



Analyse Technico-économique d'une Centrale Solaire à Concentration de type Fresnel

H.Beltagy¹, D.Semmar¹, N.Said², S.Mihoub³, H.Ajdad⁴

¹Laboratoire des applications énergétiques de l'hydrogène, (LApEH), Département de génie mécanique, université de. Blida, Algérie

²Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, Bouzaréah, Alger, Algérie

³Université de Tlemcen, (URMER), Algérie

⁴Département énergétique, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Meknès, Maroc

Auteur correspondant : hani.beltagy@gmail.com

Résumé— L'objectif du présent travail est de caractériser une centrale à concentrateur de Fresnel de moyenne puissance (5MWe) sur différents sites Algériens (Sahara), ces sites ont été choisis pour comparaison en déplaçant la centrale dans ces derniers, à savoir Hassi-R'mel, Tamanrasset, Béni-Abbes, et El Oued.

Une étude technico-économique a été faite pour déterminer les différentes caractéristiques de la centrale. Cette dernière a été réalisée à travers une simulation à l'échelle horaire : elle concerne l'ensoleillement, le système 'champ', et le système 'récepteur'. Les résultats de la simulation sont représentés en moyenne annuels. Les rendements, la production énergétique annuelle, et le coût du kWh sont évalués. En effet, le calcul du rendement diffère d'un site à un autre avec des valeurs de 15.7%, 11.8%, 11.6%, et 10.4% respectivement pour les sites Tamanrasset, El Oued, Béni-Abbes, Hassi R'mel. Les performances thermiques et les résultats technico-économiques sont évalués aussi pour ces mêmes sites.

Mots clés— énergie solaire, concentrateur solaire à miroirs de Fresnel, les centrales solaires thermiques, performance, les centrales thermoélectriques.

I. 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.

Quatre technologies distinctes sont utilisées dans les centrales solaires à concentration à savoir : la concentration linéaire qui regroupe : les centrales solaires cylindro-parabolique ; les centrales solaires à miroirs de Fresnel, et la concentration ponctuelle qui regroupe : les centrales à tour, et les paraboles Stirling

Notre objectif principal, dans ce travail est de faire une modélisation théorique d'une centrale solaire à concentrateur de Fresnel, d'une façon à pouvoir la simuler dans différents sites Algériens pour l'adapter aux conditions climatiques de

l'Algérie. Cette simulation va nous permettre de comparer la productivité annuelle de la centrale dans les différents sites choisis et évaluer le coût du kWh produit (L.E.C) pour chaque situation ; Hassi R'mel pour le centre, Béni-Abbes pour l'ouest, El oued pour l'est, et Tamanrasset pour le sud.

II. DESCRIPTION DE LA CENTRALE

La centrale étudiée est une centrale à concentrateurs de Fresnel de 5 MWe, elle est du type de la centrale Allemande Novatec solaire installée au site de Calasparra en Espagne. [1] Toutes les caractéristiques de la centrale étudiée sont représentées dans le tableau suivant : [1]

TABLEAU I
CARACTERISTIQUE DE LA CENTRALE ETUDIEE

Champ de miroir	Taille du champs solaire	21571m ²
	Longueur du champs solaire	806m
	Surface nette d'ouverture	18489m ²
	La largeur du champ	16.56m
	Surface du réflecteur	513.6m ²
	Longueur d'un module	44.8m
	La longueur du réflecteur	0.75m
Le récepteur	Diamètre du tube absorbeur	0.07m
	Diamètre du récepteur	0.6m
	Longueur entre le réflecteur et l'absorbeur	7m
Le bloc de puissance	Rendement du bloc	35%
	Température d'entrée	140°C
	Température de sortie	270°C
	Puissance à la sortie de la génératrice	5MWe



Le 4^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 4th International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 24 et 25 Octobre 2016



