République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la

Recherche Scientifique

Université Yahia Farés de Médéa

Faculté de Technologie

Département de génie mécanique

Mémoire Présenté

Pour l'obtention de diplôme

Master

En « Génie mécanique »

Option :

« Énergie renouvelable en mécanique»

Thème :

Dimensionnement et optimisation d'un système de concentration linéaire utilisant les miroirs de Fresnel

Réalise par :

Sassane Aissa

Kara Mohamed

Encadre par :

Dr. Bendjebbas Hichem

Année universitaire 2017 / 2018

Remerciement

Avant tout, Je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience qui m'a permis d'accomplir ce modeste travail.

Je tiens en premier à exprimer ma grande gratitude envers mon encadreur Dr. BENDJEBBAS Hichem qui m'a apporté son aide et ses valeureux conseils pour l'accomplissement et le suivit de ce travail.

Mes remerciements s'adressent également aux membres du jury pour avoir accepté de juger ce travail.

A tous les enseignants et doctorants travaillant au département de génie mécanique de l'université Dr. Yahia FARES de MEDEA

Enfin je présente mes sincères remerciements à tout le personnel qui m'a aidé à la Réalisation de ce travail.

Dédicace

C'est avec un très grand honneur que je dédie ce modeste travail aux personnes les plus chères au monde pour leurs sacrifices :

- *A mes chers parents que dieu les gardes et préserve*
- *A mes chères grande parents que je la souhaite une longue vie*
- *A mes frères*
- *A mes sœurs*
- *A toute la famille* ***Sassane*** *et* ***Kara***

Je remercie mon ami et binôme ***Mohammed*** *qui a contribué à la réalisation de ce travail*

- *A tous mes amis sans exception*
- *A tous mes collègues de la 2^{éme} années master option énergie renouvelable et 2^{éme} années option ingénierie des matériaux*

Aissa

Dédicace

C'est avec un très grand honneur que je dédie ce modeste travail aux personnes les plus chères au monde pour leurs sacrifices :

A mes très chers parents qui m'ont guidé durent les moments les plus pénibles de ce long chemin, que Dieu les garde. A mes frères, A mes sœurs. A ma femme A toute la famille ***KARA***

A tous mes amis

A tous mes collègues de énergie renouvelable A grande remercie à mon binôme ***Aissa*** *qui a contribué à la réalisation de ce travail*

Mohamed

Résumé

La technologie de concentrateur à miroir linéaire de Fresnel est encore jeune. Elle est intéressante pour sa simplicité et son faible coût comparé avec les autres types de systèmes solaires à concentration CSP. Actuellement, Le présent travail adopte une approche du procédé du système linéaire de Fresnel, La modélisation de l'ensemble du procédé vise à mieux connaître les performances du système dans son ensemble. Le dimensionnement du système peut ainsi être optimisé en tenant compte de tous les éléments du procédé. Nous nous intéressons surtout sur les éléments principaux et le rôle de chaque composant du ces systèmes. Une simulation numérique a été effectuée en utilisant le code MATLAB pour la largeur des miroirs et sa relation avec le diamètre de l'absorbeur et la hauteur de point focale et son effet sur notre système. Plus que sa en a fait une simulation numérique avec le logiciel COMSOL pour voir l'effet du vent sur la stabilité des miroirs de Fresnel.

Mots clés : **concentrateur à miroir linéaire de Fresnel, Centrale Solaire à Concentration, simulation, MATLAB, COMSOL.**

ABSTRACT

Linear Fresnel Reflector based concentrator is still a young technology. It draws interest for its simplicity and low cost relatively to Concentrating Solar Power technology CSP. Optimisation of the concentrator's geometry and most of all of the receiver is undergoing. The receiver is a key element of the process: it collects the concentrated solar flux with a heat transfer fluid.in the last few years several research teams and companies have started the development of Linear Fresnel Reflector based technologies.

The present work adopts an approach of the thermal solar process. Modelling the entire process enables a better understanding of the entire system's performances. The system design and sizing can thus be optimised taking into account all the process elements.

We are mainly interested in the main elements and the role of each component of these systems. The solar deposit and the energy receive by the sun especially in Algeria and comparison details with the other technologies. We have also done a numerical simulation with MATLAB for the width of the mirrors and its relation with the diameter of the absorber and the focal point height and its effect on our system. More than that it has been studied with a simulation (Comsol programme) the effect of the wind on the Fresnel linear system.

Keywords**: Linear Fresnel Reflector, Concentrating Solar Power technology, simulation MATLAB, COMSOL.**

ملخص

ان تكنولوجيا المرآة الخطية المركزة لفريسنل ما زالت حديثة. ومن المثير للاهتمام بساطتها وتكلفتها المنخفضة بالنسبة إلى مركزات تركيز الطاقة الشمسية. في الوقت الحالي، يعتمد العمل الحالي على نهج عملية نظام خطي فريسنل ، حيث تهدف نمذجة العملية برمتها إلى فهم أداء النظام ككل بشكل أفضل. وبالتالي يمكن تحسين حجم النظام مع مراعاة جميع عناصر العملية.

نحن مهتمون بشكل رئيسي بالعناصر الرئيسية ودور كل مكون من مكونات هذه الأنظمة. تم اجراء محاكاة عددية باستخدام برنامج ماتلاب لعرض المرأة وعلاقتها بقطر الامتصاص و ارتفاع نقطة الاتصال و تأثيرها على نظامنا ،بالإضافة الى هدا تم اجراء محاكاة عددية ببرنامج كومسول لمعرفة تأثير الرياح على استقرار مرايا فريسنل

كلمات مفتاحية **: *المرآة الخطية المركزة لفريسنل*، تركيز الطاقة الشمسية، محاكاة، ماتلاب، كومسول**

TABLE DES MATIERES

Résumé

Liste des Figures

Liste des Tableaux

Nomenclature

Introduction Générale……...17

Chapitre 1: Etat de l'art sur les systèmes solaires à concentration du type Fresnel……19

1.1 Introduction……20

1.2 Historique……...21

1.3 Description et technologie des systèmes (LFR)……22

1.3.1 Éléments d'un concentrateur à Réflecteur Linéaire de Fresnel……..22

1.3.1.1 Le récepteur en V……28

1.3.1.2 Le récepteur trapézoïdal……..30

1.3.1.3 Récepteur monotube sous vide……...31

1.3.1.4 Concentrateur à récepteur horizontal……..31

1.3.1.5 Concentrateur à récepteur vertical……..32

1.3.2 Principe de fonctionnement……32

1.4 Les concentrateurs a types Fresnel……33

1.4.1 Concentrateur Linéaire de Fresnel Compact……..33

1.4.2 Concentrateur de Fresnel à miroirs fixes……34

1.5 Centrales opérationnelles dans le monde par la technologie de concentration linéaire de Fresnel :……35

1.6 Recherche et développement des systèmes a concentration linéaire de Fresnel :……36

1.7 Conclusion……39

Chapitre 2 : Principes généraux et théorie des systèmes solaires à concentrationlinéaire…….40

2.1 Introduction :……..41

2.2 Gisement solaire mondial et Gisement en Algérie…….42

2.2.1 Gisement solaire mondial……...42
2.2.2 Gisement solaire en Algérie……...43
2.2.3 Réseau météorologique de l'Algérie……...45

2.3 Théorie de rayonnement solaire…….45

2.3.1 Paramètres de position……46
2.3.2 Les coordonnées célestes……46
2.3.2.1 Coordonnées géographiques……...46
2.3.2.2 Les coordonnées horaires……47
2.3.2.3 Les coordonnées horizontales…….47
2.3.3 Composantes du rayonnement solaire :……..48
2.3.4 Types de rayonnements……..49

2.4 Rayonnement solaire absorbé par le champ solaire :……49

2.5 Le Rayonnement solaire diffus……..50

2.6 Nomenclature des instruments de mesure du rayonnement solaire :……51

2.7 Technologies de concentration……...52

2.7.1 Notion fondamental sur l'optique pour les systèmes CSP :……53
2.7.2 Matériaux réfléchissants utilisés dans ce domaine :……...54

2.8 Systèmes de concentration linéaire de Fresnel……..56

2.8.1 Les avantages et les inconvénients du système LFR :……56
2.8.2 Plage de Températures……...57
2.8.3 Utilisations industriels……59

2.9 Comparaison des quatre principaux types de concentrateurs……60

2.10 Conclusion…….62

Chapitre 3 :Modélisation mathématique d'un système « LFR »……..63

3.1 Introduction……64

3.2 Modélisation mathématique de la géométrie d'un système LFR :…….65

3.3 Distribution de LCR sur la surface d'un absorbeur vertical pour le système linéaire de Fresnel……...68

3.4 Simulation numérique sur conception de réflecteurs de largeur constante……71

3.4.1 Modélisation pour la conception de réflecteurs de largeur constante……71

3.4.2 Résultats de la simulation……...72

Chapitre 4 :Simulation numérique de l'effet du vent sur la stabilité d'un systèmeLFR……..73

4.1 Introduction……74

4.2 Code de calcul COMSOL Multiphysics……74

4.2.1 Historique……...74

4.2.2 Principe d'utilisation……..74

4.2.3 Modules……..75

4.3 Étude de géométrie…….76

4.4 Modèle physique……77

4.4.1 Couche limite atmosphérique…….77

4.5 Procédure numérique:……78

4.6 Résultant de la simulation……..81

Conclusion Generale……...88

Annexe……..89

Liste des Figures

Figure I : Quatre principales technologies CSP ……...17
Figure 1 - 1 : quatre principaux types de concentrateurs ……20
Figure 1 - 2 : Premier prototype de Concentrateur Linéaire de Fresnel, Marseille (France) 1963…...……21
Figure 1 - 3 : La construction de l'assemblage du tube récepteur ……...24
Figure 1 - 4: Croquis des systèmes de suivi. A: Chaque miroir est couplé à un actionneur, permettant un contrôle total sur chaque rangée. B: Tous les miroirs couplés à un actionneur. C: groupes de miroirs reliés à un actionneur ……25
Figure 1 - 5: le montage d'un Système pour suivre le soleil de LFR ……26
Figure 1 - 6: Principe d'un concentrateur à Réflecteur Linéaire de Fresnel ……...28
Figure 1 - 7: Schéma d'un récepteur en V ……...29
Figure 1 - 8: Concentrateur à récepteur en V ……..29
Figure 1 - 9: Récepteur trapézoïdal ……30
Figure 1 - 10: Récepteur trapézoïdal avec surface absorbante rectangulaire ……..30
Figure 1 - 11: Récepteur monotube sous vide ……31
Figure 1 - 12: Concentrateur à récepteur plat horizontal ……31
Figure 1 - 13: Concentrateur à récepteur vertical ……...32
Figure 1 - 14: Principe de fonctionnement des miroirs de Fresnel ……32
Figure1- 15: Concept de concentrateur Linéaire de Fresnel Compact……..33
Figure1-16: Principe de l'optique COSS……..34
Figure 1 - 17: Centrale électrique à réfracteur linéaire Fresnel (avec l'aimable autorisation du départementdesmédias d'Ausra)……37
Figure 2- 1: Les données annuelles sur le rayonnement solaire en m^2 pour le monde en 2013……...42
Figure 2- 2: Gisement solaire en Algérie ……44
Figure 2- 3: Stations météorologiques sur l'Algérie ……45
Figure 2- 4: Rayonnement solaire reçu par une surface incliné au sol ……46
Figure 2- 5: Angle de déclinaison ……47
Figure 2- 6: Repérage de la position du Soleil ……48
Figure 2- 7: Type de rayonnement solaire ……...49
Figure 2- 8 : représentation des rayons diffus avec la puissance Solaire incidente de 100watts……50

Figure 2- 9: technologies de concentration CSP avec la température de fonctionnement…...53
Figure 2- 10: vecteurs unitaires pour la loi de la réflexion spéculaire……..53
Figure 3- 1 : Les angles importants du collecteur de Fresnel linéaire ……..64
Figure 3- 2: Les paramètres de conception du LFR……66
Figure 3- 3: Absorbeur tubulaire ……..67
Figure 3- 4: schéma fonctionnel du travail……...69
Figure 3- 5 **:** Organigramme: système de réflecteur à largeur constante……..70
Figure 3- 6: Analyse de performance en terme de rapport de concentration pour les éléments réfléchissant la largeur constante……..72
Figure 4- 1: Profils de loi de puissance de la vitesse moyenne du vent sur différents terrains77
Figure 4- 2 : Domaine de calcul……79
Figure 4- 3: Maillage triangulaire non structuré……81
Figure 4- 4: Maillage à proximité du système……..81
Figure 4- 5: Champ d'écoulement du vent……82
Figure 4- 6: Champ de pressions……...82
Figure 4- 7: Pression exercée sur les miroirs……83
Figure 4- 8: Pression exercée sur les miroirs……83
Figure 4- 9: Pression exercée sur les miroirs……84
Figure 4- 10: Pression exercée sur les miroirs……..85
Figure 4- 11: Pression exercée sur les miroirs……..86
Figure 4- 12: Pression exercée sur les miroirs……..86

Liste des Tableaux

Tableau 1 - 1 : Tableau récapitulatif : comparaison des fluides de travail pour la concentration linéaire ……..28
Tableau 2- 1: Ensoleillement reçu annuellement en Algérie par région climatique…….44
Tableau 2- 2: Ordre de grandeur des températures du récepteur ……..58
Tableau 2- 3: comparaison des quatre principaux types de concentrateurs ……61
Tableau 4- 1:Valeurs d'exposant de la loi de puissance……77
Tableau 4- 2: Valeurs des constantes du modèle de turbulence……...80
Tableau4 - 3 : Les pressions maximales exercées sur chaque miroir dans les trois cas……...87
Tableau4 - 4 : Les pressions maximales exercées sur chaque miroir dans les trois cas……...87

Sigles et Abréviations

- CSP : Concentrating Solar Power (Centrale Solaire à Concentration)
- R & D :Recherche et développement
- LFR : Linéaire Fresnel Réfracteur
- CLFR : Réflecteur Compact Linéaire de Fresnel
- SPG : Solar Power Group
- CNIM : Constructions industrielles de la Méditerranée
- PSA : Plataforma Solar d'Almeria
- NREL : Laboratoire national des énergies renouvelables
- PCM : Matériau à changement de phase (Phase Change Material)
- CPC : concentrateur cylindro-parabolique
- IR : Infra-Rouge
- PE : Puerto Errado
- PT : Cylindro-Parabolique (parabolic trough)
- ASTM : American Society for Testing and Materials
- PV : photovoltaïques
- LFSC : capteur solaire linéaire de Fresnel
- COSS :Capteur Optique Solaire Segmenté
- SMS : méthode multi-surface simultanée
- CFD : Computationnel Fluide Dynamique
- HTF : heat transfer fluid
- DLR : Agence allemande de l'aérospatiale
- TSV : Le temps solaire vrai

- Q_{abs} : le rayonnement solaire absorbé par le champ solaire
- DNI : rayonnement direct normal
- η_c : rendement du collecteur
- A_{tot} : surface d'ouverture totale du champ solaire
- F_{avl} : fraction de disponibilité du champ solaire
- F_{trk} : fraction de poursuite du champ solaire
- BM : fraction des miroirs cassés du champ solaire
- RD : rayonnement direct
- LCOE : levalized cost of electricity
- PET : poly (téréphtalate d'éthylène)
- UV : ultraviolets
- LCR : rapport de concentration local
- CPC : capteur Cylindro-Parabolique
- EDP : équations aux dérivées partielles
- EDO : équations aux dérivées ordinaires
- EAD : équations algébro-différentiels
- MENA : Middle East and North Africa
- LFRCS: Linear Fresnel Reflector Concentrating Solar
- Gdif1, Gdif2: rayonnements diffusés par le ciel et par le sol respectivement.
- Alb : albédo du sol.
- i: angle d'inclinaison du plan du capteur par rapport à l'horizontale.

Nomenclature

- (ϕ) : La latitude (degrés)
- (L) : La longitude (degrés)
- (γ) : L'altitude (m)
- (δ) : La déclinaison (degrés)
- (ω) : L'angle horaire (degrés)
- (a) : L'azimut (degrés)
- (h) : La hauteur angulaire (degrés)
- (*θ) :* Angle d'incidence (degrés)
- *i:* Direction du rayon incident.
- *n :* Direction de la normale de la surface de réflecteur.
- *r* : Direction du rayon réfléchi.
- ρ : réflectivité de la Surface
- τ : La fraction de l'énergie rayonnante
- A_{net} : La surface d'ouverture du collecteur LFC (m^2)
- (W) : Largeur (m)
- (S) : Décalage (m)
- (Q) : Emplacement (m)
- (XX) : Plan d'ouverture
- (θ) : Inclinaison avec plan d'ouverture (degrés)
- (f) : Distance focale (m)
- (D) : Diamètre d'ouverture (m)
- (d) : Diamètre de l'absorbeur (m)

- Q_n : Emplacement du nième réflecteur depuis le centre (m)
- P_n : Puissance réfléchie par la nième plaque en (kW)
- N : Nombre de réflecteur
- W_n : Largeur du nième réflecteur (m)
- d : Diamètre de l'absorbeur (m)
- S_n : Décalage entre le nième réflecteur (m)
- L : Longueur de l'absorbeur (m)
- f : Hauteur du centre de l'absorbeur à partir de la base (m)
- D : Diamètre d'ouverture (m)
- r_n : est la largeur de l'image produite sur l'absorbeur par le rayonnement réfléchi par l'élément réfléchissant
- CP : Puissance totale concentrée (kW)
- CR : Rapport de concentration
- CI_n : Puissance concentrée du nième réflecteur (kW)
- θ_n : Angle d'inclinaison du $n^{ième}$ réflecteur (degrés)
- ξ_0 : La moitié du sous-temps angulaire du soleil à n'importe quel point de la terre (degrés)
- l_m : largeur des miroirs plats (m)
- $n_{i\,:}$ épaisseur des miroirs (m)
- dl_m : L'écart entre les miroirs est noté et leurs axes de rotation
- α_{mi} : angles du plan horizontal
- α : la vitesse moyenne sur des surfaces de niveau uniforme (m/s)
- I_u : longitudinales
- I_v : intensité de turbulence latérale

- σ_u : écarts-types de la vitesse du vent fluctuante longitudinale
- σ_v : latérale-types de la vitesse du vent fluctuante longitudinale
- u_i *et* u_j *:* Les contraintes de Reynolds
- τ_{ij} *:* contrainte de cisaillement du flux
- ρ : la densité du fluide
- μt : viscosité turbulente (m^2/s)

Dans l'horizon de 2030, le monde devrait consommer deux tiers de plus d'énergie qu'aujourd'hui [1]. Au cours des dernières années, le prix du pétrole a atteint de nouveaux records. Entre 2000 et 2003, le prix du pétrole est resté à peu près constant autour de US$25/bl (Brent) et la demande mondiale a augmenté d'environ 1% par an [2].La conception, le développement et la diffusion de technologies appropriées d'énergies renouvelables sont importants pour répondre aux besoins croissants en énergie pour la croissance économique ainsi que pour l'amélioration de la qualité de la vie humaine [3]. L'utilisation des énergies renouvelables connaît une croissance rapide, mais ne représente actuellement que 3% environ de la consommation mondiale d'énergie primaire, avec seulement environ 1% de l'énergie géothermique, éolienne et solaire. Il est utilisé pour produire 18% de l'électricité, dont 90% par l'hydroélectricité [4]. La technologie de concentration d'énergie solaire thermique (CSP) est une option de production d'énergie potentiellement compétitive, en particulier dans les régions arides où la lumière directe du soleil est abondante [5]. Les centrales solaires à concentration (CSP) désignent les infrastructures qui produisent de l'énergie électrique au moyen d'une irradiation solaire concentrée. Les concentrateurs solaires peuvent être des cylindro-paraboliques, des héliostats, des paraboles ou des réflecteurs de Fresnel. Les centrales CSP utilisent des concentrateurs pour focaliser la lumière du soleil sur un récepteur dans lequel un fluide caloporteur est chauffé jusqu'à plusieurs centaines de degrés Celsius. Les centrales CSP utilisent la chaleur solaire pour produire de la vapeur pour la production d'électricité. Pour le fonctionnement continu d'une installation CSP pendant la nuit et par temps couvert, une énergie thermique provenant d'une source de stockage ou du gaz comme source d'énergie supplémentaire est utilisée [6].

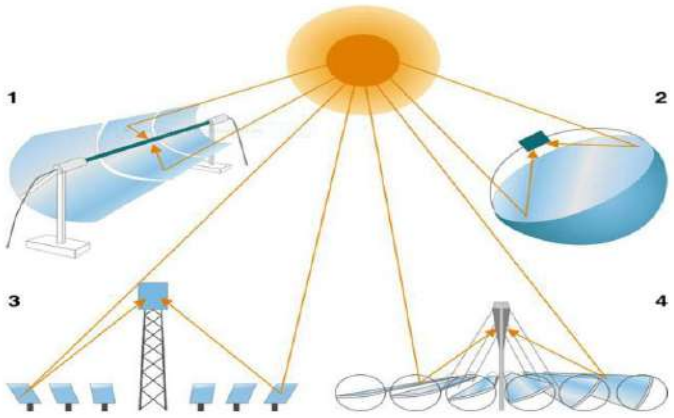


Figure I: Quatre principales technologies CSP [13]

1) cylindro-paraboliques 2) parabole 3) héliostat 4) réflecteurs de Fresnel.

Le CSP est déjà devenu une technologie fiable d'énergie solaire à grande échelle, même si son coût n'est pas encore compétitif par rapport aux sources d'énergies conventionnelles, des réductions de coûts significatives résultant de l'avancée technologique et de la production en grande série sont encore nécessaires. En général, les coûts unitaires des systèmes d'énergie renouvelable, tels que CSP, exprimés en US$ par watt installé, diminuent avec le temps, principalement grâce aux énormes travaux de recherches dans ce domaine. Les coûts de l'électricité CSP sont passés d'environ 80 cents EU / kWh en 1980 à moins de 20 cents EU / kWh en 2005 [7].À l'heure actuelle, les coûts de l'électricité CSP varient entre 12,5 et 22,5 cents US / kWh, selon les sites d'installation, et continuent de diminuer à mesure que les marchés CSP se développent et que les efforts de R & D améliorent la performance [7].

La consommation d'énergie électrique dans le monde va connaitre une augmentation significative de la capacité installée en raison de la demande accrue jusqu'en 2020 [8].

La technologie de type Fresnel utilise les miroirs plans qui sont disposés de façon à reproduire la forme cylindro-parabolique. Les miroirs plans sont équipés d'un système de motorisation qui permet de suivre le soleil sur un seul axe EST-OUEST afin de concentrer les rayons vers un récepteur linéaire situé sur une ligne focale. La température de fonctionnement varie de 120°C à 450 °C, avec un facteur de concentration allant de 25 à 100. Dans cette centrale, le fluide de travail est soit de l'huile, soit de l'eau [9].

Le présent travail est une contribution dans le dimensionnement et la conception des systèmes solaires à concentration linéaire par le principe de Fresnel.

Cette étude a été étalée sur 4 Chapitres.

Le chapitre 1 a été consacré à l'état de l'art des systèmes solaires à concentration de type Fresnel (les principaux éléments dans notre système et le principe de fonctionnement).

Pour le chapitre 2, les principes généraux de concentration linéaire de Fresnel ont été présentés (gisement solaires en Algérie, théorie de rayonnement solaire et comparaison des quatre principaux types de concentrateurs solaires.)

Dans le troisième chapitre, nous avons présenté une modélisation mathématique sur le système LFR, l'emplacement l'inclination et décalage des miroirs.

Dans le quatrième chapitre, nous avons effectué une simulation numérique de l'effet du vent sur le système LFR.

Chapitre 1: Etat de l'art sur les systèmes solaires à concentration du type Fresnel

1.1 Introduction

Le contexte de crise énergétique mondiale nous pousse à réduire notre consommation et produire notre énergie dans le plus grand respect de la nature. Les technologies de production de l'énergie solaire participent à cet objectif.

L'énergie solaire thermique à basse température pour les besoins du bâtiment ne demande qu'à être généralisée. L'énergie photovoltaïque est proche de la compétitivité pour la production d'électricité. La troisième famille de technologies est l'énergie solaire thermodynamique, qui fait appel à la concentration du rayonnement solaire [10].L'énergie solaire est une source d'énergie propre et inépuisable. Actuellement les technologies de concentration solaire sont celles qui présentent le plus de possibilités pour une exploitation commerciale. Ces technologies se basent sur des collecteurs qui concentrent le rayonnement solaire sur des absorbeurs qui réchauffent à haute température un fluide caloporteur. Ce fluide peut ensuite être utilisé pour la génération d'électricité [11].On distingue deux principaux types de concentrateurs :

– les concentrateurs ponctuels (poursuite sur deux axes) : centrales à tours et dishs Stirling.

– les concentrateurs linéaires (poursuite solaire sur un axe) : Concentrateurs cylindro-paraboliques et miroirs de Fresnel.

Les miroirs de Fresnel sont utilisés comme concentrateurs solaires offrent une série d'avantages par rapport aux autres technologies de concentration et en particulier au cylindro-parabolique le rendement optique élevé avec un poids minimum et un faible coût peuvent fonctionner sans grandes difficultés mécaniques [10].

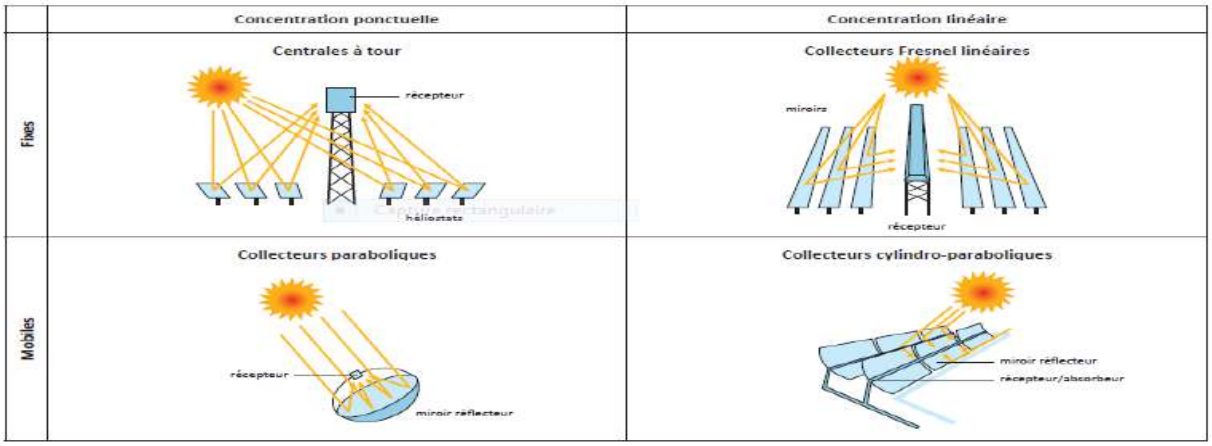


Figure 1 - 1 : quatre principaux types de concentrateurs [12].

