

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد – تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Génie Mécanique

Spécialité : Energie Renouvelables en Génie Mécanique

Présente Par : Boukarabila Asmaa & Rahmaoui Widad

Sujet

**L'intégration de l'énergie solaire thermodynamique
dans l'industrie**

Soutenu publiquement, le 12 / 06 / 2024 , devant le jury composé de :

Mr Sari hassoun zakaria	MCA	Université de Tlemcen	Président
Mr Aliane Abdenour	MCB	Université de Tlemcen	Examineur
Mme Mokhtari lila	MCA	Université de Tlemcen	Encadreur
Mr Aissaoui Mohammed	MCB	CDER ALGER	Co-Encadreur

Année universitaire : ...2023.../.....2024.

REMERCIEMENT

Avant tout, je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la force et le courage de terminer cette étude et de réaliser ce travail de PFE.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à tous ceux qui ont contribué à la réussite de ce projet, notamment les équipes du centre de développement des énergies renouvelables (Mr Abdel Adim kamel et Mm fouzia et Mr Amar et Mr Hocine et Mm sabrine et Mr Zakaria et Mr Samir et Mr boudia et Mm Razika) . En premier lieu, nous remercions ALLAH pour sa grâce et sa

Miséricorde qui nous ont permis d'accomplir ce travail dans les meilleures conditions.

Nous adressons nos remerciements les plus sincères à nos parents, dont le soutien et les encouragements ont été inestimables tout au long de cette aventure.

Nous tenons à remercier chaleureusement M. Aissaoui Mohammed notre Encadrant, pour ses conseils et son accompagnement précieux tout au long de ce projet. Je souhaite exprimer ma plus profonde reconnaissance à Madame Lila Mokhetari pour son encadrement et son soutien indéfectible tout au long de ce projet.

Nous sommes également reconnaissants envers Mr. Sari Hasoun Zakaria et M. Aliane Abdenour, membres de notre jury, pour leur temps, leur expertise et leur contribution à l'évaluation de notre travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers Mr Benmokrane . et Mr sriba et othmani et Mr fritel pour leur précieuse aide tout au long de notre projet.

Enfin, nous exprimons notre gratitude à tous ceux qui nous ont apporté leur soutien et leurs encouragements, de près ou de loin, tout au long de cette expérience. Mes remerciements s'adressent aussi à tous mes enseignants de département Génie Mécanique, mes camarades de classe qui ont créé un environnement familial.



Boukarabila Asmaa

Dédicaces

« **A mon père** bien-aimé, dont l'absence est douloureuse et dont la présence m'aurait été précieuse en ce moment important de ma vie. Ton soutien, ta sagesse et ton amour continuent

de m'inspirer chaque jour, et je sais que tu es fier de moi, où que tu sois » .

« **A ma mère**, qui a toujours été mon pilier et ma source d'inspiration. Tu as été à mes côtés à chaque étape de ma vie. Ton soutien inconditionnel m'a permis de réaliser mes rêves, et je sais que je ne serais pas là où je suis aujourd'hui sans toi. Merci d'être toujours là pour moi, et merci d'être la meilleure mère du monde. Je t'aime plus que tout ».

À **mes chers frères** « Amin, Salah et Youcef », et à mes sœurs « Inès et Hasna », « Dans le tissu de ma vie, chacun de vous est un fil précieux, tissant ensemble les souvenirs, les rires et les défis que nous partageons. Amin, tu es le pilier de force, toujours là pour soutenir et protéger. Salah, tu es le rayon de soleil, apportant chaleur et joie à nos vies. Youcef, tu es le compagnon fidèle, avec qui chaque instant est une aventure inoubliable. Ines, tu es la douceur incarnée, répandant amour et bienveillance autour de toi. Hasna, tu es la sagesse tranquille, guidant nos pas avec ton calme et ta clairvoyance ».

À tous les membres de ma grande famille, en particulier à mon grand-père et ma grand-mère

À **mes merveilleuses amies** « Hidayet, Fatima Zohra, Bouchera, Ilhem, Houda, Abir, Asil, Jomana, Marwa, Meriem, Cherine et Wasilla et Meriem »

A toutes la famille Boukarabila sans exception. A nos enseignants de l'école primaire jusqu' l'Université.

Et plus grand dédicaces à mes enseignants et surtout Mr « Aissaoui Mohammed »

A toutes nos cher(e)s ami(e)s. A toute la promotion master Energie Renouvelable en Génie Mécanique 2023 -2024 sans citer les noms.



Boukarabila Asma

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier Allah le tout puissant, le clément et le très Miséricordieux de nous avoir aidé tout au long de nos années d'étude et de nous avoir procuré santé, paix, patience et courage pour arriver à ce stade.

Nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire. Nous remercions chaleureusement notre encadrante « Mokhtari Lila » et notre Co-encadrant « Aissaoui Mohammed » pour leur accompagnement attentif, leurs orientations pertinentes et leur engagement indéfectible tout au long de ce processus.

À nos familles, nous sommes infiniment reconnaissants pour leur soutien indéfectible, leur encouragement constant et leur amour inconditionnel qui ont été nos sources de motivation tout au long de cette aventure. Enfin, nous remercions vivement les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en évaluant ce mémoire et en partageant leurs précieuses observations et recommandations. Nos plus sincères remerciements vont à chacune de ces personnes pour leur contribution exceptionnelle à la réalisation de ce mémoire impressionnant.

Dédicace

A la personne la plus importante dans ma vie, mon très cher père Mustapha qui est toujours là pour moi et qui veille à mon bien-être tout le temps. Aucun mot ne peut exprimer ce que tu mérites. Que Dieu te garde et te protège. Je t'aime papa.

A ma très chère et douce maman, qui est toujours près de moi, m'encourage, me conseille, me soutient et qui n'a jamais cessé de prier pour moi. Pour tous les sacrifices que tu as faits depuis ma naissance à ce jour. Merci maman. Que Dieu te garde et te protège.

A ma soeur « Nour » et mes chers frères « Mohammed et Hassan ».

je les remercie pour leur soutien moral de près et de loin. Je vous aime, la plus belle famille du monde.

A toutes les personnes de ma grande famille, surtout mon grand-père, ma grand-mère, ma tante « Nabila ».

A mes merveilleuses copines « Ahlem, Sarah, Khadîdja » et ma voisine particulièrement « Chaima ».

Et plus grand dédicaces à mes enseignants et surtout « Mme. Lila Mokhtari »

الملخص

إن دمج مصادر الطاقة المتجددة الجديدة لضمان توفير الطاقة الكهربائية والحرارية هو حل لا غنى عنه للتنمية الاقتصادية بما يتماشى مع سياق التحول الطاقى. اليوم، يمثل استهلاك الطاقة في القطاع الصناعي 50٪ من استهلاك الحرارة العالمي.

في هذا العمل، قمنا بالتحقيق في دمج الطاقة الشمسية الحرارية الديناميكية باستخدام مجمعات الأسطوانات البارابولية لإنتاج الحرارة الصناعية لمصنع نسيج يقع في سيدو جنوب غرب ولاية تلمسان القدرة الاسمية للمنشأة هي 2500 كيلوواط حراري. تُستخدم هذه الحرارة لتسخين السائل الحراري لضبط آلات تصنيع النسيج. بالإضافة إلى ذلك، لضمان تشغيل العمليات الصناعية، أخذنا في الاعتبار التهجين مع غلاية تقليدية للتعامل مع التقطع في الإشعاع الشمسي المباشر وأثناء الليل لتحديد حجم السطح اللازم للمجمعات الشمسية وللتنبؤ بالسلوك الديناميكي للأداء. Greenius يتم استخدام برنامج القدرة الاسمية للمنشأة هي 2.5 ميغاواط حراري، وفي العمل، لمواجهة التقطع في الإشعاع الشمسي، تم اعتبار التهجين مع غلاية غاز

Abstract :

Integration of new renewable sources to ensure the supply of electrical and especially thermal energy is an essential solution for economic development in line with the context of the energy transition. Today, the energy consumption of the industrial sector represents 50% of the global heat consumption.

In this work, we investigated the integration of solar thermodynamic energy using parabolic trough concentrators for the production of industrial heat for a textile factory located in Sebdou, southwest of the Tlemcen province.

The nominal capacity of the installation is 2500 kWth. This heat is used to heat the thermal fluid to condition the textile manufacturing machines. Additionally, to ensure the operation of industrial processes, we considered hybridization with a conventional boiler to handle the intermittency of direct solar radiation and during the night.

The Greenius software is used for sizing the necessary surface area of the solar concentrators and to predict the dynamic performance behavior. The nominal capacity of the installation is 2.5 MWth, and in the work, to address the intermittency of solar radiation, hybridization with a gas boiler is considered.

Résumé

L'intégration des nouvelles sources renouvelable pour assure l'provisionnement en énergie électrique est surtout thermique est une solution incontournable pour un développement économique en adéquation avec le contexte de transition énergétique, aujourd'hui la consommation énergétique de secteur industrielle représente 50 % de la consommation de de la chaleur mondial.

Dans ce travail nous avons investigué l'intégration de l'énergie solaire thermodynamique utilisant des concentrateurs cylindre paraboliques pour la production de la chaleur industrielle pour une usine de texture située à Sebdu sud oust de la wilaya de Tlemcen.

La capacité nominale de l'installation est de $2500\text{KW}_{\text{th}}$, cette chaleur est utilisée pour le chauffage du thermo fluide afin de conditionnée les machines de fabrication de texture, aussi afin de garantir le fonctionnement des processus industrielle nous prend en considération l'hybridation par une chaudière conventionnelle pour faire face aux intermittences du rayonnement solaire direct et pendant la nuit.

Le logiciel Greenius est utilisé pour le dimensionnement de la surface nécessaire des concentrateurs solaires et permet de prédire le comportement dynamique des performances, La capacité nominale de l'installation est de 2.5MW_{th} dans le travail pour faire face à l'intermittence du rayonnement solaire l'hybridation par une chaudière à gaz est considérée.

Table de matière

Introduction générale	1
Introduction générale :	1
Chapitre 1 Notion sur l'énergie solaire et gisement solaire	3
1.1 Introduction :	4
1.2 Énergie solaire :	4
1.3 Gisement Solaire:	4
1.4 Le soleil :	4
1.5 Source de l'énergie solaire :	5
1.6 Potentiel solaire théorique :	6
1.7 Rayonnement solaire:	6
1.7.1 Le rayonnement direct :	6
1.7.2 Le rayonnement global :	6
1.7.3 Rayonnement diffus :	7
1.8 Instruments de mesure du rayonnement solaire :	7
1.8.1 Le pyrhéliomètre :	7
1.8.2 Le pyranomètre :	7
1.9 Notion de Potentiel solaire :	8
1.10 Mesures de rayonnement solaire en Algérie :	10
1.11 Gisement solaire en Algérie :	11
1.12 Stations météorologiques et radiométriques en Algérie :	14
Chapitre 2 Technologie des collecteurs solaire	16
2.1 Introduction :[13, 14]	17
2.2 Définition et Principe de fonctionnement :	18
2.3 La technologie CSP :	18
2.4 Types de concentrateurs solaires :	21
2.4.1 Le concentrateur solaire parabolique :	21

2.4.2	La tour solaire :	22
2.4.3	Miroirs de Fresnel	23
2.4.4	Le concentrateur solaire cylindro-parabolique :	24
2.5	Etude du concentrateur solaire cylindro-parabolique :	25
2.5.1	Principe de fonctionnement :	25
2.6	Les composantes d'un capteur solaire cylindro-parabolique :	26
2.6.1	L'absorbeur :	26
2.6.2	Le fluide caloporteur :	27
2.6.2	le reflecteur	28
2.7	Caractéristiques d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique.....	29
2.7.1	Caractéristiques géométriques :	29
2.8	intégration les installations de production de la chaleur solaire pour des applications industriels : [32].....	30
2.9	Analyse des travaux scientifique effectué sur l'intégration de la chaleur solaire dans les secteurs industriels :	32
Chapitre 3 L'intégration d'une installation solaire thermodynamique dans l'industrie.....		39
3.1	Introduction	40
3.2	Méthodologie de travail :	40
3.3	Description de l'installation :	41
3.4	Présentation de l'entreprise :	42
3.4.1	Généralités sur les entreprises de textile :	42
3.4.2	Configuration de l'industrie textile en Algérie :	42
3.4.3	Situation de textile en Algérie :	43
3.4.4	Activités du complexe :	43
3.4.5	Emplacement géographique du complexe :	44
3.4.6	Plan de masse du Complexe :	45
3.4.7	Processus de fabrication :	46
3.5	.Présentation du logiciel de Simulation Greenius :	47
3.6	Étapes À Suivre Et Données Nécessaires	48
3.6.1	choix de technologie d'énergie solaire :	51
3.7	Définition de la puissance nominale de l'installation :	52

Chapitre 4 Resultats de Simulation

4.1	Introduction	55
4.2	Resultats & discussion.....	69
	Conclusion Générale.....	70

Liste du figures

Figure 1-1 Spectre du rayonnement solaire	5
Figure 1-2 Instruments de mesures radiométriques : a) pyréliomètre, b, c) pyranomètre avec ombrage	8
Figure 1-3 Approche Top-Down pour l'estimation du potentiel solaire	10
Figure 1-4 Les composantes du rayonnement solaire global.....	11
Figure 1-5 La moyenne annuelle de la durée d'insolation mesurée (1992-2002)	12
Figure 1-6 La moyenne de l'irradiation solaire globale horizontale annuelle mesurée (1992-2002)	13
Figure 1-7 rayonnement solaire direct en Algérie	14
Figure 2-1 Principe de fonctionnement d'une centrale solaire concentration	18
Figure 2-2 Les principaux composants d'une centrale CSP avec stockage.....	19
Figure 2-3 Les quatre types de capteurs à concentration	20
Figure 2-4 Le schéma global de la technologie	21
Figure 2-5 Concentrateur solaire parabolique.....	22
Figure 2-6 tour solaire a concentration/.....	23
Figure 2-7 Schéma d'un concentrateur solaire de Fresnel	24
Figure 2-8 Concentrateur solaire cylindro-parabolique/.....	25
Figure 2-9 Structure de l'absorbeur	27
Figure 2-10 Les modes de poursuite solaire d'un CCP	29
Figure 2-11 Coupe transversale d'un CCP	30
Figure 2-12 Schéma illustratif de l'installation étudié par Ahmad Gamil et al	34
Figure 2-13 Concept des concentrateur étudiés (réduction partial de type d'absorbeur) Bartosz Stanek et al.....	36
Figure 2-14 Schéma du secteur énergétique du parc industriel proposé, basé sur la biomasse et le solaire.....	37
Figure 2-15 Schéma d'une boucle de concentrateur solaire et schéma fonctionnel de la boucle de sel fondu vers la charge thermique :.....	38
Figure 3-1 schématisation de l'installation solaire	42
Figure 3-2 Emplacement géographique du complexe.	44
Figure 3-3 Plan de masse du complexe « EATIT SEBDOU ».	45
Figure 3-4: Fenêtre de logiciel	48

Figure 3-5: Fenêtre de logiciel	48
Figure 3-6Interface des paramètres spécifiques du pays	49
Figure 3-7Interface du site du projet.....	50
Figure 3-8Quelques types de technologies des énergies renouvelables disponibles dans la bibliothèque du Greenius	52

Introduction générale

Introduction générale :

Le secteur industriel joue un rôle crucial dans le développement de l'économie mondiale, ce développement repose principalement sur la multiplication des zones industrielles dans les différents domaines (mécanique, chimique, agroalimentaire, médical, textile, etc) et permet d'assurer la stabilité géopolitique des pays, aujourd'hui 50 % de la consommation mondiale du secteur industriel et la chaleur, cela affecte les ressources naturelles et l'environnement. L'intégration de la préservation de l'environnement et du développement durable au niveau de l'élaboration de la politique, de la planification et de la gestion, s'impose pour le secteur, eu égard, à la nécessité de préservation des milieux naturels, de la santé publique et aux engagements du pays, par rapport aux instruments juridiques internationaux et aux différents accords et conventions engageant notre pays.

Dans sa politique énergétique, l'Algérie a opté, dès son indépendance, pour le développement des infrastructures électriques et gazières, et l'accès de la population à l'électricité et au gaz naturel ; ces deux vecteurs constituant une priorité qui vise l'amélioration de la qualité de vie du citoyen d'une part, et de la situation économique du pays, d'autre part.

L'intégration de l'énergie solaire dans l'industrie représente un défi et une opportunité significative dans le contexte actuel de transition énergétique. L'industrie, étant l'un des secteurs les plus énergivores, peut bénéficier de manière substantielle de l'adoption des technologies solaires pour réduire sa dépendance aux combustibles fossiles et diminuer son empreinte carbone.

Le but de ce travail est d'analyser et d'optimiser l'intégration de l'énergie solaire dans l'industrie afin de maximiser les gains énergétiques et économiques tout en réduisant l'empreinte environnementale, et de fournir une analyse exhaustive des performances des systèmes de chauffage solaire intégrés dans les processus industriels, en tenant compte des variations saisonnières. L'objectif est de démontrer comment l'énergie solaire peut être efficacement utilisée pour réduire la consommation d'énergie fossile et réduire les émissions de CO₂, tout en assurant des gains économiques significatifs. En offrant des recommandations pratiques basées sur des données expérimentales, ce mémoire vise à guider les industries dans

leur transition vers des solutions énergétiques plus durables et respectueuses de l'environnement.

Ce mémoire s'organise en quatre chapitres. Le premier chapitre présente des notions sur l'énergie solaire. Le deuxième chapitre est consacré à la technologie des collecteurs. le troisième chapitre présente l'intégration d'une installation solaire thermodynamique dans l'industrie, Enfin dans le quatrième nous présentons nos résultats.

Chapitre 1

Notion sur l'énergie solaire

1.1 Introduction :

Le soleil, l'eau, le vent, le bois et d'autres produits végétaux offrent des ressources naturelles pour produire de l'énergie grâce aux technologies humaines. Leur faible impact environnemental en fait des alternatives prometteuses face aux défis de gestion des déchets nucléaires et des émissions de gaz à effet de serre. Les énergies renouvelables telles que l'énergie solaire, éolienne, hydraulique, biomasse et géothermique sont des sources inépuisables d'énergie, caractérisées par leur non-production d'émissions polluantes, contribuant ainsi à la lutte contre l'effet de serre. Dans ce chapitre, nous aborderons d'abord quelques notions astronomiques sur le rayonnement solaire, y compris le soleil, sa nature et son intensité, ainsi que les divers phénomènes physiques associés à ce rayonnement et l'impact de la structure de l'atmosphère sur celui-ci, en examinant également les différentes composantes du rayonnement solaire. [1]

1.2 Énergie solaire :

Le soleil représente la source d'énergie renouvelable primordiale. Ses rayons sont captés par des dispositifs thermiques vitrés pour produire de la chaleur, ou par des concentrateurs pour générer de l'électricité dans les centrales thermiques ou bien par des panneaux photovoltaïque pour générer directement l'électricité.

1.3 Gisement Solaire:

Le gisement solaire se compose d'informations détaillant l'évolution du rayonnement solaire disponible sur une période donnée. Il sert à modéliser le fonctionnement d'un système énergétique solaire et à dimensionner précisément en fonction de la demande à répondre.

1.4 Le soleil :

Le soleil est une étoile de forme approximativement sphérique, avec un diamètre moyen de 1 392 684 kilomètres. Il se trouve à une distance moyenne de 149,597.106 kilomètres de la Terre. Principalement constitué de gaz, notamment d'hydrogène et d'hélium, le soleil abrite des

réactions thermonucléaires constantes en son noyau, où la température atteint $1,4 \cdot 10^7$ degrés Celsius.

1.5 Source de l'énergie solaire :

Le soleil est l'étoile du système solaire la plus proche de la terre, à environ 150 millions de kilomètres de la terre. Lorsqu'il parcourt cette distance jusqu'à la surface de la terre, il libère de grandes quantités d'énergie, qui produisent un rayonnement qui peut être comparé, en première approximation, à celui d'un corps noir à 5800°K . Le soleil émet des ondes électromagnétiques qui nous atteignent pendant environ huit minutes. La vitesse de sa lumière est de $300\,000\text{ km/s}$. La bande de longueur d'onde de $0,25$ à $3\ \mu\text{m}$ contient les 98 % de l'énergie émise. [2]

En fournissant d'énormes quantités d'énergie pour l'éclairage énergétique, qui permet la présence de l'eau à l'état liquide et la photosynthèse des végétaux, le soleil est essentiel pour l'humanité car il est à l'origine de la vie sur Terre. Les phénomènes climatiques et météorologiques sont également causés par le rayonnement solaire [3]. La distribution spectrale du rayonnement solaire est représentée à la figure I.1 [4].

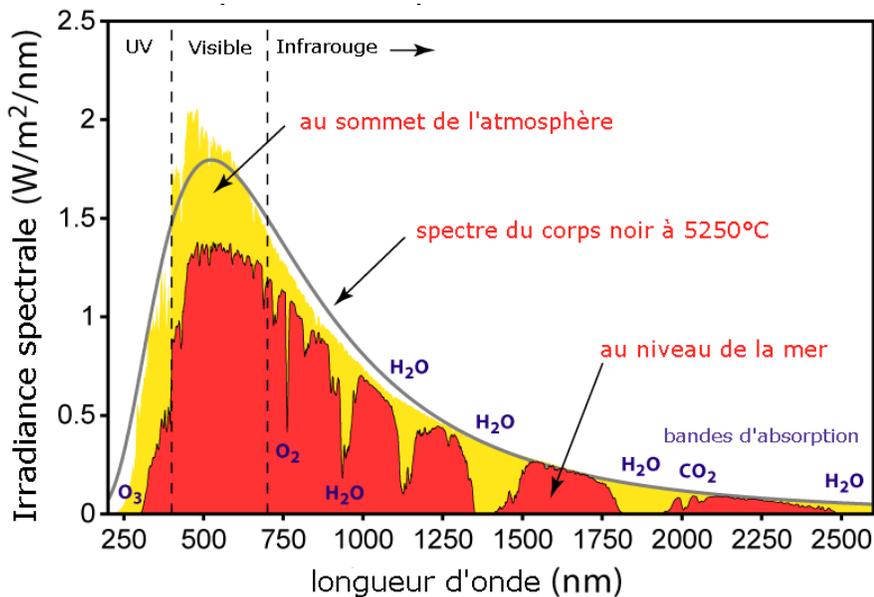


Figure 1-1 Spectre du rayonnement solaire [1]

1.6 Potentiel solaire théorique :

Différentes méthodes sont disponibles pour estimer l'irradiation solaire à la surface du sol. La première repose sur des mesures directes sur le terrain à l'aide de capteurs appropriés. La deuxième approche implique l'utilisation de modèles pour estimer le rayonnement solaire disponible. Enfin, la troisième méthode utilise l'interprétation des données satellitaires pour calculer le rayonnement solaire. En général, une combinaison de ces trois approches est utilisée en interpolant spatialement les données mesurées à l'aide de modèles numériques et de données satellitaires [5].

