

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

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
Département Génie Mécanique



Mémoire du Master pour l'obtention
du Diplôme de Master en
Génie Mécanique

Thème

Optimisation des centrales solaires à capteur
cylindro-parabolique de 100 MW pour
différents sites en Algérie

Dirigé par :

BENBRAÏKA Mohamed

SMAÏLI Arezki

présenté par :

DJOUDI Younes

Promotion 2012

Remerciement

Avant tout, je remercie ALLAH tout puissant de m'avoir donné la volonté et le courage de mener à bien ce travail. Et d'une façon toute particulière, je remercie mes chers parents, mes frères et mes sœurs, pour leur patience et le bonheur qu'ils m'ont apporté.

Je tiens à remercier mes encadreurs M. BENBRAÏKA Mohamed et M. SMAÏLI Arezki pour m'avoir fait travailler sur un projet aussi intéressant et riche. Je leur suis reconnaissant tout particulièrement pour la confiance qu'ils m'ont témoignée et pour les efforts qu'ils ont fourni tout au long de cette inoubliable période. Je tiens à leur témoigner ma gratitude pour leurs précieux conseils et leur disponibilité.

Je tiens à remercier MM. CHITOUR Chems Eddine, SAID Nouredine, DJOUDI Abdelhak et MAAMAR Mohamed, pour avoir consacré de leur précieux temps afin de contribuer à l'aboutissement de ce travail.

Mes remerciements s'adressent également à Messieurs les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail, avec l'espoir d'être à la hauteur de leur attente.

Je remercie aussi tous les enseignants qui, tout au long de ces années d'études, m'ont encadré, observé, aidé, conseillé et même supporté surtout ceux du département de Génie Mécanique.

Enfin, je souhaite exprimer toute ma gratitude à l'ensemble des personnes, qui bien en marge de ce travail, ont contribué largement à son aboutissement, sans oublier mon cher ami ANANE Chérif dit 'le général'. Je les remercie sincèrement.

ملخص

في هذه الاطروحة قمنا بعرض تاريخ تطور المركزات الحرارية و بعض البحوث المنجزة في هذا المجال (ملتقط قطعي مكافئ اسطواني). و لقد بحثنا على أحسن منطقة من بعض المناطق الجزائرية أين المحطة الشمسية الحرارية ذات ملتقط قطعي مكافئ اسطواني تولد أكبر طاقة كهربائية. واستنتجنا أن تمراسات هي المنطقة الملائمة لهذا الغرض و ذلك بإستعمال برنامجي Meteonorm و SAM اللذان يعتبران أدوات قوية للتحليل.

الكلمات المفتاحية : المحطة الشمسية الحرارية، ملتقط قطعي مكافئ اسطواني.

Résumé

Dans ce mémoire, on a présenté l’historique des CSP et quelques travaux qui sont réalisés dans le domaine du collecteur cylindro-parabolique. On a recherché les meilleures configurations de fonctionnement pour une centrale solaire thermique à concentrateur cylindro-parabolique de capacité 100 MWe pour les différents sites algériens en utilisant les logiciels Meteonorm et SAM qui sont des outils puissants d'analyses. On a conclu que le site de Tamanrasset est le site qui produit plus d’électricité parmi les sites qu’on a proposé.

Mots clés: Centrale solaire thermique, collecteur solaire cylindro-parabolique.

Abstract

In this work, we presented the history of CSP and some works has been done in the domain of solar parabolic trough collector. We search the best configurations of the function for the solar parabolic trough collector power plant of the 100 MWe for the different sites in Algeria using Meteonorm and SAM softwares. We obtained that Tamanrasset is the site that product more electricity than others.

Keywords: Solar thermal power plants, solar collector parabolic trough.

La Table des Matières

Remerciement	i
Résumé.....	ii
La Table des Matières	iii
Liste des figures	v
Liste des tableaux	vii
Nomenclature.....	viii
Introduction générale.....	1
1 Historique des CSP.....	2
1.1 Historique de l'utilisation de l'énergie solaire à concentration [1]	2
1.2 L'état de l'art des centrales solaires à capteur cylindro-parabolique	6
2 Simulation et interprétation des résultats.....	20
2.1 Introduction	20
2.2 Système Advisor Model (SAM).....	20
2.2.1 Définition et description du SAM	20
2.2.2 Les simulations de SAM	21
2.2.3 Base de calcul de SAM.....	22
2.3 Etude paramétrique pour les sites des installations	24
2.3.1 Entrées de SAM.....	24
2.3.2 Résultats de la simulation	24
2.3.3 Interprétation des résultats.....	25
2.4 Le site de Tamanrasset	26
2.4.1 Détermination du Fluide caloporteur.....	26
2.4.1.1 Résultats de simulation.....	27
2.4.1.2 Interprétations des résultats	28
2.4.2 Détermination de type du Collecteur.....	28
2.4.2.1 Résultats de simulation.....	29
2.4.2.2 Interprétations des résultats	30
2.4.3 Détermination du récepteur	30

2.4.3.1	Résultats de simulation.....	31
2.4.3.2	Interprétations des résultats	32
2.5	Conclusion.....	32
3	Conclusion générale	34
	Bibliographie.....	35
	Annexe	37

Liste des figures

Figure 1 : Les miroirs ardents d'Archimède pour déclencher des incendies.....	2
Figure 2 : Schéma d'un absorbeur	8
Figure 3 : Variation de la température du fluide caloporteur en fonction du temps à la sortie du tube absorbeur	8
Figure 4 : Variation de la température du tube absorbeur en fonction du temps à la sortie ..	9
Figure 5 : Variation de la température d'enveloppe du verre en fonction du temps à la sortie du tube absorbeur.....	9
Figure 6 : Variation de la température du fluide caloporteur en fonction de la longueur de l'absorbeur	9
Figure 7 : Schématisation des échanges thermiques entre les différents éléments du collecteur cylindro-parabolique	11
Figure 8 : Evolution de la température de sortie du fluide, de l'absorbeur et de la vitre pour le 21 Juin.....	12
Figure 9 : Evolution de la température de sortie du fluide, de l'absorbeur et de la vitre pour le 21 Mars	12
Figure 10 : Evolution de la température de sortie du fluide, de l'absorbeur et de la vitre pour le 21 Décembre.....	13
Figure 11 : Evolution de la température de sortie du fluide, de l'absorbeur et de la vitre pour le 21 Septembre.....	13
Figure 12 : Evolution du facteur d'interception en fonction de l'angle d'ouverture.....	16
Figure 13 : Evolution du facteur d'interception du déplacement de l'absorbeur dans le plan focal	17
Figure 14 : Evolution du facteur d'interception en fonction de d^*	17
Figure 15 : Evolution du facteur γ en fonction de D de l'absorbeur	18
Figure 16 : La page de démarrage de SAM.....	21
Figure 17 : Interface des simulations possibles avec SAM	22
Figure 18 : Les étapes à suivre pour prendre une décision.....	23
Figure 19 : Energie annuelle d'une centrale solaire thermique a concentrateur cylindro-parabolique pour différent sites algérien	25

Figure 20 : Le prix en cents/kWh d'une centrale solaire thermique a concentrateur cylindro-parabolique pour les différents sites algériens	25
Figure 21 : Energie annuelle pour les différents types de fluide caloporteur au site de Tamanrasset	27
Figure 22 : Le prix en kWh pour les différents types de fluide caloporteur au site de Tamanrasset	28
Figure 23 : Energie annuelle pour les différents types de collecteur au site de Tamanrasset	29
Figure 24 : Energie annuelle pour les différents types de collecteur au site de Tamanrasset	30
Figure 25 : Energie annuelle en kWh les différents types du récepteur du site Tamanrasset.	31
Figure 26 : Le prix en cents/kWh pour les différents types du récepteur du site Tamanrasset.	32

Liste des tableaux

Tableau 1 : Effet du débit volumique sur la distribution de la température du fluide caloporteur à la sortie du tube absorbeur.....	15
Tableau 2 : Résultats de la simulation d'une centrale solaire thermique a concentrateur cylindro-parabolique pour diffèrent sites algériens	24
Tableau 3 : Le classement des différents sites algériens et la possibilité d'hybridation	26
Tableau 4 : Energie annuelle et prix en cents/kWh pour différents types de fluide caloporteur au site de Tamanrasset.....	27
Tableau 5 : Energie annuelle pour les différents types du collecteur au site de de Tamanrasset.....	29
Tableau 6 : Energie annuelle en kWh et prix en cents/kWh pour différents types de récepteur du site Tamanrasset.	31
Tableau 7 : Le collecteur EuroTrough ET150 prédéfini sur le SAM.....	37
Tableau 8 : Le collecteur Luz LS-2 prédéfini sur le SAM	37
Tableau 9 : Le collecteur Luz LS-3 prédéfini sur le SAM	38
Tableau 10 : Le collecteur Solargenix SGX-1 prédéfini sur le SAM.....	38
Tableau 11 : Le collecteur AlbiasaTrough AT150 prédéfini sur le SAM.....	39
Tableau 12 : Les récepteurs prédéfinis dans SAM	39

Nomenclature

ASA : Agence Spatiale Allemande

BP : Basse pression

CCP : Collecteur cylindro-parabolique

C_p : Chaleur spécifique à pression constante (kJ/(kg K))

CLFR : Compact Linear Fresnel Collectors

CSP : Concentrateur solaire de puissance

DNI : « Direct Normal Insolation » ; L'insolation normale directe. (W/m^2)

DLE : « Dry Low Emissions » ; Séchage à basses émissions

E : Rayonnement solaire reçu à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre (W/m^2).

ET 150 : « Europ Trough 150 » ; Norme Européenne des collecteurs

HTF: « Heat transfer fluid »; Fluide caloporteur

HRSG: « Heat recovery steam generator »; Chaudière de recuperation

HP : Haute pression

CNRS : Centre national de la recherche scientifique

EDF : Electricité de France

ISCCS: « Integrated Solar Combined Cycle System » ; Système d'un cycle combiné avec intégration solaire

D : Diamètre (mm)

kWh : Le Kilowatt heure

\dot{m}_a : Débit d'admission d'air (kg/s)

\dot{m}_{air} : Débit d'air (kg/s)

\dot{m}_{HTF} : Débit du fluide caloporteur (kg/s)

MW_e : Mégawatt électrique (MW)

P_{TAV} : La puissance de turbine à vapeur (MW)

P_E : Pression d'entrée (MW)

Q_{eau} : Puissance thermique reçue par l'eau (MW)

Q_{HTF} : Puissance thermique transportée par le fluide caloporteur (MW)

REEEP: Renewable Energy and Energy Efficiency Partnership

SEGS : « Solar Electric Generation System » ; Nom des centrales solaires thermodynamiques situées en Californie.

$S_{captation}$: Surface de captation [m^2]

T_{amb} : Température ambiante (K, °C)

TAV : Turbine à vapeur

U.V : Ultra-violet

γ : Facteur d'interception

$\sigma\sigma$: Taux d'ensoleillement

ρ : Masse volumique (kg/m³)

δ : L'angle de déclinaison (°)

Introduction générale

On commence notre travail par le premier chapitre où on a présenté un historique un peu détaillé sur la technologie des CSP sur deux parties ; dans la première, on a parlé sur l'utilisation de l'énergie solaire à concentration. Dans la deuxième, on a parlé de l'état de l'art des centrales solaires à capteur cylindro-parabolique où on a présenté quelques travaux qui sont réalisés dans le domaine de collecteur cylindro-parabolique.

Dans le deuxième chapitre, on a fait une étude sur l'énergie électrique qui peut être produite en Algérie avec la comparaison entre les sites proposés. On choisira les meilleurs paramètres techniques pour le site qui produit le maximum d'énergie électrique. Le choix de la technologie dépend de l'énergie électrique produite et le prix du kWh.