III. PRESENTATION DU LOGICIEL DE SIMULATION (SAM)

System Advisor Model, 'SAM', est un logiciel qui réalise l'analyse du coût et des performances. Le logiciel 'SAM' calcule le coût de production d'électricité, il est basé sur un moteur de simulation horaire qui interagit avec la performance, le coût et les modèles de financement pour calculer la production et le coût de l'énergie, Il peut déterminer les performances et faire l'analyse économique des centrales à concentration solaire tels que les centrales solaires à tours, et les concentrateurs cylindro-paraboliques, les concentrateurs linéaires de Fresnel, systèmes photovoltaïques, les capteurs plans, le chauffage solaire et d'autres applications liées aux différents énergies renouvelables.

Le modèle des centrales solaires à concentrateurs de Fresnel a été développé par Novatec solaire, et c'est la centrale étudiée dans notre travail. [2]

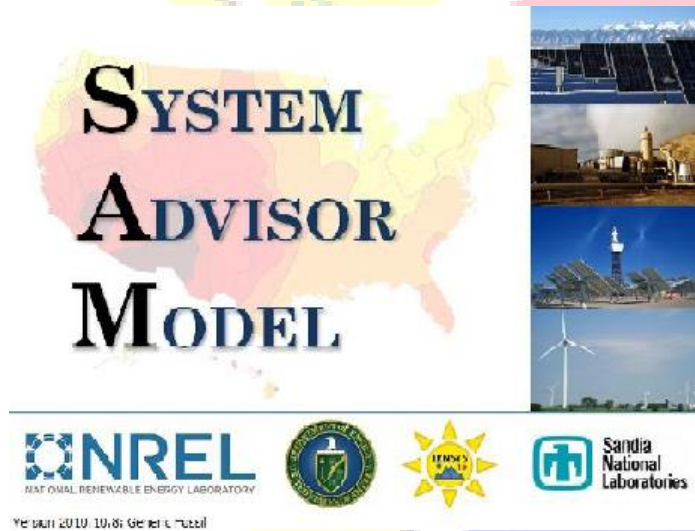


Fig. 1 Page de démarrage du logiciel

IV. RESULTATS DE LA SIMULATION

A. Analyse thermique

A l'aide du logiciel SAM [2], nous avons déterminé les différentes caractéristiques de la centrale, les différents résultats sont présentés sous forme de graphes et à une échelle horaire (heure par heure), et cela pour les quatre sites considérés. Nous avons présenté en premier lieu les profils annuels des différentes puissances (la puissance incidente au champ solaire, la puissance incidente au récepteur et la puissance des pertes thermiques dans le récepteur), et en deuxième lieu nous avons présenté les différents rendements de la centrale (rendement optique, rendement thermique du récepteur, le rendement global solaire qui représente le

rendement avant la conversion donc avant le bloc de puissance, également le rendement du bloc de puissance, et à la fin le produit du rendement global solaire et celui du bloc de puissance donne le rendement global de la centrale). Les profils présentés montrent la moyenne annuelle du paramètre considéré.

