

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ - BOUIRA



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

Par :

Abdelmadjid BACHOUCHE

Mahfoudh AZZOUK

Thème

*Etude technico-économique d'un système de
chauffage solaire dans le secteur industriel
Cas - BIOPHARM Oued El Berdi -*

Soutenu le2023 devant le jury composé de :

| | | |
|-----|-------------------------|--------------|
| Mr. | Merzak DAHMANE | Président |
| Mr. | Rachid LEKHAL | Examineur |
| Mr. | Sofiane ABERKANE | Encadrant |
| Mr. | Hamza SEMMARI | Co-Encadrant |

Année Universitaire : 2022-2023

Remerciements

*Ce travail de recherche est le résultat d'un effort constant.
Cet effort n'aurait pas abouti sans la contribution d'un
certain nombre de personnes.*

*Tout d'abord, on tient à remercier
Mr. Sofiane **ABERKANE**, dont on a eu le privilège d'avoir
comme promoteur, pour son encadrement, sa disponibilité,
sa grande patience et ses précieux conseils tout au long de ce
mémoire.*


*Nous exprimons nos sincère reconnaissance envers
Mr. Hamza **SEMMARI**, Enseignant à L'École Nationale
Polytechnique de Constantine (ENPC),
Ainsi que à Mr. Bîlal **BELARBI**, Ingénieur Industriel,
Pour leur précieuse assistance durant la préparation de
notre mémoire de fin d'étude. Leur soutien, leur expertise et
leur dévouement ont joué un rôle essentiel dans notre
réussite. Nous les remercions infiniment pour tout.*

*Nous souhaitons également exprimer notre gratitude à
toute l'équipe de **BIOPHARM** pour leur disponibilité et leur
soutien précieux qu'ils nous ont accordés.*

*On remercie également toute l'équipe pédagogique du
département de **Génie Mécanique**,*

*Enfin, On remercie l'ensemble de personnes qui ont
participé, de près comme de loin, à la réussite de ce travail
de recherche, nos familles, nos collègues et nos amis.*

« Merci »



Je dédie ce mémoire

À mes parents

Les êtres les plus chers à mon cœur.

À mon père

Mon plus grand exemple et modèle de persévérance, qui m'a toujours encouragé à avancer sans jamais abandonner. Son enseignement continue à guider mes pas vers les véritables valeurs de la vie, et je lui suis reconnaissant pour ses précieux conseils.

À ma mère

Ma source de bonheur et la prunelle de mes yeux. Je lui suis reconnaissant pour son affection, sa patience, sa compréhension, sa disponibilité et son écoute constante. Son soutien inégalé m'a aidé à traverser les moments les plus difficiles de ma vie.

À mon cher frère et ma chère sœur

Je témoigne ma reconnaissance et mon affection pour leurs encouragements constants.

À tous mes amis et collègues

Je souhaite exprimer mes sentiments sincères.

MAHFOUDH



Je dédie ce travail

À tous les membres de ma famille qui étaient fâchés.

Que je le dédie à ma copine.

*À ce médecin qui pensait que je n'allais pas compléter mes
deux premiers mois, j'ai, maintenant, 25 ans et mon cœur
continue de battre.*

Je dédie ce mémoire

*À la persévérance et à la détermination qui m'ont
accompagné tout au long de ce parcours,*

À toutes les heures de travail acharné,

À toutes les minutes du silence lugubre,

Aux moments de doute surmontés,

*Aux sacrifices consentis et à l'immense fierté que j'éprouve
aujourd'hui en le partageant avec vous.*

ABDELMADJID

Résumé

Ce travail se concentre sur l'étude technico-économique de l'intégration d'une installation solaire thermique dans un procédé industriel. L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'efficacité et la viabilité économique de l'utilisation d'un système de chauffage solaire à la place d'un système de chauffage classique utilisant du gaz dans l'entreprise pharmaceutique de Biopharm située sur la zone industrielle de BOUIRA-Oued el Berdi. Pour atteindre cet objectif, une analyse détaillée des paramètres techniques et économiques est réalisée. Cette recherche apporte une contribution significative à la transition vers des sources d'énergie plus durables et favorables à l'environnement.

Mots Clés : Chauffage solaire, Collecteur Cylindro-Parabolique, Etude Technico-Economique, Période de Retour sur Investissement, Procédés industriels, Stockage Solaire.

Abstarct

This work focuses on the techno-economic study of integrating a solar thermal installation into an industrial process. The main objective of this study is to evaluate the efficiency and economic viability of using a solar heating system instead of a conventional heating system using gas at the Biopharm pharmaceutical company located in the industrial zone of BOUIRA-Oued el Berdi. To achieve this objective, a detailed analysis of technical and economic parameters is conducted. This research makes a significant contribution to the transition to more sustainable and environmentally friendly energy sources.

Keywords : Solar heating, Parabolic Trough Collector, Techno-economic study, Return on Investment period, Industrial processes, Solar storage.

تلخيص

يُركز هذا العمل على الدراسة التقنية والاقتصادية لدمج مثبت حراري شمسي في عملية صناعية. الهدف الرئيسي لهذه الدراسة هو تقييم كفاءة وجدوى استخدام نظام تدفئة شمسي بدلاً من نظام تدفئة تقليدي باستخدام الغاز في شركة بيوفارم الصيدلانية الموجودة في المنطقة الصناعية بويرة - وادي البردي. لتحقيق هذا الهدف، يتم إجراء تحليل مفصل للمعلمات التقنية والاقتصادية. تقدم هذه الدراسة مساهمة هامة في الانتقال إلى مصادر طاقة أكثر استدامة وصديقة للبيئة.

الكلمات الرئيسية: التدفئة الشمسية، مجمع قنوبي أسطواني، الدراسة التقنية الاقتصادية، فترة العائد على الاستثمار، العمليات الصناعية، تخزين الطاقة الشمسية.

Sommaire

| | |
|--|----|
| Introduction générale | 1 |
| CHAPITRE I : Introduction au chauffage solaire dans les procédés industriels | |
| I.1 Introduction | 4 |
| I.2 Aperçu sur le potentiel du chauffage solaire et la demande en chauffage | 5 |
| I.2.1 Potentiel du chauffage solaire | 6 |
| I.2.1.1 Définition | 6 |
| I.2.1.2 Différents types de l'énergie solaire | 6 |
| I.2.1.3 Différents types de l'exploitation des énergies solaire | 7 |
| I.2.1.4 Estimation de l'irradiation solaire en Algérie | 7 |
| I.2.2 Demande thermique en Algérie | 10 |
| I.2.2.1 Model de consommation énergétique en Algérie | 10 |
| I.2.2.2 Stratégies de l'état vis-à-vis le scénario de demande énergétique en Algérie | 14 |
| I.3 Procédés industriel adaptés au chauffage solaire | 15 |
| I.3.1 Station thermique solaire industriel de génération d'électricité..... | 16 |
| I.3.2 Station thermique solaire industriel de génération de chaleur | 17 |
| I.3.3 Taille de marché solaire thermique dans le monde | 17 |
| I.4 Exemple d'installation thermique solaire | 19 |
| I.4.1 Principaux acteurs du marché du solaire thermique dans le monde | 19 |
| I.4.2 Exemple d'une centrale solaire thermique industriel | 20 |
| I.4.2.1 Centrale solaire « Gabriela Mistral » | 20 |
| I.4.2.2 Centrale thermique du Textile Jiangsu Yitong | 21 |
| I.4.2.3 Centrale thermique du El Nasr Pharmaceutical Chemicals | 22 |
| I.5 Conclusion | 22 |

CHAPITRE II : Technologies de collecteurs solaires et systèmes de stockage

| | | |
|----------|--|----|
| II.1 | Introduction aux technologies de collecteurs solaires thermiques | 24 |
| II.2 | Principe fonctionnement d'un collecteurs solaires thermiques | 24 |
| II.3 | Différents types des capteurs solaires thermiques | 25 |
| II.3.1 | Capteurs solaires thermiques plans | 25 |
| II.3.1.1 | Capteurs plans vitrés | 25 |
| II.3.1.2 | Capteurs plans non vitrés | 26 |
| II.3.2 | Capteurs à tubes sous vide | 26 |
| II.3.2.1 | Collecteurs à flux direct | 27 |
| II.3.2.2 | Collecteurs à flux indirect | 28 |
| II.3.3 | Capteurs à concentration..... | 28 |
| II.3.3.1 | Concentrateurs cylindro-paraboliques | 28 |
| II.3.3.2 | Concentrateurs linéaire de Fresnel | 31 |
| II.4 | Stockage thermique | 32 |
| II.4.1 | Réservoir de stockage | 33 |
| II.4.2 | Batteries thermiques | 33 |
| II.4.3 | Accumulateur de vapeur | 33 |
| II.5 | Conclusion | 33 |

CHAPITRE III : Design du system choisi

| | | |
|-----------|---|----|
| III.1 | Introduction | 34 |
| III.2 | Présentation de l'organisme d'accueil | 34 |
| III.2.1 | Présentation de BIOPHARM | 34 |
| III.2.2 | Information générale | 35 |
| III.2.3 | Centre de stockage d'Oued El Berdi | 36 |
| III.2.3.1 | Présentation générale | 36 |

| | | |
|-----------|--|----|
| III.2.3.2 | Historique de l'organisme de l'antenne | 36 |
| III.2.3.3 | Chauffage classique chez Biopharm | 37 |
| III.2.3.4 | Données cartographiques | 40 |
| III.3 | Choix de la technologie | 41 |
| III.4 | Partie de calculs | 41 |
| III.4.1 | Calcul Énergie ensoleillement annuelle | 41 |
| III.4.2 | Calcul la surface nette du collecteur..... | 42 |
| III.5 | Système après intégration des CCP | 43 |
| III.6 | Conclusion | 44 |

CHAPITRE IV : Réalisabilité économique

| | | |
|----------|--|----|
| IV.1 | Introduction | 46 |
| IV.2 | Analyse des couts initiaux du projet | 47 |
| IV.2.1 | Approvisionnement de la station et ses composantes | 47 |
| IV.2.1.1 | Collecteur Cylindro-Parabolique | 47 |
| IV.2.1.2 | Système de stabilité | 48 |
| IV.2.2 | Cout d'installation de la station | 49 |
| IV.2.2.1 | Développement et Ingenierie | 49 |
| IV.2.2.2 | Imprévus Techniques du projet | 49 |
| IV.2.3 | Cout supplémentaire | 50 |
| IV.2.3.1 | Assurance | 50 |
| IV.2.3.2 | Exploitation et Maintenance | 50 |
| IV.3 | Méthodologie de l'étude | 50 |
| IV.3.1 | Données Techniques du projet | 50 |
| IV.3.2 | Equations et formules utilisées | 51 |
| IV.4 | Résultats obtenus | 53 |

| | | |
|--------|---|----|
| IV.4.1 | Cas du GN | 53 |
| IV.4.2 | Cas du DIESEL | 54 |
| IV.5 | Discussion des résultats obtenus | 54 |
| IV.5.1 | Evaluation des données collectées | 55 |
| IV.5.2 | Troisième scénario (Prix de GN Elevé) | 55 |
| IV.6 | Conclusion | 57 |
| | Conclusion générale | 59 |
| | Références bibliographies | |
| | Annexes | |

Liste des figures

| Figure | Titre | Page |
|---|---|-----------|
| CHAPITRE I : Introduction au chauffage solaire dans les procédés industriels | | |
| I.1 | Principe de reflet de miroir d'Ardent | 5 |
| I.2 | Carte de l'ensoleillement horaire mondial | 8 |
| I.3 | Zones d'ensoleillement homogènes et stations météorologiques en Algérie | 9 |
| I.4 | Consommation annuelle d'énergies fossiles jusqu'en 2018 | 11 |
| I.5 | Potentiel annuel des énergies renouvelables | 12 |
| I.6 | Croissance du marché du solaire thermique au monde dans la période 2022, 2027 | 18 |
| I.7 | Croissance du marché du solaire thermique | 19 |
| I.8 | Centrale solaire « Gabriela Mistral » | 21 |
| I.9 | Centrale solaire Jiangsu Yitong | 21 |
| I.10 | Centrale solaire El Nasr Pharmaceutical Chemicals | 22 |
| CHAPITRE II : Technologies de collecteurs solaires et systèmes de stockage | | |
| II.1 | Schéma synoptique du fonctionnement d'un chauffe-eau solaire | 24 |
| II.2 | Concentrateur plan vitré | 26 |
| II.3 | Capteur plan non vitré | 26 |
| II.4 | Capteur thermique à tubes sous vide | 27 |
| II.5 | Capteur sous vide à flux direct | 28 |
| II.6 | Capteurs à concentration cylindro-parabolique | 29 |
| II.7 | Composants essentiels d'un panneau cylindro-parabolique | 29 |
| II.8 | Concentrateurs linéaires de Fresnel | 32 |
| CHAPITRE III : Design du system choisi | | |
| III.1 | Logo officiel du groupe BIOPHARM | 34 |
| III.2 | Localisation géographique de Biopharm Antenne Oued El Berdi | 36 |
| III.3 | Travaux sur l'unité de production Pharmaceutique BIOPHARM OEB | 37 |
| III.4 | Générateur de vapeur BHP - EN 3000 et ses composantes | 37 |

| | | |
|---------------------------------------|--|-----------|
| III.5 | Schéma primaire d'instrumentation de production de la vapeur | 39 |
| III.6 | Schéma de production de vapeur avec piquage | 44 |
| CHAPITRE IV : Etude économique | | |
| IV.1 | CCP "MLSUN 2.55*6" approvisionné | 48 |
| IV.2 | Réservoir de stockage de chaleur de 5000L | 49 |
| IV.3 | Etat de Balance économique du projet - Cas Diesel | 54 |
| IV.4 | Année d'amortissement du capital investi par rapport au prix du GN | 57 |

Liste des tableaux

| Tableau | Titre | Page |
|---|---|-------------|
| CHAPITRE I : Introduction au chauffage solaire dans les procédés industriels | | |
| I.1 | Ensoleillement reçu par l'Algérie par région climatique | 8 |
| I.2 | Comparaison des différentes filaires énergétiques | 12 |
| I.3 | Prévisions de consommation énergétique selon NEAL jusqu'à l'an 2030 | 13 |
| CHAPITRE II : Technologies de collecteurs solaires et systèmes de stockage | | |
| II.1 | Caractéristiques du capteur solaire cylindro-parabolique | 31 |
| II.2 | Caractéristiques du capteur solaire Fresnel | 32 |
| CHAPITRE III : Design du system choisi | | |
| III.1 | Données cartographiques par année dans la zone d'Oued El Berdi | 40 |
| CHAPITRE IV : Etude économique | | |
| IV.1 | Paramètres Technique du projet | 51 |
| IV.2 | Données de l'étude économiques du projet | 53 |
| IV.3 | Année d'amortissement du budget investi dans le Projet - Cas DIESEL | 54 |
| IV.4 | Année d'amortissement du fond investi en fonction du prix du GN | 56 |

Nomenclature Symboles

Latins :

| Symbole | Définition | Unité |
|----------------|---|-----------------------|
| h | Constante de Planck | J.S |
| C | Vitesse de la lumière | m/s |
| Eyiel | Énergie ensoleillement annuelle | KWh/m ² An |
| Eirrad | Ressource solaire annuelle | KWh/m ² An |
| Scol | Surface nette du collecteur | m ² |
| Eprocess | Demande de chaleur annuelle d'un procédé industriel | KWh |

Grecque :

| Symbole | Définition | Unité |
|----------------|---------------------------|--------------|
| λ | Longueur d'onde | m |
| η | Rendement de la chaudière | % |

Indice :

| Symbole | Désignation |
|----------------|--------------------|
| \$ | Dollar |
| € | Euro |
| DZD | Dinar Algérien |

Liste des abréviations

| Abréviation | Signification |
|--------------------|--|
| Bénéfice | Résultat avant intérêts, impôts, amortissements et provisions |
| CCP | Capteurs Cylindro-Parabolique |
| CLFR | Concentrateurs Linéaires de Fresnel |
| CSP | Énergie solaire concentrée |
| DIF | Irradiation horizontale diffuse |
| DNI | Rayonnement Normal Direct |
| ECS | Eau Chaude Sanitaire |
| E | East |
| E-J | Exa-Joule |
| ER | Energie Renouvelable |
| ESC | Energie Solaire Concentré |
| FNMEERC | Fond National pour la Maitrise de l'Energie Renouvelables et la Cogénération |
| GHI | Irradiation horizontale globale |
| GN | Gaz Natural |
| GNL | Gaz Natural Liquéfié |
| GPL | Gaz Pétrole Liquéfié |
| GTI opta | Irradiation inclinée globale à angle optimal |
| HHI | Information sur la santé humaine |

| | |
|-------|--|
| IRENA | Agence Internationale des Energies Renouvelables |
| MTEP | Mégatonne Equivalent Pétrole |
| N | Nord |
| NEAL | Nouvelle Énergie Alegria |
| NHFAC | Nombre d'Heures de Fonction Annuelle de la Chaudière |
| OEB | Oued El Berdi |
| OPEX | Exploitation et Maintenance |
| ONS | Office National Des Statistiques |
| PSD | Plancher Solaire Direct |
| PVOUT | Puissance photovoltaïque spécifique |
| SPA | Société Par Action |
| SSC | Système Solaire Combinés |
| ZE | Zone Energétique |



Introduction
Générale



Depuis la révolution industrielle du XVIIIe siècle, les besoins énergétiques n'ont cessé d'évoluer, engendrant ainsi des défis majeurs pour la préservation de notre environnement. Malheureusement, cette demande croissante en énergie a engendré des problèmes écologiques majeurs, mettant en péril l'équilibre de notre précieuse planète bleue. Face à cette réalité inquiétante, le monde d'aujourd'hui est confronté à une problématique environnementale qui exige un passage urgent et global des énergies à fort impact climatique vers des sources d'énergie verte, propre et renouvelable.

La transition vers des énergies renouvelables revêt une importance particulière pour l'Algérie, qui manifeste un engagement croissant envers les énergies vertes, propres et renouvelables, notamment dans le domaine du photovoltaïque et du solaire thermique. Dans ce contexte, le potentiel de l'énergie solaire thermique se présente comme un atout majeur, offrant des opportunités significatives pour alimenter les processus industriels du pays. Cependant, pour concrétiser cette transition de manière efficace, une étude technico-économique approfondie s'avère nécessaire, en mettant l'accent sur l'intégration des Centrales solaires thermodynamiques (CSP) dans les procédés industriels.

La problématique centrale qui se pose est donc la suivante : Quelle est la viabilité technico-économique de l'intégration des Centrales solaires thermodynamiques (CSP) dans les procédés industriels en Algérie ? Pour répondre à cette question, plusieurs éléments essentiels doivent être examinés. Tout d'abord, il convient d'évaluer le potentiel solaire spécifique de l'Algérie, en particulier dans des zones industrielles telles que celle d'Oued El Berdi à Bouira. Ensuite, une analyse technique approfondie est indispensable pour déterminer les besoins énergétiques et les performances attendues. Parallèlement, une évaluation économique détaillée doit être entreprise pour estimer les coûts liés à l'installation et à l'exploitation des équipements CSP, ainsi que les économies d'énergie générées.

Le cas de BIOPHARM Oued El Berdi, en tant qu'entreprise industrielle majeure, présente une opportunité intéressante pour étudier l'installation de panneaux solaires dans un contexte Algérien réel. Cette entreprise, spécialisée dans la production de produits pharmaceutiques, fait face à des besoins énergétiques importants et à une dépendance aux sources d'énergie traditionnelles. L'intégration de panneaux solaires dans son processus de production pourrait non seulement réduire son impact environnemental, mais aussi générer des avantages économiques et améliorer sa durabilité à long terme.

Le but principal de ce projet consiste à effectuer une étude technique et économique approfondies sur l'intégration de panneaux solaires dans le processus industriel de BIOPHARM Oued El Berdi. Pour y parvenir, il sera essentiel d'examiner les divers aspects techniques de cette intégration, tels que la conception et l'installation des panneaux solaires, ainsi que l'évaluation de leur efficacité énergétique. Parallèlement, une analyse économique précise devra être effectuée pour évaluer les coûts d'investissement, les économies d'énergie potentielles, les retours sur investissement, ainsi que les opportunités de financement et les incitations gouvernementales disponibles.

En menant cette étude technico-économique approfondie, nous pourrons fournir des recommandations spécifiques à BIOPHARM Oued El Berdi, en mettant en évidence les avantages potentiels de l'installation de panneaux solaires dans son processus industriel. De plus, cette recherche contribuera à l'élargissement des connaissances sur l'intégration des énergies solaires dans le secteur industriel dans un contexte réel purement Algérien, en fournissant des informations précieuses aux décideurs, aux investisseurs et aux acteurs industriels intéressés par cette transition énergétique.