1.7 Rayonnement solaire:

Le rayonnement solaire constitue la source première de l'énergie solaire. Il se propage sous forme d'ondes dont la longueur varie généralement entre 0,2 et 4. micro mètres. Ne nécessitant pas de support physique pour se déplacer, il parvient au sol après avoir perdu une grande partie de son intensité, notamment en raison de l'absorption d'une partie des rayons ultraviolets.[6]

1.7.1 Le rayonnement direct :

Il provient directement du Soleil, sans être diffusé par l'atmosphère. Ses rayons sont parallèles, ce qui crée des ombres et permet d'être concentré par des miroirs. Sa mesure peut être effectuée à l'aide d'un pyréliomètre.

1.7.2 Le rayonnement global :

Le rayonnement global représente l'ensemble des rayonnements reçus, incluant ceux réfléchis par le sol et les objets en surface. Sa mesure est effectuée à l'aide d'un pyranomètre ou d'un solarimètre non protégé. Habituellement, les stations météorologiques mesurent le rayonnement global horizontal en utilisant un pyranomètre positionné horizontalement à l'emplacement approprié.

1.7.3 Rayonnement diffus :

Il se compose de la lumière dispersée par l'atmosphère, comprenant l'air, la nébulosité et les aérosols. La diffusion est le processus qui divise un faisceau de lumière parallèle en plusieurs faisceaux se propageant dans différentes directions. Dans le ciel, ce phénomène est engendré à la fois par les molécules d'air, les gouttelettes d'eau (nuages) et les particules de poussière, créant une dispersion des rayons solaires. Ce processus est principalement influencé par les conditions météorologiques.

1.8 Instruments de mesure du rayonnement solaire :

1.8.1 Le pyréliomètre :

Est l'appareil utilisé pour mesurer le rayonnement solaire direct (voir figure 1.6.a). Sa surface réceptrice doit toujours être perpendiculaire à la direction du soleil, c'est pourquoi il est souvent monté sur un dispositif à deux axes permettant de suivre le mouvement du soleil. Ce dispositif comporte une thermopile multicouches placée au fond d'un tube de collimation. Le détecteur est revêtu d'une peinture noire qui agit comme un absorbant pour le rayonnement solaire, dont la longueur d'onde se situe entre 0,28 et 3 micromètres. Une ouverture spécifique permet de mesurer uniquement le rayonnement direct du soleil, avec un angle d'environ 2,5° à 5° autour de celui-ci, ce que l'on appelle le circum-solaire [5].

1.8.2 Le pyranomètre :

C'est un l'outil de référence pour mesurer le rayonnement solaire global, couvrant les longueurs d'onde entre 300 et 3000 nanomètres. Son capteur, placé horizontalement, absorbe l'énergie solaire provenant de l'ensemble du ciel (un angle solide de 2π sr) et la convertit en chaleur. Cette énergie thermique permet de déterminer le rayonnement solaire global. Pour limiter l'angle d'incidence à 360°, le pyranomètre est équipé d'un disque blanc, et il est protégé des variations thermiques et des éléments extérieurs (pluie, vent, poussière) par deux hémisphères en verre transparent. Les pyranomètres les plus couramment utilisés aujourd'hui sont de type thermopile, avec un capteur de rayonnement similaire à celui d'un pyréliomètre thermoélectrique [5].

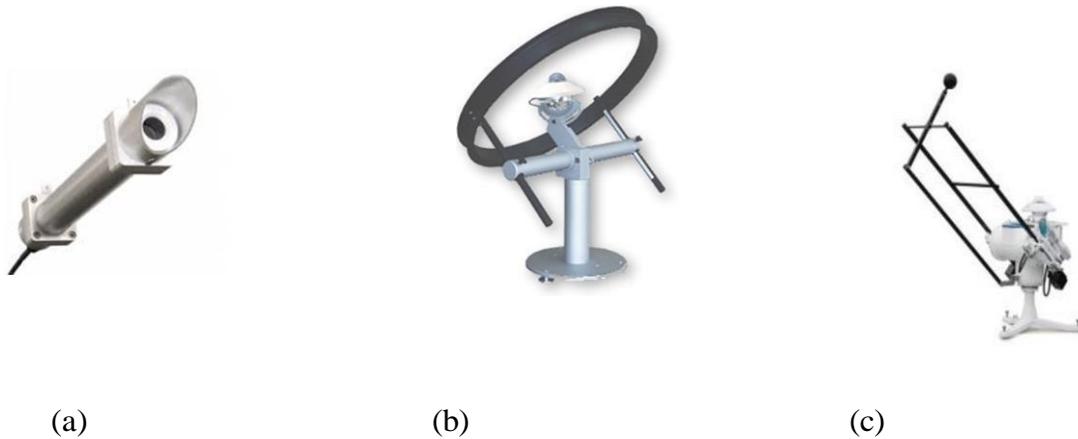


Figure 1-2 Instruments de mesures radiométriques : a) pyrhéliomètre, b, c) pyranomètre avec ombrage [5]

1.9 Notion de Potentiel solaire :

Les perspectives du panneau solaire sont basées sur la capacité et sont exploitées par un dispositif amovible. La semelle bénéficie d'un flux d'énergie constant par temps froid, à condition que le solaire soit installé et stable pendant une période et un certain emplacement. De plus, le booster d'énergie solaire peut varier en fonction d'autres facteurs : le développement géologique, compensant la disponibilité de surfaces pour les installations solaires ; La technologie de production s'applique à l'utilisation de technologies de conversion innovantes ; Évolution économique, y compris les variations de manteaux ; Ainsi que les contraintes de mise en œuvre, telles que la législation et la politique énergétique nationale. À l'extérieur, l'énergie solaire est créée comme une source d'énergie intermittente, affectée par une puissante distribution dans l'espace et parfois, semblable aux réserves de fossiles comprimés ou d'eau, qui ne peuvent être utilisées pour compenser les variations de l'offre et de la demande.

La caractéristique commune entre l'énergie solaire et les sources d'énergie fossile est l'impossibilité de convertir et d'exploiter toute l'énergie qui est potentiellement disponible. Nous pouvons ainsi distinguer trois différentes valeurs du potentiel solaire comme suit [5].

- L'énergie potentielle : elle représente l'énergie brute de la source (par exemple, l'irradiation solaire globale à un endroit donné).
- L'énergie théorique : c'est la portion qui peut être récupérée par le système de conversion d'énergie (par exemple, le rayonnement solaire capté par une certaine surface des panneaux solaires).
- L'énergie exploitable : c'est la part utilisable, tenant compte des critères liés à la législation, à l'environnement et aux facteurs économiques.

Pour évaluer l'énergie solaire disponible, une méthode d'approche ascendante (Top Down Approach) est couramment employée. (figure 1.2) [7], Cette méthode débute par le calcul du potentiel disponible en énergie solaire, représenté par le rayonnement solaire effectivement présent dans la région étudiée. Ensuite, ce potentiel estimé est ajusté pour prendre en compte les contraintes techniques. Enfin, ce potentiel solaire est encore réduit pour obtenir l'énergie effective.

L'énergie solaire réalisable est déterminée en prenant en considération des facteurs variables dans le temps et selon les régions, tels que les contraintes techniques, sociales et législatives du pays.

L'estimation du potentiel de l'énergie solaire peut utiliser cette approche de haut en bas à différentes échelles (mondiale, régionale ou locale). La première étape consiste généralement à évaluer le gisement solaire de la région étudiée, par exemple l'Algérie, en se basant sur les bases de données existantes sur l'irradiation solaire.

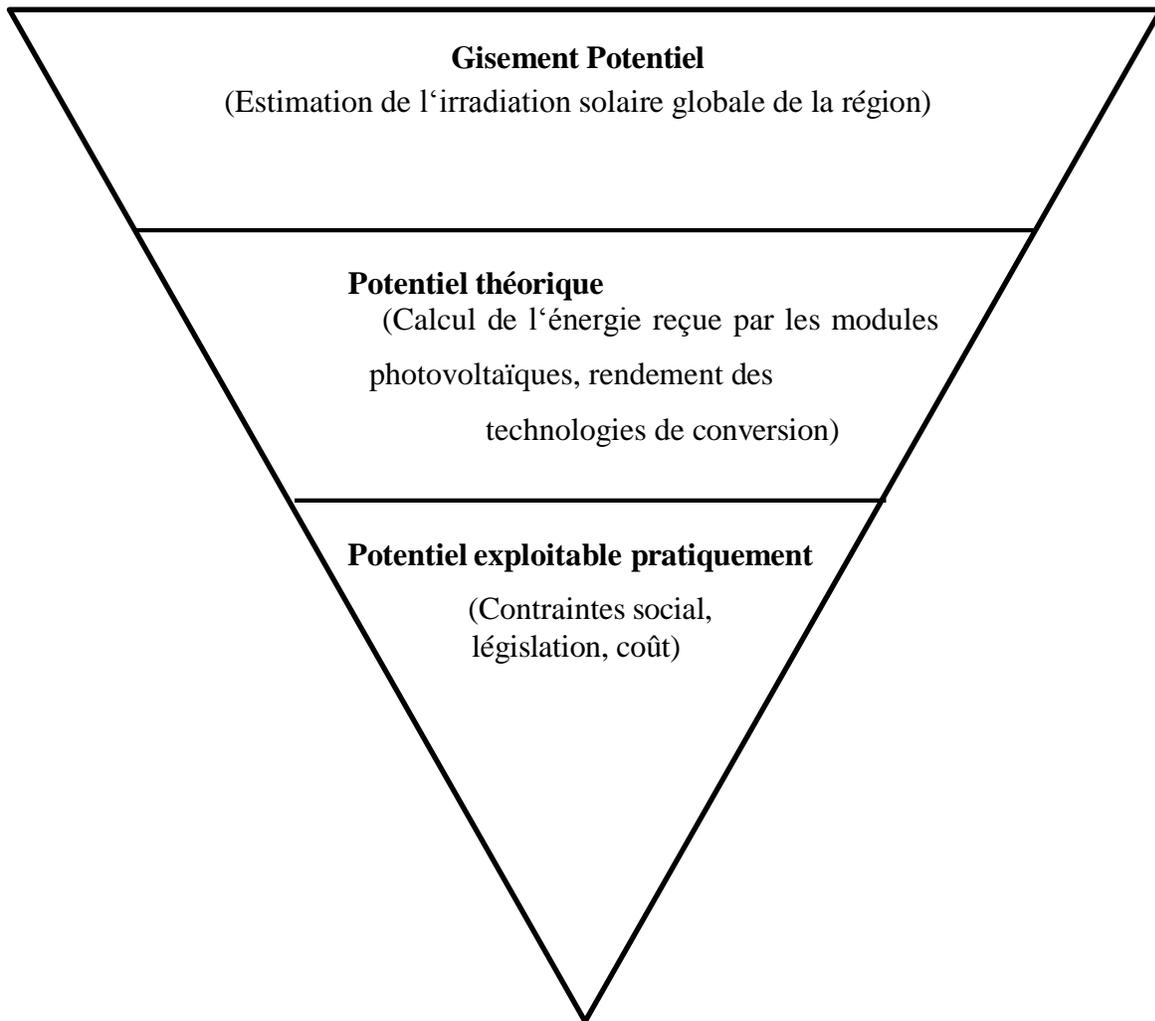


Figure 1-3 Approche Top-Down pour l'estimation du potentiel solaire [5]

1.10 Mesures de rayonnement solaire en Algérie :

L'énergie solaire se divise en deux parties distinctes : l'énergie solaire extraterrestre, qui englobe toute l'énergie solaire hors de l'atmosphère, et l'énergie solaire globale, qui représente la part d'énergie sous l'atmosphère terrestre. Cette dernière est le résultat de l'addition de trois

composantes : une composante directe, une composante diffuse et l'albédo (les rayons réfléchis par des surfaces telles que le sol ou l'eau), comme illustré dans la figure.1.5.

Le rayonnement solaire subit diverses interactions lors de son trajet à travers l'atmosphère, incluant son absorption partielle, sa dispersion et sa réflexion par les molécules, les aérosols, la vapeur d'eau et les nuages, donnant lieu au rayonnement diffus. L'énergie solaire qui atteint directement la surface terrestre est désignée sous le terme de rayonnement solaire direct. En revanche, la somme totale de l'énergie solaire interceptée par une surface au sol est appelée rayonnement solaire global[5]

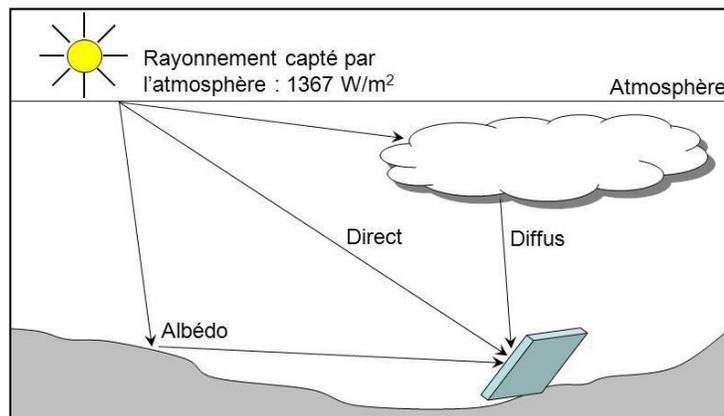


Figure 1-4 Les composantes du rayonnement solaire global [5]

1.11 Gisement solaire en Algérie :

L'énergie solaire représente la ressource renouvelable la plus abondante en Algérie. La durée d'ensoleillement sur la majeure partie du territoire national dépasse les 2000 heures par an et peut atteindre jusqu'à 3900 heures par an dans les hauts plateaux et le Sahara. La moyenne annuelle de la durée d'ensoleillement, mesurée sur une période de dix ans (1992-2002), est illustrée dans la figure 1.3[8]. Dans le nord du pays, l'ensoleillement varie de 5 heures par jour

en hiver à plus de 11 heures par jour en été. En contraste, la région sud bénéficie d'une durée d'ensoleillement plus longue, dépassant les 8 heures par jour pendant la saison. Durant la saison hivernale, cette période pourrait s'étendre jusqu'à 12 heures par jour pendant la saison estivale [9].

La durée d'ensoleillement indique la forte disponibilité de l'énergie solaire sur le territoire national.

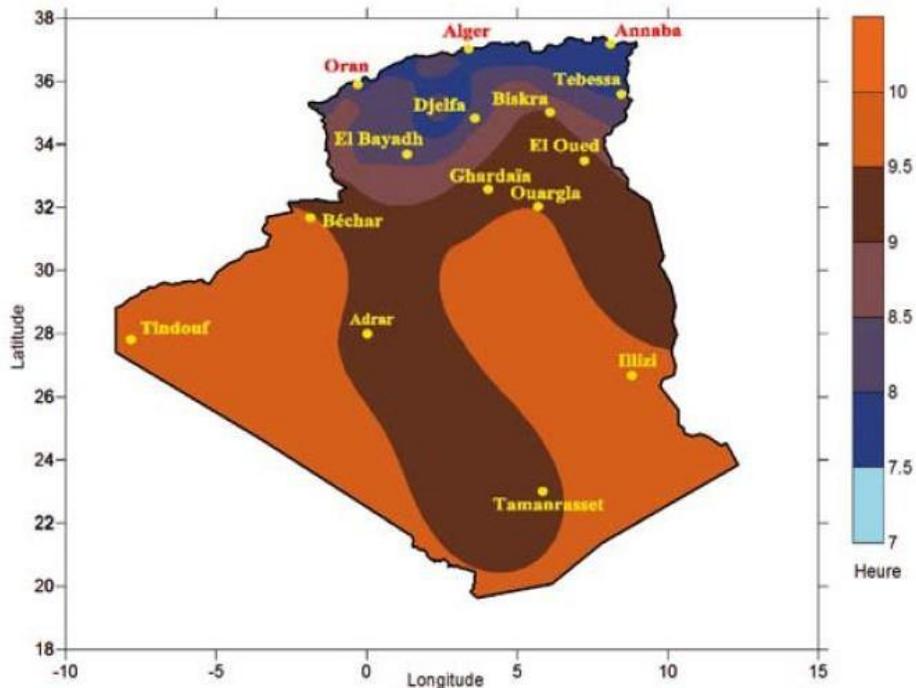


Figure 1-5 La moyenne annuelle de la durée d'insolation mesurée (1992-2002) [8]

La quantité d'énergie solaire reçue sur un plan horizontal dépasse 4,5 kWh/m²/jour dans la plupart du territoire national, selon les données publiées dans l'Atlas solaire algérien.[9]. Les données de l'Atlas solaire algérien révèlent que la valeur moyenne de l'irradiation solaire globale sur une surface horizontale varie de 4,7 kWh/m²/jour dans le nord (station de Dellys) à 7,1 kWh/m²/jour dans le sud (station de Djanet), comme illustré dans la figure 1.4 Avec ce niveau d'irradiation solaire associé à une durée d'insolation considérable, l'Algérie se classe parmi les pays bénéficiant du plus fort ensoleillement au monde, avec une irradiation solaire annuelle estimée à 1700 kWh/m²/an au nord et 2650 kWh/m²/an au sud. Cette évaluation du

potentiel théorique de l'énergie solaire en Algérie suggère qu'elle figure parmi les régions les plus propices à l'utilisation de cette énergie. Le tableau 1.1 synthétise le potentiel solaire des trois principales zones en Algérie : côtière, haut plateau et Sahara [10].

Tableau 1.1 : Potentiel solaire des trois principales zones de l'Algérie

Zones	Zone côtière	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée d'insolation (h/an)	2650	3000	3500
Irradiation solaire (kWh/m ² /an)	1700	1900	2650
Potentiel solaire (TWh/j)	443,96	1240,89	14 870,63

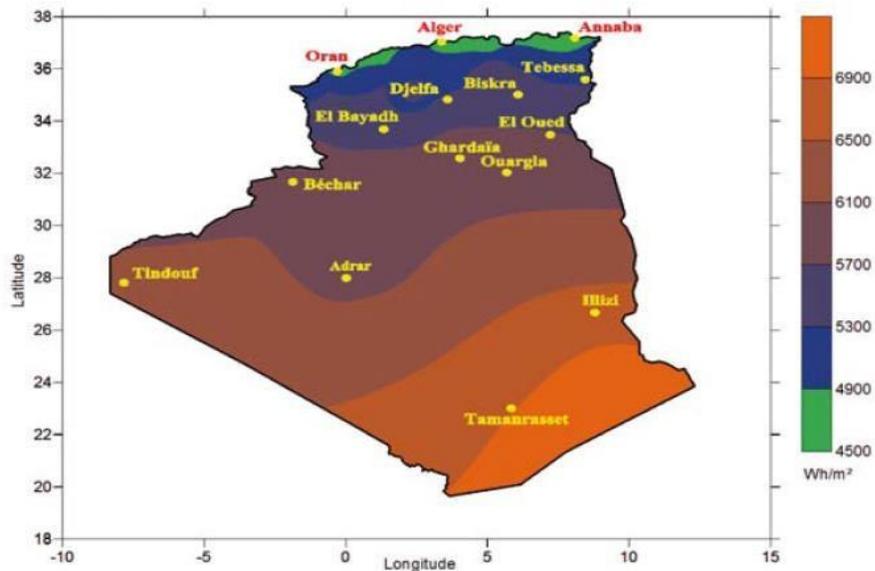


Figure 1-6 La moyenne de l'irradiation solaire globale horizontale annuelle mesurée (1992-2002) [8]

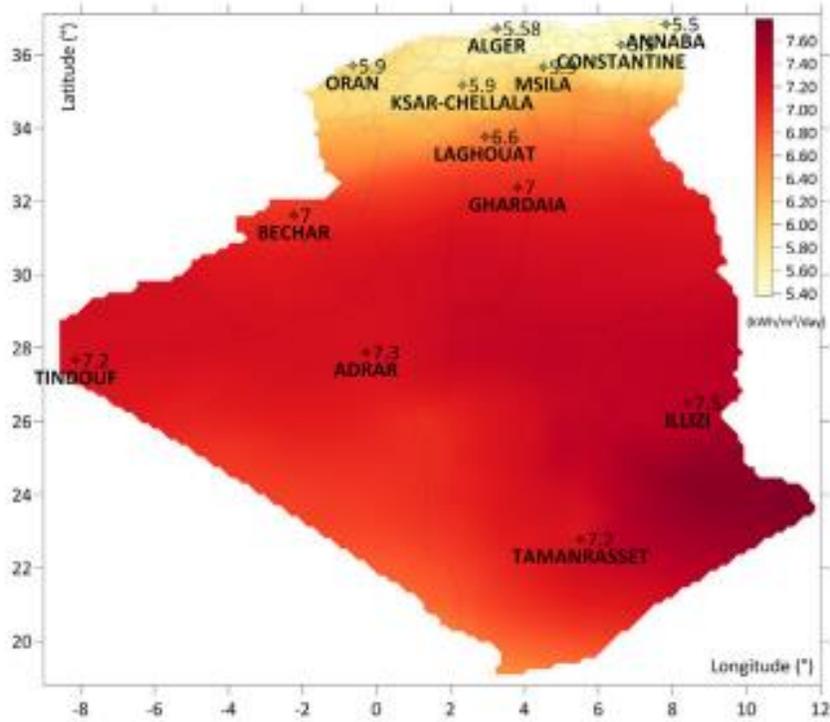


Figure 1-7 rayonnement solaire direct en Algérie [11]

L'Algérie caractérisé par un rayonnement solaire direct journalier très important varie entre 5.4 à 7.5kWh/m², avec une durée »e d'ensoleillement varie de 8 à 16 heures.

1.12 Stations météorologiques et radiométriques en Algérie :

En raison de la vaste étendue du territoire algérien, le réseau de surveillance des paramètres radiométriques est relativement peu dense. Parmi les cinquante-quatre stations de l'Office National de la Météorologie (ONM) qui collectent des données telles que la température, l'humidité et la durée d'insolation pour les prévisions météorologiques quotidiennes, seulement sept stations sont équipées pour mesurer les composantes globales et diffuses du rayonnement solaire sur un plan horizontal (voir figure 1.6). Ces stations de mesure radiométriques sont localisées à Alger, Oran, Annaba, Bechar, Tamanrasset, Saïda et Béni Abbès [12].

La station de centre de recherche en énergie renouvelable a Bouzaréah, située à Alger, est la plus avancée en termes d'équipement. Elle est équipée de trois pyranomètres pour mesurer

l'irradiation solaire globale sur un plan horizontal, incliné et la composante diffuse. De plus, elle dispose d'un pyrhéliomètre pour mesurer l'irradiation directe.

Il est évident que le nombre de stations radiométriques en Algérie est très limité par rapport à la taille du pays. En moyenne, il y a seulement une station de mesure radiométrique pour chaque deux cent mille kilomètres carrés de territoire.

Chapitre 2

Technologie des collecteurs solaire

2.1 Introduction :[13, 14]

Un système solaire utilisant la concentration thermodynamique exploite l'énergie solaire en dirigeant les photons à l'aide de miroirs. Ce système concentré permet d'atteindre des températures bien plus élevées que les systèmes thermiques classiques non concentrés.

Alors que les chauffe-eau domestiques produisent de l'eau à environ 50 degrés Celsius, la concentration permet de chauffer des fluides à des températures allant de 250 à 1000°C. Cette technologie ouvre la voie à diverses applications industrielles telles que la production d'électricité, parfois appelée "électricité solaire thermodynamique". Les fluides chauds peuvent également être utilisés directement ou indirectement pour le dessalement de l'eau de mer, le refroidissement ou encore la production d'hydrogène.