1 Historique des CSP

1.1 Historique de l'utilisation de l'énergie solaire à concentration [1]

Cette partie traite des différentes utilisations et transformations de l'énergie solaire des débuts de l'humanité à nos jours. Le célèbre mythe d'Icare et Dédale nous montre que les Anciens étaient conscients de la puissance du soleil qu'ils honoraient sous le nom d'Hélios.

Il y a plus de 4500 ans, les civilisations anciennes faisaient du soleil un véritable dieu. L'épisode du miroir d'Archimède (en 250 avant JC) rapporte qu'afin de détruire la flotte romaine, Archimède aurait conçu et utilisé des miroirs concaves, les « miroirs ardents » pour déclencher des incendies par concentration des rayons solaires.

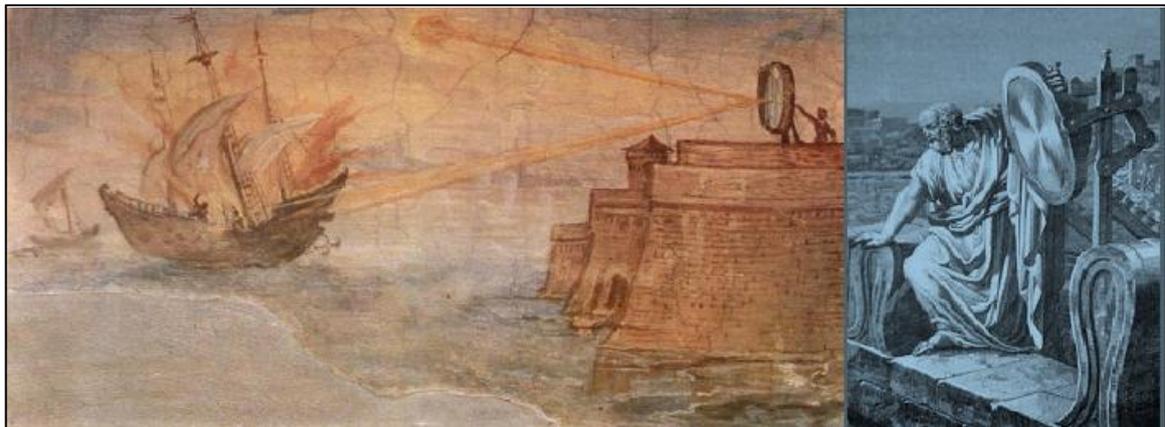


Figure 1 : Les miroirs ardents d'Archimède pour déclencher des incendies

À Rome, les vestales allumaient le feu sacré à l'aide d'un miroir concave en bronze poli. On peut ajouter les cadrans solaires, les calendriers...

En 133, Héron d'Alexandrie étudia également les phénomènes de réflexion de la lumière sur des miroirs plans, convexes ou concaves.

XVème-XVIIIème siècles :

Léonard de Vinci (1515) a mis au point un concentrateur solaire.

En 1615, Salomon de Gauss construisit une pompe solaire. La force motrice était fournie par de l'air chauffé avec le rayonnement solaire.

Isaac Newton donna, en 1669, une théorie de la composition de la lumière blanche qui est devenue la fondation de la spectroscopie.

Durant le printemps et l'été 1747, Buffon expérimenta un miroir composé de 168 glaces étamées, d'environ 20 cm de côté. Chacune de ces glaces était mobile en tous sens et pouvait ainsi renvoyer la lumière du soleil vers le même point. Les expériences furent faites à Paris, dans le jardin du roi (actuellement, le Jardin des plantes).

En 1767, le Suisse Horace Bénédict de Saussure construisit diverses machines solaires. À la fin du XVIII^{ème} siècle, Lavoisier réalisa le premier four en concentrant les rayons solaires à l'aide d'une lentille à liquide. Il atteint la température de la fusion du platine, soit près de 1800°C.

XIX^{ème} siècle :

En 1816, le Pasteur écossais Robert Stirling a déposé un brevet pour un « moteur à air chaud ». L'air enfermé dans un cylindre était soumis à quatre cycles : chauffage, détente, refroidissement et compression au moyen d'une source de chaleur externe, afin de produire un mouvement rotatif.

Augustin Mouchot, professeur de lycée à Tours écrit en 1860 : « Dans le futur on ne trouvera plus de charbon en Europe. que fera l'industrie ? »

Il fut un extraordinaire pionnier du solaire à concentration et a inventé les premières machines thermiques solaires à l'origine de celles qui sont utilisées aujourd'hui.

Abel Pifre utilisa le concentrateur parabolique d'Augustin Mouchot pour faire fonctionner une presse et imprimer le journal intitulé « *Le soleil* » à 500 exemplaires/heure. *Augustin Mouchot* construisit une parabole de 20m² et obtint la Médaille d'Or à l'Exposition Universelle de 1878.

En 1874, fut construit à Las Salinas, sur le haut plateau d'Atacama au Chili, un distillateur solaire qui produisit 23 tonnes d'eau douce par jour ensoleillé – à 0,001 \$ le litre ! – et qui a fonctionné pendant 40 années, date à laquelle cette eau douce ne fut plus nécessaire.

XXème siècle :

En 1902, un autre moteur à concentration solaire a fonctionné en Californie pour le pompage de l'eau.

Vers 1910, la « Sun Power Company » construisit près du Caire un capteur capable d'alimenter un moteur de 100 chevaux.

Parallèlement, de nombreux chercheurs dans le monde ont présenté différents projets de tour solaire. Le premier est incontestablement un militaire espagnol, le Colonel Isidoro Cabanyes, qui en 1903 proposa un modèle de tour solaire dans la revue «La Energía eléctrica».

1904, le Portugal : Mario António Gomez, connu sous le nom de « *Padre Himalaya* », prêtre portugais, fut l'un des pionniers dans la recherche sur l'énergie solaire. Sa plus grande œuvre fut le Pirelióforo, un dispositif en lequel les milliers de miroirs au-dessus d'une surface de 80 mètres carrés ont concentré l'énergie solaire jusqu'à une température de 3500 °C.

En 1910, s'inspirant des travaux de *Charles Vernon Boys*, l'américain *Franck Shuman* construit une centrale thermosolaire à taille industrielle en Égypte en 1910.

Charles Vernon Boys (1855-1944), physicien anglais, inventa un capteur cylindro-parabolique, qui a été mis en œuvre pour la première fois en 1912.

On peut également citer le physicien français Bernard DUBOS qui proposa en 1926 d'exploiter un vent vertical produit par un gros tube installé sur le flanc d'une montagne. L'une des premières représentations d'une tour solaire a été rédigée en 1931 par un auteur Allemand : *Hans Günther*.

De 1946 à 1949, *Félix Trombe*, ingénieur chimiste, réalise à *Meudon*, avec *Marc Foex* et *Charlotte Henry La Blanchetais*, le premier programme expérimental d'obtention de hautes températures à l'aide de concentration de rayonnement solaire, renouant ainsi avec les travaux de Lavoisier au *XVIIIème* siècle. À partir de 1949, *Félix Trombe* construit dans la citadelle militaire de Mont-Louis un immense miroir parabolique qui va concentrer les rayons solaires vers un point unique qui s'élèvera à près de 3000 °C, température jamais atteinte autrement, en longue durée et gratuitement. *Félix Trombe* dirige ensuite la création du grand four solaire de 1 000 kW d'*Odeillo* à *Font-Romeu*.

Le premier système CLFR / Compact Linear Fresnel Reflector au monde a été construit par l'italien *Giovanni Francia* et installé en collaboration avec *Marcel Perrot* à Marseille en 1963.

Entre 1940 et 1960, le Français Edgard Nazare imagina un dispositif totalement révolutionnaire: la tour à dépression, aujourd'hui appelée tour à vortex. C'est en 1956 qu'il déposa son premier brevet à Alger. Ce brevet fut redéposé à Paris le 3 août 1964 sous le numéro 1.439.849 (P.V. 983.953). Il s'agissait de générer artificiellement une ascendance atmosphérique tourbillonnaire dans une sorte de tour en forme de tuyère de Laval et d'en récupérer une partie de l'énergie au moyen de turbines.

Nucléaire ou solaire sont les grands choix énergétiques des années 50 et 60.

Le 03 mars 1974, suite à la crise pétrolière de 1973, Pierre Messmer (Premier ministre de 1972 à 1974 sous la présidence de Georges Pompidou) annonce le lancement d'un vaste programme nucléaire qui prévoit de limiter la consommation de pétrole au profit de l'atome. Mais le programme nucléaire français a démarré sous la Quatrième République et sous De Gaulle.

En 1975 l'ingénieur canadien, Louis M. Michaud, publia son projet « Vortex Power Station » dans le bulletin de la Société américaine de météorologie. Il s'agissait également de générer une ascendance atmosphérique tourbillonnaire, mais dans une tour cylindrique. Mais ce n'est qu'en 1981 qu'un premier prototype de cheminée solaire fut effectivement construit à Manzanares. Il ne s'agissait pas d'une tour à vortex mais d'une simple cheminée solaire, cinq fois moins puissante (à hauteur égale). Cette cheminée mesurait 194 mètres pour une puissance de 50 kW et a fonctionné jusqu'en 1989. Elle fut arrêtée en raison d'un coût du kilowattheure, cinq fois plus élevé qu'une centrale thermique classique.

En septembre 1977, après les travaux du programme THEM en France, EDF et le CNRS décident de réaliser une centrale électro-solaire. En juin de la même année, le Président Giscard d'Estaing avait décidé de soutenir la filière solaire et accepté la construction de Thémis, première centrale électro-solaire française à tour d'une puissance de 2500 Kilowatts. Elle est construite à Targassonne près d'Odeillo à 1700 mètres d'altitude avec 2400 heures d'ensoleillement annuel. La centrale fera l'objet de tests pendant trois

ans puis sera fermée en 1986. Cette expérience aura permis de valider une technologie et de caractériser son coût après extrapolation pour différentes tailles et différents climats.

En 1981 débute la construction du prototype Solar One, USA. Cette centrale fonctionne de 1982 à 1986.

De 1984 à 1991, 354 MW de centrales thermo-solaires à miroirs cylindro-paraboliques sont installés dans le sud-ouest des USA. Ces centrales fonctionnent encore parfaitement aujourd'hui, comme au premier jour !

En 1995, Solar One est transformée en Solar Two, centrale à tour centrale avec système de stockage de la chaleur pour une autonomie de 3 heures. La production électrique de la centrale.

Les années 2007-2008 sont le grand retour du solaire à concentration aux USA, en Espagne, en Australie, au Maroc, en Égypte, en Algérie, dans les pays du Golfe persique...etc, ceci dans un contexte de crise climatique et de renchérissement des énergies fossiles.

En avril 2007, se fait l'inauguration de la centrale à tour centrale commerciale PS10, 11 MW, Séville, Espagne. PS10 est le premier module d'une plateforme solaire commerciale qui atteindra 300 MW en 2013, de quoi alimenter en électricité l'intégralité de la ville de Séville. La construction du module PS20, 20MW se termine.

En juillet 2007, la centrale commerciale Nevada Solar One, 64 MW, USA, entre en service.

En juillet 2008, la centrale ANDASOL1, 50 MW, Grenade, Espagne, est inaugurée. C'est une centrale équipée d'un dispositif de stockage de la chaleur pour une autonomie de 8 heures.

1.2 L'état de l'art des centrales solaires à capteur cylindro-parabolique

La ressource de base la plus importante pour tous les potentiels énergétiques renouvelables est l'énergie solaire, c'est le rayonnement émis dans toutes les directions par le soleil, et que la Terre reçoit à raison d'une puissance moyenne de 1,4 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.

