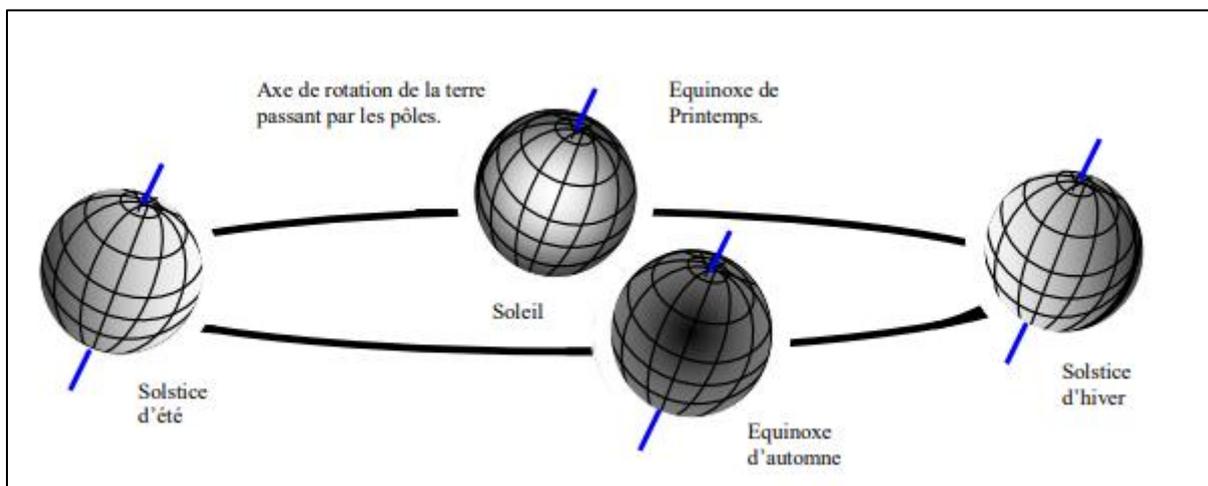


Figure I.1- Variation saisonnière du rayonnement solaire

I.2.2. La position du soleil par rapport à la terre :

Les ondes électromagnétiques provenant du soleil portent l'énergie, la projection de cette énergie dépend de l'orientation de la surface réceptrice. Il est possible de déterminer la position du soleil dans la voûte céleste en fonction du temps et de la position de l'observateur

sur la terre (Figure I.2)

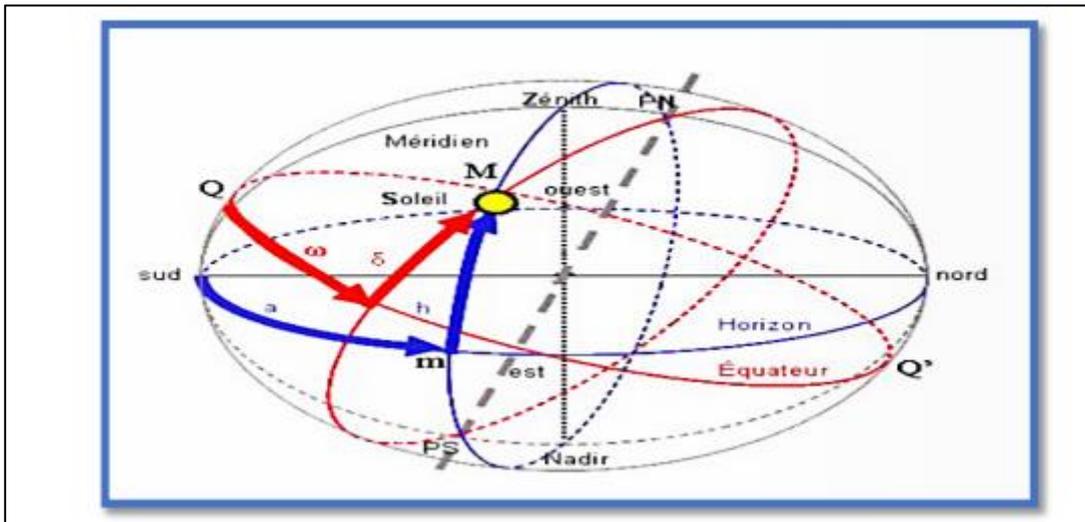


Figure I.2- Les coordonnées équatoriales et horizontales [4]

I.3. Les coordonnées célestes :

Les coordonnées célestes du soleil peuvent être utilisées pour déterminer sa position dans le ciel à tout moment donné par :

I.3.1. - Les coordonnées géographiques :

Nous distinguons les deux notions suivantes :

a) – Longitude :

La longitude d'un lieu correspond à l'angle que fait le plan méridien passant par ce lieu avec un plan méridien retenu comme origine. On a choisi pour méridien (origine 0°) le plan passant par l'observatoire de Greenwich. Par convention on affecte du signe (+) les méridiens situés à l'est de ce méridien, et du signe (-) les méridiens situés à l'ouest (Figure I.2 et I.3).

b) - Latitude :

La latitude d'un lieu correspond à l'angle avec le plan équatorial, que fait le rayon joignant le centre de la terre à ce lieu. L'équateur terrestre est donc caractérisé par une latitude égale à 0° , le pôle nord par la latitude $+90^\circ$ et le pôle sud par la latitude -90° . Cette convention de signe (+) à tous les lieux de l'hémisphère nord et le signe (-) à tous les lieux de l'hémisphère sud (Figure I.2 et I.3).

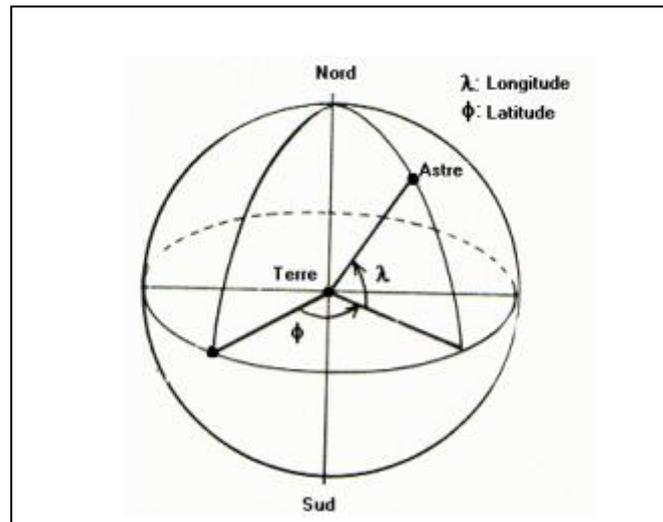


Figure I.3- Les coordonnées géographiques

I.3.2. Les coordonnées horaires :

Nous distinguons les trois notions suivantes :

a) La déclinaison solaire :

C'est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatorial terrestre. Elle varie tout au long de l'année, entre deux valeurs extrêmes : $-23,27^\circ$ et $+23,27^\circ$ environ et elle s'annule aux équinoxes de printemps et d'automne, sa valeur peut être calculée par la formule[5] .

$$\delta = 23.27 \sin\left(2\pi \frac{284+n}{365}\right) \quad \text{W/m}^2 \quad (1)$$

δ : angle de déclinaison en degrés.

n : est le numéro de jour de l'année (1 pour 1 janvier et 365 pour le 31 décembre)

b) L'Angle horaire :

L'angle horaire du soleil est l'angle formé par le plan méridien du lieu et celui qui passe par la direction du soleil si l'on prend comme origine le méridien de Greenwich, l'angle horaire est compris entre 0° et 360° . La valeur de l'angle horaire est nulle à midi solaire, négative le matin, positive dans l'après-midi et augmente de 15° par heure (Figure I.4). L'angle horaire est donné par la relation suivante

$$\omega = 15^\circ(\text{TSV}-12) \quad (2)$$

TSV: le temps solaire vrai.

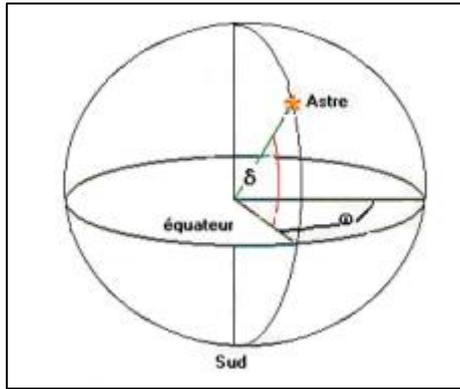


Figure I.4- Les coordonnées horizontales

c) Hauteur angulaire du soleil :

C'est l'angle formé par le plan horizontal au lieu d'observation et la direction du soleil. Cette hauteur durant le jour peut varier de 0° (soleil à l'horizon) à 90° (soleil au zénith) [4]. L'angle de la hauteur solaire est donné par :

$$\sin(h) = \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) \quad (3)$$

φ : Latitude du lieu

d) Azimut :

C'est l'angle compris entre le méridien du lieu et le plan vertical passant par le soleil. La connaissance de l'azimut du soleil est indispensable pour le calcul de l'angle d'incidence des rayons sur une surface non horizontale [1]. (Figure I.5)

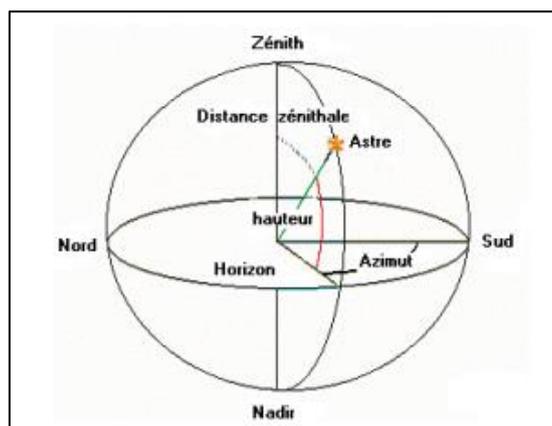


Figure I.5- Les coordonnées horizontales

I.3.3. Angle horaire de coucher du soleil :

L'angle horaire du soleil est le déplacement angulaire du soleil autour de l'axe polaire. Dans sa course d'est en ouest, par rapport au méridien local. Il est donné par l'équation suivante [3], [6]

$$\omega_s = \arccos(-\tan(\Phi)\tan(\delta)) \quad (4)$$

Φ : Déclinaison solaire

δ : latitude

I.4. Rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire est un rayonnement thermique qui se propage sous la forme d'ondes électromagnétiques. En dehors de l'atmosphère terrestre, il donne un éclairage énergétique à peu près constant et égale à 1367W/m², appelé de ce fait constant solaire [1].

Les rayonnements solaires au niveau du sol se divisent en plusieurs rayonnements, direct, diffus, réfléchis et globale, à partir des conditions physiques quel que soit l'atmosphère (les caractéristiques de l'atmosphère soit massique ou thermique) à travers l'année.

I.4.1. Type de rayonnement :

Les principaux types de rayonnement solaire sont :

I.4.1.1. Le rayonnement solaire direct :

Le rayonnement solaire direct se définit comme étant le rayonnement provenant du seul disque solaire. Il est donc nul lorsque le soleil est occulté par les nuages [7].

I.4.1.2. Rayonnement diffus :

Dans sa traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire est diffusé par les molécules de l'air et les particules en suspension. Le rayonnement solaire diffus n'est donc nul que la nuit [1, 3]

I.4.1.3. Rayonnement global :

C'est la somme des deux types de rayonnements directs et diffus

I.5. Estimation du rayonnement solaire :

L'estimation du rayonnement solaire dépend de plusieurs facteurs, tels que la localisation géographique, l'heure de la journée, la période de l'année et les conditions météorologiques. Le rayonnement solaire peut varier considérablement d'un endroit à l'autre.

I.5.1. Rayonnement extraterrestre :

Le rayonnement extraterrestre est le rayonnement solaire en dehors de l'atmosphère. Pour un point donné, la formulé est comme suit [8]:

$$H_0 = \frac{86400 S_0}{\pi} \left(1 + 0,033 \cos \left(2\pi \frac{N}{365} \right) \right) (\cos \varphi \cos \delta \sin w_s + w_s \sin \varphi \sin \delta) \quad (5)$$

N : Numéro de jour de l'année (1 pour 1 janvier et 365 pour le 31 décembre).

S0 : Constante solaire.

δ : Déclinaison solaire.

φ : Latitude

I.5.2. Coefficient de clarté :

Avant d'atteindre le sol, le rayonnement solaire est atténué par l'atmosphère et les nuages. Le rapport entre le rayonnement au sol et le rayonnement extraterrestre est appelle coefficient de transmission, il est défini par [8] :

$$\bar{K}_t = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} \quad (6)$$

H: Rayonnement solaire moyen, mensuel mesuré sur une surface horizontale.

H0: Rayonnement solaire moyen, mensuel hors de l'atmosphère.