1.2 Historique

Au XIXe siècle l'italien Allessandro Battaglia réalise des travaux pionniers sur les concentrateurs solaires. Ses brevets, sortis de l'oubli récemment, sont inventifs. Aucune mise en œuvre pratique de l'époque n'a cependant été retrouvée. Les travaux de Battaglia peuvent être vus comme l'origine de la technique de concentration par réflecteurs linéaires de Fresnel.

Les travaux les plus significatifs ont été réalisés par (Giovanni Francia (1911-1980)), également Italien. Entre autres travaux scientifiques et techniques, il s'intéressa à l'énergie solaire. Au début des années 1960, il développa un système concentrateur linéaire de Fresnel à réflexion(LFR). Il a conçu et monté un premier prototype à Gènes en 1963. L'année suivante, il a construit et testé un prototype de LFR à Marseille. Francia était persuadé que l'énergie solaire ne pouvait se développer qu'avec une rentabilité économique et une technique simple. Ainsi les miroirs plans étaient un point clé décisif pour la percée du solaire à grande échelle.

Depuis les années 1990, David Mills, en Australie, développe un LFR. Il introduit le concept de réflecteur compact linéaire de Fresnel (CLFR). Il s'agit de disposer plusieurs lignes focales en parallèle. On peut ainsi optimiser l'utilisation des miroirs en choisissant vers quelle ligne focale chaque miroir réfléchit la lumière.

Ces travaux ont toujours été soutenus par le gouvernement australien. En Europe, la société Belge SolarMundo, avait un projet ambitieux de centrale solaire à LFR. Un prototype a été monté à Liège en 2001 (2400m^2 de miroirs). Mais l'application à grande échelle n'a pas vu le jour. Les résultats escomptés n'étaient pas au rendez-vous. La réduction de coût n'était possible que sur des puissances importantes. On ne tirait manifestement pas encore le meilleur de cette technologie :

L'absorbeur à haute température sur le tube, le miroir secondaire, le système de suivi... Tous ces éléments restaient à développer et à mettre au point pour que la technologie LFR tienne ses promesses. La faisabilité restait quelque peu incertaine. [10]

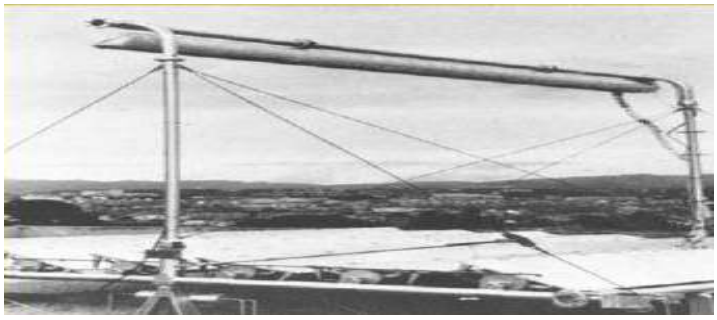


Figure 1 - 2 : Premier prototype de Concentrateur Linéaire de Fresnel, Marseille (France) 1963 **[10].**

1.3 Description et technologie des systèmes (LFR)

Le concept est simple et facile par rapport aux autres capteurs solaires à concentration de la même famille. Ils sont formés des miroirs plans et ils sont moins couteux par rapport aux autres types des capteurs solaires à effet de concentration. Ce système met en œuvre des miroirs plans, des fois ils sont très légèrement courbés, disposés en lames parallèles qui s'inclinent par rotation de telle manière que la réflexion des rayons solaires soit toujours comprise dans le récepteur. Avec une performance optique inferieure de 30 ou 40 % par rapport aux capteurs solaires cylindro-parabolique [14]. Avec moins de poids et de volume de matériau par rapport à la conception de lentilles conventionnelles, les mécanismes de lavage automatiques sont facilement évolutifs [15].

1.3.1 Éléments d'un concentrateur à Réflecteur Linéaire de Fresnel

Le concentrateur à Réflecteur Linéaire de Fresnel (concentrateur LFR) est généralement composé:

– ***du réflecteur ou miroir de Fresnel*** : plusieurs bandes rectangulaires de miroirs réfléchissent et concentrent le rayonnement sur le récepteur. Les paramètres de conception les plus importants sont: la largeur des bandes, le nombre de lignes et les espaces entre deux miroirs consécutifs. Comparé au creux parabolique, le LFSC a plus de pertes optiques. Les collecteurs de Fresnel n'ont pas seulement des pertes longitudinales; ils sont également affectés par les pertes de cosinus transversales car chaque miroir suit le soleil individuellement. Aux angles d'incidence transversaux élevés, les bandes des miroirs parallèles s'égrènent / se bloquent les unes les autres.

– ***du récepteur*** : positionné au-dessus du miroir de Fresnel, il intercepte le rayonnement concentré. Les principaux composants du récepteur sont: le tube absorbeur et le miroir secondaire. Le champ de miroir primaire seul ne peut pas accumuler seul la puissance requise. L'idée est d'augmenter l'efficacité sans générer plus de pertes thermiques. Il est nécessaire d'ajouter un miroir secondaire au-dessus du tube absorbeur pour atténuer cette imprécision optique et améliorer le facteur d'interception. De plus, il augmente la largeur de la surface de la cible sans affecter le tube absorbeur. La configuration du miroir secondaire doit être adaptée pour concentrer le rayonnement entrant dans le tube absorbeur

– ***d'un réflecteur secondaire*** : qui concentre encore d'un facteur 1 à 3 le rayonnement. Il permet de réduire la surface de l'absorbeur, ce qui limite les pertes, par rapport aux performances de concentration du miroir de Fresnel. Il peut aussi contribuer à l'homogénéité

du flux de puissance collecté sur l'élément absorbeur. Il existe différents types de sur-concentrateurs. Ces dispositifs, ajoutés au récepteur, permettent d'augmenter le facteur de concentration du système. Ils rabattent le rayonnement
sur l'absorbeur qui peut ainsi être plus petit. On limite donc, par là même, les pertes thermiques. Les sur-concentrateurs font partie de la famille des dispositifs optiques non-imageants. Par Opposition aux systèmes optiques pour l'astronomie ou la microscopie, nous n'avons pas besoin d'obtenir une image précise de la source observée. Pour la concentration, ce qui importe est que l'ensemble du flux soit collecté dans la zone de l'absorbeur. L'approche est donc différente, quand il s'agit de concevoir les sur-concentrateurs.
Il en existe de plusieurs sortes.
– ***d'un élément absorbeur*** : souvent un tube, mais parfois, plusieurs tubes, voire une surface plane. Cet élément joue le rôle d'échangeur : le fluide caloporteur collecte l'énergie du rayonnement sous forme d'énergie thermique. Le matériau constitutif doit avoir un coefficient d'absorption élevé et d'émission faible afin de limiter les pertes par rayonnement. On utilise donc la peinture sélective pour améliorer ses propriétés thermiques. [10]
Outre les performances optiques, les performances thermiques sont également de la plus importance. Les pertes thermiques de la tubulure réceptrice sont une source importante de perte d'énergie, juste derrière les pertes optiques annuelles. La perte de chaleur de l'absorbeur provient d'un mécanisme complexe qui comprend la conduction, la convection et le rayonnement et dépend de plusieurs facteurs tels que le rapport de concentration, les propriétés du matériau, la température de fonctionnement et la géométrie de l'absorbeur. Avec le tube de verre unique avec le vide, les récepteurs de cavité avec les tubes simples ou multi représentent les typologies dominantes de récepteur. L'absorbeur n'est pas tourné et il est stable, le fait rend l'opération plus facile. [15]
Pour obtenir de bonnes performances de capteur, il est important que le rayonnement solaire atteigne autant que possible l'absorbeur ou l'ouverture du récepteur si nécessaire [22].
-Les pertes par convection dépendent principalement de la température de l'absorbeur et des conditions ambiantes. Par conséquent, l'absorbeur est protégé par une enveloppe de verre ou une plaque de verre, comme le montre la figure 1-3.La température de fonctionnement de la surface de l'absorbeur dans les applications solaires varie entre 40 °C et 500 °C (313 K et 773 K). La température effective du soleil est d'environ 6000 K
Dans les considérations de conception, il est important de savoir si un absorbant sélectif à faible émissivité est nécessaire pour l'application considérée. Une surface noire est beaucoup

moins chère à produire, et la fabrication locale d'une variante low-tech est possible, alors que les surfaces sélectives nécessitent une production à haut volume et des procédés de fabrication spécialisés .Cette considération est soutenue par l'observation que les températures moyennes du récepteur sont beaucoup plus faibles que pour les capteurs utilisés dans la production d'énergie solaire thermique. Par conséquent, l'émission dépendant de la température de la puissance thermique (loi de Stefan-Boltzmann) est beaucoup plus petite [31]

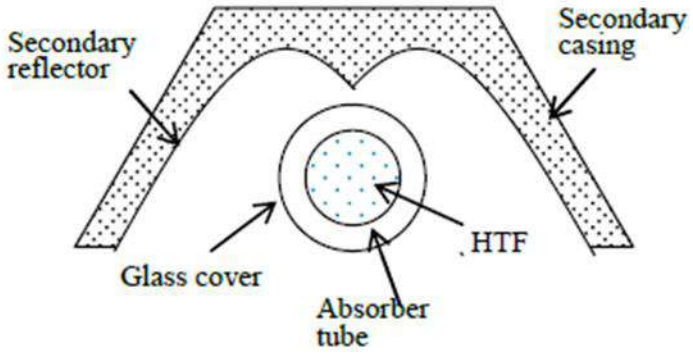


Figure 1 - 3 : La construction de l'assemblage du tube récepteur **[30]**

– ***d'une vitre***, qui assure une limitation des pertes radiatives. Transparente à la lumière visible, le verre est opaque aux Infra-Rouge (IR). Le rayonnement solaire entre dans le récepteur, mais les émissions des surfaces chaudes sont en grande partie bloquées par la vitre

Les miroirs actuellement utilisés pour les champs solaires linéaires de Fresnel sont bon marché et durables. Il s'agit de miroirs en verre recuit, avec traitement de la surface arrière pour obtenir les propriétés réfléchissantes.

Les miroirs solaires doivent être de qualité supérieure : leurs propriétés optiques et leur tenue dans le temps ont un fort impact sur la rentabilité du système. Les recherches actuelles second centrent donc sur l'amélioration de ces deux points.

Les miroirs doivent avoir une réflectivité importante et une spécularité la meilleure possible Leur durée de vie est également un critère essentiel. Les miroirs sont soumis aux intempéries. Ils doivent résister à la grêle, aux tempêtes de vent violent, de sable. Le revêtement doit être stable aux ultraviolets, résister au nettoyage mécanique et tenir à haute température (surtout pour le récepteur secondaire éventuel).Malgré toutes ces agressions, le miroir doit conserver ses qualités optiques pendant 10 ans, 20 ans et plus si possible. La production de la centrale en dépend. Et l'investissement serait significativement alourdi s'il fallait remplacer tous les miroirs au cours de la vie de la centrale. La qualité et la durée de vie des miroirs sont donc primordiales à la rentabilité de la centrale solaire [10].

- ***Systèmes de suivi*** : LFR ont seulement un suivi d'axe unique. Le mouvement des bandes miroir parallèles dépend uniquement de la trajectoire du soleil et non de la position du miroir. Chaque miroir suit le soleil individuellement, à la même vitesse angulaire. [21]

Le système de suivi est chargé de déplacer les miroirs du champ primaire. Il est généralement monté sur une structure de base. Il doit être précis et durable dans des conditions difficiles. La durée de vie attendue est comparable à celle du champ primaire (entre 20 et 25 ans). Le suivi du soleil est essentiel pour les concentrateurs solaires pour collecter l'énergie maximale du soleil [28].Idéalement, l'orientation du collecteur est nord-sud le long du plan longitudinal. Dans ce cas (Algérie), le système de suivi suit le mouvement apparent du soleil d'est en ouest. Le changement angulaire pour tous les miroirs est le même, ce qui signifie qu'un dispositif peut déplacer tous les miroirs dans le plan transversal. Le principe de conception est d'avoir un actionneur qui tourne tous les miroirs (dans le plan transversal) au moyen d'un couplage mécanique. Il existe des conceptions qui utilisent de nombreux actionneurs, permettant plus de flexibilité dans l'opération du collecteur (par exemple, certaines lignes peuvent être dé focalisées pour mieux contrôler la température de sortie). La décision est un compromis coûts-avantages. La Figure 1 - 4 montre un croquis de ces options [31].

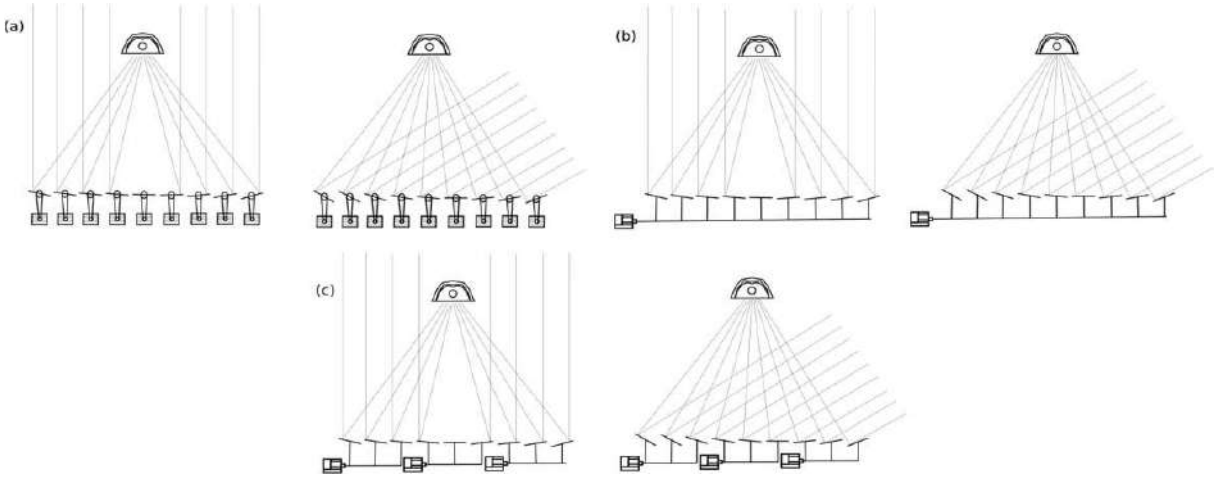


Figure 1 - 4: Croquis des systèmes de suivi. **A**: Chaque miroir est couplé à un actionneur, permettant un contrôle total sur chaque rangée. **B**: Tous les miroirs couplés à un actionneur. **C**: groupes de miroirs reliés à un actionneur [31]

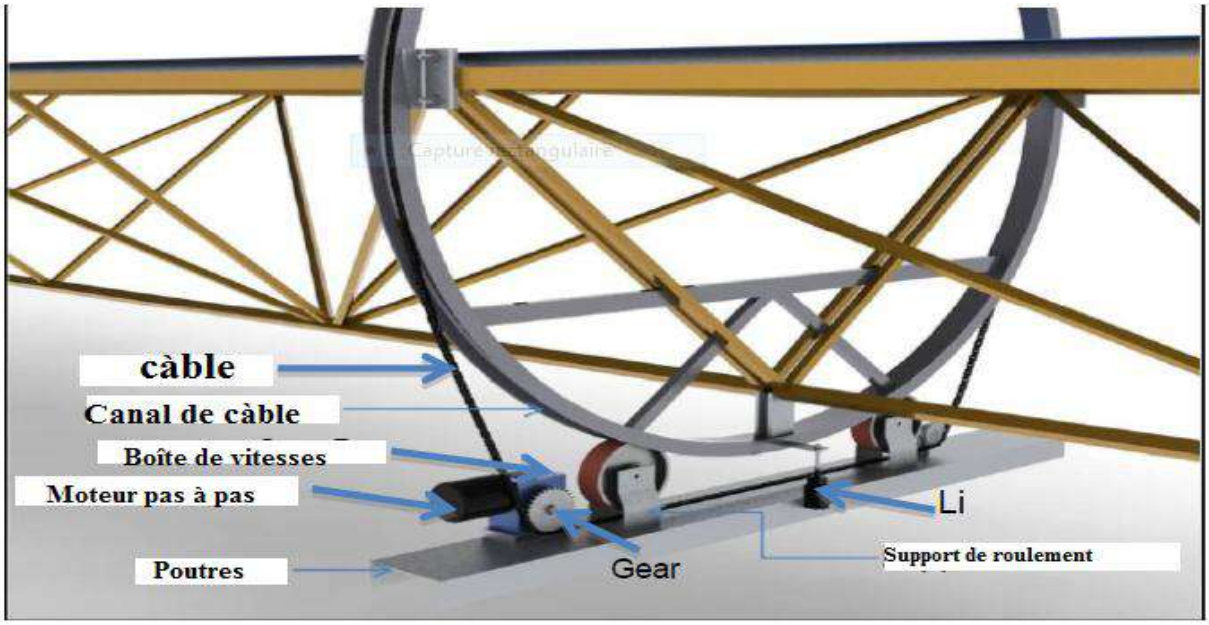


Figure 1 - 5: le montage d'un Système pour suivre le soleil de LFR [26]

Maintenance de Système pour suivre : Les chaînes, les pignons, les arbres dans les boîtes de vitesses et les rouleaux doivent être maintenus correctement graissés et huilés à l'aide de toute huile de marque. Un contrôle de routine doit être organisé une fois tous les 3 mois.

La tension sur les chaînes et les câbles d'arrêt du vent doit être maintenue de telle sorte que les chaînes et les câbles n'entravent pas la rotation des réflecteurs.

Si le réflecteur à du mal à tourner, il faut vérifiez la résistance mécanique causée par le blocage des rouleaux par des objets étrangers ou par une défaillance mécanique du système de suivi. Effacer les obstacles autour des pièces / joints rotatifs pour faciliter la rotation du réflecteur **[26].**

Structure de support de miroir : Les éléments en acier galvanisé doivent être inspectés une fois tous les 6 mois pour tout dommage et corrosion. Dans le cas où une corrosion des éléments en acier est détectée; la zone touchée doit être nettoyée et le revêtement de zinc doit être mis au rebut avec un papier émeri. Après la mise au rebut, cette zone doit être nettoyée avec un détergent industriel et repeinte avec un apprêt riche en zinc et de la peinture à l'aluminium ou avec un aérosol riche en zinc [23]

Le cadre en A : s'assurer que les pattes du cadre en A, les haubans en acier, Les joints boulonnés et les joints soudés sont exempts de corrosion et de dommages externes.

Les tendeurs des haubans doivent être bien huilés et graissés. Un contrôle de routine devrait être organisé pour l'étanchéité des haubans une fois par an en fonction des conditions climatiques [23]

Fluides caloporteurs et fluides de travail : Dans les concentrateurs linéaires de Fresnel, le rayonnement solaire est réfléchi et concentré par un champ de miroirs de Fresnel dans un récepteur. Un tube dans le récepteur avec de l'eau en circulation reçoit ce rayonnement et de la vapeur est produite [24].

-Les fluides de travail les plus utilisés dans les collecteurs de Fresnel sont les huiles thermiques comme Therminol VP1, Dowtherm A, Syltherm 800, Sandotherm, etc., alors qu'il existe aussi des applications avec production directe de vapeur. Au cours des dernières années, beaucoup de recherches ont été axées sur l'utilisation des sels fondus dans les LFR, car ces fluides de travail peuvent également être utilisés comme milieux de stockage. De plus, les sels fondus peuvent fonctionner jusqu'à 550^{o}C-600^{o}C, ce qui donne la possibilité de meilleures performances de CSP, comparé aux huiles thermiques qui atteignent jusqu'à 400^{o}C [10]. Cependant, l'opération avec des sels fondus exige une conception soignée en raison de problèmes tels que le danger de solidification à basse température. La prochaine génération de fluides de travail comprend du sodium liquide et du dioxyde de carbone supercritique deux fluides de travail capable de fonctionner à des températures extrêmement élevées. Le sodium liquide peut fonctionner jusqu'à 900^{o}C son fonctionnement présente de nombreux dangers liés aux réactions du sodium avec l'eau et l'air. Cependant, les connaissances des sciences nucléaires doivent être exploitées pour concevoir des systèmes solaires avec du sodium liquide comme fluide de travail .L'utilisation de dioxyde de carbone supercritique donne la possibilité de fonctionner à des niveaux de température supérieurs à 1000^{o}C si le capteur approprié existe .Mais, les niveaux de haute pression de 200 bars dans de nombreux modèles sont une tâche exigeante qui doit être prise en compte.

Dans ce dernier, nous concluons ce qui suit :

-Le sodium liquide est trouvé plus efficace que le sel fondu avec une petite différence [25].

L'eau et les huiles thermiques sont les fluides les plus utilisés actuellement. L'eau comme simple caloporteur montré ses limites: température peu élevée, échangeur-évaporateur pour produire la vapeur. Les huiles ont aussi leurs limites en température. Le risque de pollution conduit aussi à écarter les huiles thermiques. Les recherches se concentrent donc sur les alternatives les plus sérieuses : la génération directe de vapeur, l'air sous pression (ou autre gaz), les sels fondus [10].

	Avantages comparés aux huiles	Inconvénients comparés aux huiles
Génération directe de vapeur	Système simple Température de travail plus élevée Risque nul de pollution ou incendie	Manque de système de stockage adapté Contrôle du champ solaire plus compliqué Champ solaire à plus haute pression
Gaz sous pression	Température de travail plus élevée Amélioration du stockage thermique Risque nul de pollution ou incendie	Mauvais échange thermique du récepteur Contrôle du champ solaire plus compliqué Champ solaire à plus haute pression
Sels fondus	Stockage thermique plus efficace Température de travail plus élevée Risque nul de pollution ou incendie	Pertes thermiques plus élevées la nuit Champ solaire plus compliqué Consommation électrique plus élevée

Tableau 1 - 1 : Tableau récapitulatif : comparaison des fluides de travail pour la concentration linéaire [10]

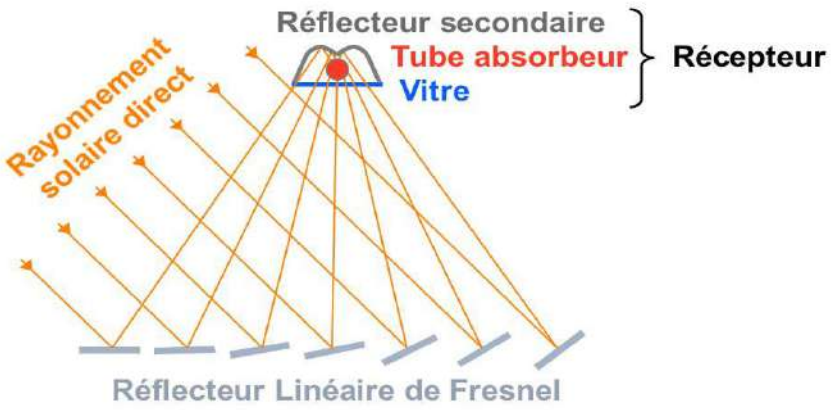


Figure 1 - 6: Principe d'un concentrateur à Réflecteur Linéaire de Fresnel **[10].**

Il existe plusieurs types de récepteurs linéaires ; nous en dresserons une liste non exhaustive dans la partie suivante**.**

1.3.1.1 Le récepteur en V

Dans ce récepteur, les tubes absorbeurs sont disposés suivant la configuration en forme de V d'où la nomenclature du récepteur en V (voir Figure1-7). Le récepteur en cavité V est constitué de 10 tubes de 10 mm de diamètre intérieur, 12 mm de diamètre extérieur et de longueur 6,2 m, l'ensemble est monté à 1,5 m de hauteur au-dessus des miroirs. Afin de minimiser les pertes par convection et par rayonnement, la surface extérieure des tubes a été enduite par un revêtement en peinture de couleur noire avec un coefficient d'absorptivité de 0,9 et une réflectance de 0,1, recouvert en avant par une vitre de 2 mm d'épaisseur dont la

réflectance est de 0,07 ; sa transmittance est de 0,92. Les propriétés optiques du réflecteur principal dont la valeur est de 0,03 pour l'absorptance et de 0,97 pour la réflectance. Les simulations numériques et des expériences pratiques ont été réalisées. Ce récepteur offre des meilleures options pour des températures moyennes de 90 °C à 150 °C [9].

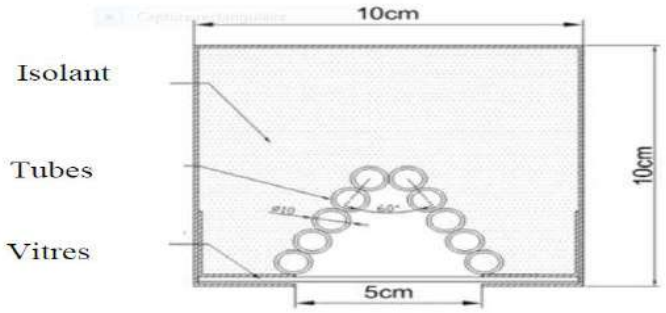


Figure 1 - 7: Schéma d'un récepteur en V [9].

Il existe d'autres configurations du récepteur en V. Dans cette technologie les tubes sont aussi disposés en formant un V. Le récepteur est situé sur l'axe focal des réflecteurs comme l'illustré par la Figure 1-8 [9].

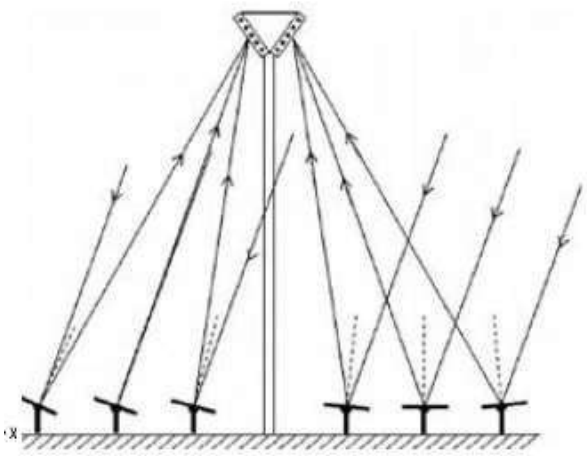


Figure 1 - 8: Concentrateur à récepteur en V [9].