2.2 Définition et Principe de fonctionnement :

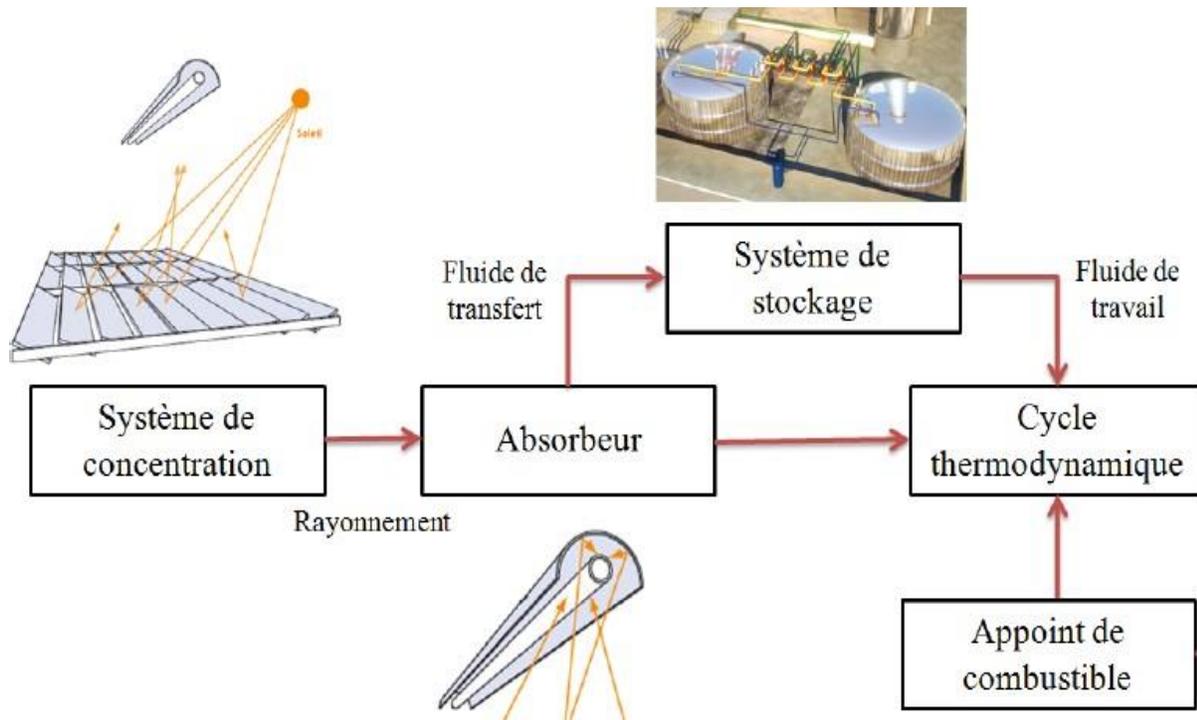


Figure 2-1 Principe de fonctionnement d'une centrale solaire concentration[15]

2.3 La technologie CSP :

Le processus CSP génère de l'électricité en transformant l'énergie solaire en chaleur à des températures élevées à l'aide de réflecteurs et de récepteurs. Cette chaleur est ensuite exploitée pour produire de l'électricité via un système traditionnel turbine-générateur. Les installations de grande envergure peuvent être munies d'un dispositif de stockage de chaleur afin de garantir un approvisionnement constant, même la nuit ou par temps nuageux.[16]

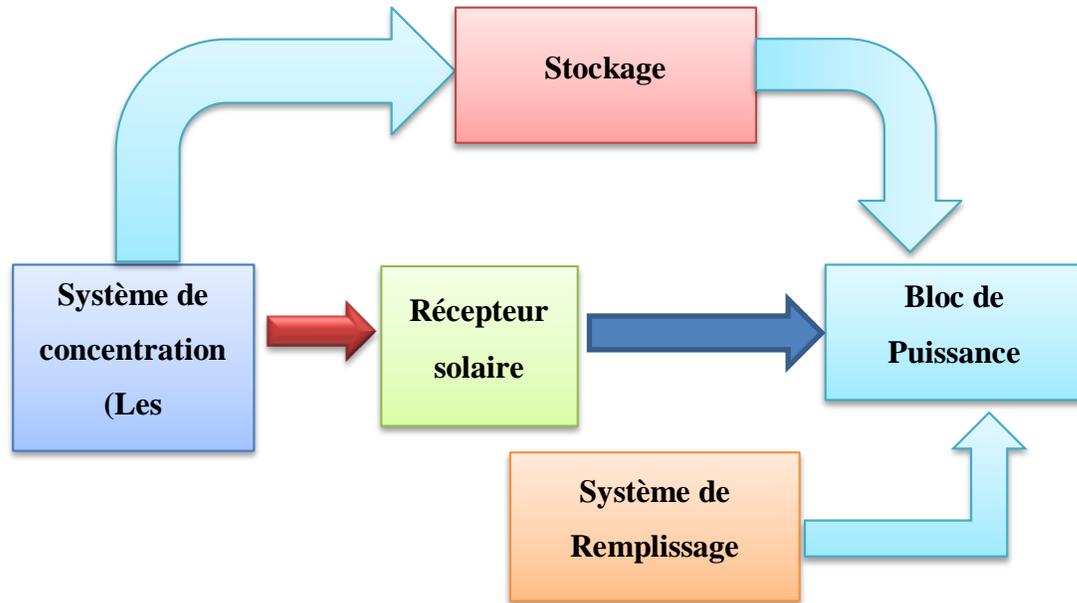
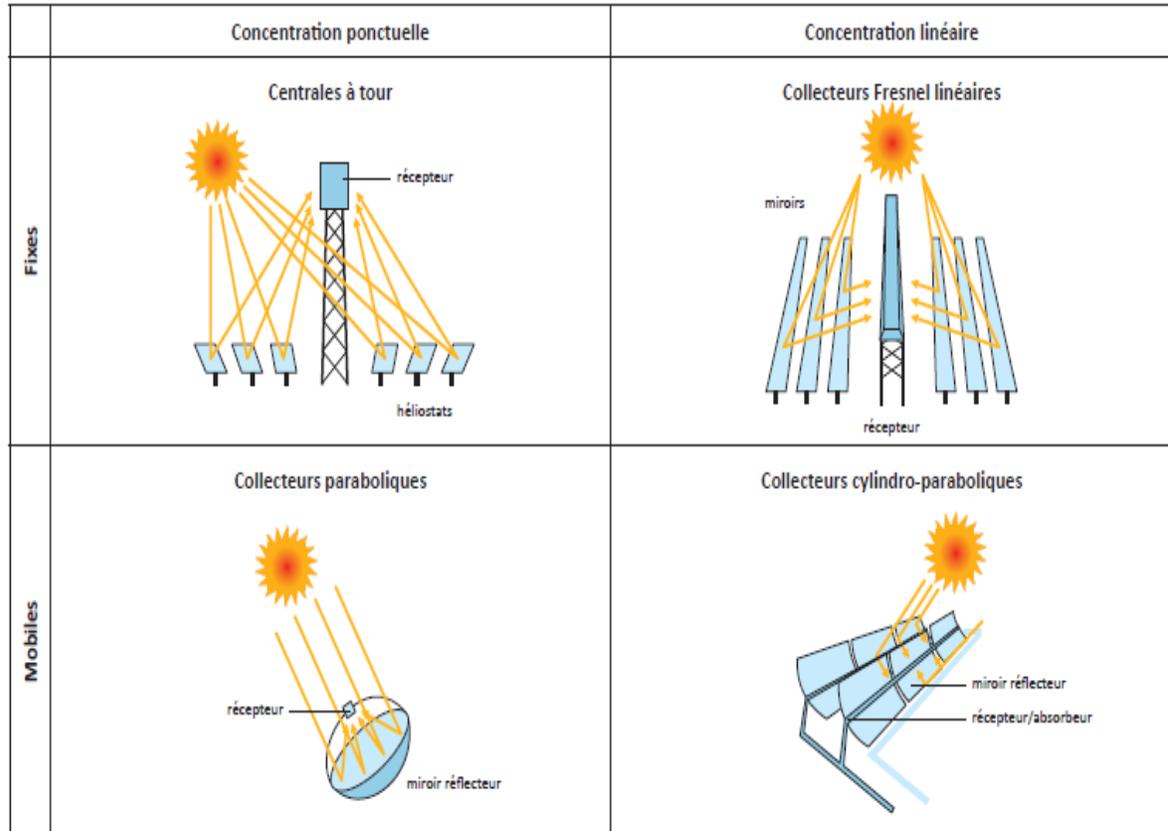


Figure 2-2 Les principaux composants d'une centrale CSP avec stockage[16]

Il y a deux formes de concentration :

La concentration linéaire : implique que le rayonnement solaire est capté le long d'un tube positionné sur la ligne focale des concentrateurs cylindro-paraboliques et des concentrateurs linéaires de Fresnel.

La concentration ponctuelle : Dans cette configuration, le récepteur est positionné au point focal des concentrateurs paraboliques ainsi que des centrales à Tour, qui utilisent des dispositifs tels que les héliostats. La figure 2 présente ces quatre technologies de concentrateurs solaires (CSP).



source : AIE

Figure 2-3 Les quatre types de capteurs à concentration [17].

Les centrales solaires cylindro-paraboliques, les centrales à concentration linéaire de Fresnel et les centrales à Tour peuvent être associées à des cycles de vapeur variant de 5 à 200 MWe, offrant un rendement thermique allant de 30 à 40%. Ces systèmes paraboliques peuvent également être employés pour la production décentralisée dans une plage de 10 kW.

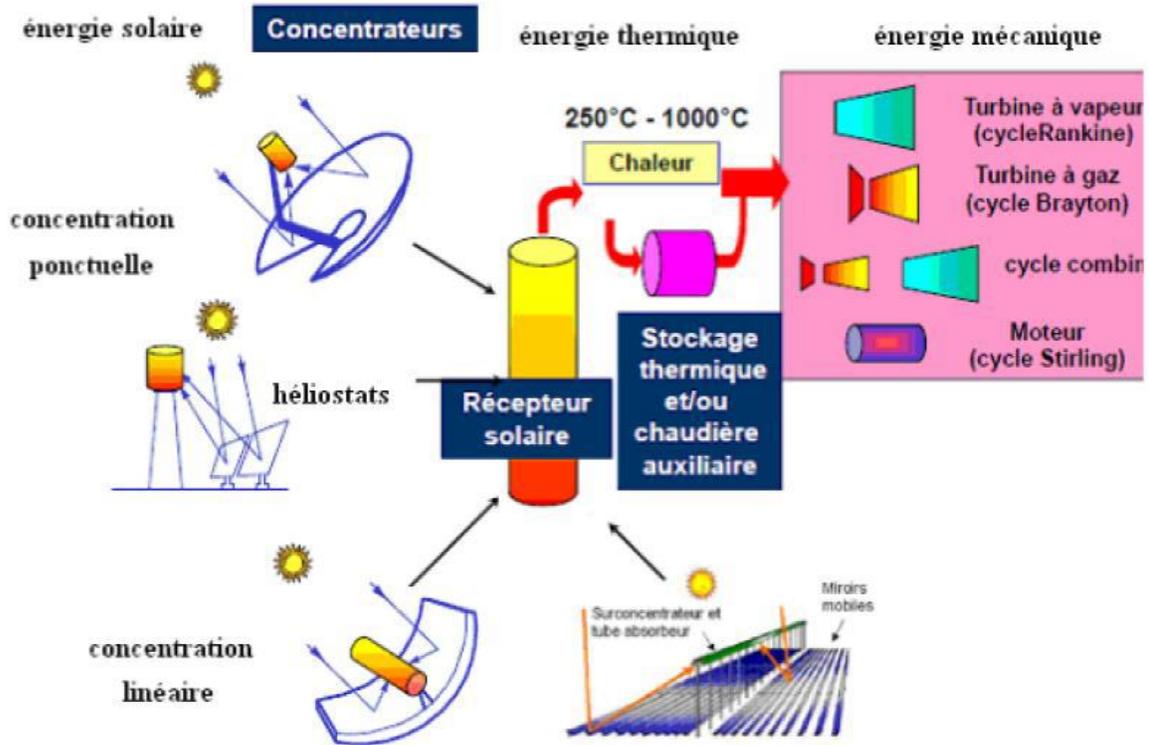


Figure 2-4 Le schéma global de la technologie [17]

2.4 Types de concentrateurs solaires :

Les concentrateurs solaires focalisent les rayons du soleil en un point appelé foyer, qui peut être ponctuel, comme dans le cas de la tour solaire et du concentrateur parabolique, ou linéaire, comme avec les miroirs de Fresnel et le concentrateur cylindro-parabolique. Les concentrateurs à foyer linéaire ont généralement un facteur de concentration inférieur à celui des concentrateurs à foyer ponctuel. Le facteur de concentration, qui caractérise la géométrie d'un concentrateur, est le rapport entre la surface de captation et la surface d'absorption. Les systèmes utilisant des concentrateurs solaires peuvent générer des températures avoisinant les 1000°C. [18]. ces systèmes ont été initialement développés pour la production d'électricité

2.4.1 Le concentrateur solaire parabolique :

Les concentrateurs ou capteurs paraboliques réfléchissent et concentrent les rayons du soleil vers un point de convergence appelé récepteur (foyer). Ce récepteur est généralement une enceinte fermée contenant un fluide caloporteur dont la température augmente sous l'effet de la concentration des rayons

solaires. En règle générale, ce fluide caloporteur actionne un moteur Stirling, qui convertit l'énergie solaire thermique en énergie mécanique, puis en électricité (voir figure 5)

Le rapport de concentration de ce système dépasse souvent 2000[19], permettant au récepteur d'atteindre des températures allant jusqu'à 1000 °C.[20] Un de leurs principaux avantages est la

Grâce à leur modularité, ces systèmes peuvent être installés dans des endroits isolés non raccordés au réseau électrique. Il existe trois types de surfaces réfléchissantes pouvant être utilisées : la première consiste en un dépôt d'argent ou d'aluminium à l'arrière d'une plaque de verre, la deuxième repose sur le même principe mais utilise un film plastique à la place de la plaque de verre, et la troisième se compose de feuilles d'aluminium polies.[21] Pour la production d'électricité, la modularité des concentrateurs solaires permet leur utilisation individuelle pour des applications isolées ou leur regroupement pour former une petite grille, telle qu'une alimentation de village. Ces systèmes peuvent également être hybridés avec des combustibles fossiles pour fournir une puissance accrue.[22].

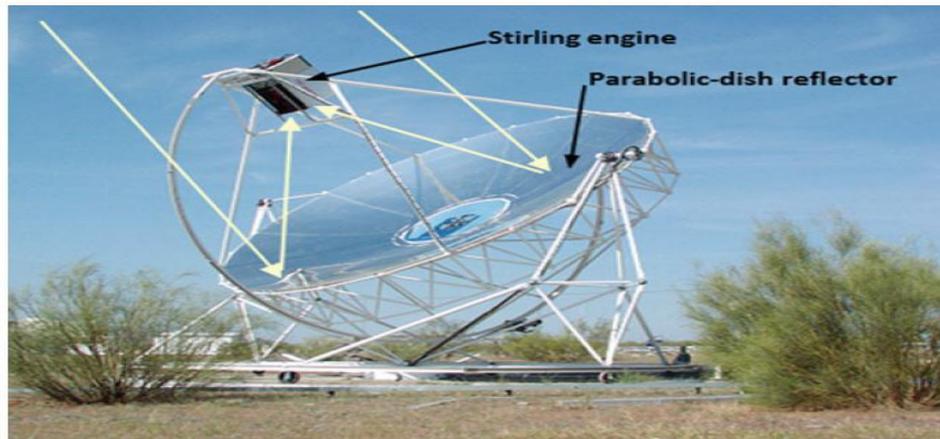


Figure 2-5 Concentrateur solaire parabolique[23]

2.4.2 La tour solaire :

Ce système est composé de capteurs indépendants, appelés héliostats, qui concentrent les rayons solaires vers le sommet d'une tour centrale. Chaque héliostat est constitué de plusieurs miroirs, d'une structure métallique et d'un système de suivi de la position du soleil (voir figure 6). Les miroirs peuvent s'orienter selon deux axes en fonction de la position du soleil grâce à

ce système de suivi. Au sommet de la tour se trouve un collecteur fixe qui collecte et transmet la chaleur à un fluide caloporteur. Cette technologie présente une haute efficacité de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique. Elle a l'avantage de pouvoir s'adapter aux terrains en pente. Avec une surface de miroirs relativement restreinte, elle réduit les pertes thermiques et offre un bon rendement thermodynamique. De plus, la température de sortie du fluide de travail est assez élevée, pouvant dépasser largement les 1000 °C.[24]

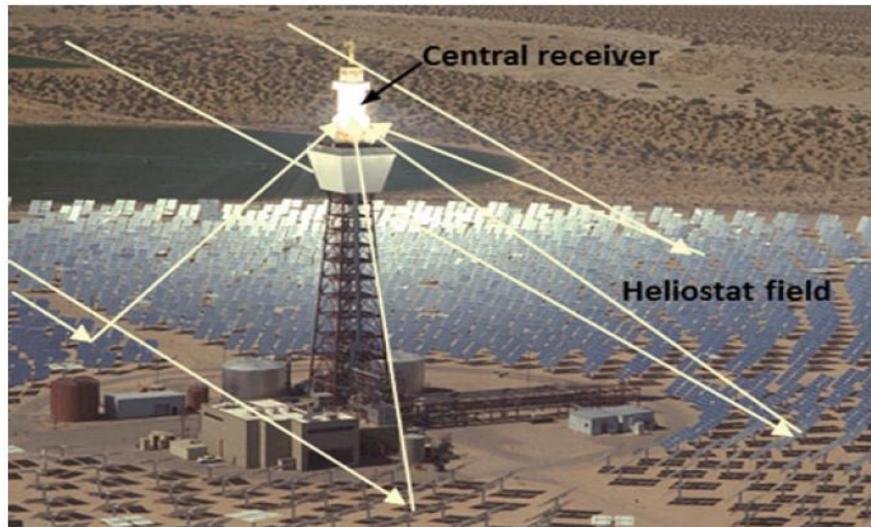


Figure 2-6 tour solaire a concentration [9]

La technologie de la tour solaire a connu un développement intense ces dernières années. En effet, 16,6 % des centrales thermodynamiques en construction sont des centrales à tour, et 38,4 % des projets futurs dans le domaine de l'énergie solaire thermodynamique concernent également cette technologie.

2.4.3 Miroirs de Fresnel

Les capteurs linéaires de Fresnel (LFR - Linear Fresnel Reflector) sont une technologie solaire thermodynamique peu répandue mais en expansion. Ce système se compose de miroirs réfléchissants disposés séparément, qui concentrent les rayons solaires sur un tube horizontal fixe (voir figure 7). Ce tube, qui collecte la chaleur de plusieurs rangées de miroirs, contient le fluide caloporteur, généralement utilisé dans cette technologie.

Les capteurs linéaires de Fresnel utilisent de l'eau comme fluide caloporteur. Les miroirs, situés près du sol, permettent des économies sur la structure métallique de support. Ils peuvent pivoter selon un axe en fonction de la position du soleil grâce à un système de suivi. Cette technologie présente l'avantage d'une faible empreinte au sol et d'un coût inférieur des miroirs par rapport

à d'autres technologies. De plus, la conception des tubes collecteurs est simplifiée, car il n'est pas nécessaire de créer un vide, et la position proche du sol réduit les contraintes mécaniques liées au vent.

Cependant, cette technologie manque de maturité malgré son développement croissant. Le rendement annuel net est relativement faible. Les capteurs, étant orientables, doivent être installés sur un terrain plat avec une pente maximale de 3 %. De plus, l'angle d'incidence des miroirs étant important, le rendement du système diminue en début et fin de journée à cause des ombres projetées par les miroirs les uns sur les autres.[10]

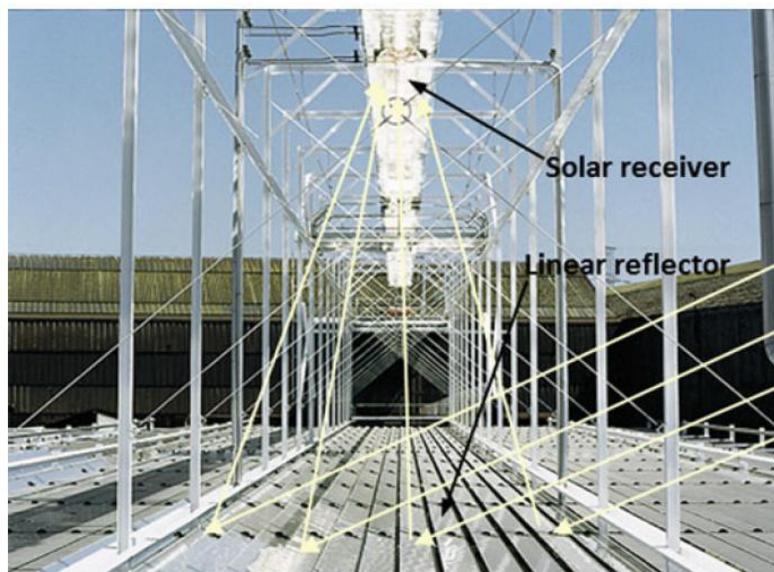


Figure 2-7 Schéma d'un concentrateur solaire de Fresnel [9]

2.4.4 Le concentrateur solaire cylindro-parabolique :

Ce système utilise des miroirs de forme cylindro-parabolique pour concentrer les rayons solaires sur un tube collecteur horizontal. Ce collecteur est un tube en verre contenant un tuyau métallique sous vide (voir figure I.4). Le fluide caloporteur, généralement de l'eau ou de l'huile pour ce type de capteur solaire, circule à l'intérieur de ce tuyau. La structure métallique doit être capable de supporter les hautes températures des tubes et de résister aux forces du vent.

peut frapper les miroirs. Ces miroirs sont utilisés pour chauffer un fluide de travail (généralement de l'eau) grâce à un fluide caloporteur (généralement de l'huile), qui transfère sa chaleur au fluide de travail via un échangeur de chaleur.

