

Systemes parabole-Stirling et Fresnel linéaire

LABORATOIRE
PROCÉDÉS, MATÉRIAUX
et ENERGIE SOLAIRE

UPR 8521 du CNRS.
conventionnée avec
l'université de Perpignan

PROCESSES, MATERIALS
and SOLAR ENERGY
LABORATORY



Master ER&S
2015
Université
Mohammed V

FLAMANT Gilles

Directeur
PROMES-CNRS

Gilles.flamant@promes.cnrs.fr



Sommaire

- Parabole-Stirling

Principe

Historique développement

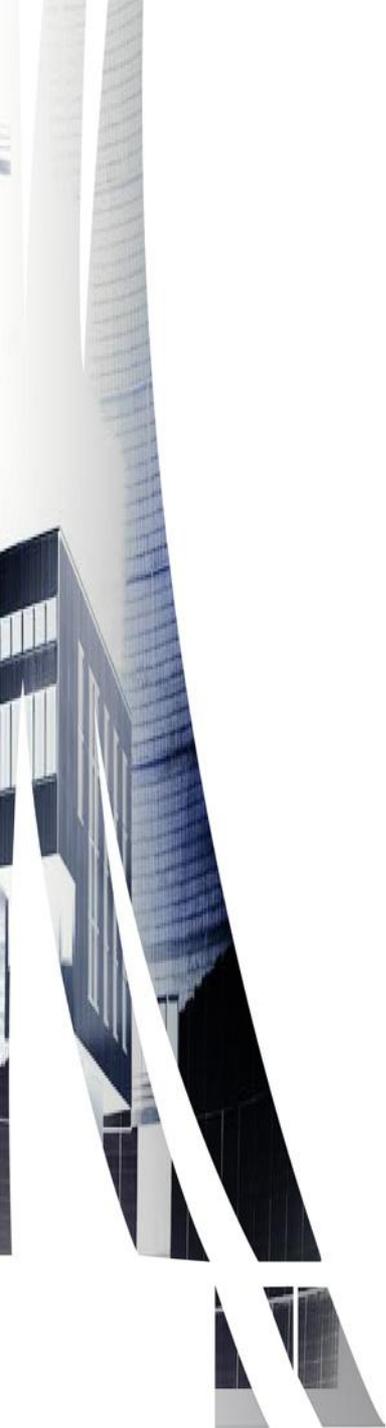
Performances

- Fresnel linéaire

Principe

Comparaison CP-Fresnel

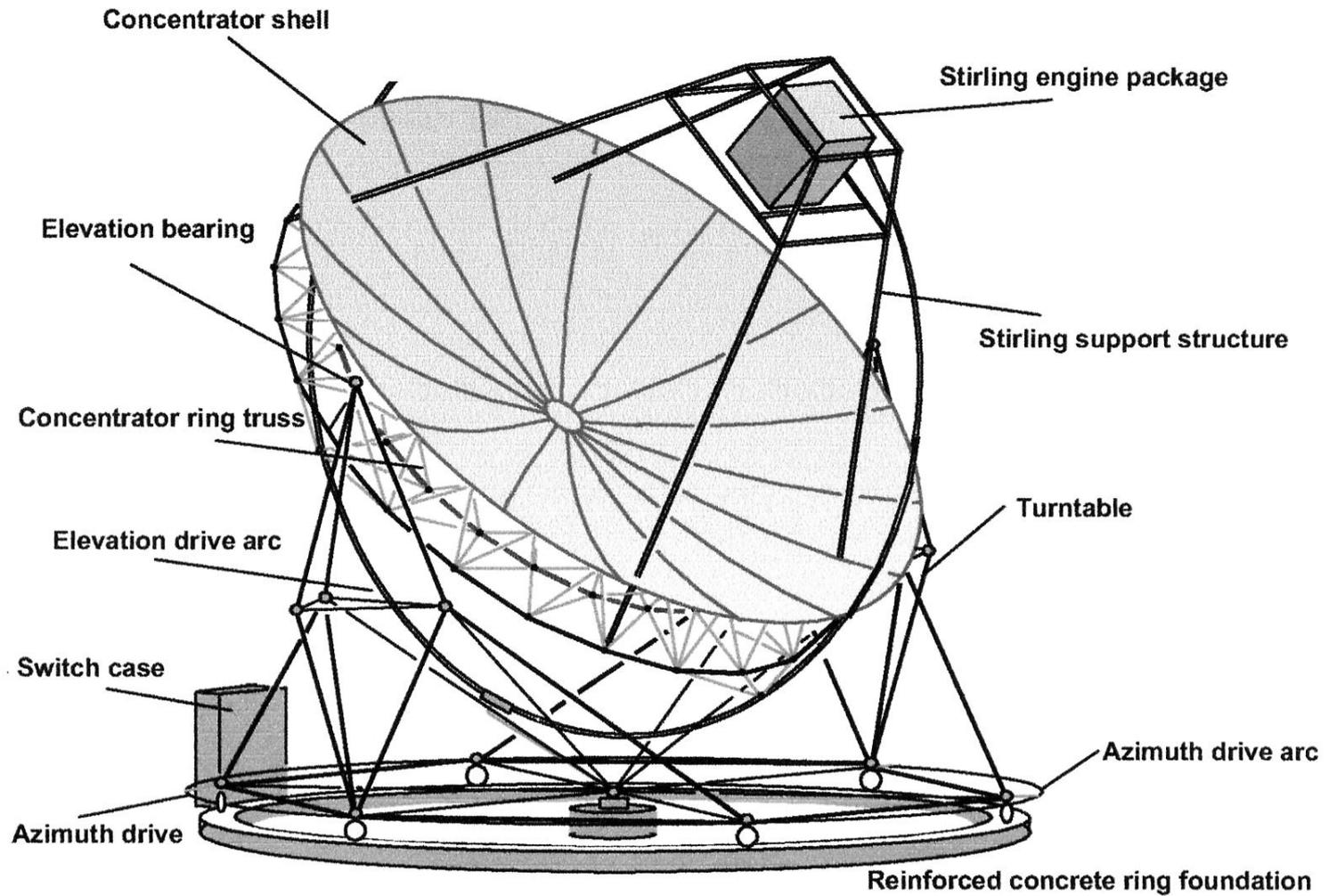




Parabole-Stirling

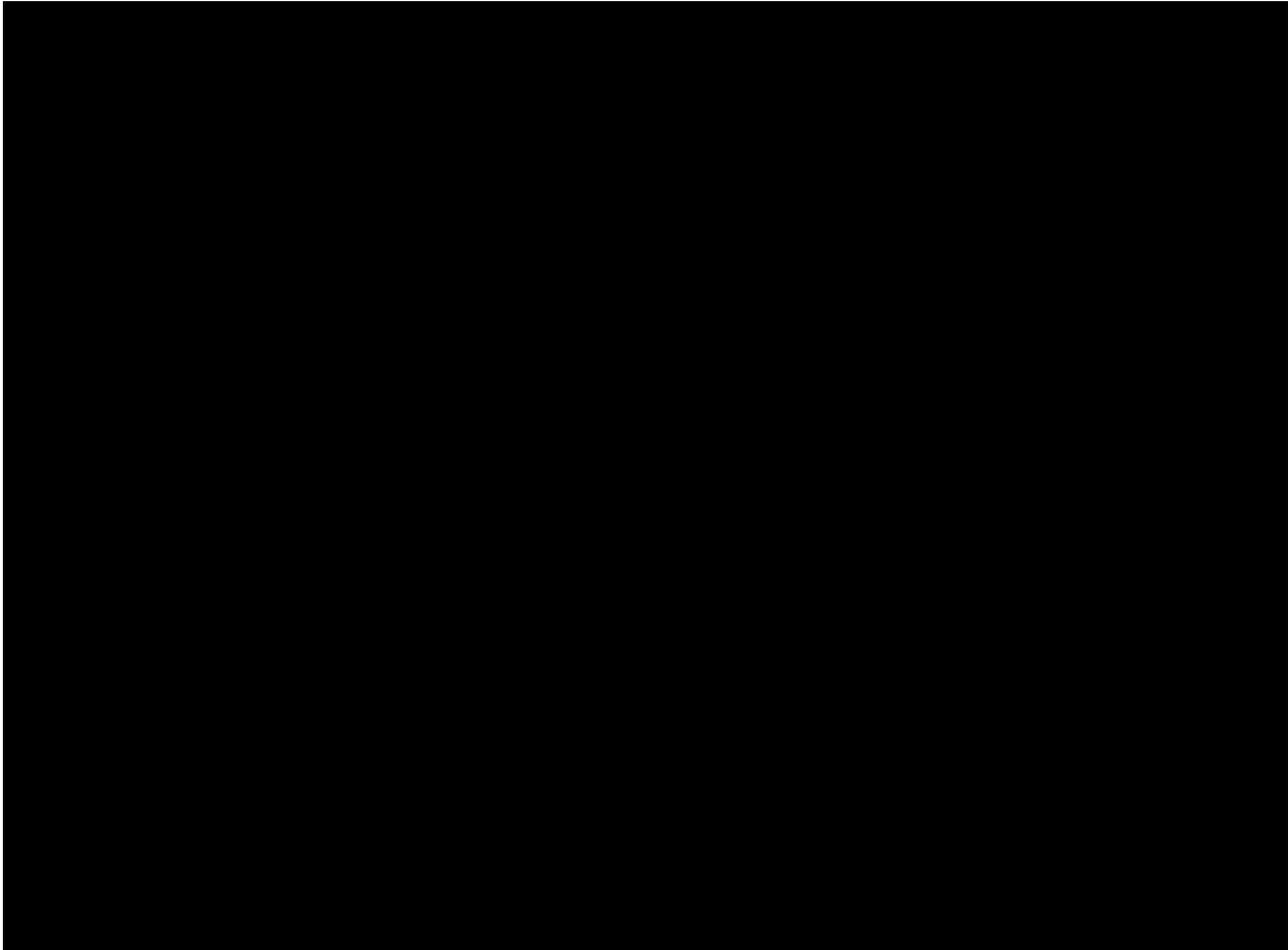
Référence: François Nepveu, thèse UPVD, 2009

Principle





Principe



Principe Moteur Stirling (1816)

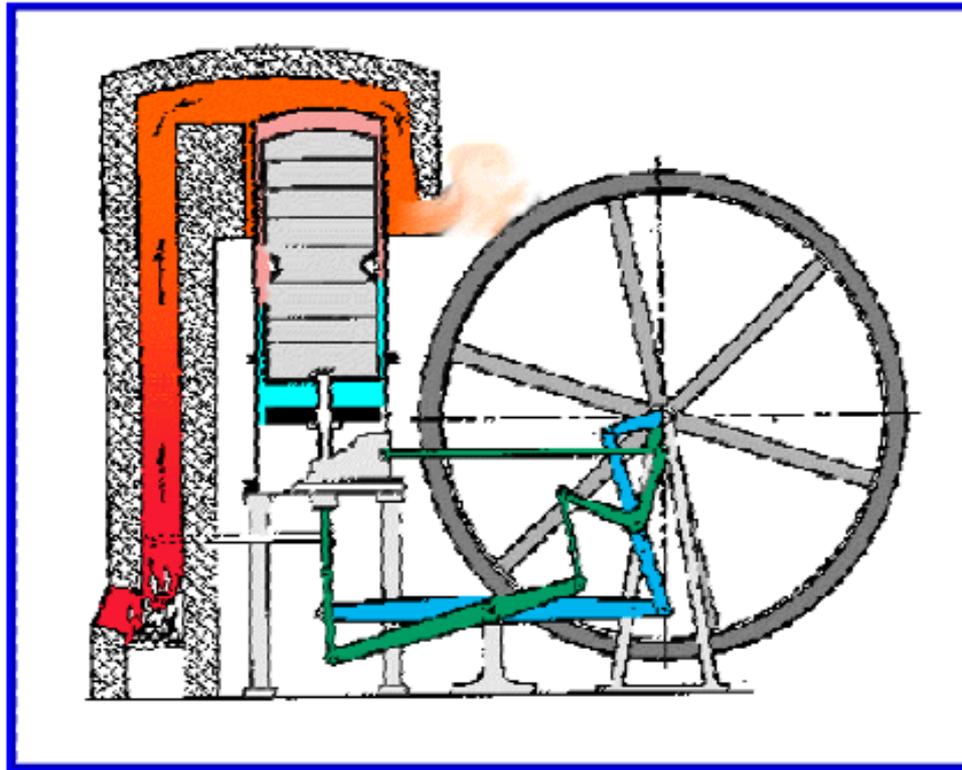
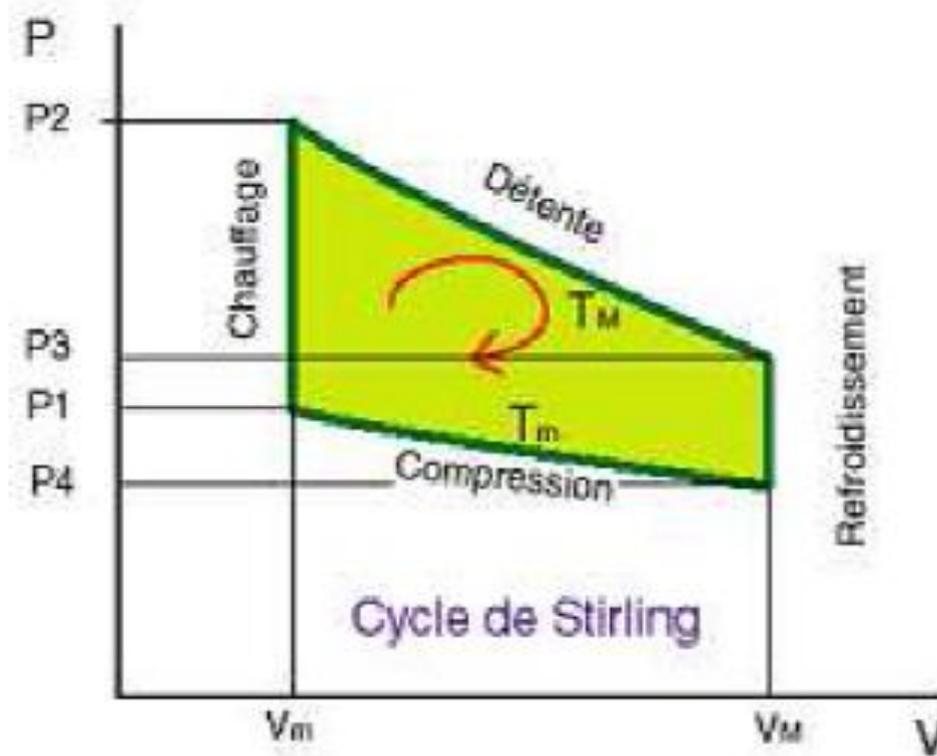