I.5.3. Estimation du rayonnement solaire instantané sur une surface horizontale :

Il existe différentes relations :

I.5.3.1 Relations entre les moyennes mensuelles :

L'analyse des mesures de d H et H par Liu et Jordan a montré l'existence d'une liaison entre ces deux termes et un paramètre météorologique appelé coefficient de transmission [8]. Le rayonnement moyen, mensuel diffus sur une surface horizontale est défini par :

$$\begin{aligned} \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} &= 1,391 - 3,56 \bar{K} + 1,189 \bar{K}^2 - 2,137 \bar{K}^3 & W_s < 81,4^\circ \\ \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} &= 1,311 - 3,022 \bar{K} + 3,427 \bar{K}^2 - 1,821 \bar{K}^3 & W_s > 81,4^\circ \end{aligned} \quad (7)$$

H: Rayonnement moyen, mensuel diffus sur une surface horizontale.

Hd: Rayonnement moyen, mensuel sur une surface horizontale.

I.5.3.2 Relation entre les valeurs horaires :

Dans certaines applications, il est nécessaire de connaître les flux instantanés ou les irradiances pendant des durées courtes. Cela est réalisé grâce aux formules de Collares-Pereira et Rabl pour le rayonnement global [8]:

$$r_t = \frac{\pi}{24} (a + b \cos w) \frac{\cos w - \cos w_s}{\sin w_s - w_s \sin w_s}$$

$$\text{Avec : } \begin{cases} a = 0,409 + 0,501 \sin \left(w_s - \frac{\pi}{3} \right) \\ b = 0,6609 - 0,4767 \sin \left(w_s - \frac{\pi}{3} \right) \end{cases} \quad (8)$$

rt: Rapport entre les valeurs horaires et journalières de l'irradiation globale.

w : Angle horaire du soleil.

ws : Angle horaire de coucher du soleil.

$$r_d = \frac{\pi}{24} \frac{\cos w - \cos w_s}{\sin w_s - w_s \sin w_s} \quad (9)$$

rd : Rapport entre les valeurs horaires et journalières de l'irradiation diffuse :

$$H = r_d \bar{H} \quad (10)$$

H: Rayonnement global instantané sur une surface horizontale.

$$H_d = r_d \bar{H}_d \quad (11)$$

Hd: Rayonnement diffus instantané sur une surface horizontale.

$$H_b = H - H_d \quad (12)$$

Hb: Rayonnement direct instantané sur une surface horizontale

I.5.4 Estimation du rayonnement solaire instantané sur une surface inclinée :

Il existe différentes méthodes pour estimer le rayonnement solaire instantané sur une surface inclinée :

I.5.4.1 Rayonnement direct sur une surface inclinée :

Connaissant le flux direct sur une surface horizontale H le flux direct sur une surface Incliné H_{bi} (Figure I.6) est donné par la formule suivante :

$$H_{bi} = R_b H_b \quad (13)$$

H_b : Flux direct sur une surface inclinée.

R_b : Rapport du rayonnement direct journalier sur surface inclinée à celui sur une surface horizontale, il est donné par l'expression suivante :

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (14)$$

θ : Angle d'incidence du rayonnement direct sur le concentrateur solaire.

θ_z ; Angle de zénith.

I.5.4.2. Rayonnement diffus sur une surface inclinée :

En admettant que le flux diffus est isotrope, c'est-à-dire uniformément réparti sur la voûte céleste, la valeur du rayonnement diffus est donnée par :

$$H_{di} = H_d F_p \quad (15)$$

H_{di} : Flux diffus sur une surface inclinée.

F_p : Facteur d'angle plan incliné-ciel, il est donné par :

$$F_p = \frac{1}{2} (1 + \cos \beta) \quad (16)$$

Ce qui donne :

$$H_{di} = \frac{H_d}{2} (1 + \cos \beta) \quad (17)$$

I.5.5. Rayonnement provenant de la réflexion :

De même, le flux réfléchi par le sol est isotrope, on a :

$$H_r = H \rho_s F_r \quad (18)$$

R_s : Représente le coefficient de réflexion de la lumière diffuse du sol (aussi appelé albédo du sol, valeur fixée à 0,2)

$$F_r = \frac{1}{2}(1 - \cos \beta) \quad (19)$$

F_r : Facteur d'inclinaison du rayonnement réfléchi.

L'équation devient :

$$H_r = H \rho_s \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (20)$$

H_r : Flux reçu par une surface inclinée provenant de la réflexion sur le sol.

I.5.6. Rayonnement global sur surface inclinée :

Connaissant les trois composantes des flux et irradiations, on a finalement [8]:

$$\begin{aligned} H_t &= H_{di} + H_{bi} + H_r \\ H_t &= H_b R_b + H_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + H \rho_s \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \end{aligned} \quad (21)$$

H_t : Rayonnement instantané sur une surface inclinée.

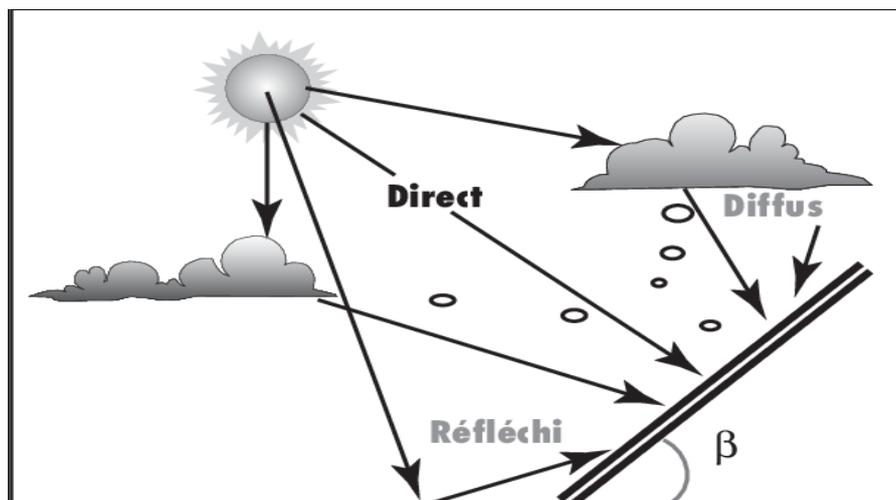


Figure I.6. Composantes du rayonnement global sur une surface inclinée

I-6-1 Définition :

Les systèmes de poursuite solaire sont des mécanismes ou des dispositifs qui permettent d'orienter les panneaux solaires ou les miroirs solaires de manière à suivre le mouvement apparent du soleil tout au long de la journée. Ces systèmes ajustent constamment la position des panneaux ou des miroirs pour maximiser la quantité de lumière solaire captée et optimiser ainsi la production d'énergie solaire [9].

I-6-2 Types de suiveurs solaires :

Il existe deux principaux types de systèmes de poursuite solaire :

I.6.2.1. Les systèmes de poursuite à un axe :

Ces systèmes permettent le mouvement des panneaux solaires ou des miroirs solaires autour d'un seul axe, généralement l'axe est-ouest. Ils suivent le soleil tout au long de la journée en ajustant l'angle d'inclinaison des panneaux ou des miroirs pour maximiser l'exposition au rayonnement solaire. [10]

I.6.2.2. Les systèmes de poursuite à deux axes :

Ces systèmes permettent le mouvement des panneaux solaires ou des miroirs solaires autour de deux axes, à la fois l'axe est-ouest et l'axe nord-sud. Ils offrent un suivi plus précis du soleil et permettent une capture maximale de l'énergie solaire tout au long de la journée et tout au long de l'année. [10]

Conclusion :

L'étude du rayonnement solaire est nécessaire pour un meilleur dimensionnement d'un système solaire thermique et un bon choix du site sur lequel nous devons l'installer.

Pour que le rayonnement solaire soit exploité d'une façon optimale, il doit être perpendiculaire à la surface du plan du système solaire thermique. Pour ce faire, il est nécessaire de recourir à la technique de poursuite du soleil qui fera l'objet d'une étude détaillée dans ce chapitre.

Chapitre II

Description du

systeme de

poursuite du soleil

Introduction :

L'orientation du capteur par rapport au soleil est une question importante pour l'optimisation du rayonnement solaire concentré journalier capté par ce dernier. En fait, le principe de focalisation suppose que le rayonnement frappe la surface réfléchissante dans une direction spécifique, Nous devons donc constamment modifier la position du capteur afin que la position du soleil puisse être suivie à l'aide du système de suivi automatique, qui fera l'objet de notre étude.

II/ Composante du système de poursuite :

Le système de poursuite se compose essentiellement de deux parties :

II .1. Partie commande :

Cette partie est basée sur le contrôle par micro-ordinateur. Le programme transmet périodiquement le signal de l'unité centrale au moteur situé sur le concentrateur cylindro-parabolique, qui lui assure un mouvement rotatif avec un angle en adéquation avec le mouvement du soleil.

II .2. Partie Electronique :

Cette partie électronique est basée sur un système qui permet de recevoir des commandes envoyées par des ordinateurs, elles sont converties en signaux électriques et sont transmises au système mécanique articulé, pour l'activation du moteur. Cette opération ne peut être fiable que si le rayonnement solaire soit toujours perpendiculaire au capteur. (Figure II.1)

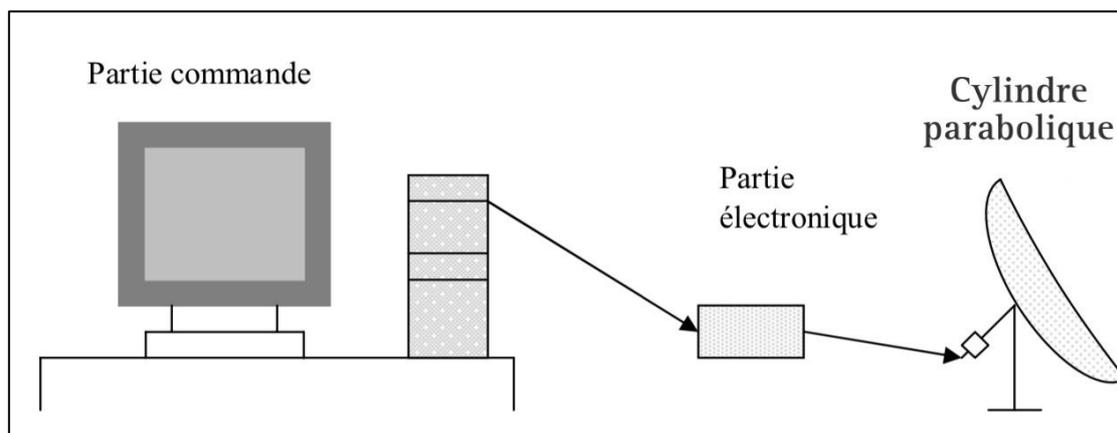


Figure II.1- Représentation du système de poursuite.

II.3. Position du soleil par rapport à un observateur :

L'énergie solaire reçue sur les surfaces n'est régie que par des lois astronomiques et la géométrie. Ce dernier concerne la longitude et la latitude du lieu, la déclinaison du soleil, L'heure de la journée et enfin la direction de la surface réceptrice. La position du soleil dépend des heures solaires, des jours et des années, elle est exprimée sous différents angles :

II.3.1- Angle de zénith :

C'est l'angle entre la verticale de la surface et les rayons du soleil, donné par L'équation suivante [14] [15] :

$$\theta_z = \cos^{-1}(\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega) \quad (22)$$

δ : déclinaison solaire.

ϕ : latitude du lieu.

ω : angle horaire.

II.3.2- Angle d'azimut :

C'est l'angle sur le plan horizontal mesuré à partir du sud avec la projection horizontal les rayons directs du soleil. Il est également donné comme angle entre le méridien local et la projection de la ligne de la vue du soleil dans le plan horizontal, défini par l'équation suivante [14] [15] :

$$\gamma = \sigma_{e\omega} \times \sigma_{ns} \times \gamma_{50} + \left(\frac{1 - \gamma_{e\omega} \cdot \gamma_{ns}}{2} \right) \sigma_w \times 180 \quad (23)$$

$$\gamma_{S_0} = \sin^{-1} \left(\frac{\sin \omega \cos \delta}{\sin \theta} \right) \quad (24)$$

$$\sigma_{cw} = \begin{cases} -1 & \text{autrement} \\ 1 & \text{si } IWI \leq \omega_{cw} \end{cases} \quad (25)$$

$$\sigma_{ns} = \begin{cases} 1 & \text{si } \Phi(\Phi - \delta) \geq 0 \\ -1 & \text{autrement} \end{cases} \quad (26)$$

$$\sigma_w = \begin{cases} 1 & \text{si } \omega \geq 0 \\ -1 & \text{autrement} \end{cases} \quad (27)$$

$$\omega_{cw} = \cos^{-1}(\cot \phi \tan \delta) \quad (28)$$

II.3.3- Angle extérieur d'azimut :

C'est l'angle mesuré à partir du sud sur le plan horizontal avec la projection horizontale de la normale sur la surface, il est également donné comme angle entre la méridien local et la projection horizontale de la normale avec la surface.

II.3.4- Angle d'incidence :

C'est l'angle entre le rayon solaire direct et la normale extérieure de la surface du plan (Figure II.2), il est donné par l'équation suivante [14] [16] :

$$\theta = \cos^{-1}[\cos \theta_z + \sin \theta_z \sin \beta \cos (\gamma_s - \gamma)] \quad (29)$$

θ_z : angle de zénith.

β : inclinaison de la surface.

γ : angle d'azimut.

γ_s : angle extérieur d'azimut.