La structure de ce travail se compose de quatre chapitres distincts, qui examineront en détail les différentes facettes de l'étude technico-économique de l'installation de panneaux solaires dans le processus industriel de BIOPHARM Oued El Berdi.

Nous commencerons par fournir un aperçu général de la technologie solaire thermique, en exposant ses origines, son évolution historique et ses applications dans le domaine du chauffage résidentiel et industriel. Ensuite, nous examinerons en détail les différentes technologies de capteurs solaires thermiques, en expliquant leur fonctionnement ainsi que leurs systèmes de stockage.

Par la suite, notre approche consistera à réaliser une analyse approfondie du site industriel de BIOPHARM, mettant en évidence les besoins énergétiques spécifiques liés aux processus de fabrication. Nous accorderons une attention particulière au potentiel solaire annuel de la zone industrielle d'Oued El Berdi à Bouira. Une fois les résultats du potentiel solaire sont évalués, nous nous pencherons sur les caractéristiques du système de chauffage actuellement en place, afin d'identifier les opportunités d'amélioration et d'intégration de la technologie solaire. Après que les besoins de chauffage sont déterminés, nous procéderons à l'évaluation de la surface requise pour les capteurs solaires et du volume de stockage nécessaire à la station.

Le dernier chapitre sera consacré à une évaluation économique du système de chauffage solaire proposé pour BIOPHARM. Nous analyserons les coûts d'investissement, y compris l'installation des équipements solaires, les coûts d'exploitation et de maintenance, ainsi que les économies d'énergie générées. Des méthodes d'analyse financière seront utilisées pour évaluer la rentabilité du projet à long terme.

Enfin, nous présenterons les conclusions de notre étude, mettant en évidence les avantages et les limitations du système de chauffage solaire dans le contexte algérien, tel que présenté par le cas de BIOPHARM Oued El Berdi. Nous formulerons des recommandations pour l'entreprise, en soulignant les aspects techniques et économiques à prendre en compte lors de la mise en œuvre d'un tel système.



Chapitre I
Introduction au chauffage solaire
Dans les procédés industriels



I.1 Introduction

Actuellement, le développement de l'efficacité énergétique, en particulier dans le domaine de l'industrie, offre une réelle opportunité dans le monde. L'industrie est devenue un enjeu majeur pour deux défis planétaires cruciaux : le changement climatique et l'approvisionnement énergétique. En Algérie, ce secteur consomme plus de 17% de l'énergie totale et génère 19% des émissions de CO₂ dans l'atmosphère [1].

Par ailleurs, l'industrie est devenue un secteur clé de développement économique et social dans de nombreux pays. Elle a des impacts sur le commerce, l'énergie, l'agriculture, la technologie de la communication, l'immobilier et l'emploi. L'OFFICE NATIONAL DES STATISTIQUES (ONS) a communiqué les chiffres concernant la production industrielle publique pour l'année 2022. Selon ces données de l'ONS, la production industrielle publique a enregistré une hausse de 4,5% en 2022, année durant laquelle plusieurs secteurs avaient connu des améliorations appréciables en comparaison avec l'année d'avant.

De ce fait, le secteur industriel en Algérie présente des chiffres énormes dans consommation de l'énergie, par conséquent, un potentiel énorme pour améliorer l'efficacité énergétique et réduire les émissions de gaz à effet de serre. Les concepteurs doivent s'assurer que les usines offrent une forte et meilleure production tout en minimisant leur impact environnemental.

Les entreprises peuvent adopter différentes mesures pour minimiser les émissions polluantes, telles que la mise en place des technologies de traitement des déchets pour recycler ou éliminer les déchets de manière plus durable, des technologies plus avancées pour réduire les émissions polluantes et améliorer leur efficacité énergétique. Par exemple, des technologies de combustion plus avancées et des systèmes de contrôle de la pollution peuvent être utilisés pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, l'utilisation de sources d'énergie renouvelable telles que l'énergie éolienne, hydraulique ou solaire.

Le présent chapitre portera sur cette thématique, l'énergie solaire aspects et enjeux, potentiel solaire en Algérie et sa demande énergétique et procédés du chauffage solaire dans le secteur industriel.

I.2 Aperçu sur le potentiel du chauffage solaire et la demande en chauffage

Dès les premiers temps, l'homme s'est tourné vers la biomasse pour satisfaire ses besoins en chaleur, ainsi que vers le vent et l'énergie hydraulique pour répondre à ses besoins mécaniques. Cependant, l'utilisation du rayonnement solaire, à l'exception du séchage des aliments, est longtemps restée marginale, voire négligée.

Dans l'Antiquité, les hommes avaient découvert qu'il était possible de concentrer l'énergie solaire afin d'obtenir des températures élevées. Une légende, plus que véritablement historique, relate que lors du siège de Syracuse en 213 avant Jésus-Christ, Archimède aurait réussi à incendier les navires romains ennemis en utilisant des miroirs paraboliques. Ces miroirs étaient communément appelés des miroirs d'ardent [2].

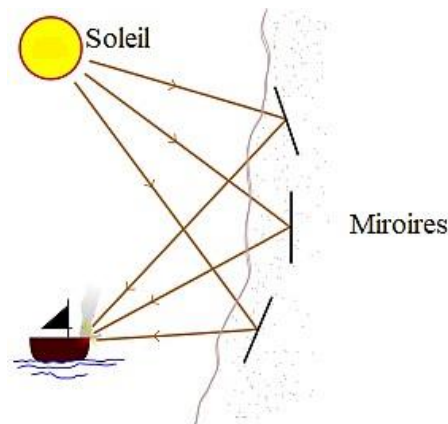


Figure I.1 : Principe de reflet de miroir d'Ardent [2].

L'idée de l'utilisation de miroirs a continué d'être utilisée au cours des siècles ultérieurs pour la combustion des arbres et la fusion des métaux, entre autres.

A l'arrivée de la révolution industrielle au 18^{ème} siècle, la conversion des énergies fossiles en énergie électrique et thermique était le seul moyen pour alimenter le développement économique que l'humanité a connue jusqu'à cette millénaire. Ce n'est que depuis les trente dernières années que la conversion du rayonnement solaire a connu un développement significatif à grande échelle.

I.2.1 Potentiel du chauffage solaire

I.2.1.1 Définition

Le potentiel solaire est défini comme la quantité d'énergie solaire reçue par une superficie spécifique. La plus grande intensité d'énergie solaire au niveau du sol terrestre se trouve dans les régions arides des tropiques, notamment dans les déserts chauds où les conditions météorologiques et géographiques sont optimales : basse latitude, vaste étendue, ensoleillement constant, ciel dégagé et faible humidité de l'air. Le Grand Sahara, le plus vaste désert chaud du monde, est la région de la Terre qui bénéficie le plus abondamment de la chaleur et de la lumière solaire [3].

Quand le rayonnement solaire atteint la surface de la Terre, une proportion variable de ce rayonnement est réfléchi en fonction de l'albédo de la surface. L'autre partie du rayonnement est absorbée par la surface terrestre, se convertissant en chaleur, ou par les êtres vivants qui y résident, notamment les plantes qui utilisent la photosynthèse. Cette forme d'énergie, connue sous le nom d'énergie solaire, constitue le fondement de la vie.

I.2.1.2 Différents types de l'énergie solaire

L'énergie solaire correspond à l'énergie émise par le rayonnement du Soleil. Ce rayonnement, qui englobe un large spectre allant des ondes radio aux rayons gamma en passant par la lumière visible, est composé de photons, les unités fondamentales de la lumière et les transporteurs de l'énergie solaire. L'énergie solaire provient des réactions de fusion nucléaire qui se produisent au sein du Soleil [4].

Actuellement, il existe trois formes principales de l'énergie solaire [4] :

- Le solaire photovoltaïque, qui convertit directement le rayonnement solaire en électricité.
- Le solaire thermique, qui convertit directement le rayonnement solaire en chaleur.
- Le solaire thermodynamique, une variante du solaire thermique. Cette technique se distingue par son utilisation de l'énergie thermique du soleil, qui est ensuite convertie en électricité.

I.2.1.3 Différents types de l'exploitation des énergies solaires

On peut distinguer trois type d'exploitation de l'énergie solaire :

- **Energie solaire passive :** Exploite l'architecture des bâtiments pour capter les rayons du soleil et remplacer les énergies conventionnelles utilisées pour le chauffage et le refroidissement. Elle fonctionne de manière autonome, sans besoin d'une source d'énergie externe [5].
- **Energie photovoltaïque :** Elle transforme directement une partie du rayonnement solaire en électricité à l'aide de panneaux solaires composés de cellules photovoltaïques en silicium. Cette conversion est basée sur l'effet photoélectrique, qui consiste en l'émission d'électrons par un matériau exposé à la lumière [6].
- **Energie solaire active :** Utilise des capteurs solaires pour convertir les rayons solaires en chaleur. Elle nécessite une source d'électricité supplémentaire pour alimenter des pompes ou des ventilateurs qui distribuent cette énergie thermique à l'intérieur des bâtiments. La chaleur peut être utilisée immédiatement, stockée pour une utilisation ultérieure ou transférée vers un autre endroit à l'aide d'un fluide caloporteur comme l'eau, l'antigel ou l'air [5].

Les systèmes solaires actifs sont principalement utilisés pour le chauffage de l'air et de l'eau, mais ils ont également d'autres applications telles que la climatisation, le séchage de produits, la détoxification de l'eau contaminée et la production d'énergie électrique d'origine thermique. Dans cette étude, nous nous concentrons spécifiquement sur les systèmes de chauffage solaire de l'air.

I.2.1.4 Estimation de l'irradiation solaire

Le rayonnement solaire est constitué de l'ensemble des ondes électromagnétiques émises par le Soleil. Lorsque le rayonnement solaire traverse l'atmosphère, il se décompose en rayonnement direct et en rayonnement diffus le rayonnement global n'a pas une composition absolument stable. La lumière solaire est en effet composée de toutes sortes de rayonnement de Couleurs différentes, caractérisées par leur gamme de longueur d'onde son relation est [7]:

$$E = h * \nu = \frac{h \cdot C}{\lambda} \quad (I.1)$$

Avec :

- ☞ h : Constante de Planck.
- ☞ C : Vitesse de la lumière.
- ☞ λ : Longueur d'onde.

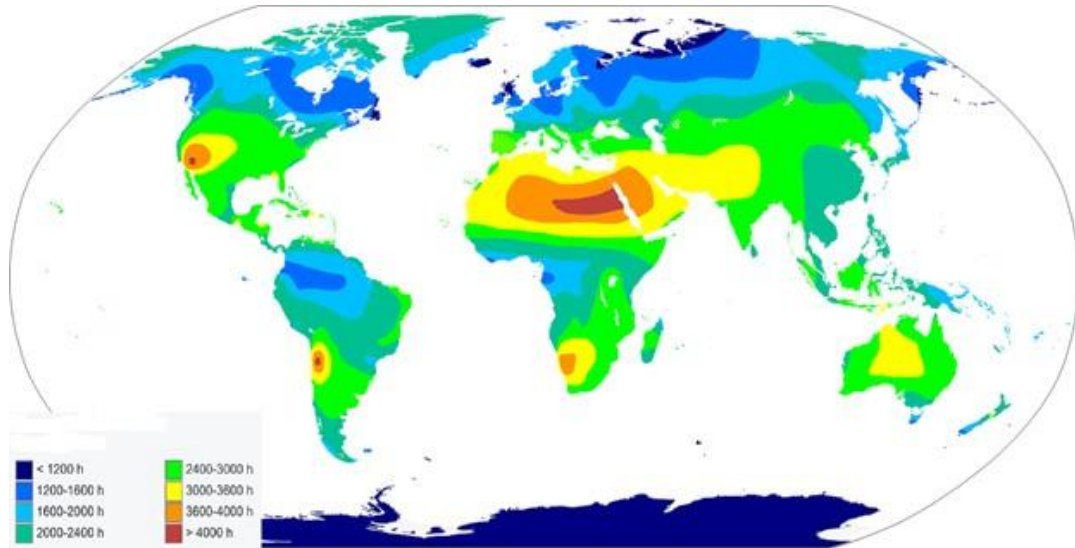


Figure I.2 : Carte de l’enseillement horaire mondial [8].

Grâce à sa situation géographique privilégiée, l'Algérie jouit d'un ensoleillement exceptionnel parmi les plus élevés à l'échelle mondiale. La durée d'exposition au soleil sur la quasi-totalité du territoire dépasse les 2000 heures par an et peut même atteindre jusqu'à 3900 heures dans les régions des hauts plateaux et du Sahara. Chaque jour, une surface horizontale d'un mètre carré bénéficie d'environ 5 KWh d'énergie solaire, ce qui se traduit par près de 1700 KWh/m²An dans le Nord du pays et environ 2263 KWh/m²An dans le Sud [9].

Tableau I.1 : Ensoleillement reçu par l’Algérie par région climatique [10].

| Régions | Régions côtières | Hauts plateaux | Sahara |
|---|------------------|----------------|--------|
| Superficie (%) | 4 | 10 | 86 |
| Durée moyenne d’enseillement (Heure/An) | 2650 | 3000 | 3500 |
| Energie moyenne reçue (KWh/m ² An) | 1700 | 1900 | 2650 |

Le territoire algérien est partagé en huit zones énergétiques ou zones homogènes d'ensoleillement. Et il existe un réseau de 78 stations de mesure météorologiques de l'Office National Météorologique.



Figure I.3 : Zones d'ensoleillement homogènes et stations météorologiques en Algérie [10].

La zone de la wilaya de Bouira est la station solaire numéro 06, elle est dans la zone énergétique Z. E 02. Bouira se situe géographiquement aux coordonnées suivantes [10] :

- Latitude : $36^{\circ}38' N$
- Longitude : $3^{\circ}9' E$
- Altitude : 635 mètre (Chef-lieu de Wilaya)
- Albédo : 0.2

I.2.2 Demande thermique en Algérie

La demande pour l'énergie solaire thermique en Algérie est en constante augmentation. Le pays bénéficie d'un ensoleillement et d'un potentiel solaire important, ce qui rend cette technologie très attractive pour les besoins du chauffage d'eau pour les habitations, les bâtiments publics et les installations industrielles. Le gouvernement Algérien encourage l'utilisation de l'énergie solaire thermique et a mis en place plusieurs programmes de soutien et d'incitation pour les installations solaires thermiques.

I.2.2.1 Model de consommation énergétique

Il est important de créer un modèle de consommation énergétique qui prend en compte le développement économique global. Les stratégies de développement économique intègrent des visions qui considèrent la rareté des ressources, la nécessité de réduire la consommation et l'équité dans le partage des ressources et des moyens financiers.

Cependant, certains paramètres d'un modèle de consommation énergétique restent spécifiques à chaque pays, y compris pour l'Algérie. Les critères à prendre en compte sont les suivants [11] :

- Le prix : comparer les coûts des différentes sources d'énergie.
- La sécurité d'approvisionnement : garantir un approvisionnement stable et éviter les embargos ou les pannes d'approvisionnement.
- Le changement climatique et les engagements de l'Accord de Paris : respecter les engagements pris dans le cadre de l'Accord de Paris sur le climat.
- L'indépendance énergétique : favoriser l'indépendance énergétique à long terme, pas seulement en termes d'électricité.
- La durabilité : assurer une disponibilité énergétique à long terme.
- L'intégration industrielle : diversifier l'économie en développant une industrie dédiée à l'énergie.
- L'adaptation aux systèmes électriques et aux réseaux de transport et de distribution, notamment les réseaux intelligents (smart grids).

En résumé, il est essentiel de prendre en compte ces critères dans la définition d'un modèle de consommation énergétique pour assurer un développement économique durable et répondre aux besoins énergétiques spécifiques de chaque pays.

Dans un entretien, l'expert en transition énergétique, M. Hasni, réagit aux déclarations des responsables du secteur concernant la production de l'énergie solaire annoncée par le ministre de la transition énergétique, ou il a annoncé que la consommation énergétique globale de l'Algérie a augmenté de 59% de 2010 à 2019, ce qui est à la fois un indice de développement industriel, mais aussi, un signe de non autosatisfaction national en terme de besoins énergétiques [11].

NEAL, une société spécialisée dans le développement des énergies renouvelables, a élaboré un scénario de modèle de consommation énergétique à l'horizon 2030, basé sur les sept critères d'évaluation mentionnés précédemment.

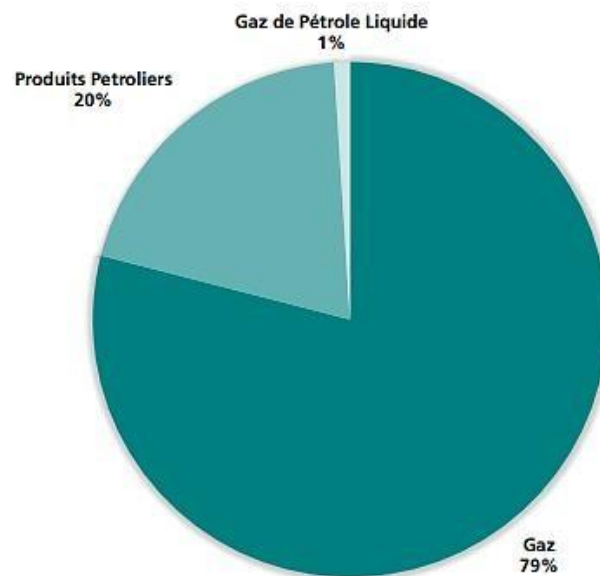


Figure I.4 : Consommation annuelle d'énergies fossiles jusqu'en 2018 [11].

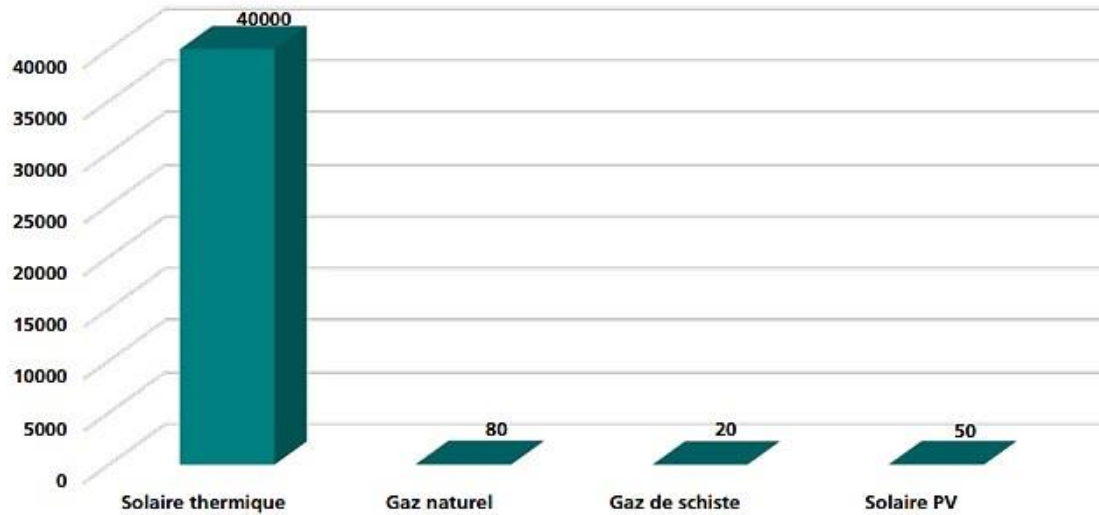


Figure I.5 : Potentiel annuel des énergies renouvelables [11].