L'étude que **Zeghib Ilhem [2]** a réalisée sur le prototype du concentrateur parabolique, a permis de connaître le fonctionnement de ce système, de prévoir la température que nous pouvons atteindre à l'ouverture du récepteur. Elle a montré qu'elle dépend de plusieurs facteurs dont les plus importants sont la variation de l'éclairement solaire, la géométrie du réflecteur, la nature et les dimensions de l'absorbeur et les qualités optiques de sa surface réfléchissante. La deuxième application possible de ce système est pour la stérilisation d'instruments médicaux ou pour la cuisine solaire. Le programme de calcul proposé dans cette étude est général et peut être utilisé pour n'importe quel système optique à concentration. Toutefois, quelques modifications doivent être apportées au programme si les concentrateurs paraboloidaux ne sont pas utilisés.

W. Chekirou et al. [3] ont étudié une modélisation mathématique d'un absorbeur pour un concentrateur solaire de type cylindro-parabolique, où ils ont établi un bilan thermique respectivement sur le fluide caloporteur, le tube absorbeur puis l'enveloppe du verre, ils ont résolu le système d'équations obtenues par la méthode des différences finies. Ils ont obtenu comme résultats et pour une journée typique la variation de la température du fluide caloporteur, du tube absorbeur, d'enveloppe du verre. Ainsi qu'ils ont examiné l'effet de la vitesse du vent, le débit volumique du fluide caloporteur et la longueur du tube absorbeur sur la distribution de la température du fluide caloporteur à la sortie du tube absorbeur.

Cette étude s'inscrit dans des travaux ayant pour objectif de modéliser le phénomène de transfert de chaleur dans l'absorbeur d'un capteur cylindro-parabolique où la détermination de l'évolution de la température en fonction du temps de ce système passe par l'établissement d'un bilan thermique global qui tient compte des différents échanges thermiques. De ce fait, ils ont développé un modèle numérique basé sur les étapes suivantes :

L'énergie solaire reflétée par le concentrateur est captée par l'absorbeur, la chaleur est récupérée grâce à un fluide caloporteur, qui s'échauffe en circulant dans un absorbeur placé sous un vitrage, celui-ci laisse le rayonnement pénétrer et minimiser les pertes par le rayonnement infrarouge en utilisant l'effet de serre, ce vitrage permet en outre de limiter les échanges de chaleur avec l'environnement.

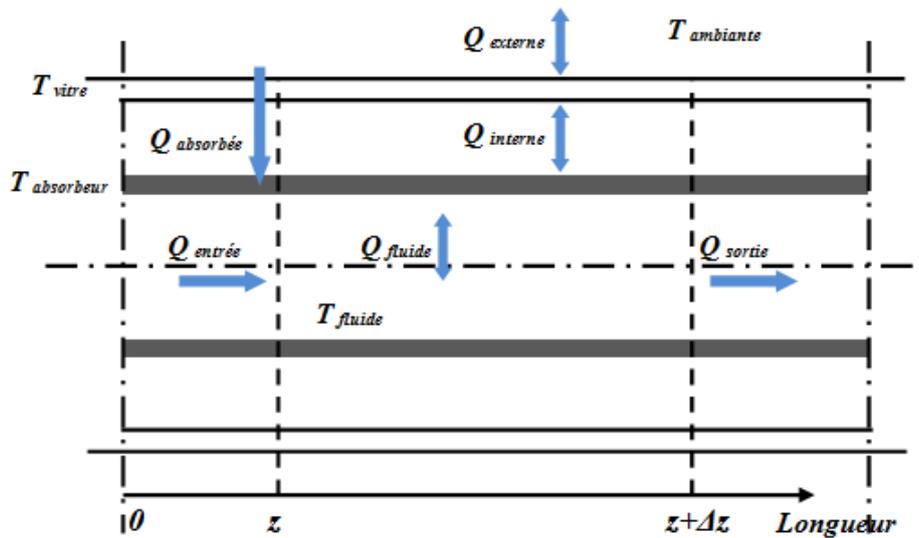


Figure 2 : Schéma d'un absorbeur

Le programme que W. Chekirou et al. [3] ont établi a permis, pour une journée typique, d'avoir le graphe de l'évolution théorique de différentes températures. Les figures 3 et 4 illustrent l'évolution respectivement de la température du fluide caloporteur, du tube absorbant et de l'enveloppe du verre. Ils remarquent que les trois courbes ont la même allure et la que température du tube absorbant est supérieure à celle du fluide caloporteur et cette dernière est supérieure à celle de l'enveloppe du verre.

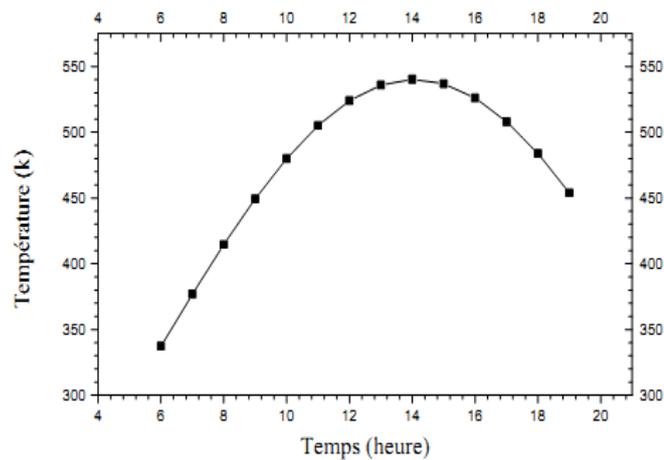


Figure 3 : Variation de la température du fluide caloporteur en fonction du temps à la sortie du tube absorbant

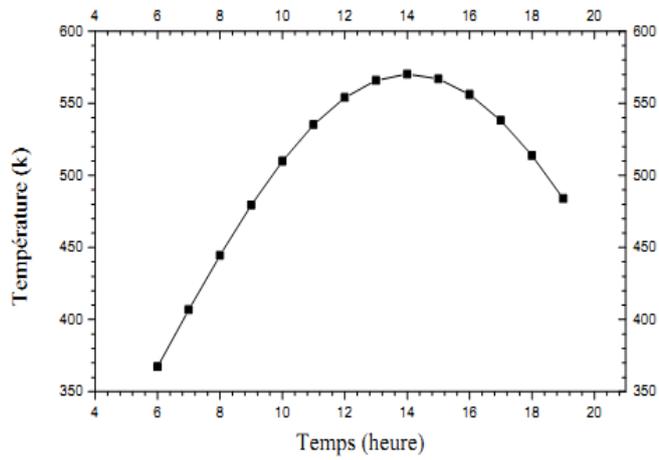


Figure 4 : Variation de la température du tube absorbeur en fonction du temps à la sortie

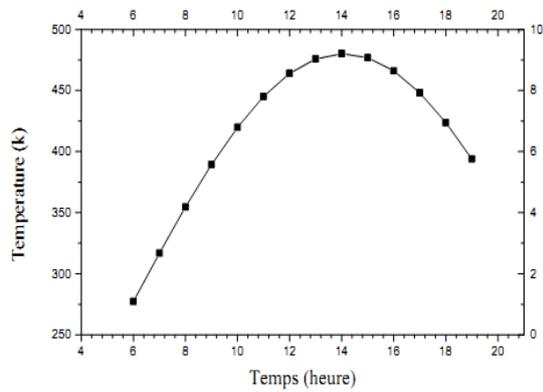


Figure 5 : Variation de la température d'enveloppe du verre en fonction du temps à la sortie du tube absorbeur

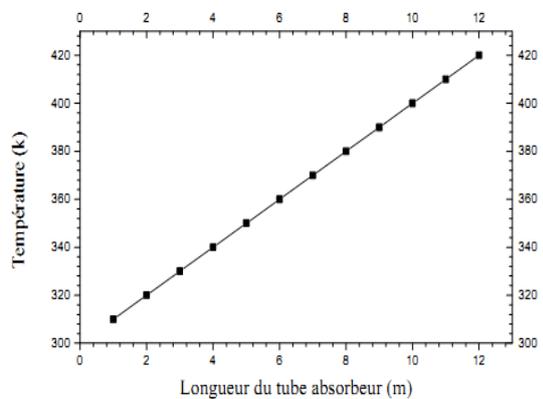


Figure 6 : Variation de la température du fluide caloporteur en fonction de la longueur de l'absorbeur

Les résultats les plus importants qui ont été établis à partir de cette étude sont :

- L'augmentation de la longueur du tube absorbeur entraîne une augmentation de la température du fluide caloporteur à la sortie du tube absorbeur.
- La diminution du débit volumique entraîne une augmentation de la température du fluide caloporteur.
- La vitesse du vent influence également la température du fluide caloporteur mais son influence est petite.

En 2006, **M. Li et al [4]** ont utilisé deux types de tubes sous vide solaires pour mesurer leur efficacité de chauffage et de la température avec les fluides de l'eau et de N₂, respectivement avec un concentrateur cylindro-parabolique. Les expériences montrent que les deux tubes sous vide présentent une bonne transmission de chaleur avec de l'eau, l'efficacité de chauffage est d'environ 70-80%, et l'eau est facile à l'ébullition lorsque le taux de liquide est inférieur à 0,0046 kg / s. Cependant, l'efficacité du système solaire à concentration avec un tube sous vide pour le gaz N₂, le chauffage est inférieure à 40% lorsque la température de gaz N₂ atteint 320-460 °C. Un modèle de tube sous vide chauffé par le système solaire à concentration a été construit afin d'analyser plus en détail les caractéristiques du fluide qui circule dans les tubes sous vide. Il se trouve que le modèle est en accord avec les expériences avec une précision de 5,2%. Les caractéristiques de fluide par l'intermédiaire du tube sous vide chauffé par le système solaire concentré sont analysées dans les différentes conditions de rayonnement solaire et de la zone d'ouverture auge. Cette étude prend en charge les travaux de recherche sur l'utilisation d'un système de cuve solaire à concentration pour effectuer le stockage d'énergie thermo-chimique d'ammoniac de 24 h la production d'électricité. Les travaux de recherche en cours ont aussi une application à la réfrigération solaire.

En 2006, ANGELA M. PATNODE [5] a choisi SEGS VI pour mettre une étude sur l'évaluation de simulation et de la performance de centrale solaire cylindro-paraboliques. Un modèle pour le domaine du solaire a été développé en utilisant le programme de simulation TRNSYS (TRNSYS, 2005).

N. Hamani et al [6] s'intéressent à la simulation de la température de sortie de l'eau dans un capteur solaire à eau avec effet de concentration de type cylindro-parabolique. Pour étudier le phénomène de chauffage de l'eau, deux parties essentielles ont

été traitées: la première partie est consacrée à la simulation du flux solaire incident dans un plan incliné qui correspond à la latitude du lieu considéré. La deuxième partie est réservée à l'étude des échanges thermiques dans le tube absorbeur du capteur pour déterminer la température de sortie du fluide caloporteur qui est l'eau dans notre cas. Ils ont établi un modèle mathématique pour contrôler la température de sortie du fluide ainsi que les températures de l'absorbeur et de la vitre. Or, la simulation du processus est effectuée heure par heure du lever du soleil jusqu'au coucher. Un écart de température considérable est mis en évidence entre l'entrée et la sortie du capteur pour les jours du test étudiés. Les résultats obtenus montrent clairement que les températures de sortie varient en fonction du flux solaire incident et des conditions climatiques environnantes.