1.3.1.2 Le récepteur trapézoïdal

Un récepteur trapézoïdal est défini par la géométrie de son réflecteur secondaire qui a une forme trapézoïdale comme le montre la Figure 1-9.

Le récepteur trapézoïdal étudié par (S. Flores Larsen et al). Est un banc expérimental constitué de : 5 tubes de Di=25 mm et De=33 mm recouvert d'une peinture noir d'émissivité 0,88 [9].

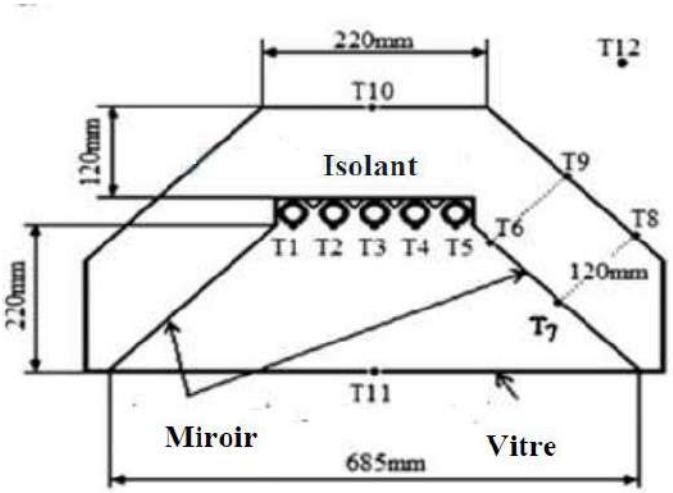


Figure 1 - 9:Récepteur trapézoïdal [9].

Il existe aussi les récepteurs trapézoïdaux avec surface absorbante rectangulaire comme l'illustre la Figure 1-10.

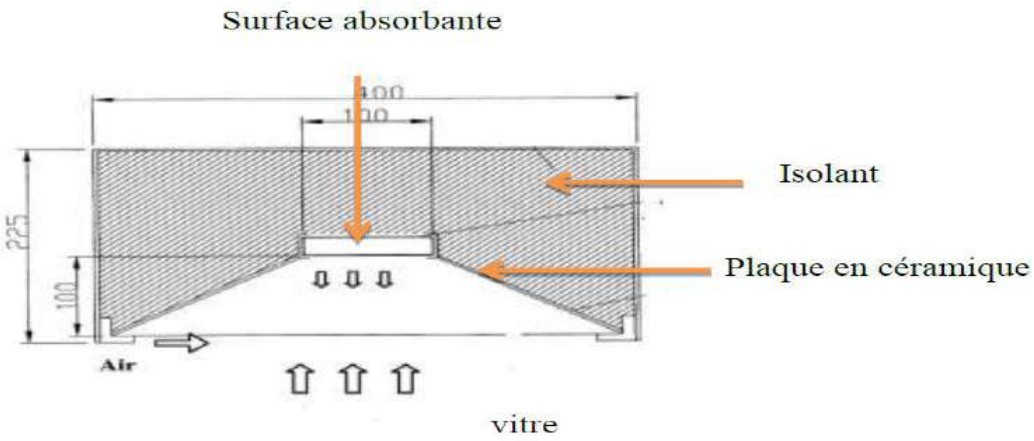


Figure 1 - 10:Récepteur trapézoïdal avec surface absorbante rectangulaire [9].

1.3.1.3 Récepteur monotube sous vide

Le récepteur est composé d'un tube absorbeur, d'une plaque en verre, d'un réflecteur secondaire. Les récepteurs monotubes sous vide sont utilisés principalement dans les centrales

cylindro-paraboliques. Ils sont parfois utilisés dans les petites centrales de type de Fresnel. Le réflecteur secondaire a pour caractéristique d'accepter tous les rayons réfléchis par le concentrateur (voir Figure 1-11) [9].

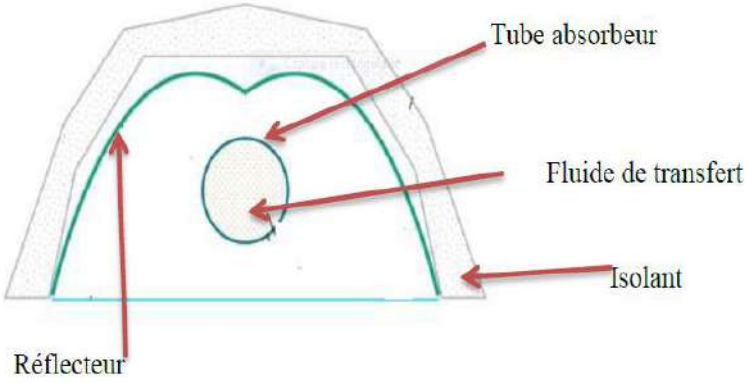


Figure 1 - 11: Récepteur monotube sous vide [9].

1.3.1.4 Concentrateur à récepteur horizontal

Dans cette technologie le récepteur est disposé horizontalement. Cette disposition permet de Collecter le maximum illustré par le flux lumineux en provenance des miroirs (Figure1-12) [9].

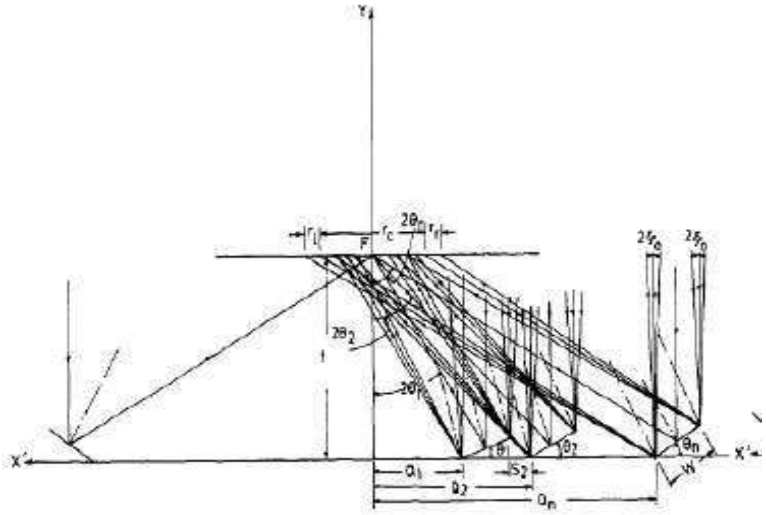


Figure 1 - 12: Concentrateur à récepteur plat horizontal [9].

1.3.1.5 Concentrateur à récepteur vertical

Le récepteur est disposé verticalement et reçoit le flux lumineux des réflecteurs. Les miroirs

sont disposés à réfléchir le maximum de flux vers le récepteur (voir Figure 1-13) [9].

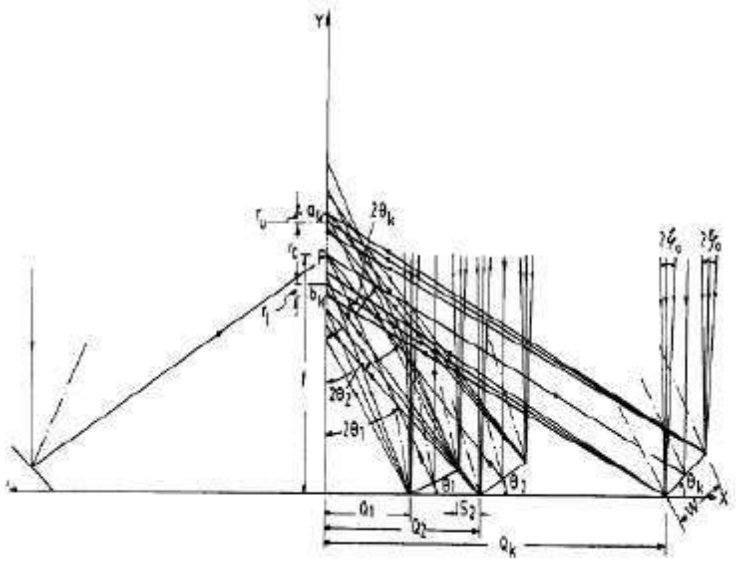


Figure 1 - 13: Concentrateur à récepteur vertical [9].

1.3.2 Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement de ce type de capteur à concentration repose sur un système de miroirs plans, comme indiqué sur la figure1-14.

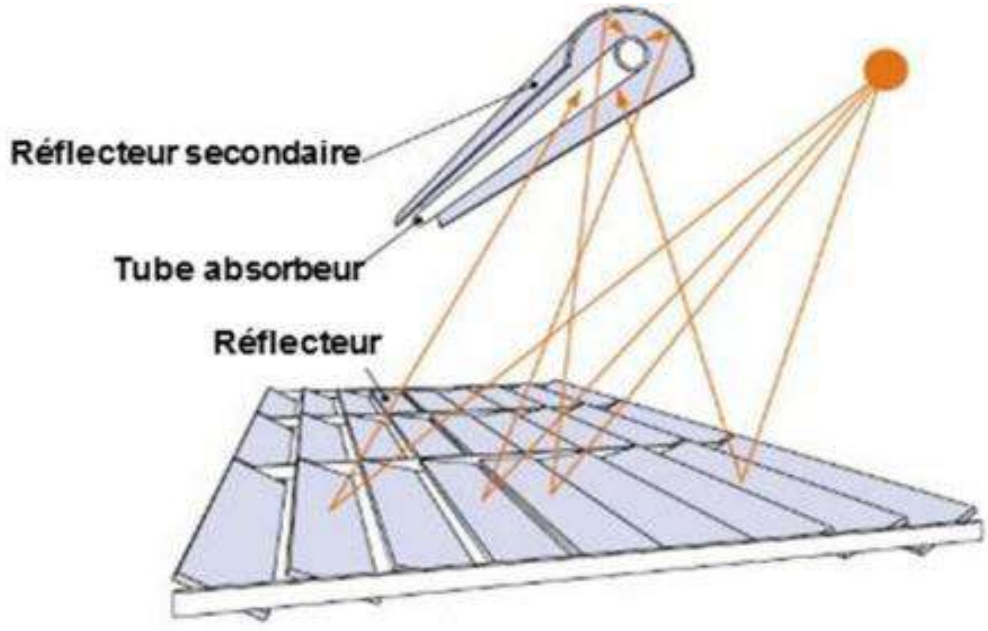


Figure 1 - 14: Principe de fonctionnement des miroirs de Fresnel [11].

Un premier étage de réflecteur est installé sur le sol. Le rayonnement est réfléchi au foyer de la parabole approximée par le jeu de miroirs. Un deuxième étage de réflecteurs redirige le rayonnement vers le tube récepteur.

Ce second étage de réflecteurs, en plus de réfléchir le rayonnement, joue aussi le rôle d'isolant pour le tube récepteur. Il est en effet recouvert d'une importante couche d'isolation en sa partie supérieure. La partie inférieure est quant à elle isolée par une vitre [11].

Dans ce principe du concentrateur de Fresnel, Chacun des miroirs peut pivoter en suivant la course du soleil pour rediriger et concentrer en permanence les rayons solaires vers un tube ou un ensemble des tubes récepteurs linéaires fixes. En circulant dans ce récepteur horizontal, le fluide thermodynamique peut être vaporisé puis surchauffé jusqu'à 500 °C. La vapeur alors produite actionne une turbine qui produit de l'électricité. Le cycle thermodynamique est généralement direct, ce qui permet d'éviter les échangeurs de chaleur [14].

1.4 Les concentrateurs a types Fresnel

1.4.1 Concentrateur Linéaire de Fresnel Compact

D. Mills a montré l'intérêt de disposer de plusieurs lignes focales en parallèle. En effet, le rayonnement peut être réfléchi sur plusieurs lignes focales alternativement. La collecte et la répartition de la lumière sur les récepteurs peut ainsi être optimisée. La figure 1.15 illustre le principe du concept de Concentrateur linéaire de Fresnel Compact (CLFR) [10].

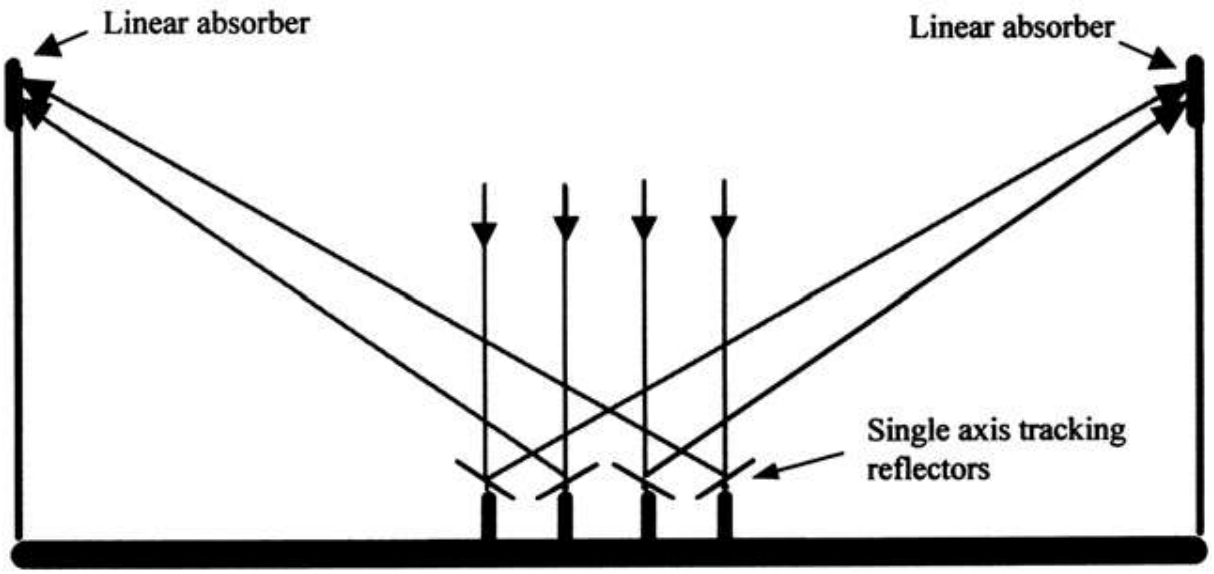


Figure 1-15: Concept de concentrateur Linéaire de Fresnel Compact [10].

1.4.2 Concentrateur de Fresnel à miroirs fixes

On peut imaginer un concentrateur où les miroirs sont fixes et le récepteur est mobile.

Ce concept original a été mis en œuvre dans les années 1980. Nommé COSS pour "Capteur

Optique Solaire Segmenté", il s'agit d'un concentrateur linéaire où seul le récepteur est mobile. L'optique est constituée de bandes de miroirs parallèles, orientés différemment, d'où l'affiliation aux optiques de Fresnel. La figure 1-16 montre une section du concentrateur : les miroirs sont disposés sur l'arc de cercle et le récepteur se déplace pour suivre le foyer optique, en fonction de la position du soleil. Le balancier correspond à un système de contre-poids, pour assurer l'équilibre du récepteur. La centrale de Vignola, en Corse, a été construite selon ce principe. Des recherches et expérimentations ont été menées, mais aucune application actuelle ne semble s'inspirer de ces travaux.

Ce système semble particulièrement robuste aux intempéries et tempêtes. Seul le récepteur est mobile, ce qui peut simplifier le système du suivi solaire. Les connexions du récepteur devront être flexibles, comme dans la plupart des centrales cylindro-paraboliques. Cette technologie peut en particulier présenter un intérêt dans les zones à fortes contraintes climatiques. En cas de vents violents, il est possible de protéger plus facilement le récepteur[10].

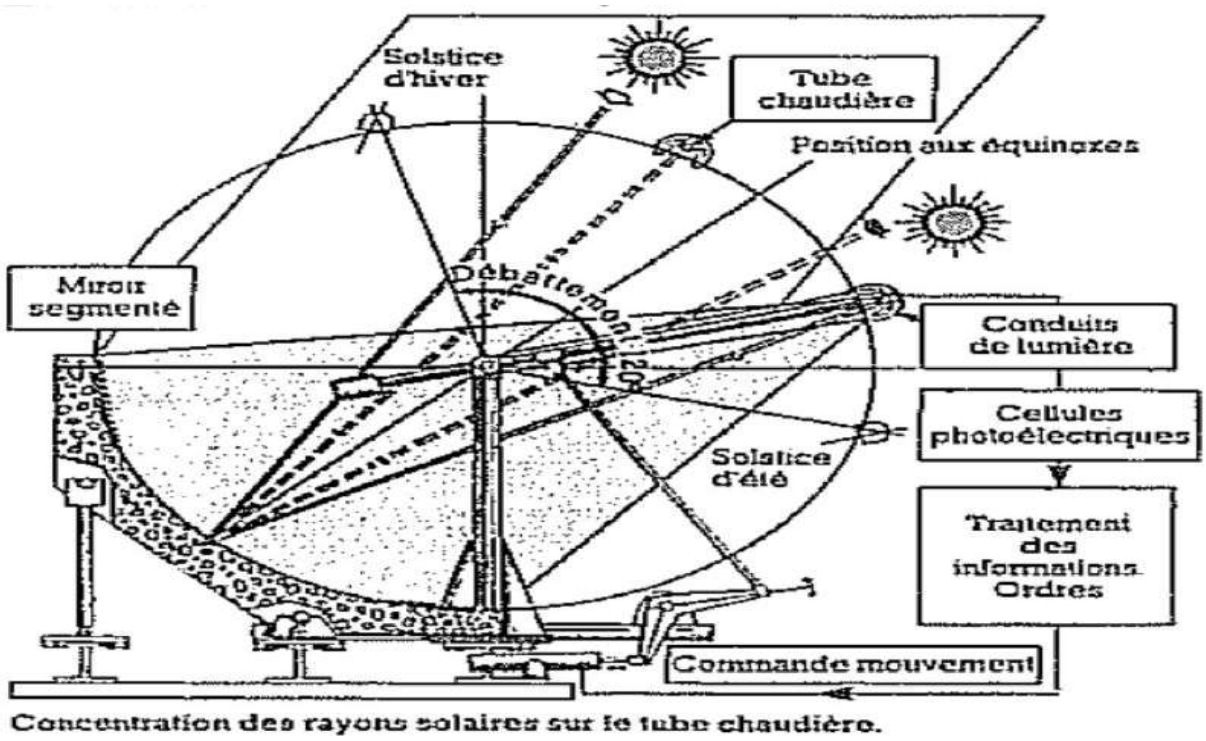


Figure 1- 16 : Principe de l'optique COSS **[10].**

1.5 Centrales opérationnelles dans le monde par la technologie de concentration linéaire de Fresnel :

On peut s'attendre à beaucoup de travail de test et d'amélioration des différents designs. Ils sont encore très sujets à évolutions, vu le peu de retours d'expériences. En 2004, une première installation solaire avec LFR (1MWe) est couplée avec la centrale électrique de Liddell en Australie (2000MWeà base de charbon). En 2008, une deuxième phase de ce projet est mise en service portant la puissance électrique d'origine solaire à 3MWe. Le prototype FresDemo (1433m^2, 800 kW_{th}), construit à la "Plataforma Solar de Almeria" (PSA) par SPG, est opérationnel depuis 2007. Une autre centrale de démonstration a été mise en service en 2008, par Ausra à l'époque : il s'agit de la centrale solaire Kimberlina (26 000m^2, 5MWe), en Californie. En avril 2009, c'est en Espagne que la première centrale LFR commerciale, PuertoErrado I (PE1, 1; 4MWe), a été connectée au réseau. Une deuxième centrale PE2 (302 000m^2, 30MWe) est en cours de construction depuis le deuxième trimestre 2010. Ces premières centrales LFR sont très importantes, car elles fournissent les premiers résultats expérimentaux. On peut ainsi confronter ces résultats aux prédictions des simulations. L'expérience concrète du fonctionnement des centrales est aussi très précieuse. Cela permet d'optimiser les stratégies de contrôle du système. Ces résultats permettent également de comparer les différentes voies technologiques. En particulier, on peut analyser les performances relatives des concentrateurs linéaires de Fresnel par rapport au Cylindro-Parabolique (PT). On ne sait toujours pas aujourd'hui laquelle de ces deux technologies donnera les meilleurs résultats en termes de coût d'électricité produite. Il apparaît que les deux filières sont difficiles à départager. A l'heure actuelle, à leur niveau de développement, la qualité de l'installation joue plus que les choix techniques. Un bon système LFR sera meilleur qu'un mauvais cylindro-parabolique et réciproquement.

Il est indéniable que ces dernières années, l'intérêt pour la technologie LFR monte en puissance. Le congrès SolarPACES est un bon indicateur de l'activité sur les LFR. Jusqu'en 2008 classée dans les "concepts émergents".

Les principaux fabricants de centrales LFR sont au nombre de six : NovatecSolar, Areva Solar, Solar Power Group, IndustrialSolar, Heliodynamics et CNIM. Plusieurs centrales sont ainsi en construction et certaines déjà en exploitation, depuis plusieurs mois ou années. Les applications ne se limitent pas aux centrales électro-solaires. Des solutions visent la production de chaleur ou de froid pour l'industrie ou le bâtiment. Les unités sont alors de plus

petites puissances. Des applications en cogénération sont aussi possibles et seraient pertinentes [10].

1.6 Recherche et développement des systèmes a concentration linéaire de Fresnel :

Parallèlement au développement de centrales solaires de taille utilitaire au cours des dernières années, les normes d'essais d'acceptation de performance se construisent progressivement. D'une part, l'American Society for Testing and Materials (ASTM) a codifié une méthode d'essai standard E2848 pour les centrales photovoltaïques (PV) ,d'autre part les procédures d'essai des collecteurs solaires à chauffage par fluide sont définies par la norme ISO 9806-2013 pour les systèmes solaires thermiques .Dans le cadre de la tâche I de SolarPaces concernant les centrales à concentration d'énergie solaire (CSP),les directives d'essais fournies par le Laboratoire national des énergies renouvelables (NREL)[16].Les centrales solaires thermiques, en particulier les centrales solaires à concentration (CSP), ont fait l'objet de plusieurs programmes de recherche la dernière innovation est basée sur les usines des réfracteurs linéaires de Fresnel (Mills et Morrison (2000),où se concentrent de grands ensembles des réfracteurs modulaires. Rayonnement du faisceau vers un récepteur stationnaire à plusieurs mètres de hauteur (figure 1.15),contenant un réfracteur de deuxième étage concentrant tous les rayons entrants à un absorbeur tubulaire, dû par l'eau ou un autre fluide de travail[17].Mathur et al (1991) ont présenté des informations détaillées sur les conceptions optiques du concentrateur solaire LFR avec trois géométries différentes: des récepteurs horizontaux, plats verticaux et tubulaires.(Negi et Al., 1990) a été réalisée le rapport de concentration a été déterminé en utilisant une technique d'analyse et de tracé de rayons. Suite à cela, la conception optique et la performance d'un collecteur solaire LFR avec un récepteur vertical plat [18].

(P L. Singh et Al).Ont développé une simulation d'un prototype de capteur solaire linéaire de Fresnel avec un nombre variable de bandes réfléchissantes. L'efficacité globale de la conception optimisée a été étudiée. Ils ont évalué un LFSC avec 10, 15 et 20 miroirs. Les chercheurs ont constaté que l'augmentation du nombre de miroirs affecte directement le temps nécessaire pour atteindre la température stagnante. Néanmoins, l'efficacité globale du capteur diminue avec l'augmentation de la surface réfléchissante. L'étude montre que le nombre de miroirs optimal doit être compris entre 10 et 15 avec une largeur de miroir optimale entre 10 et 12 cm. Une autre étude réalisée par SKY FUEL (Sunrise of Solar Power) inclut le

développement d'un capteur solaire Linéaire Fresnel considéré pour le sel fondu direct qui est comparé à un creux parabolique en utilisant le logiciel ASAP Ray-Tracing.

(Jie He et Al).Ont développé une conception optique d'un LFSC. Une nouvelle méthode de conception a été utilisée pour évaluer l'efficacité du miroir, grâce à l'étude de l'influence de la variation des paramètres géométriques sur l'efficacité optique. Une nouvelle approche du LFSC à deux axes a été expérimentée et évaluée par D.Chemisana et Al. Ils ont démontré que de nombreux facteurs de fabrication jouent un rôle important sur la qualité optique tels que: les contraintes de structure métallique, la torsion, la flexion et l'affaissement [21].

La technique de traçage a été utilisée pour étudier la distribution du rapport de concentration locale sur la surface du destinataire.

(Zhai2010) a estimé l'efficacité thermique et optique pour quatre types de récepteurs de cavité avec des lentilles linéaires de Fresnel comme concentrateurs.

(Panna Lal Singh et Al.2010) a été une étude comparative a été entreprise pour évaluer la performance thermique des quatre absorbeurs à cavité trapézoïdale identiques pour un dispositif solaire à réflexion de Fresnel linéaire.

(Martin Haagen (2012)) a présenté l'estimation de la possibilité de générer de la chaleur solaire pour les processus industriels avec des collecteurs linéaires de Fresnel [18].

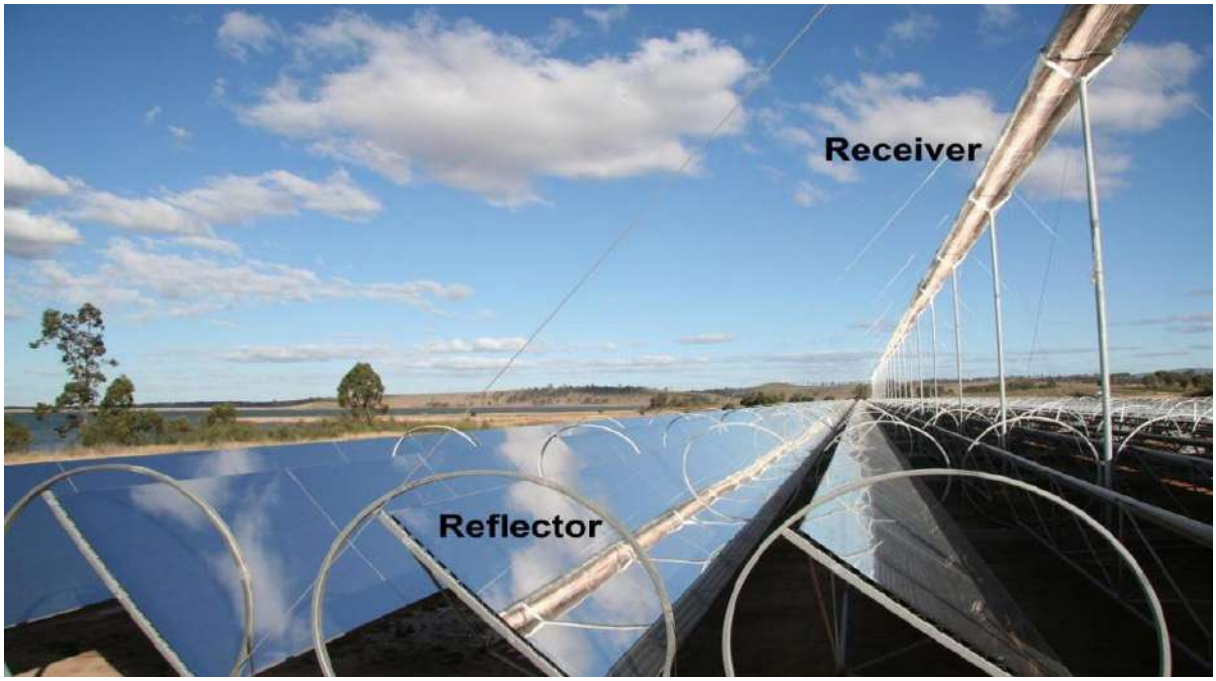


Figure 1 - 15: Centrale électrique à réfracteur linéaire Fresnel (avec l'aimable autorisation du département des médias d'Ausra) [17].