Tableau I.2 : Comparaison des différentes filaires énergétiques [11].

| | Solaire thermique avec stockage | Gaz naturel | Gaz de schiste | Solaire Photo Voltaïque | Nucléaire |
|---|---------------------------------|--------------|----------------|-------------------------|--------------|
| Potentiel (MTEP) | 40 000 | 90 | 20 | 50 | 5 |
| Coûts (Dollar \$ pour KWh) | 5 à 7 | 0,003 | 18 | 2,2 | 10 à 12 |
| Indépendance énergétique | Oui | Non | Non | Non | Non |
| Atténuation climatique | 100% | Non | Non | 30% | 60% |
| Sécurité énergétique | 100% | Non | Non | Limitée | Très limitée |
| Intégration industrielle | 75% | 30% | 20% | 40% | 0 |
| Capacité d'exportation (Dollar \$) | 37 Milliards | 12 Milliards | 0 | 0 | 0 |

Tableau I.3 : Prévisions de consommation énergétique selon NEAL jusqu'à l'an 2030 [11].

| | 2015 | 2020 | 2024 | 2030 |
|---|-------|-------|-------|------|
| Consommation globale électrique | 61% | 88% | 112% | 150% |
| Photovoltaïque 13 000 MW (2030) | 0,18% | 16,6% | 17,6% | 23% |
| Eolien | 0% | 0,31 | 0,6 | 0,9% |
| Solaire thermique 14 000 MW (2030) | 0,1% | 12% | 30% | 100% |

Dans la comparaison des filiales d'énergies, on remarque que :

- Seule la technologie du solaire thermique avec stockage offre une indépendance énergétique.
- Le potentiel annuel le plus élevé revient au solaire thermique.
- Le solaire thermique avec stockage offre une sécurité énergétique à 100%. Les autres technologies, y compris le gaz naturel, le gaz de schiste, le solaire photovoltaïque et le nucléaire, ont une sécurité énergétique limitée.
- Le solaire thermique avec stockage a le pourcentage le plus élevé d'intégration industrielle avec 75%, suivi du solaire photovoltaïque avec 40%. Le gaz naturel a une intégration industrielle de 30%, tandis que le gaz de schiste a une intégration industrielle de 20%.
- Le solaire thermique avec stockage et le nucléaire sont les seules technologies qui contribuent à l'atténuation climatique, avec des pourcentages respectifs de 100% et 60%. Le solaire photovoltaïque contribue à hauteur de 30% à l'atténuation climatique.
- Parmi les énergies renouvelables, le solaire photovoltaïque est la technologie la moins coûteuse avec un coût de 2,2 € par KW/H, tandis que le gaz de schiste est la plus chère avec un coût de 18 € par KW/H. Le solaire thermique avec stockage a un coût estimé entre 5 et 7 € par KW/H, le gaz naturel coûte 0,003 € par KW/H, et le nucléaire a un coût estimé entre 10 et 12 € par KW/H.

Dans ce modèle de prévision de la consommation énergétique, la société NEAL, prévoit une croissance considérable de 70% de la consommation d'énergie thermique d'ici 2030 en Algérie. Ce pourcentage représente un potentiel d'investissement considérable pour l'avenir.

Il convient de souligner que ce modèle n'est pas accessible au public. Il est important de noter que, en raison de la spécificité de l'Algérie, environ 90% de la demande énergétique est concentrée dans le Nord, tandis que les 10% restants se trouvent dans le Sud.

I.2.2.2 Stratégies de l'état vis-à-vis le scénario de demande énergétique en Algérie

L'Algérie se lance dans une initiative d'énergie verte en mettant en place un programme ambitieux de développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique. Ce programme vise à valoriser les ressources renouvelables, notamment l'énergie solaire, afin de diversifier les sources d'énergie. L'objectif est d'installer une capacité de production d'énergie renouvelable d'environ 22 000 MW d'ici 2030 pour répondre aux besoins nationaux dans les secteurs du bâtiment, de l'éclairage public, du transport et de l'industrie.

L'Algérie aspire à devenir un acteur majeur de la production d'électricité renouvelable, avec 37% de la capacité installée et 27% de la production destinée à la consommation nationale provenant des énergies renouvelables d'ici 2030. Le programme sera mis en œuvre en deux phases, avec la première phase de 2015 à 2020 et la deuxième phase de 2021 à 2030, qui comprendra le développement de l'interconnexion électrique entre le Nord et le Sahara. L'objectif est également de développer une industrie des énergies renouvelables en favorisant la formation et la capitalisation des connaissances, ce qui créera des emplois directs et indirects. Des mesures de soutien, telles que des tarifs d'achat garantis et la mise en place d'un cadre juridique favorable, ont été adoptées pour encourager le développement des énergies renouvelables en Algérie [12].

D'autres mesures incitatives sont également prévues, telles que l'accompagnement dans le processus d'acquisition des autorisations, la mise à disposition de terrains pour les installations d'énergies renouvelables et la création d'organismes et de laboratoires pour contrôler la qualité et la performance des équipements.

I.3 Procédés industriel adapté au chauffage solaire

Les technologies solaires sont de plus en plus importantes dans un monde qui cherche à réduire les émissions de carbone. L'énergie solaire est une option peu polluante pour produire de la chaleur et de l'électricité, car elle ne génère pas de gaz à effet de serre et a une empreinte carbone réduite par rapport aux combustibles fossiles.

Selon l'Association européenne de l'industrie solaire thermique, la capacité installée de production solaire thermique de 1 MWh permet d'éviter le rejet de 600 kg de CO₂. Le temps de retour énergétique des systèmes CSP est d'environ 5 mois, ce qui très raisonnable comparé à leur cycle de vie de 25 à 30 ans.

Au niveau mondial, la chaleur industrielle représente plus des deux tiers de la consommation totale d'énergie, la moitié de cette demande de chaleur industrielle est à basse ou moyenne température (< 400°C). Environ de 40 % de la consommation industrielle d'énergie primaire est couverte par le gaz naturel et environ 41 % par le pétrole. Cela signifie qu'il existe un potentiel technique permettant de fournir environ 15 Exa-Joule de chaleur solaire thermique d'ici 2030 (environ 10 % de la demande d'énergie industrielle), tandis que la part du solaire thermique déployée dans le secteur industriel pourrait atteindre 33 % [13].

Voici quelques-uns des principaux domaines et d'exploitation des systèmes solaires thermiques dans l'industrie [13] :

- La production chimique
- L'agroalimentaire
- L'industrie papetière
- L'industrie de la fabrication métallique
- L'industrie de la fabrication Caoutchouc et plastique
- L'industrie de machinerie et équipement
- Le textile
- La filière forêt-bois

Les systèmes solaires thermiques peuvent être utilisés dans ces secteurs pour une variété de processus et d'applications. Voici quelques-uns des principaux processus d'application de ce système [13] :

- ➔ Préchauffage
- ➔ Pasteurisation et stérilisation
- ➔ Lavage et nettoyage
- ➔ Traitement de surface
- ➔ Réchauffement de l'espace
- ➔ Alimentation en eau chaude ou en vapeur
- ➔ Séchage et déshydratation

I.3.1 Station thermique solaire industriel de génération d'électricité

Il existe plusieurs types de stations thermiques solaires industrielles pour la génération d'électricité, qui sont généralement classées en fonction de leur technologie de concentration solaire [14].

- ➔ **Centrale solaires thermiques à concentration de miroirs Cylindro-Parabolique :** Similaires aux miroirs paraboliques, mais avec une forme cylindrique, ces centrales utilisent également un fluide caloporteur pour produire de la vapeur et générer de l'électricité.
- ➔ **Centrale solaires thermiques à concentration de Tour solaire :** Les centrales utilisent des miroirs pour concentrer la lumière solaire sur une tour centrale où se trouve un fluide caloporteur. La chaleur du fluide est transférée à de l'eau, ce qui permet de produire de la vapeur. Cette vapeur alimente ensuite une turbine qui génère de l'électricité.
- ➔ **Centrales solaires thermiques à concentration de Fresnel :** Les centrales solaires utilisent des miroirs linéaires qui concentrent la lumière du soleil sur un tube rempli d'un fluide caloporteur. La chaleur est ensuite transférée de ce fluide à de l'eau, ce qui entraîne la production de vapeur. Cette vapeur alimente ensuite une turbine qui produit de l'électricité.

Ces technologies sont fréquemment employées dans des centrales solaires de grande envergure afin de générer de l'électricité destinée aux réseaux électriques industriels et urbains.

I.3.2 Stations thermique solaire industriel de génération de chaleur

La génération de chaleur par le soleil, également connue sous le nom de chauffage solaire, est un processus qui convertit l'énergie solaire en chaleur utilisable. Cette méthode exploite le rayonnement solaire pour chauffer l'air, l'eau, les fluides caloporteurs ou d'autres matériaux, afin de répondre à divers besoins de chauffage.

Les concentrateurs solaires sont des dispositifs qui utilisent des miroirs ou des lentilles pour concentrer la lumière solaire sur un point focal. À ce point focal, un matériau absorbant la chaleur est placé. Les concentrateurs solaires permettent d'atteindre des températures très élevées et sont souvent utilisés dans des applications industrielles nécessitant de la chaleur à haute température.

La génération de chaleur par le soleil présente de nombreux avantages. Elle utilise une source d'énergie abondante et renouvelable, réduit la dépendance aux combustibles fossiles et contribue à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. De plus, elle peut être utilisée dans une large gamme d'applications, des systèmes de chauffage résidentiels aux processus industriels. (Cette partie sera traitée en détails au Chapitre 02)

I.3.3 Taille de marché solaire thermique dans le monde

Le marché du solaire thermique devrait connaître une croissance solide à un taux annuel composé d'environ 4,5% au cours de la période prévisionnelle. Malgré la pandémie de COVID-19, le marché du solaire thermique n'a pas été affecté négativement, au contraire. En effet, la capacité installée des systèmes solaires thermiques a connu une augmentation mondiale en 2020, atteignant 6 479 MW par rapport à 6 384 MW en 2019. Cette croissance devrait se poursuivre dans les années à venir, soutenue par la demande croissante de chauffage à base d'énergies renouvelables dans les secteurs résidentiel et industriel. De plus, les avantages économiques liés à l'autoproduction d'énergie contribuent également à stimuler le marché du solaire thermique.

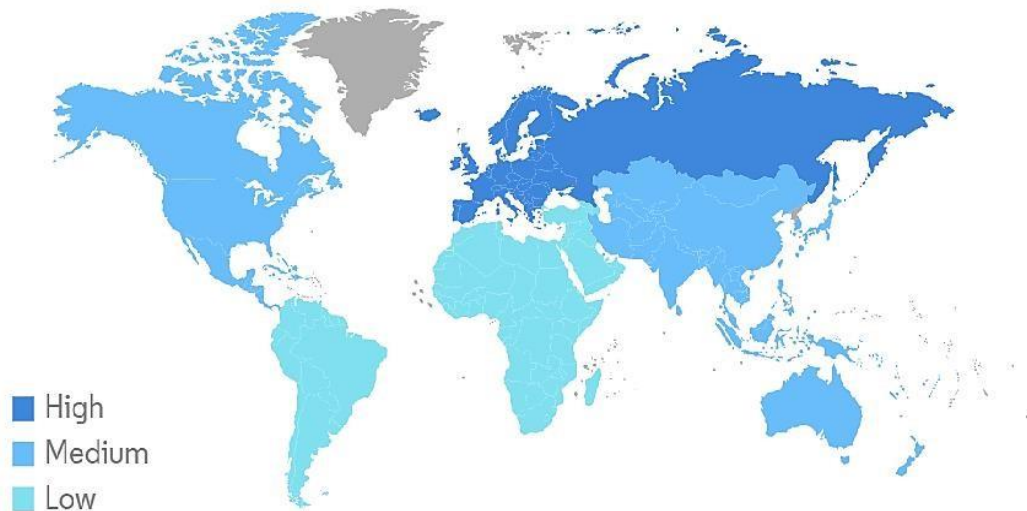


Figure I.6 : Croissance du marché du solaire thermique au monde dans la période 2022, 2027 [15].

Plusieurs facteurs contribuent à la croissance du marché. Tout d'abord, la demande croissante d'applications de chauffage à base d'énergies renouvelables dans les secteurs résidentiel et industriel joue un rôle essentiel. Les avantages environnementaux et économiques de l'énergie solaire thermique, incitent de plus en plus de personnes et d'entreprises à opter pour cette technologie.

Cependant, il convient de noter que le marché du solaire thermique fait face à des défis. La concurrence du gaz naturel dans le secteur du chauffage urbain peut limiter la croissance à court terme. Néanmoins, les avantages et les opportunités offerts par l'énergie solaire thermique continueront de stimuler le marché.

La région européenne est particulièrement dynamique dans le domaine du solaire thermique. Les pays européens ont connu une baisse des coûts des technologies de chauffage solaire, ce qui stimule l'adoption de cette source d'énergie. Par conséquent, on s'attend à ce que l'Europe enregistre la plus forte croissance sur le marché du solaire thermique au cours de la période de prévision.

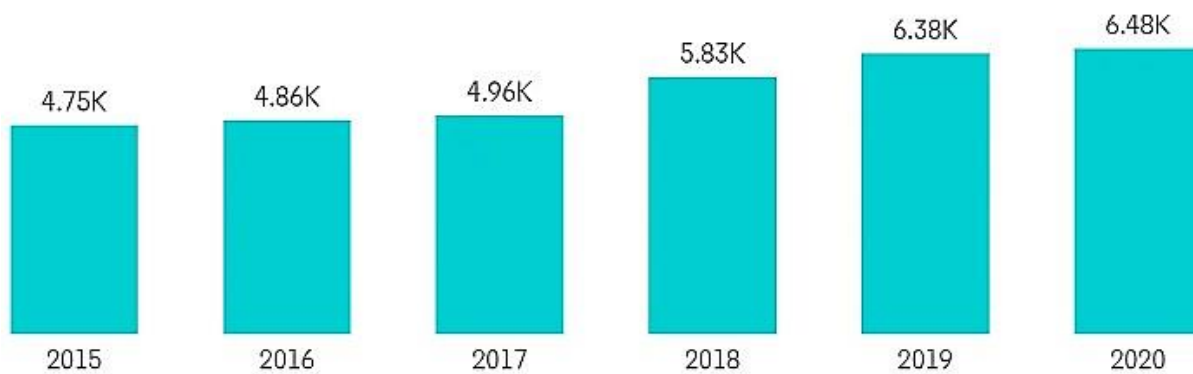


Figure I.7 : Croissance du marché du solaire thermique [15].

I.4 Exemple d'installations thermique solaire

I.4.1 Principaux acteurs du marché du solaire thermique dans le monde

Les principaux acteurs du marché du solaire thermique peuvent varier en fonction de la région géographique considérée, mais voici quelques-uns des principaux acteurs mondiaux de l'industrie solaire thermique :

- **Viessmann** : Une entreprise Allemande spécialisée dans les systèmes de chauffage et de climatisation, y compris les systèmes solaires thermiques. Ils proposent une large gamme de produits, notamment des capteurs solaires thermiques et des systèmes de chauffage solaire pour l'eau chaude sanitaire et le chauffage des bâtiments.
- **Vaillant** : Un autre acteur de premier plan dans le secteur des systèmes de chauffage et de climatisation propose une gamme complète de solutions solaires thermiques. Leurs offres comprennent des capteurs solaires ainsi que des systèmes de chauffage solaire pour la production d'eau chaude et le chauffage.
- **Bosch** : Est une entreprise mondiale diversifiée qui propose une gamme de produits, y compris des systèmes solaires thermiques. Leurs offres comprennent des capteurs solaires, des réservoirs de stockage et des systèmes de contrôle pour les applications solaires thermiques.
- **Solar Millennium** : Est une entreprise spécialisée dans les centrales solaires thermiques à concentration (CSP) qui utilisent des miroirs pour concentrer la lumière solaire et générer de la chaleur à grande échelle. Ils sont notamment actifs dans le développement et la construction de centrales solaires thermiques dans le monde entier.

- **Ritter Energie** : Est une entreprise Allemande qui fabrique des capteurs solaires thermiques et des systèmes solaires pour l'eau chaude et le chauffage. Ils sont connus pour leur technologie de capteurs à tubes sous vide.
- **Sunpower Corporation** : Est une société américaine spécialisée dans les technologies solaires, y compris les systèmes solaires thermiques. Ils proposent des solutions pour les applications résidentielles et commerciales, y compris des capteurs solaires et des systèmes de chauffage solaire.
- **SolarFocus** : Est une entreprise autrichienne qui se concentre sur les systèmes solaires thermiques. Leurs produits comprennent des capteurs solaires, des systèmes de chauffage solaire et des réservoirs de stockage.
- **Newheat** : Fondée en 2015 en France, est une entreprise spécialisée dans le développement, la construction, le financement et l'exploitation de projets de production de chaleur solaire. Leur expertise s'étend également à l'intégration de la récupération de chaleur fatale, offrant ainsi des solutions aux industriels et aux réseaux de chaleur urbains.

En plus de ces acteurs, d'autres entreprises mondiales jouent un rôle clé dans l'industrie du solaire thermique et contribuent activement au développement et à l'adoption de ces technologies à l'échelle mondiale.

I.4.2 Exemple d'une centrale solaire thermique industrielle

I.4.2.1 Centrale solaire « Gabriela Mistral »

La centrale solaire "Gabriela Mistral" fait référence à la centrale solaire thermique à concentration située dans le désert d'Atacama, au Chili. Elle a été nommée d'après la poétesse chilienne Gabriela Mistral, lauréate du prix Nobel de littérature en 1945.

La centrale solaire Gabriela Mistral est l'une des plus grandes centrales solaires thermiques d'Amérique du Sud, avec une superficie d'environ 43 920 mètres carrés.

La construction de la centrale solaire Gabriela Mistral a été achevée en 2015 et elle a depuis contribué de manière significative à la production de chaleur propre au Chili. Elle joue un rôle important dans la production d'énergie du pays et dans la réduction de sa dépendance aux combustibles fossiles [16].



Figure I.8 : Centrale solaire « Gabriela Mistral » [16].

I.4.2.2 Centrale thermique du Textile Jiangsu Yitong

La manufacture de Jiangsu Yitong en Chine s'étend sur une superficie de 9 000 mètres carrés et dispose d'une centrale thermique qui génère 6,3 mégawattheures de chaleur solaire pour soutenir ses processus de production textile. Cette centrale thermique est alimentée par des capteurs à tubes sous vide qui assurent le préchauffage de l'installation industrielle de Jiangsu Yitong [17].



Figure I.9 : Centrale solaire Jiangsu Yitong [17].

I.4.2.3 Centrale thermique de El Nasr Pharmaceutical Chemicals

En 2003, El Nasr Pharmaceutical Chemicals, basée en Égypte, a mis en place un système utilisant des capteurs paraboliques cylindriques. Ce système est composé d'une surface d'ouverture de 1900 m² et d'une puissance thermique de 1,33 MWth. Les capteurs paraboliques cylindriques sont utilisés pour générer une quantité de vapeur de 1,3 tonne par heure. Fonctionnant à une température de 170°C et une pression de 7,5 bar, cette technologie solaire permet à El Nasr Pharmaceutical Chemicals de répondre partiellement à ses besoins énergétiques. De plus, elle contribue à la réduction de l'empreinte carbone de l'entreprise tout en assurant la production de vapeur nécessaire à ses procédés pharmaceutiques [18].



Figure I.10 : Centrale solaire El Nasr Pharmaceutical Chemicals [18].

I.5 Conclusion

Pour conclure, le chauffage solaire dans les procédés industriels présente de nombreux avantages et opportunités pour ces manufactures. Le chauffage solaire utilise l'énergie renouvelable du soleil pour générer de la chaleur, ce qui réduit la dépendance aux combustibles fossiles et contribue à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

L'utilisation du chauffage solaire dans les procédés industriels permet de réaliser des économies d'énergie et de réduire les coûts de chauffage. Les systèmes solaires thermiques peuvent être utilisés pour chauffer l'eau sanitaire, fournir de la chaleur pour les radiateurs ou le plancher chauffant, et même alimenter des systèmes de chauffage central. Cela permet de réduire la consommation d'énergie provenant du réseau électrique ou du gaz naturel.

De plus, l'installation de systèmes de chauffage solaire peut bénéficier de subventions et d'incitations financières, ce qui rend cette option plus attractive sur le plan économique. En investissant dans le chauffage solaire, les propriétaires peuvent non seulement réduire leurs factures d'énergie à long terme, mais aussi réduire les coûts de leurs produits.

En conclusion, le chauffage solaire dans les procédés industriels offre une alternative durable, rentable et respectueuse de l'environnement. Il permet de réduire la dépendance aux combustibles fossiles, de réaliser des économies d'énergie et de contribuer à la lutte contre le changement climatique. En tant que tel, le chauffage solaire devrait être sérieusement considéré comme une option viable pour les propriétaires soucieux de l'environnement et désireux de réduire leurs coûts énergétiques à long terme.



Chapitre II
Technologies de collecteurs solaires
Et systèmes de stockage



II.1 Introduction aux technologies de collecteurs solaires thermiques

Les technologies de collecteurs solaires thermiques sont des dispositifs conçus pour capter la chaleur du soleil pour la convertir en énergie thermique [19] utilisable pour diverses applications telles que le chauffage de l'eau pour la consommation domestique, le chauffage des piscines, le chauffage des locaux et bien d'autres [20]. Il existe trois types principaux de collecteurs solaires thermiques : les collecteurs plans, les collecteurs tubulaires qui sont également connus sous le nom de capteurs sous vide et les collecteurs à concentration [21].

En général, les collecteurs solaires thermiques sont des technologies écologiques et durables qui peuvent réduire la dépendance aux sources d'énergie conventionnelles et contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

II.2 Principe fonctionnement d'un collecteurs solaires thermiques

Le collecteur solaire thermique fonctionne en convertissant l'énergie solaire en chaleur. Il est constitué d'un boîtier contenant un élément absorbant, tel que des tubes métalliques noirs ou une plaque en acier ou en aluminium peinte en noir [21].