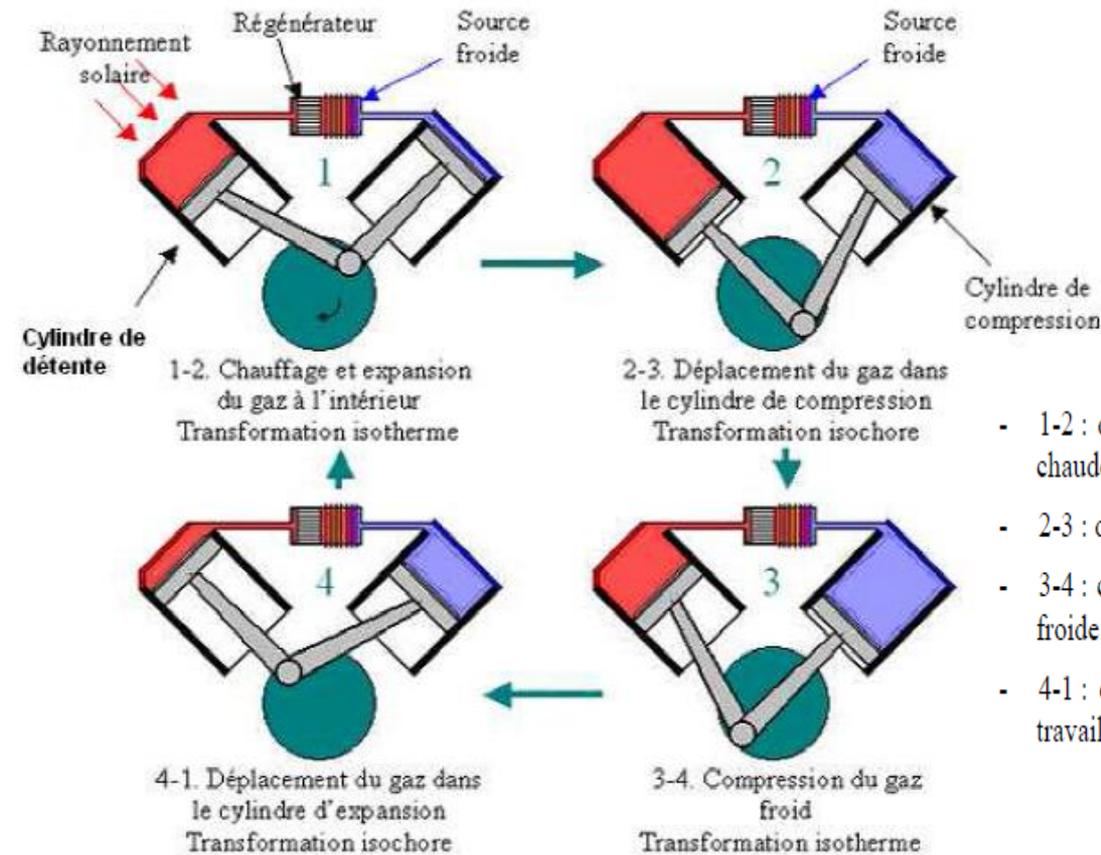
Figure 2.17 : Moteur Stirling de 1816

Principe Moteur Stirling



Cycle thermodynamique Stirling

Principe Moteur Stirling



- 1-2 : détente isotherme, c'est le temps moteur, transfert de chaleur de la source chaude au gaz de travail.
- 2-3 : détente isochore, transfert de chaleur du gaz de travail vers le régénérateur.
- 3-4 : compression isotherme, transfert de chaleur du gaz de travail vers la source froide.
- 4-1 : compression isochore, transfert de chaleur du régénérateur vers le gaz de travail.

Principe

Moteur Stirling



10 kW

Le moteur Stirling Solo 161 avec récepteur solaire tubulaire

Principe

Moteur Stirling



50 kW

Le moteur Stirling 4-95 de USAB, Kockums

Historique développement



25 kW
1982-1985

Le système Vanguard par Advanco Corporation de 25 kW_e

Historique développement



9 kW
1992

Le système DISTAL I de 9 kW_e par SBP installé à Pforzeim en Allemagne

Historique développement



10 kW
1997

Le système DISTAL II par SBP de 10 kW_e à Almería

Historique développement



25 kW
1995
SAIC/STM/SANDIA

Seconde génération du système Sundish à Tempe en Arizona

Historique développement



10 kW
1999
SANDIA

Les systèmes mode 1 et 2 du programme ADDS

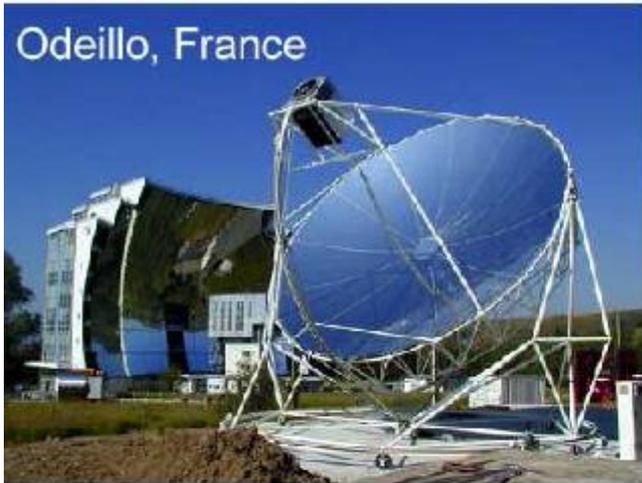
Historique développement



25 kW
2003-2013
Suncatcher de SES
(Stirling Energy System)
SANDIA
 H_2 720°C/160 bars
 $\eta = 30\%$