Mais il y a encore un grand défi à relever pour améliorer l'efficacité thermique et optique.

À cet effet, plusieurs groupes de recherche ont étudié les variations de la géométrie du collecteur. Comme la forme du réflecteur secondaire est particulièrement critique pour déterminer la puissance solaire captée par le tube absorbeur.

(Hack et Al). Ont développé une nouvelle méthode adaptative pour optimiser la forme du réflecteur secondaire. (Canavarroet Al) Ont utilisé la méthode multi-surface simultanée (SMS) pour étudier un nouveau concentrateur de Fresnel avec un récepteur tubulaire. Deux ans plus tard, le même groupe présentait un nouveau concentrateur de type elliptique composé avec un récepteur tubulaire qui pouvait être ajusté aux concentrateurs linéaires [15].

(Abbas et Al) a examiné les variables de conception du réflecteur LFC et un modèle de ray-tracing a étudié le flux de rayonnement obtenu dans le récepteur plat en utilisant différentes formes de réflecteurs primaires et analysé chaque variation le long de l'année. Sur la base d'une propriété optique nouvellement formulée, une nouvelle approche a été développée pour optimiser les réseaux de Fresnel et une nouvelle disposition des réflecteurs primaires visant à maintenir l'uniformité du rayonnement atteignant le récepteur.(Osorio et al)Ont présenté des résultats de la comparaison d'outils logiciels de tracé de rayons sous une conception commune d'un collecteur linéaire de Fresnel avec des réflecteurs primaires incurvés, un réflecteur secondaire CPC et un récepteur de tube à vide.(Heimsath et Al)Ont publié les résultats d'un collecteur linéaire de Fresnel quantifiant les pertes optiques géométriques et matérielles du cœur(absorbeur).

(Zhu) a présenté une méthode optique analytique (First OPTIC) améliorée par le retour d'expérience des mesures en laboratoire. Cette approche intègre l'erreur de pente des réflecteurs, l'erreur de position du récepteur et l'erreur de suivi du collecteur en tant que modifications géométriques du collecteur.

Plus récemment, (Moghimi et Al). Ont utilisé la méthode des volumes finis dans le CFD pour effectuer à la fois le modelage par rayons et le transfert de chaleur d'un LFR. Il a été démontré que la méthode des ordonnées discrètes peut également fournir une solution précise. La précision de cette méthode a été évaluée dans le cadre d'une simulation de lancer de rayon de Monte Carlo et une bonne corrélation a été obtenue.

(Craig et Al)Ont modélisé le récepteur en utilisant le CFD, à travers le traitement en volume fini de l'équation de transfert radiatif et une approche par spectre en bandes. La validation de cette méthode a été mise en œuvre à travers des cas de tests issus de la littérature et du ray-tracing et un bon accord a également été trouvé [15].

1.7 Conclusion

Bien que l'idée de concentration Linéaire de Fresnel ait plus d'un siècle, la technologie est encore jeune. Mais la recherche est en pleine effervescence. Et les premières applications commerciales commencent à apparaître. De nombreux acteurs s'intéressent à la technologie et développent des solutions techniques.

La technologie linéaire de Fresnel se distingue des concentrateurs paraboliques par sa simplicité, qui permet de réduire les coûts. Les performances cependant inférieures ne permettent pas d'affirmer avec certitude quelle technologie sera la meilleure à l'avenir. En cette période où l'investissement est difficile, l'avantage irait plutôt aux technologies qui limitent l'investissement. Pour un même coût d'électricité produite, on préfèrera la technologie la moins cher à l'investissement.

Chapitre 2 : Principes généraux et théorie des systèmes solaires à concentration linéaire

2.1 Introduction :

L'énergie émise par le soleil voyage jusqu'à la terre sous forme de rayonnement électromagnétique. Ce rayonnement possède une gamme de fréquences différentes. La quantité d'énergie disponible au cours du trajet entre le soleil et l'atmosphère extérieur de la terre est égale à environ 1367w/m^2. Il en résulte qu'au cours d'une journée ensoleillée, la quantité disponible à la terre dans la direction du soleil est généralement plus ou moins de 1100w/m2. L'énergie solaire disponible est principalement en fonction de la position du soleil dans le ciel et de la nébulosité. Sur une base mensuelle ou annuelle, la quantité d'énergie solaire disponible dépend également de l'emplacement géographique. De plus l'énergie Solaire utilisable dépend de l'énergie solaire disponible [19].

Le rayonnement solaire incident à la surface de la terre est le résultat d'interactions complexes de l'énergie entre l'atmosphère et la surface. A l'échelle mondiale, les gradients latitudinaux de rayonnement sont causes par la géométrie de la terre et sa rotation autour du Soleil. A des échelles régionales et locales, le terrain est le principal facteur à modifier la répartition du rayonnement [22].

La ressource de base la plus importante pour tous les potentiels énergétiques renouvelables est l'énergie solaire, c'est le rayonnement émis dans toutes les directions par le soleil, et que la terre reçoit à raison d'une puissance moyenne de 1,1 kW/m², pour une surface perpendiculaire à la direction terre-soleil. Ce flux solaire est atténué lors de la traversée de l'atmosphère par absorption ou diffusion, suivant les conditions météorologiques et la latitude du lieu au niveau du sol.

Afin d'exploiter au mieux cette ressource énergétique et pour un bon dimensionnement des installations solaires, il est nécessaire de connaître la quantité de l'énergie solaire disponible à un endroit spécifique à chaque instant de la journée et de l'année [20].

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivent l'évolution du rayonnement solaire disponible dans un site donné et au cours d'une période donné son évolution peut se faire à partir des données de l'irradiation solaire globale.

L'étude du gisement est le point de départ de toute investigation. Cette étude est très indispensable dans le domaine de l'énergie solaire afin de simuler le fonctionnement probable Du système énergétique, de s'assurer de son intérêt et de sa faisabilité [19].

2.2 Gisement solaire mondial et Gisement en Algérie

2.2.1 Gisement solaire mondial

Les systèmes solaires à concentration collectent uniquement le rayonnement solaire direct, alors que les systèmes plans non concentrateurs captent également le rayonnement diffus. La part de rayonnement direct dans le rayonnement total dépend de l'épaisseur et de la nature de l'atmosphère traversée. Une faible latitude, une altitude élevée, une faible teneur en gouttelettes, poussières ou aérosols favorisent la transmission directe du rayonnement. Le rayonnement solaire direct représente entre 50% et 90% de la totalité du rayonnement solaire Plus abondante dans une zone géographique appelée communément la ceinture solaire indiquée dans la figure 2.1.

Un calcul simple montre qu'en appliquant un rendement de conversion énergétique de 10%, une surface de collecteurs de 550 000 km² recevant un ensoleillement direct annuel de 2200 kWh/m² fournirait à elle seule 10,4 Gtep/an, c'est-à-dire l'équivalent des besoins mondiaux en énergie [19]

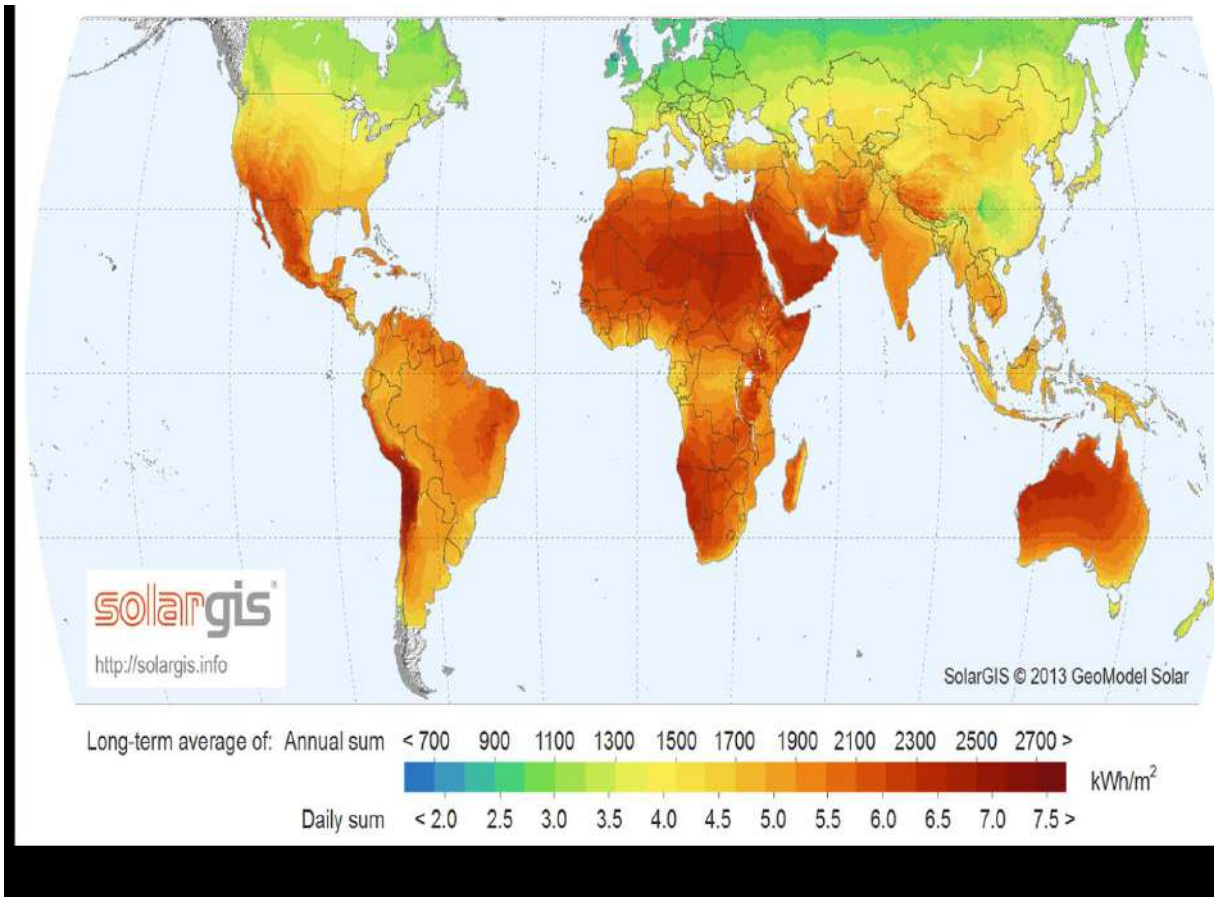


Figure 2- 1: Les données annuelles sur le rayonnement solaire en m^2 pour le monde en 2013 [20]

La ressource solaire n'est pas le seul élément de sélection des sites potentiels d'implantation de centrales solaires. En effet, un terrain à faible déclivité et exempt d'espaces naturels protégés ou de zones industrielles ou habitées est nécessaire .On a recours parfois à des images par satellites afin de mieux évaluer le potentiel des technologies solaires à concentration pour la production d'électricité [19].

2.2.2 Gisement solaire en Algérie

L'Algérie possède non seulement l'une des réserves de gaz les plus importantes au monde, mais possède également d'énormes ressources d'énergie renouvelable. L'Algérie a développé sa propre stratégie nationale pour le développement de l'énergie renouvelable

Les objectifs sont d'assurer un passage des hydrocarbures à une énergie durable sans dommages environnementaux. Heureusement, la situation géographique de l'Algérie présente plusieurs avantages pour l'utilisation intensive de l'énergie solaire. L'Algérie bénéficie de conditions climatiques favorables telles que l'ensoleillement abondant tout au long de l'année, la faible humidité et les précipitations, la disponibilité de l'eau et de nombreux terrains plats inutilisés à proximité des réseaux routiers et des réseaux de transport

Selon l'étude de l'Agence allemande de l'aérospatiale (DLR) basée sur l'imagerie satellitaire, l'Algérie, avec ses 1.787.000 km2, possède le plus grand potentiel terrestre à long terme pour la centrale solaire thermique à concentration dans le bassin méditerranéen. Exposition annuelle au soleil équivalente à 2500 kWh / m2. La durée moyenne d'ensoleillement annuel varie d'une valeur basse de 2650h sur la ligne côtière à 3500h au sud [20]

La figure 2.2 représente le Gisement solaire en Algérie

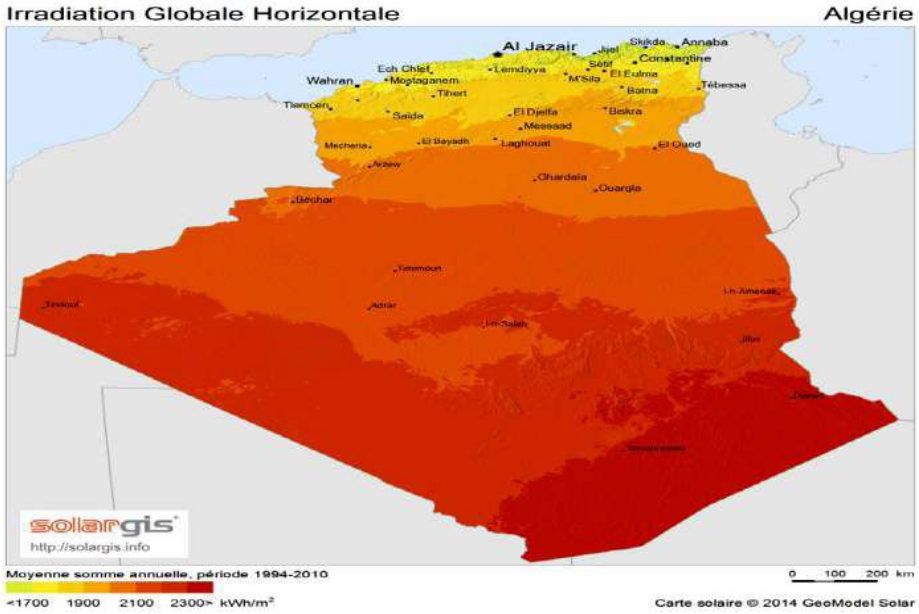


Figure 2- 2: Gisement solaire en Algérie [22]

Le tableau 2-1, représente ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques

Régions	**Régions côtière**	**Hauts plateaux**	**Sahara**
Superficie (%)	40	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (h/an)	2650	3000	3500
Énergie moyenne reçue ($kWh/m^2/an$)	1700	1500	2650

Tableau 2- 1: Ensoleillement reçu annuellement en Algérie par région climatique [24]

Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découvert à Hassi R'Mel. En effet, des opportunités exceptionnelles se présentent au niveau de toute la région pour exploiter le gigantesque gisement d'énergie solaire du Grand Sahara [24].

2.2.3 Réseau météorologique de l'Algérie

L'Algérie a une zone ensoleillée avec un ensoleillement annuel moyen variant entre 2600 h / an au nord et 3500 h / an au sud Cependant, le nombre de stations météorologiques (56 stations) est faible par rapport à la superficie totale de l'Algérie (plus de 2 millions de km^2).
De plus, la figure 2.3montre la situation des stations sur la carte de l'Algérie. Il est clairement démontré que la plupart des stations sont situées dans le nord et les hauts plateaux. Cependant, leur nombre est négligeable dans le sud (région du Sahara) où les valeurs de rayonnement solaire sont élevées. Par conséquent, nous avons considéré que la densité de ce réseau est faible et il ne donne pas beaucoup d'informations sur la quantité de rayonnement solaire en Algérie. [20]

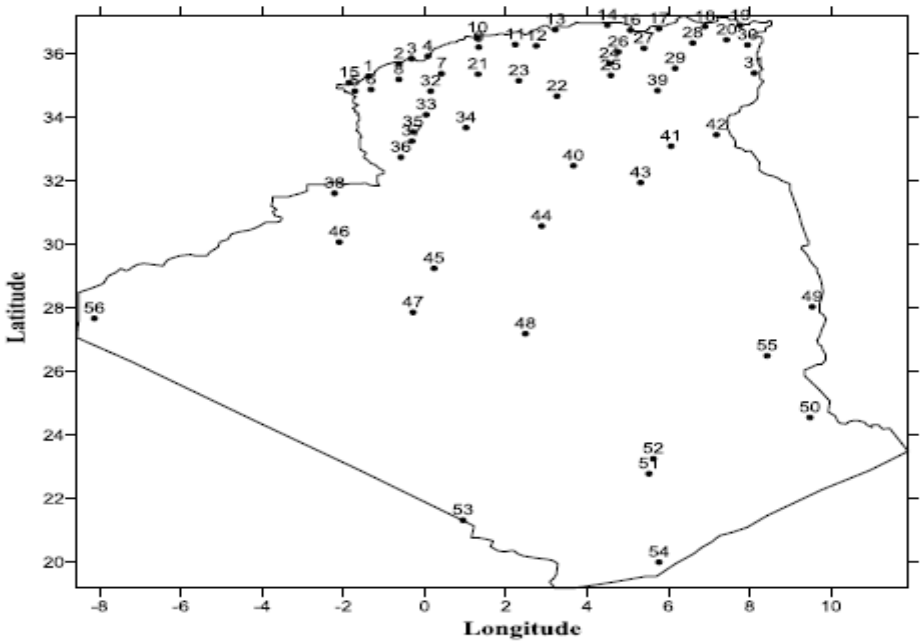


Figure 2- 3: Stations météorologiques sur l'Algérie [20].

2.3 Théorie de rayonnement solaire

C'est un rayonnement thermique qui se propage sous la forme d'onde électromagnétique. En dehors de l'atmosphère terrestre, il donne un éclairement énergétique a peu près constant et égale à 1367w/m^2, appelé de ce fait constante solaire [38].
Le rayonnement solaire se divise en plusieurs rayonnements, direct, diffus, réfléchis à partir des conditions physiques quel que soit l'atmosphère (les caractéristiques de l'atmosphère soit massique ou thermique) à travers l'année, figure 2.4 [22].

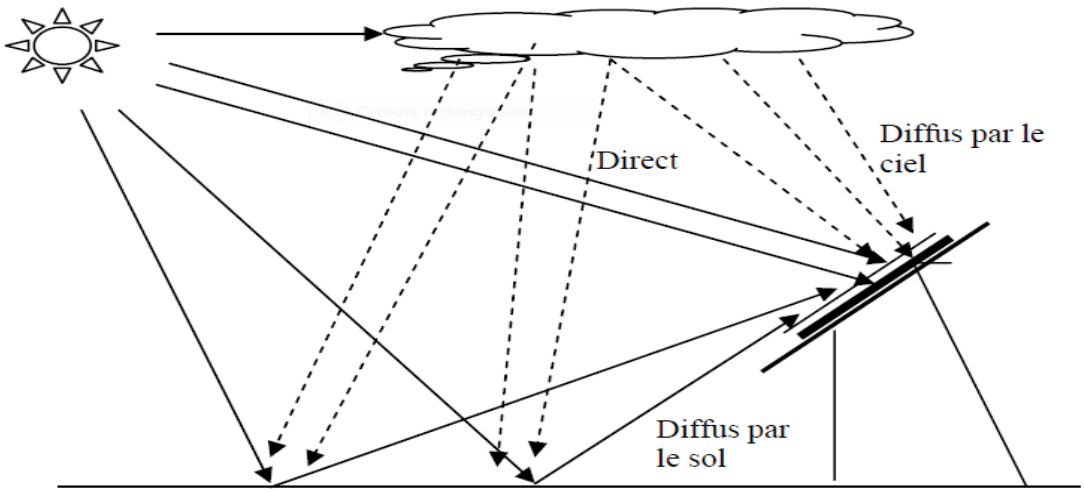


Figure 2- 4: Rayonnement solaire reçu par une surface incliné au sol [22].

2.3.1 Paramètres de position

Pour récupérer un maximum d'énergie en provenance du soleil, il est nécessaire d'orienter au mieux le récepteur. La connaissance de la position du soleil dans le ciel et par rapport au lieu de captation s'avère donc nécessaire. [25]

2.3.2 Les coordonnées célestes

est un système de coordonnées, permettant de déterminer une position dans le ciel, généralement exprimée en notation décimale ou pseudo-sexagésimale

2.3.2.1 Coordonnées géographiques

Tout point de la sphère terrestre est repéré par ses coordonnées géographiques,(figure2.5)

A- La latitude (ϕ)

La latitude (ϕ) d'un lieu, correspond à l'angle avec le plan équatorial, que fait le rayon Joignant le centre de la terre à ce lieu. Elle varie entre (0° et + 90°) au pôle Nord et (0° et − 90°) au pôle Sud

B- La longitude (L)

La valeur *L* représente l'angle formé entre le méridien origine (Greenwich en Angleterre) et le méridien du site considéré. La longitude *L* est comprise entre -180 (vers l'ouest) et +180 (vers l'est), et puisque la terre met 24 heures pour faire un tour sur elle-même (360°) on déduit que chaque heure représente 15° d'écart de longitude.

C- L'altitude(γ)

C'est la valeur verticale exprimée en mètres entre le site considéré et le niveau de la mer (pris comme surface de référence). [25]

2.3.2.2 Les coordonnées horaires

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

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

N : le numéro du jour dans l'année compté à partir du 1[er]Janvier.

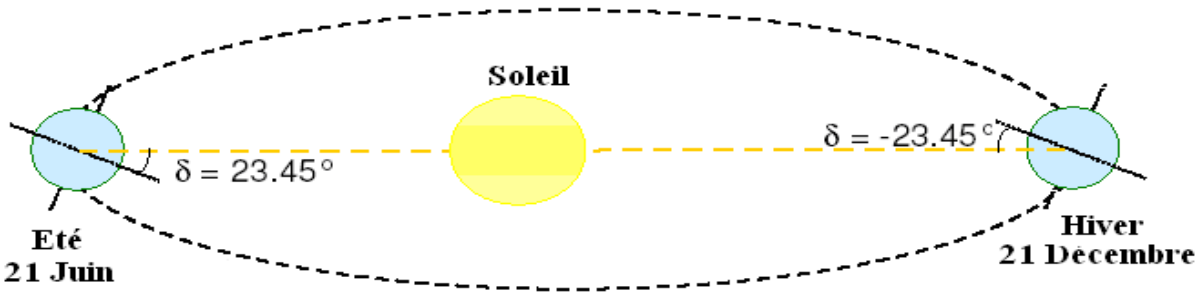


Figure 2- 5: Angle de déclinaison [19]

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

$$\omega = 15(TSV - 12) \quad (2)$$

Avec TSV : Le temps solaire vrai

TSV = 12+ (ω/15)

2.3.2.3 Les coordonnées horizontales

a- L'azimut(a): ou l'angle que fait la projection de la direction du soleil sur le plan horizontal avec la direction sud. Il est compté de 0° à 360° d'ouest en est, ou de 0° à 180° à partir du sud vers l'ouest.

$$Sin\,(a) = cos\,(\delta) \cdot sin\,(\omega)/\,cos\,(h) \quad (3)$$

b- La hauteur angulaire (h) :C'est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur un plan horizontal [26] :

$$sin(h) = sin(\phi)\,sin\,(\delta) + cos\,(\phi)\,cos(\delta)\,cos(\omega) \quad (4)$$

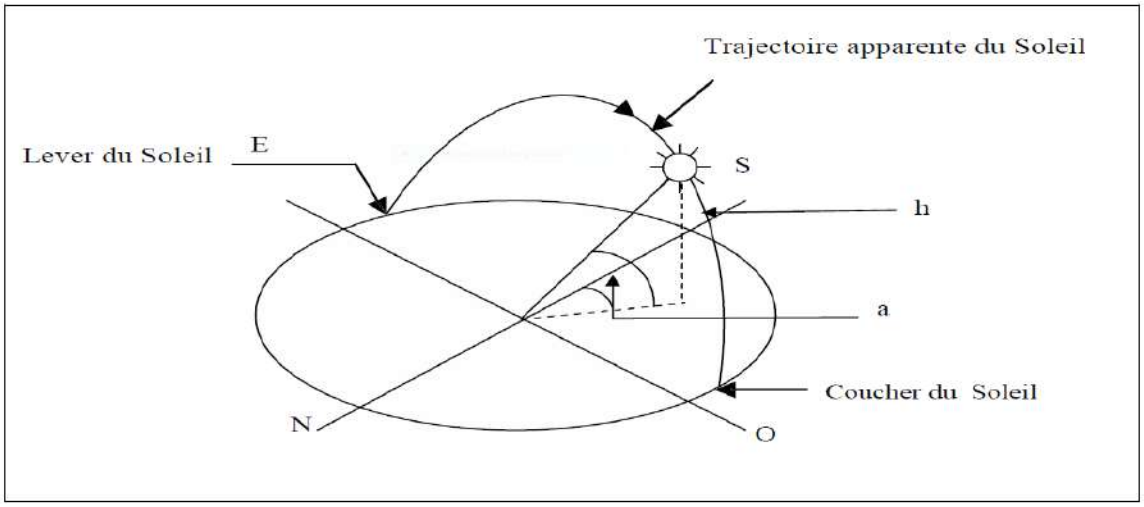


Figure 2- 6: Repérage de la position du Soleil [26]

2.3.3 Composantes du rayonnement solaire :

Les processus affectant les rayons solaires sont trop complexes pour être abordé d'une manière détaillée. D'une façon générale, nous disons que les radiations solaires arrivant au sommet de l'atmosphère sous d'onces électromagnétiques se répartissent en premier lieu en deux parties :

La première partie est directement réfléchie vers l'espace avant de s'enfoncer dans l'atmosphère. La deuxième en pénétrant dans l'atmosphère subit des réflexions et des diffractions pour être à son tour, soit renvoyée vers l'espace, soit dirigée vers la terre. En outre dans l'atmosphère, la vapeur d'eau et de multiple gaz absorbent de façon très irrégulière certaine radiation caractérisée par leurs longueurs d'onde. Citons par exemple la vapeur d'eau, qui a une épaisseur variable selon le climat et la saison (elle varie entre quelques millimètres et quelques centimètres), est responsable de l'absorption des rayons infrarouges.