Lorsque les rayons du soleil atteignent l'élément absorbant, ils sont convertis en chaleur. Cette chaleur est ensuite transférée à un fluide caloporteur, comme de l'eau ou de l'air, qui est acheminé vers un système de stockage ou directement utilisé pour alimenter des équipements nécessitant de la chaleur [22].

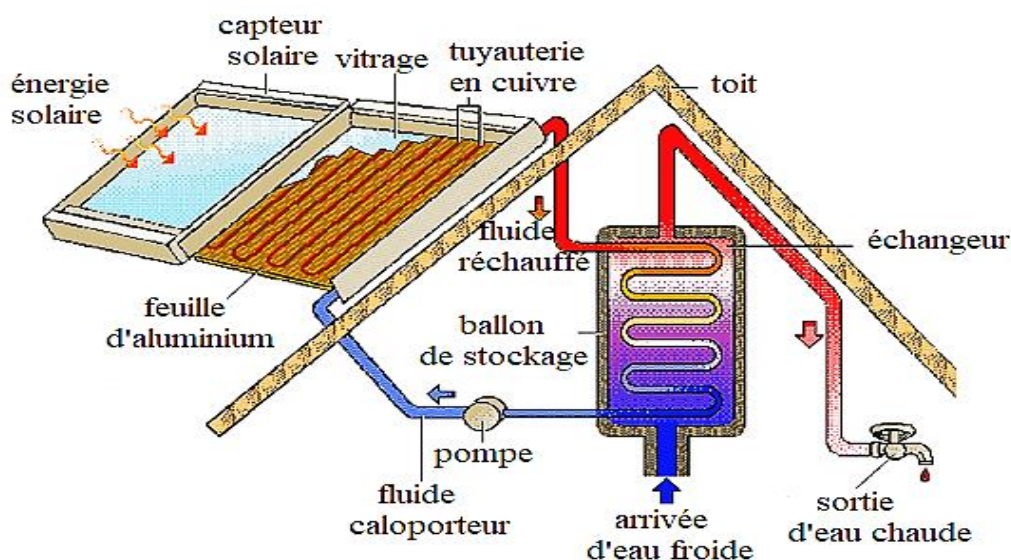


Figure II.1 : Schéma synoptique du fonctionnement d'un chauffe-eau solaire [20].

II.3 Différents types des capteurs solaires thermiques

II.3.1 Capteurs solaires thermiques plans

Il s'agit d'une technologie fondamentale qui a fait l'objet de nombreuses recherches, son objectif principal est de convertir l'énergie solaire en chaleur exploitable. De plus, ce type de capteur peut être vitré ou non vitré [23].

II.3.1.1 Capteurs plans vitrés

Les capteurs solaires à plaques vitrées sont largement utilisés pour le chauffage de l'eau. Leur plage de température de fonctionnement habituelle est comprise entre 30°C et 80°C [24]. Ces capteurs sont constitués d'une plaque vitrée transparente qui recouvre un absorbeur noir. Lorsque la lumière solaire traverse la plaque vitrée, elle est absorbée par l'absorbeur noir, ce qui la convertit en chaleur. Cette chaleur est ensuite transférée à un liquide circulant dans des tuyaux situés sous l'absorbeur [23].

Ce type de capteur existent sous deux formes : les capteurs d'eau et les capteurs d'air, les capteurs d'eau sont couramment utilisés dans le chauffage résidentiel et commercial de l'eau, pour le chauffage des bâtiments et les piscines intérieures. En revanche, les capteurs d'air sont utilisés pour le chauffage des bâtiments, l'aération et le séchage [25].

Un avantage des capteurs à plaques vitrées est leur coût inférieur par rapport aux capteurs à tubes sous vide, de plus, ils sont particulièrement adaptés aux toitures. Cependant, ils présentent également des inconvénients, tels qu'une efficacité réduite en hiver en raison du manque d'ensoleillement [26].

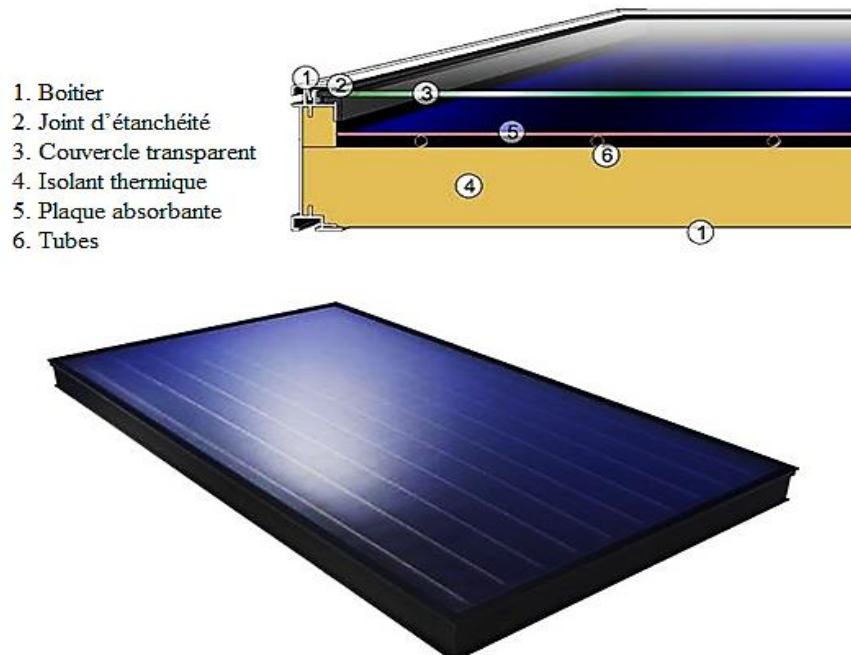


Figure II.2 : Concentrateur plan vitré [24].

II.3.1.2 Capteurs plans non vitrés

Contrairement aux capteurs solaires à plaques vitrées, les capteurs solaires à plaques non vitrées sont le modèle le plus économique mais également le moins performant. Ce type de capteur ne possède ni couche isolante ni couvercle transparent, ce qui entraîne des pertes de chaleur importantes. Ils sont souvent utilisés pour des applications estivales telles que le chauffage de l'eau des piscines en été, ainsi que d'autres applications similaires. Ces capteurs fonctionnent à basse température, généralement entre 25 °C et 40 °C [27].



Figure II.3 : Capteur plan non vitré [28].

II.3.2 Capteurs à tubes sous vide

Les capteurs solaires sous vide partagent les mêmes composants que les capteurs solaires plats en verre [29]. Cependant, leur mode d'isolation diffère car ils utilisent le vide plutôt qu'un matériau isolant traditionnel. Ces capteurs se composent généralement d'un tube en verre transparent scellé hermétiquement. À l'intérieur du tube, il y a un absorbeur sélectif

qui absorbe la lumière du soleil et la transforme en chaleur. L'espace entre le tube en verre et l'absorbeur est évacué de tout air, créant ainsi un vide. Cette isolation sous vide réduit considérablement les pertes de chaleur par conduction et convection, améliorant ainsi l'efficacité globale du capteur solaire.

Grâce à leur conception, les capteurs solaires sous vide peuvent atteindre des températures plus élevées que les capteurs solaires plats conventionnels. Les températures de fonctionnement peuvent généralement atteindre jusqu'à 120 °C [30], voire plus dans certains cas. Cela les rend particulièrement adaptés aux applications nécessitant des températures élevées, telles que le chauffage de l'eau pour les systèmes de chauffage domestique, les processus industriels ou même la production d'électricité via des cycles thermodynamiques.

Un avantage de ce type de capteur est sa capacité à être installé selon divers angles, ce qui facilite son intégration [30]. De plus, sa performance est supérieure à celle des capteurs plats [31], mais cela se traduit par un coût plus élevé. Les capteurs solaires sous vide sont souvent utilisés dans des climats montagneux rigoureux ou dans des pays nordiques pour produire de l'eau chaude sanitaire [30].

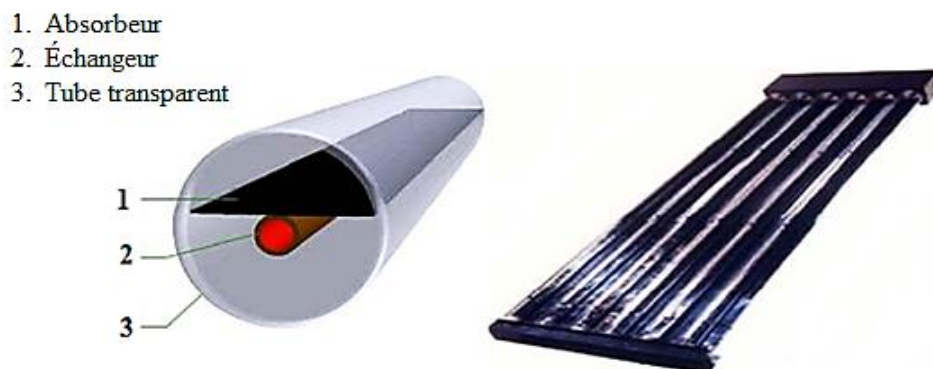


Figure II.4 : Capteur thermique à tubes sous vide [32, 33].

En effet, il existe deux types de capteurs à tubes sous vide : les capteurs à collecteur à flux direct et les capteurs à collecteur à flux indirect.

II.3.2.1 Collecteur à flux direct

Ces capteurs sont également connus sous le nom de collecteurs plats en raison de leur forme semblable à celle d'un panneau plat [34]. Ils sont généralement composés d'un tube en verre à double paroi [35] scellé hermétiquement pour créer un vide [36]. À l'intérieur de ce tube se trouve un absorbeur solaire, qui peut être une plaque métallique noire ou une feuille

d'aluminium revêtue d'une couche sélective permettant une absorption efficace des rayons solaires.

Un avantage notable de ce type de capteur est son rendement élevé, ainsi que sa faible perte de chaleur, ce qui lui permet de fonctionner efficacement même dans des conditions météorologiques difficiles, telles que des températures basses ou des vents forts [34].

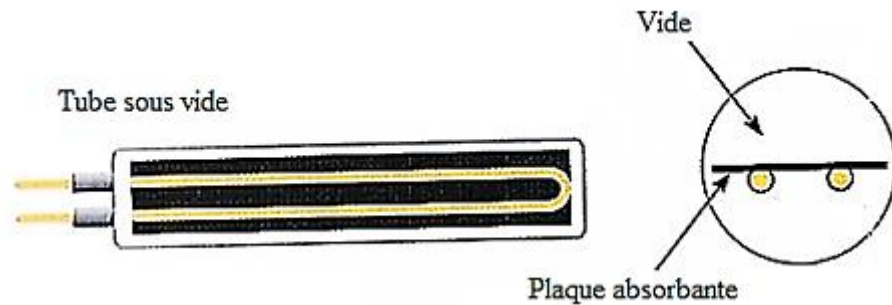


Figure II.5 : Capteur sous vide à flux direct [35].

II.3.2.2 Collecteur à flux indirect

Les collecteurs à flux indirect sont semblables aux collecteurs à flux direct, à ceci près que le fluide caloporteur circule à l'extérieur des tubes sous vide. Une fois chauffé, le fluide caloporteur est ensuite acheminé vers un échangeur de chaleur où la chaleur est transférée à un autre fluide, comme de l'eau, qui est ensuite stocké dans un réservoir de stockage [36].

II.3.3 Capteurs à concentration

Afin d'atteindre des températures élevées (supérieures à 120 °C), il est nécessaire d'utiliser des éléments réfléchissants adaptés, tels que des miroirs, ou des ensembles de lentilles pour concentrer les rayons solaires [37].

II.3.3.1 Concentrateurs cylindro-paraboliques

Les capteurs solaires cylindro-paraboliques (CCP) sont des dispositifs conçus pour concentrer la lumière solaire et la convertir en énergie thermique ou électrique [38]. Leur fonctionnement repose sur la concentration des rayons solaires à l'aide d'un réflecteur cylindro-parabolique, qui les dirige vers un récepteur positionné le long de sa ligne focale. Les rayons solaires concentrés sont absorbés par le récepteur, ce qui génère de la chaleur. Cette chaleur peut être utilisée pour chauffer un fluide caloporteur, qui à son tour peut être utilisé dans diverses applications, telles que la production d'eau chaude [39] ou de vapeur pour la génération d'électricité.

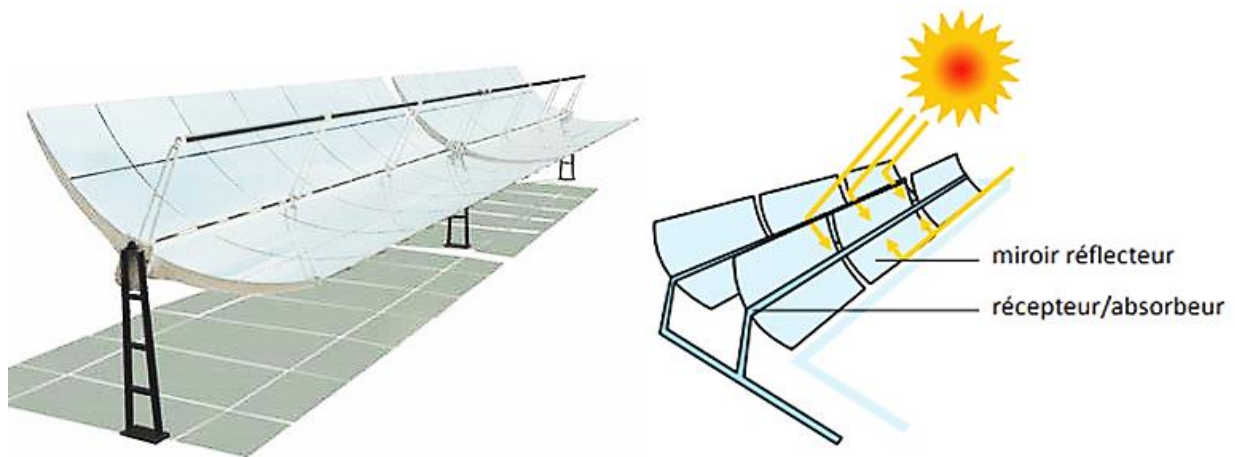


Figure II.6 : Capteurs à concentration cylindro-parabolique [40].

La figure ci-dessous présente les quatre principales parties d'un CCP que l'on peut identifier :

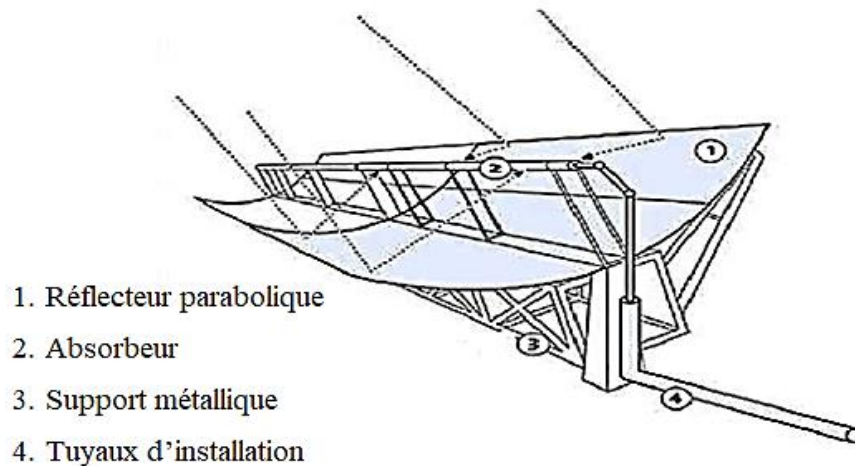


Figure II.7 : Composants essentiels d'un panneau cylindro-parabolique [41].

- **Réflecteur :** C'est le composant principal du CCP. Il est généralement fabriqué à partir de matériaux réfléchissants tels que l'aluminium ou le verre recouvert d'une couche réfléchissante. Sa forme parabolique permet de concentrer la lumière solaire incidente vers un point focal [42].
- **Structure métallique :** Le réflecteur parabolique est généralement soutenu par une structure cylindrique qui entoure le réflecteur. Cette structure cylindrique maintient le réflecteur en place et permet un ajustement de l'inclinaison pour suivre la position du soleil tout au long de la journée [43].

- **Tube absorbeur (récepteur) :** Au cœur du Collecteur à Concentration Parabolique (CCP), se trouve un tube absorbeur en métal revêtu d'un matériau sélectif d'absorption solaire. Ce tube est positionné le long de la ligne focale du réflecteur parabolique. Son rôle est d'absorber la lumière solaire concentrée par le réflecteur parabolique et de la convertir en chaleur [44].
- **Fluide caloporteur :** Le tube absorbeur contient un fluide caloporteur, généralement un liquide ou un gaz, qui circule à l'intérieur. Le fluide caloporteur absorbe la chaleur générée par la concentration solaire et transporte cette chaleur vers un système d'utilisation finale, tel qu'un générateur de vapeur ou un système de chauffage [45].

Les fluides caloporteurs les plus couramment utilisés dans la technologie des concentrateurs cylindro-paraboliques (CCP) sont les suivants :

- **Eau :** L'eau est un fluide caloporteur couramment utilisé dans les CCP, en particulier pour les applications de production de vapeur. L'eau peut absorber efficacement la chaleur du tube absorbeur et être convertie en vapeur surchauffée pour alimenter des turbines ou des processus industriels [46].
- **Huile :** Les huiles thermiques, synthétiques ou minérales, sont souvent utilisées comme fluides caloporteurs dans les CCP. Ces huiles ont des températures de fonctionnement élevées et de bonnes propriétés de transfert de chaleur, ce qui les rend adaptées pour absorber la chaleur du tube absorbeur et la transporter vers une utilisation finale [46].
- **Sels fondus :** Certains CCP utilisent des sels fondus, tels que le nitrate de sodium ou le nitrate de potassium, comme fluides caloporteurs. Les sels fondus ont des points de fusion élevés et peuvent conserver la chaleur pendant de longues périodes, ce qui permet de fournir une source de chaleur continue même en l'absence de soleil direct [44].
- **Air :** Dans certaines situations, l'air peut être employé comme fluide caloporteur dans les CCP, surtout pour les applications de chauffage à basse température. L'air a la capacité d'absorber la chaleur provenant du tube absorbeur, puis il peut être utilisé pour chauffer des espaces ou des processus industriels spécifiques [47].

Il est essentiel de choisir le fluide caloporteur approprié en prenant en compte les exigences spécifiques de l'application, telles que la température de fonctionnement, la stabilité thermique, la viscosité et les propriétés de transfert de chaleur. Chaque fluide caloporteur présente ses avantages et ses inconvénients, et la sélection dépendra des besoins et des contraintes spécifiques au système de collecteur cylindro-parabolique concerné.

Les CPC offrent plusieurs avantages par rapport aux autres technologies de concentration de la lumière solaire, telles que les miroirs paraboliques ou les tours solaires. Ils sont plus économiques à produire, simples à utiliser et nécessitent un entretien facile [48], ce qui les rend pratiques pour une utilisation à petite échelle dans des zones isolées. Cependant, ils présentent également des limitations, par exemple, leur utilisation est limitée aux régions bénéficiant d'un ensoleillement important [49].

Les caractéristiques des capteurs solaires paraboliques cylindriques sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau II.1 : Caractéristiques du capteur solaire cylindro-parabolique [50].

| | |
|--------------------------------------|--|
| Température de fonctionnement | 200 °C – 500 °C |
| Réflecteurs | Cylindrique en forme de parabole (suivi un axe) |
| Récepteurs | Linéaire mobile |
| Fluides caloporteurs | Eau, sels fondus, huile, air |

II.3.3.2 Concentrateurs linéaire de Fresnel

Les concentrateurs linéaires de Fresnel (CLFR) sont une technologie de concentration solaire qui utilise des miroirs plats pour concentrer la lumière solaire sur un tube de réception. Cette technologie permet de produire de l'énergie thermique ou électrique en utilisant un fluide caloporteur chauffé par la lumière concentrée [51].

Les CLFR sont composés de plusieurs rangées de miroirs plats disposés le long d'un axe commun. Les miroirs sont montés sur des supports mobiles qui suivent le mouvement du soleil pour concentrer la lumière sur le tube de réception. Ce dernier est positionné au point focal des miroirs, où la lumière solaire est concentrée pour chauffer le fluide caloporteur [49].

Les avantages des CLFR par rapport à d'autres technologies de concentration solaire résident dans leur coût de production et d'installation réduits [52], ainsi que leur facilité

d'entretien grâce à leur conception simple [53]. De plus, ils sont capables de suivre le soleil sur un seul axe [54]. Cependant, les CLFR ont une efficacité inférieure aux technologies de concentration ponctuelle telles que les capteurs solaires paraboliques [55], car la lumière solaire est moins concentrée sur le tube de réception. Par conséquent, ils conviennent davantage aux applications de production d'eau chaude ou de vapeur pour le chauffage ou la génération d'électricité à petite échelle, plutôt qu'à la production d'électricité à grande échelle [56].

