

**POTENTIEL DE L'INTRODUCTION DE LA TECHNOLOGIE
DISH / STIRLING AU MAROC**

**POTENTIAL OF THE DISH / STIRLING TECHNOLOGY INTRODUCTION
IN MOROCCO**

R. BENCHRIFA*, D. ZEJLI* ET A. BENNOUNA*, G. KNIES**

* Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique, Rabat (Maroc)

Fax : 00 212 37 77 12 88 E-mail : bennouna@cnr.ac.ma

** Deutsches Elektronen-Synchrotron, Hambourg - Allemagne

Fax : 00 49 40 866 30 01 E-mail : gehard.Knies@desy.de

Résumé

Transformant l'énergie thermique en énergie mécanique avec le meilleur rendement, le moteur Stirling fonctionne contrairement aux moteurs classiques à combustion interne par un chauffage externe. Son couplage au dispositif parabolique de concentration du rayonnement solaire forme le système Dish/Stirling reconnu comme le plus efficace de toutes les technologies existantes pour la conversion de l'énergie solaire en électricité. Outre son caractère modulaire, son fonctionnement hybride (utilisation des combustibles fluides, bio gaz ou gaz naturel, etc. en absence du rayonnement solaire) améliore la qualité d'électricité produite et augmente le facteur de capacité du système, tout en baissant le prix de revient du kWh produit. Actuellement, avec une production de ce système destinée essentiellement aux unités de démonstration, le coût du kWh produit par le Dish/Stirling est de près de 2 Dh; le coût d'installation étant cinq fois celui de l'éolienne. Ce coût est appelé à baisser avec une production en série de ce système.

Mots clés : Moteur Stirling / Energie Solaire / Electricité.

Abstract

Converting the thermal energy to mechanical energy with the best thermodynamic efficiency, the Stirling motor works by an external heating contrarily to the classic motors. Its coupling to the Dish device forms the Dish/Stirling system admitted the most efficient of the existing technologies for the conversion of the solar energy to electricity. In addition to its modular character, its hybrid working (utilization of fuel, biogas or natural gas in absence of solar radiation) improves the quality of produced electricity and increases the capacity factor of this system, while reducing the cost price of produced kWh. At present, with a production of this system allotted essentially to demonstration unities, the cost of produced kWh by the Dish/Stirling is near 2 Dh ; the installation cost being five times the wind kWh. This cost is called to decrease with a mass production of this system.

Keys Words: Motor Stirling / Solar Energy / Electricity.

1.Introduction

Fournir de l'énergie propre en quantité suffisante et à un bon prix, constitue de nos jours un impératif majeur pour le développement de toute nation. Réduire en plus sa dépendance énergétique vis-à-vis de l'extérieur, constitue un défi que doit relever les pays en voie de développement, pauvres en ressources fossiles, pour alléger la facture énergétique qui pèse lourdement sur leur économie. En effet, l'augmentation de la demande en Energie, la détérioration accélérée de l'environnement liée aux résidus des ressources énergétiques utilisées, et l'épuisement incontournable de ces ressources, posent de sérieux problèmes à l'échelle globale. L'impact socioéconomique de ces problèmes ne peut que s'intensifier à court et moyen terme. Pour résoudre ces problèmes, des alternatives innovatrices dans le secteur de l'énergie son indispensables.

Le Maroc, recèle à cet effet d'importantes ressources énergétiques renouvelables qui peuvent pallier son manque en ressources fossiles notamment dans le cadre de la production de l'énergie électrique, vecteur principal de tout développement économique et social. Le gisement solaire constitue la principale de ces ressources.

Le système Dish/Stirling présente à cet effet une haute efficacité de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique.

2.Technologie du moteur Stirling

Le moteur Stirling, breveté en 1816 par Robert Stirling, est un moteur capable de fournir une puissance mécanique avec un des meilleurs rendements. Contrairement aux moteurs à combustion interne qui dominent le marché, le moteur Stirling fonctionne avec un apport externe de chaleur. Il a plusieurs atouts en son actif :

- une bonne utilisation de l'énergie primaire (thermique),
- des contraintes minimales sur l'origine de la chaleur, qui peut être solaire, rejet thermique, biomasse, gaz...,
- une durée de vie pouvant atteindre 10 fois celle des moteurs à combustion interne, à cause de l'absence de combustion à l'intérieur du moteur,
- nécessitant peu d'entretien.