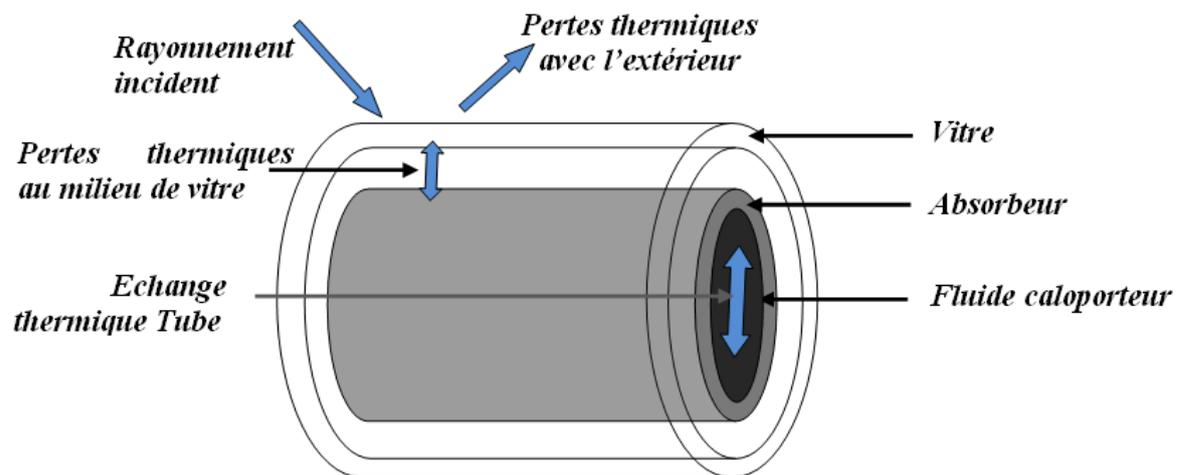


Figure 7 : Schématisation des échanges thermiques entre les différents éléments du collecteur cylindro-parabolique

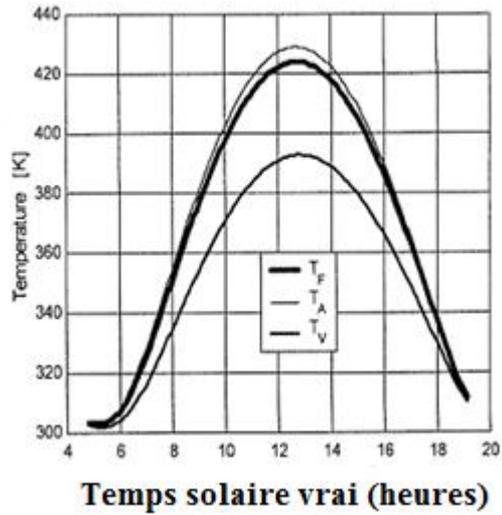


Figure 8 : Evolution de la température de sortie du fluide, de l'absorbeur et de la vitre pour le 21 Juin

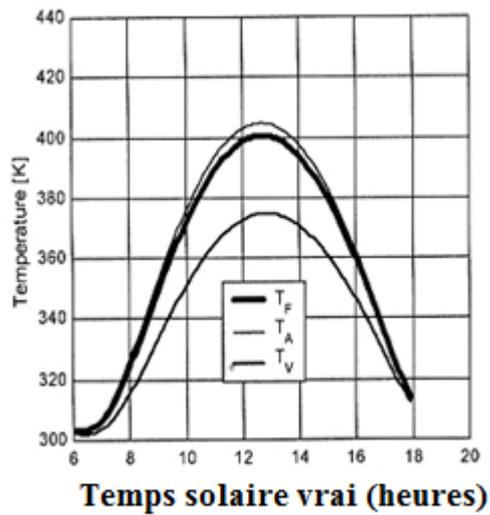


Figure 9 : Evolution de la température de sortie du fluide, de l'absorbeur et de la vitre pour le 21 Mars

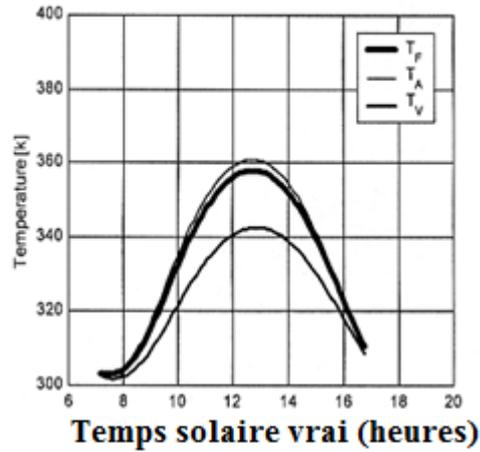


Figure 10 : Evolution de la température de sortie du fluide, de l'absorbeur et de la vitre pour le 21 Décembre

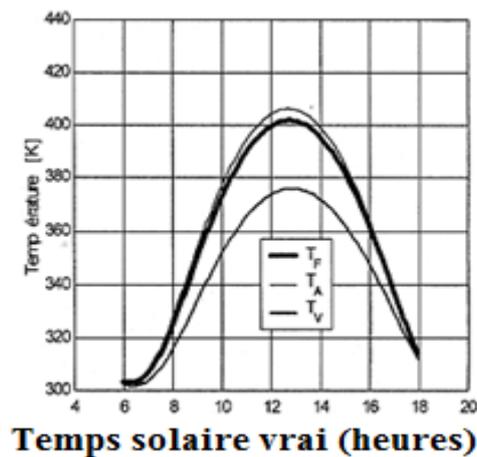


Figure 11 : Evolution de la température de sortie du fluide, de l'absorbeur et de la vitre pour le 21 Septembre

A partir des échanges thermiques qui ont lieu, un modèle mathématique est établi pour contrôler la température du fluide ainsi que les températures de l'absorbeur et de la vitre. La simulation du processus du chauffage du fluide est effectuée heure par heure du lever du soleil jusqu'au coucher. Les résultats obtenus montrent qu'il y a un écart de température important de l'entrée du capteur jusqu'à la sortie pour les jours de tests considérés.

N. Hamani et al. [6] ont développé un programme informatique en langage Matlab5.3 pour simuler la température de sortie du fluide caloporteur en comparaison avec celles du tube absorbeur et de la vitre en fonction du temps et de la position géographique du lieu. L'étude numérique montre qu'une température au voisinage de 430 K est particulièrement obtenue au midi solaire vrai pour le 21 Juin dans le site de Biskra. Les résultats obtenus sont très encourageants pour des applications industrielles telles que la production de l'eau surchauffée. Une interface informatique sous l'environnement Matlab 5.3 est également mise en œuvre, qui peut être exploitée par les utilisateurs spécialistes, et qui représente un support technique pour l'estimation par voie de simulation du rayonnement solaire incident ainsi que la température de sortie du fluide en fonction de la date et du lieu géographique de n'importe quel site considéré.

W. Chekirou et al. [7] ont fait une étude qui s'inscrit dans des travaux ayant pour objectif de modéliser le phénomène de transfert de chaleur dans l'absorbeur d'un capteur cylindro-parabolique où la détermination de l'évolution de la température de ce système en fonction du temps passe par l'établissement d'un bilan thermique global qui tient compte des différents échanges thermiques.

De ce fait, ils ont développé un modèle numérique basé sur le principe suivant: l'énergie solaire réfléchiée par le concentrateur est captée par l'absorbeur, la chaleur est récupérée grâce à un fluide caloporteur, qui s'échauffe en circulant dans un absorbeur placé sous un vitrage; celui-ci laisse le rayonnement pénétrer et minimiser les pertes par le rayonnement infrarouge en utilisant l'effet de serre, ce vitrage permet en outre de limiter les échanges de chaleur avec l'environnement.

Tableau 1 : Effet du débit volumique sur la distribution de la température du fluide caloporteur à la sortie du tube absorbeur

Temps (h)	Débit	Débit	Débit
	0.9 m ³ /s	0.4 m ³ /s	0.1 m ³ /s
	Temp. (K)	Temp. (K)	Temp. (K)
6	355.0909	366.0596	369.1686
7	394.1185	405.607	408.6934
8	432.3388	443.4369	446.3699
9	468.0640	478.2929	480.9663
10	500.0167	508.9681	511.2780
11	527.0331	534.3470	536.1949
12	548.1372	553.4710	554.7686
13	562.5249	565.5968	566.2719
14	569.6411	570.2444	570.2459
15	569.2085	567.2278	566.5311
16	561.2447	556.6682	555.2769
17	546.0651	538.9863	536.9325
18	524.2638	514.8755	512.2173
19	496.6748	485.2559	482.0738

Parmi les résultats les plus importants :

- L'augmentation de la longueur du tube absorbeur entraîne une augmentation de la température du fluide caloporteur à la sortie du tube absorbeur.
- La diminution du débit volumique du fluide caloporteur entraîne une augmentation de la température de la sortie de ce dernier
- La vitesse du vent a une influence également sur la température du fluide caloporteur, mais son influence est négligeable par rapport aux autres effets.

Donc, la bonne compréhension des mécanismes de transfert de chaleur au niveau de l'absorbeur peut permettre d'aborder la simulation dans de bonnes conditions.

D. Guerraiche et al. [8] ont proposé une étude théorique de la conversion de l'énergie solaire en énergie thermique dans un champ de concentrateurs cylindro-parabolique (CCP). Il s'agit principalement de déterminer les performances intégrant les différents facteurs géométriques et optiques caractérisant le concentrateur solaire. Une méthode a été présentée pour le calcul de ces différents facteurs, notamment le facteur du cosinus de l'angle d'incidence et le facteur d'ombre. Un modèle de calcul du facteur d'interception a été développé. Les pertes thermiques ont été estimées analytiquement. La détermination des différents facteurs permet de remonter aux pertes thermiques, et enfin aux performances du concentrateur.

Les performances d'un concentrateur sont fonction: du cosinus de l'angle d'incidence, de la taille, de la position de l'absorbeur dans le plan focal, du système de poursuite, et de l'ombre due à la position côte à côte des collecteurs qui, d'après les résultats obtenus, est très important au levé et au tard de l'après-midi, et prend une valeur maximale pour les premières heures du jour de l'hiver et que le facteur cosinus est le facteur de perte majeur. Il est nécessaire de bien optimiser la taille de l'absorbeur pour bien obtenir un coefficient d'interception acceptable aux environs de 90 % afin d'intercepter le maximum d'énergie incidente.

De même, la taille de l'absorbeur doit être légèrement surdimensionnée afin de compenser les différentes erreurs. Et qu'il soit parallèle à l'axe longitudinal, si le parallélisme existe, alors n'importe quel faible déplacement latéral considéré doit être compensé par le système de poursuite afin d'obtenir un rendement plus élevé.

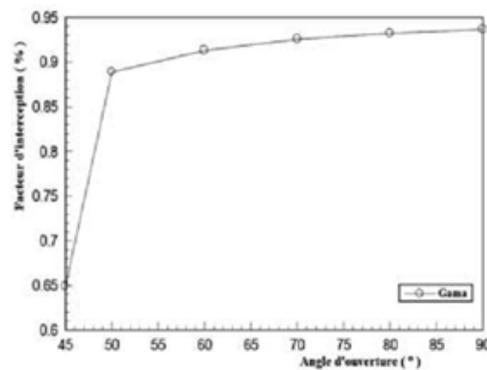


Figure 12 : Evolution du facteur d'interception en fonction de l'angle d'ouverture

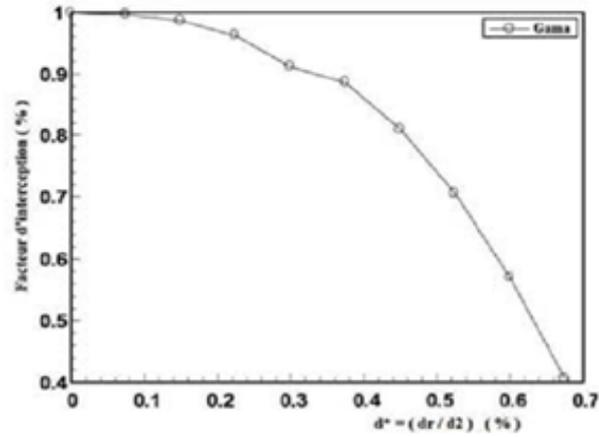


Figure 13 : Evolution du facteur d'interception du déplacement de l'absorbeur dans le plan focal