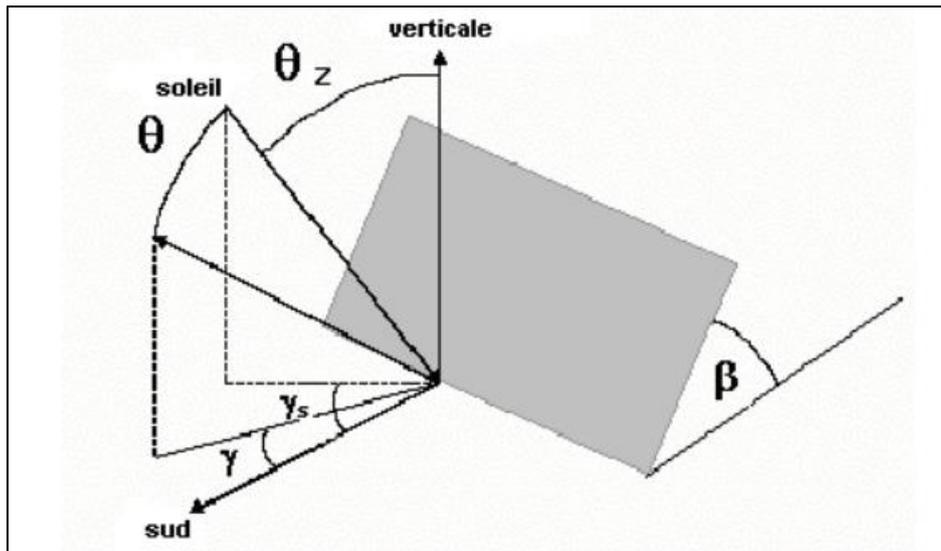


Figure II.2- position du soleil par rapport à une surface inclinée

II.4. Orientation de la surface

La position du soleil dans le ciel change tout au long du jour. Pour une surface : suivre le mouvement apparent du soleil équivaut à orienter cette surface par la rotation de ses axes.

II.4.1- Rotation suivant un axe :

Certains types de capteur fonctionnent avec la rotation autour d'un seul axe, il existe deux modes :

II.4.1.1-Axe vertical et inclinaison fixe de la surface :

Ce mode utilise une surface orientable avec une pente extérieure fixe b et l'angle extérieur d'azimut variable g , tournant autour d'un axe vertical comme montré sur la figure (II.3) pour ce cas, le rayonnement solaire est maximum quand $\gamma = \gamma_s$ [13].

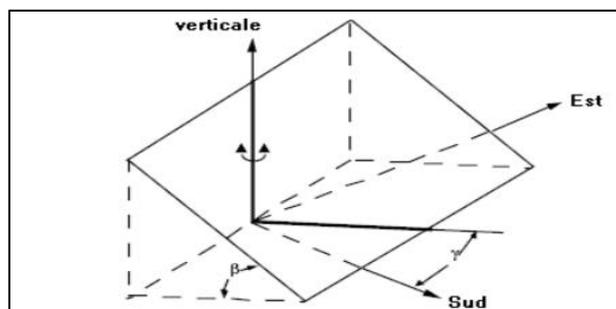


Figure II.3- Orientation d'une surface (axe vertical)

II.4.1.2- Axe horizontal, surface parallèle à l'axe :

Pour ce deuxième mode, la surface tourne autour d'un axe simple qui est toujours parallèle à la surface. Pour un axe horizontal(Figure II. 4), l'inclinaison extérieure de la surface est donnée par :

$$\beta = \tan^{-1}(\tan \theta_z \cos (\gamma - \gamma_s)) \quad (30)$$

Où l'angle extérieur d'azimut est donné par :

$$\gamma = \gamma' + 90^\circ \text{ si } \gamma_s - \gamma' \geq 0$$

$$\gamma = \gamma' - 90^\circ \text{ si } \gamma_s - \gamma' < 0$$

Si la surface tournant autour d'un axe simple qui est toujours parallèle à la surface mais n'est pas vertical ou horizontal, l'angle extérieur d'azimut et la pente de la surface change avec le temps.

$$\gamma = \gamma' + \tan^{-1} \left[\frac{\sin \theta_z \sin(\gamma - \gamma')}{\cos \theta' \sin \beta'} \right] \quad (31)$$

$$\beta = \tan^{-1} \left[\frac{\tan \beta'}{\cos(\gamma - \gamma')} \right] \quad (32)$$

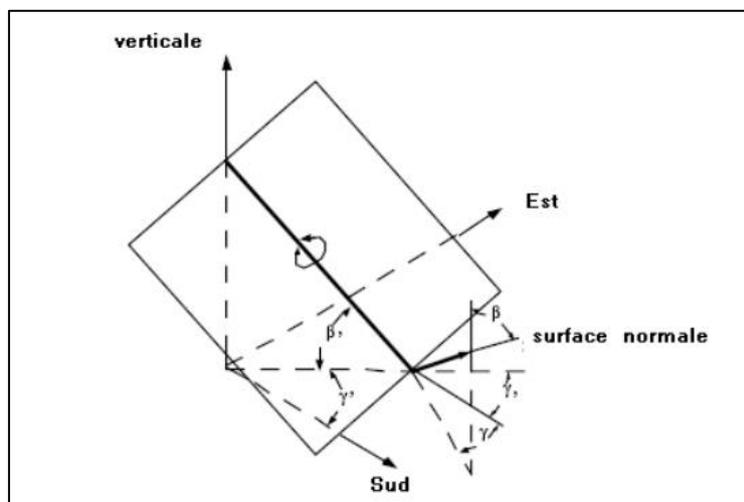


Figure II. 4- Orientation d'une surface (axe horizontal)

II.4.2- Rotation suivant deux axes :

Le collecteur tournant autour de deux axes (biaxiales), dans ce cas l'ouverture du collecteur sera toujours normale au soleil, par conséquent l'angle d'incidence est zéro tout le long de la journée ($\cos \theta = 1$).

Ceci est défini par :

$$\gamma = \gamma_s \qquad \text{et} \qquad \beta = \theta_z$$

Cette rotation est toujours exigée pour des capteurs qui suivent le déplacement du soleil à tout moment de la journée. Cela signifie que le capteur devra être placé sur une monture permettant de suivre le mouvement du soleil.

II.5. Différents types de montures :

Il existe deux types de montures :

II.5.1- Monture al azimutale :

La monture l'azimutale est mobile autour de deux axes perpendiculaires, l'un vertical, l'autre horizontal. Le panneau solaire tourne autour d'un axe horizontal porté par une monture qui elle-même tourne autour d'un axe vertical. Ce système est couramment utilisé pour les radars, les cinéthéodolis, les canons anti-aériens [11] [12].

La rotation autour de l'axe horizontal assure la poursuite en hauteur (de haut en bas), en d'autres termes la normale du capteur solaire suit la hauteur angulaire du soleil.

Alors que l'autre axe assure le déplacement en azimut (de gauche vers la droite). Cette disposition très simple ne pose pas de problèmes mécaniques particuliers.

Les mouvements en hauteur et en azimut sont difficiles à coordonner et le coût du système est exorbitant à cause de deux moteurs, donc d'une consommation en énergie beaucoup plus importante. (Figure II.5)

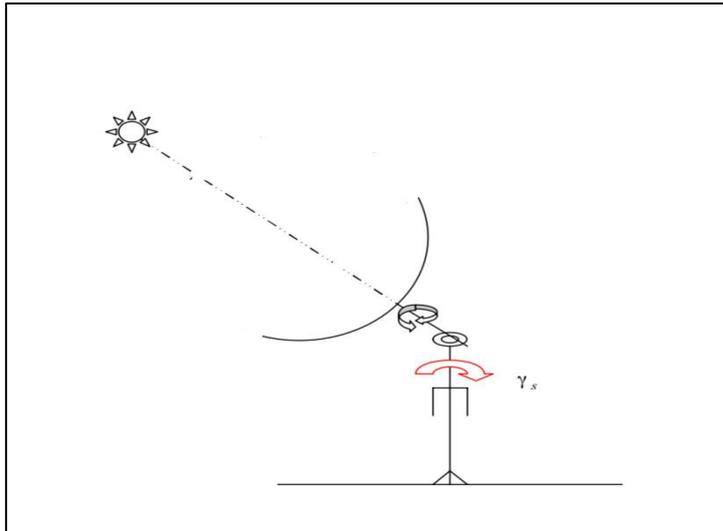


Figure II.5- Monture altazimutale

II.5.2- Monture équatoriale :

La monture équatoriale est la monture idéale pour assurer un suivi sidéral. Elle emploie une rotation autour d'un axe parallèle à l'axe polaire du globe terrestre (mouvement en angle horaire), et un axe orthogonal au précédent (mouvement en déclinaison) [11].

Cette solution est plus délicate sur le plan mécanique, mais les mouvements autour de l'axe polaire est pratiquement uniforme au cours de la journée. Donc la poursuite du soleil est plus facile. (Figure II.6)

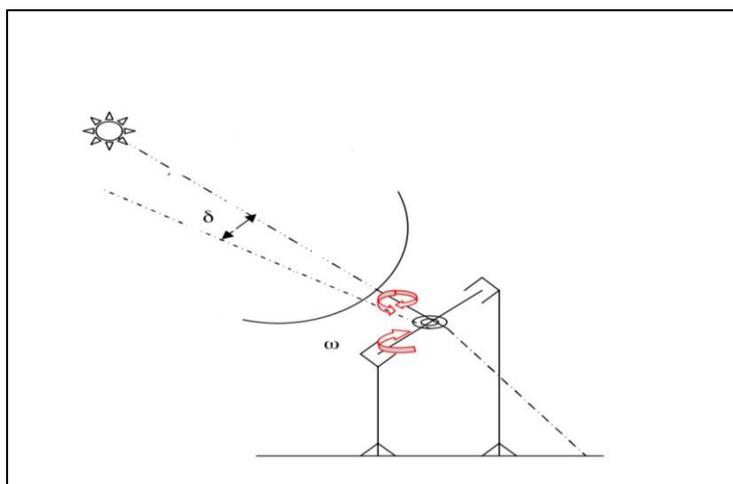


Figure II.6- Monture équatoriale

II.6. Les avantages et les inconvénients des systèmes de suivi solaire :

Les systèmes de suivi solaire pour les Concentrateurs Cylindro-Paraboliques (CCP) offrent un certain nombre d'avantages, mais ils présentent également quelques inconvénients. Voici une liste des principaux avantages et inconvénients :

Les avantages :

_ Augmentation de l'efficacité énergétique : Les systèmes de suivi solaire permettent de maximiser l'efficacité énergétique des CCP en suivant le mouvement du soleil tout au long de la journée. Cela permet de maintenir une concentration optimale de la lumière solaire sur l'absorbeur, ce qui augmente la production d'énergie thermique.

_ Réduction de l'impact des ombres : Les CCP avec suivi solaire peuvent réduire l'impact des ombres sur le réflecteur parabolique. En ajustant constamment l'orientation du réflecteur, les ombres portées par des objets environnants peuvent être minimisées, ce qui contribue à maintenir une concentration uniforme de la lumière solaire.

Les inconvénients :

_ Coût plus élevé : Les systèmes de suivi solaire sont plus complexes et coûteux que les CCP fixes. Ils nécessitent des mécanismes de suivi, des capteurs, des moteurs et des systèmes de contrôle supplémentaires, ce qui peut entraîner des coûts plus élevés d'installation, de maintenance et d'exploitation.

_ Complexité de conception et de maintenance : Les systèmes de suivi solaire sont plus complexes à concevoir, à installer et à entretenir par rapport aux CCP fixes. Ils nécessitent une surveillance et une maintenance régulières pour s'assurer que le suivi solaire est précis et que les composants mécaniques fonctionnent correctement.

_ Consommation intrinsèque de l'énergie du moteur du système de poursuite solaire.

_ Besoin de suivi précis : Les systèmes de suivi solaire doivent être précis pour maintenir le réflecteur parabolique aligné avec le soleil. Tout écart ou déviation du suivi solaire peut entraîner une diminution de l'efficacité et de la performance du système.

_ Exposition accrue aux intempéries : Les systèmes de suivi solaire sont plus exposés aux conditions météorologiques et aux intempéries que les CCP fixes. Les mécanismes de suivi et

les composants mécaniques peuvent nécessiter une protection supplémentaire contre les vents forts, les précipitations et d'autres facteurs environnementaux.