Centrale solaire expérimentale de 6 Parabole/Stirling SES à Albuquerque

Historique développement



10 kW
2003-2005



Systemes Parabole/Stirling EURODISH du projet EnviroDish

Historique développement



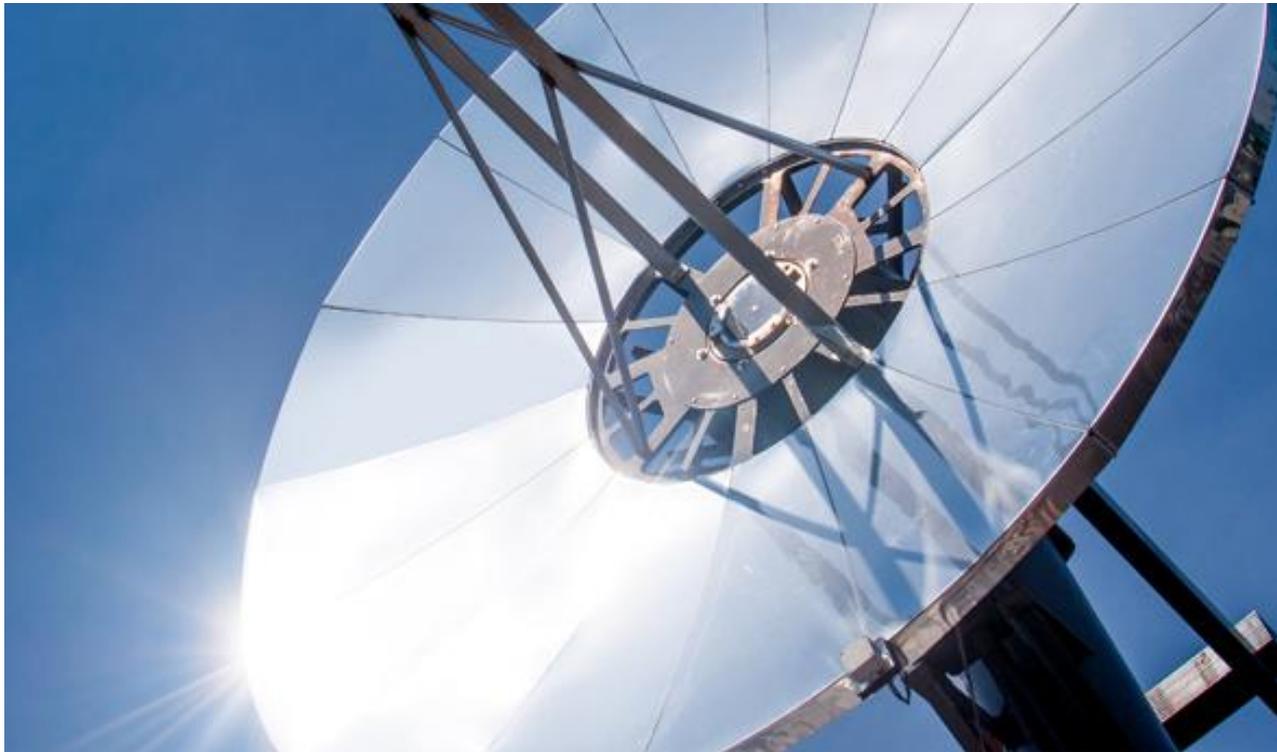
2007
3 kW
INFINIA (stop 2013)

Historique développement



2015
30 kW
RIPASSO
 $\eta = 32\%$

Historique développement

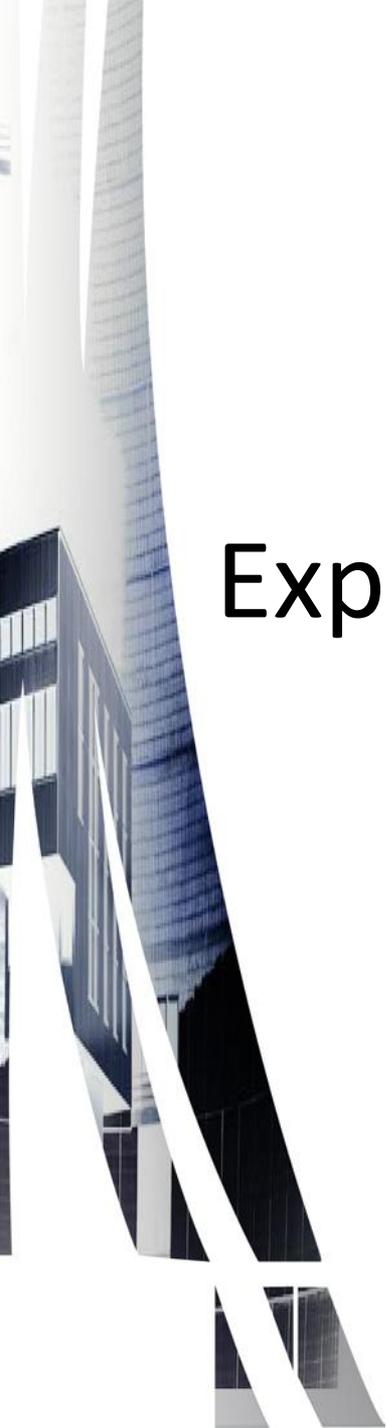


2015
3.5 – 14 kW
CEWA Technology

Historique développement

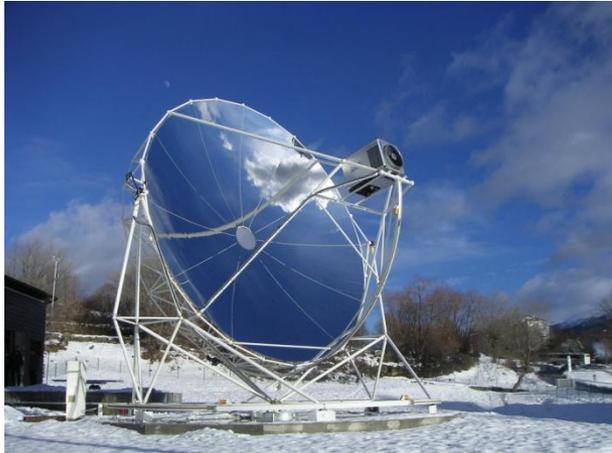


2015
11 kW
« Sunbox »
Cleanergy CSP



Performances :
Expérimentation Eurodish à Odeillo
2004-2008

EuroDish Odeillo



<i>Concentrateur</i>	
Type	parabole 12 segments, structure au sol
Diamètre	8.5 m
Surface projetée	56.7 m ²
Surface utile	53 m ²
Distance focale	4.52 m (design)
Concentration moyenne	1500 (Réf : Surface d'ouverture cavité)
Concentration maximale	9300
Réfectivité (valeur SBP)	94 %
Réfectivité (mesurée Odeillo)	92.5 %
<i>Suivi du soleil</i>	
Type	altazimutal
Régulation	boucle ouverte
Motorisation	2 servomoteurs (60°·min ⁻¹)
Vent maximal	60 km h ⁻¹
Seuil minimal d'enseulement	250 W·m ⁻² (Réf : 53 m ² , 92.5 %)
<i>Bloc moteur Stirling</i>	
Absorbeur	78 tubes de 3 mm de diamètre
Température absorbeur	780-800 °C
<u>Moteur</u>	type alpha cinématique 2 cylindres (160 cm ³) simple effet en V
Puissance électrique maximale	10 kW _e
Vitesse de rotation	1500 tr·min ⁻¹
Régulation	pression (20-150 bar)
Gaz de travail	hydrogène
Température gaz chaud	635 °C
Refroidissement	radiateur eau/air
Génératrice électrique, courant	asynchrone, AC, triphasé 50 Hz