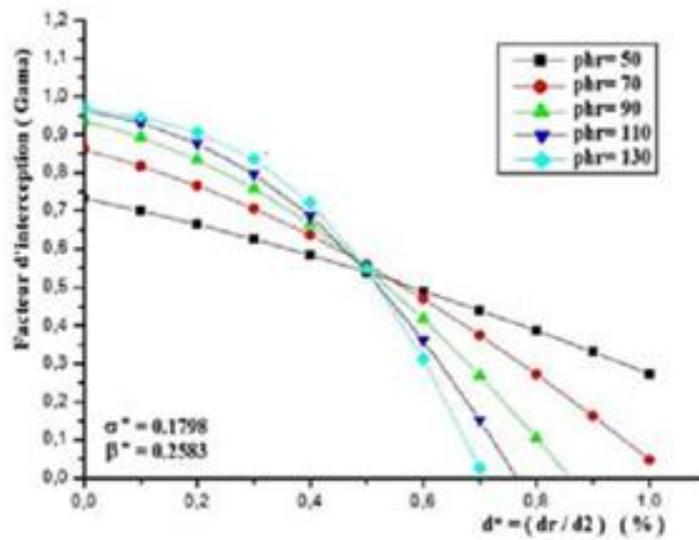


Figure 14 : Evolution du facteur d'interception en fonction de d^*

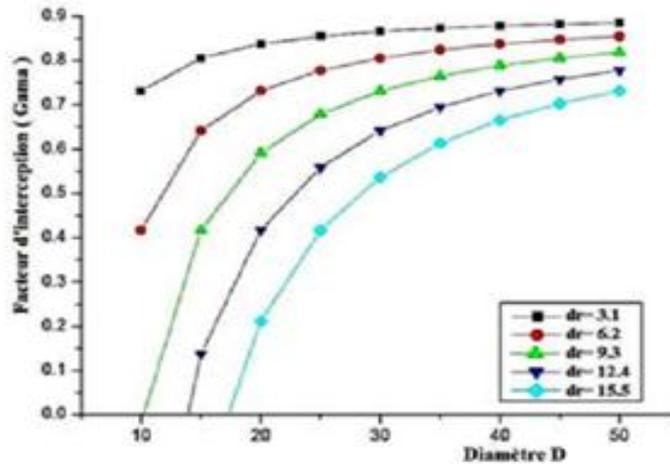


Figure 15 : Evolution du facteur γ en fonction de D de l'absorbeur

En août 2011, Isabel Llorente Garcia et al. [9] ont établi un Modèle de performance pour une centrale cylindro-parabolique, et des centrales électriques thermiques solaires avec le stockage thermique. Ce modèle donne tous les détails de l'algorithme de simulation, calculs physiques utilisés. Il montre un excellent accord entre les résultats de ce modèle et les données réelles provenant d'une usine d'exploitation en Espagne. Ce modèle est le premier de son genre à être validé par des données de la centrale d'exploitation. Les résultats offrent un aperçu sans précédent sur le rendement réel et le fonctionnement de ces stations.

Le collecteur cylindro-parabolique est utilisé essentiellement pour les températures plus élevées (300 à 400°C) sans dégradation du rendement. Les pertes thermiques dans le récepteur de collecteur sont importantes, cela va influencer sur les performances du système de collecteur dans les températures opérationnelles élevées. L'investigation dans les pertes thermiques dans le récepteur et le transfert de chaleur dans le fluide caloporteur dans le récepteur sont très importantes pour déterminer les performances du collecteur solaire cylindro-parabolique. Plusieurs investigateurs ont essayé d'améliorer les performances de système du collecteur cylindro-parabolique. Clark [10] a identifié quelques facteurs comme le facteur de réflectivité du miroir, le facteur d'interception du tube, l'angle d'incidence, le facteur d'absorption, le facteur de poursuite, le facteur de perte à l'extrémité et le facteur d'alignement du tube du récepteur, pour savoir comment ils influent sur les performances du concentrateur cylindro-parabolique. L'utilisation des récepteurs à corps noir dans les centrales à capteur cylindro-parabolique a été analysée par

Barra et Franceschi [11]. Un grand débit du fluide caloporteur nécessite un grand coefficient de transfert de chaleur dans les tuyaux et les pertes thermiques ne seront pas importantes. Grald et Kuehn [12] ont conduit à des études paramétriques pour déterminer l'influence des propriétés thermo-physiques sur les performances du collecteur solaire cylindo-parabolique avec un récepteur poreux. Le récepteur poreux est bénéfique car le fluide caloporteur sort avec une température très élevée.

Almaza et al [13] ont étudié le comportement du concentrateur parabolique dans la génération directe de la vapeur à travers l'expérimental dans différentes conditions. Odeh et al [14] ont effectué des analyses des performances de collecteur solaire cylindo-parabolique avec l'huile synthétique et l'eau comme fluide caloporteur. Odeh et Al [15] ont développé le modèle de thermo-hydrodynamique pour étudier la centrale solaire à système de génération électrique pour la génération directe de la vapeur.

La publication de Kalogirou [16] donne plusieurs types de collecteur solaire comme le collecteur à miroir de Fresnel, le collecteur cylindo-parabolique, l'héliostat, le concentrateur parabolique, l'évaluation du tube, et leurs applications.

Pati et Reddy [17] ont étudié un récepteur comme un solide fin pour un collecteur cylindo-parabolique pour améliorer les performances du récepteur. Une analyse a été faite pour déterminer le taux de transfert de chaleur et la dépression pour différents rapports de concentration. L'effet des paramètres géométriques sur la génération d'entropie pour la turbulence dans le tube circulaire ; cette étude expérimentale, a été faite par Tandiroglu [18]. Satyanarayana et al [19] ont étudié un récepteur poreux pour accroître le flux de transfert de chaleur de la surface du récepteur au fluide qui passe à travers le récepteur.

2 Simulation et interprétation des résultats

2.1 Introduction

Dans ce chapitre, on doit rechercher pour différents sites algériens les meilleures configurations de fonctionnement pour une centrale solaire thermique à concentrateur cylindro-parabolique 100 MWe.

Le but général de cette simulation n'est pas juste de trouver les propriétés physiques les plus fiables pour la conception de notre projet mais aussi lier les informations du marché de l'industrie solaire à la performance globale de l'installation pour avoir des résultats plus pratiques et qui concordent avec les ressources disponibles.

Meteonorm a été utilisé pour obtenir les données climatiques des sites Algériens.

La simulation est autorisée par le laboratoire américain des énergies renouvelables (NREL).

2.2 Système Advisor Model (SAM)

En raison de la croissance dans l'industrie solaire thermique, il existe un besoin important de conception et de simulation des systèmes solaires thermiques. Capable de faire des simulations détaillées des systèmes d'énergie renouvelable et qui couvre tous les éléments pertinents (les capteurs, réservoirs de stockage, échangeurs de chaleur, appareils de chauffage d'appoint, tour de refroidissement, turbine...etc.)

L'utilisation des logiciels de simulation dans l'éducation a plusieurs avantages. Il permet une approche empirique et motive les élèves à «jouer» et à faire des expériences sur des systèmes très compliqués et aussi au niveau professionnel, il a un but de faciliter la prise des décisions pour la réalisation d'un projet.

2.2.1 Définition et description du SAM

System Advisor Model (SAM) est un modèle de performances économiques et techniques, il est conçu pour faciliter la prise de décision pour les personnes impliquées dans l'industrie des énergies renouvelables, allant des gestionnaires de projet et des

ingénieurs, jusqu'à les concepteurs des programmes d'incitation, les développeurs de technologies, et les chercheurs.



Figure 16 : La page de démarrage de SAM

SAM a été développé dans le laboratoire Américain des énergies renouvelables (NREL) en collaboration avec le laboratoire Américain Sandia et en partenariat avec le Programme des technologies énergétiques Solaire (SETP) du ministère de l'énergie Américaine (DOE). Le SETP a commencé à développer SAM en 2004 pour l'analyse et l'appui de la mise en œuvre des systèmes entraînés. Ensuite SAM a évolué pour modéliser une gamme de technologies d'énergie renouvelable et il est utilisé dans le monde entier pour la planification et l'évaluation des programmes de recherche et développement, l'élaboration d'estimations des coûts du projet et son performance.

2.2.2 Les simulations de SAM

SAM fait des prédictions de performance pour les réseaux électriques solaires domestiques, les éoliennes de faible puissance, et des systèmes d'énergie géothermique. SAM permet aussi des prévisions économiques pour l'énergie distribuée et les projets des centrales thermiques de production.

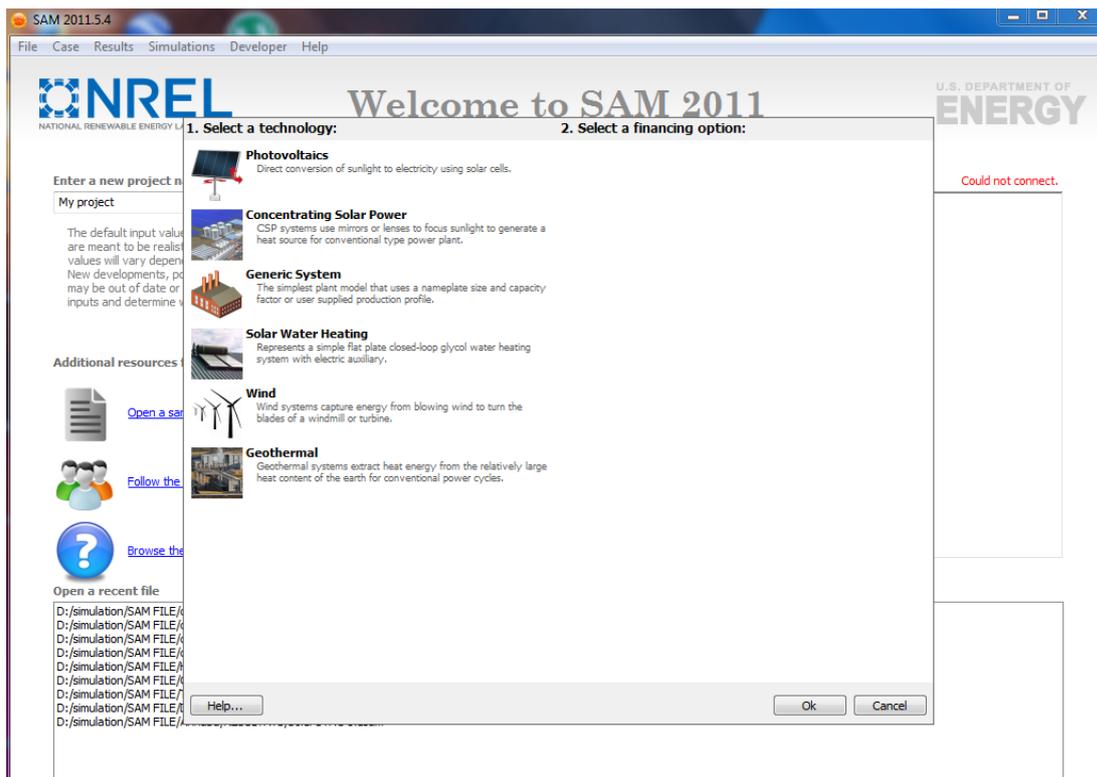


Figure 17 : Interface des simulations possibles avec SAM

2.2.3 Base de calcul de SAM

SAM calcule le coût de production d'électricité en se basant sur les renseignements fournies sur l'emplacement d'un projet, l'installation et les coûts d'exploitation, le type de financement, crédits d'impôt applicables et incitatifs, et les spécifications du système.

SAM est basé sur un moteur de simulation horaire qui interagit avec la performance, le coût et les modèles de financement pour calculer la production d'énergie, le coût d'énergie, et les flux de trésorerie. Le logiciel peut également prendre en compte l'effet des mesures d'incitation sur les flux de trésorerie du projet. L'interface tableur de SAM permet d'échanger les données avec des modèles externes développés dans Microsoft Excel. Le modèle fournit des options pour des études paramétriques, analyse de sensibilité, d'optimisation, et des analyses statistiques pour étudier les impacts des variations et l'incertitude de la performance, le coût, et les paramètres financiers sur les résultats du modèle.