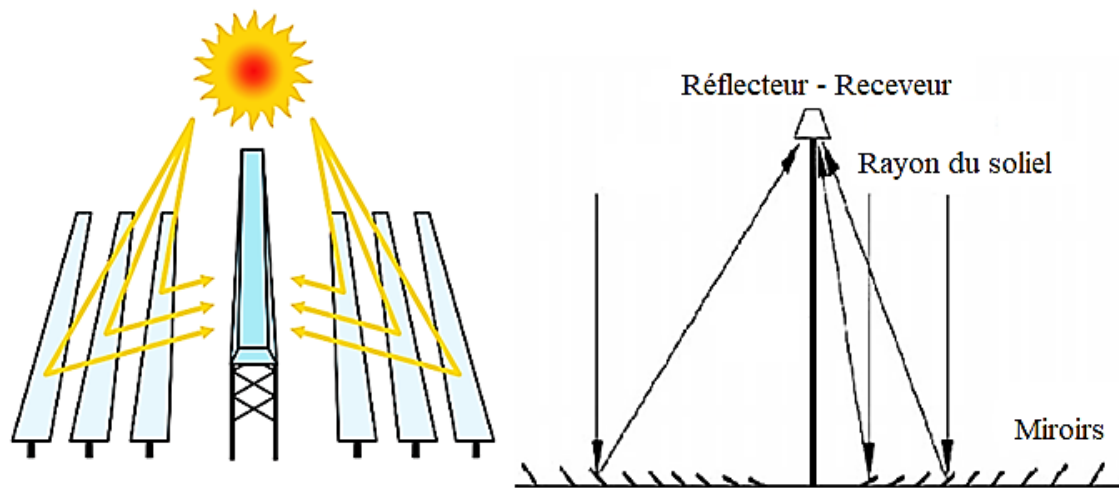


Figure II.8 : Concentrateurs linéaires de Fresnel [57].

Le tableau suivant représente les caractéristiques des capteurs solaires linéaire de Fresnel :

Tableau II.2 : Caractéristiques du capteur solaire Fresnel [50].

| | |
|--------------------------------------|-------------------------|
| Température de fonctionnement | 200 °C – 400 °C |
| Réflecteurs | Linéaire (suivi un axe) |
| Récepteurs | Linéaire fixe |
| Fluides caloporteurs | Eau, sels fondus, huile |

II.4 Stockage thermique

Les systèmes de stockage d'énergie solaire thermique jouent un rôle essentiel dans l'optimisation de l'utilisation de l'énergie solaire captée par les collecteurs solaires. Ces systèmes permettent de stocker l'énergie thermique pour une utilisation ultérieure, ce qui est particulièrement bénéfique en l'absence de soleil, comme la nuit ou les jours nuageux [52]. Plusieurs types de systèmes de stockage d'énergie solaire thermique sont disponibles, notamment :

II.4.1 Réservoirs de stockage

Les réservoirs de stockage sont des conteneurs remplis d'eau chaude qui a été chauffée par les collecteurs solaires. Cette eau chaude peut être utilisée directement ou transférée vers un système de chauffage pour fournir de la chaleur [58]. Les réservoirs de stockage sont des solutions simples et abordables, adaptées à une utilisation avec des collecteurs solaires plats ou à tubes sous vide [59].

II.4.2 Batteries thermiques

Les batteries thermiques sont des systèmes de stockage d'énergie thermique qui utilisent des matériaux à haute capacité thermique, tels que les sels fondus ou les matériaux organiques, pour stocker l'énergie. Lorsque de l'énergie thermique est requise, elle est libérée du matériau pour être utilisée [60].

II.4.3 Accumulateur de vapeur

Egalement connu sous le nom de générateur de vapeur ou de surchauffeur, est un dispositif utilisé dans certains systèmes de production d'énergie thermique. Son rôle principal est de stocker de la vapeur sous pression, pendant de courtes périodes de temps [61].

II.5 Conclusion

Les technologies de collecteurs solaires thermiques et de stockage d'énergie sont essentielles pour la production et l'utilisation d'une énergie durable. Les collecteurs solaires thermiques transforment l'énergie solaire en chaleur pour le chauffage de l'eau ou de l'air, tandis que les systèmes de stockage d'énergie permettent de conserver cette énergie pour une utilisation ultérieure. Ces technologies présentent de nombreux avantages, comme la réduction des émissions de gaz à effet de serre et des coûts énergétiques à long terme. Cependant, leur efficacité et leur coût dépendent de divers facteurs, tels que l'ensoleillement et les besoins énergétiques spécifiques à chaque situation.

En conclusion, les technologies de collecteurs solaires thermiques et de stockage d'énergie représentent des solutions prometteuses pour la production et l'utilisation d'une énergie durable, mais leur adoption dépendra de leur efficacité, de leur coût et de leur adaptation aux besoins individuels de chaque situation.



Chapitre III
Design du system choisi



III.1 Introduction

La plupart des études portent sur l'amélioration des performances des capteurs solaires conçus pour convertir l'énergie solaire en énergie thermique. Ces recherches se concentrent sur les différentes technologies disponibles et les méthodes visant à réduire les pertes de chaleur à la surface du capteur [62].

Dans ce chapitre, nous examinons la possibilité d'installer des capteurs solaires thermiques afin de renforcer un système de production de vapeur à chaudière. Cette étude de faisabilité a été menée au sein de l'entreprise Biopharm, située dans la région d'Oued El Berdi, dans la wilaya de Bouira.

III.2 Présentation de l'organisme d'accueil

III.2.1 Présentation de BIOPHARM

BIOPHARM est un groupe industriel et commercial qui s'est engagé dans le secteur pharmaceutique en Algérie au début des années 1990. Ils possèdent actuellement une unité de production conforme aux normes internationales et dispose d'un réseau de distribution desservant les grossistes et les pharmacies [63].



Figure III.1 : Logo officiel de BIOPHARM [75].

Après près de deux décennies d'activité, BIOPHARM a entrepris une adaptation progressive de sa structure organisationnelle en tant que Groupe, axée sur ses différentes activités [63] :

- La production de médicaments via BIOPHARM, qui reste le cœur central du Groupe.
- La distribution en gros de produits pharmaceutiques à travers BIOPHARM DISTRIBUTION.
- La distribution aux pharmacies à travers BIOPURE.

- La promotion et l'information médicales via HHI (Information sur la Santé Humaine).
- La logistique pour l'industrie pharmaceutique via BIOPHARM LOGISTIC.

Dans le but de favoriser son développement et de renforcer sa gouvernance et ses compétences en gestion, BIOPHARM a ouvert son capital à un Consortium international. Ce Consortium est un accord ou un groupe international formé par des entreprises pour entreprendre une entreprise au-delà des ressources individuelles de chaque membre. Cette forme d'association encourage l'engagement des partenaires dans le développement à long terme du Groupe.

Cette alliance a été établie pour permettre à BIOPHARM de bénéficier des réseaux du Consortium au niveau international, afin de poursuivre le plan de développement de ses activités en amont et en aval, d'assurer un transfert de technologie, de renforcer la gestion et de profiter de l'expérience des membres du Consortium pour développer ses marchés d'exportation en Afrique et en Europe.

III.2.2 Information générale

Dénomination social : BIOPHARM

Fondé en : 1990

Domaine d'activité : Secteur Pharmaceutique

Forme juridique : Société Par Action (SPA)

Président du Conseil d'Administration : Sofiane LAHMAR

Actionnaire majoritaire : Abdelouahed KERRAR

Valeurs de l'entreprise : Transparence, Conformité, Intégrité, Engagement

Capital social : 5 104 375 000 DA

Chiffre d'affaire : 71,5 milliard de Dinars (2020)

Effectif Humain : 2435 Employé (2020)

Site Web : www.biopharmdz.com

Siege Social : 18, Rue de la zone industrielle, route de la gare, Haouche Mahieddine Reghaia, Alger [63].

III.2.3 Centre de stockage d'Oued el berdi

III.2.3.1 Présentation générale

Le centre de stockage, ou on a mené notre étude, est implanté à la zone industrielle d'Oued El Berdi dans la wilaya de Bouira. Cette filiale est principalement destinée au stockage et au logistique des produits pharmaceutiques de l'entreprise mère BIOPHARM dans la région Centre de l'Algérie.



Figure III.2 : Localisation géographique de Biopharm Antenne Oued El Berdi [64].

III.2.3.2 Historique de l'organisme de l'antenne

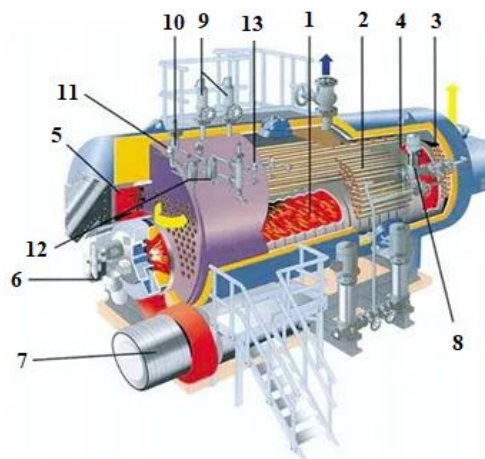
En juin 2018, la société mère de BIOPHARM a entamé les travaux à l'antenne d'Oued El Berdi pour la réalisation d'un complexe industriel pharmaceutique situé dans la zone centrale de l'Algérie. Ces travaux ont été achevés au début de l'an 2020 Initialement, cette filiale a été établie en tant que centre de stockage médical et pharmaceutique afin de renforcer le réseau logistique de l'entreprise. Selon les projections du conseil d'administration du projet, la production pharmaceutique au sein de BIOPHARM Oued El Berdi devrait commencer à partir de janvier 2025.



Figure III.3 : Travaux sur l'unité de production Pharmaceutique BIOPHARM OEB [64].

III.2.3.3 Chauffage classique chez Biopharm

Dans le cadre de la génération de chaleur pour ses productions pharmaceutiques, l'installation d'Oued El Berdi utilise un générateur de vapeur de marque Italienne I.VAR. INDUSTRIE et de model BHP EN-3000.



1. Foyer
2. Tube de fumée 2^{ème} passe
3. Tube de fumée 3^{ème} passe
4. Boite arrière à refroidissement par eau
5. Chambre de combustion
6. Bruleur
7. Ventilateur de combustion
8. Vanne de régulation
9. Soupape de sécurité
10. Indicateur de niveau de sécurité d'eau
11. Manomètre
12. Indicateur de niveau à glace
13. Bloc d'isolement + manomètre

Figure III.4 : Générateur de vapeur BHP - EN 3000 et ses composantes [65].

Ce générateur de vapeur, à combustible mixte, s'alimente du pétrole (Diesel) et du Gaz Naturel (GN) comme combustible pour produire de la vapeur à haute température. La vapeur, produite, est ensuite dirigée vers les lignes de production pour des fins industrielles.

Une fois la vapeur de l'eau est utilisée dans les huit lignes de production de l'usine, un circuit de retour achemine la vapeur vers un mélangeur qui, à son tour, est alimenté de trois sources, le retour de vapeur des lignes de production, une source d'eau et une fraction de vapeur générée par la chaudière. Le mélangeur-Doseur a pour but de réguler le débit d'eau à 3000 Kg/heure et sa Température à 90°C à une pression atmosphérique.

Pour contrôler le fonctionnement du générateur de vapeur, un certain nombre de paramètres tels que la pression, la température, le débit de combustible et d'air, la qualité de l'eau et la teneur en oxygène sont surveillés de manière constante. Les dispositifs de sécurité tels que les soupapes de sûreté, les capteurs de température et de pression, et les systèmes de détection de flamme sont également utilisés pour éviter les accidents et assurer un fonctionnement sûr et fiable du générateur de vapeur.

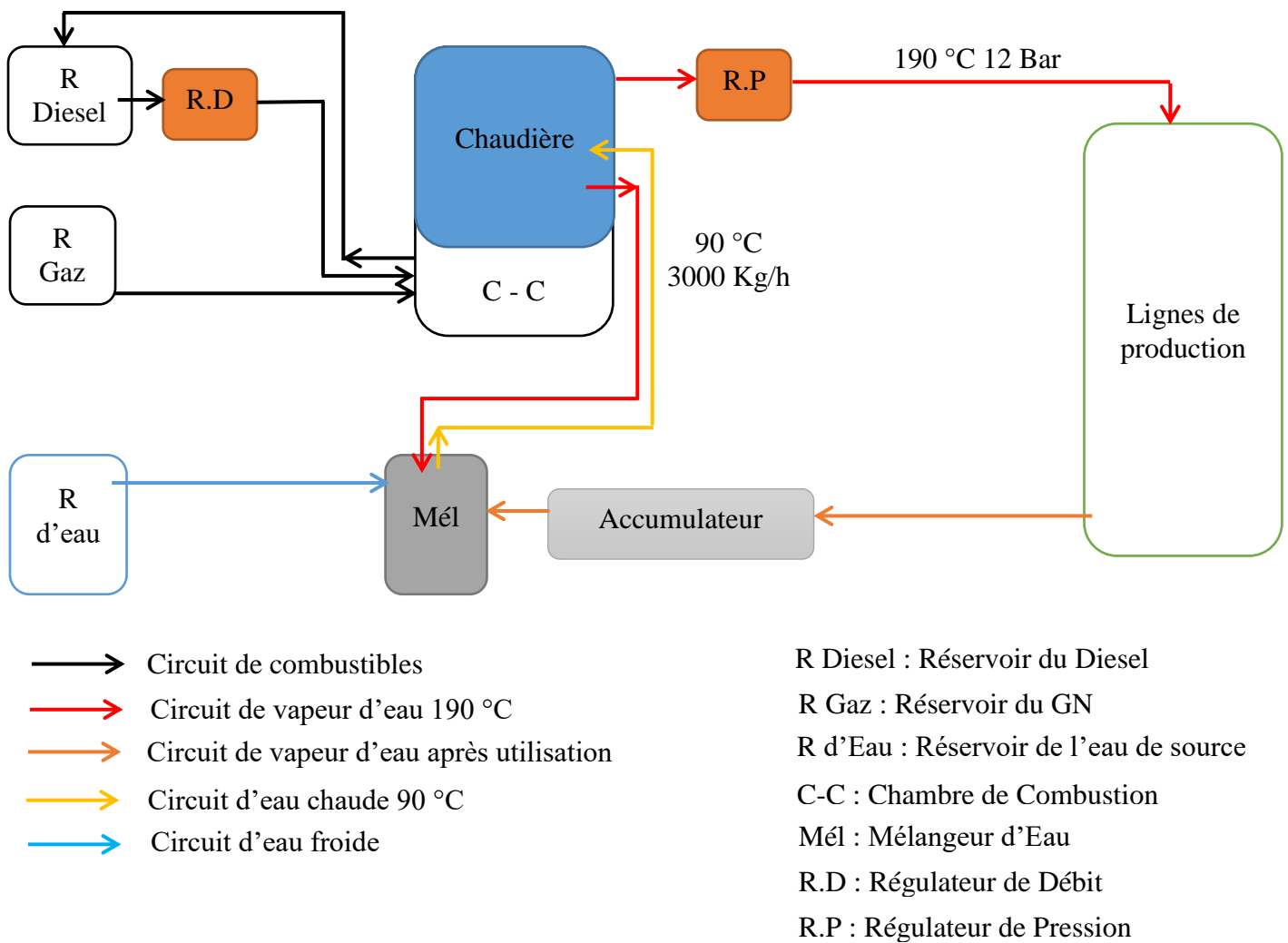


Figure III.5 : Schéma primaire d'instrumentation de production de la vapeur.

Les ingénieurs de BIOPHARM ont fixé les paramètres du générateur de vapeur pour atteindre une température maximale de 190°C et une pression de 12 bar afin de répondre aux besoins de processus de production.

Dans notre situation, la chaudière de notre système fonctionne en moyenne pendant 70% du temps de travail. Cela signifie que sur une période annuelle de 365 jours (8760 heures), la chaudière est en fonctionnement pendant seulement pour une durée de 6132 heures. Ceci résulte en une puissance totale de 12 300 153,25 KWh/An (Énergie annuelle consommée par la chaudière).

AN :

$$E_{\text{process}} = \dot{m} * (CP \text{ vapeur} * T \text{ vapeur} - CP \text{ eau} * T \text{ eau}) * NHFAC \quad (\text{III.1})$$

$$E_{\text{process}} = \dot{m} * (H \text{ vapeur} - H \text{ eau}) * NHFAC \quad (\text{III.2})$$

Avec [66] :

$$\Rightarrow H \text{ Vapeur à } 190^{\circ}\text{C} = 2784,075 \text{ Kj/Kg}$$

$$\Rightarrow H \text{ Eau à } 90^{\circ}\text{C} = 377 \text{ Kj/Kg}$$

$$\Rightarrow \text{Débit} = 3000\text{Kg/heure} = \frac{5}{6} \text{ Kg/s}$$

$$\Rightarrow NHFAC = 70\%$$

En utilisant l'équation (III.2), nous obtenons :

$$E_{\text{process}} = \dot{m} * (H \text{ vapeur} - H \text{ eau}) = \frac{5}{6} * (2784,075 - 377) * 24 * 365 * 0.7$$

$$E_{\text{process}} = 12\,300\,153,25 \text{ KWh/An}$$

III.2.3.3 Données cartographiques

Le tableau suivant représente les données cartographiques par année de la zone industrielle d'Oued El Berdi :

Tableau III.1 : Données cartographiques par année dans la zone d'Oued El Berdi [67].

| | |
|---|------------------------------|
| Puissance photovoltaïque spécifique (Spécifique au PVOU) | 1653.3 kWh/kWc An |
| Irradiation normale directe (DNI) | 1853.0 kWh/m ² An |
| Irradiation horizontale globale (GHI) | 1801.6 kWh/m ² An |
| Irradiation horizontale diffuse (DIF) | 677.9 kWh/m ² An |
| Irradiation inclinée globale à angle optimal (GTI opta) | 2065.8 kWh/m ² An |
| Température de l'air | 17.1 °C |
| Altitude du terrain | 590 m |

Il est conclu que les données solaires et climatiques de la zone industrielle d'Oued El Berdi sont favorables à l'utilisation et à l'exploitation de l'énergie solaire.

III.3 Choix de la technologie

Lors de l'étude de faisabilité pour remplacer la méthode traditionnelle de chauffage de l'eau par une installation solaire thermique dans la zone industrielle d'Oued El Berdi, plusieurs facteurs doivent être pris en compte. Cela inclut les besoins énergétiques spécifiques des lignes de production, le potentiel solaire et les conditions climatiques de la région.

Si les conditions solaires et climatiques sont favorables, il est important de choisir une technologie qui réponde aux besoins de production et soit une alternative viable à la chaudière. Dans ce cas, la température requise pour le processus de production est de 190°C, avec un débit de 3000 Kg/heure.

Les capteurs plans et les capteurs à sous vide sont exclus en raison de la température élevée requise. Les capteurs à concentration sont donc la seule option pour atteindre les 190°C. Parmi les capteurs à concentration, les choix se limitent aux capteurs cylindro-paraboliques et aux collecteurs linéaires de Fresnel. Après avoir examiné différentes technologies de capteurs solaires thermiques, la décision a été prise d'utiliser des collecteurs cylindro-paraboliques en raison de leur coût abordable, de leur facilité d'utilisation et de leur entretien pratique et durable.

III.4 Partie de calculs

III.4.1 Calcul Énergie ensoleillement annuelle

Énergie ensoleillement annuelle (Eyield) peut être calculé en multipliant la ressource solaire annuelle du site (Eirrad) par le rendement moyen annuel du système solaire thermique. Les capteurs à tubes et à plaques ont un rendement moyen annuel d'environ 45%, tandis que les capteurs Fresnel linéaires et paraboliques ont un rendement d'environ 30%.