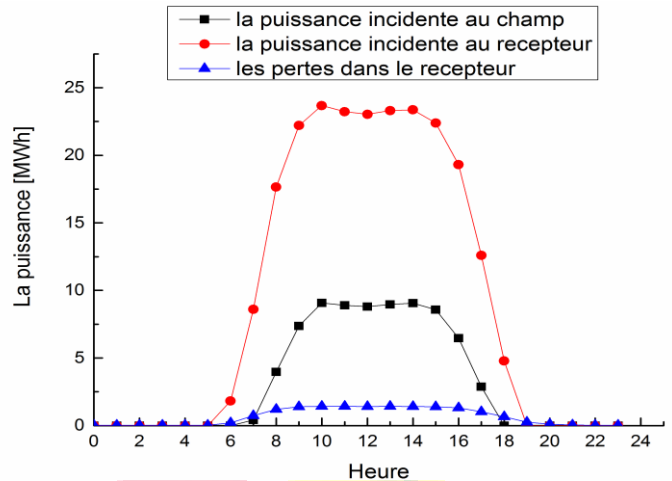


Fig. 2 Les différentes puissances pour le site de Hassi R'mel

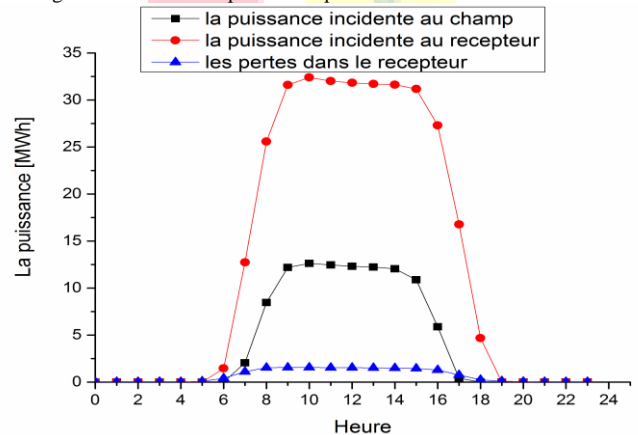


Fig. 3 Les différentes puissances pour le site de Tamanrasset

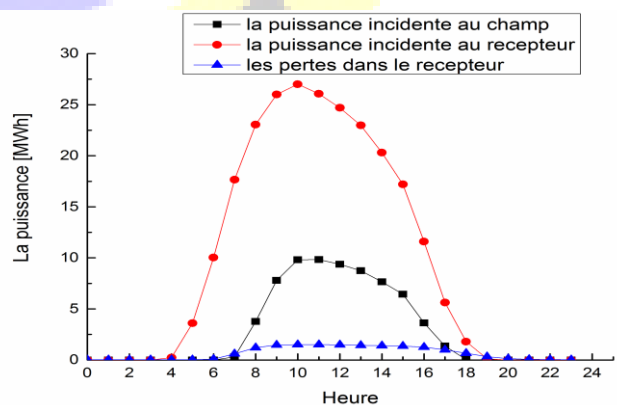


Fig. 4 Les différentes puissances pour le site de Béni-Abbes

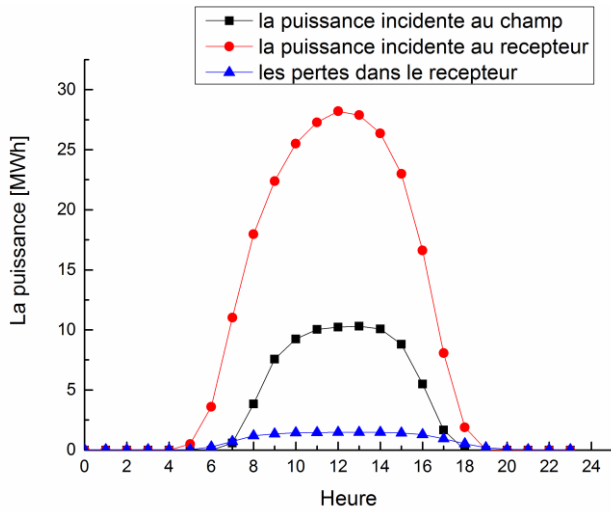


Fig. 5 Les différentes puissances pour le site d'EL Oued

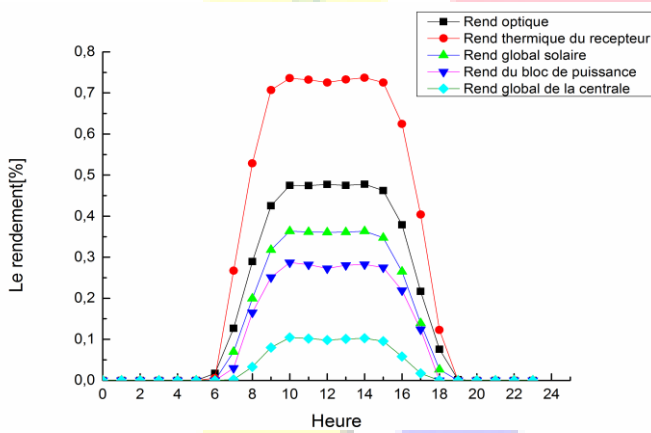


Fig. 6 Les différents rendements pour le site de Hassi R'mel