Tableau 3.1 : Caractéristiques techniques du système EURODISH à Odeillo

EuroDish Odeillo

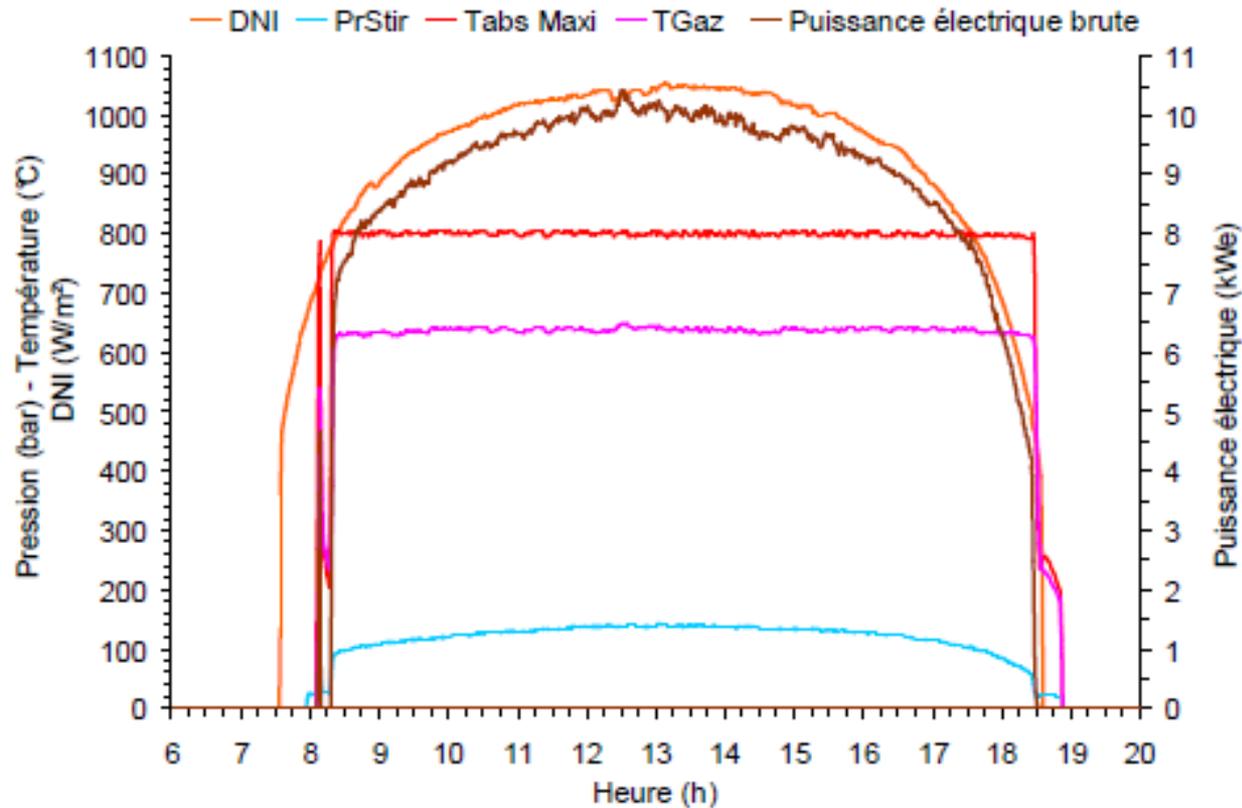
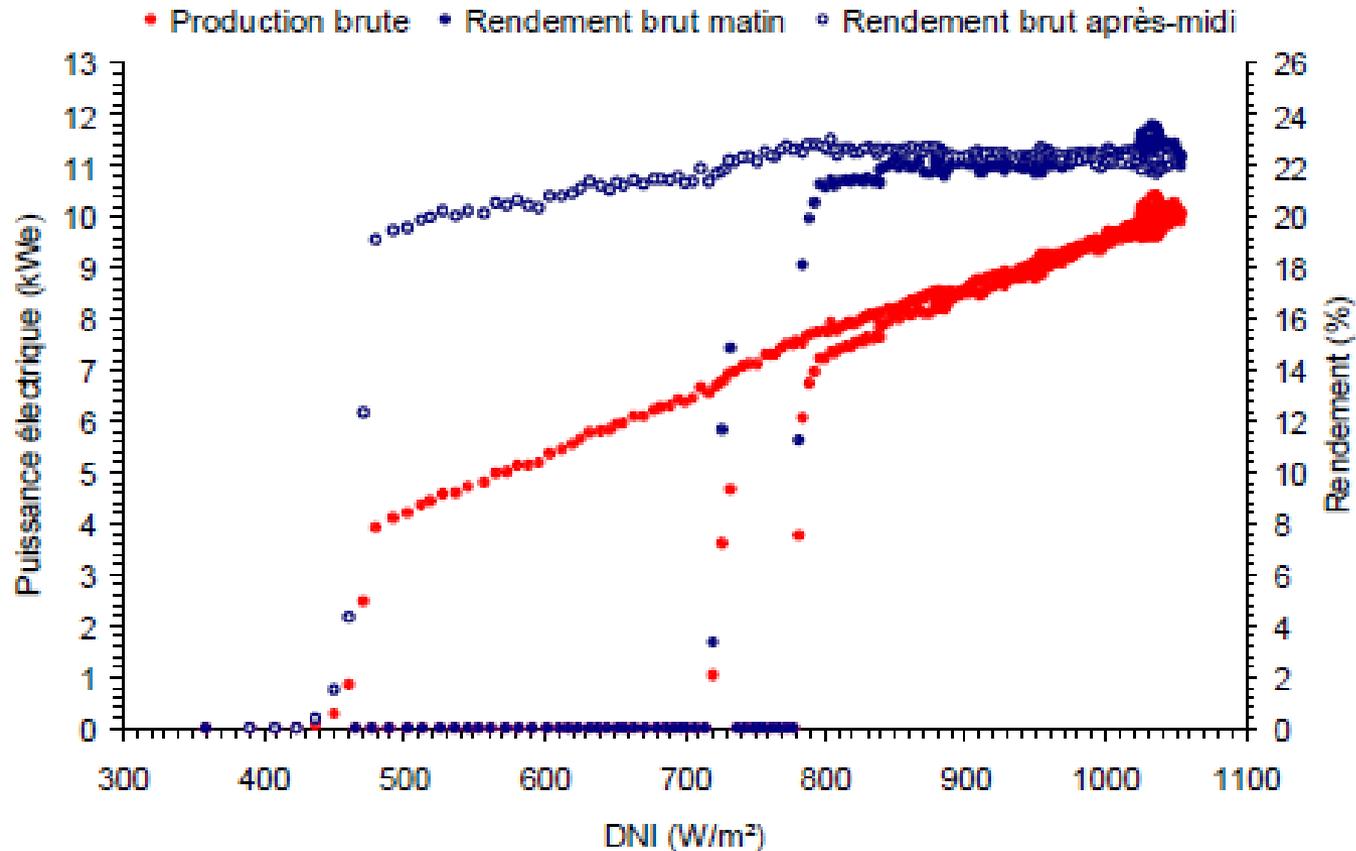


Figure 3.10 : Grandeurs de fonctionnement du système EURODISH à Odeillo sur la journée du 9 Mars 2005

EuroDish Odeillo

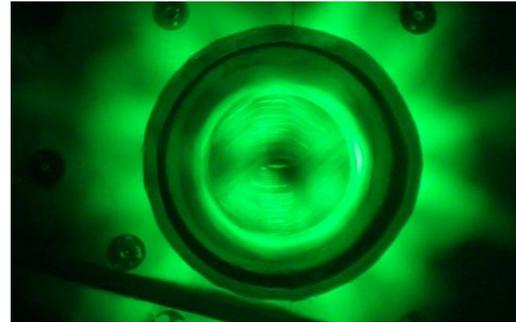
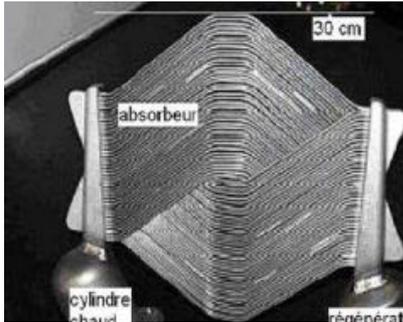


$$\eta_{\max} = 22,6\%$$

$$\eta_{\text{moy}} = 22\%$$

Figure 3.11 : Courbe de fonctionnement du système EURODISH sur la journée du 9 Mars 2005