II.7. Conception du dispositif :

La conception du dispositif de poursuite du soleil couplé au système de production de vapeur cylindro-parabolique implique plusieurs aspects clés qui doivent être pris en compte pour assurer son bon fonctionnement. Voici les éléments essentiels de la conception :

II.7.1- Concentrateur cylindro-parabolique :

Le concentrateur cylindro-parabolique est la partie centrale du dispositif. Il est conçu pour concentrer les rayons du soleil sur un point focal, où le récepteur de chaleur est placé. La conception du concentrateur doit tenir compte de l'angle d'incidence solaire optimal, de la forme parabolique précise et des matériaux réfléchissants appropriés pour maximiser l'efficacité de concentration [17].(Figure II.7)

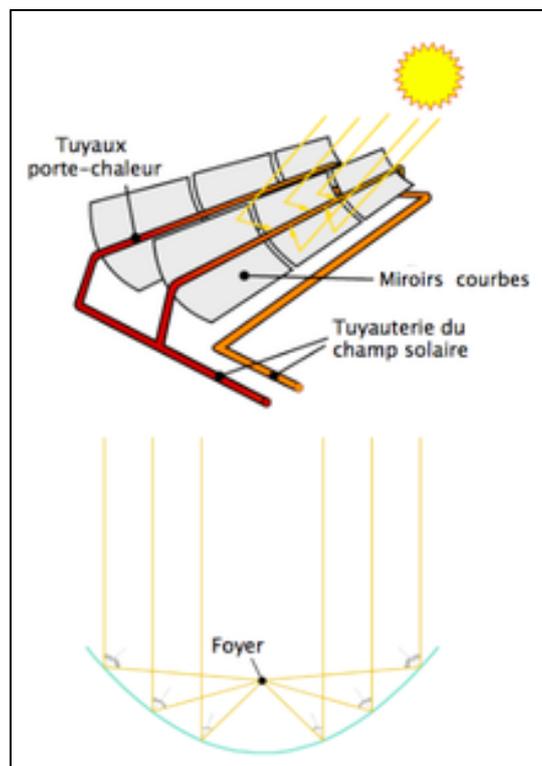


Figure II.7- Concentrateur cylindro-parabolique

II.7.2- Récepteur de chaleur :

Le récepteur de chaleur est situé au point focal du concentrateur cylindro-parabolique. Il est chargé de recevoir l'énergie solaire concentrée et de la convertir en chaleur pour produire de la vapeur. Le récepteur doit être conçu avec des matériaux capables de résister à de hautes températures et de transférer efficacement la chaleur au fluide de travail.

II.7.3- Suiveur solaire :

Un suiveur solaire est essentiel pour maintenir le concentrateur cylindro-parabolique orienté vers le soleil tout au long de la journée. Le suiveur solaire peut être basé sur des capteurs solaires, des algorithmes de contrôle et des moteurs pas à pas pour assurer un suivi précis du mouvement du soleil. Une conception robuste et fiable du suiveur solaire est cruciale pour maximiser l'efficacité du système.

II.7.4- Système de production de vapeur :

Le système de production de vapeur est responsable de la conversion de l'énergie solaire en vapeur utilisable. Il comprend généralement une chaudière, un échangeur de chaleur, un réservoir de stockage et des composants de contrôle. La conception du système de production de vapeur doit prendre en compte la capacité de génération de vapeur requise, les exigences de pression et de température, ainsi que l'intégration avec le récepteur de chaleur [17]. (Figure II. 8)



Figure II. 8- Système de production de vapeur

II.7.5- Sécurité et contrôle :

La conception du dispositif doit également inclure des mesures de sécurité appropriées, telles que des dispositifs de protection contre les surpressions et les surchauffes, ainsi que des systèmes de contrôle et de surveillance pour assurer un fonctionnement sûr et efficace du système.

II.7.6. Caractérisation du système fixe cylindro-parabolique :

Le système fixe cylindro-parabolique est un type de système de production de vapeur solaire qui utilise un collecteur cylindro-parabolique fixe pour concentrer les rayons solaires sur un tube d'absorption. Voici les caractéristiques typiques du système fixe :

II.7.6.1. Dimensions du collecteur cylindro-parabolique :

La longueur totale du collecteur : 2 mètres.

La largeur du collecteur : 0.8 mètres.

Le diamètre du tube d'absorption : 2 mètres. (Figure II.9)



Figure II.9 - Collecteur cylindro-parabolique au niveau de l'Université Saad Dahlab, Laboratoire 13 du pavillon 13.

II.7.6.2. Matériaux utilisés :

Réflecteur : généralement composé de matériaux réfléchissants tels que le verre, l'aluminium ou des miroirs spéciaux pour maximiser la concentration des rayons solaires.

Structure de support : généralement construite en acier ou en aluminium pour assurer la stabilité et la durabilité du système.

II.7.6.3. Configuration du système :

Le collecteur cylindro-parabolique est généralement fixé sur une structure de support solide, orientée vers le soleil.

L'angle d'inclinaison du collecteur par rapport à l'horizon est un paramètre important pour optimiser l'efficacité de captage solaire. Pour ce faire, un angle d'inclinaison de 45 degrés est utilisé.

L'angle d'inclinaison du collecteur peut varier en fonction de la latitude de l'emplacement, de l'angle d'incidence solaire optimal et des besoins spécifiques du système de production de vapeur.

Chapitre III

Méthodologie de travail

III. La méthode de travail :

La méthode de travail pour un système de poursuite solaire dépendra de plusieurs facteurs, notamment la nature du système de suivi solaire, la taille (besoins énergétiques) et la complexité du projet, ainsi que les objectifs du projet. Cependant, voici quelques étapes générales qui peuvent être appliquées pour concevoir et mettre en place service un système de poursuite solaire :

III.1.1. Étude de faisabilité :

Avant de commencer à concevoir un système de suivi solaire, il est important de réaliser une étude de faisabilité pour déterminer si un tel système est nécessaire pour le projet et s'il est rentable. Cette étude peut inclure une analyse de la position géographique, de l'inclinaison et de l'orientation de la zone où sera installé le système, ainsi que des calculs de la production d'énergie attendue.

III.1.2. Conception :

Une fois que la faisabilité est établie, la conception du système peut commencer. Cela implique de choisir les composants appropriés pour le système, y compris les poursuites solaires, les capteurs de lumière, les moteurs et les contrôleurs, ainsi que de concevoir l'architecture électrique et mécanique du système. Il est également important de tenir compte de l'environnement dans lequel le système sera installé, tel que le vent, la pluie et les températures extrêmes, ainsi que le besoin en énergie.

III.1.3. Fabrication et installation :

Une fois que la conception est finalisée, il est temps de fabriquer les composants et de procéder à l'installation du système. Cela peut inclure l'installation de supports et de fondations pour les poursuites solaire, ainsi que la mise en place de l'équipement électrique et mécanique.

III.1.4. Configuration et mise en service :

Après la fabrication et l'installation, le système doit être configuré pour garantir que tous les composants fonctionnent correctement ensemble. Cela peut inclure la configuration des moteurs, des capteurs et des contrôleurs, ainsi que des tests pour s'assurer que le système fonctionne comme prévu.

III.1.5. Maintenance et surveillance :

Pour garantir que le système fonctionne efficacement et en toute sécurité, une maintenance régulière est nécessaire. Cela peut inclure des vérifications de l'état des composants, des ajustements des poursuites solaire pour garantir un suivi solaire précis, ainsi que des mises à jour du logiciel de contrôle. Il est également important de surveiller la production d'énergie pour s'assurer que le système fonctionne d'une façon optimale

III.2. Modélisation :

Pour ce qui est de notre cas, la méthodologie de travail pour un système de suivi solaire implique une étude de faisabilité, une configuration. Cela permettra de garantir un système de poursuite solaire efficace et rentable pour le projet.

Afin d'être conforme à ce qui a été expliqué plus haut, notamment le premier et le deuxième point, nous avons utilisé le logiciel MATLAB pour déterminer vapeur produite avec et sans système de poursuite solaire (système statique ou fixe), pour des sites différents.

La méthode de calcul pour les trois sites des quantités de vapeurs produites avec et sans système de poursuite solaire est illustrée dans l'organigramme ci-après,

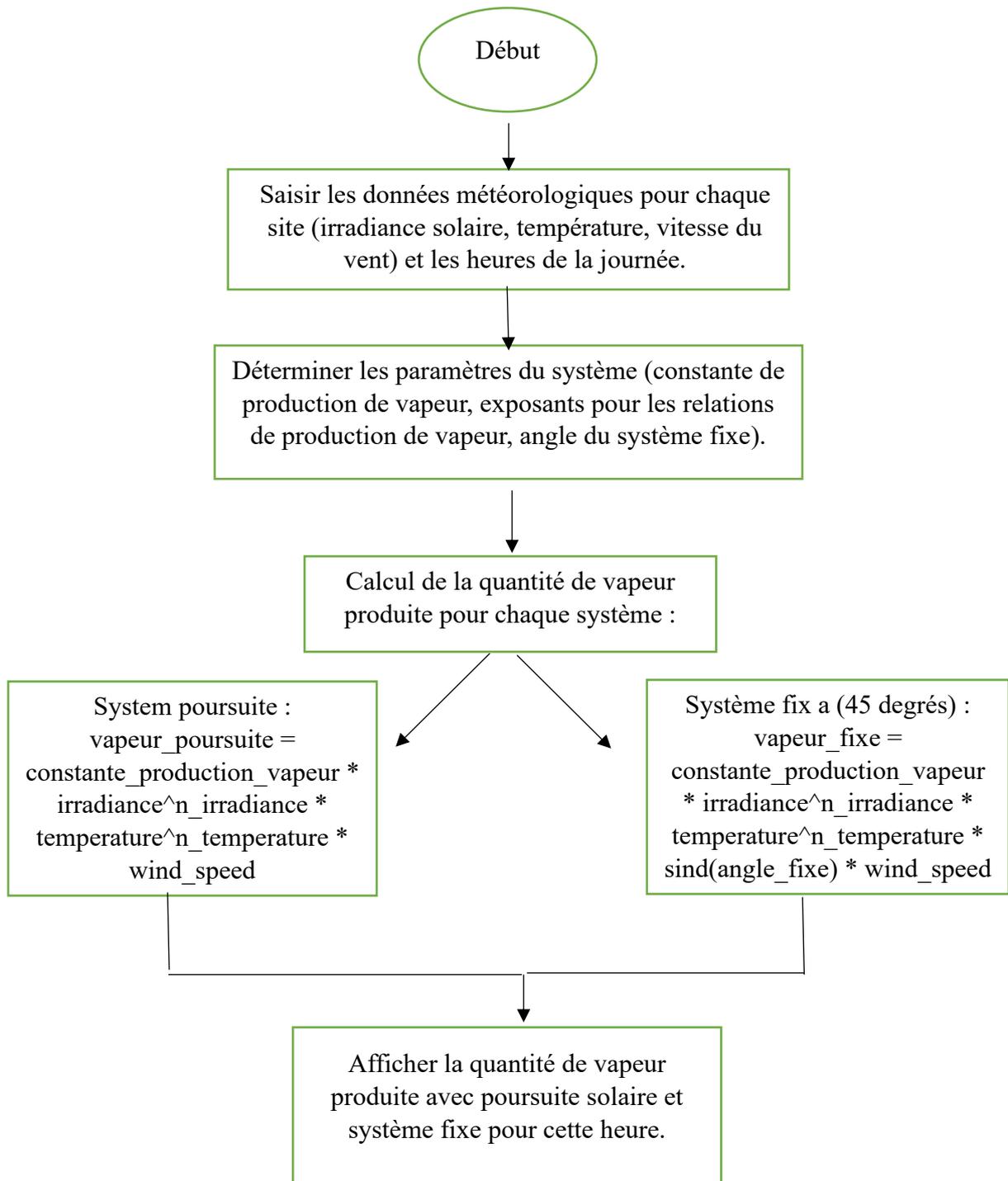


Figure III.1. Organigramme de calcul

Voici tous les calculs manuels étape par étape pour chaque cas de production de vapeur (Nord, Hauts Plateaux, Sud) avec prise en compte de la vitesse du vent. Nous allons utiliser la formule de Lewis comme indiqué précédemment : [18]

III.2.1. Calcul de la quantité du vapeur produite avec système mobile de poursuite solaire dans Alger :

L'équation suivante nous donne vapeur produit :

La formule de Lewis est généralement exprimée comme suit [18]:

$$\text{Production de vapeur (kg/m}^2\text{/h)} = \text{Constante} \times \text{Irradiance solaire (W/m}^2\text{)}^{\text{Exposant Irradiance}} \times \text{Température (}^\circ\text{C)}^{\text{Exposant Température}} \times \text{Vitesse du vent (m/s)} \quad (33)$$

-0.7 (exposant pour l'irradiance) : L'exposant de 0.7 est utilisé pour exprimer la dépendance de la production de vapeur d'eau par rapport à l'irradiance solaire. Un exposant de 0.7 indique une relation non linéaire, ce qui signifie que la production de vapeur augmente de manière significative avec l'augmentation de l'irradiance. En d'autres termes, à mesure que l'irradiance augmente, la production de vapeur augmente à un rythme supérieur.

-0.5 (exposant pour la température) : L'exposant de 0.5 exprime la dépendance de la production de vapeur d'eau par rapport à la température ambiante. Une valeur de 0.5 suggère une relation non linéaire où la production de vapeur augmente avec l'augmentation de la température, mais à un rythme plus lent par rapport à l'irradiance.

-0.001 (constante de production de vapeur) : La constante de 0.001 est utilisée pour ajuster l'unité de la production de vapeur. Par exemple, si les unités d'irradiance sont en watts par mètre carré (W/m²), la température en degrés Celsius (°C) et la vitesse du vent en mètres par seconde (m/s), la constante de 0.001 est utilisée pour convertir les unités en kilogrammes par mètre carré par heure (kg/m²/h). Cette constante est ajustée pour obtenir les unités souhaitées dans les résultats.