Le principal avantage de cette technologie est sa large diffusion et sa maîtrise, ce qui permet de bien connaître ses possibilités et ses limites. De plus, l'orientation ajustable des capteurs permet de suivre le soleil tout au long de la journée, optimisant ainsi le rendement. Cependant, l'huile utilisée comme fluide caloporteur a une plage de températures limitée, ne dépassant pas 500 °C, et présente des risques pour l'environnement [24]

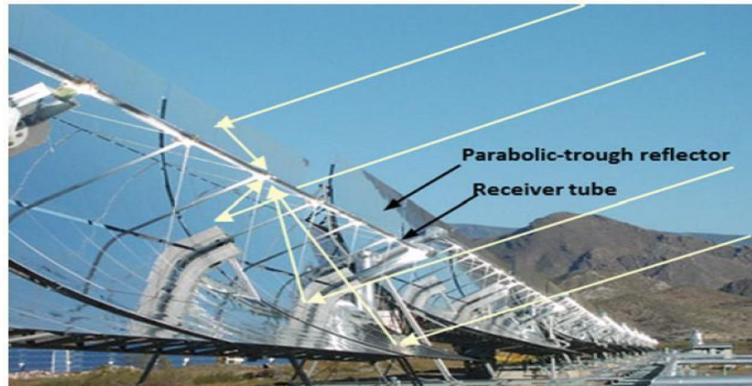


Figure 2-8 Concentrateur solaire cylindro-parabolique[23]

2.5 Etude du concentrateur solaire cylindro-parabolique :

Les concentrateurs cylindro-paraboliques (CCP), connus en anglais sous le nom de 'Parabolic Trough Collectors', sont les concentrateurs linéaires les plus couramment utilisés pour la conversion thermodynamique de l'énergie solaire. Ils sont particulièrement efficaces dans les domaines industriels et domestiques nécessitant des températures de service comprises entre 80°C et 160°C. Pour la production d'électricité, des températures plus élevées, allant de 400°C à 1200°C[25], sont nécessaires, permettant ainsi la génération de vapeur surchauffée.

Les concentrateurs cylindro-paraboliques représentent une technologie très prometteuse pour remplacer les énergies non renouvelables, notamment dans les secteurs industriels tels que les centrales électriques, le dessalement, la climatisation et la réfrigération [26].

2.5.1 Principe de fonctionnement :

Il existe une variété de fluides caloporteurs ainsi que différents schémas et combinaisons thermodynamiques pour convertir l'énergie solaire en électricité. Le processus de conversion de l'énergie solaire en électricité se déroule comme suit : un échangeur de chaleur relie le champ solaire au bloc de puissance, permettant le transfert de chaleur entre le fluide caloporteur et le

fluide thermodynamique[27]. Le fluide caloporteur circule dans le champ solaire, transportant la chaleur entre ce champ et le bloc de puissance. Le fluide thermodynamique, circulant dans le bloc de puissance, convertit cette chaleur en électricité en actionnant des machines telles que des moteurs ou des turbines.

Dans le champ solaire, chaque collecteur capte et concentre le rayonnement solaire sur un récepteur. Le fluide caloporteur, circulant dans ce récepteur, absorbe le rayonnement solaire et le transforme en énergie thermique. Ensuite, ce fluide transporte la chaleur vers le fluide thermodynamique, qui à son tour la transfère au bloc de puissance où elle est finalement convertie en électricité.

2.6 Les composantes d'un capteur solaire cylindro-parabolique :

2.6.1 L'absorbeur :

L'absorbeur ou récepteur (figure 9) est un composant crucial où l'énergie solaire concentrée est absorbée puis transférée à un fluide de travail. L'efficacité du récepteur influence donc de manière significative l'efficacité globale de l'installation. Dans l'absorbeur, les pertes par convection et rayonnement sont importantes. Pour les limiter, une enveloppe en verre recouvre l'absorbeur, créant un vide dans l'espace annulaire, ce qui élimine les pertes thermiques par convection entre le tube absorbeur et l'enveloppe en verre. Les pertes de chaleur peuvent également être réduites en diminuant l'émissivité infrarouge du tube absorbeur (en cuivre ou en aluminium) grâce à des surfaces dites sélectives. Ces surfaces, de couleur foncée, absorbent un maximum de rayonnement solaire tout en émettant très peu d'infrarouges. Aujourd'hui, les fabricants utilisent des revêtements à base d'oxydes de chrome, de nickel ou de titane, appliqués par diverses méthodes (projection sous vide, électrolyse, action chimique, etc.).[28].

Les matériaux couramment utilisés pour les absorbeurs PTC sont le cuivre, l'aluminium et l'acier inoxydable.

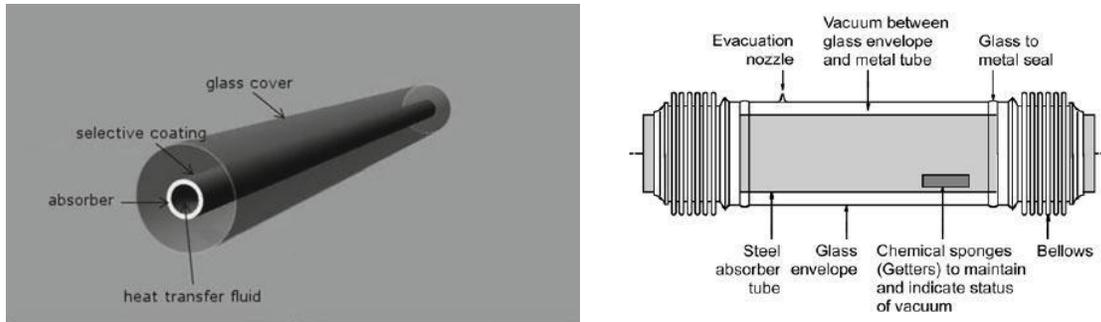


Figure 2-9 Structure de l'absorbeur [23]

Le tube absorbeur doit posséder les caractéristiques suivantes :

- Excellente absorption du rayonnement : Son coefficient d'absorption doit être aussi élevé que possible pour minimiser la réflexion du rayonnement incident.
- Pertes thermiques limitées : La température du tube atteignant souvent plus de 400°C, les pertes par convection et rayonnement sont significatives. Pour les réduire, le tube est entouré d'une enveloppe de verre sous vide.[21]

2.6.2 Le fluide caloporteur :

L'énergie thermique provenant du rayonnement solaire est collectée et convertie à l'aide d'un fluide caloporteur, puis transférée à un fluide thermodynamique. Dans certains cas, le fluide caloporteur est utilisé directement comme fluide thermodynamique. Le choix du fluide caloporteur détermine la température maximale admissible, influence la sélection de la technologie et des matériaux du récepteur, et conditionne les possibilités et la commodité du stockage.

- **L'eau liquide** : L'eau est a priori un fluide de transfert idéal, offrant un excellent coefficient d'échange et une forte capacité thermique. De plus, elle peut être utilisée directement comme fluide thermodynamique dans un cycle de Rankine. Cependant, son utilisation implique de travailler à des pressions très élevées dans les récepteurs en raison des hautes températures atteintes, ce qui pose des problèmes pour les technologies cylindro-paraboliques [22]

- **Les huiles** : Ces fluides monophasiques présentent un bon coefficient d'échange thermique, avec une plage de températures limitée à environ 400°C. Ils sont les plus couramment utilisés dans les centrales à collecteurs cylindro-paraboliques.

- **Les sels fondus** : Les fluides à base de nitrates de sodium et de potassium offrent un bon coefficient d'échange et possèdent une densité élevée, ce qui en fait d'excellents fluides de

stockage. Leur température de sortie peut atteindre 650°C. Leur association avec un concentrateur à tour et un cycle de Rankine constitue une combinaison déjà éprouvée.

- **Les gaz :** Des fluides tels que l'hydrogène ou l'hélium peuvent être employés en tant que fluides thermodynamiques pour actionner les moteurs Stirling, qui sont couplés aux collecteurs paraboliques.

- **Les fluides organiques :** Le butane, le propane, et autres fluides similaires, ont une température d'évaporation relativement basse, ce qui les rend adaptés à une utilisation comme fluides thermodynamiques dans un cycle de Rankine.

-**L'air :** Il peut être utilisé soit comme fluide caloporteur, soit comme fluide thermodynamique dans une turbine à gaz.

c- Le réflecteur :

Les réflecteurs des CCP étaient habituellement fabriqués en miroir ou en un autre métal réfléchissant. Les miroirs sont généralement constitués de verre à faible teneur en fer, recouvert d'une couche d'argent sur leur face inférieure, ainsi que d'un revêtement spécial de protection.

L'aluminium pur est le matériau réfléchissant le plus recommandé, bien que l'acier inoxydable ait été testé, il n'est pas recommandé en raison de son pouvoir de réflexion insuffisant. Un réflecteur de qualité supérieure peut refléter jusqu'à 97% du rayonnement incident. [29]

d- La couverture transparente :

Pendant le fonctionnement thermique d'un capteur solaire, la couverture transparente joue un rôle crucial dans la réduction des pertes thermiques par convection et rayonnement. Il s'agit généralement d'un tube en verre qui recouvre l'absorbeur, permettant de transmettre une grande partie du rayonnement solaire incident tout en formant une barrière contre le rayonnement infrarouge de faible énergie émis par l'absorbeur. Le tube en verre réduit également les pertes convectives entre l'absorbeur et l'enveloppe transparente en créant une couche d'air immobile ou en faisant le vide dans l'espace annulaire autour de l'absorbeur.

e- Le système de poursuite solaire

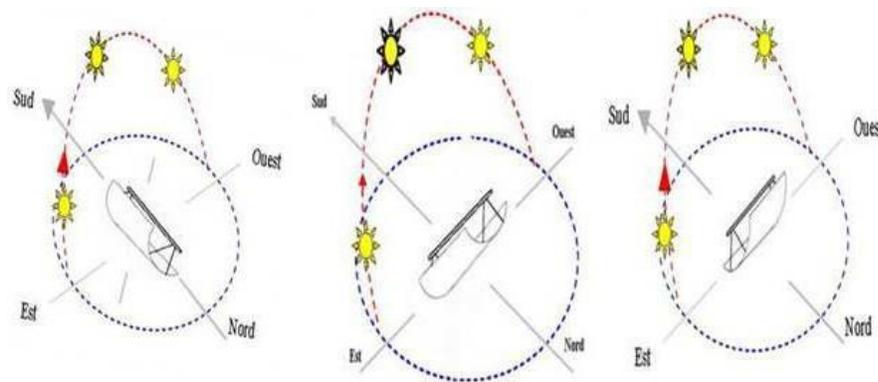
Le mécanisme de poursuite a pour rôle d'ajuster l'inclinaison du concentrateur afin que le rayonnement solaire incident soit toujours perpendiculaire au plan d'ouverture du

concentrateur (angle d'incidence nul). Le suivi du soleil peut être contrôlé par une régulation en boucle ouverte ou fermée :

La régulation en boucle ouverte utilise un algorithme pour positionner l'axe du concentrateur en direction du soleil en temps réel, en se basant sur les coordonnées calculées du soleil.

La régulation en boucle fermée corrige une position initiale approximative en fonction des mesures effectuées par un capteur thermique (thermocouple) ou optique (pyrhéliomètre).

La poursuite solaire peut se faire sur un seul axe ou autour de deux axes. Dans le premier cas, le mouvement peut s'effectuer de trois manières différentes.[28]



Est-Ouest horizontal

Est-Ouest polaire

Nord-Sud horizontal

Figure 2-10 Les modes de poursuite solaire d'un CCP [28].

2.7 Caractéristiques d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique

2.7.1 Caractéristiques géométriques :

La géométrie du capteur est cruciale pour les performances globales du système de capteurs. L'efficacité optique et la quantité de rayons réfléchis interceptés par le récepteur dépendent largement de la précision de fabrication du concentrateur. La figure 12 illustre la géométrie de la section transversale du concentrateur cylindro-parabolique. Les paramètres à considérer lors de

la conception du collecteur d'un CCP incluent l'angle d'ouverture φ , la distance focale f , et l'angle d'acceptante θ_m .

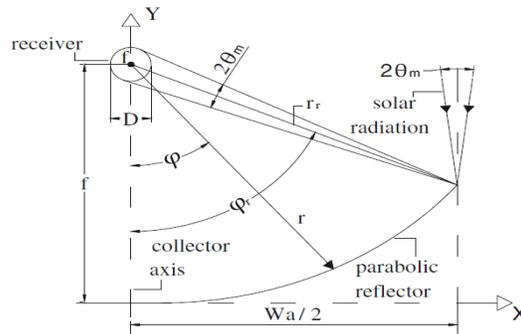


Figure 2-11 Coupe transversale d'un CCP[30]

Si nous définissons x comme l'axe horizontal et y comme l'axe vertical, alors l'équation de la parabole est

$$y = \frac{1}{4f} x^2$$

La distance focale f s'exprime par : [31]

$$f = \frac{W_a^2}{16h_c}$$

2.8 intégration les installations de production de la chaleur solaire pour des applications industriels : [32]

Les installations de production de chaleur à concentrateur cylindro-parabolique exploitent l'énergie solaire en utilisant des miroirs cylindro-paraboliques pour concentrer la lumière solaire sur un tube récepteur. Les miroirs, fabriqués en verre réfléchissant, dirigent les rayons solaires vers le tube récepteur où se trouve un fluide caloporteur. Le fluide caloporteur absorbe la chaleur du rayonnement solaire concentré, atteignant ainsi une température élevée. Un échangeur de chaleur transfère ensuite cette chaleur du fluide caloporteur vers un autre fluide

utilisé pour produire de l'eau chaude ou pour d'autres applications industrielles. Certains systèmes intègrent également un stockage thermique pour stocker la chaleur produite et la libérer lorsque la demande en chaleur est présente. Des systèmes auxiliaires tels que des pompes, des vannes de régulation et des dispositifs de sécurité sont utilisés pour assurer un fonctionnement optimal de l'installation

Presque tous les besoins en chaleur des processus industriels nécessitent de la chaleur dans des plages de température qui peuvent être fournies par un système thermique solaire. Les applications typiques et les secteurs industriels les plus prometteurs adaptés aux systèmes thermiques solaires pour les applications industrielles sont répertoriés dans le tableau 1. La plupart des applications se situent dans des plages de température basses à moyennes.

Un pourcentage extrêmement élevé de la demande de chaleur dans la plage de température basse se trouve dans les secteurs de l'alimentation, des boissons, du papier et des textiles, tandis que des plages de température moyenne se retrouvent dans les industries plastiques et chimiques. Ces industries nécessitent plus de 50% de leur chaleur de processus totale dans la plage de température allant jusqu'à 250°C pour des applications aussi diverses que le séchage, la cuisson, le nettoyage, l'extraction et bien d'autres.

Tableau 1 : Processus industrielles et plage de température[33]

Type d'industrie	Opération	Température (°C)
Alimentation	Séchage	30-90
	Lavage	60-90
	Pasteurisation	60-80
	Ébullition	95-105
	Stérilisation	110-120
	Traitement thermique	40-60
Boissons	Lavage	60-80
	Stérilisation	60-90
	Pasteurisation	60-70
Industrie de papier	Cuisson et séchage	60-80
	Alimentation en eau de chaudière	60-90
	Blanchiment	130-150

Traitement de surface métallique	Traitement, électro placage, etc.	30-80
rique & Blocs	Durcissement	60-140
Industrie Textile	Blanchiment	60-100
	Teinture	70-90
	Séchage, dégraissage	100-130
	Lavage	40-80
	Fixation	160-180
	Pressage	80-100
Industrie Chimique	Savons	200-260
	Caoutchouc synthétique	150-200
	Traitement thermique	120-180
	Préchauffage de l'eau	60-90
Industrie Plastique	Préparation	120-140
	Distillation	140-150
	Séparation	200-220
	Extension	140-160
	Séchage	180-200
	Mélange	120-140
Sous-produits de la Farine	Stérilisation	60-90
Tous les Secteurs Industriel	Préchauffage de l'eau d'alimentation de la chaudière	30-100
	Refroidissement solaire industriel	55-180
	Chauffage des bâtiments d'usine	30-80

2.9 Analyse des travaux scientifiques effectuées sur l'intégration de la chaleur solaire dans les secteurs industriels :

Dans cette partie nous allons balayer plusieurs travaux scientifiques publiés dans la littérature dans le but de comprendre les différents domaines qui peuvent utiliser la chaleur solaire pour assurer leur chaîne de production, ces articles sont résumés comme suit :

Jake Immonen et al [34] examine une nouvelle façon de concevoir et de faire fonctionner une centrale solaire cylindro parabolique pour produire la chaleur industrielle. Une technique appelée intégration de chaleur flexible. Cela permet d'adapter la centrale à différents besoins de chaleur et de tirer le meilleur parti de l'énergie solaire. Les résultats montrent que cette

approche permet d'augmenter la part d'énergie solaire utilisée et de réduire les coûts. De plus, elle contribue à diminuer les émissions polluantes par rapport aux méthodes traditionnelles de chauffage. En résumé, cette étude explore une manière plus efficace et respectueuse de l'environnement de faire fonctionner une centrale solaire pour l'industrie. Pour une centrale de 27 MW-th (à Salt Lake City, UT), les résultats annuels ont été simulés pour deux scénarios : un scénario de base et un utilisant Intégration flexible de la chaleur optimisée qui permette d'augmenter la part solaire de 13,0 % et le coût de la chaleur a diminué de 10,4 % par rapport au scénario de base. Trois jours d'étude de cas ont montré l'efficacité de l'Intégration flexible de la chaleur, notamment pendant les matins, les après-midis et les conditions solaires intermittentes. Une analyse environnementale a révélé que la centrale SIPH pourrait réduire les émissions de 15,4 % pour le scénario de base et de 17,4 % pour le cas de l'Intégration flexible de la chaleur par rapport à une centrale n'utilisant qu'un four à gaz naturel. Dans l'ensemble, l'étude a exploré un fonctionnement efficace des centrales SIPH, les rendant plus rentables et respectueuses de l'environnement.

Une Modélisation et analyse d'une tour d'énergie solaire déplaçable pour le chauffage et le stockage d'eau sous pression fournissant de la chaleur de processus industriel à basse et moyenne température a été réalisée par **Ahmed Gamil et al.** [35]; Ou Les systèmes de tours d'énergie solaire ont fait l'objet d'études approfondies pour la production d'électricité à grande échelle, mais très peu d'applications fournissent de la chaleur pour les processus industriels.

Une tour solaire à concentration de traitement industriel de 1,3 MWth est considérée comme fournissant de la chaleur à un emplacement de référence, à Tucson, en Arizona.

Dans cette étude, un algorithme est développé pour modéliser, évaluer et optimiser les performances d'un nouveau système de tour d'énergie solaire déplaçable qui peut fournir de la chaleur industrielle à basse et moyenne température pour une utilisation dans des applications telles que la fracturation hydraulique, le chauffage urbain et l'industrie minière

L'étude se concentre principalement sur la modélisation et l'optimisation d'un champ d'héliostats biomimétiques constitué d'héliostats amovibles de petite taille (4 m²) et d'une tour en d'acier de 40 m de hauteur, basé sur un récepteur externe léger et optimisé qui utilise de l'eau chaude sous pression comme fluide caloporteur. Pour la production de vapeur dans une plage de température de 120 à 220 ° C, ce qui constitue la principale exigence de température dans le

chauffage industriel. Le modèle développé couple et optimise simultanément le transfert de chaleur et les performances optiques du récepteur et du champ de l'héliostat dans les conditions de conception, tandis que les pertes thermiques et optiques transitoires annuelles sont également évaluées. La géométrie du récepteur externe, les facteurs de forme du champ biomimétique de l'héliostat et la hauteur de la tour ont été évalués paramétrique et optimisés pour maximiser le rendement énergétique. L'approche de modélisation et d'optimisation a été validée par l'analyse de deux centrales solaires thermiques de référence à sels fondus (SOLARTWO et GEMASOLAR), montrant un accord très satisfaisant avec les paramètres de conception de la littérature. Une comparaison avec un champ d'héliostat radial décalé modélisé à l'aide du logiciel SolarPILOT a également été réalisée.

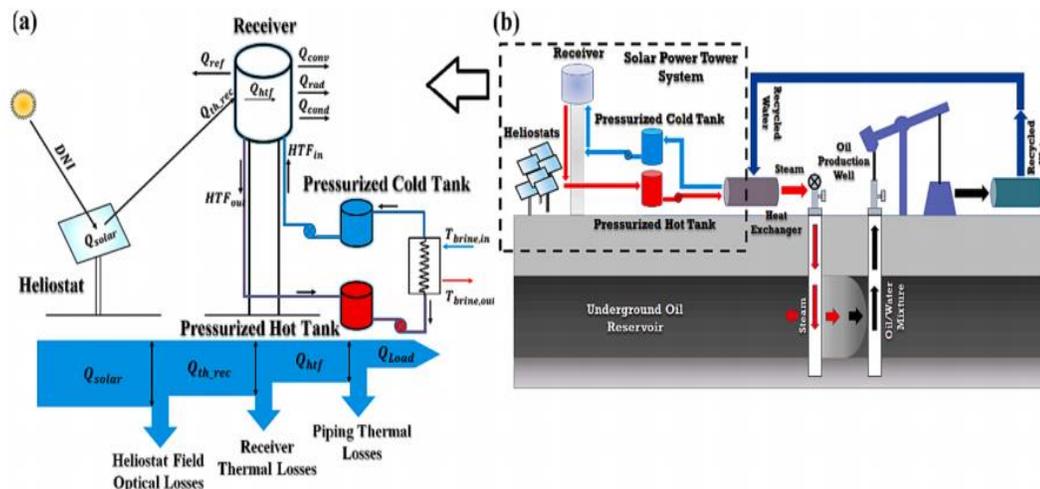


Figure 2-12 Schéma illustratif de l'installation étudiée par Ahmad Gamil et al [36]

Md.Ashiqur Rahman et al [36] ont fait une Analyse de faisabilité technico-économique et environnementale de systèmes de chauffage solaire pour procédés industriels dans les industries textiles a Bangladesh. Le présent travail, la viabilité de l'utilisation de l'énergie solaire thermique au Bangladesh pour le chauffage des processus industriels est étudiée par une analyse paramétrique prenant en compte les facteurs thermiques, économiques et environnementaux. L'effet du débit massique et de la température d'entrée sur le coefficient global de perte de chaleur est étudié. Le gain de chaleur par rapport à la surface disponible pour

différents débits massiques est présenté et peut être utilisé comme ligne directrice pour déterminer la capacité d'un système installé. Une étude de cas est présentée pour une usine textile opérationnelle à Mymensingh afin de réaliser le potentiel de la chaleur de processus industriel solaire à l'aide de capteurs solaires plan. Les économies d'énergie pourraient atteindre jusqu'à 14,7 % en été et environ 9 % en hiver, ce qui entraînerait également une réduction des émissions de CO₂ du même pourcentage. La période de récupération s'est avérée être de 13,58 ans.

Bartosz Stanek et al [37] présente une stratégie pour réduire le coût d'investissement et ainsi accroître la popularité des collecteurs cylindro paraboliques en remplaçant partiellement le revêtement sélectif coûteux par un revêtement non sélectif à haute capacité d'absorption thermique et à faible coût.

Ils sont arrivés à une solution potentielle pour réduire le coût du système de chauffage industriel basé sur un concentrateur cylindro-parabolique parabolique en remplaçant partiellement les revêtements des absorbeurs par des revêtements non sélectifs. L'analyse a été réalisée pour 4 études de cas reflétant des solutions disponibles dans le marché avec différentes plages de température pour différentes applications industrielles. Les calculs ont été effectués à l'aide du modèle mathématique développé en deux dimensions et validé avec des données expérimentales. Le fluide caloporteur supposé est le Therminol VP-1. Les résultats ont montré le potentiel d'une utilisation partielle du revêtement Pyromark pour les systèmes de chauffage de procédés industriels à basse et moyenne température avec des plages de températures d'entrée-sortie de 60 à 120 °C et de 100 à 200 °C.