EuroDish Odeillo



Récepteur solaire

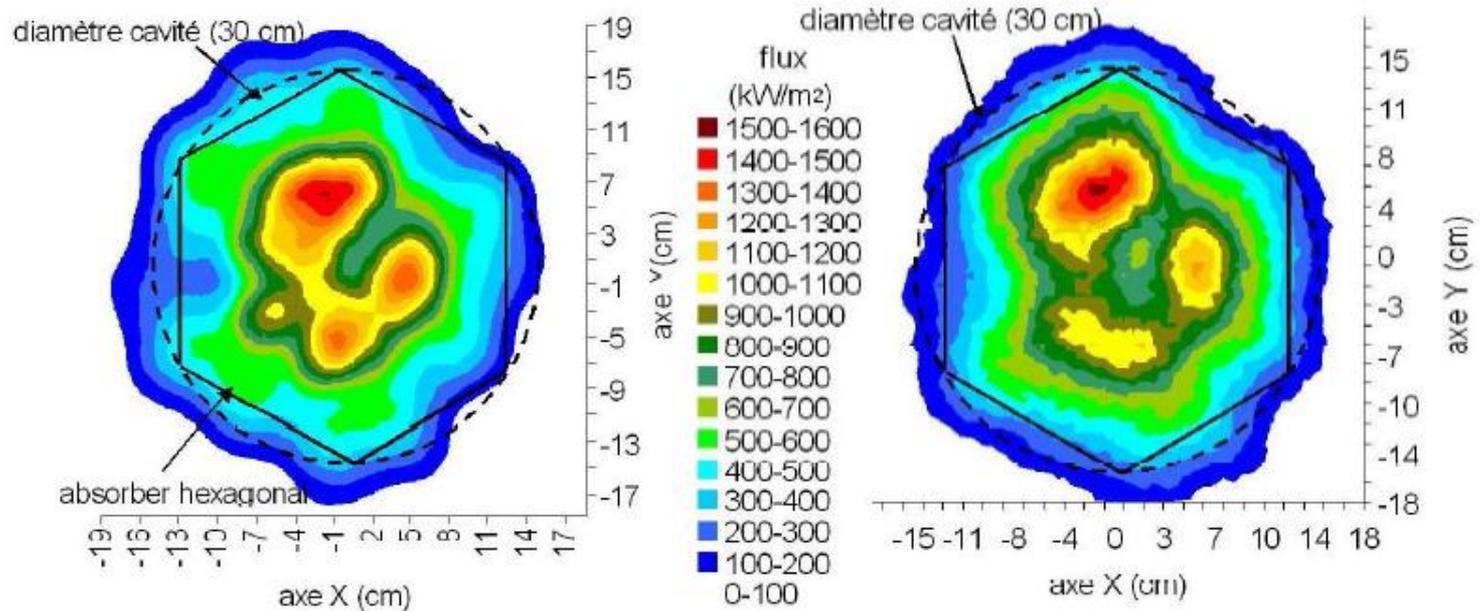


Figure 4.13 : Cartes de flux solaires mesurés (à gauche, [7]) et calculés sous SOLTRACE (à droite) dans le plan absorbeur (Z=4.673 m) normalisés pour un DNI de 1000 W.m⁻² et une réflectivité de 94 %

EuroDish Odeillo

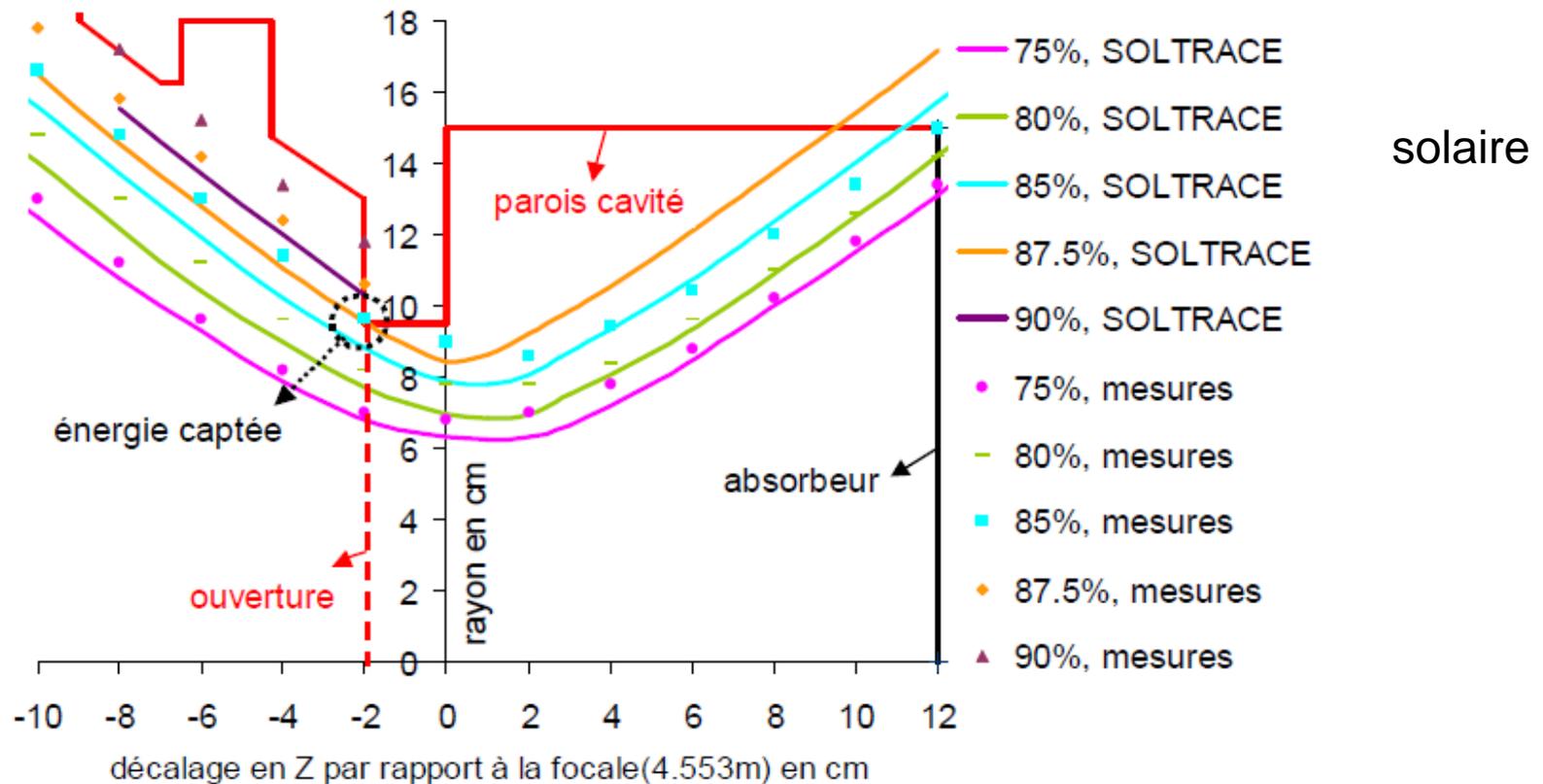


Figure 4.14 : Courbes représentant les rayons de disques interceptant un certain pourcentage de la puissance solaire réfléchiée dans différents plans proches du récepteur solaire : traits pleins : calculé sous SOLTRACE, points : mesures expérimentales