Les radiations absorbées par les composantes de l'atmosphère sont ensuite émises dans les directions, il en résulte que parmi les radiations solaires arrivant finalement à la terre, quelques-unes sont fournies par les nuages et les autres composantes de l'atmosphère. Une fois ces radiations arrivées au sol, une fraction est réfléchie directement vers le ciel, l'autre sera gagnée par la terre. En conclusion la terre reçoit l'énergie du soleil et de l'atmosphère, pour simplifier ces multiples réflexions et émissions, on subdivise le rayonnement solaire provenant au sol en rayonnement direct et rayonnement diffus [26].

2.3.4 Types de rayonnements

Le rayonnement solaire hors atmosphère suit une ligne directe du soleil vers la terre. En traversant l'atmosphère, une partie du rayonnement solaire ne subit aucune modification (absorption ou réflexion), c'est ce qu'on appelle le *rayonnement direct*, l'autre partie est diffusée par les particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère, c'est ce qu'on appelle le *rayonnement diffus.* La somme du rayonnement direct et diffus est le rayonnement global

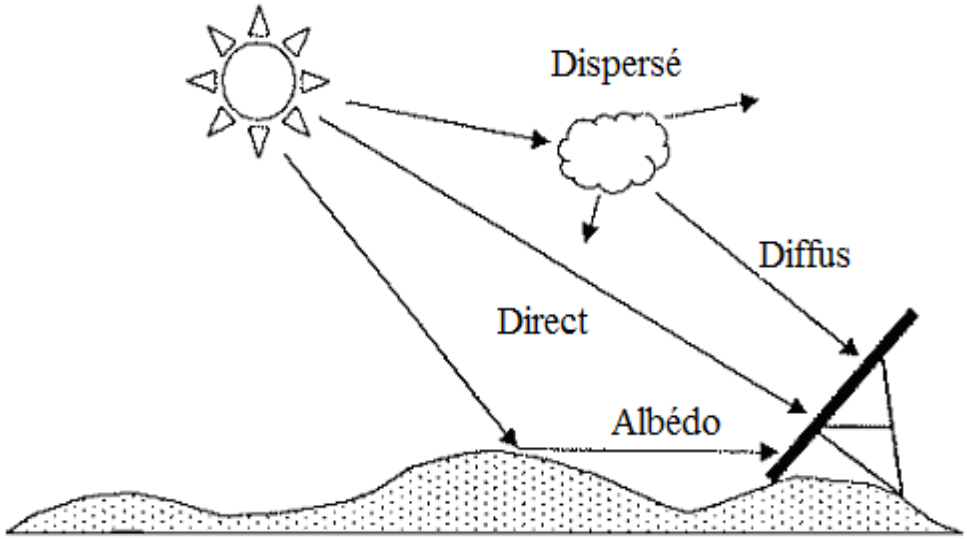


Figure 2- 7: Type de rayonnement solaire [19]

Pour les systèmes à concentration, seul le rayonnement direct normal est utilisé. Le terme normal pour le rayonnement direct signifie que le rayonnement direct incident est perpendiculaire à la surface. Seulement le rayonnement direct normal est focalisé et donc chauffer le tube de l'absorbeur. Le rayonnement direct normal est mesuré par un pyrhéliomètre ou calculer par des modèles numériques.[19]

2.4 Rayonnement solaire absorbé par le champ solaire :

L'équation qui permet de calculer le rayonnement solaire absorbé par le champ solaire est la suivante [19] :

$$Q_{abs} = DNI.A_{tot}.F_{avl}.(1 - BM).F_{trk}.\eta_c \qquad (5)$$

Où :

DNI : rayonnement direct normal

η_c : rendement du collecteur

A_{tot} : surface d'ouverture totale du champ solaire

F_{avl} : fraction de disponibilité du champ solaire

F_{trk} : fraction de poursuite du champ solaire

BM : fraction des miroirs cassés du champ solaire

-La relation qui permet de calculer le rayonnement direct est comme suit

$$\mathbf{R_D = DNI.}\ \boldsymbol{cos}\ \boldsymbol{(\theta)} \qquad (6)$$

Où :

RD : rayonnement direct

θ : Angle d'incidence

Pour que le rayonnement direct incident soit égal au rayonnement direct normal, l'angle d'incidence doit être le plus petit possible (≈0) [19]

2.5 Le Rayonnement solaire diffus

C'est une partie du rayonnement du soleil qui a subi de multiples réflexions (dispersion) par Les molécules et les aérosols de l'atmosphère ; pour un observateur au sol, le rayonnement diffus est un ensemble des directions rayonnées [46].

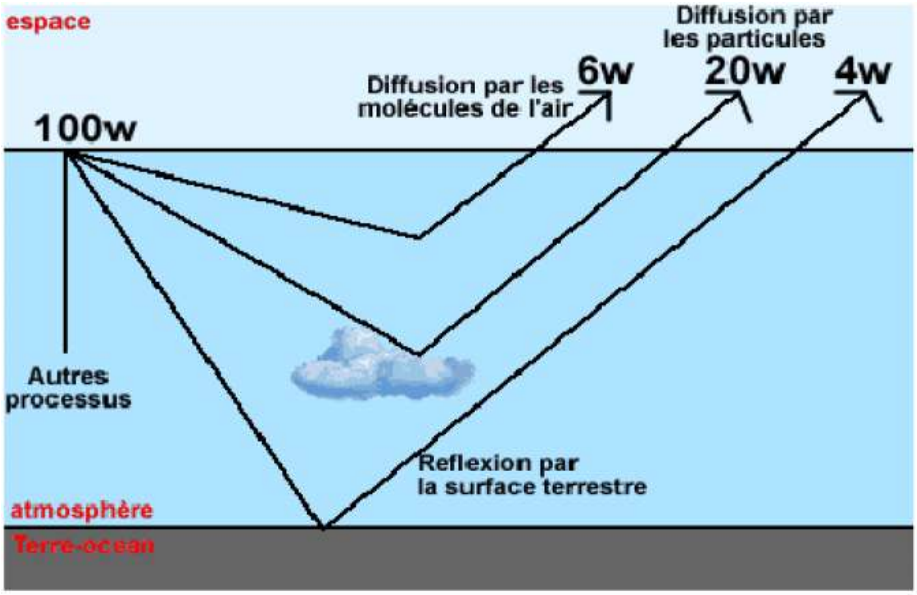


Figure 2- 8 : représentation des rayons diffus avec la puissance Solaire incidente de 100watts [46].

Le flux diffus reçu sur un plan horizontal est défini par:

$$\mathbf{Gdifh = C^* \times \sin(h) \times \tau dif} \quad (7)$$

Le flux diffus reçu sur un plan incliné est défini par:

$$\mathbf{Gdif = gdif1 + gdif2}$$

$$\mathbf{Gdif1 = Gdifh \times \frac{1+cos(i)}{2}} \quad (8)$$

$$Gdif2 = alb \times \left(\frac{1+\cos(i)}{2}\right) \times (Gdifh \times \sin(h) + Gdifh) \quad (9)$$

Gdif1, Gdif2: rayonnements diffusés par le ciel et par le sol respectivement.

Alb : albédo du sol.

i: angle d'inclinaison du plan du capteur par rapport à l'horizontale.

L'albédo :

L'albédo du sol est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (Eau, neige) $\mathbf{alb} = \frac{energie\ reflichie}{energie\ recue}$

Ainsi pour un corps noir parfait, l'albédo est nul.

2.6 Nomenclature des instruments de mesure du rayonnement solaire :

1-Radiomètre :

Un radiomètre est un instrument qui permet de mesurer l'intensité du flux de rayonnement électromagnétique, dans différents domaines de longueurs d'onde, tels que l'ultraviolet, la lumière visible et l'infrarouge. Si la muser du rayonnement est effectué en fonction de la longueur d'onde, l'instrument est spectroradiométre. Les radiomètres sont notamment utilisés en météorologie [26].

2-Pyranomètre:

Un Pyranomètre est un capteur de flux thermique utilisé pour la mesure de la puissance du rayonnement solaire total en watts par mètre carré. Il est sensible dans un domaine spectral de 300 à 2500 nanomètre, il est notamment utilisé en météorologie.

Le Pyranomètre est utilisé, par exemple, lors de la mesure de rayonnement solaire en serre, évalué en comparaison de la valeur du rayonnement en extérieur pour estimer les pertes

d'énergie directe lors de la traversée des toitures. L'unité du rayonnement est le watt paramètre carré (W/m^2) [26].

3-Héliographe :

L'héliographe est un instrument qui permet de mesurer la durée de l'insolation en un point de la surface de la. On distingue :

- l'héliographe statique : ils comportent deux cellules photovoltaïques dont l'une mesure le rayonnement direct et l'autre le rayonnement diffus.
- Les héliographes dynamiques : équipés d'une partie, ils peuvent analyser la différence entre luminance du ciel et celle du soleil [26].

2.7 Technologies de concentration

L'énergie solaire à concentration (CSP) est une technologie de production d'électricité qui utilise des miroirs ou des lentilles pour concentrer les rayons du soleil et, dans la plupart des systèmes CSP actuels, pour chauffer un fluide et produire de la vapeur. La vapeur entraîne une turbine et génère de l'électricité de la même manière que les centrales électriques conventionnelles. D'autres concepts sont explorés et toutes les futures centrales CSP n'utiliseront pas nécessairement un cycle de vapeur. Un autre attribut des centrales CSP est qu'elles peuvent être équipées d'un système de stockage de chaleur afin de générer de l'électricité même lorsque le ciel est nuageux ou après le coucher du soleil. Ceci augmente considérablement le facteur de capacité CSP par rapport au solaire photovoltaïque et, plus important encore, permet la production d'électricité pouvant être acheminée, ce qui peut faciliter à la fois l'intégration du réseau et la compétitivité économique. Les technologies CSP bénéficient donc des avancées dans les technologies de concentrateur solaire et de stockage thermique, tandis que les autres composants des centrales CSP reposent sur des technologies assez matures et ne peuvent pas s'attendre à des réductions de coûts rapides. Les technologies CSP ne sont actuellement pas largement déployées. Un total de 354 MW de capacité a été installé entre 1985 et 1991 en Californie et est exploité commercialement depuis lors. Après un hiatus d'intérêt entre 1990 et 2000, l'intérêt pour le CSP s'est accru au cours des dix dernières années. Un certain nombre de nouvelles usines ont été mises en service depuis 2006 (Muller-Steinhagen, 2011) en raison de la baisse des coûts d'investissement et du LCOE, ainsi que de nouvelles politiques de soutien. L'Espagne est maintenant le plus grand producteur

d'électricité CSP et plusieurs grandes centrales CSP sont prévues ou en construction aux États-Unis et en Afrique du Nord. [31]

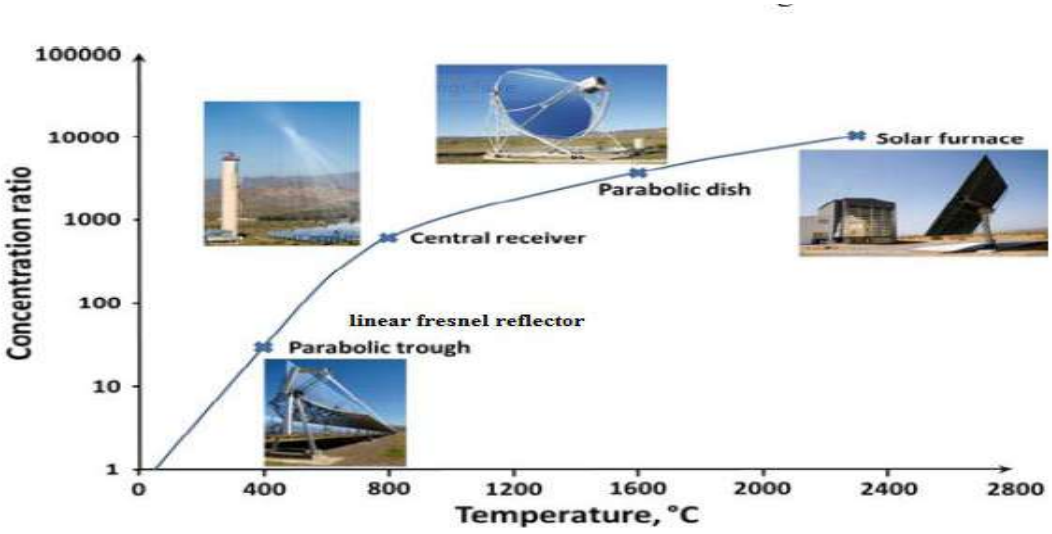


Figure 2- 9: technologies de concentration CSP avec la température de fonctionnement [33]

2.7.1 Notion fondamental sur l'optique pour les systèmes CSP :

- **Réflexion (*Loi de la réflexion)***

Pour tracer le rayon en trois dimensions par l'utilisation de la notation de vecteur

On présente trois vecteurs unitaires dans la figure 2.9 [34].

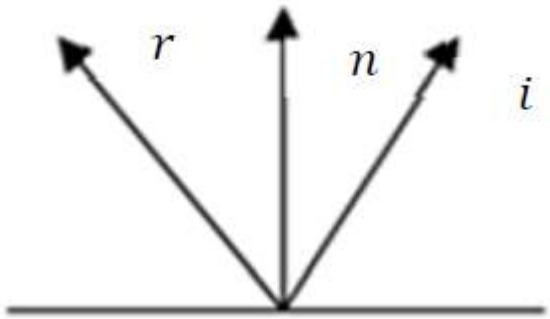


Figure 2- 10: vecteurs unitaires pour la loi de la réflexion spéculaire **[34].**

i: Direction du rayon incident.

n: Direction de la normale de la surface de réflecteur.

r : Direction du rayon réfléchi.

Les trois vecteurs dirigés vers l'extérieur de la surface, la loi de la réflexion spéculaire montre

Que :

1- L'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion

$$\boldsymbol{i \times n = r \times n} \quad \text{……..(a)}$$

2- *i*, *n*et *r* sont situés dans le même plan

$$\boldsymbol{(i \times n)\, n = 0} \quad \text{.....(b)}$$

3-Si on donne deux vecteurs, la troisième est uniquement déterminée par les équations (a) et (b)

Si ***i*** et ***r*** sont spécifiés, ***n*** doit être une combinaison linéaire ***ai+br***, et les coefficients a et b sont fixés par l'équation (a) et par la normalisation, le résultat est :

$$\boldsymbol{n = (i+r)\,(2+2i.r)^{1/2}} \qquad (10)$$

D'autre part avec ***i*** et ***n***, donne un raisonnement analogue montre que :

$$\boldsymbol{r = -i+2(i.n).n} \qquad (11)$$

La fraction de l'énergie rayonnante qui est réfléchie est donnée par la réflectivité de la Surface« ρ »Si un faisceau subit des n réflexions sur des surfaces avec la réflectivité « ρ », son direction vers l'absorbeur, puis il est atténué par le facteur $\tau = \rho^n$. Pour une parabole commeréflecteur, supposant que la parabole est placée parallèlement à l'axe z

2.7.2 Matériaux réfléchissants utilisés dans ce domaine :

Le réflecteur a pour fonction de diriger le rayonnement, qui autrement n'atteindrait pas l'absorbeur. Il est en général utilisé pour atteindre des températures très élevées ou utilisés pour certains systèmes comme les collecteurs à tubes sous vides. Les réflecteurs pour être efficaces, doivent posséder les propriétés suivantes.

- réfléchir au maximum le rayonnement lumineux.
- absorber au minimum le rayonnement lumineux.
- être parfaitement lisses afin d'éviter l'accumulation de la saleté.
- résister dans le temps aux effets de l'environnement (pluie, grêle, rayonnement. Solaire,...).
- dans certaines applications, résister aux variations de température.

Le réflecteur est souvent utilisé dans le but de concentrer les rayons lumineux, il a donc une géométrie particulière qui peut être: Cylindro-parabolique, Sphérique, Parabolique ou Plan.

Les matériaux de bonne réflexion sont ; l'argent, l'aluminium et l'acier inoxydable ; en peut citer quelque type des réflecteurs dans l'industrie

- ✓ ***Les miroirs en verre mince***

Les miroirs en verre minces sont aussi durables comme réflecteur en verre et relativement poids léger par rapport au verre épais. Cependant, les miroirs sont plus fragiles ce qui augmentent les coûts de manutention et les pertes de rupture, le verre mince peut avoir la réflectivité de 93-96%.

- ✓ ***Film réflecteur en Aluminium***

C'est des réflecteurs multicouches de haute technologie composée de PET et d'aluminium de grande pureté avec un revêtement par pulvérisation. Sa grande réflectivité et sa résistance aux conditions d'utilisation en extérieure sont spécialement dédiées aux appareils à concentration solaire thermique. Lorsqu'il est placé en face du soleil, le film reflète et dirige précisément la lumière tout comme un miroir en verre. Ce film est caractérisé par les propriétés suivantes :

-Haute réflectivité de 98.5%.

-Résistant aux conditions extérieures.

-Très léger et souple.

-Réflexion visuelle uniforme.

-Haute température d'utilisation : max ; 120°C.

- Épaisseur : 0,08mm

- ✓ ***Film réflecteur en polymère***

Est composé de l'argent pur pour fournir une haute réflexion spéculaire et de multiples couches de films de polymère de protection contre les ultraviolets (UV) et l'humidité. Un adhésif sensible à la pression pour application sur des surfaces lisses. Ce film est caractérisé par les propriétés suivantes :

-Réflexion spéculaire 94%.

-Épaisseur nominale 0.01.

-Température de fonctionnement maximale de 140 °F (60° C) [34].

2.8 Systèmes de concentration linéaire de Fresnel

La concentration du rayonnement solaire est nécessaire pour des systèmes solaires thermiques et photovoltaïques efficaces des conceptions ont été développées. Pour utiliser les concentrateurs solaires à focale linéaire pour réduire le coût des systèmes actuels.

LFR est l'option la plus économique pour une installation solaire à grande échelle dans un avenir prévisible. L'analyse doit être faite pour une meilleure efficacité, rentable, convenable et utiliser efficacement le rayonnement solaire. Ainsi, l'analyse devrait être étudiée pour la distribution du rapport de concentration local (LCR) Les hypothèses sont faites pour faciliter la conception du concentrateur solaire de réflecteur de Fresnel linéaire (LFRSC) (i) Les éléments de réflecteur sont spéculairement réfléchissants et (ii) l'incident de rayonnement solaire normalement sur les éléments de réflecteur. La technologie Linéaire Fresnel Réflecteur (LFR) est un système potentiel pour concentrer l'énergie solaire grâce à sa conception structurelle simple et à d'autres facteurs techno-économiques. Typiquement, un capteur solaire LFR englobe trois composants principaux: champ miroir, récepteur et système de suivi. Les conceptions en particulier peuvent être classées en fonction du positionnement des absorbeurs placés verticalement et horizontalement placés [18].

Les technologies à focalisation linéaire présentent une plus grande viabilité aux applications de la chaleur industrielle. En ce qui concerne les collecteurs de Fresnel linéaires, ils comprennent des réseaux de réflecteurs primaires plats ou presque plats, un récepteur fixe qui comprend un ou plusieurs tubes linéaires et un réflecteur secondaire. Les réflecteurs primaires suivent le soleil pendant la journée tandis que le récepteur reste fixe [15].

Les paramètres importants dans la conception des collecteurs primaires sont la largeur des bandes, la largeur du collecteur complet, le nombre de bandes de miroir parallèles, la hauteur de l'absorbeur au-dessus du plan du miroir primaire, l'espace entre les bandes miroir et la courbure des miroirs [18].

2.8.1 Les avantages et les inconvénients du système LFR :

- **Les avantages**

Les principaux avantages des systèmes Fresnel linéaires par rapport aux autres systèmes CSP sont les suivants:

-Moins de miroirs utilisés.

– Pas de vide à l'intérieur du tube récepteur, ce qui facilite sa conception et sa durabilité.

– Les contraintes mécaniques dues à la poussée du vent sont réduites par la disposition plane des miroirs.
– Réduction du coût de la construction en raison d'un assemblage rapide.
– Faible risque d'entraîner des dommages.
– L'utilisation des terres est plus efficace. [12]
-Les LFR nécessitent moins d'acier et de béton, car la structure de support métallique est plus légère. Cela facilite également le processus d'assemblage.
-La surface du miroir par récepteur est plus élevée dans les LFR que dans les CPC, ce qui est important, étant donné que le récepteur est le composant le plus cher à la fois dans CPC et dans les LFR.
-Les rangées de miroirs individuellement suivies assurent un contrôle précis de la puissance et de la température
-Grande stabilité du système grâce à une technologie de contrôle industriel fiable
-Faibles coûts d'exploitation et de maintenance

Ces avantages doivent être mis en balance avec le fait que l'efficacité optique des champs solaires LFR (se référant à l'irradiation solaire directe sur l'ouverture du miroir cumulé) est inférieure à celle des champs solaires CPC en raison des propriétés géométriques des LFR. Le problème est que le récepteur est fixe et les pertes de cosinus du matin et de l'après-midi sont élevées par rapport à CPC. Malgré ces inconvénients, la simplicité relative du système LFR signifie qu'il peut être moins cher de fabriquer et d'installer que les installations CSP. Cependant, il reste à voir si les coûts par kWh sont plus bas. De plus, étant donné qu'il est généralement proposé que les LFR utilisent la production directe de vapeur, l'ajout de stockage d'énergie thermique risque d'être plus coûteux.[35]

- **inconvénients**

-La performance optique est inférieure par rapport au miroir cylindro-parabolique.
– Un miroir secondaire est souvent demandé.
– Période d'opération moindre. [12]

2.8.2 Plage de Températures

En concentration linéaire, la température la plus élevée en fonctionnement est actuellement de

500 °C avec de l'eau vapeur. La limite est imposée en partie par les conditions de pression (100 bar) dans le tube, mais surtout par la tenue en température des matériaux.

Pour l'application avec le moteur Ericsson, nous choisissons l'air comme fluide caloporteur. On peut ainsi l'utiliser directement comme fluide de travail. L'étude avec l'eau serait similaire : seules les propriétés d'échange dans le tube seraient modifiées. On aurait plusieurs régimes différents : eau liquide, évaporation (avec éventuellement différents modèles d'écoulement), eau vapeur (si on surchauffe la vapeur). Les résultats seraient notablement différents, mais le modèle identique. Le tableau 3 récapitule les ordres de grandeur des températures attendues dans le récepteur. L'air ambiant est à environ 300 K. En chauffant de l'air, la paroi externe du tube absorbeur peut être jusqu'à 100 °C plus chaude. Or pour des questions de tenue en température des matériaux, on ne veut pas dépasser 600 °C pour la paroi du tube. On peut donc envisager de chauffer l'air de 200 °C à 500 °C (500 K à 800 K), la température de l'absorbeur évoluera entre 600 et 900 K, soit 750 K en moyenne.

En supposant que la vitre est à une température intermédiaire entre celle de l'absorbeur et de l'air ambiant, sa température moyenne est donc 500 K. Le réflecteur secondaire, situé au-dessus et bien isolé, est probablement plus chaud : 600 K, mais ne devrait pas dépasser les limites de tenue en température [10].

Températures attendues	En K			En °C		
	min	moyenne	max	min	moyenne	max
fluide caloporteur (air)	500	700	900	230	430	630
surface absorbeur	600	800	1000	330	530	730
surface vitre	450	550	650	180	280	380
surface réflecteur secondaire	500	600	700	230	330	430
air ambiant	300	300	300	30	30	30

Tableau 2- 2: Ordre de grandeur des températures du récepteur [10].

2.8.3 Utilisations industriels

Comme il n'y a pas d'études détaillées sur la demande d'énergie industrielle dans la région MENA et la structure de la demande d'énergie industrielle (distribution relative des formes énergétiques, températures, etc.) devrait être similaire entre les régions cette section est basée sur des données européennes et allemandes. Il est supposé que les résultats peuvent être raisonnablement transférés à MENA. Selon Eurostat l'industrie représente 27% de la demande totale d'énergie. Cette demande peut être divisée en différentes formes d'énergie, tandis que la chaleur industrielle est la plus importante.[37]

De nombreuses industries utilisent des procédés faisant appel à la haute température : stérilisation, chauffage, cuisson, traitement thermique, fusion, distillation, blanchissement, etc. Certaines technologies solaires thermodynamiques et notamment les collecteurs cylindro-paraboliques et miroirs de Fresnel sont appropriées pour ces applications. Elles peuvent être envisagées dans le cas d'une installation couvrant une gamme entière d'industries utilisant des procédés haute température. [36]

L'industrie est un important consommateur d'énergie, représentant environ 30% de la demande totale d'énergie finale. Dans le processus de demande d'énergie industrielle totale, la chaleur représente la part la plus importante avec environ 67%. Une partie importante, environ 57% de la demande de chaleur totale du procédé, est dans une plage de température moyenne (<400 ° C) et peut être fournie avec la technologie Fresnel.

Une part importante de la chaleur consommée dans le secteur industriel se situe dans la plage des basses et moyennes températures, c'est-à-dire en dessous de 100 ° C et en dessous de 400 ° C, respectivement.

Chauffer le processeur : est la forme d'énergie la plus importante utilisée dans les procédés industriels. Il est couramment appliqué via des échangeurs de chaleur à partir d'un réseau de distribution. La vapeur est le transporteur de chaleur dominant dans l'industrie (par exemple pour la nourriture et les textiles). Le collecteur Fresnel peut générer directement de la vapeur saturée ou surchauffée. En variante, de l'huile thermique ou de l'eau sous pression peuvent être utilisées comme fluides de transfert de chaleur qui sont tous les deux parfaitement adaptés pour s'intégrer dans des solutions de chauffage par procédé solaire.