L'hydrogène et l'hélium sont les gaz de travail les plus utilisés dans les moteurs Stirling. Les deux gaz se distinguent par leur haute conductivité thermique et faible viscosité. Ils sont soumis à une pression qui peut atteindre 20 MPa.

Principe de fonctionnement du moteur Stirling :

Le model présenté par la figure 1 est composé de deux cylindres, le cylindre d'expansion en contact avec la source chaude et de cylindre de compression en contact avec la source froide.

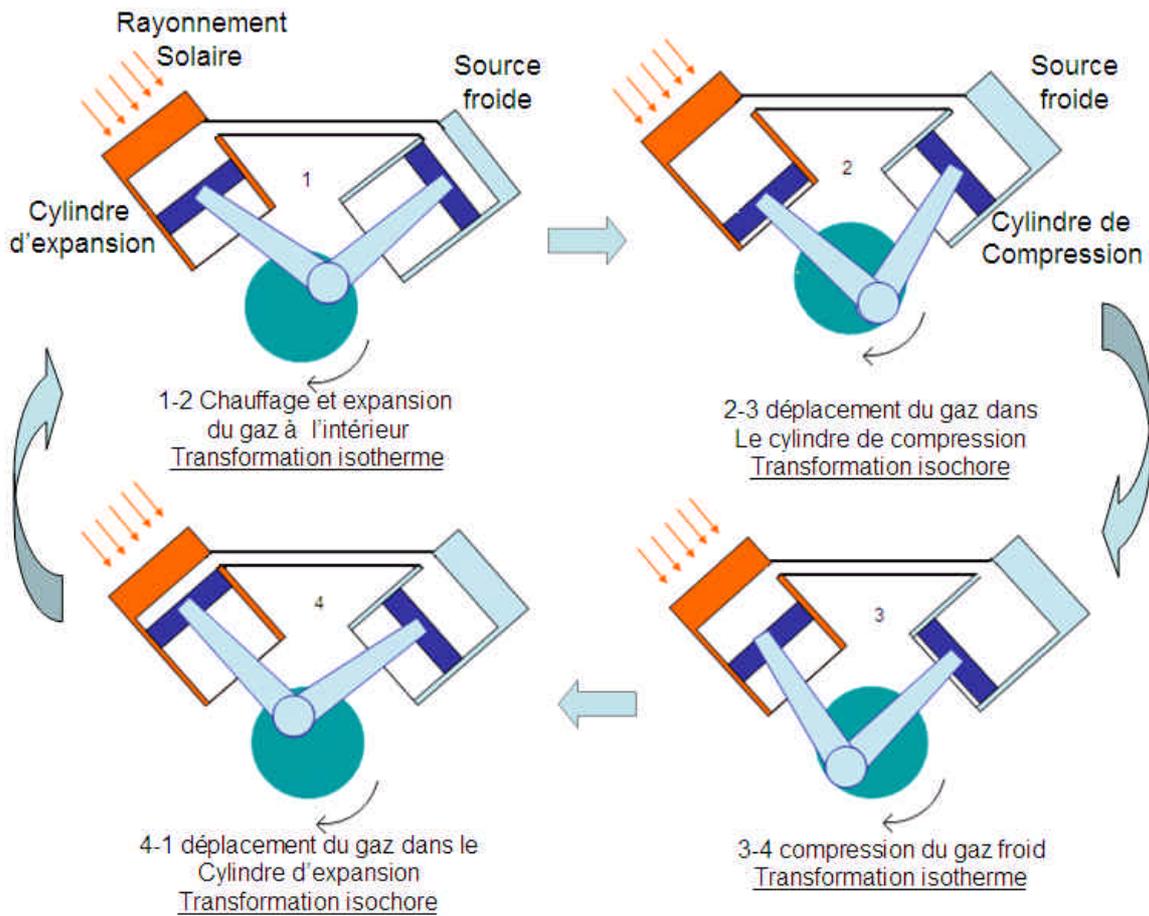


Figure 1 : Principe de fonctionnement du moteur Stirling

Dans la figure 2 est présenté le cycle Stirling dans les diagrammes TS et PV. Le travail fourni par le moteur par la dilatation du gaz chaud est plus important que celui absorbé dans la compression du gaz froid, l'excédent est l'énergie utile.