La valeur de la ressource solaire annuelle du site (Eirrad) pour un lieu spécifique peut être obtenue à partir de bases de données en ligne de rayonnement solaire, comme l'Atlas solaire mondial. Pour les capteurs fixes tels que les capteurs plans ou à tubes sous vide, l'irradiance solaire globale oblique est utilisée du point de vue du capteur. En revanche, pour les systèmes concentrés tels que les collecteurs de Fresnel paraboliques, linéaires ou planaires, le rayonnement normal direct (DNI) est utilisé. La formule pour calculer l'Énergie ensoleillement annuelle est la suivante [68] :

$$\mathbf{Eyield = Eirrad * 0,3 \text{ ou } 0,45} \quad \mathbf{(III.3)}$$

Avec :

- ☞ Eyield : Énergie ensoleillement annuelle en KWh/m²An
- ☞ Eirrad : Ressource solaire annuelle en KWh/m²An

AN :

Selon l'équation (III.3), nous avons :

$$E_{yield} = E_{irrad} * 0,3 = 1853 * 0,3$$

$$E_{yield} = 555,9 \text{ KWh/m}^2 \text{ An}$$

II.4.2 Calcul la surface nette du collecteur

La formule pour déterminer la surface nette du collecteur est la suivante [68] :

$$S_{col} = \frac{E_{process} * \text{fraction solaire}}{E_{yield}} \quad (III.4)$$

Avec :

- ☞ Scol : Surface nette du collecteur en m²
- ☞ Eprocess : Demande de chaleur annuelle d'un procédé industriel en KWh/An
- ☞ Eyield : Énergie ensoleillement annuelle en KWh/m²An

La fraction solaire peut être choisie en fonction des exigences spécifiques du client, telles que la température requise pour les procédés et les conditions climatiques du site. Opter pour une fraction solaire plus élevée entraînera un coût en capital plus important en raison de l'augmentation de la surface des capteurs, mais des coûts de fonctionnement plus faibles grâce à une compensation accrue du combustible conventionnel. D'autres paramètres peuvent également influencer le choix de la fraction solaire adéquate [68]. Cependant, nous maintenons une contribution de 40% en ce qui concerne la fraction solaire.

AN :

D'après l'équation (III.4), nous avons :

$$S_{col} = \frac{E_{process} * \text{Solar fraction}}{E_{yield}} = \frac{12\,300\,153,12 * 0,4}{555,9}$$

$$S_{col} = 8850,62 = 8851 \text{ m}^2$$

III.5 Système après intégration des CCP

Après avoir effectué nos calculs, nous avons estimé que le concentrateur parabolique aura une surface de 8851 mètres carrés.

Cette nouvelle configuration du système nécessitera une modification de la ligne d'alimentation de la chaudière ainsi que de sa production. L'objectif de cette modification est de couvrir 40% de la production totale du générateur de vapeur.

Il est important de noter que les valeurs de pression et de débit n'ont pas été modifiées ou affectées par ce changement. Aussi important que, pour un meilleur fonctionnement des capteurs, on a opté pour installer un système de poursuite solaire.

Nous présentons ci-dessous le schéma de l'installation de génération de vapeur et son utilisation après cette mise à jour :

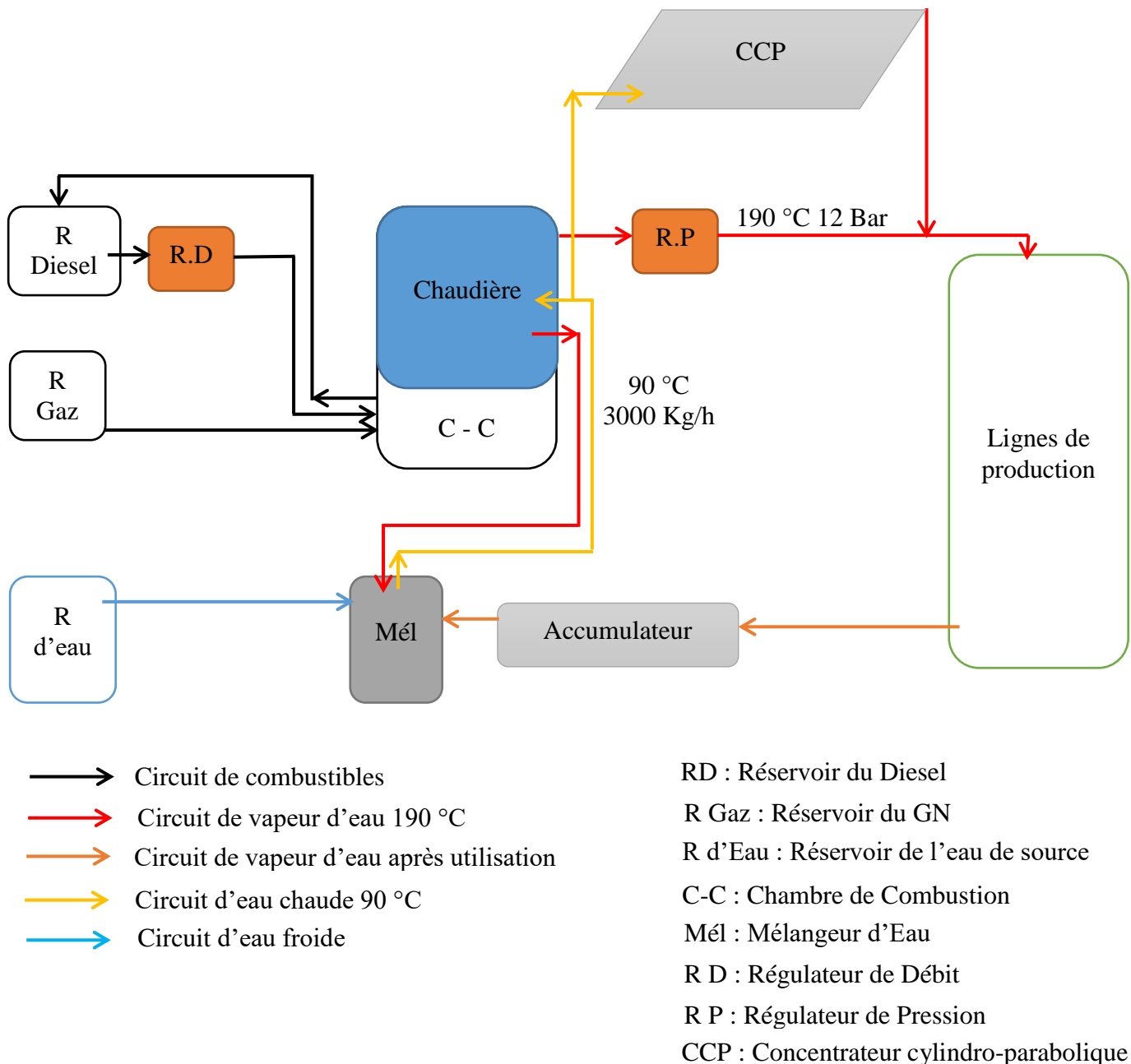


Figure III.6 : Schéma de production de vapeur avec piquage

III.6 Conclusion

En conclusion, les systèmes de génération de vapeur solaire offrent de nombreux avantages, notamment une utilisation durable de l'énergie solaire, la réduction des émissions de Gaz à effet de serre et la diminution de la dépendance aux combustibles fossiles. Ces systèmes exploitent la concentration de la lumière solaire à l'aide de concentrateurs cylindro-paraboliques (CCP) ou d'autres technologies de concentration solaire, permettant d'obtenir des températures élevées et de produire de la vapeur surchauffée.

Les CCP se distinguent par leur efficacité de concentration élevée grâce à leur réflecteur parabolique et à leur configuration cylindrique. Ils sont équipés de tubes absorbeurs contenant des fluides caloporteurs qui transfèrent la chaleur captée vers des utilisations finales, telles que la production d'électricité ou les processus industriels nécessitant de la vapeur.

Ces systèmes de génération de vapeur solaire sont polyvalents, adaptés à diverses applications telles que la production d'électricité, le chauffage industriel, le dessalement de l'eau, et d'autres processus nécessitant une chaleur à haute température. Ils contribuent ainsi à la transition vers une énergie plus propre et renouvelable.

Il convient cependant de souligner que les systèmes de génération de vapeur solaire peuvent nécessiter des investissements initiaux importants en raison de la complexité des technologies de concentration solaire. De plus, leur performance est influencée par des facteurs tels que l'ensoleillement, la localisation géographique et les conditions climatiques.

Malgré ces considérations, les systèmes de génération de vapeur solaire présentent un potentiel prometteur pour répondre aux besoins énergétiques tout en réduisant l'impact environnemental. Leur développement continu contribue à la transition vers une économie durable à faible émission de carbone.



Chapitre IV
Réalisabilité économique



IV.1 Introduction

L'énergie solaire est devenue une option de plus en plus attrayante pour répondre aux besoins croissants en chaleur tout en réduisant notre dépendance aux combustibles fossiles. Dans cette étude économique, nous examinerons les aspects clés de l'installation d'une centrale solaire et évaluerons ses implications financières.

L'objectif de cette étude est de déterminer la viabilité économique d'un tel projet, en tenant compte des coûts initiaux, des avantages à long terme et des considérations environnementales associées à l'énergie solaire. Nous analyserons également les différentes options de financement disponibles pour soutenir cette initiative.

La première partie de cette étude portera sur l'analyse des coûts initiaux liés à l'installation d'une centrale solaire. Cela comprendra l'achat et l'installation des panneaux solaires, des onduleurs, des systèmes de stockage de l'énergie, ainsi que des coûts de raccordement au réseau électrique.

Ensuite, nous évaluerons les avantages économiques à long terme d'une centrale solaire. Cela comprendra la réduction des coûts de carburant et de Gaz Naturel (GN) à long terme, en raison de la production d'énergie solaire gratuite et renouvelable. Nous étudierons également les incitations et les subventions gouvernementales disponibles, telles que les tarifs de rachat de l'électricité solaire et les crédits d'impôt, qui peuvent contribuer à la rentabilité du projet.

Un autre aspect crucial de cette étude sera l'évaluation des considérations environnementales liées à l'énergie solaire. Nous analyserons les avantages environnementaux tels que la réduction des émissions de gaz à effet de serre et l'empreinte carbone réduite associée à l'utilisation de l'énergie solaire. Cela permettra de démontrer l'impact positif de la centrale solaire sur la durabilité et la responsabilité sociale de l'entreprise ou de la collectivité.

Enfin, nous explorerons les différentes options de financement disponibles pour soutenir l'installation d'une centrale solaire. Cela peut inclure le financement par des tiers, les prêts bancaires ou l'investissement direct. Nous évaluerons les avantages et les inconvénients de chaque option, ainsi que les critères de rentabilité pour aider les décideurs à prendre des décisions éclairées.

En conclusion, cette étude économique fournira une évaluation complète de l'installation d'une centrale solaire, en examinant les coûts initiaux, les avantages à long terme et les considérations environnementales. Elle permettra de déterminer la faisabilité économique de ce projet et de fournir des recommandations sur les options de financement appropriées.

L'adoption de l'énergie solaire peut non seulement contribuer à la réduction des coûts énergétiques, mais aussi à la transition vers une économie plus durable et respectueuse de l'environnement.

Cette étude, a été guidée par un modèle d'évaluation économique sous forme d'un tableau Excel contenant tous les détails financiers et monétaires de ce qui se suit :

IV.2 Analyse des coûts initiaux du projet

Afin de mener une étude économique de faisabilité pour notre projet d'installation d'une station solaire thermique au profit de BIOPHARM d'Oued El Berdi, il est essentiel d'évaluer les coûts d'approvisionnement, d'installation et de maintenance de chaque composant du système.

IV.2.1 Approvisionnement de la station et ses composants

Le marché mondial des panneaux solaires est en perpétuelle évolution, avec une part de marché considérable détenue par la Chine. La Chine se positionne à la fois comme le principal producteur et le plus grand consommateur de panneaux solaires. La croissance rapide du marché solaire chinois est attribuable à plusieurs facteurs, tels que le rapport qualité/prix avantageux de ses panneaux, les politiques gouvernementales favorables, les incitations financières et les investissements massifs réalisés dans ce secteur.

Pour cette raison qu'on a opté pour des produits chinois pour la centrale solaire de BIOPHARM Oued El Berdi. **MLSUN GROUP Co., Ltd**, est un fabricant professionnel de produits solaires, une usine solaire située à Tianjin, en Chine. Ils fabriquent des produits solaires et sont spécialisés dans le CSP (Concentrated Solar Power).

IV.2.1.1 Collecteurs Cyllindo-Parabolique

Après avoir examiné les nombreux choix proposés par le fabricant de panneaux solaires thermiques, nous avons conclu que le modèle le plus adapté à notre projet serait le modèle "MLSUN 2.55*6". Ce concentrateur solaire parabolique de 15,3 m² produit de haute températures et pressions, et est accompagné d'une garantie d'un an fournie par le fabricant. Il

convient à diverses applications, dont le solaire thermique, et son prix s'élève à environ 3190 \$ [69] par unité, toute taxes comprise dont son emballage et sa livraison.

Pour faire fonctionner notre station, nous avons besoin d'une superficie de 8851 m², ce qui équivaut à 579 panneaux solaires.



Figure IV.1 : CCP "MLSUN 2.55*6" approvisionné [69].

IV.2.1.2 Système de stabilité

Une stratégie de stockage et de stabilité est mise en place pour assurer une couverture maximale pendant les périodes où l'énergie solaire est indisponible, comme les heures nuageuses ou les fluctuations de rendement des collecteurs solaires utilisés. L'objectif est d'assurer une continuité de l'approvisionnement en énergie pendant ces périodes de rupture.

Pour atteindre cet objectif, il est prévu d'installer un réservoir de 5m³. Pour ce fait, le fournisseur MLSUN GROUP Co nous propose un système de stockage de haute isolation thermique, comprenant tous ses composants, au prix de 2 800,00 \$ [70].



Figure IV.2 : Réservoir de stockage de chaleur de 5000L [70].

IV.2.2 Coûts d'installation de la station

Les coûts traités dans ce titre, englobent les dépenses liées à la construction, à l'installation, ainsi qu'au démarrage technique de la station solaire pendant sa période d'essai.

IV.2.2.1 Développement et Ingénierie

Le développement et l'ingénierie d'une centrale solaire à concentration pour la production de chaleur impliquent une planification minutieuse, une conception précise, une construction rigoureuse, des essais approfondis et une maintenance régulière pour garantir des performances optimales et une utilisation efficace de l'énergie solaire dans le domaine de la production de chaleur.

Pour notre modèle de prévision économique du projet, nous avons choisi d'estimer les frais d'approvisionnement des capteurs solaires et de leurs composants en fonction d'un pourcentage. Cette estimation représente environ 10% des coûts directs du projet.

IV.2.2.2 Imprévus Techniques du projet

Lors du projet d'une centrale solaire à concentration, il est important de prendre en compte les imprévus techniques potentiels qui pourraient survenir. Ces imprévus techniques peuvent avoir un impact sur la planification, la conception et la mise en œuvre de la centrale. Voici quelques exemples d'imprévus techniques courants : Problèmes de performance des composants, contraintes environnementales imprévues, difficultés lors de la construction et complexité des systèmes de contrôle. Ces contraintes sont estimées d'une valeur près de 5% des coûts directs du projet.

IV.2.3 Coûts supplémentaires

Lors de la mise en œuvre d'un tel projet, il est important de prendre en compte les coûts supplémentaires potentiels qui pourraient survenir. Ces coûts supplémentaires peuvent être liés aux fluctuations des prix des matériaux et des équipements qui peuvent impacter le budget initial du projet, les frais d'assurance et la formation adéquate du personnel opérationnel et la maintenance régulière de la centrale engendrent également des coûts supplémentaires.

Pour faire face à ces coûts supplémentaires potentiels, il est recommandé d'inclure une marge de sécurité dans le budget initial du projet.

IV.2.3.1 Assurance

L'assurance d'une centrale solaire à concentration est une mesure essentielle pour protéger l'investissement financier et garantir le bon fonctionnement de la centrale. L'assurance d'une CSP peut couvrir de divers aspects, tels que les dommages matériels, les pertes d'exploitation, la responsabilité civile et les risques environnementaux.

Ces risques peuvent être couverts par un pourcentage de 2% de la somme globale de l'investissement.

IV.2.3.1 Exploitation et Maintenance

L'exploitation et la maintenance (OPEX) d'une centrale solaire à concentration sont des éléments essentiels pour assurer le bon fonctionnement et la performance optimale de la centrale. L'OPEX d'une CSP comprend une gamme d'activités, telles que la surveillance continue, la maintenance préventive et corrective, la gestion des ressources, et la gestion des données. 1% annuellement de l'investissement globale sur le projet est suffisant pour couvrir cette variante.

IV.3 Méthodologie de l'étude

IV.3.1 Données Techniques du projet

Le coût du carburant (Gaz Naturel et Diesel) n'est pas constant. Selon nos sources (Ministère de l'Energie et des Mines), l'inflation annuelle du coût du carburant au cours de la dernière décennie s'élève à +1%. Cette donnée est prise en compte lors du calcul du prix du carburant pendant la durée de vie de la centrale solaire. Selon la même source, en 2023, les clients industriels paient 0,003 \$ par kWh du GN et 0,216 \$ [71] par kWh du Diesel.

La fiche technique de la chaudière "I. Var BHP EN-3000" indique une efficacité évaluée à 90%, une consommation de 3269 KWh du GN et de 236,79 KWh du Diesel. (Voir l'annexe)

Tableau IV.1 : Paramètres Technique du projet.

| Data du Projet | |
|---|----------------------|
| Localisation | Oued El Berdi Bouira |
| Technologie utilisée | CCP |
| Paramètres Techniques | |
| Surface des capteurs (m ²) | 8851 |
| Nombre d'unité de capteurs (U) | 579 |
| Réservoir de Stockage (m ³) | 5 |
| Durée de vie du Système (Année) | 25 |
| Aspects Economique | |
| Carburant | Gaz Naturel |
| Prix du carburant 1ere Période (\$/ KWh) | 0,003 |
| Efficacité de la Chaudière (%) | 90 |
| Inflation Annuelle du Coût du Carburant (%) | 1 |

IV.3.2 Equations et formules utilisées

Pour mener cette étude économique, nous avons recueilli des données pertinentes sur les coûts d'investissement, les coûts opérationnels, les imprévus du projet... Nous avons utilisé un modèle économique basé sur des méthodes d'analyse financière et d'évaluation de projets d'investissement par année. Les équations suivantes ont été utilisées pour évaluer les coûts totaux, les revenus, la balance économique du projet et le temps nécessaire à l'amortissement de la CCP.

$$\text{Cout total des collecteurs} = \text{Prix de l'unité} * \text{Nombre d'unités} \quad (\text{IV.1})$$

$$\text{Cout total accumulateur} = \text{Prix de m}^3 * \text{Son volume} \quad (\text{IV.2})$$

$$\text{Cout Directs du Projet} = \text{L'addition des deux premiers coûts} \quad (\text{IV.3})$$

$$\text{collecteurs Balance de système} = \frac{\text{Cout total des collecteurs}}{\text{Surface des collecteurs}} \quad (\text{IV.4})$$

$$\text{Cout de bas du Projet} = \text{cout Directs du Projet} + \text{Coûts de développement et d'ingénierie} + \text{Coûts des imprévus du projet} + \text{Coûts d'assurance} \quad (\text{IV.5})$$

$$\text{Coûts d'investissement spécifiques} = \frac{\text{Cout de base du projet}}{\text{Surface des collecteurs}} \quad (\text{IV.6})$$

Le temps nécessaire pour amortir l'investissement de base d'un projet, est généralement calculé en utilisant cette formule :

$$\text{Temps d'amortissement} = \frac{\text{Investissement initial}}{\text{Flux de trésorerie annuel net}} \quad (\text{IV.7})$$

Dans notre cas, le flux de trésorerie annuel est en constante augmentation, ce qui rend la formule précédente dysfonctionnelle. En revanche, on peut calculer le temps nécessaire pour l'amortissement par la méthode suivante :

On calcule, tout d'abord, le bénéfice avant intérêts, pour chaque année, par la formule ci-dessous :

On estime la réduction des coûts de combustible ; il convient de calculer les revenus générés par la centrale solaire en termes monétaires. Et ce, par cette formule :

$$\text{Reviens Annuel du carburant} = \left(\frac{\text{Eyield} * \text{Scol}}{\eta \text{ Chaudière}} \right) * \text{Prix du carburant} \quad (\text{IV.8})$$

Avec :

- Scol : Surface nette du collecteur en m²
- η : Rendement de la chaudière en %
- Eyield : Énergie ensoleillement annuelle en KWh/m²An

$$\text{Bénéfice} = \text{Reviens Annuel du carburant} - \text{Coûts annuels d'OPEX} \quad (\text{IV.9})$$

$$\text{Bénéfice Accumulé} = \Sigma \text{Bénéfice Annuellement} \quad (\text{IV.10})$$

On peut dire qu'on a accompli un amortissement total, lorsque le Bénéfice accumulé est égal au montant investi dans le projet. Autrement dit, Quand la balance de projet est égale ou supérieure à Zéro.

$$\text{Balance du projet} = \text{Capital Investi} - \text{Bénéfice Annuel} \quad (\text{IV.11})$$

IV.4 Résultats obtenus

Le tableau ci-dessous présente les résultats de calculs des données économiques du projet :

Tableau IV.2 : Données de l'étude économiques du projet.

| Coûts d'investissement | Valeur | Total |
|--|--------------------------|--------------------------|
| Collecteurs Solaires Thermique | 3190 (\$/Unité) | \$ 1 847 010,00 |
| Réservoir | 560 (\$/m ³) | \$ 2 800,00 |
| Balance du système | | \$/m ² 208,99 |
| Coûts du Projet Directs (Approvisionnement) (\$) | | \$ 1 849 810,00 |
| Développement & Ingénierie | 10% | \$ 184 981,00 |
| Imprévus du Projet | 5% | \$ 92 490,50 |
| Assurance des équipements | 2% | \$ 36 996,20 |
| Coûts de Base du Projet (\$) | | \$ 2 164 277,70 |
| Coûts d'investissement spécifiques | | \$/m ² 244,52 |
| Coûts annuels d'exploitation et de maintenance | | |
| OPEX | 1% | \$ 18 498,10 |
| Total investissement (\$) | | \$ 2 182 775,80 |

IV.4.1 Cas du GN

Les résultats de la balance du projet durant la durée de vie de la station (25ans), en prenant en considération l'inflation annuelle du prix du carburant et les frais d'exploitations et de maintenance, montrent que le projet, dans ce cas, n'est pas rentable. La durée de l'amortissement de fonds investi dépasse la durée de vie initiale de la station solaire.