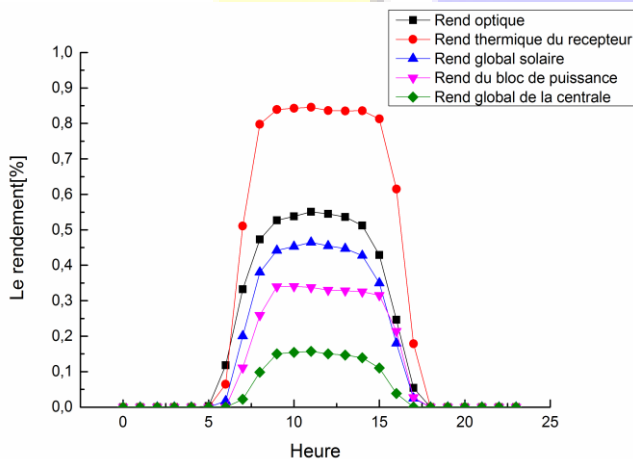


Fig. 7 Les différents rendements pour le site de Tamanrasset

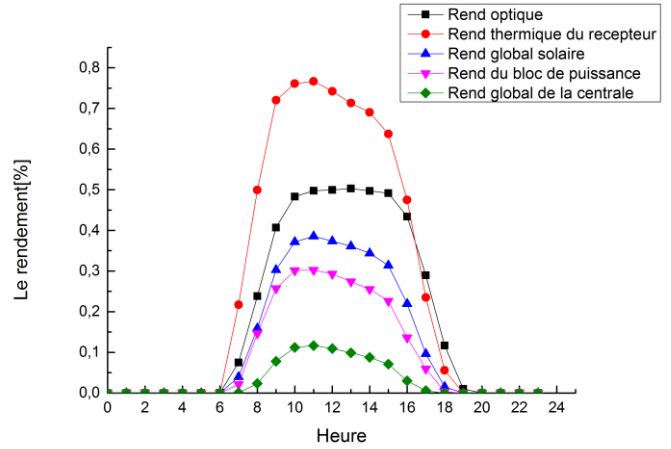


Fig. 8 Les différents rendements pour le site de Beni-Abbes

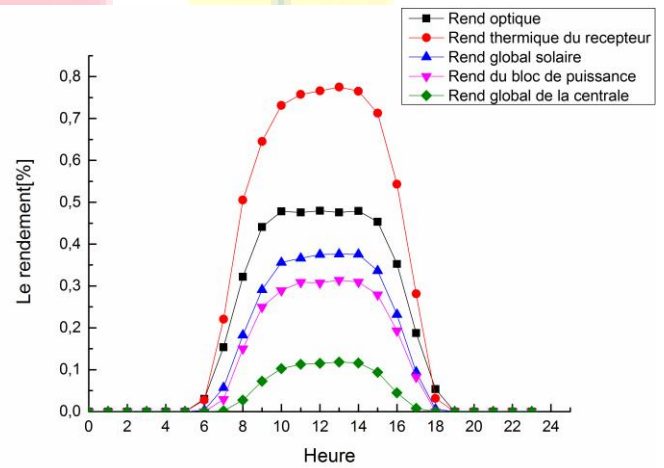


Fig. 9 les différents rendements pour le site d'El Oued

B. Analyse Economique

Dans cette partie nous avons représenté les résultats de l'analyse économique de la simulation. Cette dernière nous a permis d'avoir : l'énergie annuelle produite ainsi que le coût actualisé de l'électricité pour chaque site.