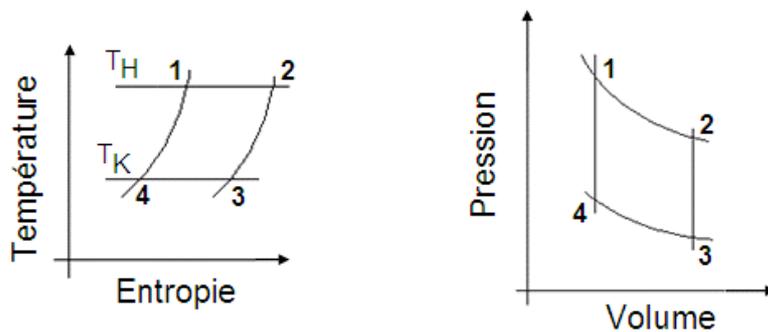


Figure 2 : les cycles TS et PV du moteur Stirling

L'efficacité du moteur augmente avec l'accroissement de la température des gaz chauds et la pression à froid. En pratique, les conditions sont telles que les températures se situent entre 650 et 800 °C et les pressions entre 2 et 10 bars.

Etant donné que le moteur Stirling fonctionne avec un chauffage extérieur, il se prête bien à un fonctionnement utilisant l'énergie solaire comme source de chaleur, d'où son couplage au dispositif réflecteur parabolique de concentration du rayonnement solaire pour la production d'électricité.

3. Technologie Dish/Stirling

Le système Dish/Stirling est composé de :

- un miroir parabolique
- un moteur Stirling avec générateur
- un récepteur
- un système de poursuite du soleil.

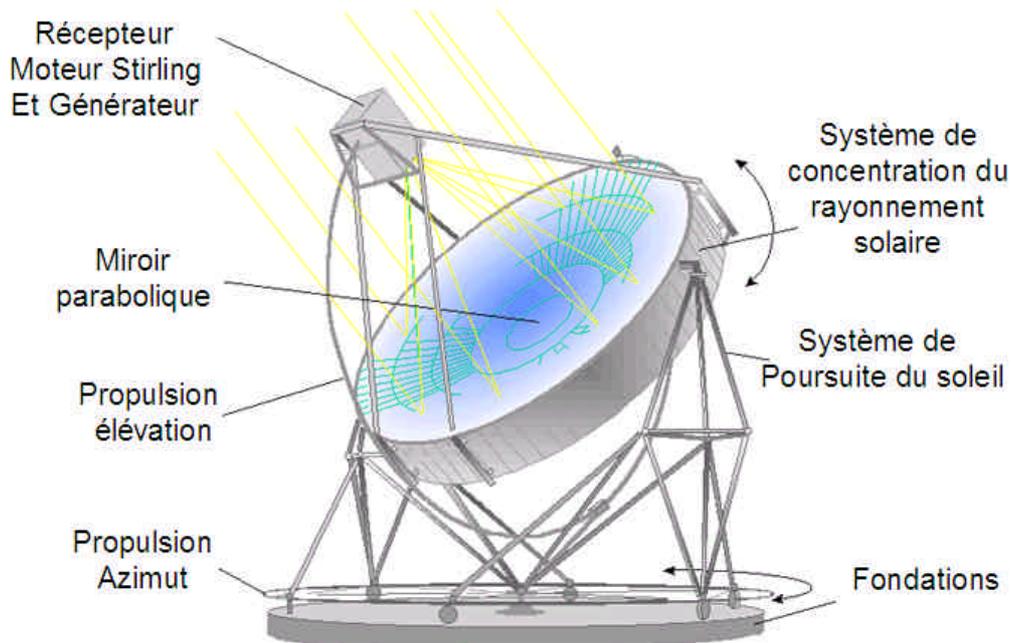


Figure 3 : Système Dish/Stirling

Le miroir parabolique intercepte le rayonnement solaire et le concentre sur le récepteur où il sera transformé en énergie thermique. L'énergie thermique reçue est ensuite transmise au moteur Stirling. Celui-ci la convertit à son tour en énergie mécanique. Un générateur directement couplé au vilebrequin du moteur transforme l'énergie mécanique en courant alternatif.