L'analyse a également montré que tous les absorbeurs peuvent être recouverts d'un revêtement à faible coût dans le premier scénario (figure 10). Des augmentations d'efficacité de 1,5 à 5,5 points de pourcentage ont été observées. Pour le deuxième scénario (figure 2.13), 15 des 24 absorbeurs peuvent être recouverts d'un revêtement à faible coût, lorsque l'installation fonctionne à un éclairage solaire de 800 W/m².

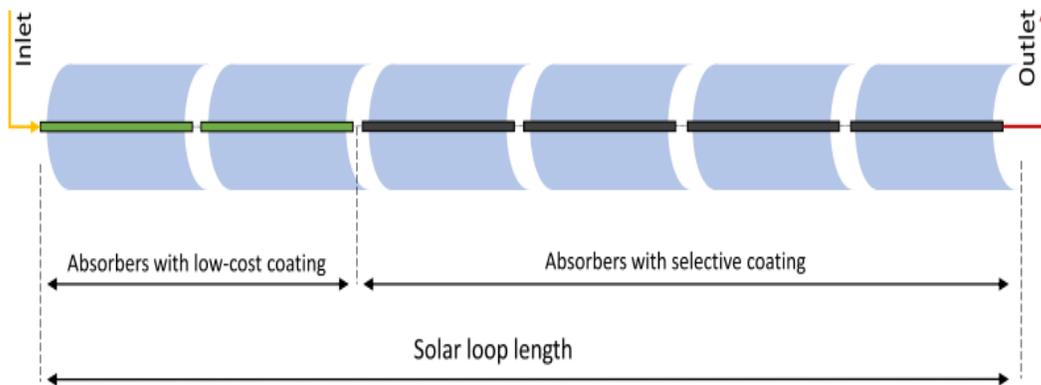


Figure 2-13 Concept des concentrateur étudiés (réduction partial de type d'absorbeur)

Bartosz Stanek et al [38]

Meisam Sadi [38] et al vise à développer une technologie solaire innovante pour fournir un chauffage et un refroidissement 100 % écologiques et rentables à l'industrie. Elle combine un collecteur solaire cylindro parabolique peu coûteux mais efficace avec une chaudière bio spécialement conçue pour compenser les fluctuations de l'énergie solaire. Une analyse approfondie de cette solution est présentée, montrant ses avantages économiques, environnementaux et technologiques par rapport aux technologies industrielles actuelles. Les résultats montrent une réduction significative des émissions et des coûts de production. Le système solaire répond à près de 50 % de la demande totale, avec une chaudière à biomasse, brûlant la bagasse de canne à sucre, couvrant le reste. Son coût énergétique est de 69,9 USD/MWh et son indice d'émission est de 267,7 tonnes/GWh, bien inférieur aux alternatives utilisant du charbon, du bois ou du GPL. La méthode propose un système hybride solaire-biomasse pour répondre aux besoins en énergie durable d'un parc industriel. Les principales composantes sont un absorbeur frigorifique double effet, un chauffage à biomasse et un collecteur solaire PTC spécial. Pendant la journée, l'eau chaude solaire alimente l'absorbeur frigorifique, tandis que la biomasse prend le relais la nuit. Le fluide de travail absorbe l'énergie solaire dans le champ solaire, stocké dans un réservoir chaud, puis chauffé si nécessaire avant d'alimenter l'absorbeur frigorifique pour fournir chauffage et refroidissement.

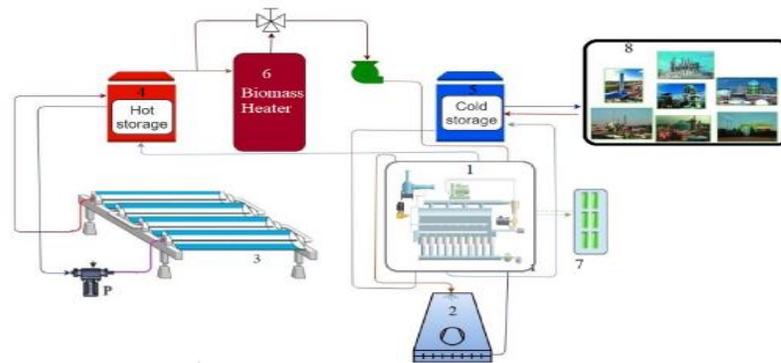


Figure 2-14 Schéma du secteur énergétique du parc industriel proposé, basé sur la biomasse et le solaire[38].

Claudia Prestigiaco et al.[39] Proposent une nouvelle méthode pour éliminer les émissions de carbone dans l'extraction pétrolière en utilisant l'énergie solaire thermodynamique dans les colonnes de distillation de la raffinerie Milazzo en Italie (voir figure 2-15). Cela réduit les émissions de CO₂ de 54,2 kt/an (11 % de réduction) et économise 19,9 kt/an de méthane, avec un retour sur investissement de 16,2 %. En comparaison, l'utilisation du terrain pour le photovoltaïque au lieu du CSP n'économise que 24,6 kt/an de CO₂ et 9,0 kt/an de méthane, avec un retour sur investissement de 8,5 %. L'intégration de l'énergie solaire dans la distillation du pétrole peut ainsi réduire les émissions et la consommation d'énergie de manière économiquement avantageuse. La centrale solaire à concentration utilise des collecteurs cylindro parabolique de 100 m de longueur, et une ouverture de 5,8 m. Le fluide caloporteur, (sel fondue), chauffe jusqu'à 550 °C. L'isolation thermique des tuyaux comprend une couche de céramique et une de laine minérale. Le sel fondu chauffé est stocké dans un réservoir chaud. Le niveau d'Irradiance solaire directe est crucial. Le Moyen-Orient, avec une irradiation normale directe uniforme, favorise l'utilisation de l'énergie solaire. la durée d'amortissement de cout de l'installation trouvée est 6 ans

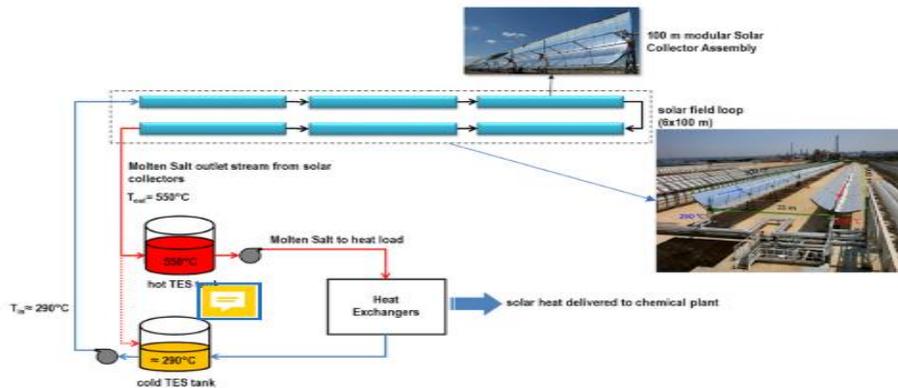


Figure 2-15 Schéma d'une boucle de concentrateur solaire et schéma fonctionnel de la boucle de sel fondu vers la charge thermique [40]

D'après l'étude expérimentale menée par Panayiotis K et al [40] d'un système de collecteur cylindro parabolique pour une application de chaleur industrielle. Cette étude présente le premier concentrateur cylindroparabolique industriel à Chypre, installé dans la plus grande usine de boissons gazeuses. Le système se compose de 288 m² de collecteurs, d'un générateur de vapeur et d'un stockage d'énergie thermique en béton, afin de maintenir le système opérationnel. Pour y parvenir, deux stratégies opérationnelles sont développées et contrôlées automatiquement par le processeur principal du système. La première stratégie est activée lorsqu'il y a une demande de vapeur et la seconde lorsque l'énergie peut être stockée directement. Les deux stratégies sont testées et il est démontré que dans le cadre de la stratégie 1 le système solaire proposé peut produire 940 litres de vapeur par jour avec un DNI moyen de 757 W/m², l'énergie stockée et de 77,5 kWh_{th} pendant 3,5 h de vapeur qui sont fournis à l'usine pour les différents processus industriels.

Au cours de la stratégie 1, tôt le matin, lorsque le rayonnement solaire est nul, le système est en « mode démarrage à froid (stockage thermique) » et le fluide de transfert de chaleur chauffé du matériau de stockage à 236 °C. Lorsque le système fonctionnait selon la stratégie 1, de 5h00 à 8h00, la vapeur était produite à partir de l'énergie stockée et de 8h00 à 15h00, la vapeur était produite uniquement à partir du système solaire CSP.

Dans le cadre de la stratégie 2 (figure 3) il peut stocker 107,3 kWh_{th}. Au cours de tests d'une durée de deux mois, il a été prouvé qu'il peut fournir la quantité de vapeur requise à l'usine même lorsque le rayonnement solaire est faible, avec le soutien de stockage thermique.

Yousif Muhammad et al [41] ont fait une étude de Simulation, analyse expérimentale et paramétrique sur le stockage d'énergie thermique dans la roche couplé à des concentrateur solaire cylindro-parabolique pour produire la chaleur industrielle. Le stockage offre une solution pour réduire la consommation de gaz naturel par les chaudières à vapeur pour les processus industriels à moyenne température (100 °C 250 °C). L'efficacité de charge s'est avérée être comprise entre 77 et 94 %. Ce modèle à l'échelle pilote est mis à l'échelle dans le modèle numérique vers un stockage de niveau industriel de 330 MWh où la température et le débit de sortie sont présentés pour une puissance de sortie constante.

Chapitre 3

L'intégration d'une installation solaire thermodynamique dans l'industrie

3.1 Introduction

Le secteur industriel est le pilier de développement économique des pays, pour notre pays le secteur industriel basé sur le gaz naturel et l'électricité pour son fonctionnement. Ce qui traduit un immense rejet des gaz à effet de serre dans l'atmosphère notamment dans les villes industrielles, la totalité des secteurs industriels utilisé de la chaleur pour leurs processus de fabrication, cette chaleur est fournie par des chaudières conventionnelle à gaz, prend en considération d'autre sources qui peuvent remplace les chaudières conventionnelles permet de décarbonisé le secteur .

La capacité de production de la chaudière est liée à cette des équipements. L'EATIT de sebdou est équipé de 04 chaudières dont la capacité de chacune vaut 0 et en les alimente selon la quantité de chaleur demandée. Tandis que pour l'échauffement du thermo fluide (huile)qui va atteindre une température 300 c° pour le chauffage de l'équipement qui se fait par convection Il existe 03 connus dont la capacité de chacune vaut 123m³/h m qui travaille selon le cycle fermé pour un volume d'huile de 35000 L.

3.2 Méthodologie de travail :

Dans cette étude, nous avons commencé par analyser le rayonnement direct sur le site d'installation Sebdou, ce qui a impliqué la collecte de données météorologiques utilisant le logiciel METEONORM. Ces données sont importantes pour comprendre les variations des conditions climatiques de la région.

Ensuite, nous avons défini la capacité nominale de l'installation solaire thermodynamique. Tenant en compte les besoins en chaleur de l'usine

Chapitre 03 L'intégration d'une installation solaire thermodynamique dans l'industrie

Sur la base de l'analyse du rayonnement solaire, nous avons défini la capacité nominale de l'installation solaire. Cela a inclus la détermination du nombre et du type de collecteurs solaires nécessaires pour répondre aux besoins thermiques de l'industrie. Nous avons également pris en compte les facteurs d'efficacité des collecteurs et les pertes potentielles pour estimer la puissance thermique utilisable de l'installation.

Enfin, la simulation des Performances Dynamiques de l'Installation :

Pour évaluer la performance de l'installation solaire en conditions réelles, nous avons utilisé des outils de simulation dynamique. Ces simulations ont permis de modéliser le comportement de l'installation solaire sous différentes conditions météorologiques et de charge thermique. En particulier, nous avons utilisé le logiciel Greenius, reconnu pour sa précision dans la simulation des systèmes solaires thermiques.

Les simulations ont fourni des prédictions détaillées sur la production thermique horaire, les économies de combustible, et les réductions d'émissions de gaz à effet de serre.

3.3 Description de l'installation :

Nous avons proposé de travailler avec des concentrateurs cylindro-parabolique pour produire la chaleur nécessaire pour le fonctionnement de la chaîne de fabrication de l'usine, et afin d'assurer la demande en énergie thermique dans les périodes d'intermittences et pendant la nuit l'hybridation par chaudière à gaz est importante, la figure 3.1 donne un aperçu général sur les composants de l'installation.

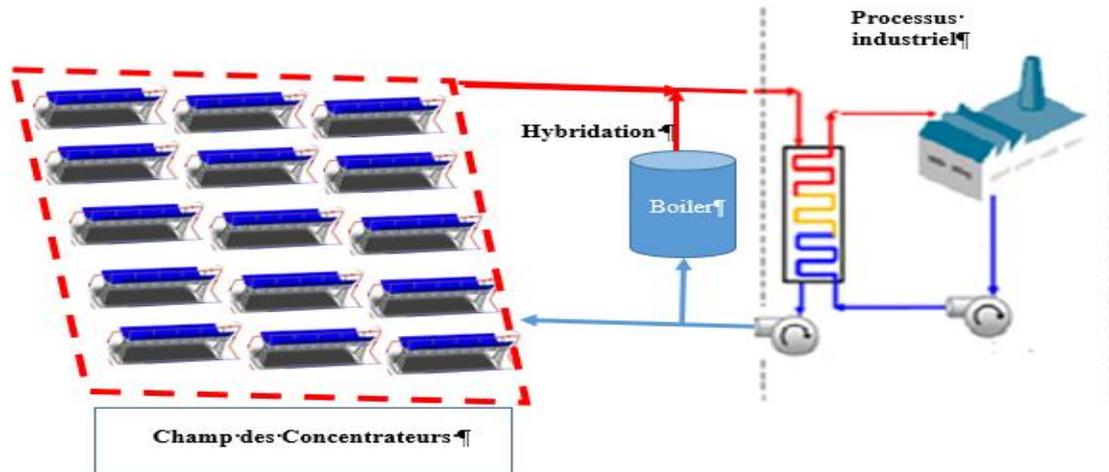


Figure 3-1 schématisation de l'installation solaire

3.4 Présentation de l'entreprise :

3.4.1 Généralités sur les entreprises de textile :

L'industrie textile englobe toutes les activités liées à la conception, la fabrication et la commercialisation des textiles, incluant notamment les vêtements. Ce secteur comprend une multitude de métiers répartis tout au long d'une chaîne de production, allant de la création des tissus à la distribution des produits finis. Cette chaîne transforme les matières premières fibreuses en produits semi-finis ou entièrement manufacturés. La préparation des fibres naturelles et synthétiques se situe au début du processus de production. Au XXI^e siècle, les produits textiles sont majoritairement des biens de consommation, avec une part significative et bien connue consacrée aux vêtements de prêt-à-porter.

3.4.2 Configuration de l'industrie textile en Algérie :

Sur le plan technique, l'industrie textile algérienne est structurée selon un schéma d'intégration verticale (filature, tissage, finissage, confection) et couvre l'ensemble des filières

Chapitre 03 L'intégration d'une installation solaire thermodynamique dans l'industrie

technologiques du textile. Cette branche industrielle comprend deux secteurs complémentaires : le secteur textile public et le secteur textile privé.

3.4.3 Situation de textile en Algérie :

Le projet du complexe industriel textile de Sebdoou a été lancé en 1974 en tant qu'unité industrielle de la société nationale SONITEX. Après la restructuration de SONITEX en 1982, suivant le décret n° 82-399 du 4 décembre 1982, le complexe industriel textile de Sebdoou est devenu une unité de l'entreprise publique économique COTITEX. Il a commencé à fonctionner en 1979, marquant ainsi trente ans d'existence.

L'Entreprise des Industries Textiles, société par actions, abrégée DENITEX Spa, est issue du découpage de l'Entreprise des Industries Textiles Cotonnières de Sebdoou, "COTITEX SEBDOU", elle-même résultant de la restructuration de l'Entreprise Nationale des Industries Textiles Cotonnières "COTITEX" le 1er avril 1986.

Le complexe a été mis en service le 1er juin 1979 et se compose de six bâtiments. :

- Filature
- Tissage
- Finissage
- Annexes Techniques
- Station Epuration des eaux
- Poste énergie électrique

Sa capacité de production théorique est

- Filature : 2000 tonnes /ans
- Tissage : 6000 mètres linéaires / ans
- Finissage : Traitement de toute la production
- Production de 11 000 m³ d'eau destinée à l'irrigation. Régime de travail : 3 X 8
- Le chiffre d'affaires annuel de DENITEX est de 700 millions de DA en moyenne

3.4.4 Activités du complexe :

L'industrie de DENITEX se spécialise dans la production de textiles tels que le jean bleu gabardine et le bleu de travail. Elle utilise les matières premières suivantes :

Chapitre 03 L'intégration d'une installation solaire thermodynamique dans l'industrie

- Coton
- polyester
- Colorants
- Produits de fixation (les fixateurs)
- Détergents et autres produits chimiques

Le complexe de DENITEX Spa est une unité de production intégrée regroupant diverses spécialités :

- ✓ Filature : production de fil simple et retors.
- ✓ Tissage : production de tissu écru.
- ✓ Finissage : production de tissu fini.
- ✓ Maintenance : l'entreprise dispose pour la maintenance de ses équipements d'un atelier

Mécanique (tournage, fraisage, soudure), d'un atelier électrique (rembobinage des moteurs), d'un atelier électronique et une équipe de spécialistes chapotée par le directeur de maintenance.

- ✓ Chaufferie et climatisation
- ✓ Traitement des eaux.
- ✓ Épuration des eaux : l'entreprise dispose de sa propre station d'épuration qui est fonctionnelle.

3.4.5 Emplacement géographique du complexe :

De forme plus ou moins rectangulaire, le complexe textile « EATIT SEBDOU » est situé dans la zone industrielle de la ville de Sebdoou, à 38 km au sud-ouest de Tlemcen. Voir 3.2



Figure 3-2 Emplacement géographique du complexe. [42]

Chapitre 03 L'intégration d'une installation solaire thermodynamique dans l'industrie

L'entreprise a obtenu la certification ISO 9001 version 2000 du « Système de Management de la Qualité » par le comité de certification LQS France le 22/12/2008. Par la suite, elle a été certifiée ISO 9001 version 2008 par le même comité le 06/12/2010.

3.4.6 Plan de masse du Complexe :

Ce plan montre bien les différentes structures du complexe

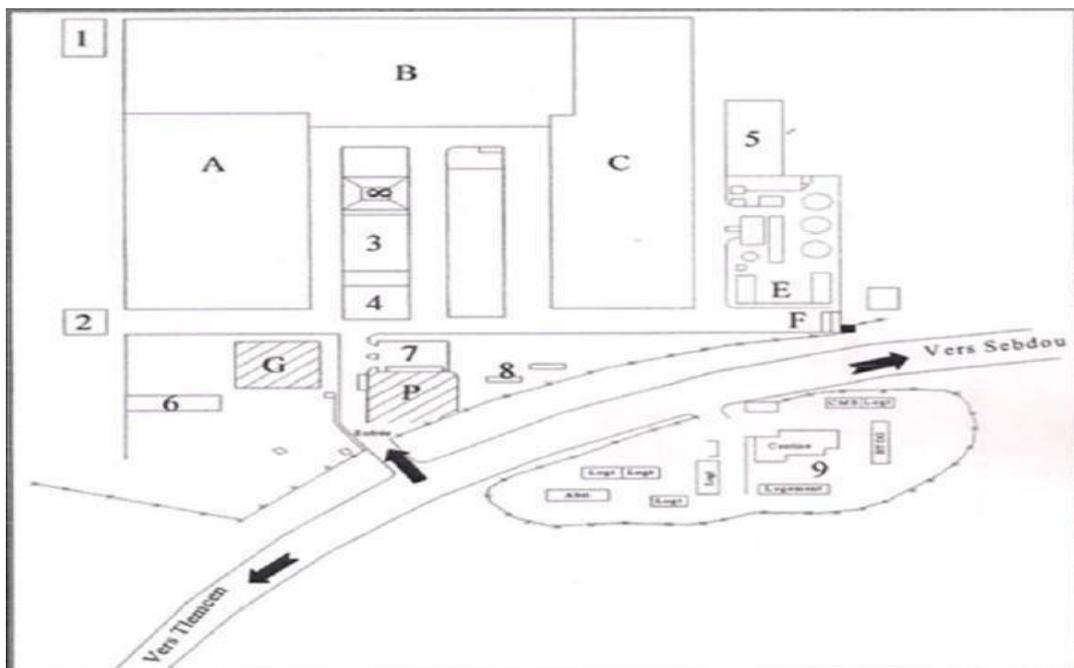


Figure 3-3 Plan de masse du complexe « EATIT SEBDOU ». [42]

Légende :

A. Filature
B. Tissage
C. Finissage

1. Atelier mécanique auto
2. Hangar produit chimique
3. Abri stockage huiles.

D. Annexe technique	4. Cantine
E. Station de traitement de d'épuration d'eau	5. Abri produit chimique et chaux
F. Transformateur HT/MT	6. Abri pour véhicule lourds
G. Administration	7. Abri pour véhicule légers
P. Parking	8. Compléments
	9. Logements, Foyer et générale

3.4.7 Processus de fabrication :

Les services sont divisés en plusieurs départements de production, où nous avons passé de courtes périodes au cours de notre stage. Ces visites dans les différents départements de l'usine nous ont permis de mieux comprendre les nombreuses étapes des processus de production.

3.4.7.1 Département de filature :

La filature est la première étape de la chaîne de production de l'usine. Elle comprend tous les traitements appliqués à une matière textile pour la transformer en fil.

3.4.7.2 Département de tissage :

Le tissage est l'étape finale de toutes les opérations que la matière première subit lors de la filature. Il consiste à assembler différents systèmes de fils.

3.4.7.3 Département de finissage :

Le département de finition est responsable de la teinture des tissus écrus provenant du tissage. C'est le dernier traitement que subit le tissu avant la couture. Ce département réalise plusieurs opérations pour transformer le tissu en produit fini.

3.5 Présentation du logiciel de Simulation Greenius :

Greenius (Green Energy System Analysis) est un logiciel de simulation avancé conçu pour calculer et analyser des projets d'énergies renouvelables pour la production d'électricité.

Chapitre 03 L'intégration d'une installation solaire thermodynamique dans l'industrie

Son objectif principal est de réduire les risques associés aux projets de production autonome d'électricité à partir de sources renouvelables.

Il prend en compte une variété de systèmes, y compris les panneaux solaires photovoltaïques, les concentrateurs paraboliques avec moteur Stirling, ainsi que les centrales solaires thermiques à cylindro-paraboliques et les éoliennes. [42]

Ce programme réalise des calculs techniques, économiques et environnementaux en utilisant des données météorologiques horaires au format « fichiers ASCII ».

Les applications Windows peuvent être sauvegardées dans différents formats. Les résultats des calculs sont précis et les simulations sont rapides. Greenius a été développé par le Centre aérospatial allemand (DLR), avec la contribution du Dr Rainer Kistner, Winfried Ortmanns, Dr Volker Quaschnig et Dr Jürgen Dersch. Les ventes, la distribution et le support sont sous licence du DLR. Ce logiciel est disponible en anglais et en allemand. Après son démarrage, l'assistant apparaît automatiquement sur le bureau. (figure 1).