Refroidissement : est le deuxième facteur de production le plus important dans les processus industriels. Tels que le stockage de produits périssables, le refroidissement dans les processus de production et le refroidissement de l'équipement de fabrication lui-même. En outre, le

refroidissement devient de plus en plus important pour les immeubles de bureaux, les centres commerciaux, les hôpitaux et de nombreuses autres installations. Les solutions de refroidissement solaire convertissent directement l'énergie solaire thermique en énergie frigorifique au moyen de refroidisseurs thermiques. Les régions avec DNI (Direct Normal Irradiation) au-dessus de 1500 kWh / (m2) sont les mieux adaptées pour les applications de chaleur de processus solaire basées sur la technologie de collecteur Fresnel Solaire industriel. Basé sur le collecteur Fresnel innovant Solaire industriel. la chaleur de processus renouvelable décentralisée peut être générée pour diverses applications industrielles et exigences avec des températures allant jusqu'à 400 ° C. [35]

2.9 Comparaison des quatre principaux types de concentrateurs

Ces technologies CSP diffèrent sensiblement les unes des autres, non seulement en ce qui concerne les aspects techniques et économiques, mais aussi en ce qui concerne leur fiabilité, leur maturité et leur expérience opérationnelle dans des conditions d'échelle de service La plupart des projets CSP en cours de construction ou de développement reposent sur la technologie cylindro-parabolique car c'est la technologie la plus aboutie et elle présente le plus faible risque de développement. Les cylindro-paraboliques et les tours solaires, lorsqu'elles sont combinées au stockage d'énergie thermique, peuvent répondre aux exigences d'une centrale électrique programmable à l'échelle industrielle. La tour solaire et les systèmes de Fresnel linéaires commencent à peine à être déployés et il existe un potentiel important de réduction de leurs coûts en capital et d'amélioration des performances, en particulier pour les tours solaires. Les technologies CSP offrent une excellente opportunité pour la fabrication locale, ce qui peut stimuler le développement économique local, y compris la création d'emplois. [31]

Concentration :	Système à concentration linéaire		Système à concentration ponctuelle	
Type de champ solaire	Cylindro-parabolique	Linéaire de Fresnel	Récepteur central (tour)	Parabole
État de l'art	commercial	Pré-commercial	Pré-commercial	prototypes opérationnels
Coût du champ solaire (€=m2 en 2007)	200-250	150-200	250-300	>350
Taille type d'une unité (MW)	5-200	1-200	10-100	0,010
Besoins pour la construction	importants	simples	importants	modérés
Température de Fonctionnement (°C)	390-550	270-550	550-1000	800-900
Fluide caloporteur courants	huile thermique, eau/vapeur	huile thermique, eau/vapeur	air, sels fondus, eau/vapeur	air
Cycle thermodynamique	Rankine	Rankine	Brayton, Rankine	Stirling, Brayton
Machine thermodynamique	Turbine à vapeur	Turbine à vapeur	Turbine à gaz, turbine à vapeur	Moteur Stirling
Expérience	élevée	faible	moyenne	moyenne
Fiabilité	élevée	inconnue	moyenne	moyenne
Stockage thermique	sels fondus, béton, PCM	sels fondus, béton, PCM	sels fondus, céramique, PCM	sels fondus, céramique, PCM
Combinaison Avec dessalement	facile	facile	facile	facile
Intégration à l'environnement	difficile	facile	moyen	moyen
Besoins pour le fonctionnement	importants	simples	importants	simples
Emprise au sol	élevée	faible	élevée	modérée

Tableau 2- 3: comparaison des quatre principaux types de concentrateurs [10].

2.10 Conclusion

On a présenté dans ce chapitre un récapitulatif de quelques notions de base relatif au gisement solaire, la connaissance de ces notions fondamentales et particulièrement le rayonnement solaire global au sol va nous servir par la suite dans l'exploitation de l'énergie solaire par un capteur solaire ou concentrateurs solaires.

L'énergie solaire est disponible sur toute la surface de notre planète qui reçoit plus de 15000 fois l'énergie que l'humanité consomme. L'exploitation de cette énergie peut se faire de trois manières: énergie thermique, énergie thermodynamique et l'énergie photovoltaïque.

L'Algérie dispose d'un gisement solaire important *encore inexploité*. Cette forme d'énergie présente beaucoup d'avantages en conversion thermique pour le chauffage et la production d'électricité principalement. C'est une forme d'énergie disponible, économique, non polluante et nécessite peu d'entretien.

Chapitre 3:

Modélisation mathématique d'un système « LFR »

3.1 Introduction

Les systèmes solaires à concentration offrent la possibilité de produire de l'électricité à partir de l'énergie solaire, les températures pouvant aisément dépasser les 500 °C et le rendement de conversion est élevé généralement. On exploite seulement le rayonnement solaire direct, considéré comme la ressource principale [32].

Les collecteurs linéaires de Fresnel sont composés de miroirs plats ou presque plats pour concentrer le rayonnement solaire direct sur un tube absorbant situé au-dessus du champ de captation (rangées de miroirs).L'angle d'incidence θ_i des rayons du soleil est divisé en deux angles, comme indiqué sur la Figure 3-1. L'angle transversal θ_T qui est situé entre le Zénith et la projection du rayon direct du soleil dans le plan transversal tandis que l'autre angle est l'angle longitudinal θ_L qui est défini comme l'angle compris entre le zénith et la projection du rayon direct du soleil dans le plan longitudinal [30].

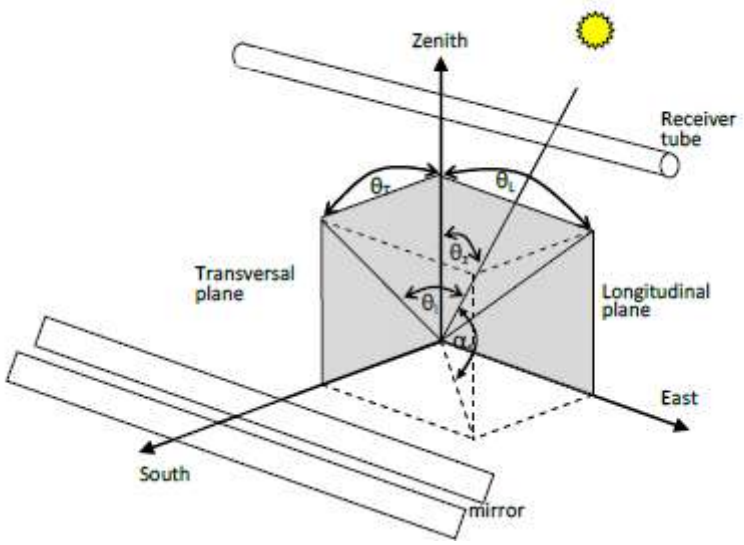


Figure 3- 1 : Les angles importants du collecteur de Fresnel linéaire [30].

Pour bien détailler la théorie de conception du concentrateur de Fresnel, nous avons utilisé Les travaux réalisés par [Negi, Mathur et Al], qui ont développé des équations en considérant certaines hypothèses essentielles pour déterminer l'énergie solaire concentrée.

La figure 3-2 montre le schéma de principe en coupe linéaire d'un capteur de Fresnel avec un Système réflecteur et absorbeur de forme cavité, dont la largeur (w) est constante pour chaque miroir. L'inclinaison de chaque miroir a été calculée de telle sorte que le rayonnement solaire soit incident sur le plan d'ouverture. D'autre part, une distance appropriée a été maintenue

entre deux miroirs consécutifs pour que chaque miroir ne fasse pas d'ombre par rapport au miroir adjacent [32].

La surface d'ouverture A_{net} du collecteur LFC est la somme de la surface d'ouverture nette de toutes les rangées de miroirs du collecteur.

$$\boldsymbol{A_{net} = \sum_{i=1}^{n} W_i L} \qquad (12)$$

Où *W* est la largeur d'ouverture de la rangée de miroirs, *n* est le nombre de miroirs et *L* est la longueur du miroir [30].

3.2 Modélisation mathématique de la géométrie d'un système LFR :

Dans une analyse de rendement optique, l'inclinaison de chaque élément miroir est très importante.

L'inclinaison (θ) de chaque élément de miroir est choisie de telle sorte qu'un rayon perpendiculaire au plan de l'ouverture du collecteur et frappant le point médian du miroir après la réflexion atteigne le point focal. La distance entre deux éléments miroirs adjacents doit être telle qu'ils évitent le blocage du rayonnement réfléchi par un miroir. Un absorbeur tubulaire de taille appropriée placé dans le plan focal de LFRSC intercepte tous les rayons solaires réfléchis par les éléments miroirs constitutifs [23].

- Les paramètres de conception sont:

Largeur (W)

Décalage (S)

Emplacement (Q)

Plan d'ouverture (XX)

Inclinaison avec plan d'ouverture (θ)

Distance focale (f)

Diamètre d'ouverture (D)

Diamètre de l'absorbeur (d)

la moitié de la distance angulaire du soleil en un point quelconque sur terre (ξ_o)

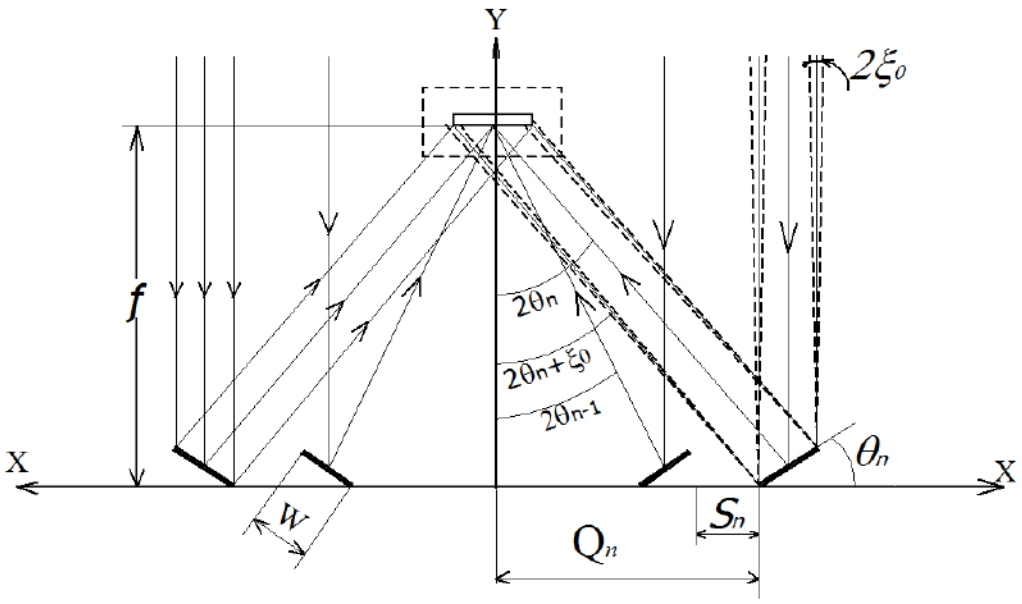


Figure 3- 2: Les paramètres de conception du LFR [23].

- L'absorbeur avec le concentrateur secondaire projette une ombre sur le plan d'ouverture du concentrateur et par conséquent, aucun élément de miroir n'est placé au-dessous de l'absorbeur. Le rayon de l'absorbeur tubulaire est considéré comme égal à la longueur de la plus grande perpendiculaire lâchée du point *f* sur les rayons du réflecteur. Tout en initiant la conception de LFRSC avec l'absorbeur tubulaire.

- La première approximation est prise car le rayon de l'absorbeur tubulaire peut être pris égal à la moitié de la largeur de l'élément miroir .Donc, pour commencer, le premier miroir est placé à une distance $W / 2 + f \tan(\xi_0)$ du centre du plan d'ouverture. La valeur de *R* doit être inférieure à la moitié de la largeur du miroir. Par conséquent, l'ombrage ne sera pas produit. Ensuite, l'emplacement du premier élément miroir Q_1 est comme suit:

$$Q_1 = R + f \tan\xi \qquad (13)$$

Ici Q_1 est l'emplacement du premier miroir

R est le rayon de l'absorbeur.

f est la distance focale du plan d'ouverture.

ξ_0 est la moitié de la distance angulaire du soleil en un point quelconque sur terre.

La Figure 3-3 donne les paramètres géométriques des éléments du miroir :

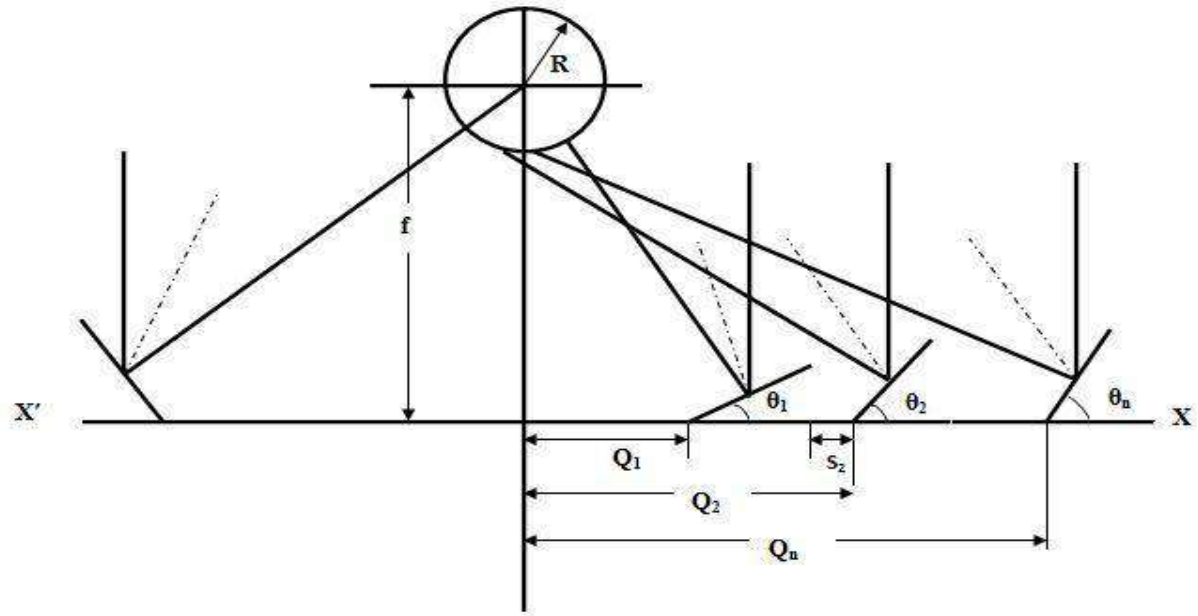


Figure 3- 3: Absorbeur tubulaire [23]

En utilisant la Figure 3-3 et les relations d'optique géométrique, l'inclinaison du premier élément de miroir est :

$$\theta_1 = \frac{1}{2} tan^{-1}\left[\frac{Q_1+\left(\frac{W}{2}\right)cos(\theta_0)}{f+\left(\frac{W}{2}\right)sin(\theta_0)}\right] \qquad (14)$$

-L'emplacement du second élément de miroir et son inclinaison avec le plan d'ouverture est choisi de telle sorte que le rayon incident et frappant le milieu du second miroir et après réflexion, il atteindra le point focal. Le rayonnement réfléchi par le deuxième élément de miroir n'est pas bloqué par le premier élément de miroir. Nous devons donc introduire un certain espace entre le premier et le deuxième miroir. Donc, cela s'appelle décalage associé au second miroir. Le décalage du deuxième miroir est :

$$S_2 = W\, sin\theta_1\, tan\,(2\theta_2+\xi_0) \qquad (15)$$

- L'emplacement du deuxième élément de miroir et son inclinaison avec le plan d'ouverture (XX ') est :

$$Q_2 = Q_1 + Wcos\theta_1 + S_2 \qquad (16)$$

Sur la base de considérations géométriques similaires, les expressions généralisées pour l'emplacement du décalage (*S*) et l'inclinaison associée au $n_{ième}$ miroir sont :

$$Q_n = Q_{n-1} + W\, cos\theta_{n-1} + S_n \qquad (17)$$

$$S_n = W \sin\theta_{n-1} \tan(2\theta_n + \xi_0) \quad (18)$$

$$\theta_n = \frac{1}{2}\tan^{-1}\left[\frac{Q_n+\left(\frac{W}{2}\right)\cos(\theta_{n-1})}{f+\left(\frac{W}{2}\right)\sin(\theta_{n-1})}\right] \quad (19)$$

Avec : $\theta_1=0$, $S_1=0$, et $Q_1 = W/2+f\tan\xi_0$ comme valeurs initiales pour l'itération et n varie de $1, 2,3\ldots\ldots K$.

K étant le total des éléments du miroir placés sur la moitié des concentrateurs [23].

Pour positionner les miroirs dans la structure du concentrateur de Fresnel, il faut résoudre les équations (17,18 et 19) et calculer les différents paramètres comme la position (Q), l'inclinaison (θ), et la distance entre les miroirs (S) du miroir primaire centrale jusqu'au dernier miroir [32].

3.3 Distribution de LCR sur la surface d'un absorbeur vertical pour le système linéaire de Fresnel

On suppose que le rayonnement solaire réfléchi par chaque élément réfléchissant est réparti uniformément sur la largeur de l'image produite par l'élément réfléchissant sur la surface de l'absorbeur. La concentration en tout point de l'absorbeur est déterminée en additionnant les contributions de tous les éléments réfléchissants. Pour un LFR utilisant des éléments réfléchissants de largeur uniforme, la contribution de tout élément réflecteur constitutif (disons, n$^{ième)}$ au rapport de concentration local (LCR) en tout point de l'image produite sur l'absorbeur par l'élément réfléchissant est donnée par :

$$CI_n = \frac{w\cos(\theta_n)}{r_n} \quad (20)$$

Avec CI_n: Puissance concentrée du n^{ième} réflecteur (kW), et r_n est la largeur de l'image produite sur l'absorbeur par le rayonnement réfléchi par l'élément réfléchissant et est définie comme :

$$r_n = w\cos(\theta_n)\,cosec(2\theta_n) + \left[\frac{Q_n}{\sin(2\theta_n)}\right]\frac{sin\xi_0}{\sin(2\theta_n+\xi_0)} + \left[\frac{Q_n+w\cos(\theta_n)}{\sin(2\theta_n)}\right]\frac{sin\xi_0}{\sin(2\theta_n-\xi_0)}\ldots \quad (21)$$

$$CI_n = \frac{w\cos(\theta_n)}{d} \quad (22)$$

Comme chaque élément réfléchissant sur une moitié du concentrateur éclaire la surface complète de l'absorbeur vertical plat, la concentration totale en tout point de la surface de l'absorbeur est donnée par:

$$CR = 2\sum_{n=1}^{k} CI_n \qquad (23)$$

Avec *CR* : le Rapport de concentration [18].

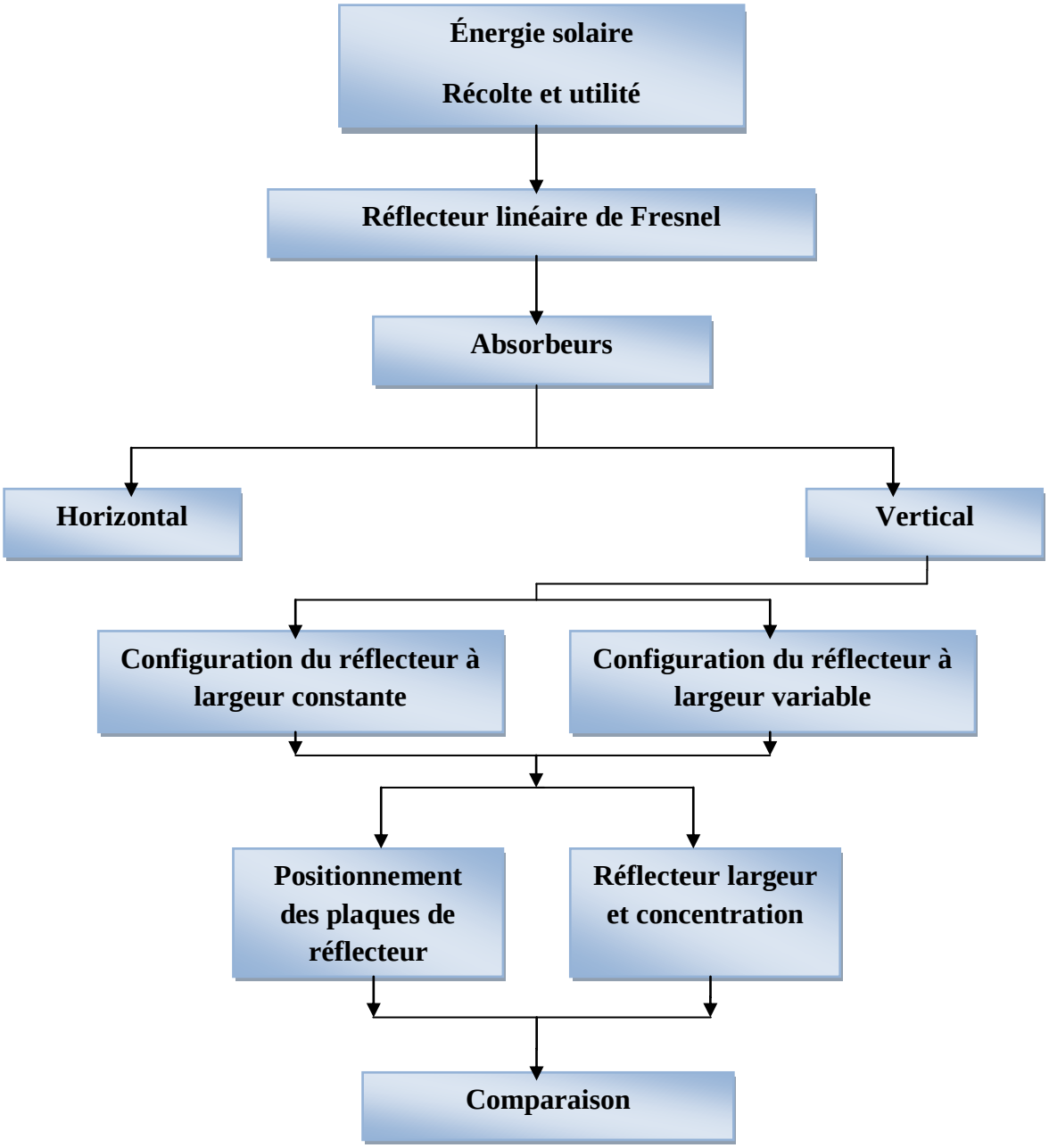


Figure 3- 4:schéma fonctionnel du travail

Organigramme (1)

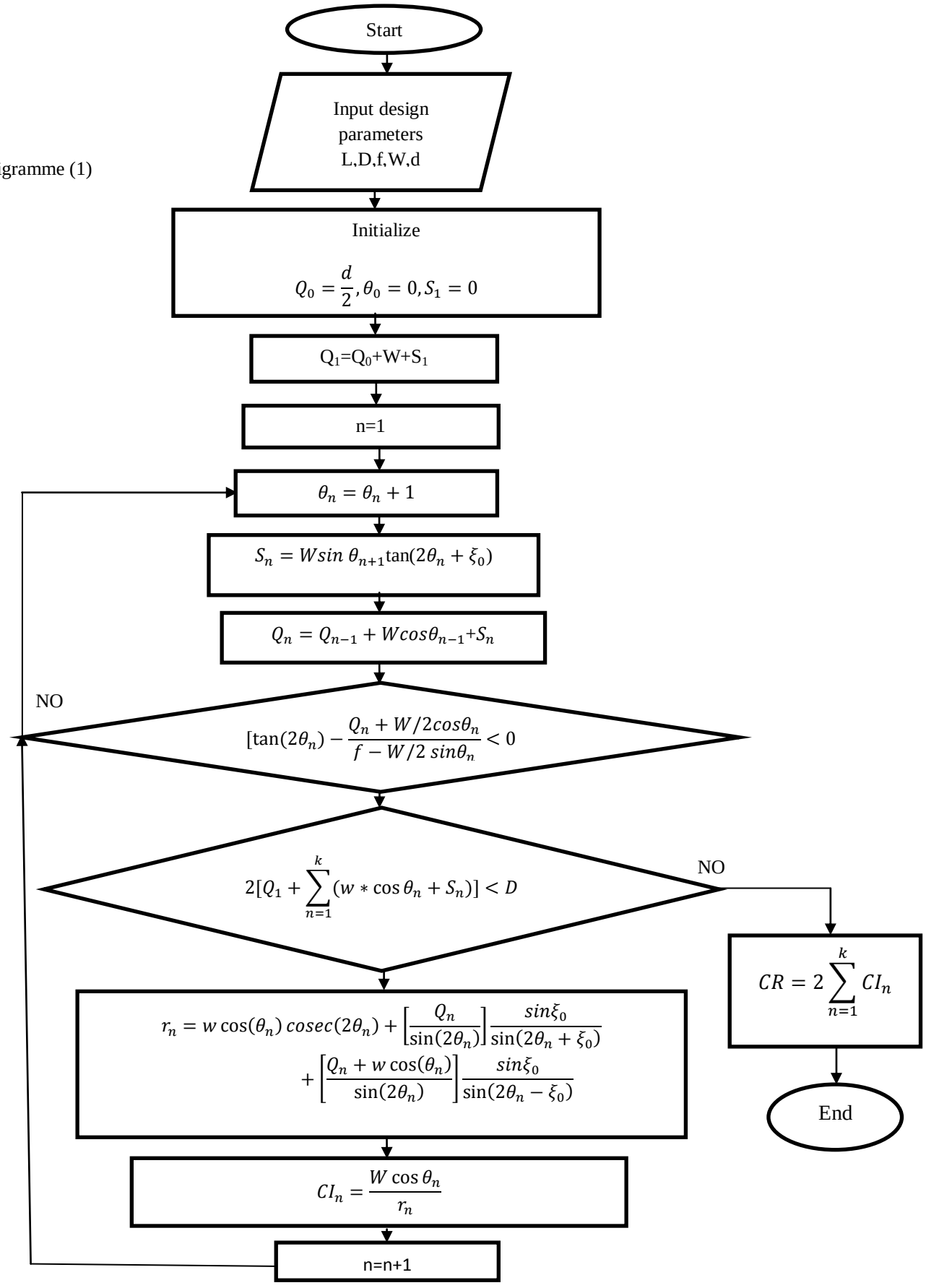


Figure 3- 5 : Organigramme: système de réflecteur à largeur constante

3.4 Simulation numérique sur conception de réflecteurs de largeur constante

Dans la présente étude, la zone occupée par le système LFRCS (Linear Fresnel Reflector Concentrating Solar) est initialement fixe et d'autres paramètres du système comme la largeur des plaques de réflecteur, le nombre de plaques de réflecteur, leur inclinaison et leur positionnement relatif sont déterminés en utilisant les expressions dérivées de la représentation géométrique. Les paramètres de conception optimaux sont sélectionnés parmi les solutions qui minimisent les exigences matérielles et foncières. Les paramètres de conception du système LFRCS sont obtenus en résolvant les expressions de manière itérative à l'aide de MATLAB.