Puisque la position apparente du soleil par rapport à un point donné est constamment variable, le concentrateur est placé dans une monture assurant les mouvements indispensables à son pointage vers le soleil.

La performance de l'ensemble du système est étroitement liée à la qualité optique de la parabole et au rendement du moteur Stirling.

Les progrès réalisés ont permis d'atteindre des rendements dépassant ceux des autres technologies thermosolaires.

Le tableau 1 présente quelques exemples d'unités Dish/Stirling installées de par la monde.

Tableau 1 : Exemples d'unités Dish/Stirling installées dans le monde

Projets	Puissance unitaire	Année de construction	Nombre d'unités	Sites d'installations
Schlaich, Bergermann et Partner (SBP)	50-kWe			Allemagne Lamoldshausen
Vanguard	25-kWe			USA
McDonnell Douglas	25-kWe			
German/Saudi	50-kWe			Arabie Saoudite Riyad
SBP	9-kWe			3 à Almeria 2 à l'Uni. Stuttgart/D
Cummins Power Generation	7,5-kWe			USA
Aisin Seiki Co., of Japan	8,5 kW			Japan
Stirling Thermal Motors, Inc.,	25 kWe			USA
S B P	10-kWe			Almeria

4. Potentiel de l'énergie solaire au Maroc

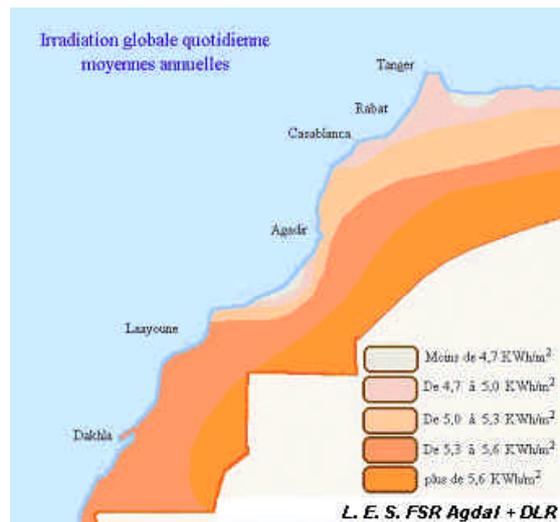
Le Maroc dispose d'un important gisement solaire. 30 % du territoire reçoit annuellement plus de 2000 kWh par m². Avec un rendement du système Stirling de 25 % et un taux d'occupation du sol aussi de 25 %, la mobilisation de 1 % de la surface avec le gisement élevé permettrait de produire environ 210 TWh par an, ce qui représente plus de 15 fois la demande nationale en l'an 2000.

5. Applications de la technologie Dish/Stirling

Les systèmes Dish/Stirling actuels ont atteint un haut degré de fiabilité et leurs coûts ont considérablement baissé au cours de ces dernières années. Leur caractère modulaire leur permet d'être utilisés à la fois pour la production décentralisée ou centralisée de l'électricité. Ainsi, ils constituent le meilleur candidat à la substitution des groupes diesel de production décentralisée d'électricité.

Le fonctionnement hybride de ce système réduit considérablement les besoins de stockage ou de production d'appoint.

Les applications utilisant l'électricité sont tellement nombreuses qu'on ne peut les citer en quelques lignes.