C. Evaluation du Coût Actualisé de l'Electricité

Le coût actualisé de l'électricité, Levelized electricity cost 'L.E.C', est l'indicateur principal pour l'analyse économique des systèmes à concentration solaire, il représente la valeur actualisée des coûts convertis en un courant de paiements annuels égaux, et divisés par la production électrique annuelle.

D. Résultats de l'analyse Economique

Les résultats de l'analyse financière regroupent : l'énergie annuelle produite par an, le LEC en DA/kWh, l'irradiation



Le 4^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 4th International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 24 et 25 Octobre 2016



directe annuelle, le chiffre d'affaire pour 4 DA le KWh et le chiffre d'affaire pour le KWh vendu à 12 DA (trois fois le coût du KWh en appliquant le décret du ministère de l'énergie relatif au tarif d'achat [3]). On présente aussi le gain par rapport à un site de référence (le site le moins bon), pour les deux coûts de 4 et 12DA, et enfin nous avons présenté le nombre d'années de fonctionnement pour rentabiliser la centrale pour chaque site, c'est-à-dire le nombre d'années pour que la centrale récupère son investissement.

Les résultats obtenus sont représentés dans les figures ci-dessous :

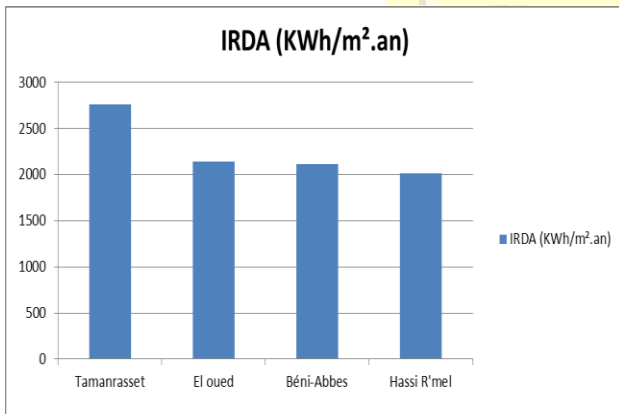


Fig. 10 L'irradiation annuelle directe pour les quatre sites

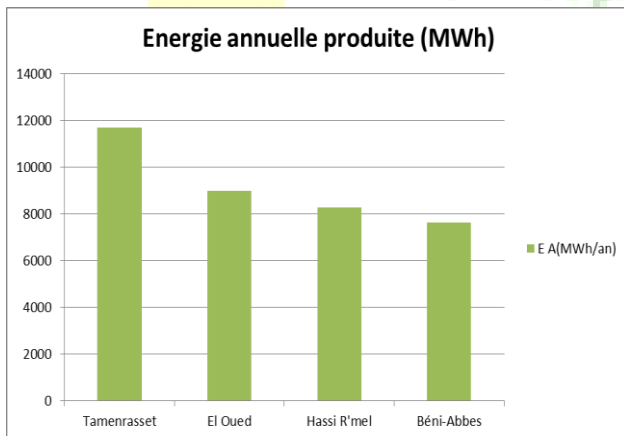


Fig. 11 L'énergie annuelle produite pour les quatre sites

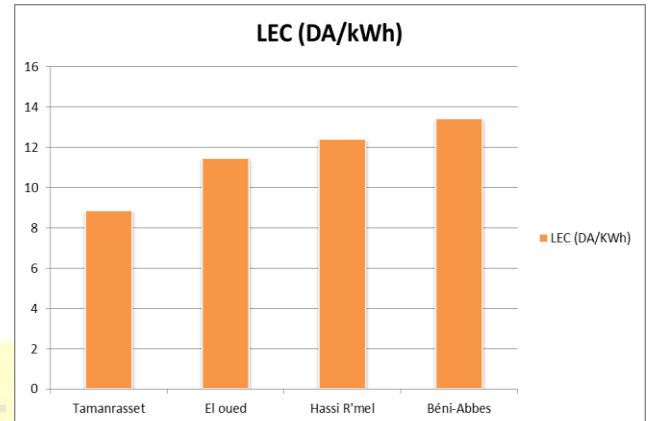


Fig. 12 Le LEC (le cout actualise du kWh) pour les quatre sites