IV.4.2 Cas du DIESEL

Tableau IV.3 : Année d'amortissement du budget investi dans le Projet - Cas DIESEL.

| Année | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Σ Bénéfice (\$) | 1 180 865,02 | 2 355 040,58 | 3 541 142,88 | 4 739 291,19 |
| Balance du Projet (\$) | - 983 412,68 | 190 762,88 | 1 376 865,18 | 2 575 013,49 |

Le tableau ci-dessus décrit l'évolution de la balance économique du projet dans les quatre (04) premières années de fonctionnement de la centrale solaire.

Le Bénéfice couvre les dépenses annuelles d'opération et de maintenance, c'est-à-dire, lorsque le montant cumulé de Bénéfice est égal à l'investissement initial dans le projet, cela indique que nous aurons une balance nulle et que nous avons atteint un amortissement total du fond investi.

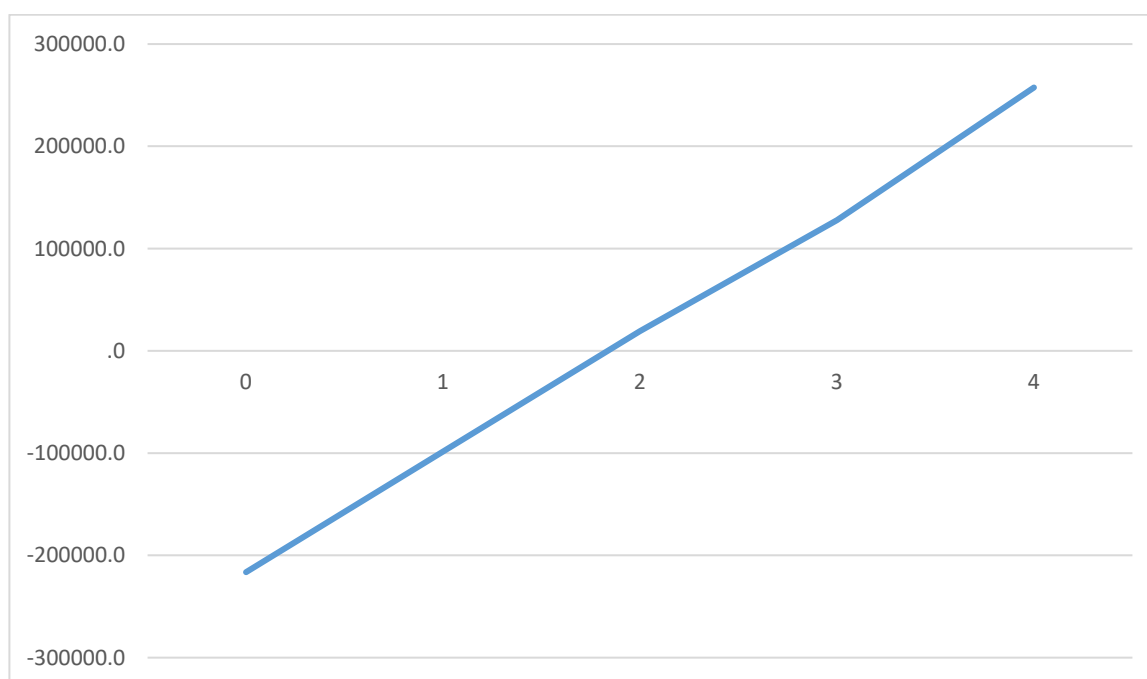


Figure IV.3 : Etat de Balance économique du projet - Cas Diesel.

IV.5 Discussion des résultats obtenus

Cette partie de notre étude économique est dédiée à la discussion des résultats obtenus lors de l'installation d'une centrale solaire thermique dans un processus industriel. L'objectif de cette discussion est d'analyser de manière critique les données recueillies et les conclusions tirées tout au long de l'étude. Nous examinerons ces résultats dans le contexte Algérien de

l'industrie solaire, en prenant en compte les objectifs spécifiques du projet ainsi que les normes de l'industrie.

IV.5.1 Evaluation des données collectées

L'analyse des résultats obtenus à partir du modèle de projection utilisé dans notre étude révèle des performances économiques inférieures aux attentes initiales. Les coûts des panneaux solaires dépassent nos prévisions, et les coûts d'exploitation et de maintenance se sont également révélés plus élevés que ce qui était estimé, ce qui a eu un impact négatif sur la rentabilité globale du projet.

En ce qui concerne la chaudière alimentée au GN, les résultats indiquent que le remboursement du capital investi ne peut être réalisé qu'après la durée de vie initiale de la centrale solaire, ce qui entraîne des charges supplémentaires en termes de maintenance et d'exploitation de la centrale. En revanche, au cas de la chaudière alimentée au Diesel, les résultats montrent un remboursement intégral du capital investi dans le projet avant même de finir sa deuxième année de marche, ce qui rend cet investissement économiquement viable et rentable.

D'un point de vue économique, le projet d'installation d'une centrale solaire sur un site de production industrielle ne semble pas rentable pour le fabricant, principalement en raison des subventions gouvernementales sur les prix des combustibles, notamment sur le prix du GN. Ces subventions sont à la fois une incitation directe et un obstacle majeur à la transition vers les énergies renouvelables en Algérie.

Ces résultats négatifs soulignent l'importance d'une évaluation approfondie des technologies et des composants utilisés, ainsi que d'une planification et d'une gestion rigoureuses de la maintenance afin d'assurer des performances optimales.

En conclusion, la discussion des résultats négatifs de notre étude économique, met en évidence les lacunes et les défis qui vont être rencontrés lors de la mise en œuvre du projet. Ces résultats soulignent l'importance d'une planification minutieuse, d'une évaluation rigoureuse des technologies, d'une gestion efficace des ressources et de la prise en compte des aspects économiques et financiers pour assurer le succès d'un tel projet.

IV.5.2 Troisième scénario (Prix du GN Elevé)

En Algérie, les subventions accordées à la consommation des produits énergétiques ont été mises en place depuis l'indépendance dans le but de garantir un approvisionnement énergétique abordable pour les ménages et les différents secteurs de l'économie nationale, notamment le transport, l'agriculture et l'industrie.

Au cours des dernières années, la baisse des prix du pétrole a ravivé le débat sur la pertinence des subventions sur les prix des carburants. Il devient de plus en plus pressant de réformer ces subventions actuelles visant à soutenir la consommation nationale de carburants en Algérie. Face à cette problématique, les acteurs industriels sont incités à adopter une stratégie énergétique qui leur assurera une survie au cas d'importantes hausses des prix des carburants à l'avenir. L'énergie solaire figure comme première solution.

Lors de notre étude économique sur l'implantation d'une centrale solaire dans un processus industriel, nous avons obtenu des résultats décevants, rendant l'amortissement presque impossible. Ceci est principalement dû aux prix de combustibles subventionnés par l'État Algérien, qui sont très bas pour les consommateurs industriels. Dans ce scénario, nous allons analyser à quel prix du GN cet investissement deviendrait viable et rentable pour l'industriel Algérien (**BIOPHARM OEB** dans notre cas) en conservant les mêmes données techniques du projet (Surface des CCP, Efficacité de la chaudière...).

Tableau IV.4 : Année d'amortissement du fond investi en fonction du prix du GN.

| | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Prix du GN (\$) | 0,008 | 0,009 | 0,010 | 0,011 | 0,012 | 0,013 | 0,014 | 0,015 | 0,016 |
| Année pour amortissement | 55 | 49 | 44 | 40 | 37 | 34 | 31 | 29 | 27 |
| | 0,017 | 0,018 | 0,019 | 0,020 | 0,021 | 0,022 | 0,023 | 0,024 | 0,025 |
| | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 |

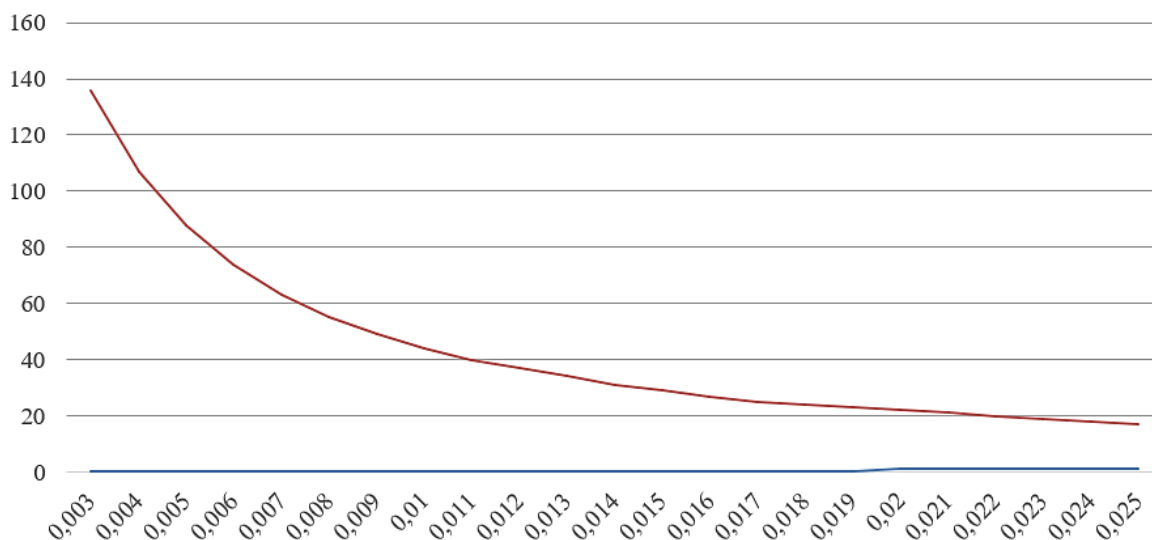


Figure IV.4 : Année d'amortissement du capital investi par rapport au prix du GN.

Les figures ci-dessus représentent l'année d'amortissement du fond investi en fonction du prix du GN. Il est observé que le capital investi peut être récupéré dans moins des 25 premières années de fonctionnement de la centrale solaire thermique quand le prix du Gaz Naturel dépasse les 0,017 \$ (2,31 DZD) pour le KWheure, moins de ce prix l'investissement dans un tel projet ne figure pas rentable.

IV.6 Conclusion

Dans cette étude économique d'installation d'une centrale solaire thermique dans un processus industriel, l'objectif est de fournir une analyse primaire des aspects économiques et des facteurs financiers qui peuvent contribuer à la réussite ou à l'échec du projet.

Pour mener à bien cette étude, deux scénarios ont été étudiés. Le premier scénario a examiné le fonctionnement de la chaudière du processus industriel de BIOPHARM OEB, alimentée en GN (Gaz Naturel) tout au long de son cycle de fonctionnement. Les résultats obtenus dans ce cas ont révélé que le projet était infructueux, principalement en raison du prix très bas du carburant (GN) dû aux subventions étatiques accordées aux hydrocarbures

Le deuxième scénario a considéré le fonctionnement de la chaudière avec du Diesel pendant toute sa durée de vie primaire, soit 25 ans. Les résultats obtenus dans ce cas ont conduit à la conclusion que le projet était viable et rentable en termes d'amortissement.

Le passage du GN au Diesel a démontré que le prix de carburant joue un rôle primordial dans l'amortissement du capital investi dans le projet. Il est essentiel d'examiner une solution alternative visant à réduire les coûts d'investissement, notamment en explorant la possibilité

d'installer les capteurs cylindro-paraboliques en tant que station de préchauffage alimentant la chaudière en eau surchauffée. Cette approche permettrait de réduire la des (CCP) et, par conséquent, les coûts d'investissement associés au projet, ce qui rend l'amortissement du capital investi plus favorable.

Ces résultats mettent également en évidence l'importance de prendre en compte divers facteurs économiques lors de l'évaluation de la faisabilité d'un projet tel qu'une centrale solaire thermique. Il est crucial d'analyser non seulement les aspects techniques, mais également les aspects économiques et financiers qui peuvent avoir un impact significatif sur la viabilité du projet.

En plus des aspects économiques, il est essentiel de tenir compte des facteurs juridiques et réglementaires lors de la planification et de la mise en œuvre d'un projet. Les interventions de l'État, telles que les subventions ou les incitations fiscales, peuvent jouer un rôle déterminant dans la réussite ou l'échec du projet. Il est donc crucial de comprendre le cadre législatif et réglementaire existant et de s'assurer que le projet est en conformité avec ces directives.

En conclusion, cette étude économique met en évidence l'importance de réaliser une analyse approfondie des aspects économiques et financiers lors de l'évaluation de la viabilité d'un projet tel qu'une centrale thermique solaire dans un processus gigantesque tel que l'industrie pharmaceutique.



Conclusion
Générale



Cette étude a eu pour objectif de vérifier la faisabilité technique et la rentabilité économique d'un projet d'intégration d'une station solaire thermiques dans un procédé industriel. Dans notre cas, nous avons étudié le sujet de BIOPHARM Oued El Berdi, qui est une boîte de fabrication des produits pharmaceutique située dans la wilaya de Bouira, dans un contexte industriel économique purement Algérien.

Les résultats de notre étude démontrent que l'intégration d'une station solaire thermique dans le procédé industriel de BIOPHARM Oued El Berdi est techniquement réalisable. Nous avons évalué les besoins en énergie thermique de l'usine et déterminé que la centrale solaire thermique peut fournir une partie significative de cette demande. Les composants clés de la station solaire thermique, tels que les capteurs solaires et le système de stockage thermique, ont été analysés en détail pour s'assurer de leur compatibilité avec les besoins de l'usine.

En termes de rentabilité économique, nous avons effectué une évaluation complète des coûts et des bénéfices associés à l'installation et à l'exploitation de la station solaire thermique. Les coûts initiaux comprennent l'investissement en équipements solaires, les coûts d'installation, ainsi que les coûts de mise en service. D'autre part, nous avons pris en compte les économies potentielles de combustibles fossiles. L'analyse économique a été réalisée en utilisant la méthode de taux de retour sur investissement, période de récupération et la valeur actuelle nette.

Nos résultats indiquent que l'intégration d'une station solaire thermique dans le procédé industriel de BIOPHARM Oued El Berdi présente des avantages économiques significatifs à long terme dans le cas de la chaudière alimentée au Diesel. Malgré les coûts initiaux élevés, l'investissement peut être récupéré dans une période raisonnable, généralement inférieure à 2 ans, grâce aux économies réalisées sur les combustibles fossiles. En revanche, dans le cas de la chaudière alimentée au Gaz Naturel (GN), nos résultats démontrent que l'investissement en question ne figure pas rentable, et sa période de récupération du capital investi dépasse la durée de vie initiale de la station (25ans) ; Et ce, à raison du prix conventionné du Gaz Naturel par l'Etat Algérien qui demeure très bas depuis l'indépendance.

Cependant, il est important de noter que notre étude comporte certaines limitations. Tout d'abord, les données utilisées pour l'analyse économique sont basées sur des estimations et des prévisions, ce qui peut entraîner une certaine incertitude dans les résultats. De plus, l'analyse ne tient pas compte des variations potentielles de la monnaie et des politiques gouvernementales

qui pourraient affecter la rentabilité à long terme du projet. Il est donc recommandé de mettre à jour régulièrement l'évaluation économique à mesure que de nouvelles informations deviennent disponibles.

En conclusion, notre étude confirme que l'intégration d'une station solaire thermique dans le procédé industriel de BIOPHARM Oued El Berdi est techniquement réalisable et présente un potentiel de rentabilité économique favorable. Cela permettra à l'entreprise de réduire sa dépendance aux combustibles fossiles, de réaliser des économies d'énergie significatives et de réduire son empreinte carbone. En adoptant cette solution, BIOPHARM Oued El Berdi peut également renforcer son positionnement sur le marché en tant qu'entreprise responsable sur le plan environnemental. Cependant, une surveillance continue des conditions économiques et des politiques énergétiques est recommandée pour garantir la viabilité à long terme de l'installation solaire thermique.

Dans l'ensemble, notre étude fournit des informations précieuses pour les décideurs de BIOPHARM Oued El Berdi et d'autres entreprises du secteur industriel intéressées par l'intégration de solutions solaires thermiques. Les résultats de cette étude incitent à poursuivre les recherches et les investissements dans les énergies renouvelables, contribuant ainsi à la transition vers un avenir énergétique plus durable et à la réduction des impacts environnementaux.



Références
Bibliographiques



- [1] *Ministère de l'Environnement Algérien, me.gov.dz.*
- [2] *Accromath | Une revue produite par l'Institut des sciences mathématiques et le Centre de recherches mathématiques. <https://accromath.uqam.ca/>.*
- [3] P. Thomas. (2014). *École normale supérieure de Lyon. <http://www.ens-lyon.fr/>.*
- [4] J. Lilensten and P.-L. Blelly, "Du soleil à la Terre," in *Du soleil à la Terre*: EDP Sciences, 2021.
- [5] E. D. I. P. LA METHODE, F. D. DES VOLUMES, D. U. M. A. L'UTILISATION, C. LA, and T. D. U. M. DE BATIMENT, "MEMOIRE DE FIN D'ETUDES MASTER ACADEMIQUE."
- [6] R. Siad and S. Djouhri, "Amélioration de l'efficacité thermique d'un capteur solaire à air avec système de stockage d'énergie thermique."
- [7] A. Moummi, N. Hamani, N. Moummi, and Z. J. U. Mokhtari, "Estimation du rayonnement solaire par deux approches semi empiriques dans le site de Biskra," vol. 3, no. 4, 2006.
- [8] G. Séchet. *Météo Paris (75000 - FR) - 1er site météo pour l'île-de-France. Meteo Paris. <https://www.meteo-paris.com/>.*
- [9] D. Nedjari. (2018). *Centre de Développement des Energies Renouve.*
- [10] *Office National de Météorologie - Météo Algérie. <https://www.meteo.dz/>.*
- [11] R. M. e. N. Z. Tewfik Hasni. (Janvier 2021). *Friedrich Ebert- L'ALGÉRIE 100% ÉNERGIES RENOUVELABLES.*
- [12] "Ministère de l'énergie. <https://www.energy.gov.dz/> ".
- [13] *IRENA – International Renewable Energy Agency. (2023, 8 juin). <https://www.irena.org/>.*
- [14] *Thermal electricity | ENGIE - Engie.com. [//www.engie.com/en/activities/thermal-energy/thermal-power-stations](https://www.engie.com/en/activities/thermal-energy/thermal-power-stations).*
- [15] M. I.-E. d. Marché. *Mordor Intelligence provides Market Research - Consulting, Reports, Advisory, Sizing ; Consulting - Client Research, Market Analysis, Competitive*

Landscape Analysis, Global Strategic Business Reports and Custom Market Research.
[//www.mordorintelligence.com/](http://www.mordorintelligence.com/).

- [16] Arcon-Sunmark. (2015). *Solarthermische Großprojekte | GREENoneTec.* GREENoneTEC. <https://www.greenonetec.com/geschaeftsfelder/grossprojekte/>.
- [17] *Jiangsu Printing An[1]d Dyeing | Solar Heat for Industrial Processes (SHIP) Plants Database.* http://ship-plants.info/solar-thermal-plants/140-jiangsu-printing-and-dyeing-china?collector_type=4&country=China.
- [18] M. S. Fanny Hübner and P. D. Pedro Horta. (25 Nov 2020). *Suitable Solar Technologies and Industrial Processes, Fraunhofer ISE.* <https://www.ise.fraunhofer.de/>
- [19] K. Benamrane, "Utilisation des capteurs solaires sous vide pour le fonctionnement du système de climatisation (Région de Ouargla)," UNIVERSITE DE OUARGLA, 2004.
- [20] M. Bouhediba, "Simulation thermique d'une maison solaire pour la Production d'eau chaude sanitaire (ECS)," *Mémoire Master, Hassiba Benbouali de–Chlef*, 2012.
- [21] N. Bellel and I. Tabet, "Étude, Réalisation et simulation d'un capteur solaire," 2017.
- [22] A. Kabouche and S. Abdou, "architecture et efficacité énergétique des panneaux solaires," 2017.
- [23] Z. ABDELLI, "Recherche expérimentale sur les capteurs solaires thermiques."
- [24] Y. Bourouaiah, F. Kimouche, and A. E. Laissaoui, "Étude numérique des performances d'un capteur solaire plan à eau," Université de Jijel, 2021.
- [25] A. Brahim, "Etude de performances d'un capteur solaire plan a eau," Université de Lorraine, 2016.
- [26] I. Drif, "Bilan thermique d'un chauffe-eau solaire," Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2013.
- [27] D. Yaaqoub and S. Said, "Dimensionnement d'un système solaire thermique pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire," nationale polytechnique de Constantine, 2018.
- [28] M. Moussaoui, "Modélisation de l'absorbeur d'un capteur solaire," Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2012.