3.4.1 Modélisation pour la conception de réflecteurs de largeur constante

La performance de l'absorbeur vertical avec des réflecteurs à largeur constante en termes de rapport de concentration est analysée. Le diamètre d'ouverture pour les expériences est fixé à D = 2 m et le diamètre de l'absorbeur "d" varie de 0,01 à 0,1 m. Pour chaque diamètre d'absorbeur, la distance focale "f" est divergée de 0,1 à 1,0 m et le rapport de concentration respectif est tracé. D'après le graphique de la figure 24, il est clair que la concentration maximale est obtenue lorsque la hauteur focale est f = 0,2 m et la largeur de l'absorbeur est d = 0,03 m. Le nombre de réflecteurs est déterminé par N = 24.Le système est modélisé avec lesdits paramètres et le rapport de concentration maximal est obtenu comme CR = 2.102

3.4.2 Résultats de la simulation

La figure 3-6représente les résultats de la simulation.

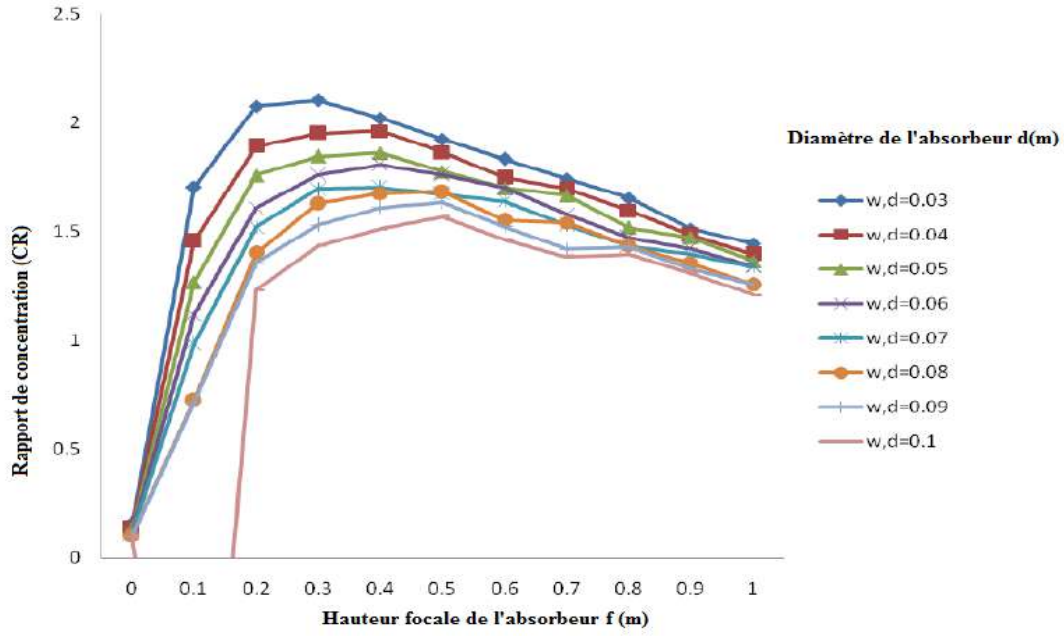


Figure 3- 6: Analyse de performance en termes de rapport de concentration pour les éléments réfléchissant la largeur constante.

Le graphe précèdent représente la valeur de rapport de concentration (CR) en fonction de la hauteur focal de l'absorbeur (f) en remarqué que à chaque fois augmenté la valeur du diamètre (d) de l'absorbeur la valeur de rapport de concentrions est diminuée et en remarqué aussi l'effet de la hauteur (f) est un paramètre important dans notre système.

Chapitre4 : Simulation numérique de l'effet du vent sur la stabilité d'un système LFR

4.1 Introduction

Parmi toutes les technologies CSP, la technologie Linéaire Fresnel Réflecteurs (LFR) est considérée comme une solution très prometteuse, grâce à sa simplicité de conception et d'installation, diminution de la matière première utilisée, coût attractif et besoins en terres relativement faibles. Cela est en partie dû à la charge de vent faible généralement établie sur les réflecteurs primaires et le récepteur .Contrairement aux héliostats et aux capteurs paraboliques, pour lesquels de nombreuses études ont été publiées , il y a peu d'informations dans la littérature concernant l'impact des charges de vent sur les réflecteurs linéaires de Fresnel. Néanmoins, l'effet du vent sur la technologie de Fresnel est l'une des principales contraintes de conception de la structure métallique, des réflecteurs primaires, des récepteurs et du système de suivi solaire. Par conséquent, c'est l'un des principaux éléments d'entrée pour trouver l'optimum technique et économique de la plupart des paramètres du champ solaire. Le vent influence la taille optimale des réflecteurs primaires, l'espacement entre les lignes du miroir et entre les modules, la hauteur du récepteur et l'ouverture du récepteur, et doit donc être quantifié en fonction de ces paramètres [39].

4.2 Code de calcul COMSOL Multiphysics

4.2.1 Historique

Le logiciel COMSOL et la société correspondante ont été créés en 1986 par des étudiants de Germund Dahlquist, dans la suite de son cours consacré à la simulation numérique au Institut royal de technologie (KTH) à Stockholm en Suède. La première version de COMSOL Multiphysics est sortie en 1998.
La version initiale (avant 2005) de COMSOL Multiphysics s'appelait FEMLAB.[40]

4.2.2 Principe d'utilisation

L'utilisateur définit ses couplages ou sélectionne les interfaces prédéfinies. Les différentes étapes du processus de modélisation - définir la géométrie, les propriétés matériaux, le maillage, choisir la ou les physiques, résoudre et afficher les résultats - sont intégrées dans une seule interface. Des modules d'applications optionnels offrent des interfaces spécialisées notamment en mécanique linéaire et non linéaire, acoustique, écoulement, transfert de chaleur, génie chimique, géophysique, électromagnétisme basse et haute fréquence, corrosion,

plasma, suivi de particules, optimisation, MEMS, ainsi qu'avec les logiciels de CAO et Matlab.

Ce logiciel est multiplateforme (Windows, Mac, Linux). En plus des physiques précitées, COMSOL Multiphysics autorise l'utilisateur à définir ses propres systèmes d'équations aux dérivées partielles (EDP), soit sous forme différentielle, soit sous formulation faible. Les couplages avec des équations aux dérivées ordinaires (EDO) et des équations algébro-différentiels (EAD) sont également possibles.

4.2.3 Modules

Liste des modules complémentaires pour COMSOL Multiphysics :

- **AC/DC Module** : L'AC/DC Module permet de simuler des champs électriques, magnétiques et électromagnétiques dans des applications statiques et à basses fréquences. Les applications type concernées sont les condensateurs, les inducteurs, les isolateurs, les bobines, les moteurs, les actionneurs et les capteurs. Le module comporte des outils spécialisés pour extraire automatiquement des simulations les valeurs de paramètres tels que la résistance, la capacitance, l'inductance, l'impédance, la force et le couple.
- **Acoustics Module** : L'Acoustics Module permet de simuler des dispositifs de production, de mesure et d'utilisation des ondes acoustiques. Les domaines d'application incluent notamment : haut-parleurs, microphones, prothèses auditives et sonars. Le contrôle du bruit peut être étudié dans divers contextes : conception de silencieux, mur du son et applications acoustiques dans les bâtiments.
- **Batteries & Fuel Cells Module** : Le Batteries & Fuel Cells Module modélise le comportement électrochimique des électrodes et des électrolytes des batteries et des piles à combustible. Vous pouvez ainsi étudier leurs performances en fonction des conditions de fonctionnement, de différentes configurations et niveaux de détérioration imputables à différents mécanismes de vieillissement. Ce module complémentaire permet de simuler des caractéristiques spécifiques, comme le transport d'espèces chargées et neutres, la conduction du courant, l'écoulement des fluides, le transfert de chaleur ainsi que la nature et les forces motrices des réactions électrochimiques aux électrodes planaires et dans les électrodes poreuses. Une fois que vous avez acquis une compréhension fine de ces caractéristiques, vous pouvez

concevoir et optimiser les géométries et les matériaux choisis pour les composants du système (électrodes, séparateurs, membranes, électrolyte, collecteurs et échangeurs de courant) en vue d'améliorer leurs performances, la gestion de la chaleur et la sécurité.

- **CAD Import Module** : Le CAD Import Module importe de nombreux formats de fichier (Parasolid® et ACIS®, par exemple) et des formats standard tels que STEP et IGES. Ces formats de fichier sont supportés par la grande majorité des progiciels de CAO, et vous pouvez importer directement vos fichiers dans COMSOL Multiphysics en les enregistrant dans l'un de ces formats.
- **CFD Module** : Le CFD Module permet la simulation de composants et systèmes impliquant des écoulements de fluides complexes. Le CFD Module fournit des interfaces physiques prêtes à l'emploi, configurées pour recevoir des données d'entrée de modèle via l'interface graphique et pour utiliser ces données en vue de formuler les équations du modèle. Les interfaces physiques propres au CFD Module vous permettent de modéliser la plupart des écoulements de fluides, notamment les écoulements compressibles, non isothermes, non newtoniens, diphasiques et en milieu poreux, le tout dans les régimes d'écoulement laminaire et turbulent.
- **Chemical Reaction Engineering Module** : Le Chemical Reaction Engineering Module, permet de simuler le transport de matière et de chaleur avec des cinétiques chimiques arbitraires dans tous les types d'environnements (gaz, écoulement de fluide, milieu poreux, sur les surfaces et dans les phases solides ou une combinaison de ces environnements). Il permet ainsi d'optimiser les réacteurs chimiques, les équipements de filtration, les mélangeurs et autres procédés [40].

4.3 Étude de géométrie

Comme présenté sur la figure 25, des miroirs plats de largeur l_m sans épaisseur ni support ont été considérés. L'écart entre les miroirs est noté dl_m et leurs axes de rotation sont tous alignés dans un plan à l'altitude hm depuis le sol. Leurs angles du plan horizontal, noté α_{mi} (sens antihoraire),sont couplés, de sorte que les réflecteurs primaires concentrent la lumière du soleil sur le récepteur. Ce dernier est considéré comme un demi-cylindre de diamètre Dr avec sa face plane horizontale et face aux miroirs. Le volume d'air considéré est à l'intérieur d'un rectangle avec le sol en bas, la limite d'entrée du vent sur le côté gauche, la limite de sortie sur le côté droit et une limite ouverte en haut. Les distances entre le module de Fresnel et ces trois

dernières limites sont choisies de manière à ne pas influencer la charge du vent sur le récepteur et les miroirs, tout en minimisant le temps de calcul [39].

4.4 Modèle physique

4.4.1 Couche limite atmosphérique

Profil vertical du vent:

Les vents d'intérêt pour la conception du réfracteur à Fresnel linéaire ont certaines caractéristiques près du sol. La vitesse moyenne (moyennée) du vent augmente avec la hauteur au-dessus du sol, et les vents ont des rafales de courte durée qui sont significativement plus élevées que la moyenne et qui définissent les charges de pointe du vent sur le système LFR. Tant la variation de la vitesse avec la hauteur et la turbulence doivent être prises en compte dans la conception des LFR[41].Pour l'évaluation des charges de vent sur les structures, le profil de loi de puissance a été le plus utilisé en raison de sa simplicité. [42].Il peut être écrit comme:

$$\frac{U(z)}{U(z_{ref})} = \left[\frac{z}{z_{ref}}\right]^{\alpha} \qquad (24)$$

La valeur de l'exposant "α" fait référence au profil de la vitesse moyenne sur des surfaces de niveau uniforme.

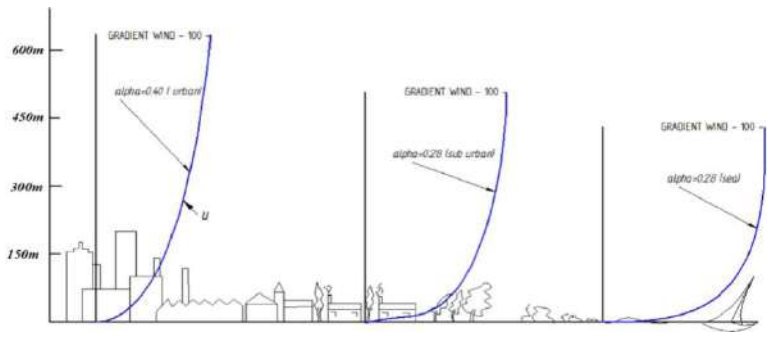


Figure 4- 1: Profils de loi de puissance de la vitesse moyenne du vent sur différents terrains

Les exposants de loi de puissance varient selon le sol. (Tableau 4-1)

Grands centres-villes	0.33
Zones urbaines et suburbaines	0.222
Pays ouvert	0.143
Zones côtières plates et non obstruées	0.100

Tableau 4- 3: Valeurs d'exposant de la loi de puissance [41]

Turbulence du vent :

Le système de Fresnel sur le terrain à des effets dynamiques très turbulents et induits par le vent et influencés par les caractéristiques de l'écoulement turbulent du vent qui approche L'intensité de la turbulence est le rapport entre l'écart-type de la vitesse du vent fluctuant et la vitesse moyenne du vent. Il représente l'intensité de la vitesse du vent fluctuant et peut être calculé par l'équation suivante [43]:

$$I_i = \frac{\sigma_i}{U(z)} \quad (i= u, v) \qquad (25)$$

Où I_u et I_v sont longitudinales respectivement une intensité de turbulence latérale. σ_u et σ_v sont des écarts-types de la vitesse du vent fluctuante longitudinale et latérale respectivement.
Dans les codes de construction du Japon (AIJ-RLB-1996) et aux États-Unis (ASCE, 1999), l'intensité de la turbulence longitudinale peut être estimée par les expressions empiriques suivantes [42]:

$$I_u = 0.1(Z_G / z)^{e+0.05} \qquad (26)$$

$$I_u = c(10/z)^d$$

Où est la hauteur du gradient. Les coefficients e, c et d sont 0,27, 0,30 et 0,176 respectivement.

4.5 Procédure numérique:

Géométrie et description des configurations de pare-vent:

L'interaction du vent avec un systeme lineare de fresnel est représentée schématiquement sur la Figure 4-2. Le vent approchant est pris selon le model a puissance « power Law » qui est un modèle simple et fiable.



Figure 4- 2 :Géométrie et domaine de calcul

Equations gouvernantes*:*

Pour prévoir le champ d'écoulement autour des miroirs des systèmes LFR, une simulation bidimensionnelle simplifiée a été réalisée pour prédire l'effet du vent sur la stabilité du système. Les simulations numériques de flux turbulent ont été évaluées en utilisant le code commercial FEM, COMSOL, la méthodologie RANS stable avec le modèle de turbulence k-ε qui est le modèle à deux équations le plus utilisé et testé, avec de nombreuses améliorations incorporées au cours des années [44].La formulation de ce modèle est la suivante [45]: Les contraintes de Reynolds $\overline{u_i' u_j'}$ sont liées à la contrainte de cisaillement du flux τ_{ij} par l'équation suivante:

$$\tau_{ij} = \rho \overline{u_i' u_j'} \qquad (27)$$

Où ρ est la densité du fluide. Nous pouvons trouver la valeur de τ , et donc $\overline{u_i' u_j'}$ de l'équation suivante:

$$\tau_{ij} = \mu_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \qquad (28)$$

Où μ_t est la viscosité turbulente. Dans le cas du modèle de turbulence $k-\varepsilon$, la viscosité de turbulence est définie comme:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \qquad (29)$$

Où C_μ est le modèle constant [41].

	C_μ	$C_{\varepsilon 1}$	$C_{\varepsilon 2}$	σ_ε	σ_k
COMSOL et ANSY CFX	0.09	1.44	1.92	1.3	1.0

Tableau 4- 4: Valeurs des constantes du modèle de turbulence [41]

En résolvant les équations différentielles suivantes pour l'énergie cinétique de la turbulence, k,et le taux de dissipation turbulente, ε ,nous pouvons trouver une valeur pour μ_t [45]:

$$\frac{D(\rho k)}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right) + \tau_{ij}\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \rho\varepsilon$$
$$\frac{D(\rho\varepsilon)}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right) + C_{\varepsilon 1}\frac{\varepsilon}{k}\tau_{ij}\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - C_{\varepsilon 2}\rho\frac{\varepsilon^2}{k} \quad (30)$$

Où σ_k, σ_ε, $C_{\varepsilon 1}$, $C_{\varepsilon 2}$ et C_μ sont toutes les constantes du modèle empirique. Les valeurs par défaut de ces constantes dans la plupart des logiciels commerciaux CFD, y compris ANSYS CFX et COMSOL, sont présentées dans le Tableau 4-2.

4.6 Résultant de la simulation

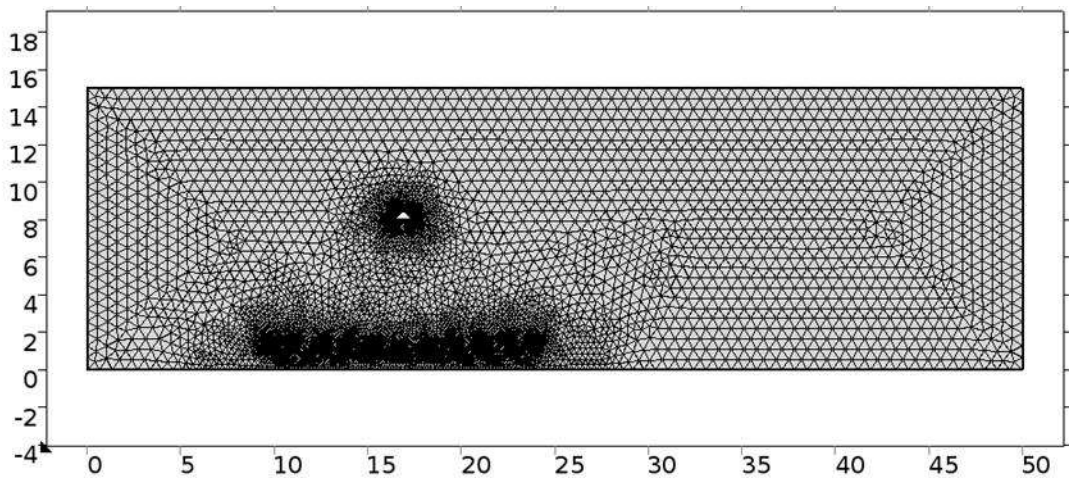


Figure 4- 3: Maillage triangulaire non structuré

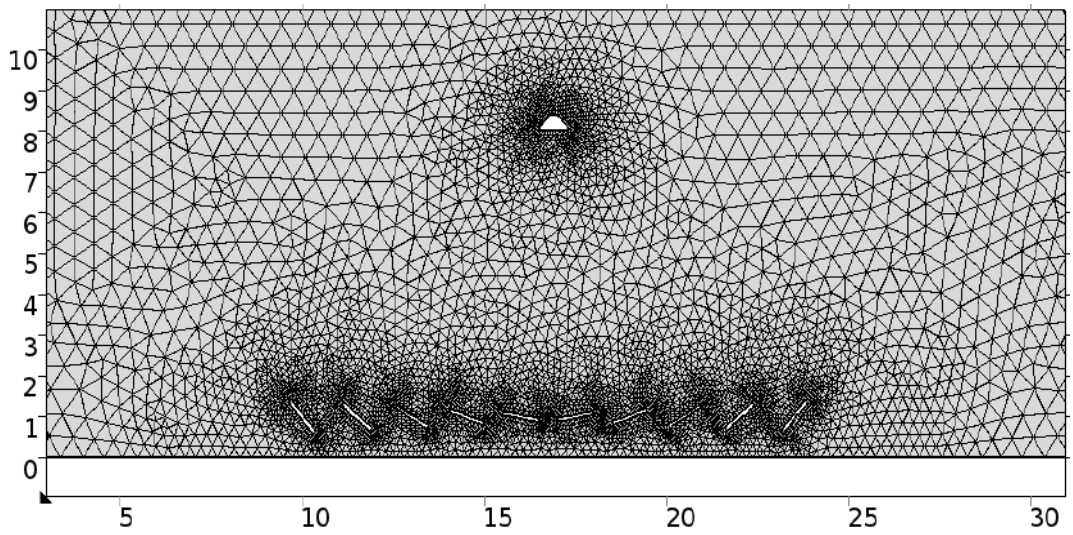


Figure 4- 4: Maillage à proximité du système

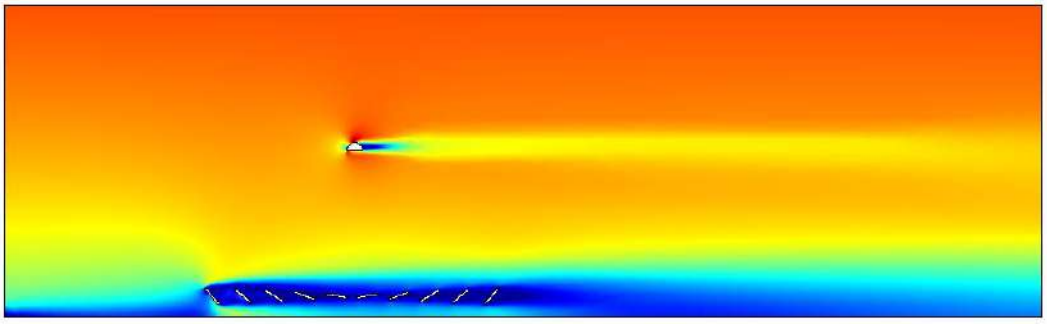


Figure 4- 5:Champ d'écoulement du vent



Figure 4- 6: Champ de pressions

Pression exercée sur les miroirs

U= 20 m/s

1-Haut de miroir

La figure 4-7 illustre les pressions exercées sur les principaux miroirs du système et sur le côté haut dans le cas de vitesse de vent de 20m/s.

La première remarque est que la plupart des pressions exercées sont nulles ou négatives « existence de zones de dépression ». Le premier rangée de miroirs est le plus affectée de ces pressions négatives puisque la pression enregistrée sur le premier miroir est de l'ordre de « -65Pa » tandis que les autres miroirs ne sont pas vraiment affectées puisque les pressions enregistrées sont comprises entre :-30Pa et 0Pa.

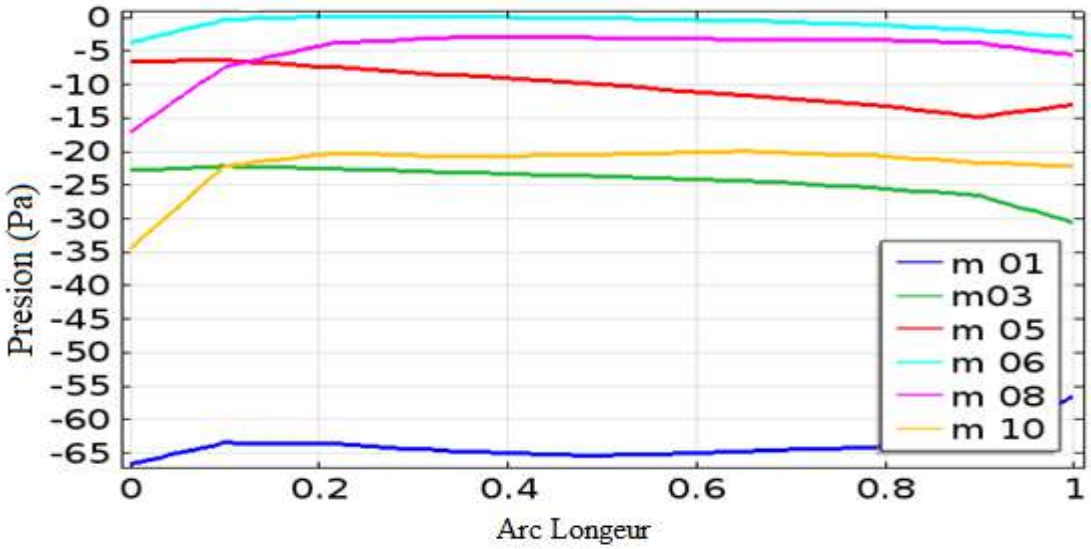


Figure 4- 7: Pression exercée sur les miroirs

2- Bas de miroir

La figure 4-8 illustre les pressions exercées sur les principaux miroirs du système et sur le côté bas dans le cas de vitesse de vent de 20m/s.

Contrairement au côté haut. Le premier rangée de miroirs est le plus affectée puisque la pression maximale enregistrée sur le premier miroir est de l'ordre de

« 90 Pa » tandis que les pressions enregistrées sur les autre miroirs négatives et sont comprises entre :-10Pa et -50Pa.

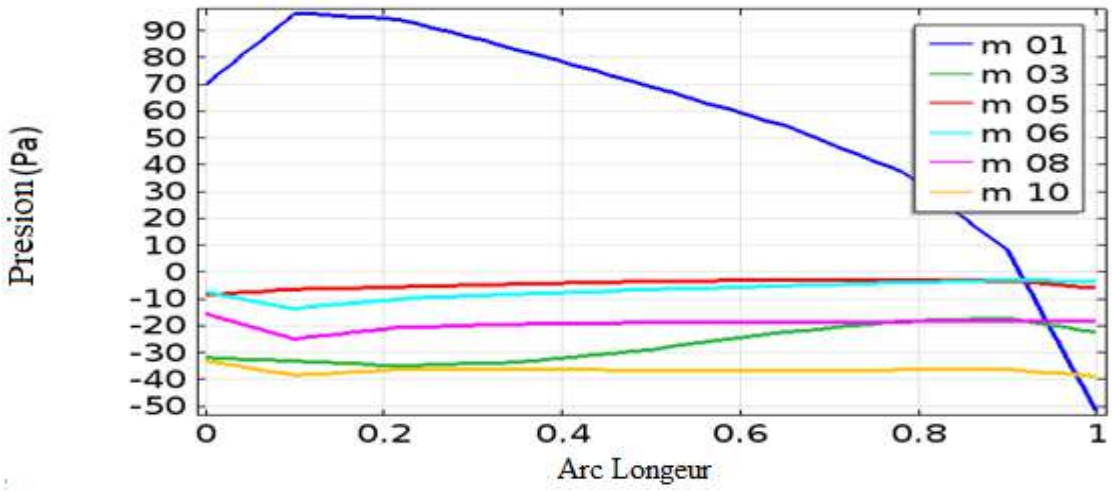


Figure 4- 8: Pression exercée sur les miroirs

U= 30 m/s

1-Haut de miroir

La figure 4-9 illustre les pressions exercées sur les principaux miroirs du système et sur le côté haut dans le cas de vitesse de vent de 30m/s.