Il offre la possibilité de créer de nouveaux projets ou d'ouvrir des projets existants. En utilisant la touche "ESC", nous pouvons fermer la fenêtre de l'assistant, et nous pouvons relancer l'assistant à tout moment en appuyant sur "F1".

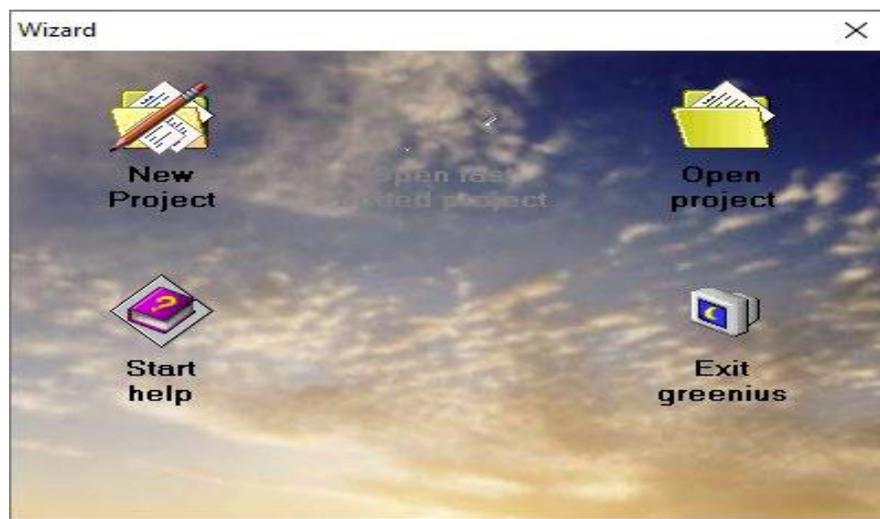


Figure 3-4: Fenêtre de logiciel[42]

La Figure suivante présente un résumé des interfaces principales du logiciel Greenius utilisées pour étudier un projet.

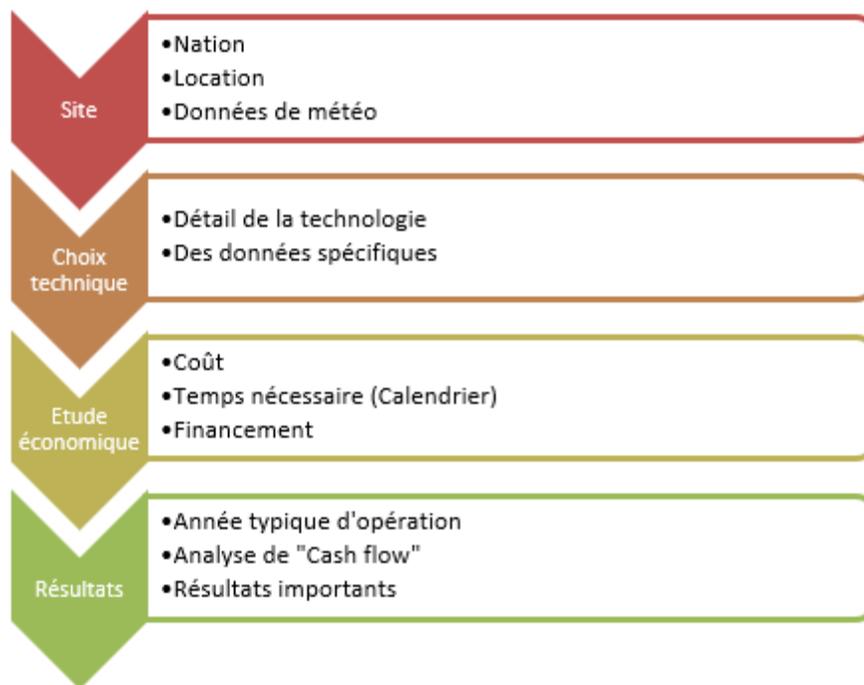


Figure 3-5: Fenêtre de logiciel [42]

3.5 Étapes À Suivre Et Données Nécessaires

Avant de mettre en œuvre un projet solaire, il est essentiel de prendre en compte divers paramètres tels que les données géographiques, météorologiques et économiques (coût des

Chapitre 03 L'intégration d'une installation solaire thermodynamique dans l'industrie

terrains, frais d'approvisionnement en eau, tarifs de l'électricité, taux d'escompte, etc.). Ces paramètres sont regroupés en quatre catégories principales :

Données spécifiques au pays ;

Données relatives au site d'implantation ;

Données sur la consommation électrique et le profil de charge du pays ;

L'interface météorologique montre les données météorologiques pertinentes. La Figure 3 présente un exemple d'interface pour localiser un projet. L'interface spécifique au pays résume les informations suivantes : les tarifs de l'électricité en vigueur dans le pays, avec la possibilité de choisir des tarifs fixes ou variables. Si des tarifs variables sont sélectionnés, il est possible de spécifier différents tarifs pour chaque heure de l'année. De plus, quelques données macro-économiques telles que le taux d'inflation et le taux d'actualisation sont également fournies.

The screenshot shows a software window titled 'Nation' with a menu bar (File, Edit, Help) and a toolbar with a globe icon. The main content area is titled 'National Economics' and contains several sections of input fields:

- General:** Name: Default
- Remuneration Tariffs:** Electricity: 0,170 €/kWh (selected as 'variable'), Heat/Cooling: 0,080 €/kWh
- Tariffs valid for:** 2016
- Fix fossil fuel usage:** 0,0 %
- Prices of Delivery:** Fuel price: 0,050 €/kWh, Water price: 0,050 €/m³, Purchased from the grid: 0,150 €/kWh, Prices valid for: 2016
- Taxes:** Income tax rate: 30,00 %, Property tax rate: 0,00 %, Tax holidays: 0,00 years, Loss forwarded: 0,00 years
- Discount Rate:** for investment costs: 6,00 %, for running costs: 6,00 %
- Escalation Rates:** Tariff escalation: 0,00 %, O&M price escalation: 0,00 %, Replacement escalation: 0,00 %, Fuel price escalation: 1,80 %
- Specific Reference Values:** Levelized generation costs: Electricity 0,050 €/kWh, Heat 0,030 €/kWh, CO2 emissions: Electricity 0,600 kg/kWh, Heat 0,300 kg/kWh

Buttons for 'OK', 'Apply', and 'Cancel' are located at the bottom right.

Figure 3-6 Interface des paramètres spécifiques du pays[43]

Chapitre 03 L'intégration d'une installation solaire thermodynamique dans l'industrie

La Figure 3.7 présente l'interface du site du projet, qui comprend des détails sur l'emplacement géographique, les caractéristiques du terrain et des informations sur l'infrastructure, comme la disponibilité du réseau électrique et les raccordements à l'eau.

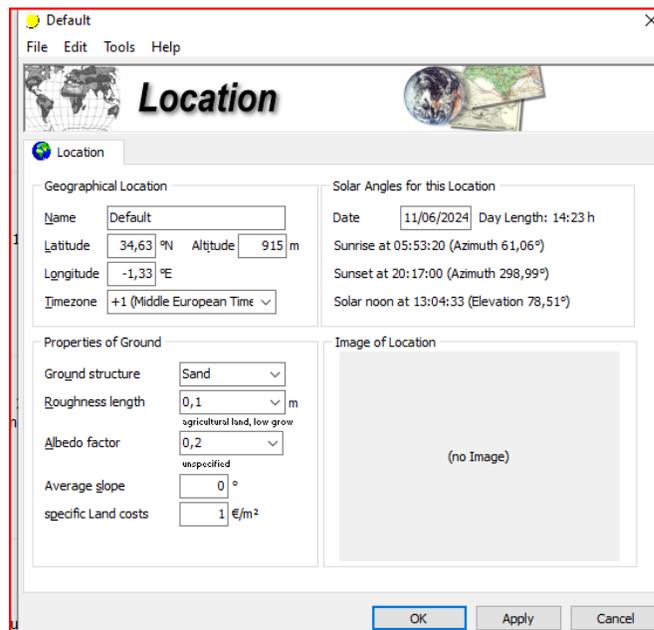


Figure 3-7 Interface du site du projet [44]

Pour étudier le projet, nous avons besoin de données spécifiques telles que la géographie et la structure du terrain du site. La latitude, la longitude et le fuseau horaire sont essentiels pour les calculs de position solaire, donc ils sont sélectionnés avec soin.[44]

L'interface "Météo" fournit des informations météorologiques pour chaque étape de l'année, comprenant les facteurs suivants qui influencent le rendement de la centrale solaire :

- température ambiante
- Pression atmosphérique
- Humidité
- Irradiance globale (GHI)
- Irradiance normale directe (DNI)
- Irradiance diffuse (DHI)
- Direction de vent ;

Chapitre 03 L'intégration d'une installation solaire thermodynamique dans l'industrie

- Vitesse de vent.

La plupart des simulations peuvent être réalisées même sans données météorologiques complètes. Seules les principales conditions ambiantes nécessaires à chaque technologie doivent être fournies. Le logiciel dispose d'une bibliothèque de données météorologiques pour certains pays, comme l'Espagne, l'Allemagne, la Grèce, l'Italie, etc. Cette bibliothèque est adaptable et permet d'ajouter d'autres ensembles de données.

3.5.1 choix de technologie d'énergie solaire :

Greenius simule les technologies d'énergies renouvelables (Figure 3.8) les plus courantes. Actuellement, le logiciel prend en charge les technologies suivantes :

- Centrales thermiques solaires de cuvette ;
- Systèmes solaires paraboliques (avec Moteur Stirling) ;
- Concentration des systèmes photovoltaïques ;
- Systèmes solaires photovoltaïques non concentrés ;
- Parcs d'alimentation électrique par conversion éolienne ;
- Systèmes paraboliques de cuvette (avec et sans stockage) ;
- Système de tour solaire.

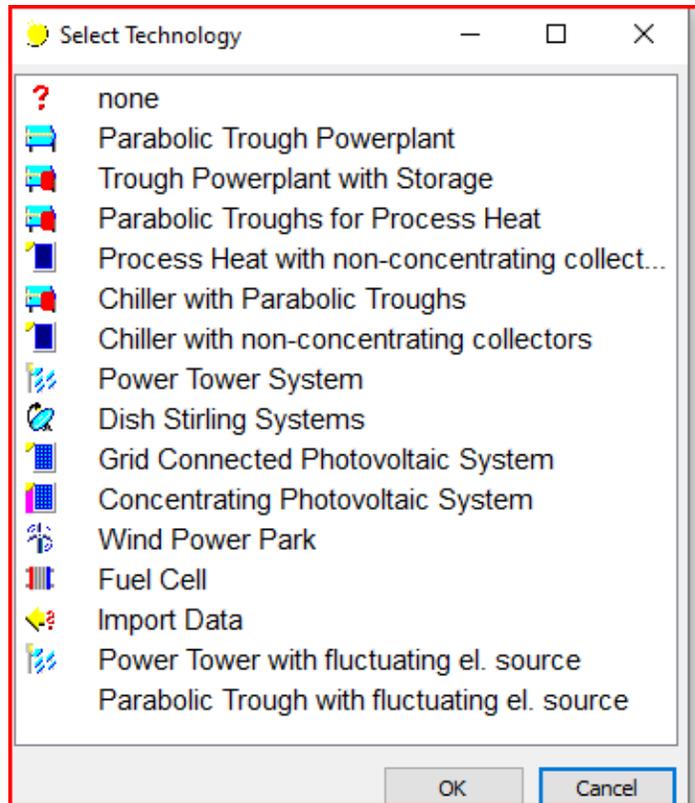


Figure 3-8 Quelques types de technologies des énergies renouvelables disponibles dans la bibliothèque du Greenius

3.7 Définition de la puissance nominale de l'installation :

Nous avons estimé les besoins en gaz de l'usine en se basant sur la consommation de la facture de gaz pour le mois de mars. La consommation de gaz pour le mois de mars est de 1 776 050.10 kWh th. L'usine fonctionne 24 heures par jour.

Q_{th} : consommation mois mois de Mars 2024 égal 1776050.10

P_{th} : la puissance thermique

Chapitre 03 L'intégration d'une installation solaire thermodynamique dans l'industrie

$$P_{th} = \frac{\text{consommation thermique}}{\text{nombre heure} \times 30 \text{ jours}}$$

En appliquant les valeurs :

$$P_{th} = \frac{1776050.10 \text{ kWh th}}{24 \text{ heures} \times 30 \text{ jours}}$$

$$P_{th} = 2.5 \text{ MWh th}$$

Chapitre 4

Résultats & discussion

4.1 Introduction

Analyse intégration d'un central cylindro parabolique pour la production de la chaleur pour une l'usine

La puissance nominal 2.5MWh th pour les résultats on a présenté 4 journée on a présente les moyennes journalières pendant l'année.

4.1.1 Dimensionnement du champ solaire :

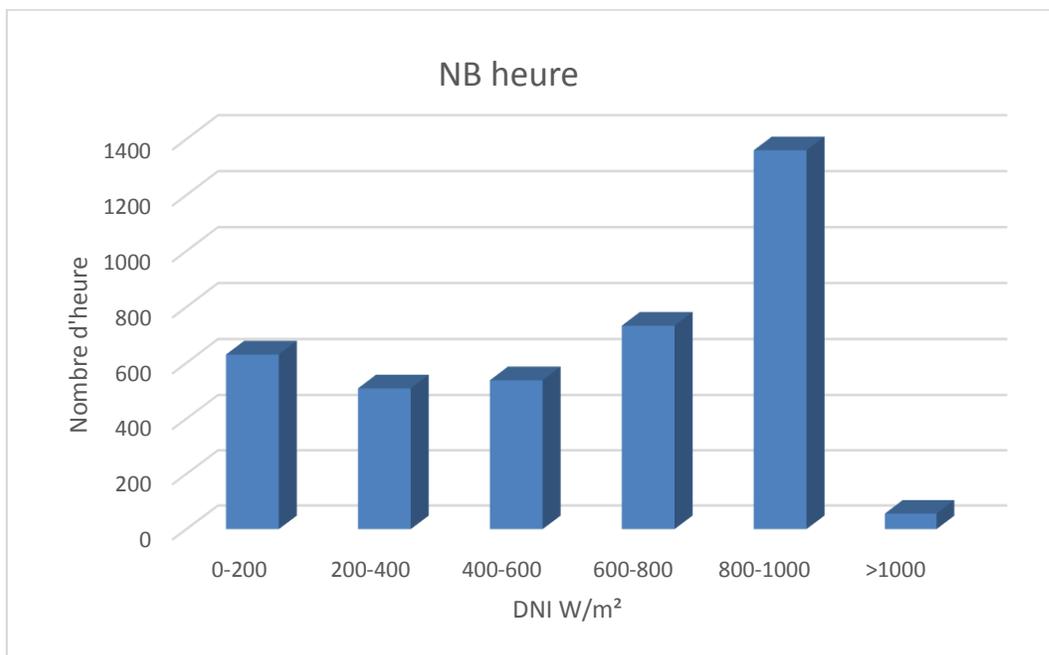


Figure 4.1 Dimensionnement du champ solaire

Basé sur la répartition des valeurs de rayonnement direct pendant l'année on remarque que le grand nombre d'heure et correspond au intervalle 800-1000 w m²,alors nous considérons la

valeurs de rayonnement solaire direct design égal a 800 w m^2 , cette valeur nous permet de calculer la surface effective d réflecteurs.

Interprétation du graphique

Le graphique présente la répartition du nombre d'heures (NB heure) en fonction de l'intensité du rayonnement solaire direct (DNI) en W/m^2 .

Analyse des données

[0-200] W/m^2 : Le nombre d'heures pour cette plage de rayonnement est d'environ 630 heures.

[200-400] W/m^2 : Pour cette plage, le nombre d'heures est d'environ 509 heures.

[400-600] W/m^2 : Le nombre d'heures est d'environ 538 heures.

[600-800] W/m^2 : Le nombre d'heures pour cette plage est d'environ 733 heures.

[800-1000] W/m^2 : Cette plage a le plus grand nombre d'heures, avec environ 1360 heures.

>1000 W/m^2 : Le nombre d'heures est très faible, autour de 56 heures.

Interprétation :

Distribution des heures en fonction du DNI : Le graphique montre que la majorité des heures d'ensoleillement se situe dans la plage de 800 à 1000 W/m^2 , ce qui est typique des conditions de rayonnement solaire optimales pour les systèmes photovoltaïques ou thermiques. Cela suggère que l'installation solaire est bien située dans une région où le rayonnement solaire est fort pendant une grande partie de l'année.

Impact sur la production énergétique : Les plages de 600-800 W/m^2 et 800-1000 W/m^2 représentent une part importante du temps, ce qui est favorable pour la production d'énergie solaire, car ces plages fournissent une intensité lumineuse suffisante pour une production efficace.

Heures de faible rayonnement : Les plages de 0-200 W/m², 200-400 W/m², et 400-600 W/m² ont un nombre d'heures significatif mais moindre, indiquant des périodes de faible ensoleillement, probablement durant les matinées, les soirées, ou les jours nuageux.

En résumé, ce graphique indique que l'installation solaire bénéficie de nombreuses heures d'ensoleillement intense (800-1000 W/m²), ce qui est optimal pour une production énergétique maximale. Les plages de rayonnement plus faibles sont également présentes mais ont moins d'impact sur la production globale

4.1.2 Dimensionnement champs :

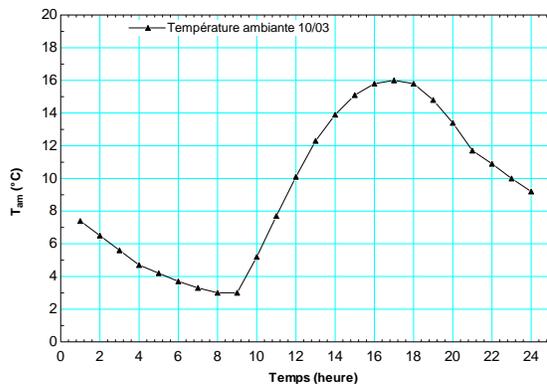
Dans ce tableau on a donné les paramètres Dimensionnement de l'installation

Tableau 1 : Dimensionnement De L'installation

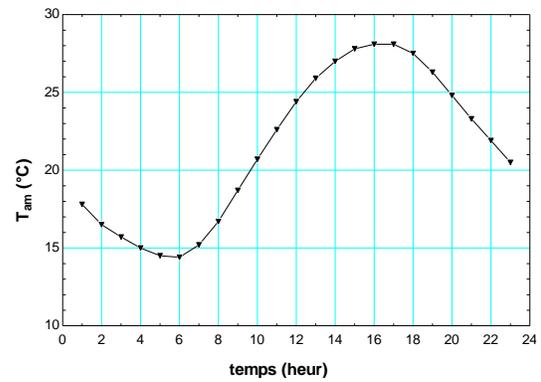
Nomination	Valeurs
Type e concentration	Cylindre.parabolique(IST collector vaccum)
Puissance nominale	2,5MWth
Ouverture/longueur Distance focale	2,3 m/6,1m 0,76m
Fluide caloporteur (HTF)	Therminal VP-1

Rayonnement DNI du design	800 w/m ²
Surface Total du miroir	5544m ²
Boiler auxiliaire a gaz	2,5MWth

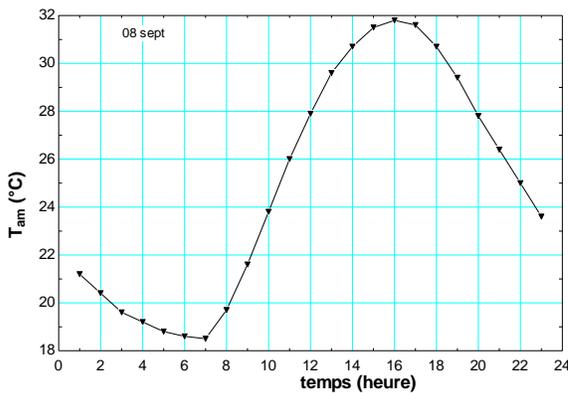
4.2Resultats &discussion :



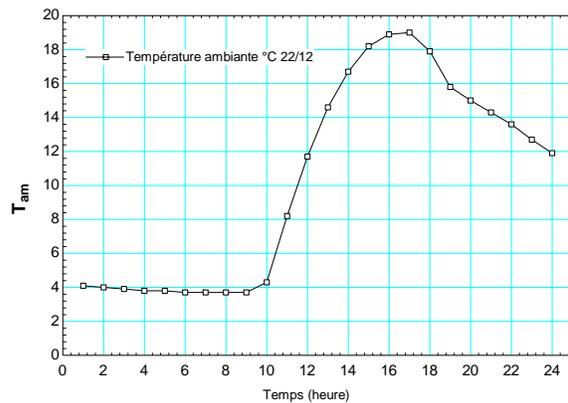
10 Mars



08 Juin



08 septembre



22 Décembre

Figure 4.1 : température ambiante

La figure 4.1 montre l'évolution de la température ambiante pour les journées sélectionnées : 10 mars, 8 juin, 8 septembre et 22 décembre.

La Figure 4.1 montre clairement les variations saisonnières des températures ambiantes, qui influencent directement l'efficacité des systèmes de chauffage solaire. Les températures les plus élevées en été et les plus basses en hiver soulignent l'importance de prendre en compte ces variations pour optimiser l'utilisation des collecteurs solaires tout au long de l'année.

On résume cette variation de température ambiante comme suivant :

Journée de 10 Mars :

Mars : Température modérée indiquant la transition entre hiver et printemps, La température augmente régulièrement à partir de la matinée pour atteindre un pic de 16°C l'après-midi avant de redescendre la nuit ou elle atteint des valeurs minimales et de l'ordre de 10°C .

Comparaison : Comparée aux autres dates, la température en mars est modérée, indiquant la transition entre l'hiver et le printemps.

8 Juin Température élevée correspondant au début de l'été avec des jours longs et ensoleillés
Température élevée tout au long de la journée avec un pic l'après-midi de 28 °C, cette journée considéré comme une journée froide relativement à température ambiante l'habituelle dans la période d'été (ou la température est très élevée)

8 Septembre : Température encore élevée, semblable à juin, reflétant la fin de l'été.

Température élevée, avec un pic légèrement plus haut 32°C, la température en mois de septembre comparant à celle de juin, indiquant la fin de l'été avec des jours encore chauds.

22 Décembre Température basse correspondant à l'hiver avec des jours courts et froids.

Température plus basse tout au long de la journée avec un pic l'après-midi. La température en décembre est la plus basse parmi les quatre dates, correspondant à l'hiver.