- [29] S. Karima, "Modélisation des Pertes Thermiques d'un Capteur Solaire Plan," UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA, 2016.
- [30] H. Bentoumi, "Etude numérique et expérimentale d'un capteur solaire thermique en Boussaâda," Université Mohamed BOUDIAF de M'Sila, 2017.
- [31] يوسف, حماتي, أ. التجاني, محلو, ع. الشكور, نوار *et al.*, "Etude thermo-hydraulique d'un capteur solaire muni des chicanes dans la région d'El-Oued," 2022.
- [32] F. Kalla, "Conversion thermodynamique de l'énergie solaire: Etude et modélisation d'un capteur solaire," Université de Batna 2, 2014.
- [33] N. YOUSFI HAFFAR, S. BAFKA, and A. HAZEM, "Etude Théorique et Expérimentale d'un Capteur Solaire Hybride (PVT)," UNIVERSITE AHMED DRAIA-ADRAR, 2022.
- [34] A. Saad and H. Damous, "Etude et conception d'un chauffe-eau solaire," Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2018.
- [35] B. CHAOUKA, "Production et performance des capteurs hybrides (PV/T) à eau intégrés dans le bâtiment-cas de l'Algérie," *Mémoire pour l'obtention du diplôme en génie climatique. Université de constantine1*, 2014.
- [36] T. E. REDDAH, "Etude et dimensionnement d'un système solaire combiné Application: Logement individuel type F3 à Batna," Université El Hadj Lakhdar de Batna, 2014.
- [37] C. ANNAB, "Etude thermique d'un capteur Solaire à double passe avec milieu poreux."
- [38] S. Derbal, A. Moussaoui, and A. Nouiri, "Réalisation et étude d'un concentrateur solaire cylindro parabolique," 2016.
- [39] B. A. BENZAF Khoudir, "Détermination des performances énergétiques d'un concentrateur Cylindro-Parabolique: Etude expérimentale."
- [40] M. Bouhediba, "Simulation thermique d'une maison solaire pour la Production d'eau chaude sanitaire (ECS)," *Mémoire Master, Hassiba Benbouali de-Chlef*, 2012.
- [41] A. Ait Menguellet and L. Cherifi, "Étude et simulation d'une mini-centrale solaire cylindro-parabolique couplée avec un Cycle Organique de Rankine (ORC)," UMMTO, 2019.

- [42] A. Laaraba, "Amélioration des échanges thermiques dans l'absorbeur d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique," UB1, 2021.
- [43] F. Amouboudi, K. Berkane, and L. Ould Abdessalam, "Simulation d'une centrale solaire cylindro-parabolique intégré dans un cycle combiné," UMMTO, 2019.
- [44] A. Y. Drihem, "Etude numérique d'une nouvelle configuration des tubes absorbeurs de forme sinusoïdale dans les concentrateurs cylindro-paraboliques," 2019.
- [45] M. Balahouane, N. Benrachi, and Y. E. Demaghe, "Perfectionnement des modélisations dans les capteurs solaires cylindro-paraboliques et validation," Université de Jijel, 2014.
- [46] A. Brighen, T. Zaabat, and A. E. Bouraoui, "Etude numérique des performances thermiques d'un absorbeur semi-adiabatique dans un concentrateur solaire cylindro-parabolique," Université de Jijel, 2018.
- [47] S. ABBANE, S. REGRAGUI, and A. Harrouz, "Etude, dimensionnement et réalisation d'un concentrateur Cylindro-parabolique dans la région d'Adrar," universite Ahmed Draia-ADRAR, 2020.
- [48] Z. MOUSSAOUI MOULAY, H. MOUSSAOUI MOULAY, and A. BENATTILAH, "Etude et simulation d'un système solaire thermique cylindro-parabolique," Université Ahmed Draia-ADRAR, 2016.
- [49] L. Lammari and F. Kadi, "Etude préliminaire des performances optiques et thermiques d'un prototype solaire à concentrateurs linéaire de Fresnel," Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, 2022.
- [50] C. à. l. é. atomique. *QUESTIONS DE PHYSIQUE AUTOUR DE L'ÉNERGIE SOLAIRE.*
- [51] Z. KHAREF and Y. ZEGHBACHE, "Etude et Réalisation d'un Moteur Stirling avec Concentrateur Solaire," université ghardaia, 2018.
- [52] N. Abdelli and R. Sidi Said, "Etude et optimisation des centrales solaires thermiques à concentrateurs linéaires de Fresnel: Application en Algérie," UMMTO, 2020.
- [53] A. Sassane, M. Kara, and H. Bendjebbas, "Dimensionnement et optimisation d'un système de concentration linéaire utilisant les miroirs de Fresnel," 2018.

- [54] H. Souri, M. Abdelli, and H. Bendjebbas, "Le potentiel des systèmes solaires à concentration utilisant les miroirs de Fresnel pour la production de chaleur en Algérie," 2018.
- [55] A. Haffar and M. Amghar, "Etude de la performance d'un concentrateur cylindro-parabolique en vue de son utilisation dans un procédé de séchage."
- [56] L. Saidoun and L. Kanoun, "Etude des performances énergétiques d'une centrale à tour solaire," Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, 2021.
- [57] G. L. BOUHOREIRA YOUCEF, "Etude de l'effet des paramètres sur les performances d'un collecteur solaire cylindro parabolique."
- [58] L. Kheloui and N. Khelifi, "Etude paramétrique d'un chauffe-eau solaire plan," UMMTO, 2019.
- [59] N. Hadj Boussada, "Avant projet énergétique d'un réservoir de stockage d'énergie thermique à sels fondus pour une centrale de 150 MWe," 2012.
- [60] I. Beldjilali and Y. Boumediene, "Etude et Réalisation D'unCapteur Solaire Plan A Air."
- [61] N. ACHAIBOU, "Stockage des énergies renouvelables," Attachée de Recherche, CDER Bouzareah.
- [62] M. HAMMOUMI and H. MORGHAD, "Étude Expérimentale d'un capteur solaire plan à air spécifique au séchage," 2013.
- [63] www.biopharmdz.com.
- [64] earth.google.com/web/search/BIOPHARM,+Oued+El+Berdi.
- [65] BHP-EN – I.VAR. Industry S.r.l., www.ivarindustry.it/en/products/vapor/bhp-en/.
- [66] *Caractéristiques Physiques de l'Eau et de Vapeur*, www.thermexcel.com.
- [67] Solargis. *Global Solar Atlas. The World Bank Group*. <https://globalsolratlas.info/map=36.288585,3.918074,site=36.288585,3.918074,11>.
- [68] "Online course Solar Heat for Industrial Processes, /www.renac.de/trainings-services/trainings/renac-online/", RRA (Reanc Renewables Academy) - Berlin, 2022.
- [69] Competitive Price Solar Parabolic Trough with Area 15.3 Square Meter. [Vidéo]. Made-in-China.com.

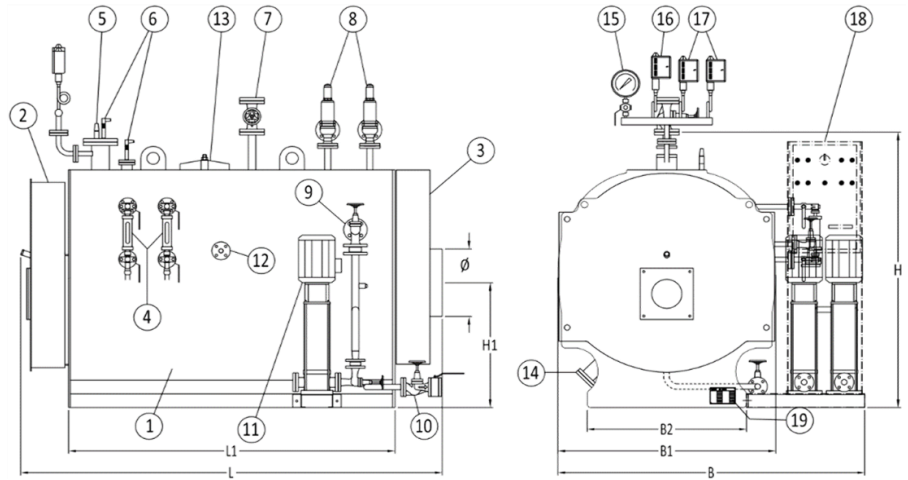
[70] "Réservoir stockage thermique utilisé pour l'industrie pharmaceutique chimique, made-in-china.com."

[71] Gasoline and diesel prices by country | GlobalPetrolPrices.com.
GlobalPetrolPrices.com. /www.globalpetrolprices.com/.



Annexe
Fiche Technique du BHP - EN
3000





- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> 1- Corpo caldaia / Boiler / Générateur / Cuerpo caldera 2- Portellone / Front door / Hayon Frontal / Puerta anterior 3- Camera fumo / Smoke chamber / Chambre des fumées / Camara humo 4- Indicatore di livello visivo / Level gauge / Indicateur visuel du niveau / Indicador de nivel visual 5- Regolatore di livello automatico / Level regulator / Régulateur de niveau autocontrolé / Regulador de nivel automático 6- Sonda di sicurezza / Safety probe / vanne de sécurité / sonda de seguridad 7- Valvola di presa vapore / Steam outlet / Sortie de vapeur / Valvula de salida vapor 8- Valvole di sicurezza / Safety valves / Soupapes de sécurité / Valvulas de seguridad 9- Gruppo di alimentazione / Feeding unit / Groupe d'alimentation / Grupo de alimentacion 10- Gruppo di scarico / Discharged unit / Unité de décharge / Grupo de descarga | <ul style="list-style-type: none"> 11- Elettropompa di alimentazione / Feeding pump / Electro-pompe d'alimentation / Electrobomba de alimentacion 12- Predisposizione regolazione conducibilità acqua / Predisposition control salinity water / Réglage de la predisposition conductivité d'eau / Predisposicion regulacion conductibilidad agua 13- Passo uomo / Manhole / Trou d'homme / Paso de hombre 14- Passa mano / Handhole / Trou de poing / Paso de mano 15- Manometro con rubinetto di prova / Manometer and test cock / Manomètre avec robinet de test / Manómetro con grifo de prueba 16- Pressostato di sicurezza / Safety pressure switch / Interrupteur de pression de sécurité / Presostatos de seguridad 17- Pressostato di servizio / Service pressure switch / Interrupteur de pression de travail / Presostatos de servicio 18- Quadro elettrico / Electrical panel / Panneau électrique / Cuadro eléctrico 19- Targa dati / Name plate / Plaque / Placa de datos técnicos |
|---|--|

| MODELLO - TYPE MODÉLE - MODELO | BHP-EN | 140 | 200 | 300 | 400 | 500 | 700 | 800 | 1000 | 1250 | 1500 | 1750 | 2000 | 2500 | 3000 | 3500 | 4000 | 5000 |
|--|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Potenza max utile - Max power output Puissance utile max - Potencia útil máx | kW | 97 | 138 | 208 | 277 | 346 | 485 | 554 | 692 | 865 | 1038 | 1212 | 1385 | 1731 | 2077 | 2423 | 2769 | 3463 |
| Potenza focolare - Furnace output Puissance foyer- Potencia hogar | kW | 108 | 153 | 231 | 308 | 384 | 539 | 616 | 769 | 961 | 1154 | 1347 | 1539 | 1923 | 2308 | 2692 | 3077 | 3847 |
| Produzione di vapore - Steam production Production vapeur - Production de vapor | kg/h (l) | 140 | 200 | 300 | 400 | 500 | 700 | 800 | 1000 | 1250 | 1500 | 1750 | 2000 | 2500 | 3000 | 3500 | 4000 | 5000 |
| Rendimento - Efficiency Rendement - Eficiencia | % | 89,8 | 90,2 | 90,0 | 89,9 | 90,1 | 90,0 | 89,9 | 90,0 | 90,0 | 89,9 | 90,0 | 90,0 | 90,0 | 90,0 | 90,0 | 90,0 | 90,0 |
| Pressione in camera di combustione Combustion chamber pressure Pression chambre de combustion Presion en camara de combustion | mbar | 1,5 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4,2 | 4,5 | 5 | 6 | 6,5 | 6,8 | 7 | 7 | 8 | 8,2 | 9 | 10 | 10,2 |
| Contenuto di acqua totale Water content full Volume d'eau plein Contenido de agua total | dm ³ | 475 | 475 | 670 | 670 | 1020 | 1020 | 1280 | 1410 | 1900 | 2120 | 2330 | 2650 | 3540 | 3960 | 4340 | 6050 | 8000 |
| Contenuto di acqua a livello Water content at level Volume d'eau au niveau Contenido de agua a nivel | dm ³ | 320 | 320 | 440 | 440 | 685 | 685 | 870 | 960 | 1280 | 1440 | 1580 | 1860 | 2550 | 2680 | 2830 | 4150 | 5800 |
| Dimensioni | B mm | 1647 | 1647 | 1743 | 1743 | 1865 | 1865 | 2050 | 2050 | 2195 | 2195 | 2195 | 2310 | 2420 | 2600 | 2600 | 2768 | 2900 |
| | B1 mm | 994 | 994 | 1086 | 1086 | 1230 | 1230 | 1350 | 1350 | 1540 | 1540 | 1540 | 1660 | 1790 | 1900 | 1900 | 2136 | 2240 |
| Dimensions | B2 mm | 700 | 700 | 800 | 800 | 900 | 900 | 950 | 950 | 1050 | 1050 | 1050 | 1150 | 1250 | 1300 | 1300 | 1400 | 1555 |
| | L mm | 1813 | 1813 | 2061 | 2061 | 2368 | 2368 | 2371 | 2571 | 2573 | 2823 | 3073 | 3087 | 3376 | 3382 | 3582 | 3862 | 4916 |
| Dimensiones | L1 mm | 1274 | 1274 | 1524 | 1524 | 1828 | 1828 | 1831 | 2031 | 2033 | 2283 | 2533 | 2534 | 2832 | 2835 | 3035 | 3285 | 4186 |
| | H mm | 1354 | 1354 | 1446 | 1446 | 1590 | 1590 | 1710 | 1710 | 1900 | 1900 | 1900 | 2020 | 2170 | 2290 | 2290 | 2405 | 2615 |
| | H1 mm | 657 | 657 | 638 | 638 | 710 | 710 | 760 | 760 | 810 | 810 | 810 | 865 | 1265 | 1320 | 1320 | 1460 | 1510 |
| Attacchi Connections Conexiones | Ø mm | 200 | 200 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 300 | 300 | 300 | 350 | 350 | 400 | 400 | 450 | 550 |
| | V DN | 25 | 25 | 32 | 32 | 40 | 40 | 50 | 50 | 65 | 65 | 80 | 80 | 80 | 80 | 100 | 100 | 100 |
| | S DN | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| Peso a vuoto - Empty weight Poids à vide - Peso en vacío | kg | 1150 | 1150 | 1450 | 1450 | 2200 | 2310 | 2550 | 2800 | 3480 | 3650 | 3900 | 4650 | 5500 | 6400 | 6850 | 8600 | 12500 |

Acqua di alimento 70°C – Pressione 12 bar / Feedwater 70°C – Pressure 12 bar / Eau d'alimentation 70°C – Pression 12 bar / Agua de alimentacion 70°C – Presion 12 bar

Idonea per lavorare con gas, gasolio, nafta / Suitable to work with gas, oil, heavy oil / Convient pour travailler avec du gaz, du gasoil, du naphta / Apto para trabajar con gas, gasóleo, nafta

La I.V.A.R. INDUSTRY si riserva di apportare quelle modifiche che giudicherà necessarie per migliorare la produzione.
 I.V.A.R. INDUSTRY reserves the right to make any modifications considered necessary for improving production.
 I.V.A.R. INDUSTRY se réserve le droit d'apporter des modifications qu'il juge nécessaires pour améliorer la production.
 I.V.A.R. INDUSTRY se reserva hacer las modificaciones que considererà necesarias para mejorar la producción.

PRESTAZIONE E DATI TECNICI
PERFORMANCE AND TECHNICAL DATA
PERFORMANCE ET DONNÉES TECHNIQUES
RENDIMIENTO Y DATOS TÉCNICOS

| Modello caldaia | Potenza nominale | Potenza focolare | Rendimento al 100% | Perdite lato fumi | Consumo gas | Consumo gasolio | Portata fumi con gas | Portata fumi con gasolio |
|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| <i>Boiler model</i> | <i>Nominal capacity</i> | <i>Furnace capacity</i> | <i>Efficiency at 100%</i> | <i>Fluegas side losses</i> | <i>Gas consumption</i> | <i>Oil consumption</i> | <i>Fluegas flow with gas</i> | <i>Fluegas flow with oil</i> |
| <i>Modèle de chaudière</i> | <i>Capacité nominale</i> | <i>Capacité foyer</i> | <i>Efficacité à 100%</i> | <i>Côté fumée pertes</i> | <i>Consommation de gaz</i> | <i>Consommation de gas-oil</i> | <i>Flux de fumée avec gaz</i> | <i>Flux de fumée avec gas-oil</i> |
| <i>Modelo de la caldera</i> | <i>Capacidad nominal</i> | <i>Capacidad hogar</i> | <i>Eficiencia en 100%</i> | <i>Pérdidas lado humo</i> | <i>Consumo de gas</i> | <i>Consumo de gasóleo</i> | <i>Flujo de humo con gas</i> | <i>Flujo de humo con gasóleo</i> |
| BHP-EN | (kW) | (kW) | (ref. to PCI) (%) | (mbar) | (Nm ³ /h) | (kg/h) | (kg/h) | (kg/h) |
| 140 | 97,0 | 108,0 | 89,8 | 1,5 | 10,9 | 9,1 | 164 | 173 |
| 200 | 138,0 | 153,0 | 90,2 | 2,5 | 15,5 | 12,9 | 232 | 245 |
| 300 | 208,0 | 231,0 | 90,0 | 3,0 | 23,4 | 19,5 | 351 | 370 |
| 400 | 277,0 | 308,0 | 89,9 | 3,5 | 31,2 | 26,0 | 467 | 493 |
| 500 | 346,0 | 384,0 | 90,1 | 4,2 | 38,9 | 32,4 | 583 | 615 |
| 700 | 485,0 | 539,0 | 90,0 | 4,5 | 54,5 | 45,4 | 818 | 863 |
| 800 | 554,0 | 616,0 | 89,9 | 5,0 | 62,3 | 51,9 | 935 | 987 |
| 1000 | 692,0 | 769,0 | 90,0 | 6,0 | 77,8 | 64,8 | 1.167 | 1.232 |
| 1250 | 865,0 | 961,0 | 90,0 | 6,5 | 97,2 | 81,0 | 1.458 | 1.539 |
| 1500 | 1038,0 | 1154,0 | 89,9 | 6,8 | 116,8 | 97,3 | 1.751 | 1.848 |
| 1750 | 1212,0 | 1347,0 | 90,0 | 7,0 | 136,3 | 113,6 | 2.044 | 2.157 |
| 2000 | 1385,0 | 1539,0 | 90,0 | 7,0 | 155,7 | 129,8 | 2.336 | 2.465 |
| 2500 | 1731,0 | 1923,0 | 90,0 | 8,0 | 194,6 | 162,1 | 2.918 | 3.080 |
| 3000 | 2077,0 | 2308,0 | 90,0 | 8,3 | 233,5 | 194,6 | 3.503 | 3.696 |
| 3500 | 2423,0 | 2692,0 | 90,0 | 9,0 | 272,4 | 227,0 | 4.086 | 4.311 |
| 4000 | 2769,0 | 3077,0 | 90,0 | 10,0 | 311,3 | 259,4 | 4.670 | 4.928 |
| 5000 | 3463,0 | 3847,0 | 90,0 | 10,2 | 389,2 | 324,4 | 5.838 | 6.161 |

Dati riferiti con acqua di alimento = 70°C

Data referred to feeding water = 70°C

Données relatives à l'alimentation en eau = 70 °C

Datos referidos al agua de alimentación = 70 °C

Gasolio / oil / gas-oil / gasóleo : CO₂ = 13%

Gas / gas / gas / gas : CO₂ = 10%