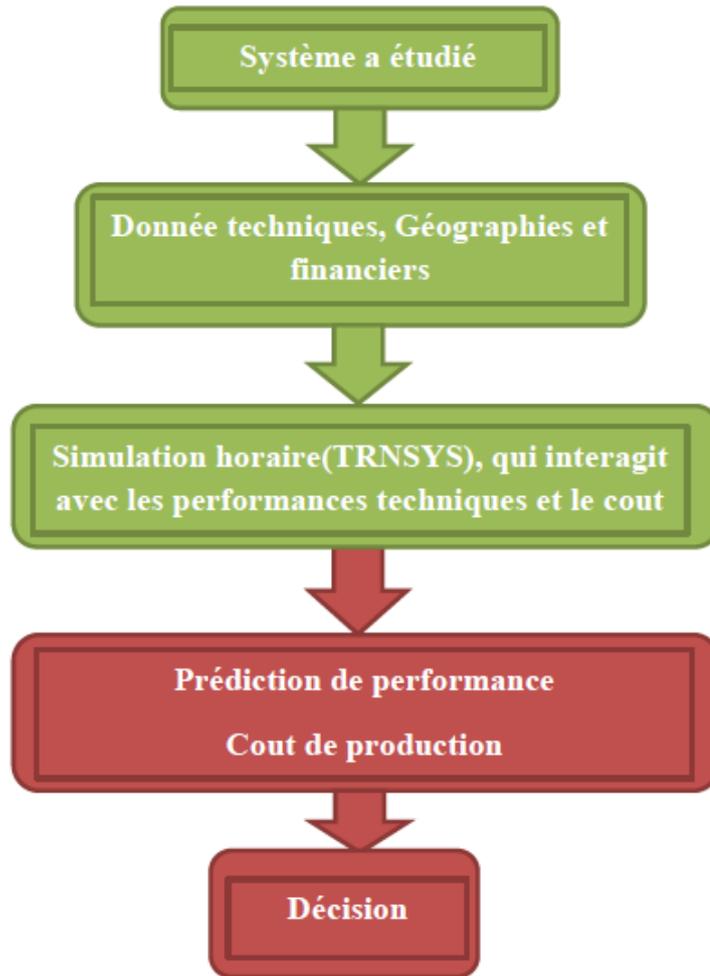


Figure 18 : Les étapes à suivre pour prendre une décision

Les performances des modèles du système SAM utilisent le logiciel TRNSYS qui a été développé à l'Université du Wisconsin et combiné avec des composants personnalisés.

TRNSYS est un outil validé, programme de simulation de séries chronologiques qui peut simuler les performances des systèmes photovoltaïques, énergie solaire à concentration, les systèmes de chauffage de l'eau, et d'autres systèmes d'énergie renouvelable à partir des données sur les ressources à chaque heure. TRNSYS est intégré dans SAM de sorte qu'il n'est pas nécessaire d'installer le logiciel TRNSYS ou se familiariser avec son utilisation, pour exécuter SAM.

2.3 Etude paramétrique pour les sites des installations

Dans cette étude on va trouver l'influence du site de l'installation sur la production de l'électricité.

2.3.1 Entrées de SAM

Surface de captage	887875 m ²
Collecteur	EuroTrough ET150
Récepteur	Schott PTR70 2008
Fluide caloporteur	VP-1
Puissance brut de conception	100 MWe
Stockage	6 heures

2.3.2 Résultats de la simulation

Tableau 2 : Résultats de la simulation d'une centrale solaire thermique a concentrateur cylindro-parabolique pour différents sites algériens

Sites	prix en cents/kWh	Energie annuelle en kWh
Hassi R'Mel	28,71	335808996
Ain Salah	27,32	353268474
Tamanrasset	23,17	430021960
Ghardaia	32,51	296197793
Hassi Massoud	36,27	265139216
Alger	40,2	238985177
Biskra	37,35	257418588
Eloued	61,96	154598636

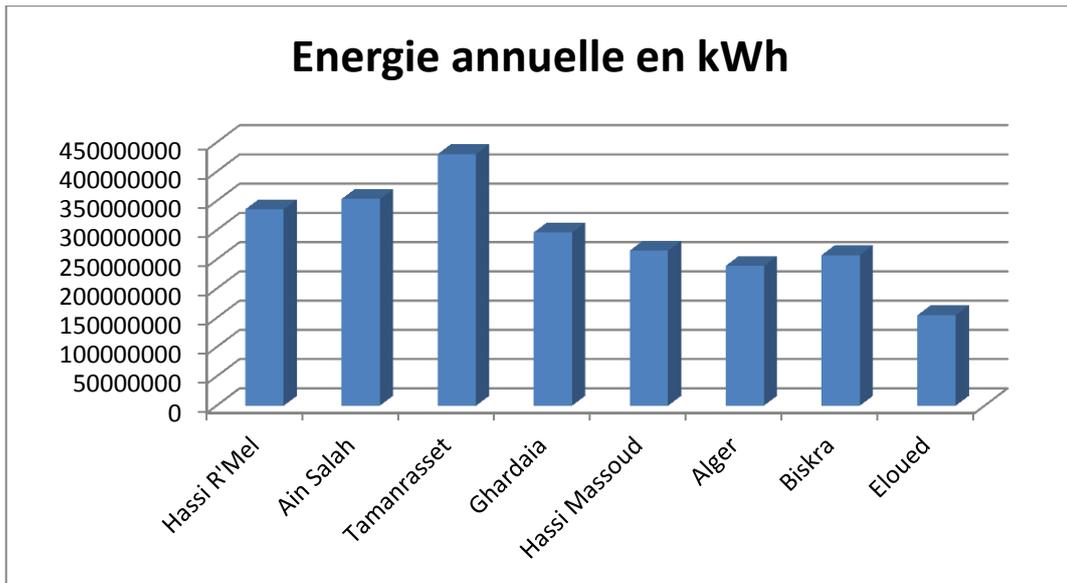


Figure 19 : Energie annuelle d'une centrale solaire thermique a concentrateur cylindro-parabolique pour différent sites algérien

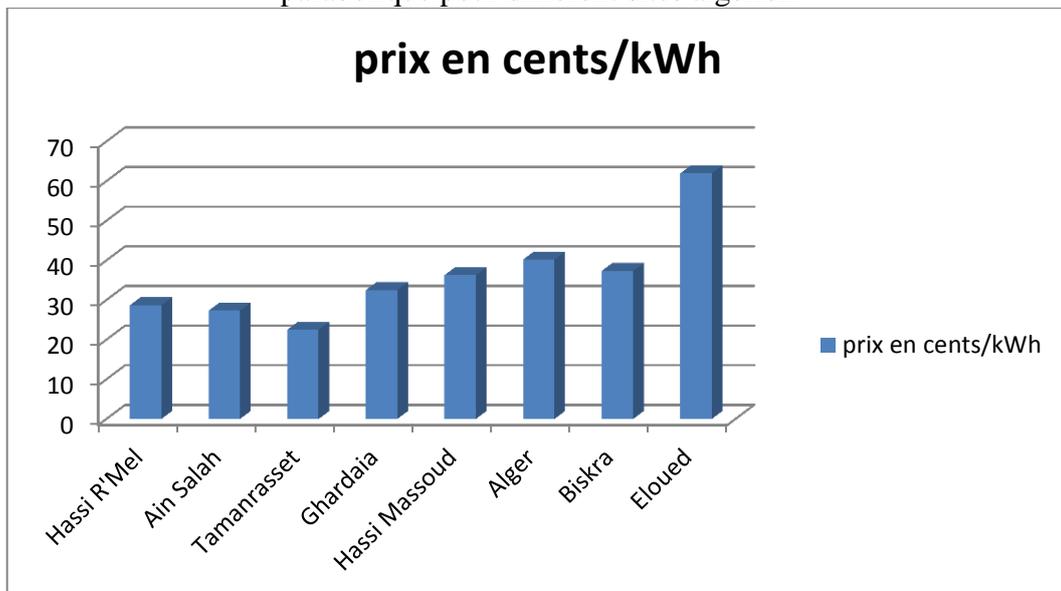


Figure 20 : Le prix en cents/kWh d'une centrale solaire thermique a concentrateur cylindro-parabolique pour les différents sites algériens

2.3.3 Interprétation des résultats

La comparaison des résultats obtenus pour huit sites algériens montre une forte variation de la production de l'électricité (jusqu'à 430,021960 millions kWh par an) et la production totale de ces sites est de 2331,438840 millions kWh.

La production de l'électricité ne dépend pas seulement de l'éclairement mais aussi de la vitesse du vent et d'autres paramètres (ex Ghardaia, Hassi R'Mel).

Le prix de l'électricité sortie de la centrale de Tamanrasset est de 22,5 cents/kWh, il est le moins cher par rapport aux autres sites proposés, ce qui est logique car cette centrale produit plus d'électricité.

En général les sites du sud algérien sont les plus appropriés pour la réalisation des centrales solaires thermiques comme le site de Tamnarasset qui peut fournir jusqu'à 430,021960 millions de kWh par an, sans oublier la possibilité de l'hybridation pour les sites où il existe du gaz. Le tableau suivant classe les sites selon la production de l'électricité.

Tableau 3 : Le classement des différents sites algériens et la possibilité d'hybridation

Sites	Energie annuelle en kWh	Hybridation
Tamanrasset	430 021 960	Non
Ain Salah	353 268 474	Oui
Hassi R'Mel	335 808 996	Oui
Ghardaia	296 197 793	Oui
Hassi Massoud	265 139 216	Oui
Biskra	257 418 588	Oui
Alger	238 985 177	Oui
Eloued	154 598 636	Oui

2.4 Le site de Tamanrasset

Dans cette partie, on va essayer de trouver et de choisir la technologie la plus performante parmi les différentes technologies existantes, soit pour le prix pour un kWh ou dans la production d'électricité.

2.4.1 Détermination du Fluide caloporteur

On garde la centrale précédente et on change juste le type de fluide caloporteur dans le but de choisir le meilleur HTF qui convient à la centrale en termes énergétique et économique. Ce tableau montre les différents HTF avec le prix d'électricité accompagné par l'énergie annuelle produite.