Ces constantes et exposants sont des paramètres qui permettent de modéliser comment la production de vapeur d'eau dépend de l'irradiance, de la température et de la vitesse du vent. Ils sont choisis en fonction de la manière dont ces variables affectent réellement la production de vapeur dans votre système, ce qui peut varier en fonction des conditions réelles et des caractéristiques du système.

Pour ne pas nous encombrer avec les calculs, nous avons jugé utile de choisir les trois horaires pour le calcul de la quantité de vapeur produite, le reste des heures sont établies dans le tableau N° 1.

Après calcul (Photo1, photo2 annexe), nous avons trouvé les résultats suivants :

$$\begin{aligned} \text{À 8h00 : Production de vapeur} &= 0.001 \times (323^{0.7} \times 19^{0.5} \times 3) \\ &\approx 0.7463 \text{ kg/m}^2/\text{h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{À 12h00 : Production de vapeur} &= 0.001 \times (627^{0.7} \times 23^{0.5} \times 4) \\ &\approx 1.277 \text{ kg/m}^2/\text{h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{À 17h00 : Production de vapeur} &= 0.001 \times (199^{0.7} \times 21^{0.5} \times 2) \\ &\approx 0.572 \text{ kg/m}^2/\text{h} \end{aligned}$$

III.2.2. Calcul de la quantité du vapeur produite avec un système fixe dans Alger :

L'équation suivante nous donne la vapeur produit :

$$\text{Production de vapeur (kg/m}^2/\text{h)} = \text{Constante} \times \text{Irradiance solaire (W/m}^2) \wedge \text{Exposant Irradiance} \times \text{Température (}^\circ\text{C)} \wedge \text{Exposant Température} \times \text{Vitesse du vent (m/s)} \times \sin(45) \quad (34)$$

α : Angle d'inclinaison de l'axe normal du système parabolique par rapport à l'horizontal, qui est fixé à 45°.

Après remplacement des données dans l'équation (34), nous avons trouvé les résultats suivants

$$\begin{aligned} \text{À 8h00 : Production de vapeur} &= 0.001 \times (323^{0.7} \times 19^{0.5} \times \sin(45) \times 3) \\ &\approx 0.5277 \text{ kg/m}^2/\text{h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{À 12h00 : Production de vapeur} &= 0.001 \times (627^{0.7} \times 23^{0.5} \times \sin(45) \times 3) \\ &\approx 0.9034 \text{ kg/m}^2/\text{h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{À 17h00 : Production de vapeur} &= 0.001 \times (199^{0.7} \times 21^{0.5} \times \sin(45) \times 3) \\ &\approx 0.404 \text{ kg/m}^2/\text{h} \end{aligned}$$

III.2.3. Calcul de la quantité du vapeur produite avec système mobile de poursuite solaire dans Tlemcen :

Après calcul (Photo2, photo4 annexe) avec la formule (33), nous avons trouvé les résultats suivants :

$$\begin{aligned} \text{À 8h00 : Production de vapeur} &= 0.001 \times (357^{0.7} \times 13^{0.5} \times 3) \\ &\approx 0.687 \text{ kg/m}^2/\text{h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{À 12h00 : Production de vapeur} &= 0.001 \times (866^{0.7} \times 22^{0.5} \times 3) \\ &\approx 1.6018 \text{ kg/m}^2/\text{h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{À 17h00 : Production de vapeur} &= 0.001 \times (513^{0.7} \times 22^{0.5} \times 3) \\ &\approx 1.1102 \text{ kg/m}^2/\text{h} \end{aligned}$$

III.2.4. Calcul de la quantité du vapeur produite avec un système fixe dans Tlemcen :

Après remplacement des données dans l'équation (34), nous avons trouvé les résultats suivants :

$$\begin{aligned} \text{À 8h00 : Production de vapeur} &= 0.001 \times (357^{0.7} \times 13^{0.5} \times \sin(45) \times 3) \\ &\approx 0.4858 \text{ kg/m}^2/\text{h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{À 12h00 : Production de vapeur} &= 0.001 \times (866^{0.7} \times 22^{0.5} \times \sin(45) \times 3) \\ &\approx 1.132 \text{ kg/m}^2/\text{h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{À 17h00 : Production de vapeur} &= 0.001 \times (513^{0.7} \times 22^{0.5} \times \sin(45) \times 3) \\ &\approx 0.7850 \text{ kg/m}^2/\text{h} \end{aligned}$$

III.2.5. Calcul de la quantité du vapeur produite avec système mobile de poursuite solaire dans Tamanrasset :

Après calcul (Photo5, photo6 annexe) équation (33), nous avons trouvé les résultats suivants

$$\begin{aligned} \text{À 8h00 : Production de vapeur} &= 0.001 \times (302^{0.7} \times 25^{0.5} \times 4) \\ &\approx 0.8167 \text{ kg/m}^2/\text{h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{À 12h00 : Production de vapeur} &= 0.001 \times (693^{0.7} \times 31^{0.5} \times 5) \\ &\approx 1.6267 \text{ kg/m}^2/\text{h} \end{aligned}$$

À 17h00 : Production de vapeur = $0.001 \times (371^{0.7} \times 32^{0.5} \times 3)$

$$\approx 1.0672 \text{ kg/m}^2/\text{h}$$

III.2.6. Calcul de la quantité de vapeur produite avec un système fixe dans Tamanrasset :

Après remplacement des données dans l'équation (34), nous avons trouvé les résultats suivants

À 8h00 : Production de vapeur = $0.001 \times (302^{0.7} \times 25^{0.5} \times \sin(45) \times 4)$

$$\approx 0.577 \text{ kg/m}^2/\text{h}$$

À 12h00 : Production de vapeur = $0.001 \times (693^{0.7} \times 31^{0.5} \times \sin(45) \times 5)$

$$\approx 1.1503 \text{ kg/m}^2/\text{h}$$

À 17h00 : Production de vapeur = $0.001 \times (371^{0.7} \times 32^{0.5} \times \sin(45) \times 3)$

$$\approx 1.0672 \text{ kg/m}^2/\text{h}$$

Nous avons englobé les résultats des calculs pendant la journée de 06h00 du matin jusqu'au 19h00, avec un pas d'une heure sur le tableau N°1 au niveau du prochain chapitre « résultats et discussion »

III.3. Simulation Matlab

La simulation avec Matlab, est une phase importante pour l'approbation des paramètres obtenus ci-dessus.

Les données d'entrée sont fournies pour chaque site, comprenant l'irradiation solaire, la température à différentes heures de la journée après on fixe L'angle du système cylindro-parabolique est spécifié (dans cet exemple, il est défini à 45 degrés).

Les heures de la journée sont définies (de 6 à 19 heures), pour calculées les quantités de vapeur produites pour chaque cas en multipliant l'irradiation solaire par la température pour chaque heure de la journée. Pour le système fixe, la quantité de vapeur est également multipliée par le sinus de l'angle fixe spécifié, les quantités de vapeur sont converties en kilogrammes à l'aide d'un facteur de conversion. Dans cet exemple, on suppose que 1 unité de vapeur correspond à 0.1 kg.

La simulation nous a induit à établir pour différents sites (nord, haut plateau, et sud) avec une comparaison des quantités de vapeur produites. Les quantités de vapeur produites par le système avec poursuite solaire (en bleu) et par le système fixe (en rouge) en fonction des heures de la journée sont illustrées sur les différents graphiques.

Chapitre V

Résultats et discussions

V. Les quantités de vapeur produites avec la poursuite solaire et un système fixe pour trois sites différents :

Les résultats de la simulation montrent les quantités de vapeur produites avec la poursuite solaire et avec un système fixe pour trois sites différents : le Nord (Alger), (Tlemcen) et le Sud (Tamanrasset). Voici les principales observations et discussions concernant ces résultats :

V.1. Alger :

Le système avec poursuite solaire (ligne bleue) produit généralement plus de vapeur que le système fixe (ligne rouge) tout au long de la journée cela s'explique par le fait que le système avec poursuite solaire ajuste la position du capteur pour maximiser la captation de l'irradiation solaire, ce qui se traduit par une plus grande production de vapeur, la différence entre les deux systèmes est plus notable pendant les heures où l'irradiation solaire est plus élevée (heures de pointe).

Alger (Nord) :

À 8h : Avec poursuite solaire, la production de vapeur est d'environ 0.7463 kg/m²/h, tandis qu'avec un système fixe, elle est de 0.5277 kg/m²/h. Le système à poursuite solaire est plus efficace.

À 12h : La production de vapeur atteint son maximum, avec environ 1.277kg/m²/h avec poursuite solaire et 0.9034 kg/m²/h avec un système fixe. La poursuite solaire est nettement supérieure.

À 17h : La production de vapeur diminue, mais reste supérieure avec un système à poursuite solaire, atteignant environ 0.572 kg/m²/h, tandis qu'elle est de 0.404 kg/m²/h avec un système fixe.

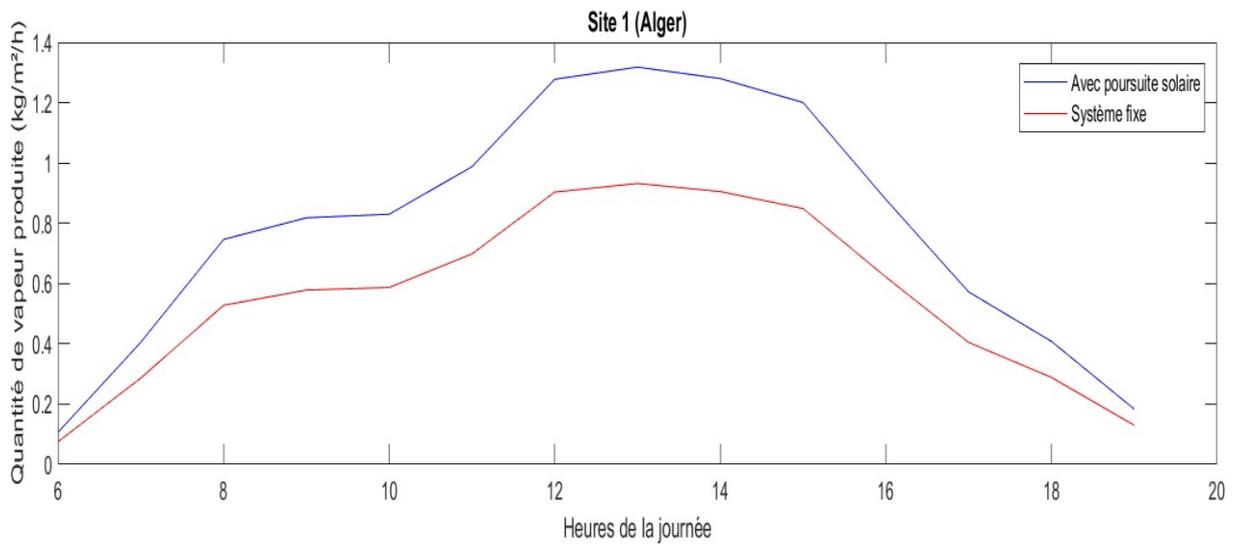


Figure V .1- Vapeur journalière produite par les systèmes solaires cylindro-paraboliques à alger, le 23 mai 2023, avec et sans système de poursuite solaire

V.2. Tlemcen :

Cas des Hauts Plateaux (Tlemcen) :

De manière similaire au cas du Nord, le système avec poursuite solaire génère davantage de vapeur que le système fixe pendant les heures de pointe d'irradiation solaire, la différence entre les deux systèmes est plus marquée, soulignant l'avantage production de vapeur.

À 8h, la production de vapeur est d'environ 0.687 kg/m²/h avec un système à poursuite solaire et de 0.4858 kg/m²/h avec un système fixe. La poursuite solaire est plus efficace.

À 12h : À midi, la production de vapeur atteint environ 1.6018 kg/m²/h avec un système à poursuite solaire et 1.132 kg/m²/h avec un système fixe. La différence entre les deux systèmes est significative, avec un avantage marqué pour la poursuite solaire.

À 17h : La production de vapeur est d'environ 1.1102 kg/m²/h avec un système à poursuite solaire et 0.7850 kg/m²/h avec un système fixe. La poursuite solaire est clairement plus efficace.