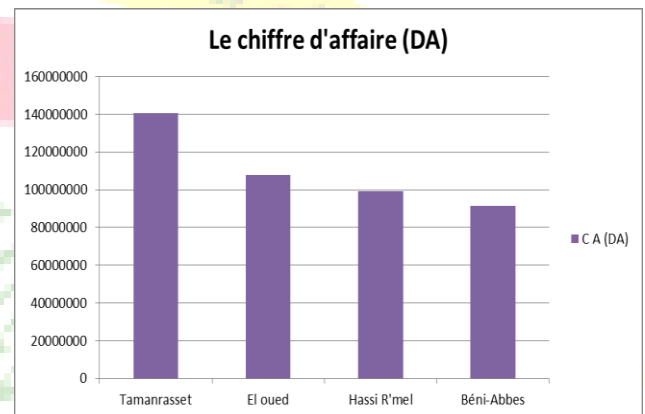


Fig. 13 Le chiffre d'affaire pour les quatre sites

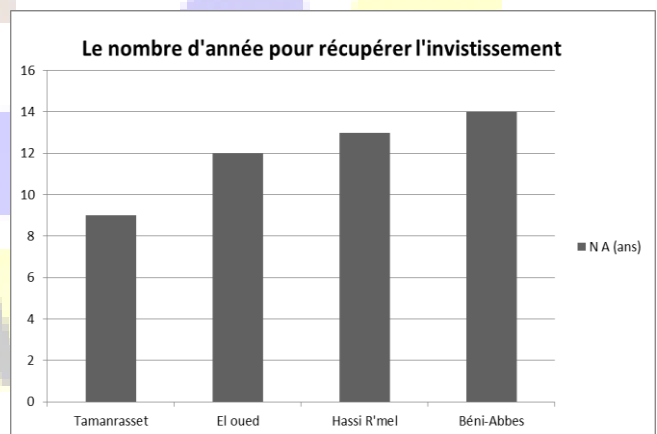


Fig. 14 le nombre d'année pour récupérer l'investissement



Le 4^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 4th International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 24 et 25 Octobre 2016



V. INTERPRETATION DES RESULTATS

Pour les irradiations directes annuelles des sites de Tamanrasset, El Oued, Béni-Abbés, et Hassi R'mel, avec respectivement des valeurs de 2759.4 kWh/m² par an, 2137 kWh/m² par an, 2114 kWh/m² par an et 2008.4 kWh/m² par an. Tamanrasset a le gisement solaire le plus important avec une irradiation directe annuelle qui dépasse les 2500 kWh/m² par an ce qui rend ce site le plus favorable à ce type de technologie de la concentration solaire.

Pour l'énergie annuelle produite, on remarque que Tamanrasset figure en premier, elle a une énergie plus importante que les autres sites, elle est suivie d'El Oued, de Béni-Abbes puis de Hassi Rmel, ces sites offrent une énergie annuelle respectivement égale à 11704.152 MWh, 8981.695MWh, 8280.325MWh et 7631.6 MWh.

Ce qui concerne le LEC (Levelized electricity cost), qui indique le coût actualisé de l'électricité, ce chiffre est obtenu par le logiciel SAM après simulation, le site le plus rentable est celui qui a un faible LEC, donc d'après la fig. 13, le site qui a un faible LEC est Tamanrasset, suivi d'El Oued, Hassi R'mel, puis Béni-Abbes, pour des valeurs respectives de 8.86 DA/kWh, 11.47 DA/kWh, 12.42 DA/kWh, et 13.45 DA/kWh.