2.4.1.1 Résultats de simulation

Tableau 4 : Energie annuelle et prix en cents/kWh pour différents types de fluide caloporteur au site de Tamanrasset

Type de HTF	Prix en cents/kWh	Energie annuelle en kWh
vp-1	23,17	415351263
Solar salt	24,46	393040899
Caloria	23,15	415629480
Hitec XL	23,38	411471405
Hitec	23,38	411385889
Dowtherm Q	23,16	415464807
Dowtherm RP	23,17	415233480

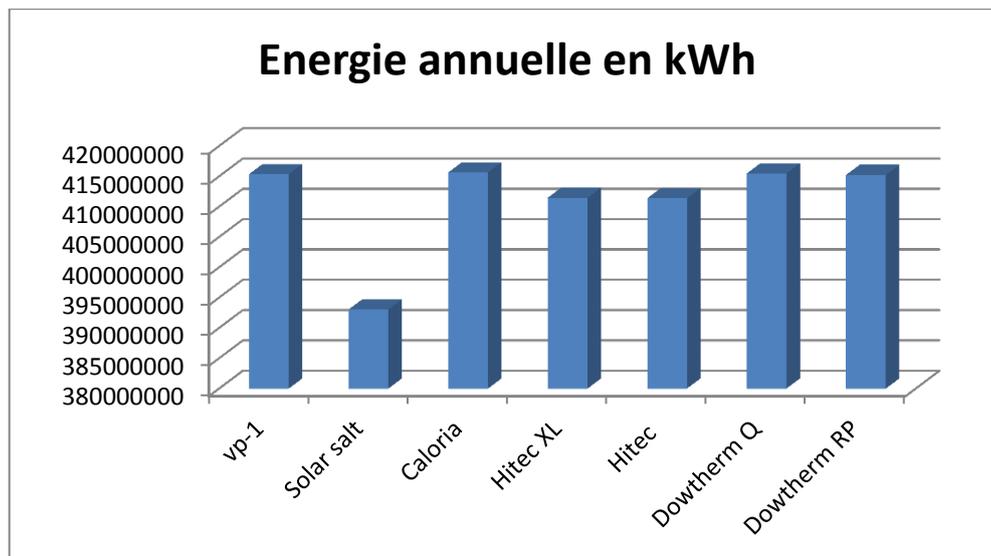


Figure 21 : Energie annuelle pour les différents types de fluide caloporteur au site de Tamanrasset

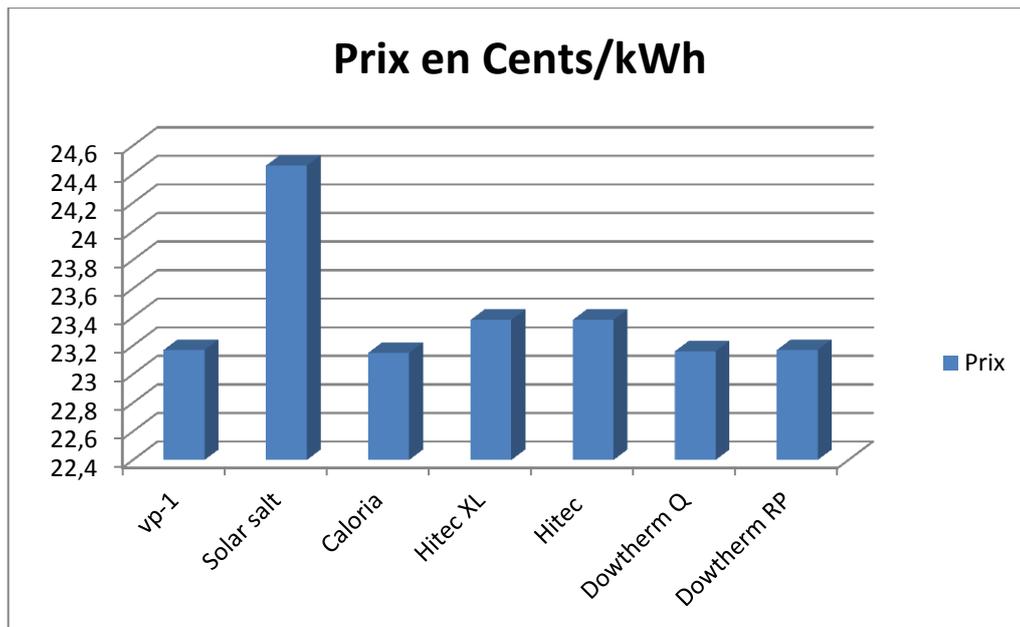


Figure 22 : Le prix en kWh pour les différents types de fluide caloporteur au site de Tamanrasset

2.4.1.2 Interprétations des résultats

Le résultat obtenu montre une variation de 113544 KWh entre Dowtherm Q et Caloria par an.

Le fluide caloporteur « Caloria » va diminuer le prix d'électricité de 0,02 cents/kWh

Le fluide caloporteur le mieux placé pour le site de Tamanrasset est le ' Caloria'.

2.4.2 Détermination de type du Collecteur

On garde la centrale précédente et on change juste le type du collecteur dans le but de choisir le meilleur type de collecteur qui convient à la centrale en termes énergétique et économique. Ce tableau montre les différents types de collecteur avec le prix d'électricité accompagné par l'énergie annuelle produite.

2.4.2.1 Résultats de simulation

Tableau 5 : Energie annuelle pour les différents types du collecteur au site de de Tamanrasset

Type de concentrateur	Prix en cents/kWh	Energie annuelle en kWh
ET150	23,16	415464807
Luz Ls-2	23,43	413683890
Luz-Ls-3	23,18	415065413
Solargenix SGX-1	23,27	415508265
Albiosa AT 150	23,15	415636832

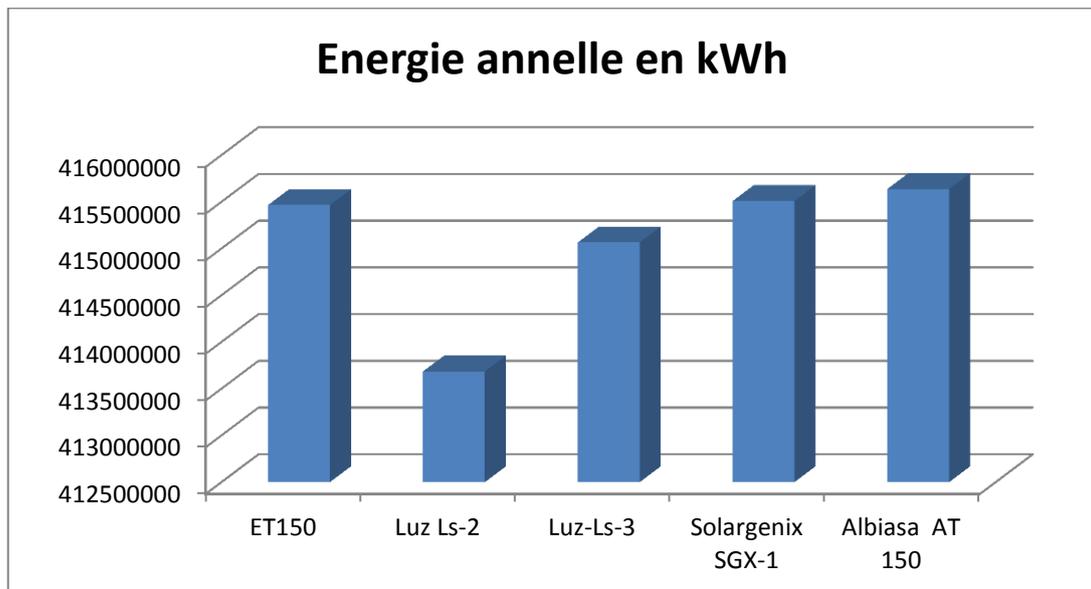


Figure 23 : Energie annuelle pour les différents types de collecteur au site de Tamanrasset

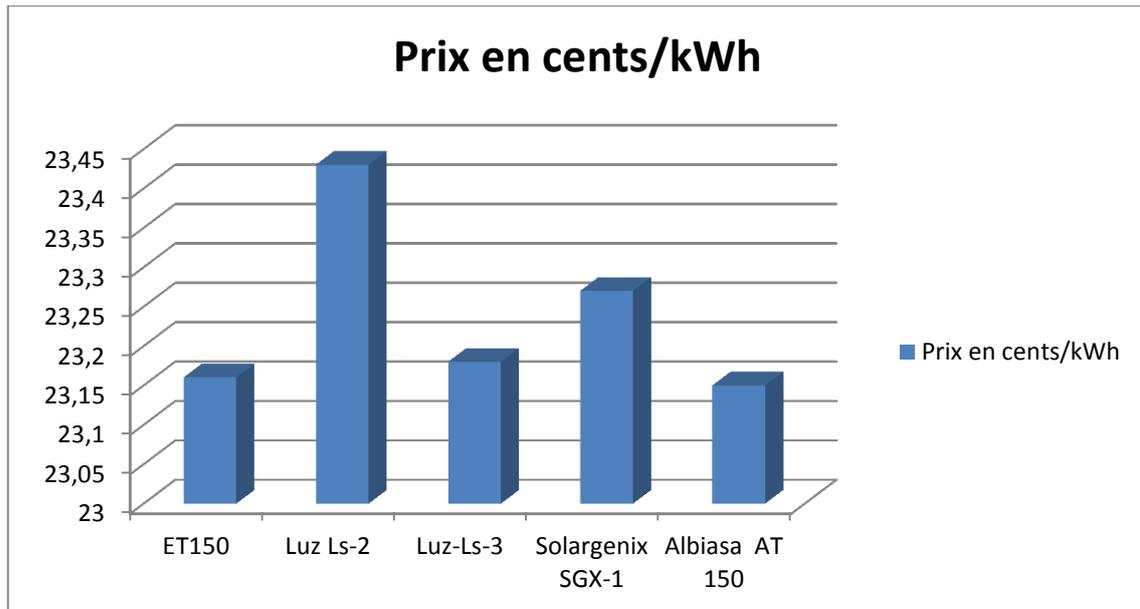


Figure 24 : Energie annuelle pour les différents types de collecteur au site de Tamanrasset

2.4.2.2 Interprétations des résultats

Le résultat obtenu montre une variation de 128567 KWh entre Solargenix SGX-1 et Albiasa AT 150 par an.

Le collecteur Albiasa AT 150 va diminuer le prix d'électricité de 0,01 cents/kWh

Le type du collecteur le mieux placé pour le site de Tamanrasset est l'Albiasa AT 150 car il développe plus d'électricité dont le prix est le moins cher.

2.4.3 Détermination du récepteur

On garde la centrale précédente et on change juste le type de récepteur [tableau 12] dans le but de choisir le meilleur type du récepteur qui convient à la centrale en termes énergétique et économique. Ce tableau montre les différents types du récepteur avec le prix d'électricité accompagné par l'énergie annuelle produite.

2.4.3.1 Résultats de simulation

Tableau 6 : Energie annuelle en kWh et prix en cents/kWh pour différents types de récepteur du site Tamanrasset.

Récepteur	Energie annuelle en kWh	Prix en cents/kWh
Schott PTR70 2008, vacuum	415636832	23,14
Solel UVAC 3, vacuum	405887852	24,17
Schott PTR70	405516291	24,27

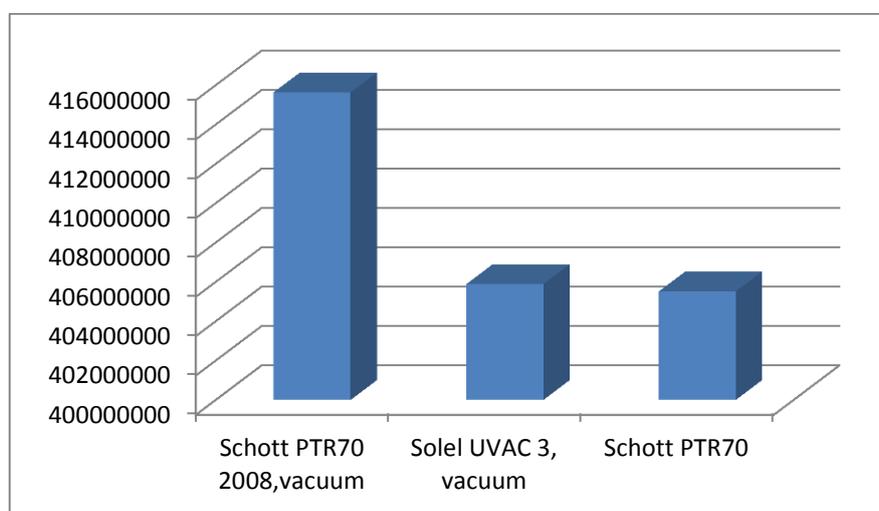


Figure 25 : Energie annuelle en kWh les différents types du récepteur du site Tamanrasset.