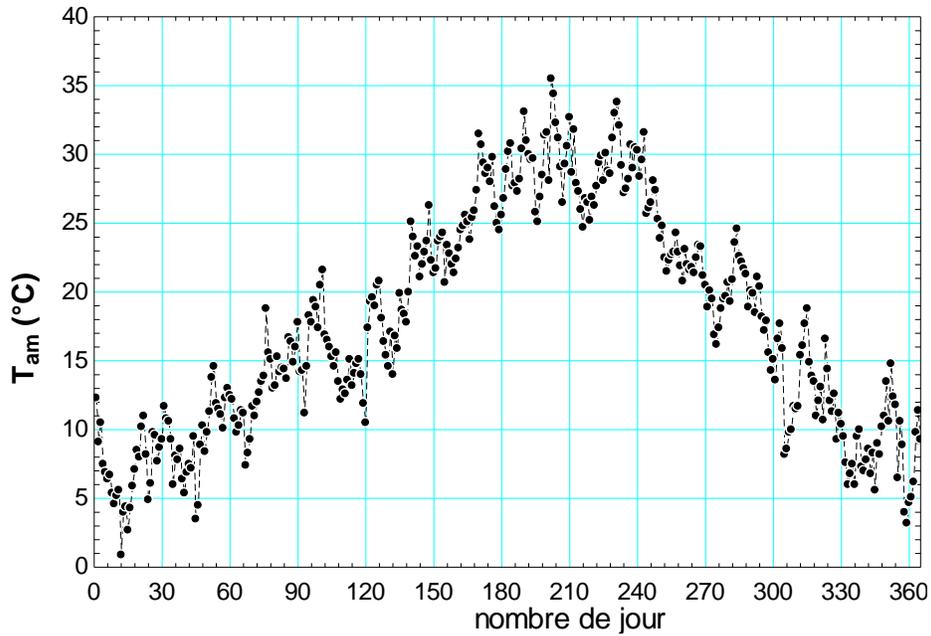


Figure.4.2. Température ambiante moyenne journalière

Cette figure illustre la température ambiante moyenne journalière au cours de l'année, il est remarquable que la température soit très élevée pendant la période d'été dont les valeurs maximales sont enregistrées (supérieure de 35°C), tandis qu'en période d'hiver la température est inférieure à 15°C .

Les variations saisonnières de la température ambiante influencent directement l'efficacité des systèmes de chauffage solaire, nécessitant des ajustements pour optimiser leur performance tout au long de l'année.

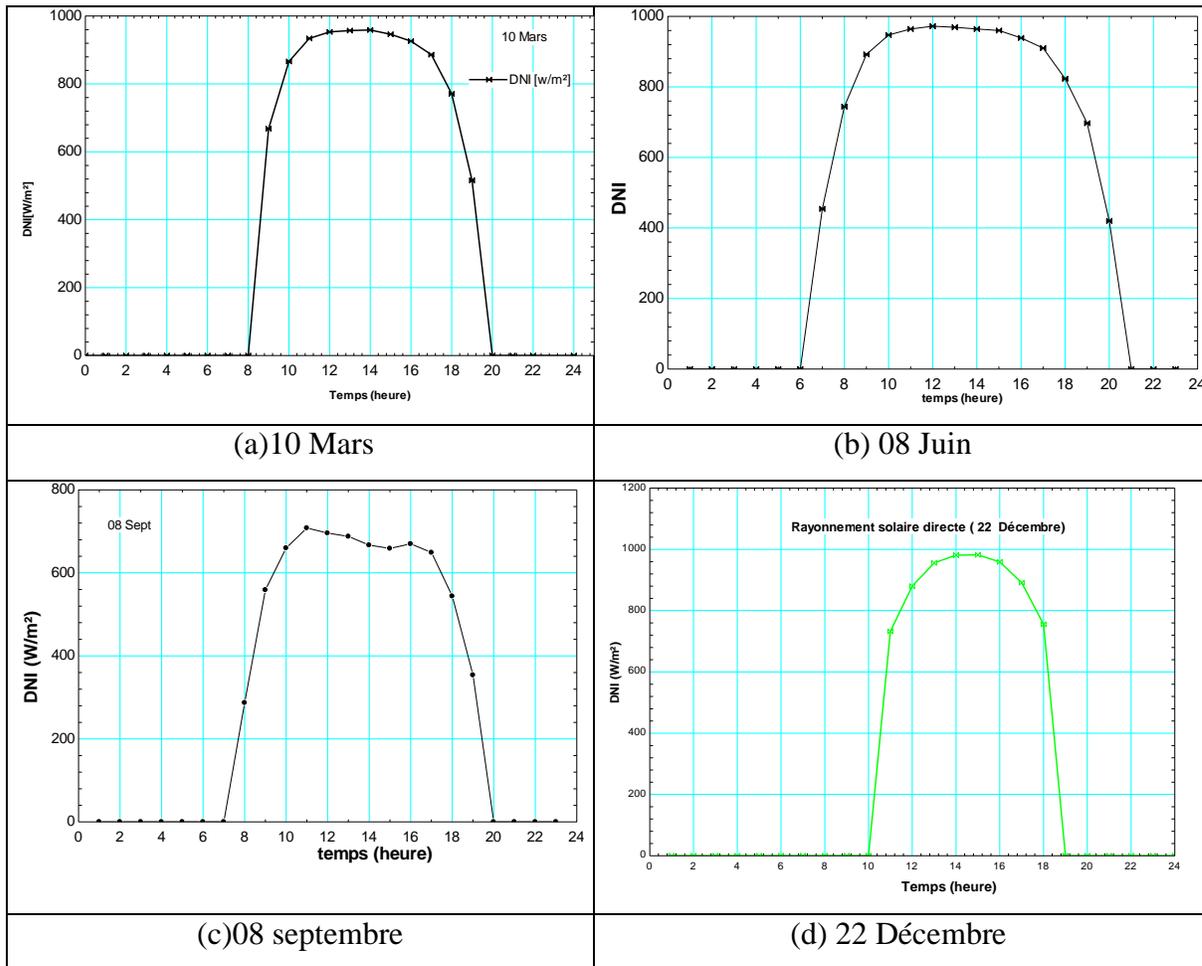


Figure 4.3. Rayonnement solaire direct au site de Sebdu

La figure 4.3 montre l'évolution du rayonnement solaire direct à la région de Sebdu pour les quatre journées type sélectionnées dans notre cas d'étude à savoir 10 mars, 08 juin, 8 septembre et le 22 décembre. Nous remarquons que le DNI atteint des valeurs maximales de l'ordre de 950 W/m² pour les jours de 10 mars, 8 juin et 22 décembre en raisons de saison d'été (période de Juin) et aussi pour la clarté du ciel dans les périodes de mars et Décembre (absence de l'atténuation atmosphérique).

Le rayonnement solaire direct est un paramètre responsable à l'énergie thermique fournie par les concentrateurs cylindre-parabolique.

D'après la figure 4.3 la durée d'ensoleillement est importante dans la saison d'été (de 12 à 15 heures) par rapport à la saison d'hiver (8 à 11 heures)

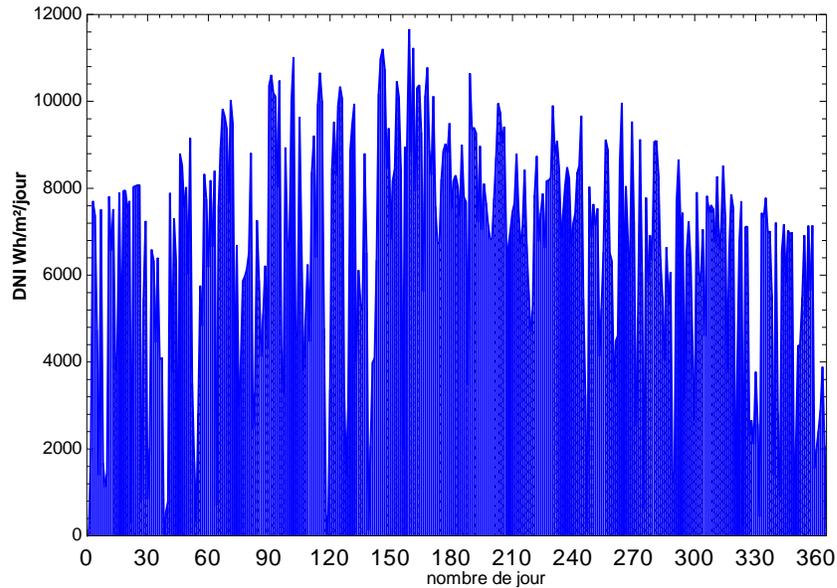


Figure4.4 : rayonnement journalier direct

Cette figure 4.4 montre le rayonnement solaire direct quotidien mesuré en $\text{Wh/m}^2/\text{jour}$

Conclusion :

Le rayonnement solaire direct est maximal en été, ce qui est favorable pour les systèmes de chauffage solaire, et minimal en hiver, ce qui nécessite une source d'énergie complémentaire.

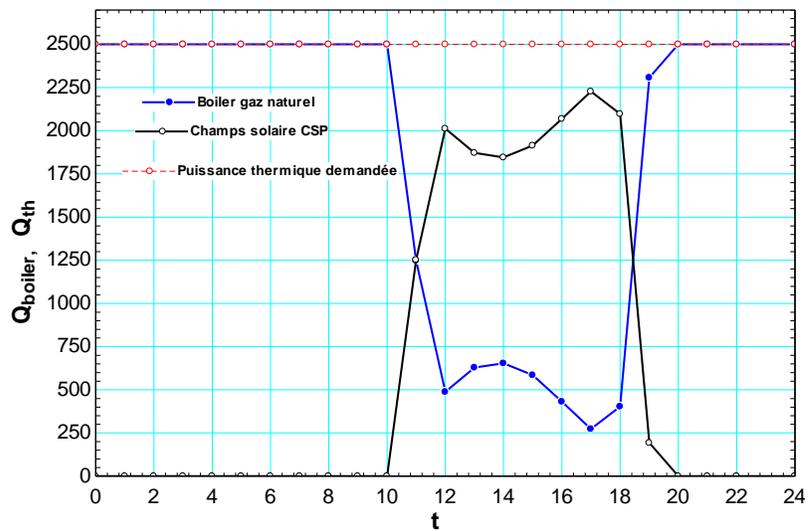


Figure 4.5 : puissance thermique fournie par les collecteurs solaire et le boiler ou chaudière à gaz pour 10 Mars

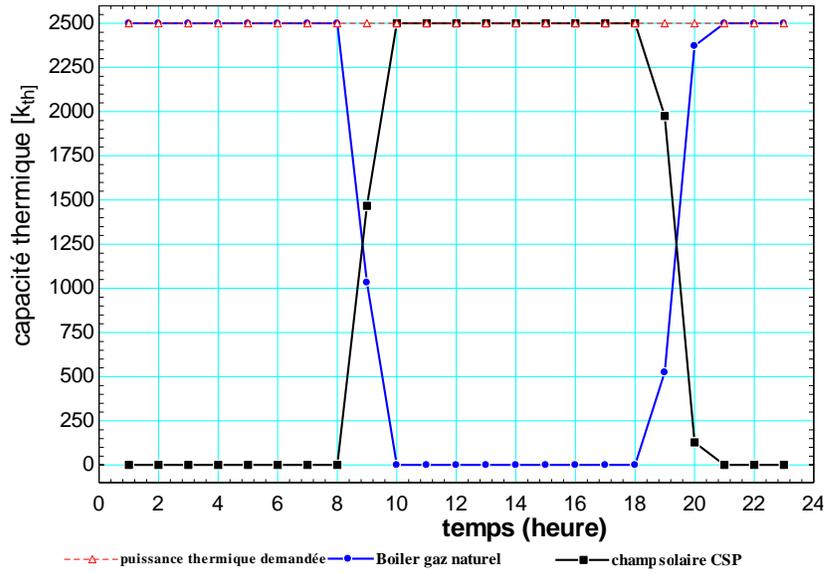


Figure 4.5 : puissance thermique fournie par les collecteurs solaire et le boiler ou chaudière à gaz pour le 08 Juin

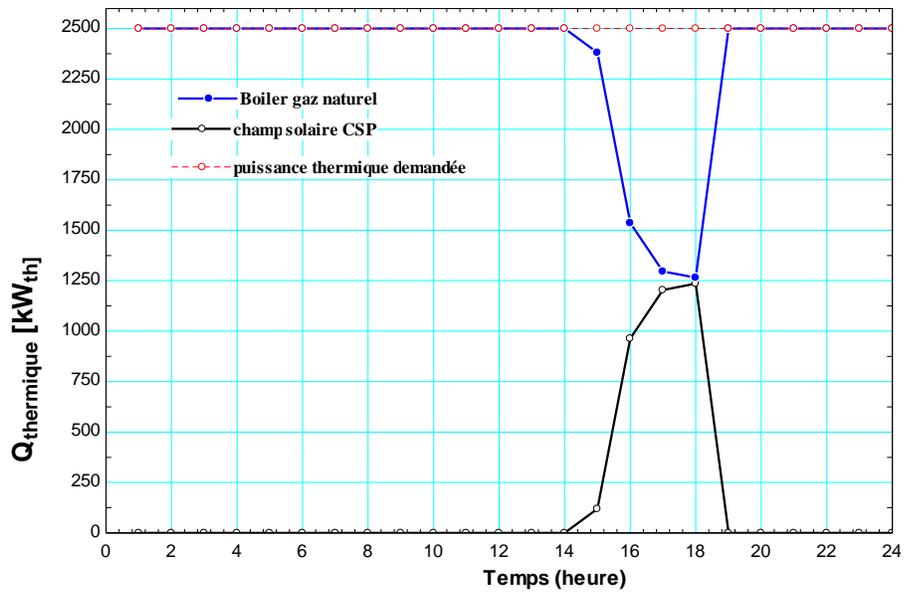


Figure 4.5 : puissance thermique fournie par les collecteurs solaire et le boiler ou chaudière à gaz pour le 08 septembre

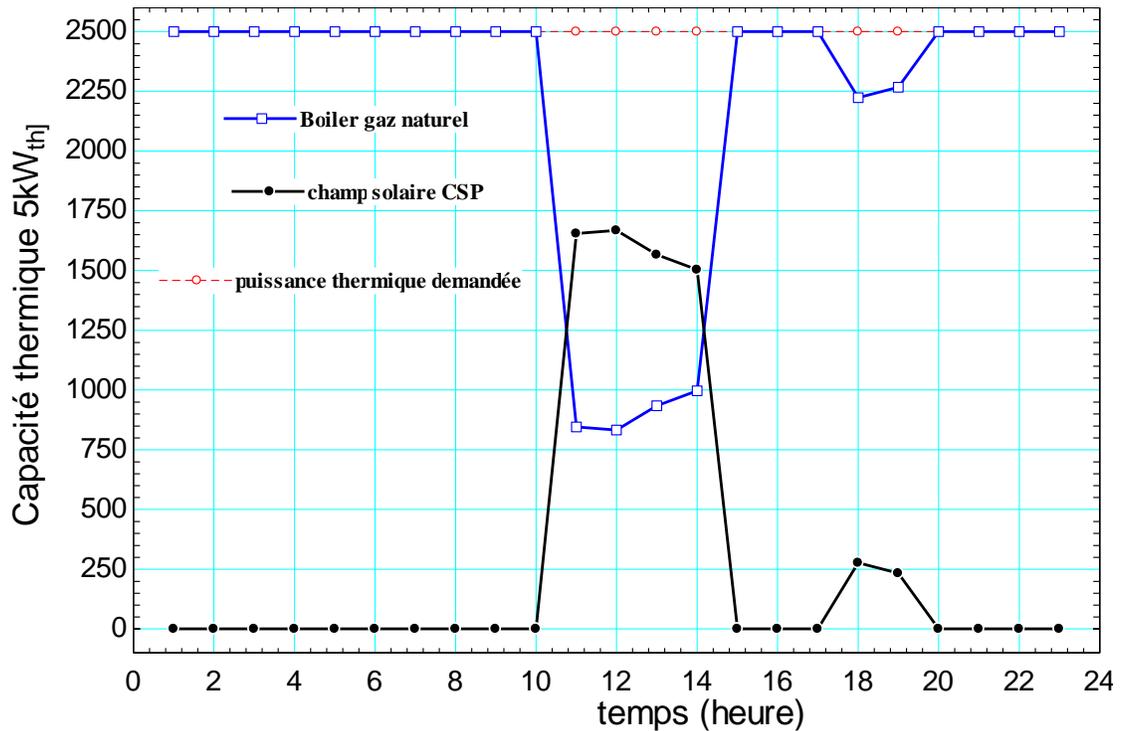


Figure 4.5 : puissance thermique fournie par les collecteurs solaire et le boiler ou chaudière à gaz pour le 22 decembre.

Dans la figure 4.5 la puissance thermique fournie pendant 24 heures par les concentrateurs cylindro-paraboliques et par la chaudière à gaz est présentée pour les quatre journées sélectionnées.

La capacité nominale demandée par l’usine est constante, elle est définie à 2500kWth (la courbe en rouge en pointillés).

D’après les résultats de simulation trouvés on peut remarquer que pour la journée de **10 Mars** la puissance thermique maximale fournie par le champ solaire est de l’ordre de 2250kWth (à 17h) en parallèle la partie reste est délivré par la chaudière conventionnelle. (250kWth), la chaudière à gaz et le champ solaire cylindro-parabolique fonctionnent en complémentarité. Et pour les heures non ensoleillée la totalité de la capacité thermique demandée est assuré par la

chaudière à gaz. La puissance fournie par la chaudière à gaz commence à diminuer progressivement avec l'augmentation de rayonnement solaire direct.

Pour la journée de **08 Juin** le champ solaire contribué à 100 % dans les heures de 9 h à 18h, dans cette période à puissance fournie par la chaudière à gaz est nulle. Après 18h, la puissance fournie par la chaudière à gaz commence à augmenter de nouveau, atteignant sa pleine capacité de 2500 kW_{th} vers 20h.

Aussi pour les deux autres journées de 08 septembre et 22 Décembre la puissance fournie par les concentrateurs cylindro-parabolique est de 1700kW_{th} et 1250 kW_{th} respectivement est la complémentarité pour arrive a une capacité totale de 2500kW_{th} est assuré par la chaudière.

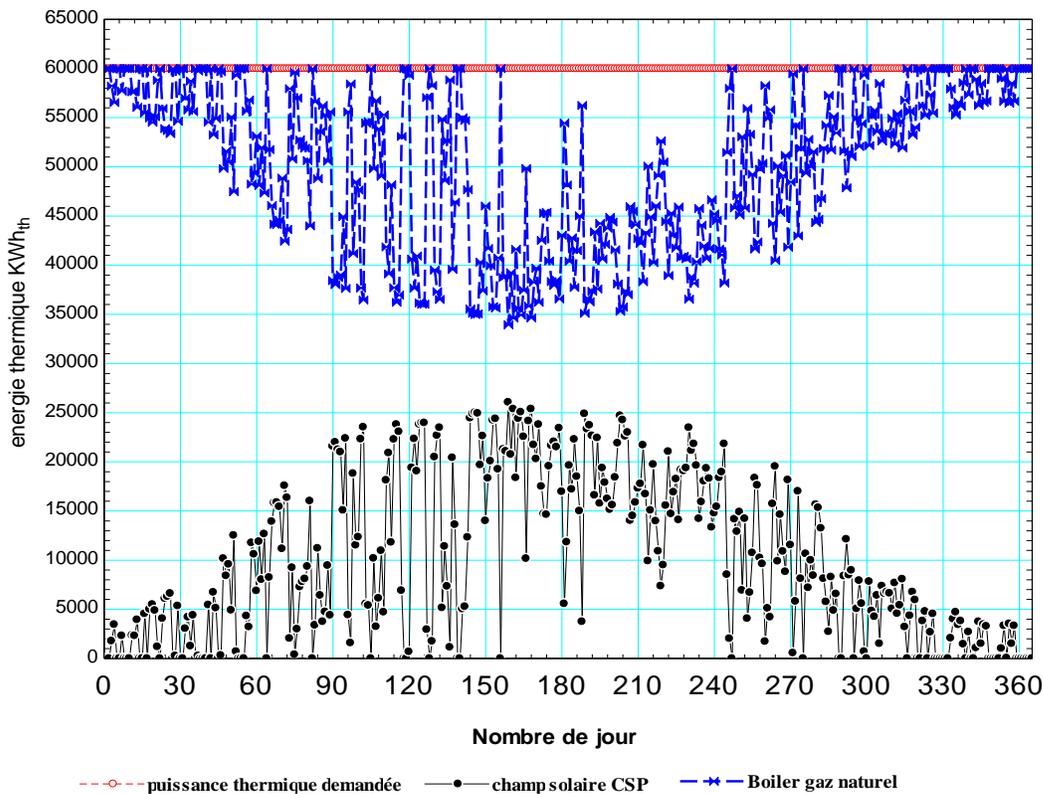


Figure 4.6 présentations de l'évolution d'énergie thermique journalière fournie par les collecteurs solaire et le boiler a gaz au cours de l'année.

Cette figure présente donne un aperçu général sur l'énergie thermique fournie quotidiennement (en kWh) par les collecteurs solaires et le boiler à gaz naturel au cours de l'année. Elle montre

comment l'énergie thermique varie chaque jour en fonction de la source (solaire ou gaz naturel). Il est bien claire que les besoin journalière en énergie thermique est de $60000\text{kWh}_{\text{th}}=60\text{MWh}_{\text{th}}$, Les résultats montrent qu'en été, la capacité fournie par le champ solaire et la chaudière à gaz sont respectivement 25MWh_{th} et 35MWh_{th} ,

En revanche, pour la période d'hiver la chaudière a gaz est joue le rôle afin d'assurer la stabilité de la charge thermique demandé par les secteurs industriel (usine), dont l'énergie délivre journalier est atteint le maximal (dépasse 55MWh_{th}). en parallèle le champ solaire fournie à peu près 5MWh_{th} .