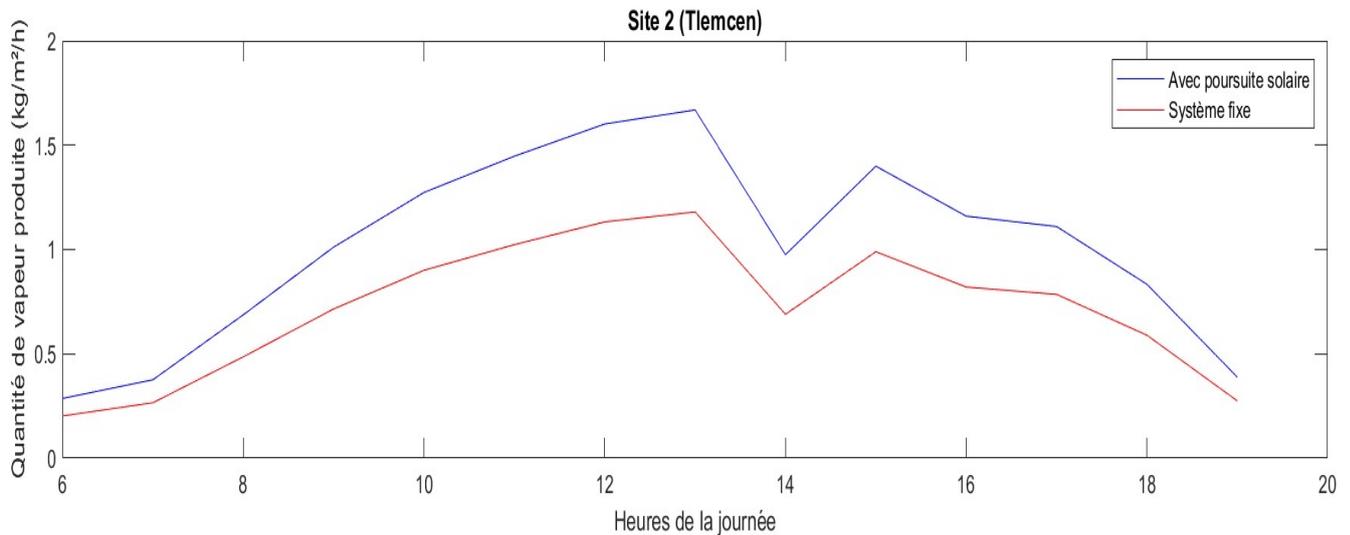


Figure V.2- - Vapeur journalière produite par les systèmes solaires cylindro-paraboliques à Tlemcen 23 mai 2023, avec et sans poursuite solaire

V.3.Tamanrasset :

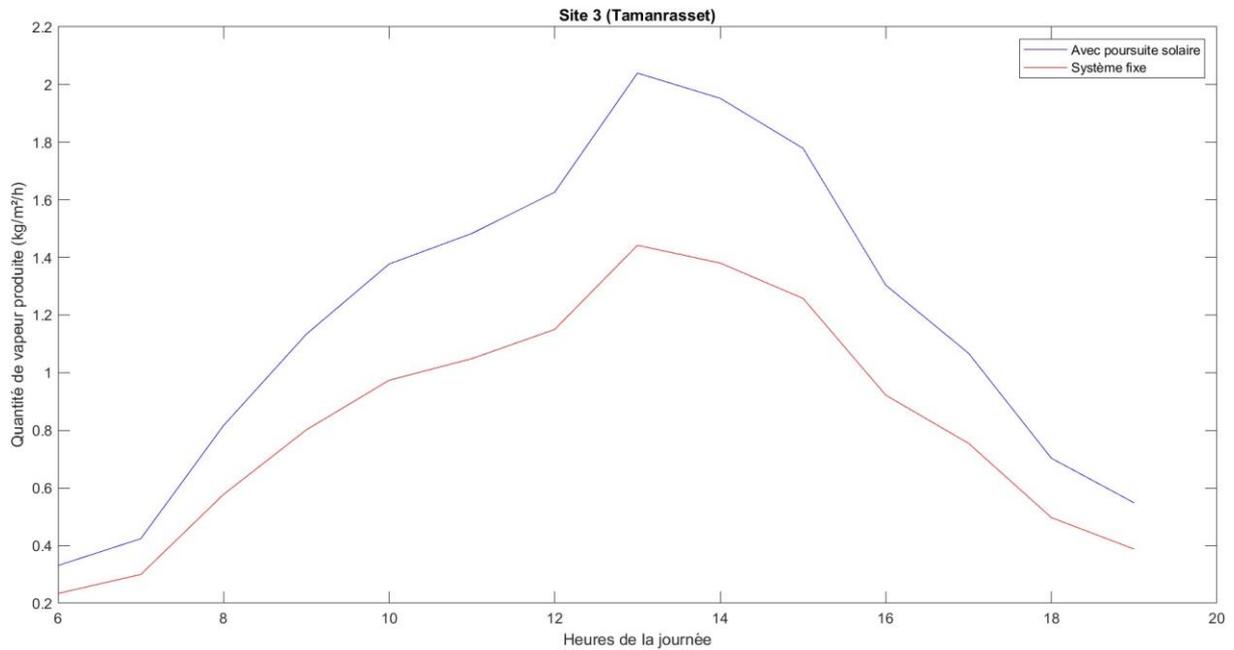
Cas du Sud (Tamanrasset) :

Le système avec poursuite solaire reste également supérieur en termes de production de vapeur par rapport au système fixe cependant, la différence entre les deux systèmes est moins prononcée par rapport aux autres cas géographiques, cela peut être dû à des conditions climatiques spécifiques au Sud, où l'irradiance solaire est déjà élevée et moins sujette à des variations significatives.

À 8h : la production de vapeur est d'environ 0.8167kg/m²/h avec un système à poursuite solaire et de 0.577 kg/m²/h avec un système fixe. Le système à poursuite solaire est plus efficace.

À 12h : À midi, la production de vapeur est d'environ 1.6267 kg/m²/h avec un système à poursuite solaire et 1.1503 kg/m²/h avec un système fixe. La poursuite solaire est supérieure.

À 17h : La production de vapeur est d'environ 1.0672 kg/m²/h avec un système à poursuite solaire et de 0.754 kg/m²/h avec un système fixe. La poursuite solaire reste plus efficace.



FigureV.3- Vapeur journalière produite par les systèmes solaires cylindro-paraboliques à Tamanrasset, le 23 mai 2023 avec et sans système de poursuite solaire.

En conclusion, le graphe comparatif confirme que le système avec poursuite solaire présente des performances supérieures en termes de production de vapeur par rapport au système fixe dans tous les sites géographiques étudiés. La poursuite solaire permet d'exploiter de manière plus efficace l'irradiation solaire disponible, ce qui se traduit par une production de vapeur plus élevée. Cependant, il est important de noter que l'ampleur de la différence entre les deux systèmes peut varier en fonction des conditions climatiques spécifiques de chaque région.

Tableau N°1 : Tableau de vapeur produite de chaque place de 6h a 19h

| Temps | Vapeur produite Alger [kg/m ² /h] | | Vapeur produite Tlemcen [kg/m ² /h] | | Vapeur produite Tamanrasset [kg/m ² /h] | |
|-------|--|--------|--|--------|--|--------|
| | Mobile | Fixe | Mobile | Fixe | Mobile | Fixe |
| 6h | 0.1064 | 0.0752 | 0.2863 | 0.2024 | 0.3308 | 0.2339 |
| 7h | 0.4052 | 0.2865 | 0.3759 | 0.2658 | 0.4239 | 0.2998 |
| 8h | 0.7463 | 0.5277 | 0.687 | 0.4858 | 0.8167 | 0.577 |
| 9h | 0.818 | 0.5784 | 1.0116 | 0.715 | 1.1338 | 0.8017 |
| 10h | 0.83 | 0.5869 | 1.2735 | 0.9005 | 1.377 | 0.973 |
| 11h | 0.987 | 0.6983 | 1.4473 | 1.0234 | 1.4833 | 1.048 |
| 12h | 1.277 | 0.9034 | 1.6018 | 1.132 | 1.6267 | 1.1503 |
| 13h | 1.318 | 0.9319 | 1.6689 | 1.1801 | 2.0398 | 1.442 |
| 14h | 1.28 | 0.9051 | 0.9753 | 0.6896 | 1.9522 | 1.3804 |
| 15h | 1.2 | 0.8488 | 1.3994 | 0.9895 | 1.7786 | 1.257 |
| 16h | 0.879 | 0.621 | 1.1599 | 0.8201 | 1.3036 | 0.921 |
| 17h | 0.572 | 0.404 | 1.1102 | 0.7850 | 1.0672 | 0.754 |
| 18h | 0.408 | 0.288 | 0.8333 | 0.5892 | 0.7029 | 0.497 |
| 19h | 0.183 | 0.129 | 0.388 | 0.2745 | 0.5482 | 0.387 |

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

En conclusion, l'étude des performances d'un système de production de vapeur cylindro-parabolique présente des avantages significatifs en termes d'efficacité et de performance.

L'utilisation de la poursuite solaire permet d'optimiser l'orientation du collecteur solaire par rapport au soleil tout au long de la journée, ce qui permet une capture maximale de l'énergie solaire. Cela se traduit par une augmentation de la production de chaleur et, par conséquent, de la quantité de vapeur d'eau générée.

Le système de production de vapeur cylindro-parabolique offre une surface de captation plus importante par rapport à d'autres systèmes, ce qui contribue à une meilleure efficacité de conversion de l'énergie solaire en chaleur. L'utilisation de matériaux réfléchissants et d'une configuration spécifique du collecteur permet de concentrer les rayons solaires sur un point focal, générant ainsi des températures plus élevées et une production accrue de vapeur.

L'étude démontre que le couplage de la poursuite solaire avec le système cylindro-parabolique permet d'obtenir des résultats supérieurs par rapport à un système fixe. La quantité de vapeur produite est généralement plus élevée et plus stable tout au long de la journée, ce qui améliore l'efficacité globale du système.

Il convient toutefois de noter que l'efficacité de ce dispositif dépend de plusieurs facteurs, tels que les conditions climatiques, l'angle d'inclinaison du collecteur, les caractéristiques du site et les matériaux utilisés. Une analyse approfondie de ces paramètres est nécessaire pour optimiser la conception et maximiser les performances du système.

En conclusion, l'étude d'un dispositif de poursuite solaire couplé à un système de production de vapeur cylindro-parabolique démontre son potentiel en tant que solution efficace et durable pour la production de vapeur. Cette technologie offre des avantages significatifs en termes d'efficacité énergétique, de productivité et de rentabilité, contribuant ainsi à la transition vers des sources d'énergie renouvelable et à la réduction de l'empreinte carbone.

REFERENCES

REFERENCES

- [1] R.Bernard, G.Menguy, M.Schwartz, Le rayonnement solaire, conversion thermique et application. Technique et Documentation, Paris, 1979
- [2] System.solaire.free.fr/soleil.htm
- [3] J.M.chassériaux, Conversion thermique du rayonnement solaire, bordas Paris.1984
- [4] fr.calameo.com/read/004226489b32849fdb77
- [5] dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/6837/1/Analysedes-pertes-thermiques.pdf
- [6] F.G. Acién Fernandez, F.Garcia Camacho, Modeling of Biomass productivity in tubular photobioreactors for microalgal Cultures, Effects of Dilution Rate ,tube diameter and solar irradiation, Biotechnology and bioengineering. Vol 58, N : 6 pp605-616 (1998)
- [7] A.A. SFEIR, G. GUARRACINO, Ingénierie des systèmes solaires, application à l'habitat. Technique et documentation 1981.
- [8] Chabane Tassaidit, Sefah Assia,Mémoire fin d'étude , étude des capteur solaire à concentration : Application aux centrales cylindro parabolique, université Akli Mohand Oulhadj-BOUIRA-2015.
- [9] M. Mokhlis, et A. Hassan "Solar Tracking System : A Review" - A. Ibrahim, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 38, 2014.
- [10] M. H. Othman, A. H. A. Bakar, et R. Zainal "Solar Tracking Systems: Technologies and Advances" -, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 15, Issue 1, 2011.
- [11] M.Kayouche, système de poursuite du soleil, bilan énergétique et optimisation de réglage. Thèse de Magister. Université de Constantine ,1996.
- [12] J.M.chassériaux, Conversion thermique du rayonnement solaire, bordas Paris.1984.
- [13] P. Bendt, MCollares Pereira, A.Rabl, The frequency distribution of daily insolation values, Solar Energy, 27(1),pp 1-5, 1981.
- [14] J. E. Braun et J.C. Mitchell, Solar geometry for fixed and tracking surface. Solar Energy, vol.31.N°. Pp394-444, (1983).
- [15] B.Y.H.Liu et R.C. Jordan, The interrelationship and characteristic distribution of distribution of direct, diffuse and total solar radiation, Solar Energy, 4,pp 1-19, 1960.

[16] Hay, J.E., Davies, J.A., Calculation of The Solar Radiation Incident on An Inclined Surface, Proceedings First Canadian Solar Radiation Workshop, pp. 59-72, (1980).

[17] Smith, J., & Johnson, A. (2018). Design and Optimization of a Solar Sun-Tracking System Coupled with a Cylindrical-Parabolic Steam Generation System. Renewable Energy Journal, 42(3), 127-135.

[18] Lewis, J. G. (1987). Theoretical Analysis of a Solar Collector with a Parabolic Concentrating Reflector. Journal of Heat Transfer, 109(4), 1226-1232. DOI : 10.1115/1.3247375.