Le chiffre d'affaire calculé pour les 4 sites considérés est obtenu en multipliant l'énergie annuelle produite par le coût actualisé du kWh (4DA), ce qui nous donne les valeurs de 46.816.608 DA pour le site de Tamanrasset, 35.926.780 DA pour le site de El Oued, 33.121.300 DA pour le site de Hassi R'mel, et 30.526.400 DA pour le site de Béni-Abbes évalué à raison de 4 DA le kWh (coût pratiqué par Sonelgaz). Si on tient compte de la loi d'aide que propose le gouvernement à la production d'énergie par voie solaire (soit 03 fois cette valeur) [3], cela nous ramène à recalculer le chiffre d'affaire pour 12 DA le kWh et les résultats sont les suivants : 140.449.824 DA pour le site de Tamanrasset, 107.780.340 DA pour le site de El Oued, 99.363.900 DA pour le site de Hassi R'mel, et 91.579.200 DA pour le site de Béni-Abbes.

Et enfin pour que la centrale récupère son investissement, il indique le nombre d'années de fonctionnement qu'il faut pour récupérer le coût d'investissement de la centrale, ce chiffre est obtenu en divisant le coût total de la centrale qui est 1.287.295.660 DA par le chiffre d'affaire obtenu soit pour 4 DA le kWh ou pour 12 DA si on tient compte des mesures incitatives. Les résultats obtenus suivent ceux de l'énergie produite, ainsi que les chiffres d'affaires, le site le plus rentable est celui de Tamanrasset, suivi de celui d'El Oued, puis Hassi Rmel, et Béni-Abbes, avec respectivement pour des durées de 27ans, 35ans, 38ans, 42ans, à raison de 4 DA le kWh. Si on refait le calcul pour 12DA le kWh les résultats

sont 9ans, 12ans, 13ans, et 14ans. Ici on voit l'importance de l'application du décret « feed in tariff » du ministère de l'énergie qui permet de vendre à un triple prix le kWh, en prenant Tamanrasset par exemple, à partir de la 10^{ème} année les revenus de la centrale sont des gains à 100%.

La figure suivante représente la puissance annuelle nette à la sortie de la génératrice pour les quatre sites considérés en MW.

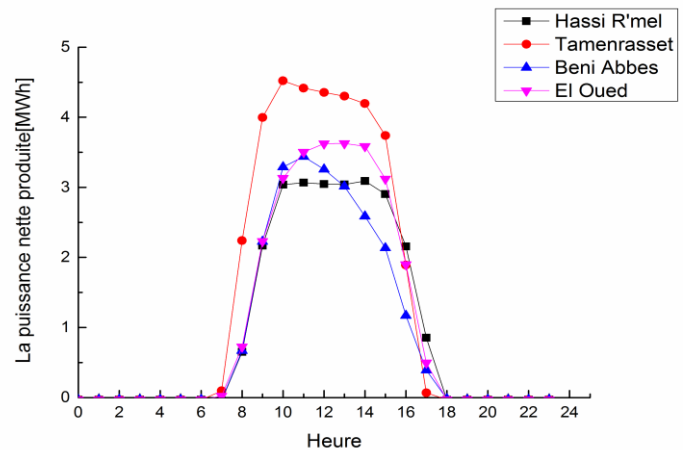


Fig. 15 Moyenne annuelle de la puissance nette produite à la sortie de la génératrice pour les quatre sites

En analysant les courbes de la fig. 15 qui représente la moyenne annuelle de la puissance nette produite à la sortie de la génératrice pour les quatre sites considérés, pour la courbe tracée en bleu qui représente l'énergie produite pour Hassi R'mel qui atteint une moyenne annuelle maximale de 3.06MW, pour la courbe en rouge qui représente l'énergie produite pour Tamanrasset qui atteint une moyenne annuelle maximale de 4.52MW, et il commence à produire avant les autres site ce qui confirme sa rentabilité, pour la courbe en vert qui représente l'énergie produite pour Béni-Abbes qui atteint une moyenne annuelle maximale de 3.43MW, et en voyant son allure qui ne suit pas les autres on peut conclure que Béni-Abbes est le site le plus mauvais par rapport aux autres, et pour celle tracée en violet qui représente l'énergie produite pour El Oued qui atteint une moyenne annuelle maximale de 3.62MW.