La première remarque est que la plupart des pressions exercées sont nulles ou négatives « existence de zones de dépression ». Le premier rangée de miroirs est le plus affectée de ces pressions négatives puisque la pression enregistrée sur le premier miroir est de l'ordre de « -150Pa » tandis que les autres miroirs ne sont pas vraiment affectées puisque les pressions enregistrées sont comprises entre :-70Pa et 0Pa.

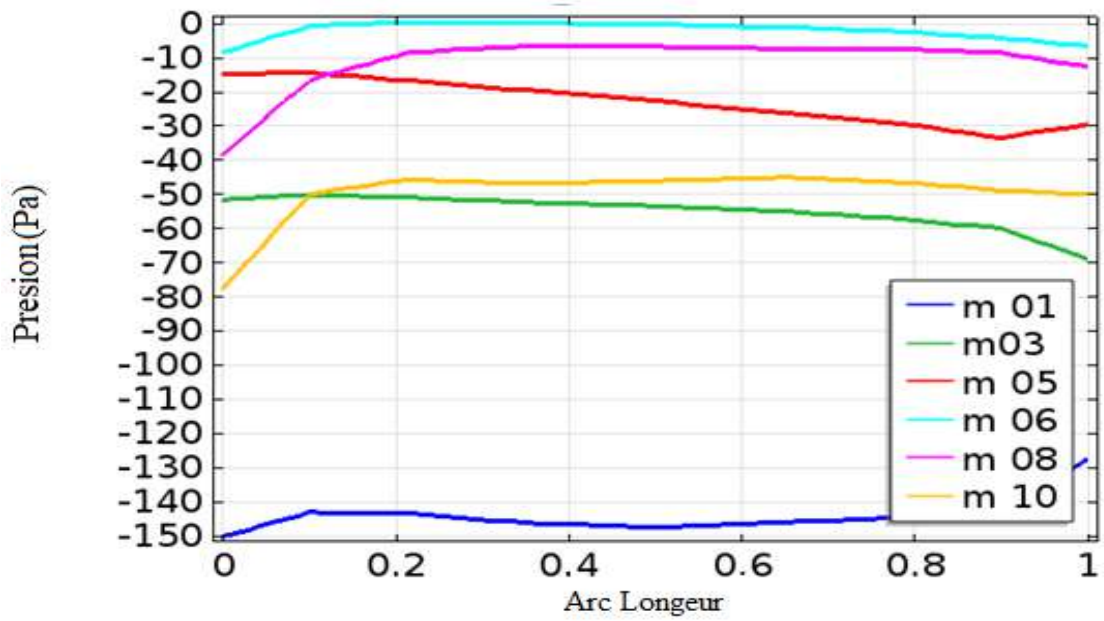


Figure 4- 9: Pression exercée sur les miroirs

2-Bas de miroir

La figure 4-10 illustre les pressions exercées sur les principaux miroirs du système et sur le côté bas dans le cas de vitesse de vent de 30 m/s.

Contrairement au côté haut. Le premier rangée de miroirs est le plus affectée puisque la pression maximale enregistrée sur le premier miroir est de l'ordre de « 200 Pa » tandis que les pressions enregistrées sur les autre miroirs négatives et sont comprises entre :-100Pa et -0Pa.

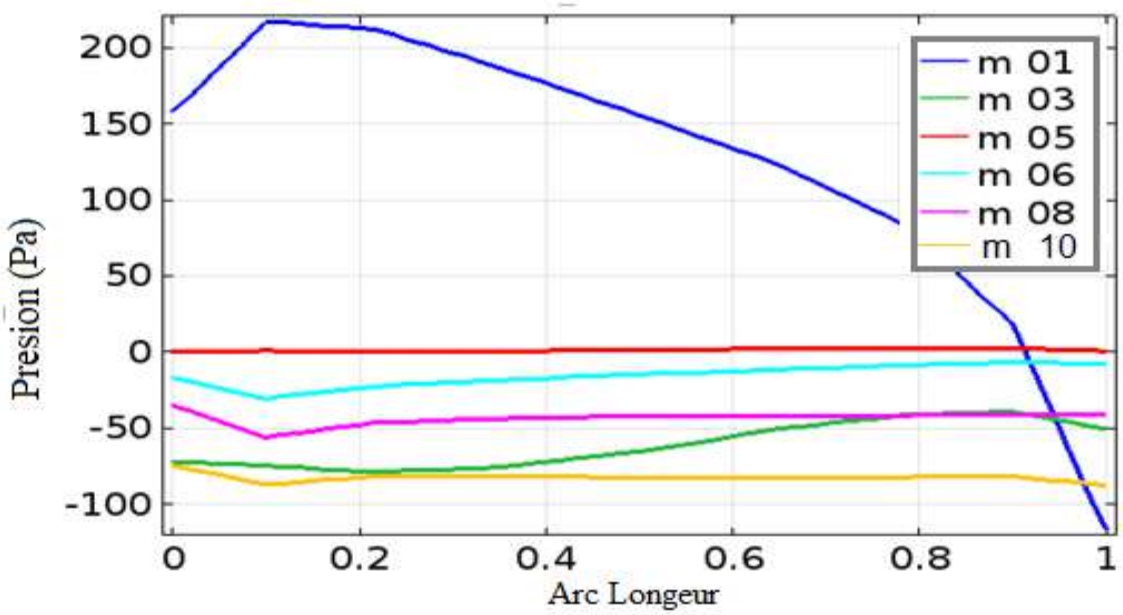


Figure 4- 10: Pression exercée sur les miroirs

U= 40 m/s

1-Haut de miroir

La figure 4-11 illustre les pressions exercées sur les principaux miroirs du système et sur le côté haut dans le cas de vitesse de vent de 40m/s.

La première remarque est que la plupart des pressions exercées sont nulles ou négatives « existence de zones de dépression ». Le premier rangée de miroirs est le plus affectée de ces pressions négatives puisque la pression enregistrée sur le premier miroir est de l'ordre de

« -180Pa » tandis que les autres miroirs ne sont pas vraiment affectées puisque les pressions enregistrées sont comprises entre :-100Pa et 0Pa.

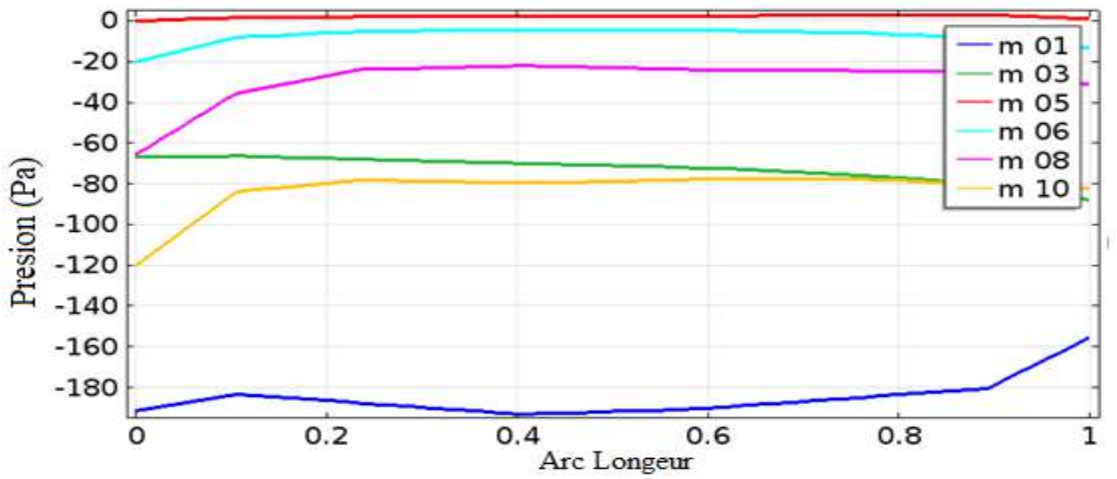


Figure 4- 11: Pression exercée sur les miroirs

2-Bas de miroir

La figure 4-12 illustre les pressions exercées sur les principaux miroirs du système et sur le côté bas dans le cas de vitesse de vent de 40 m/s.

Contrairement au côté haut. Le premier rangée de miroirs est le plus affectée puisque la pression maximale enregistrée sur le premier miroir est de l'ordre de

« 250 Pa » tandis que les pressions enregistrées sur les autre miroirs négatives et sont comprises entre :-130Pa et 0Pa.

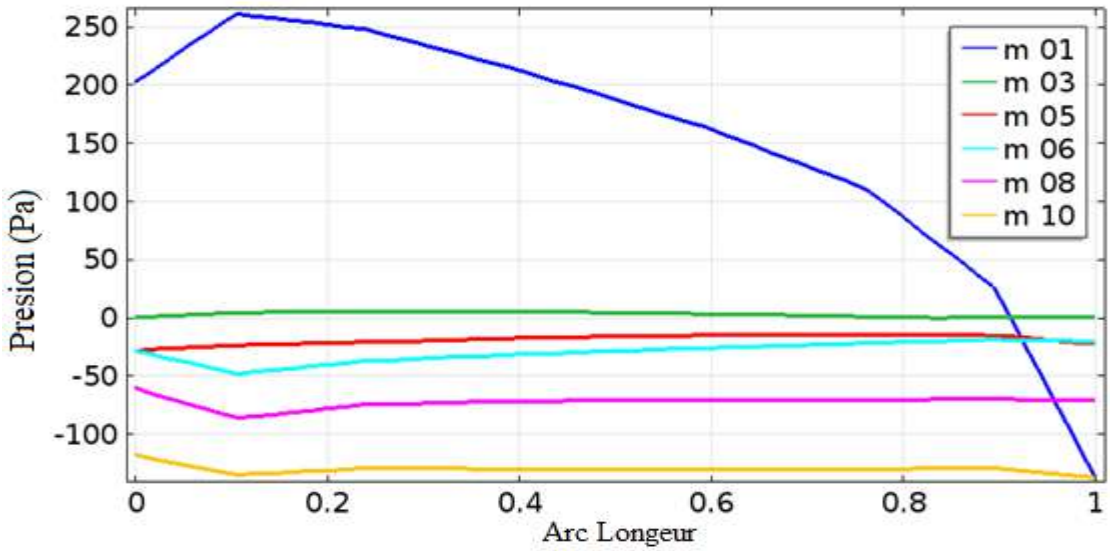


Figure 4- 12: Pression exercée sur les miroirs

Le tableau ci-dessous résume les pressions maximales exercées sur chaque miroir dans les trois cas de vitesses de vent sur le haut des miroirs.

	Pression (Pa)					
	Miroir 1	Miroir 3	Miroir 5	Miroir 6	Miroir 8	Miroir 10
U=20m/s	-65	-25	-10	-3	-5	-20
U=30m/s	-150	-50	-0	-3	-50	-80
U=40m/s	-180	0	-25	-40	-80	-130

Tableau 4 - 3 : Les pressions maximales exercées sur chaque miroir dans les trois cas

Le tableau ci-dessous résume les pressions maximales exercées sur chaque miroir dans les trois cas de vitesses de vent sur le bas des miroirs.

	Pression (Pa)					
	Miroir 1	Miroir 3	Miroir 5	Miroir 6	Miroir 8	Miroir 10
U=20m/s	90	-30	-8	-1	-10	-35
U=30m/s	200	-60	-20	-25	-50	-80
U=40m/s	250	-70	0	-10	-25	-80

Tableau 4 - 4 : Les pressions maximales exercées sur chaque miroir dans les trois cas

CONCLUSION GENERALE

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à la technologie solaire à concentration (CSP), basée sur le principe de concentration linéaire de Fresnel, Cette technologie est récente est en pleine évolution.

L'expérience et le savoir-faire dans cette technologie progressent donc rapidement, mais beaucoup reste à faire.

L'intérêt pour cette technologie est du à sa conception simple, qui permet de réduire considérablement les coûts. Les applications vont de la grande échelle pour la production d'électricité, à des installations de petite et moyenne puissances pour le bâtiment ou l'industrie, Le concentrateur linéaire de Fresnel est composé d'un champ de miroirs plans, déformés élastiquement, et d'un récepteur qui comprend : un ou plusieurs tubes dans lequel circule le fluide caloporteur, souvent un réflecteur secondaire et toujours une paroi de verre.

Nous avons effectué une étude théorique et géométrique concernant la largeur des miroirs et leurs emplacements l'un par rapport à l'autre, l'inclination et son décalage.

Dans ce mémoire, nous avons utilisé un modèle mathématique qui régi la géométrie d'un système solaire a concentration linéaire de Fresnel ce qui nous a aidé à trouver la situation optimale pour le diamètre de l'absorbeur et sa relation avec la distance focale, nous avons observé à travers les résultats que chaque fois que le diamètre du absorbeur était petit, le rapport de concentration était grand, en a remarqué aussi que l'effet de la hauteur (f) est un paramètre important dans notre système.

La simulation numérique de l'effet du vent sur les rangées de miroirs de Fresnel nous a permis de savoir dans quelle mesure nos efforts ont été influencés par des facteurs naturels, Le gisement solaire joue également un rôle important dans la réalisation de l'idéalisme, notamment en Algérie grâce à sa situation géographique. Dans ce dernier, on peut dire que cette technologie est très prometteuse et peut progresser sur d'autres technologies surtout que c'est toujours dans la poursuite de la recherche, l'amélioration des propriétés optiques et thermiques est très nécessaire pour atteindre un meilleur rendement par rapport les autres technologies CSP

ANNEXE

1- Programme Matlab :

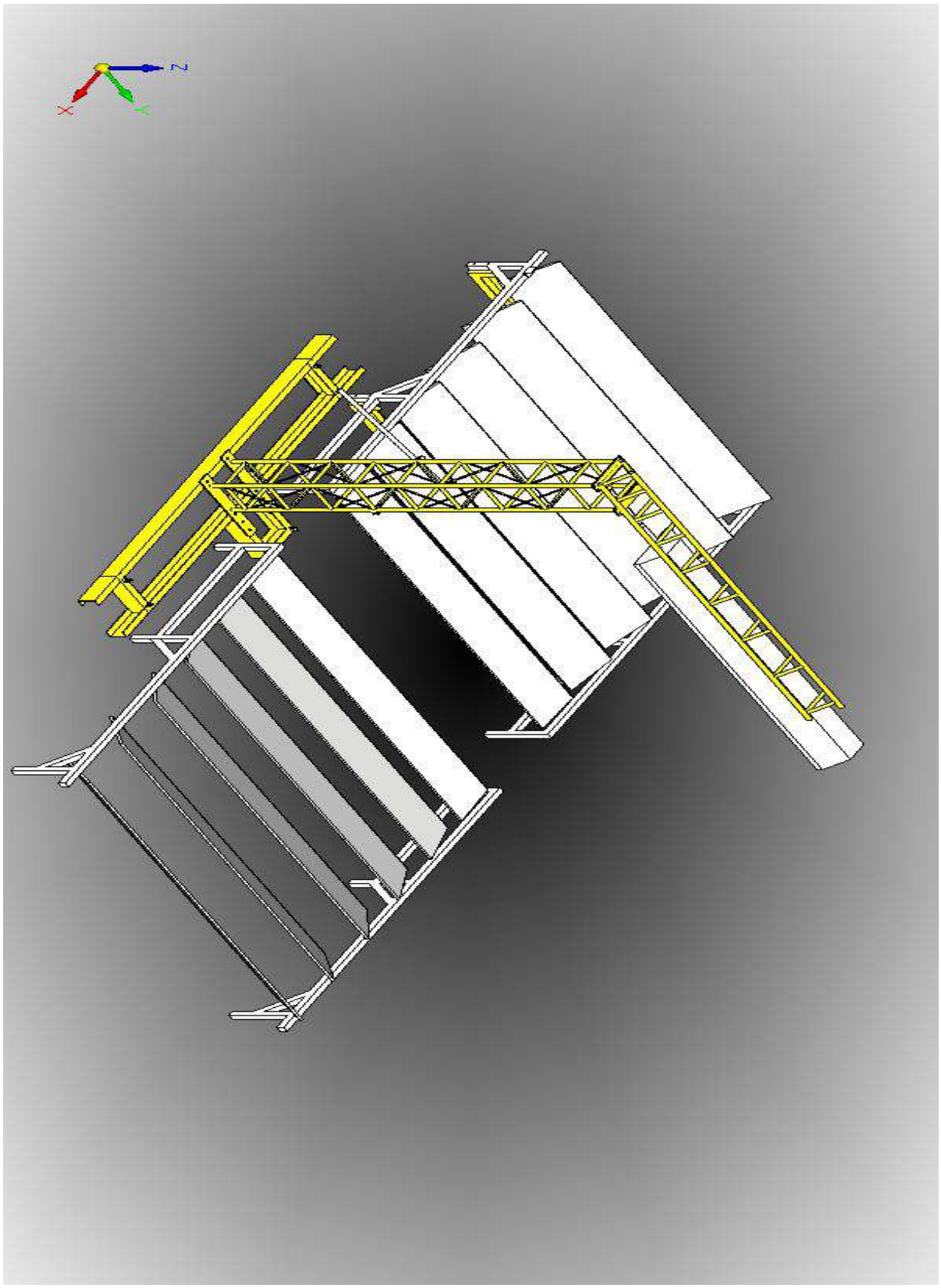
```
clear, clc, close all
f = 1 : 0.2 : 5;
W = 0.3;
zeta0 = (16 * pi)/180;
 d =0.02;
 D = 0.3;
Q0 =d/2;
teta0= 0;
S1=0;
Q1 = W/2;
mf = length(f);
% nbre de miroirs
% largeur
nf = 6;
teta = zeros(nf,1);
mat_teta = [ ];
mat_S=  [ ];
mat_Q = [ ];
mat_CR=  [ ];
for i1 = 1 : mf
    S = zeros(nf,1);
   Q = zeros(nf,1);
    r = zeros(nf-1,1);
  CI = zeros(nf-1,1);
S(1) = S1;
Q(1) = Q0;
for n = 1 : nf -1

      boucle1 = 1;
```

```
while (boucle1 == 1)
teta(n+1) = teta(n+1) + pi/180;
S(n+1) =  W * sin(teta(n+1)) * tan(2*teta(n)+zeta0);
Q(n+1) = Q(n) + W * cos(teta(n)) + S(n+1);
if  (  tan(2*teta(n+1)) - (Q(n+1) + (W/2) * cos( teta(n+1))) / ( f(i1) - (W/2) * sin(teta(n+1)))  )
< 0
boucle1 = 0;
end
end
if (2*(Q1 + sum( W * cos(teta(2:n)) + S(2:n))) < D), break, end

     r(n+1) = W * cos(teta(n+1)) * (1/ sin(2*teta(n+1))) + (Q(n+1)/ sin(2*teta(n+1))) *
(sin(zeta0)/ sin(2*teta(n+1)+zeta0))+...
                ((Q(n+1)+W*cos(teta(n+1)))/ sin(2*teta(n+1))) * (sin(zeta0)/ sin(2*teta(n+1)-
zeta0));
CI(n+1) = (W*cos(teta(n+1)))/ r(n+1);
end
CR = 2 * sum( CI);
mat_CR = [ mat_CR,  CR ];
mat_teta = [mat_teta,  teta ];
mat_S=  [mat_S, S ];
mat_Q =  [ mat_Q, Q ];
end
figure(1)
holdon
for i2 = 1 : mf
plot(f,  mat_CR)
end
holdoff
xlabel('f')
ylabel('CR')
zlabel('d')
title('titre')
```

2- Schéma 3D du projet du système solaire a concentration linéaire de Fresnel de l'UDES



Références :

[1] James P.Dorian, Herman T.Franssen, Dale R.Simbeck. Global challenges in energy. Energy Policy.34 (2006).

[2] Jan Kjarstad, FilipJohnsson. Resources and future supply of oil. Energy Policy. 37 (2009) 441–446.

[3] Tara C. Kandpal, Lars Broman. Renewable energy education: A global status review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. (2014)

[4] Noam Lior. Energy resources and use: The present situation and possible paths to the future. Energy. (2008)

[5] Yabei Zhang, Steven J. Smith, G. Page Kyle, Paul W. Stackhouse Jr. Modeling the potential for thermal concentrating solar power technologies. Energy policy. (2010)

[6] Tomislav M. Pavlovi, Ivana S. Radonji, Dragana D. Milosavljevi, Lana S. Panti. A review of concentrating solar power in the world and their potential use in Serbia. Renewable and sustainable energy review. 16 (2012) 3891-3902.

[7] J. Hernandez-Moro, J.M. Martinez-Duart. CSP electricity cost evolution and grid parities based on the IEA roadmaps. Energy policy. 41 (2012) 184-192.

[8] Sargent & Lundy. Assessment of Parabolic Trough and Power Tower Solar Technology Cost and, Performance Forecasts. National Renewable Energy Laboratory. USA. 2003.

[9] RAMADJI Frederick, contribution à la conception et dimensionnement d'un récepteur linéaire pour un concentrateur solaire de type linéaire Fresnel, Mémoire, Octobre 2015.

[10] François Veynandt, Cogénération hélio-thermodynamique avec concentrateur linéaire de Fresnel : modélisation de l'ensemble du procédé Thèse, 1er Décembre 2011.

[11] Quoilin Sylvain, Les Centrales Solaires à Concentration, Mémoire, Mai 2007.

[12] Axel Augeard Côme, Cabriel, Clément Le Berre, Concentrateurs solaires et production électrique, Mémoire, 06/2014.

[13] Elina Hakkarainen comparison of different concentrated solar power collector designs and dvelopment of a linear Fresnel solar collector model. Masters Thèses 2015

[14] Housseyn KAROUA, Etude des performances thermiques d'un capteur solaire avec effet de concentration de type Fresnel, Mémoire, Octobre 2011.

[15] P. Tsekouras, C. Tzivanidis, K. Antonopoulos, Optical and thermal investigation of a linear Fresnel collector with trapezoidal cavity receiver, Memoir, February 2018.

[16] F.Yanga, D.Itskhokinea, S.Benmarrazea, M.Benmarrazea, Acceptance testing procedure for Linear Fresnel Reflector solar systems in utility-scale solar thermal power plants, article (2015)

[17] Gianni Ferretti Giambattista Gruosso Gianantonio Magnani Manuele Redaelli Paolo Rocco Guido Guardabassi, Mechatronic Design of the Sun Tracking System of a Linear Fresnel Reflector Solar Plant, article, 2010

[18] M. Babu and A. ValanArasu, Theoretical Performance Analysis of Linear Fresnel Reflector Concentrating Solar System with Vertical Absorber, Article, July 2015.

[19] Mohamed Lamine YOUSFI, Performances technico-économiques de centrales cylindro-paraboliques de puissance, Mémoire de Magister, 2008/2009

[20] Khalil BENMOUIZA, Quantification of solar radiation in Algeria, application to the

sizing of photovoltaic systems, Mémoire, Mai 2015.

[21] F. Eddhibi1, M. Ben Amara1, M. Balghouthi1, A.A. Guizani1, Analytic optical design of a Linear Fresnel solar collector with variable parameters, article, 2017.

[22] Imad Eddine Meriche, Simulation et Modélisation d'Installation de Type Solaire thermodynamique Hybride, THÈSE, 2017.

[23] K. Gouthamraj, K. Jamuna Rani, G. Satyanarayana, Design and Analysis of Rooftop Linear Fresnel Reflector Solar Concentrator, article, May 2013

[24] F. Harouadi, B. Mahmah, M. Belhamel, S. Chader, A. M'Raoui et C. Etievant Les potentialités d'exploitation d'hydrogène solaire en Algérie dans un cadre euro – maghrébin Partie I: Phase d'étude d'opportunité et de faisabilité, article 2007

[25] boutghan Cherifa, amélioration des performances d'un collecteur solaire, mémoire 11/2012

.[26] Hamdi Mounir, Étude théorique du concentrateur cylindro-parabolique, Mémoire, 2012

[27] Linear Fresnel systems: the future for CSP? , web site http://www.ee.co.za/article/linear-fresnel-systems-future-csp.html, date 14/04/2018

[28] Fresnel lens theoretical analysis, Article, Chapter 2

[29] Gabriel Morin , Werner Platzer, Markus Eck , Ralf Uhlig, Andreas Häberle, Michael Berger [c], Eduardo Zarza, road map towards the demonstration of a linear Fresnel collector using a single tube receiver

[30] Mohamed H. Ahmed and Amr M. A. Amin, Thermal Analysis of the Performance of Linear Fresnel Solar Concentrator, article, September 2016

[31] International Renewable Energy Agency, article renewable energy technologies: costanalysisseries, June 2012

[32] H. Beltagy, D. Semmar, et N. Said, Performances d'une centrale à concentrateur de Fresnel de moyenne puissance sur sites Algériens, article 2014

[33] M.I. Roldán Serrano, Springer International Publishing Switzerland, Concentrating Solar Thermal Technologies, article chapter 2,2017

[34] Tabet Ismail, Étude, Réalisation et simulation d'un capteur solaire, THESE, 2016

[35] Industrial SolarGmbH, Fresnel collector, article, 2015

[36] Syndicat des énergies renouvelables, Principe de fonctionnement du solaire thermodynamique, article, juin 2012

[37] Martin Haagen, the Potential of Fresnel Reflectors for Process Heat Generation in the MENA Region, Master Thesis, 2012

[38] Khoudrane Ismail, Etude d'un système de poursuite solaire pour les panneaux photovoltaïques, Mémoire, 2014

[39] Q. Lancereau, Q. Rabuta, D. Itskhokine, M. Benmarraze,Wind loads on Linear Fresnel Reflectors' technology: a numerical study, article, 2014

[40] Wikipedia

[41] H. Bendjebbas, A. Abdellah El-Hadj and M. Abbas, Full scale, wind tunnel and CFD analysis methods of wind loads on heliostats: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 54 (2016).

[42] Q.S. Li, Zhi Lunhai and Hu Fei, Boundary layer wind structure with from observations on a 325m tower. Journal of wind engineering and industrial aerodynamics, (2010)

[43] Sun Honghang, Gong Bo, Yao Qiang, A review of wind loads on heliostats and trough collectors. Renewable and sustainable energy reviews, (2014).

[44] Argyropoulos CD, Markatos NC. Recent advances on the numerical modeling of turbulent flows. J Appl Math Model 2015

[45] Gillas Serge, Glover Nina, Malki-ApshteinLiora. Bayesian calibration of the constants of the k-epsilon turbulence model for a CFD model of street canyon flow. Comput Methods Appl Mech Eng 2014

[46] Analyse des pertes thermiques, Article CDER 2012.