Rendement thermique et apport solaire :

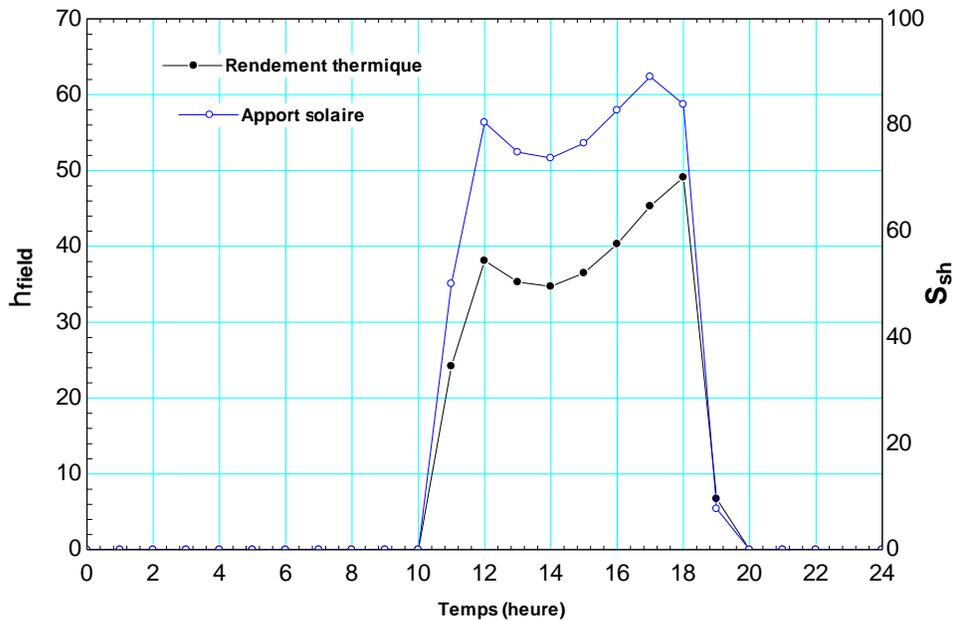


Figure 4.7 : variation du rendement thermique de concentrateur solaire et l'apport solaire Pour le 10 mars

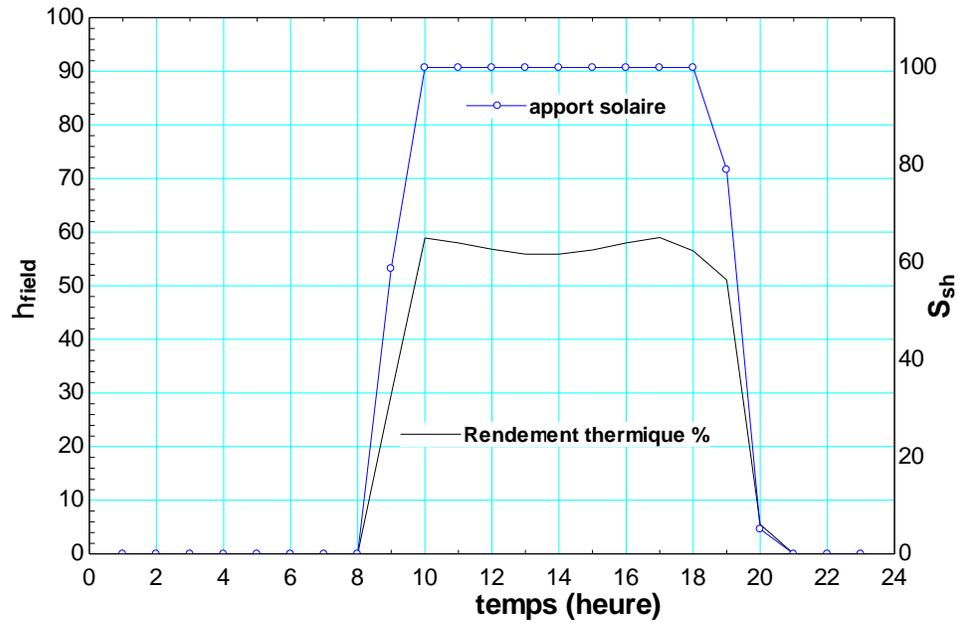


Figure 4.7 : variation du rendement thermique de concentrateur solaire et l'apport solaire Pour le 8 juin

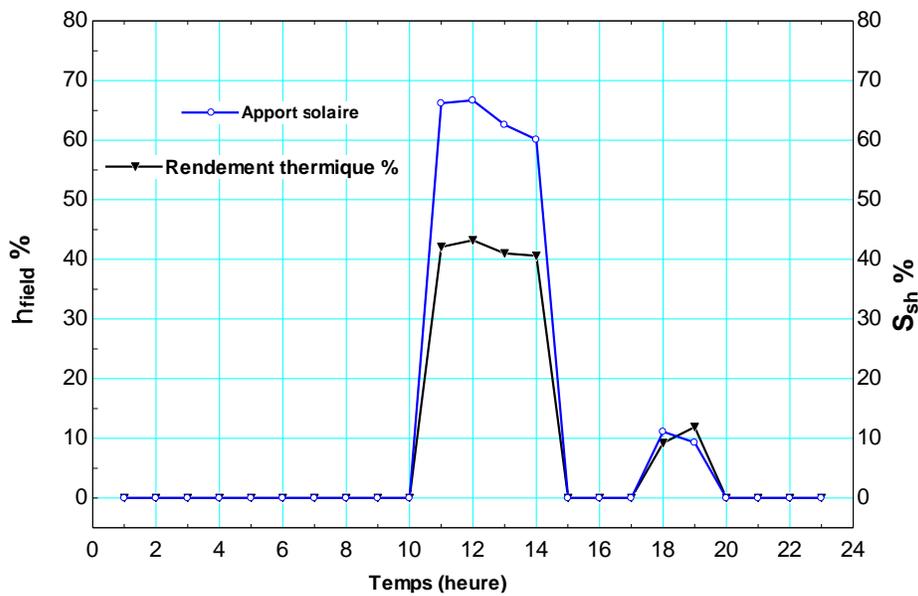


Figure 4.7 : variation du rendement thermique de concentrateur solaire et l'apport solaire Pour le 8 septembre

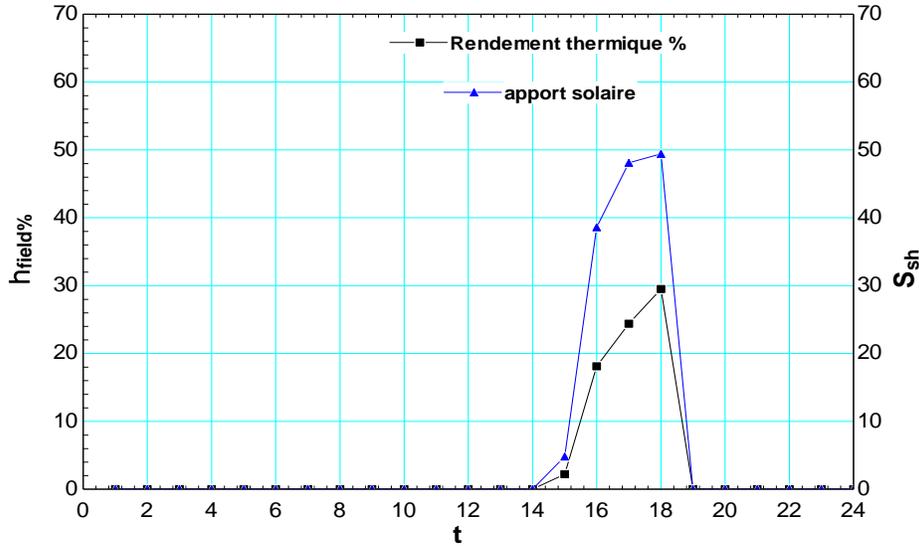


Figure 4.7 : variation du rendement thermique de concentrateur solaire et l'apport solaire pour le 22 decembre.

Le rendement thermique est une mesure de l'efficacité avec laquelle le concentrateur convertit l'énergie solaire en énergie thermique utilisable.

Cette figure illustre la variation du rendement thermique du concentrateur solaire ainsi que l'apport solaire horaire pour les quatre journées étudiées.

Il est bien clair que le rendement thermique des concentrateurs cylindro parabolique influé par deux paramètres essentiels talque le rayonnement solaire direct et la température ambiante, nous concluons à partir de cette figure que les valeurs maximales du rendement thermique sont 48%, 60%,42%,30% pour les dates de 10 mars, 08 juin, 08 septembre, et le 22 Décembre respectivement.

Et afin de quantifier la contribution de l'énergie solaire dans l'installation nous avons présenterons l'apport solaire

Interprétation :

La figure (4.7) montre le rendement thermique des concentrateurs solaires et l'apport solaire au cours de l'année.

10 mars : de 10h à 12h, le rendement thermique augmente de 30 %. Il continue à augmenter jusqu'à atteindre 48 % vers 18h, et l'apport solaire augmente à 48 % à partir de 10h jusqu'à 12h.

08 juin : À partir de 8h jusqu'à 10h, le rendement thermique augmente de 48 %. Et apport solaire 90%

(10h et 18h) le rendement thermique reste stable

(18h-20h) Le rendement thermique et l'apport solaire commencent à diminuer jusqu'à atteindre 4 %.

08 septembre : à partir de 10h jusqu'à 11h, le rendement thermique augmente de 65 %. Il continue à augmenter jusqu'à atteindre 60 % vers 15h..

22 décembre : (14h-18h) le rendement thermique augmente jusqu'à 30% et apport solaire 50%
En été, le rendement thermique atteint environ 58%, tandis qu'en hiver, il chute à environ 40%.

L'apport solaire suit une tendance similaire, étant plus élevé en été et plus bas en hiver.

Conclusion :

Le rendement thermique des concentrateurs solaires est maximal en été grâce à un apport solaire plus important et minimal en hiver en raison d'un apport solaire réduit.

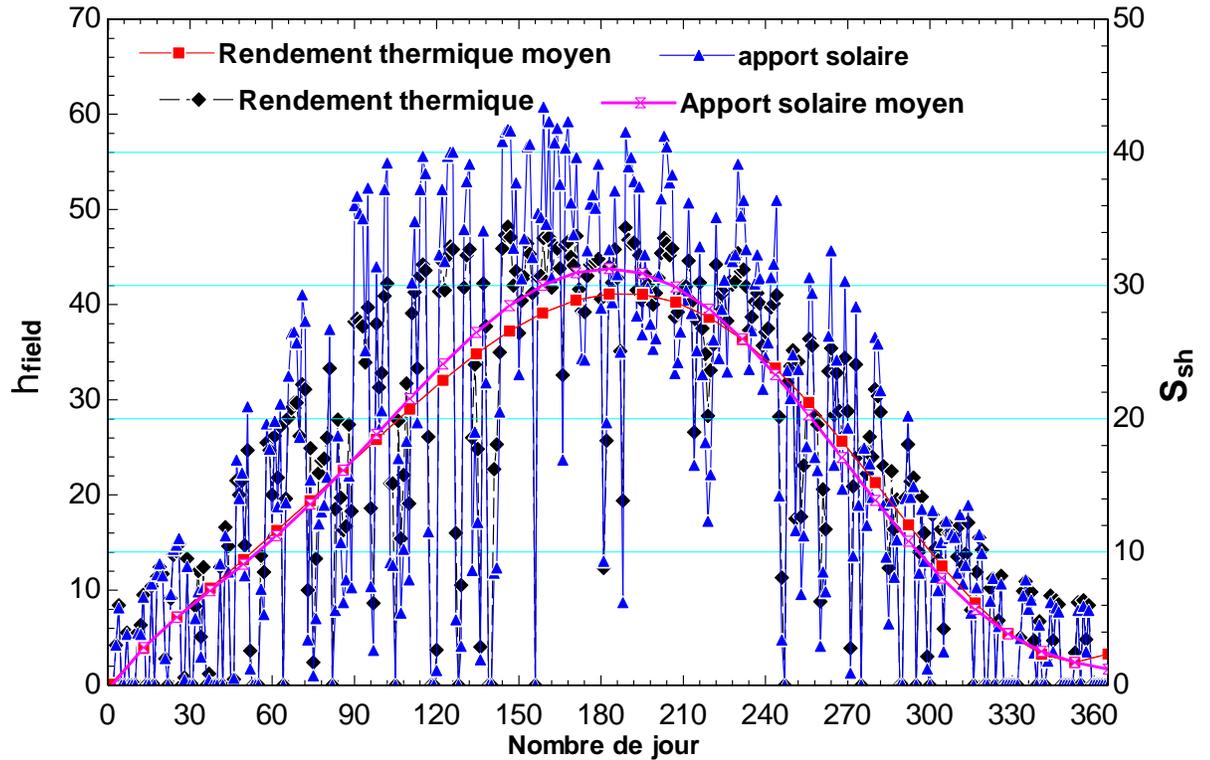


Figure 4.8: variation du rendement thermique de concentrateur solaire et l'apport solaire annuel

La figure 4.8 indique la variation annuelle du rendement thermique des concentrateurs solaires et de l'apport solaire.

Le rendement thermique moyen annuel est de 38% et apport solaire moyen 42%

L'apport solaire est le plus important en été, ce qui permet d'atteindre des rendements optimaux durant cette saison

Conclusion :

L'efficacité des concentrateurs solaires varie annuellement, avec des rendements maximaux en été et une performance moyenne annuelle de 50%.

Facture de capacité CF %:

Représente le rapport entre énergie annuelle produite les champs solaires par les concentrateurs cylindro para port énergie produit dans les conditions nominales

$$CF\% = \frac{\text{énergie réellement produit par solaire } Q_s}{\text{énergie roduit dans les conditions } \frac{\text{nominal}}{\text{an}} Q_{th}}$$

$Q_s = 3637 \text{ MW/année}$ (résultat Greenius)

Pour le calcule de Q_{th} : champs solaire travaille 24 heures

$Q_{th} = P_{th} * 24h * 365 \text{ jours}$

$Q_{th} = 21900 \text{ Mwh th/an}$ (demande l'usine par une année)

$$CF\% = \frac{3637}{21900}$$

$$CF\% = 17\%$$

Le facture de capacité annuel de l'installation solaire thermodynamique est 17 % et definit par

$CF\% = 17\%$

17% représente que le champ solaire garanti les besoin de l'usine (Le champ solaire sort 17% la capacité nominal)

Conclusion.Générale

:

L'industrie est un secteur clé qui nécessite une gestion prudente de sa consommation énergétique pour répondre aux défis économiques et environnementaux actuels.

Des stratégies axées sur l'efficacité énergétique, l'innovation technologique et la transition vers les énergies renouvelables sont essentielles pour réduire l'empreinte carbone de l'industrie et promouvoir un développement durable.

L'étude menée sur l'intégration de l'énergie solaire dans l'industrie a démontré l'énorme potentiel de cette technologie pour améliorer l'efficacité énergétique et réduire les émissions de gaz à effet de serre. Les analyses des performances des collecteurs solaires ont révélé une efficacité maximale en été, où l'apport solaire est le plus élevé, et une dépendance accrue aux chaudières à gaz naturel en hiver, lorsque le rayonnement solaire est insuffisant.

Les résultats montrent que, malgré les défis posés par les variations saisonnières, l'intégration de systèmes de chauffage solaire peut être optimisée pour fournir une source d'énergie renouvelable fiable et économique. Les recommandations formulées dans ce mémoire incluent l'adaptation des réglages des systèmes selon les saisons et la mise en place de stratégies de maintenance régulière pour garantir un rendement optimal.

REFERENCES :

- [1] D. BENATIALLAH and A. BENATIALLAH, "Détermination du gisement solaire par imagerie satellitaire avec intégration dans un système d'information géographique pour le sud d'Algérie," Université Ahmed Draïa-Adrar, 2019.
- [2] J. O. Pierre Bessemoulin, "LE RAYONNEMENT SOLAIRE ET SA COMPOSANTE ULTRAVIOLETTE," vol. 8, no. 31, 2000, doi: 10.4267/2042/36135.
- [3] F. Codron. F. Université Pierre et Marie Curie-Paris 6. (2012). Transfert radiatif bilan énergétique , Note du cours.
- [4] K. Mertens, "Photovoltaics : fundamentals, technology, and practice," », *Chichester, Wiley,*, no. ISBN 9781118634165., pp. P. 280 ,, 2014.
- [5] T. Nacer, "Etude de l'impact des systèmes photovoltaïques raccordés au réseau électrique BT sur le bilan électrique des fermes agricoles ", Univ-Blida 1, 2017.
- [6] A. Kanmogne, "Energie solaire pour le développement de télécommunication," 2012.
- [7] A. Angelis-Dimakis *et al.*, "Methods and tools to evaluate the availability of renewable energy sources," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, no. 2, pp. 1182-1200, 2011/02/01/ 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.049>.
- [8] M. R. Yaiche, A. Bouhanik, S. M. A. Bekkouche, A. Malek, and T. Benouaz, "Revised solar maps of Algeria based on sunshine duration," *Energy Conversion and Management*, vol. 82, pp. 114-123, 2014/06/01/ 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.02.063>.
- [9] M. R. a. B. Yaiche, A. CDER. (2013). Atlas solaire algérien
- [10] T. e. Boukelia and M.-S. Mecibah, "Parabolic trough solar thermal power plant: Potential, and projects development in Algeria," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 21, pp. 288-297, 2013/05/01/ 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.074>.
- [11] K. Abdeladim, A. Razagui, S. Semaoui, and A. Hadj Arab, "Updating Algerian solar atlas using MEERA-2 data source," *Energy Reports*, vol. 6, pp. 281-287, 2020/02/01/ 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.08.057>.
- [12] A. Mefti, M. Y. Bouroubi, and A. Adane, "Generation of hourly solar radiation for inclined surfaces using monthly mean sunshine duration in Algeria," *Energy Conversion and Management*, vol. 44, no. 19, pp. 3125-3141, 2003/11/01/ 2003, doi: [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(03\)00070-0](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(03)00070-0).
- [13] M. Dancette. "Solaire thermodynamique (à concentration)."
<https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/solaire-thermodynamique-concentration> (accessed).
- [14] M. Sofiane, "Contribution à la modélisation et à l'optimisation des concentrateurs solaires motorisés appliqués aux systèmes thermosolaires," UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID – TLEMCEM, 2017.
- [15] J.-F. Hoffmann, "Stockage thermique pour centrale solaire thermodynamique à concentration mettant en oeuvre des matériaux céramiques naturels ou recyclés," *Energétique et Génie des Procédés*, UNIVERSITE DE PERPIGNAN VIA DOMITIA, 2015.
- [16] International Energy Agency (IEA), "Concentrating solar power: Technology brief;," International Energy Agency (IEA), , 2013.

- [17] L. mohammed, "Etude et optimisation de l'hybridation solaire des installations des turbines à gaz et turbines à vapeur utilisés pour le dessalement d'eau," mécanique, mostaganem algeria, 2018.
- [18] B. Jacques, *énergie solaire - Calculs et optimisation - Génie énergétique - Niveau B - 2e édition*. ellipses, 2011, p. 288.
- [19] H. Karoua, M. Laissaoui, A. Bouhallassa, and S. Lecheheb, "Modeling and Performance Estimation of 153 MWe Parabolic Trough Power Plant in Djamaa Algeria," in *2023 14th International Renewable Energy Congress (IREC)*, 16-18 Dec. 2023 2023, pp. 1-4, doi: 10.1109/IREC59750.2023.10389537.
- [20] "Principe de fonctionnement du solaire thermodynamique," Syndicat des énergies renouvelables, 2012.
- [21] Q. Sylvain, "Les Centrales Solaires à Concentration," Ingénieur Civil Electromécanicien/Energéticien, Université de Liège Faculté des sciences appliquées, 2007.
- [22] J. A. Aziz, "Concentrateurs solaires et production électrique," DÉPARTEMENT SCIENCES ET TECHNIQUES POUR L'INGÉNIEUR, INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES DE ROUEN, 2014.
- [23] M. I. Roldán Serrano, "Concentrating Solar Thermal Technologies," in *Concentrating Solar Thermal Technologies: Analysis and Optimisation by CFD Modelling*, M. I. Roldán Serrano Ed. Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 11-24.
- [24] J. LEO, "Modélisation et conduite optimale d'un cycle combiné hybride avec source solaire et stockage," UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES Spécialité : Automatique - Productique, 2015.
- [25] M. Laissaoui, P. Palenzuela, M. A. Sharaf Eldean, D. Nehari, and D.-C. Alarcón-Padilla, "Techno-economic analysis of a stand-alone solar desalination plant at variable load conditions," *Applied Thermal Engineering*, vol. 133, pp. 659-670, 2018/03/25/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.01.074>.
- [26] M. Y, "aractérisation d'un concentrateur cylindro-parabolique de dimensions réelles au sud de l'Algérie: Région d'Ouargla," Université Kasdi Merbah Ouargla, 2015.
- [27] M. Laissaoui, H. Karoua, S. Lecheheb, A. Bouhallassa, A. Takilalte, and M. Hazmoune, "Concentrating Solar Power Plant in Algeria," in *2023 14th International Renewable Energy Congress (IREC)*, 16-18 Dec. 2023 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/IREC59750.2023.10389482.
- [28] G. Coccia, G. Nicola, and A. Hidalgo, *Parabolic Trough Collector Prototypes for Low-Temperature Process Heat*. 2016.
- [29] S. A. Kalogirou, "Chapter eleven - Designing and Modeling Solar Energy Systems," in *Solar Energy Engineering*, S. A. Kalogirou Ed. Boston: Academic Press, 2009, pp. 553-664.
- [30] S. A. Kalogirou, "Chapter ten - Solar Thermal Power Systems," in *Solar Energy Engineering*, S. A. Kalogirou Ed. Boston: Academic Press, 2009, pp. 521-552.
- [31] G. Gong, X. Huang, J. Wang, and M. Hao, "An optimized model and test of the China's first high temperature parabolic trough solar receiver," *Solar Energy*, vol. 84, no. 12, pp. 2230-2245, 2010/12/01/ 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.08.003>.
- [32] C. A. Schoeneberger, C. A. McMillan, P. Kurup, S. Akar, R. Margolis, and E. Masanet, "Solar for industrial process heat: A review of technologies, analysis approaches, and potential applications in the United States," *Energy*, vol. 206, p. 118083, 2020/09/01/ 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118083>.

- [33] I.-E. a. I. T. B. E. J. 2015, "Solar Heat for Industrial Processes Technology Brief," International Renewable Energy Agency IRENA, 2015.
- [34] J. Immonen, K. Mohammadi, and K. M. Powell, "Simulating a solar parabolic trough collector plant used for industrial process heat using an optimized operating scheme that utilizes flexible heat integration," *Solar Energy*, vol. 236, pp. 756-771, 2022/04/01/ 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.03.044>.
- [35] A. Gamil, P. Li, and A. L. Khammash, "Modeling and analysis of a relocatable solar power tower for pressurized water heating and storage providing low to medium temperature industrial process heat," *Energy Conversion and Management*, vol. 296, p. 117698, 2023/11/15/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117698>.
- [36] M. A. Rahman, Shoieb, R. R. M. Salahuddin, S. Salehin, and M. R. Karim, "Techno-economic and environmental feasibility analysis of solar industrial process heating systems in textile industries of Bangladesh," *International Journal of Thermofluids*, vol. 20, p. 100459, 2023/11/01/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2023.100459>.
- [37] B. Stanek, W. Wang, and Ł. Bartela, "A potential solution in reducing the parabolic trough based solar industrial process heat system cost by partially replacing absorbers coatings with non-selective ones in initial loop sections," *Applied Energy*, vol. 331, p. 120472, 2023/02/01/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120472>.
- [38] M. Sadi, A. S. Alsagri, H. R. Rahbari, S. Khosravi, and A. Arabkoohsar, "Thermal energy demand decarbonization for the industrial sector via an innovative solar combined technology," *Energy*, vol. 292, p. 130523, 2024/04/01/ 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.130523>.
- [39] C. Prestigiacomo *et al.*, "Concentrated solar heat for the decarbonization of industrial chemical processes: a case study on crude oil distillation," *Energy*, vol. 293, p. 130718, 2024/04/15/ 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.130718>.
- [40] P. K. Ktistis, R. A. Agathokleous, and S. A. Kalogirou, "Experimental performance of a parabolic trough collector system for an industrial process heat application," *Energy*, vol. 215, p. 119288, 2021/01/15/ 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119288>.
- [41] Y. Muhammad, P. Saini, K. Knobloch, H. L. Frandsen, and K. Engelbrecht, "Rock bed thermal energy storage coupled with solar thermal collectors in an industrial application: Simulation, experimental and parametric analysis," *Journal of Energy Storage*, vol. 67, p. 107349, 2023/09/01/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.107349>.
- [42] ramdaoui mohammed, Etude et analyse du système de commande de l'étrirage sur la machine de filage au niveau du complexe « EATIT- SEBDOU »,2020,73.
- [43] *Greenius*. <https://www.gogreenius.com/>
- [44] Atmosphère:qu'estcequec'es<https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/climatologie-atmosphere-850/>.
- [45] SALAHEDDINE BENSALÉM. (2011). Thème : Effets de la température sur les paramètres caractéristiques des cellules solaires, .