Toujours d'après la fig. 15 le site qui a une puissance annuelle nette produite importante est celui de Tamanrasset suivi du site d'El Oued, puis Béni-Abbes, puis Hassi R'mel, respectivement pour des valeurs des puissances 4.52MW, 3.62MW, 3.43MW, et 3.06MW. Tous les résultats de l'analyse économiques sont regroupés dans le tableau II ci-dessous :



Le 4^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 4nd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 24 et 25 Octobre 2016



TABEAU II
RESULTATS DE L'ANALYSE ECONOMIQUE

Les sites retenus	Hassi R'mel	Tamanrasset	Béni-abbés	El Oued
Irradiations annuelles (KWh/m ² .an)	2008,4	2759,4	2114	2137
Energie annuelle produite (MWh)	8280	11704	7631	8981
Le LEC (DA/KWh)	12,42	8,86	13,45	11,47
Chiffre d'affaire pour 4DA le KWh	33.121.300	46.816.608	30.526.400	35.926.780
Chiffre d'affaire pour 12DA le KWh	99.363.900	140.449.824	91.579.200	107.780.340
Le gain pour 4DA le KWh	2.594.900	16.290.208	0	5.400.380
Le gain pour 12 DA le KWh	7.784.700	48.870.624	0	16.201.140
Le gain en pourcentage	7.83%	34.7%	0	15%
Nbre d'année de rentabilité (4DA)	38 ans	27ans	42 ans	35 ans
Nbre d'année de rentabilité (12DA)	13 ans	9 ans	14 ans	12 ans

VI. CONCLUSION

L'étude que nous avons réalisé sur les centrales solaires à concentrateur linéaire de Fresnel, nous a permis de connaître le fonctionnement de ce type de centrale, ainsi que les paramètres qui influent sur son fonctionnement.

Nous avons montré que le bon fonctionnement de ce type de système dépend de plusieurs paramètres, à savoir des paramètres optiques et thermiques.

D'après l'étude effectuée, nous avons pu constater l'importance du bon choix du site de la centrale, car chaque site est caractérisé par son éclairage direct, la température ambiante, la vitesse du vent, la latitude, l'élévation par rapport au niveau de la mer et bien d'autres facteurs qui jouent un rôle significatif sur la rentabilité et la productibilité de la centrale, et cela est bien apparent dans les résultats obtenus où la production énergétique et le cout du kWh, varient lorsqu'on déplace la centrale dans les différents sites.

D'après les résultats obtenus à partir des bilans énergétiques établis en moyenne annuelle à l'échelle horaire, pour les différentes caractéristiques de la centrale, et l'étude technico-économique pour évaluer le coût du KWh pour les quatre sites choisis, on peut constater que l'Algérie a de très grandes opportunités d'opter pour l'installation des centrales solaires à concentrateur de Fresnel. Enfin, pour les sites étudiés, le meilleur site à choisir pour installer une centrale de ce type

sera le site de Tamanrasset suivi d'El oued, de Hassi R'mel, et enfin celui de Béni -Abbes

REFERENCES

- [1] Site web [http //www.Novatec solaire.com](http://www.Novatec_solaire.com). Consulté en Juin 2012.
- [2] Site web [http //www.Nrel.Gov/Analysis/Sam](http://www.Nrel.Gov/Analysis/Sam). Consulté en Juin 2012.
- [3] Décret exécutif n° 04-92 du 4 Safar 1425 correspondant au 25 mars 2004 relatif aux coûts de diversification de la production d'électricité. Ministère de l'énergie et des mines mars 2004