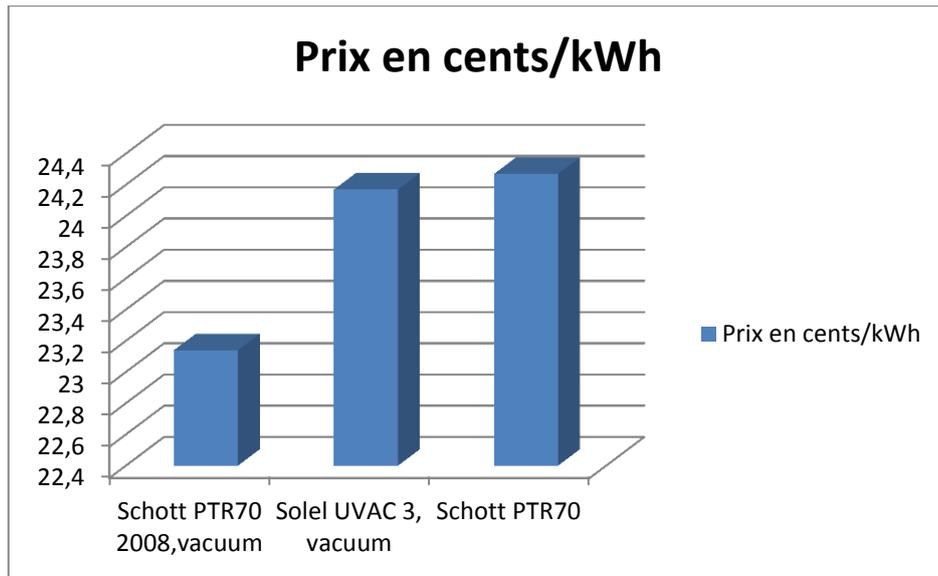


Figure 26 : Le prix en cents/kWh pour les différents types du récepteur du site Tamanrasset.

2.4.3.2 Interprétations des résultats

Le résultat obtenu montre une variation de 9748980 kWh entre Schott PTR70 2008, vacuum et Solel UVAC 3 vacuum par an.

Le récepteur Schott PTR70 2008, vacuum va diminuer le prix d'électricité de 1,03 cents/kWh

Le type du collecteur le mieux placé pour le site de Tamanrasset est le récepteur Schott PTR70 2008, vacuum, car il développe plus d'électricité dont le prix est le moins cher.

2.5 Conclusion

Parmi les sites qu'on a proposé, Tamanrasset est le site où la centrale peut produire plus d'énergie électrique et davantage si on utilise les configurations techniques suivantes :

- ✓ Le collecteur : Albiasa AT 150.
- ✓ Le fluide caloporteur : Caloria.
- ✓ Le récepteur : Schott PTR70 2008, vacuum

Au cours de cette étude, nous avons essayé de mettre en évidence l'intérêt de l'exploitation de l'énergie solaire et l'efficacité des centrales solaires thermiques à concentrateur cylindro-parabolique en Algérie.

L'analyse des résultats obtenus montre l'importance de l'énergie qui peut être produite en Algérie et les meilleurs paramètres techniques pour les sites algériens. La technologie des énergies renouvelables reste également plus chère que celle de l'énergie fossile mais c'est la seule solution pour le monde en général et spécialement pour l'Algérie.

3 Conclusion générale

Les énergies renouvelables nous proposent de multiples façons de produire de l'énergie. Un choix centralisateur nous amène souvent à privilégier plusieurs sources énergétiques, sans véritablement analyser le bien-fondé de cette attitude. Dans ce mémoire, nous avons utilisé l'énergie la plus appropriée à l'usage. Le solaire, Cette source énergétique a des avantages planétaires, on cite à titre d'exemple:

- ✓ le coût de son extraction (le soleil est gratuit !).
- ✓ le caractère renouvelable.
- ✓ l'impact sur l'environnement.

Cette étude montre qu'il est possible d'exploiter le soleil en Algérie pour la production d'électricité à grande échelle.

Pour les centrales solaires thermiques à concentrateur cylindro-parabolique, des configurations des composantes ont été sélectionnées. On peut dire que les centrales solaires valorisent en toute sécurité une énergie naturelle, propre, et inépuisable et évite le rejet dans l'atmosphère de l'oxyde de carbone.

Comme on a vu dans notre étude que chaque site a besoin de certaines composantes techniques pour produire le maximum d'énergie électrique avec un minimum de coût à cause des différentes données climatiques pour chaque site, les performances de chaque technologie. Donc, on pourrait facilement connaître la bonne configuration des composantes en fournissant les données climatiques du site.

Le coût de la réalisation qui peut arriver jusqu'à des centaines des millions de dollars ce qui influe sur le prix unitaire du kilowattheure qui varie entre 23 et 65 C/KWh, donc l'électricité produite par le soleil à l'aide des concentrateurs cylindro-parabolique est trop chère.

On ne peut pas installer ce type de centrale avec une puissance de 30 MW avec stockage d'énergie, car le prix de l'électricité va doubler. En conséquence, le coût de ce type de centrale de grande échelle va être moins cher en vue de sa production électrique.

Bibliographie

- [1] L. Garreau, A.Torcheboeuf. Le livre du titre l'énergie solaire au service du futur. 2009.
- [2] Zeghib Ilhem, Etude et Réalisation d'un Concentrateur Solaire parabolique, Mémoire de Magister en Génie Climatique, 2005, Moustaganam.
- [3] Wassila CHEKIROU, Nehmen BOUKHEIT, Tahar KERBACHE, Analyse thermique pour l'absorbeur d'un concentrateur solaire Cylindro- parabolique, 12èmes Journées Internationales de Thermique, Tanger, Maroc du 15 au 17 Novembre 2005
- [4] M. Li, L.L. Wang, Investigation of evacuated tube heated by solar trough concentrating system, Energy Conversion and Management, Elsevier Ltd (2006)
- [5] ANGELA M. PATNODE, Simulation and Performance Evaluation of Parabolic Trough Solar Power Plants, Memory of Master sciences, University of Wisconsin-Madison, 2006.
- [6] N. Hamani, A. Moumami, N. Moumami, A. Saadi et Z. Mokhtari, Simulation de la température de sortie de l'eau dans un capteur solaire cylindro-parabolique dans le site de Biskra, Revue des Energies Renouvelables Vol. 10 N°2, pp. 215 – 224 (2007)
- [7] W. Chekirou, N. Boukheit et T. Kerbache, Différents modes de transfert de chaleur dans un absorbeur d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique, Revue des Energies Renouvelables ICRES-07 Tlemcen, pp. 21 – 28 (2007)
- [8] D. Guerraiche, A. Benderradji et H. Benmoussa, Facteurs optiques et géométriques caractérisant un concentrateur cylindro-parabolique, Revue des Energies Renouvelables Vol. 14 N°2, 229 – 238 (2011).
- [9] Isabel Llorente Garcîa, José Luis Alvarez, Daniel Blanco, Performance model for parabolic trough solar thermal power plants with thermal storage: Comparison to operating plant data, Solar Energy 85 (2011) 2443–2460
- [10] Clark JA. An analysis of the technical and economic performance of a parabolic trough concentrator for solar industrial process heat application. Int J Heat Mass Transfer 1982;25:1427–38.

- [11] Barra OA, Franceschi L. The parabolic trough plants using black body receivers: experimental and theoretical analyses. *Sol Energy* 1982;28(2):163–71.
- [12] Grald EW, Kuehn TH. Performance analysis of a parabolic trough solar collector with a porous absorber receiver. *Sol Energy* 1989;42(4):281–92.
- [13] Almanza R, Lentz A, Jimenez G. Receiver behavior in direct steam generation with parabolic troughs. *Sol Energy* 1997;61(4):275–8.
- [14] Odeh SD, Morrison GL, Behnia M. Modelling of parabolic trough direct steam generation solar collectors. *Sol Energy* 1998;62(6):395–406.
- [15] Odeh SD, Behnia M, Morrison GL. Performance evaluation of solar thermal electric generation systems. *Energy Convers Manage* 2003; 44(15):2425–43.
- [16] Kalogirou SA. Solar thermal collectors and applications. *Prog Energy Combust Sci* 2004; 30:231–95.
- [17] Patil G, Reddy KS. Thermal analysis of energy efficient receiver for solar parabolic trough collector system. In: *Global conference on renewable energy approaches for desert regions, Jordan, 2006*, p. 361–9.
- [18] Tandiroglu A. Effect of flow geometry parameters on transient entropy generation for turbulent flow in circular tube with baffle inserts. *Energy Convers Manage* 2007;48: 898–906.
- [19] Satyanarayana GV, Ravi Kumar K, Reddy KS. Numerical study of porous enhanced receiver for solar parabolic trough collector. In: *3rd International conference on solar radiation and day lighting, New Delhi, vol. 2, 2007*. p. 46–55.

Annexe

Tableau 7 : Le collecteur EuroTrough ET150 prédéfini sur le SAM

La géométrie du collecteur	
Secteur réfléchissant d'ouverture	817.5 m ²
largeur d'ouverture, structure totale	5.75 m
longueur de collecteur	150 m
longueur de trajet moyenne de surface-à-foyer	2.11 m
distance sifflante entre les assemblées	1 m
Les paramètres optiques	
erreur de cheminement	0.99
Effets géométriques	0.98
Réflectivité de miroir	0.935
saleté sur le miroir	0.95
Erreur optique générale	0.99

Tableau 8 : Le collecteur Luz LS-2 prédéfini sur le SAM

La géométrie du collecteur	
Secteur réfléchissant d'ouverture	235 m ²
largeur d'ouverture, structure totale	5 m
longueur de collecteur	49 m
nombre de modes par assemblée	12
longueur de trajet moyenne de surface-à-foyer	1.8 m
distance sifflante entre les assemblées	1 m
Les paramètres optiques	
erreur de cheminement	0.99
Effets géométriques	0.98
Réflectivité de miroir	0.935
saleté sur le miroir	0.95
Erreur optique générale	0.99
efficacité optique de conception	0.853162

Tableau 9 : Le collecteur Luz LS-3 prédéfini sur le SAM

La géométrie du collecteur	
Secteur réfléchissant d'ouverture	545 m ²
largeur d'ouverture, structure totale	5.75 m
longueur de collecteur	100 m
nombre de modes par assemblée	12
longueur de trajet moyenne de surface-à-foyer	2.11 m
distance sifflante entre les assemblées	1 m
Les paramètres optiques	
erreur de cheminement	0.99
Effets géométriques	0.98
Réfectivité de miroir	0.935
saleté sur le miroir	0.95
Erreur optique générale	0.99

Tableau 10 : Le collecteur Solargenix SGX-1 prédéfini sur le SAM

La géométrie du collecteur	
Secteur réfléchissant d'ouverture	470.3 m ²
largeur d'ouverture, structure totale	5 m
longueur de collecteur	100 m
nombre de modes par assemblée	12
longueur de trajet moyenne de surface-à-foyer	1.8 m
distance sifflante entre les assemblées	1 m
Les paramètres optiques	
erreur de cheminement	0.994
Effets géométriques	0.98
Réfectivité de miroir	0.935
saleté sur le miroir	0.95
Erreur optique générale	0.99

Tableau 11 : Le collecteur AlbiasaTrough AT150 prédéfini sur le SAM

La géométrie du collecteur	
Secteur réfléchissant d'ouverture	817.5 m ²
largeur d'ouverture, structure totale	5.774 m
longueur de collecteur	150 m
nombre de modeles par assemblée	12
longueur de trajet moyenne de surface-à-foyer	2.11 m
distance sifflante entre les assemblées	1 m
Les paramètres optiques	
erreur de cheminement	0.99
Effets géométriques	0.98
Réfectivité de miroir	0.935
saleté sur le miroir	0.95
Erreur optique générale	0.99

Tableau 12 : Les récepteurs prédéfinis dans SAM

	Schott PTR70	Schott PTR70 2008	Solel UVAC 3
Diamètre interne de l'absorbeur	0.066	0.066	0.066
Diamètre externe de l'absorbeur	0.07	0.07	0.07
diamètre intérieur d'enveloppe en verre	0.115	0.115	0.115
Diamètre extérieur d'enveloppe en verre	0.12	0.12	0.121
diamètre de prise d'écoulement d'amortisseur	0	0	0