EuroDish Odeillo

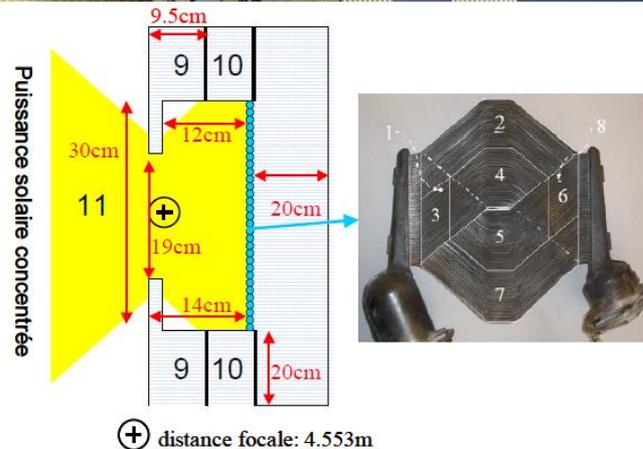


Figure 4.16 : Sous-domaines de la modélisation du récepteur solaire

<u>Donnée</u>	<u>Modèle</u>	<u>Mesures expérimentales</u>	<u>Ecart (en % de la mesure expérimentale)</u>
rendement du concentrateur, η_{par}	80.7 %	78.6 %	2.7 %
rendement de la cavité, η_{cav}	80.1 %	82.6 %	3 %
rendement thermo-optique, $\eta_{\text{ther-opt}}$	64.7 %	64.9 %	0.3 %
rendement du cycle Stirling, η_{cycle}	36.8 %	39.2 %	6.3 %
rendement solaire-électricité, η_{net}	21.0 %	22.5 %	6.7 %

Tableau 4.6 : Comparaison modèle-mesures expérimentales des différents rendements des sous composants du système EURODISH

EuroDish Odeillo

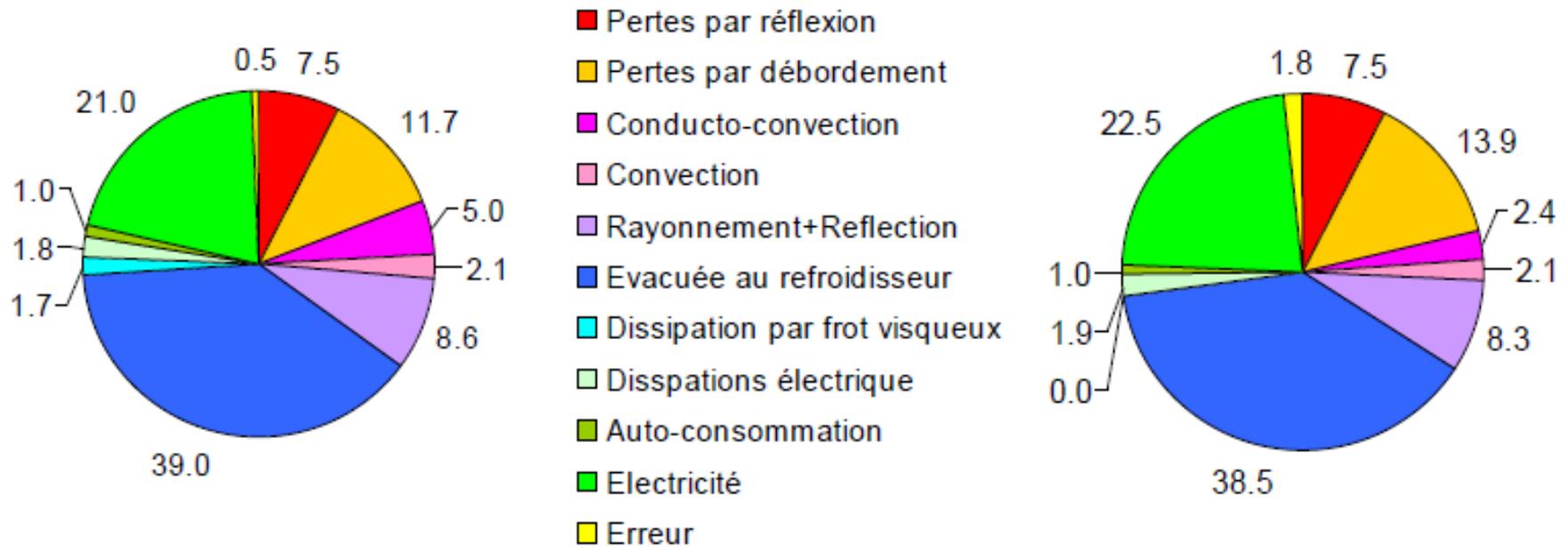


Figure 4.24 : Distribution énergétique estimée par le modèle global (à gauche) et mesurée (à droite) en % de l'énergie solaire collectée par la parabole (48 kW)



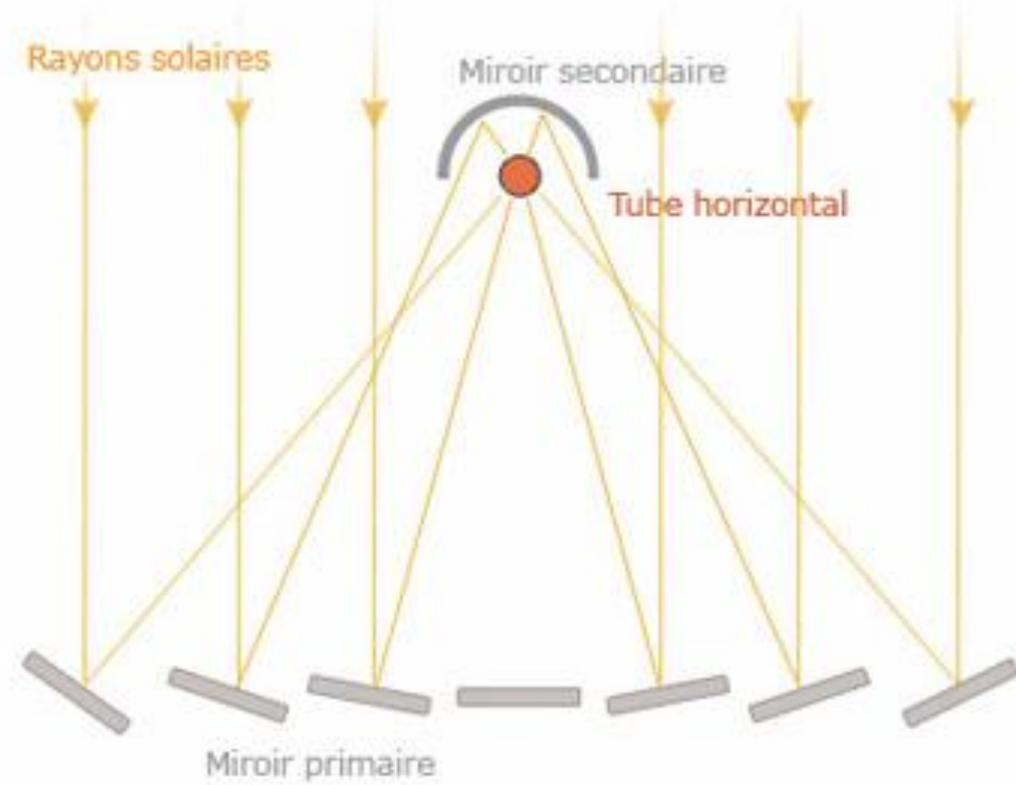
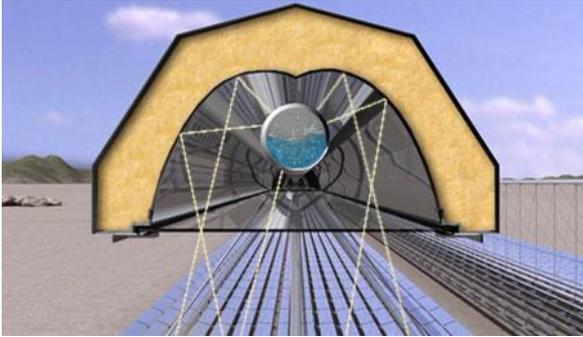
Conclusion