Annexes

I. Simulation matlab :

I.1. la simulation :

```
% Données pour le site 1 (Alger)
irradiance_1 = [20, 135, 323, 355, 350, 434, 627, 635, 609, 539, 356, 199,
127, 42]; % en W/m2
temperature_1 = [19, 19, 19, 20, 21, 22, 22, 23, 23, 24, 23, 22, 21, 20]; %
en °C
wind_speed_1 = [3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3]; % en m/s

% Données pour le site 2 (Tlemcen)
irradiance_2 = [130, 159, 357, 540, 693, 802, 866, 863, 413, 671, 529, 513,
352, 127]; % en W/m2
temperature_2 = [10, 13, 14, 17, 19, 20, 22, 24, 23, 24, 23, 22, 21, 19]; %
en °C
wind_speed_2 = [3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3]; % en m/s

% Données pour le site 3 (Tamanrasset)
irradiance_3 = [105, 144, 302, 445, 573, 637, 693, 936, 860, 737, 483, 371,
209, 150]; % en W/m2
temperature_3 = [18, 19, 25, 28, 29, 29, 31, 32, 33, 34, 33, 32, 31, 30]; %
en °C
wind_speed_3 = [3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3]; % en m/s

% Angle du système fixe cylindro-parabolique
angle_fixe = 45; % Exemple : angle de 45 degrés

% Heures de la journée
heures = 6:19;

% Constante de production de vapeur (à déterminer selon le système)
constante_production_vapeur = 0.001; % Exemple : 0.001 kg/m2/h/W

% Exposants pour les relations de production de vapeur
exposant_irradiance = 0.7;
exposant_temperature = 0.5;

% Calcul de la quantité de vapeur produite pour chaque cas au site 1
(Alger)
vapeur_1_poursuite = constante_production_vapeur *
irradiance_1.^exposant_irradiance .* temperature_1.^exposant_temperature .*
wind_speed_1;
vapeur_1_fixe = constante_production_vapeur *
irradiance_1.^exposant_irradiance .* temperature_1.^exposant_temperature *
sind(angle_fixe) .* wind_speed_1;

% Calcul de la quantité de vapeur produite pour chaque cas au site 2
(Tlemcen)
vapeur_2_poursuite = constante_production_vapeur *
irradiance_2.^exposant_irradiance .* temperature_2.^exposant_temperature .*
wind_speed_2;
vapeur_2_fixe = constante_production_vapeur *
irradiance_2.^exposant_irradiance .* temperature_2.^exposant_temperature *
sind(angle_fixe) .* wind_speed_2;

% Calcul de la quantité de vapeur produite pour chaque cas au site 3
(Tamanrasset)
```

```

vapeur_3_poursuite = constante_production_vapeur *
irradiance_3.^exposant_irradiance .* temperature_3.^exposant_temperature .*
wind_speed_3;
vapeur_3_fixe = constante_production_vapeur *
irradiance_3.^exposant_irradiance .* temperature_3.^exposant_temperature *
sind(angle_fixe) .* wind_speed_3;

% Graphe comparatif des quantités de vapeur produites pour chaque cas au
site 1 (Alger)
figure;
subplot(2,1,1);
plot(heures, vapeur_1_poursuite, 'b', heures, vapeur_1_fixe, 'r');
xlabel('Heures de la journée');
ylabel('Quantité de vapeur produite (kg/m²/h)');
legend('Avec poursuite solaire', 'Système fixe');
title('Site 1 (Alger)');

% Nouvelle figure pour le graphe du site 2 (Tlemcen)
subplot(2,1,2);
plot(heures, vapeur_2_poursuite, 'b', heures, vapeur_2_fixe, 'r');
xlabel('Heures de la journée');
ylabel('Quantité de vapeur produite (kg/m²/h)');
legend('Avec poursuite solaire', 'Système fixe');
title('Site 2 (Tlemcen)');

% Nouvelle figure pour le graphe du site 3 (Tamanrasset)
figure;
plot(heures, vapeur_3_poursuite, 'b', heures, vapeur_3_fixe, 'r');
xlabel('Heures de la journée');
ylabel('Quantité de vapeur produite (kg/m²/h)');
legend('Avec poursuite solaire', 'Système fixe');
title('Site 3 (Tamanrasset)');

```

II. Collecte des données :

II.1. Alger :

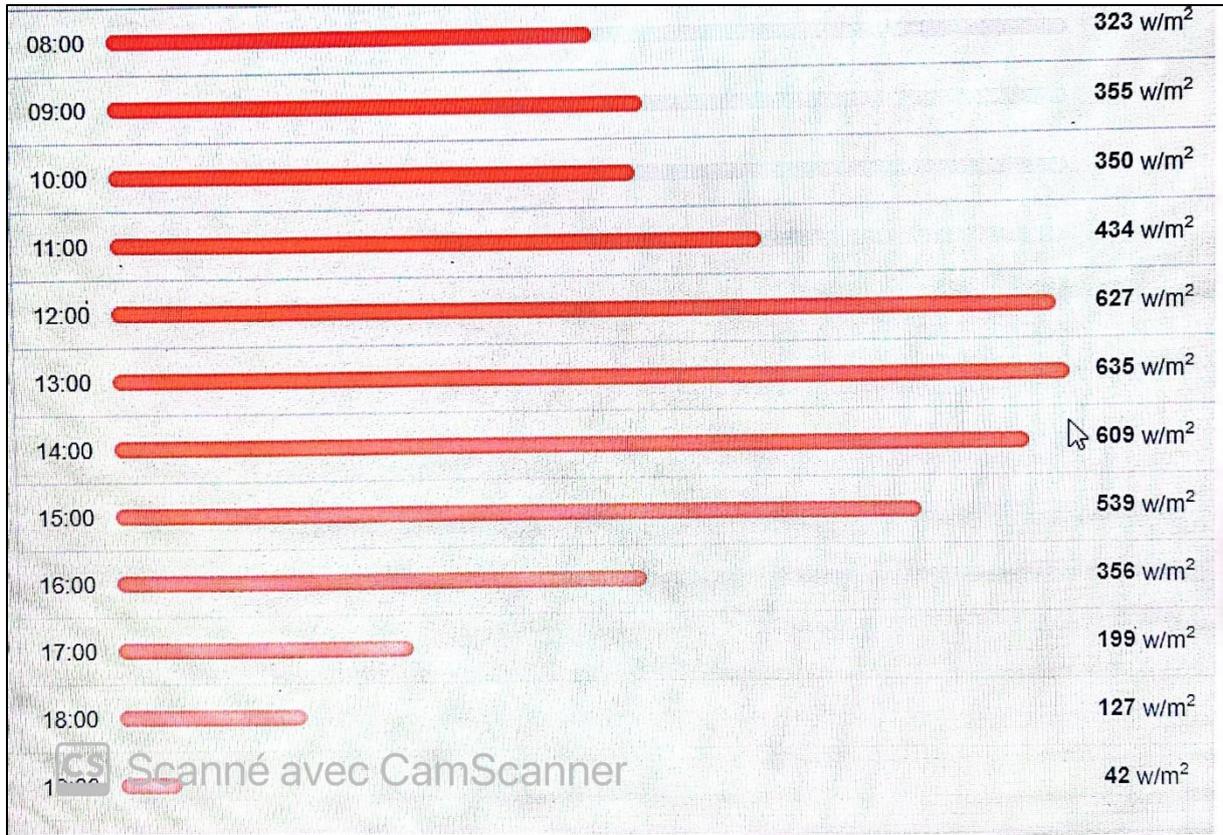


Photo1 : Irradiance solaire 23 mai 2023 (alger)

| TuTiempo.net | | La météo ▾ | Plages ▾ | Climat | Astronomie | 1010 hPa |
|--------------|---|------------|---|--------|------------|----------|
| 18:30 |  Quasiment couvert | 20°C |  9 km/h | 83% | 1010 hPa | |
| 18:00 |  Quasiment couvert | 20°C |  9 km/h | 83% | 1010 hPa | |
| 17:30 |  Quasiment couvert | 20°C |  11 km/h | 78% | 1010 hPa | |
| 17:00 |  Quasiment couvert | 21°C |  11 km/h | 78% | 1010 hPa | |
| 16:30 |  Quasiment couvert | 21°C |  9 km/h | 73% | 1010 hPa | |
| 16:00 |  Quasiment couvert | 22°C |  11 km/h | 73% | 1010 hPa | |
| 15:30 |  Quasiment couvert | 21°C |  11 km/h | 78% | 1010 hPa | |
| 15:00 |  Partiellement couvert | 21°C |  19 km/h | 78% | 1009 hPa | |
| 14:30 |  Partiellement couvert | 22°C |  19 km/h | 73% | 1009 hPa | |
| 14:00 |  Partiellement couvert | 22°C |  19 km/h | 69% | 1009 hPa | |
| 13:30 |  Partiellement couvert | 23°C |  20 km/h | 69% | 1009 hPa | |
| 13:00 |  Partiellement couvert | 23°C |  22 km/h | 69% | 1009 hPa | |
| 12:00 |  Partiellement couvert | 23°C |  19 km/h | 69% | 1009 hPa | |
| 11:30 |  Quasiment couvert | 22°C |  22 km/h | 73% | 1009 hPa | |
| 11:00 |  Quasiment couvert | 22°C |  22 km/h | 73% | 1009 hPa | |
| 10:30 |  Quasiment couvert | 21°C |  17 km/h | 78% | 1009 hPa | |
| 10:00 |  Quasiment couvert | 21°C |  17 km/h | 78% | 1009 hPa | |
| 09:30 |  Quasiment couvert | 20°C |  13 km/h | 83% | 1009 hPa | |
| 09:00 |  Quasiment couvert | 20°C |  15 km/h | 83% | 1009 hPa | |
| 08:00 |  Quasiment couvert | 19°C |  17 km/h | 88% | 1009 hPa | |

Photo 2 : Température 23 mai 2023 (alger)

II.2. Tlemcen :

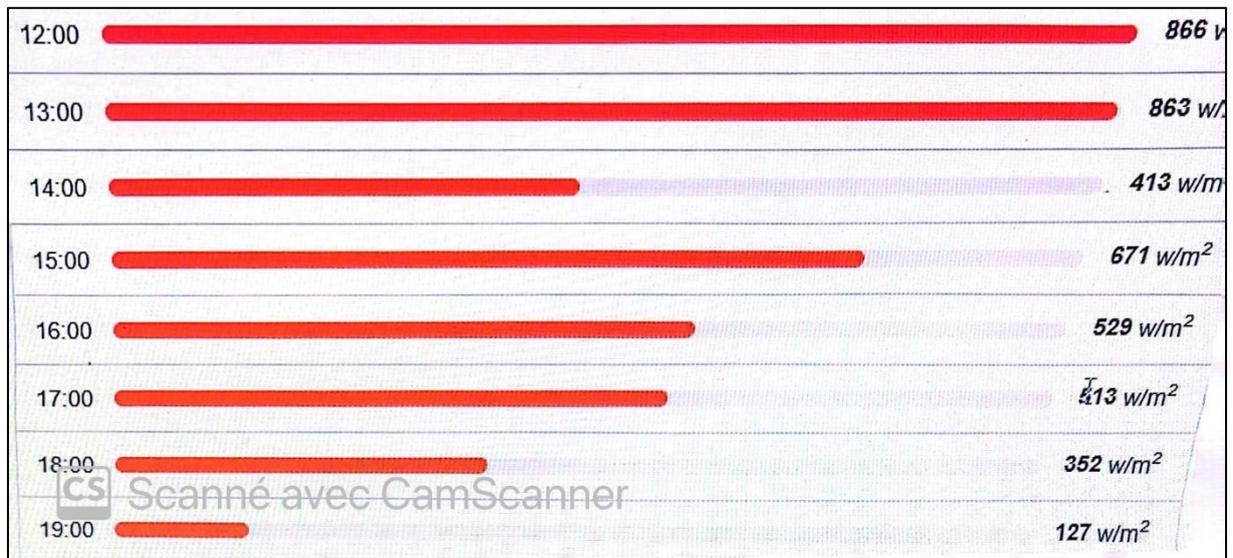
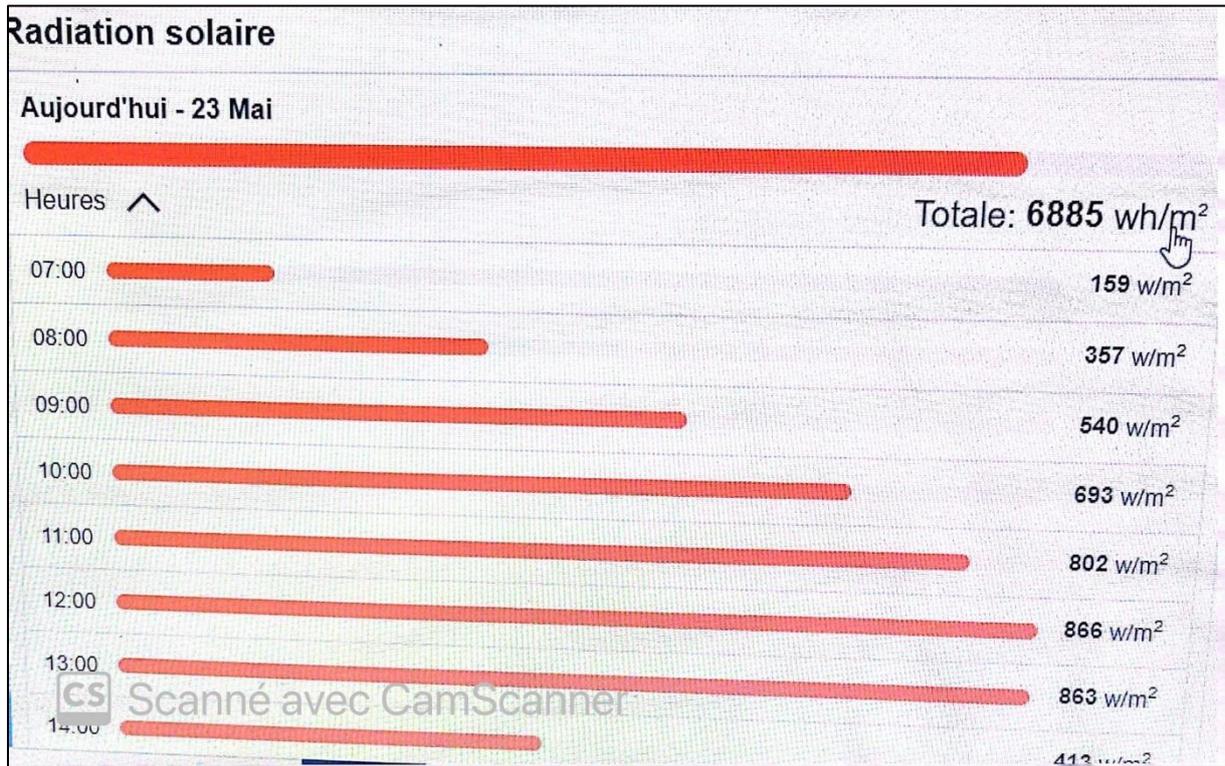