Carte 1: Irradiation globale quotidienne (moyennes annuelles) en kWh/m², (DLR : Centre de Recherche Aérospatial Allemand)

Entre 1997 et 1999, l’Unité des Technologies et Economie des Energies Renouvelables du CNRST a travaillé dans le cadre du programme européen Joule-Thermie avec des partenaires allemands sur le projet : ‘Développement et test d’un récepteur hybride à base de la technologie « Heat Pipe » pour le système Dish/Stirling. Potentiel de l’utilisation et de production de ce système au Maroc’, ainsi que sur un autre projet en collaboration avec le CDER et financé par la fondation allemande Robert Bosch intitulé : ‘Les perspectives de l’utilisation décentralisée du système Dish/Stirling au Maroc’.

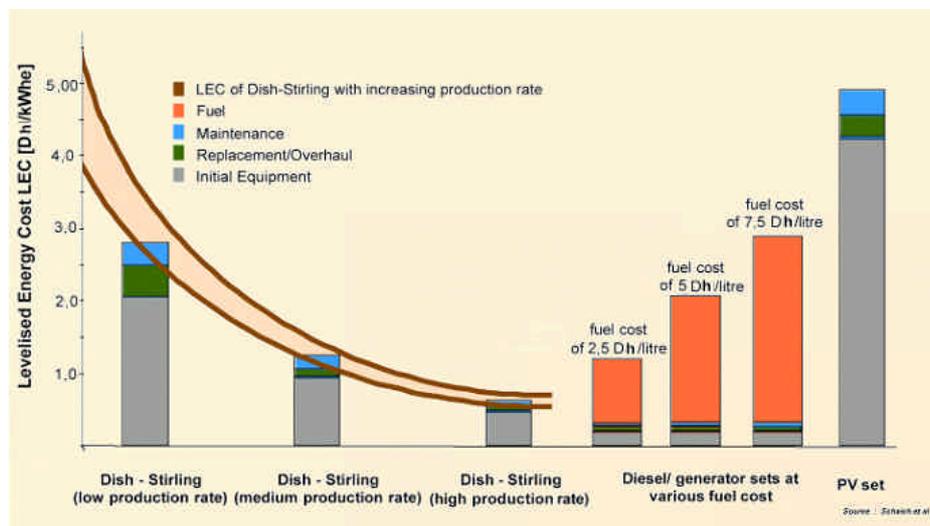


Figure 4 : Comparaison des coût du systèmes Dish/Stirling avec le Photovoltaïque et les moteurs diesel.

Les principaux résultats ayant découlé de ces deux projets sont résumés dans les points suivants :

- le système de transfert de chaleur proposé a été construit puis testé dans les laboratoires du centre de recherche DLR à Stuttgart (Allemagne),
- trois exemplaires de la dernière version de ce système sont maintenant opérationnels dans le cadre d’un programme de test de longue durée à Alméria (Espagne),

- les résultats de l'étude économique sont présentés dans la figure 4. Cette dernière montre que pour une même production annuelle, le prix de revient du kWh à base de ce système sera de l'ordre de la moitié de celui du photovoltaïque,
- l'industrie métallurgique et électromécanique du Maroc présente les atouts nécessaires pour la participation à la construction de ce système au Maroc. La dimension de cette participation dépendra de l'instauration d'une politique volontariste d'introduction de cette technologie au Maroc.

Retombées pour le Maroc :

- participation à l'amélioration des conditions de vie des populations vivant dans les zones isolées non encore connectées au réseau électrique,
- émergence d'un tissu industriel à fort potentiel de création d'emploi.

REFERENCES

J. Schlaich, R. Bergmann and R. Benz *Stahlmembran Parabolspiegel mit Stirlingmotor zur Sonnenenergienutzung* ; Bauingenieur 66 (1991) 419 – 428.

Peter Heller , Peter Heller and Wolfgang Schiel : *Eurodish the next milestone to decrease the costs of Dish/Stirling System towards competitiveness* ; Presented at SolarPlaces Symposium, Sydney 2000.

Volker Häussermann and Wolfgang Schiel : *Introduction of dish Stirling Systems in Morocco*.

TEER (Unité : Technologies et Economie des Energies Renouvelable) CNRST, Maroc, Potentiel for Utilisation of Dish Stirling systems in Morocco, Program Joule – Thermie (1994 – 1998). Commission of the European Communities Task 3.8.A3, March 1998 Rabat, Maroc