Photo 3 : : Irradiance solaire 23 mai 2023(Tlemcen)

| TUtempo.net | | La météo ▾ | Plages ▾ | Climat | Astronomie |
|-------------|-----------------------|------------|----------|--------|------------|
| 19:00 | Partiellement couvert | 19°C | 19 km/h | 52% | 1012 hPa |
| 18:30 | Partiellement couvert | 20°C | 17 km/h | 49% | 1011 hPa |
| 18:00 | Partiellement couvert | 21°C | 19 km/h | 43% | 1010 hPa |
| 17:30 | Partiellement couvert | 22°C | 17 km/h | 43% | 1010 hPa |
| 17:00 | Partiellement couvert | 22°C | 19 km/h | 41% | 1010 hPa |
| 16:30 | Partiellement couvert | 23°C | 20 km/h | 38% | 1010 hPa |
| 16:00 | Partiellement couvert | 23°C | 13 km/h | 38% | 1010 hPa |
| 15:30 | Partiellement couvert | 23°C | 15 km/h | 38% | 1010 hPa |
| 15:00 | Partiellement couvert | 24°C | 11 km/h | 36% | 1011 hPa |
| 14:30 | Partiellement couvert | 23°C | 13 km/h | 38% | 1011 hPa |
| 14:00 | Partiellement couvert | 23°C | 15 km/h | 41% | 1010 hPa |
| 13:30 | Partiellement couvert | 24°C | 11 km/h | 38% | 1011 hPa |
| 13:00 | Partiellement couvert | 23°C | 6 km/h | 38% | 1011 hPa |
| 12:00 | Partiellement couvert | 22°C | 6 km/h | 41% | 1011 hPa |
| 11:30 | Partiellement couvert | 22°C | 6 km/h | 41% | 1011 hPa |
| 11:00 | Partiellement couvert | 21°C | 6 km/h | 46% | 1011 hPa |
| 10:30 | Nuages épars | 20°C | 6 km/h | 46% | 1011 hPa |
| 10:00 | Nuages épars | 19°C | 6 km/h | 52% | 1012 hPa |
| 09:30 | Nuages épars | 17°C | 6 km/h | 59% | 1012 hPa |
| 08:30 | Nuages épars | 14°C | 7 km/h | 72% | 1012 hPa |

Photo4 : Température 23 mai 2023(Tlemcen)

II.3. Tamanrasset

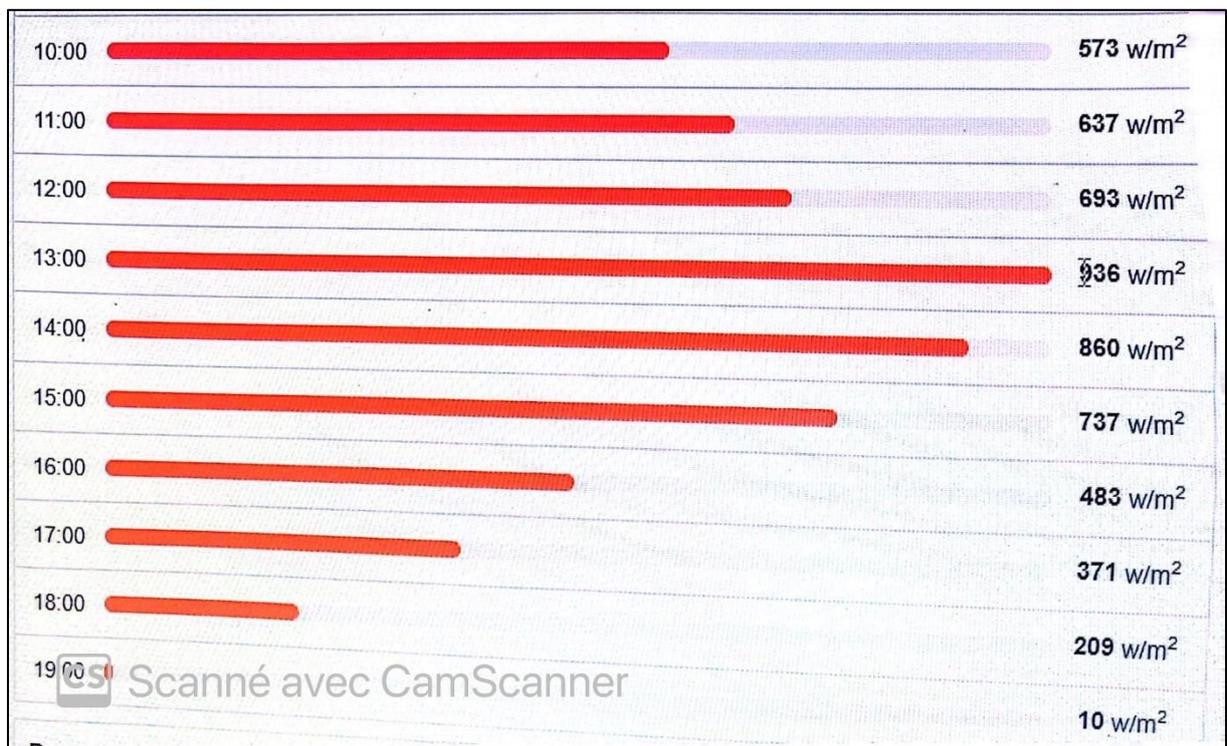
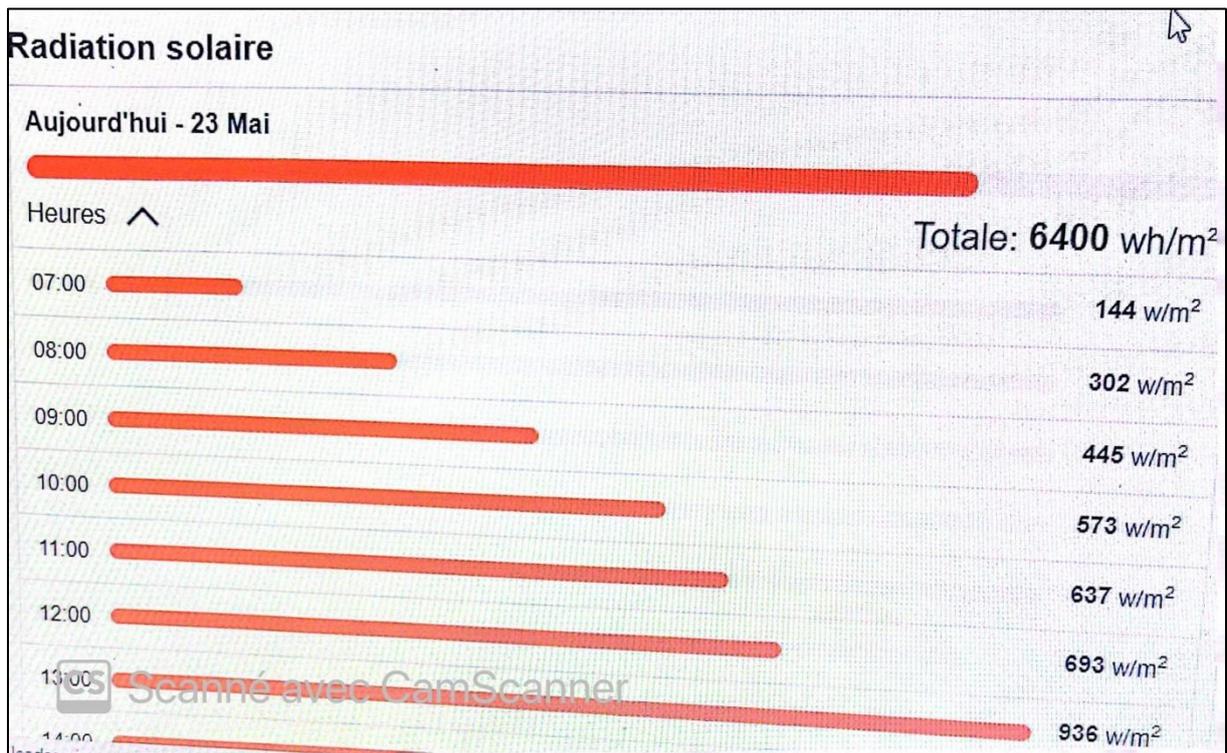


Photo 5 : : Irradiance solaire 23 mai 2023(Tamanrasset)

https://fr.tutiempo.net/tamanrasset.html?donnees=dernieres-24-heures

| TuTiempo.net | | La météo | Plages | Climat | Astronomie |
|--------------|-------------|----------|--------------|--------|------------|
| 14:00 | Ciel dégagé | 33°C | 30 > 52 km/h | 13% | 1018 hPa |
| 13:30 | Ciel dégagé | 32°C | 26 > 46 km/h | 12% | 1019 hPa |
| 13:00 | Ciel dégagé | 32°C | 30 km/h | 13% | 1019 hPa |
| 12:00 | Ciel dégagé | 31°C | 30 km/h | N/D% | 1019 hPa |
| 11:30 | Ciel dégagé | 30°C | 26 km/h | N/D% | 1019 hPa |
| 11:00 | Ciel dégagé | 29°C | 28 km/h | N/D% | 1019 hPa |
| 10:30 | Ciel dégagé | 29°C | 26 km/h | N/D% | 1019 hPa |
| 10:00 | Ciel dégagé | 28°C | 30 km/h | N/D% | 1019 hPa |
| 09:30 | Ciel dégagé | 28°C | 30 km/h | N/D% | 1019 hPa |
| 08:30 | Ciel dégagé | 26°C | 22 km/h | N/D% | 1018 hPa |
| 08:00 | Ciel dégagé | 25°C | 15 km/h | N/D% | 1018 hPa |
| 07:30 | Ciel dégagé | 21°C | 7 km/h | 9% | 1018 hPa |
| 07:00 | Ciel dégagé | 19°C | 9 km/h | 10% | 1017 hPa |
| 06:30 | Ciel dégagé | 18°C | 9 km/h | 11% | 1017 hPa |
| 06:00 | Ciel dégagé | 18°C | 7 km/h | 11% | 1017 hPa |

https://fr.tutiempo.net/tamanrasset.html?donnees=dernieres-24-heures

| TuTiempo.net | | La météo | Plages | Climat | Astronomie |
|--------------|-----------------------|----------|--------------|--------|------------|
| 21:00 | Ciel dégagé | 28°C | 28 km/h | 22% | 1019 hPa |
| 20:30 | Ciel dégagé | 29°C | 30 km/h | 19% | 1018 hPa |
| 20:00 | Ciel dégagé | 29°C | 30 km/h | 19% | 1018 hPa |
| 19:30 | Ciel dégagé | 29°C | 32 km/h | 19% | 1018 hPa |
| 19:00 | Ciel dégagé | 30°C | 28 km/h | 17% | 1018 hPa |
| 18:30 | Ciel dégagé | 31°C | 37 km/h | 15% | 1017 hPa |
| 18:00 | Ciel dégagé | 31°C | 37 km/h | 15% | 1017 hPa |
| 17:30 | Partiellement couvert | 31°C | 37 km/h | 16% | 1017 hPa |
| 17:00 | Partiellement couvert | 32°C | 37 km/h | 15% | 1017 hPa |
| 16:30 | Partiellement couvert | 33°C | 33 km/h | 13% | 1018 hPa |
| 16:00 | Partiellement couvert | 33°C | 41 km/h | 14% | 1018 hPa |
| 15:30 | Partiellement couvert | 33°C | 33 > 52 km/h | 14% | 1018 hPa |
| 15:00 | Partiellement couvert | 33°C | 39 > 57 km/h | 15% | 1018 hPa |
| 14:30 | Ciel dégagé | 34°C | 33 > 52 km/h | 12% | 1018 hPa |
| 14:00 | Ciel dégagé | 33°C | 30 > 52 km/h | 13% | 1018 hPa |

Photo6 : Température 23 mai 2023 (Tamanrasset)