- Les concentrateurs paraboloides en suivi 2 axes ont le meilleur rendement optique parmi les concentrateurs solaires (80-85%)
- Les moteurs Stirling ont un rendement de 40% et plus, même à petite puissance
- Le rendement de conversion soleil-électricité des paraboles-Stirling (PS) atteint plus de 30%
- Le développement des systèmes PS est freiné par le faible coût du PV car, n'ayant pas de stockage thermique, ils sont en concurrence directe
- L'avenir des PS passe par le développement de solutions de stockage adaptée et par l'hybridation

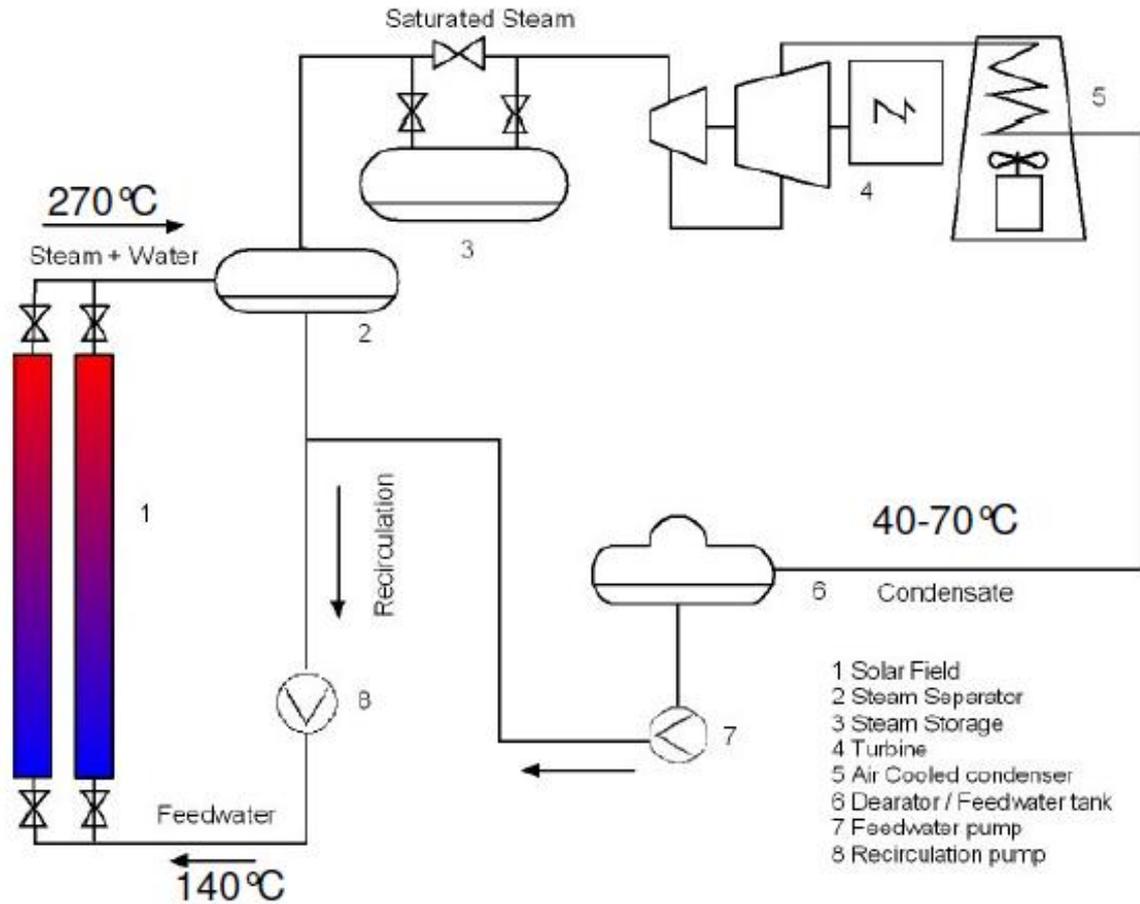


Fresnel linéaire

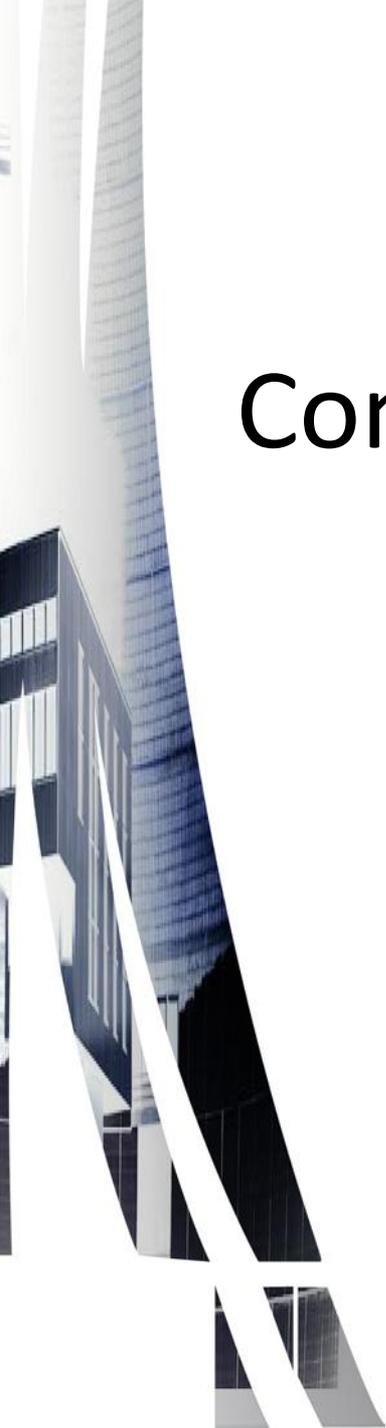
Principe



Principe



Source: Novatec



Comparaison cylindro-parabolique — Fresnel linéaire

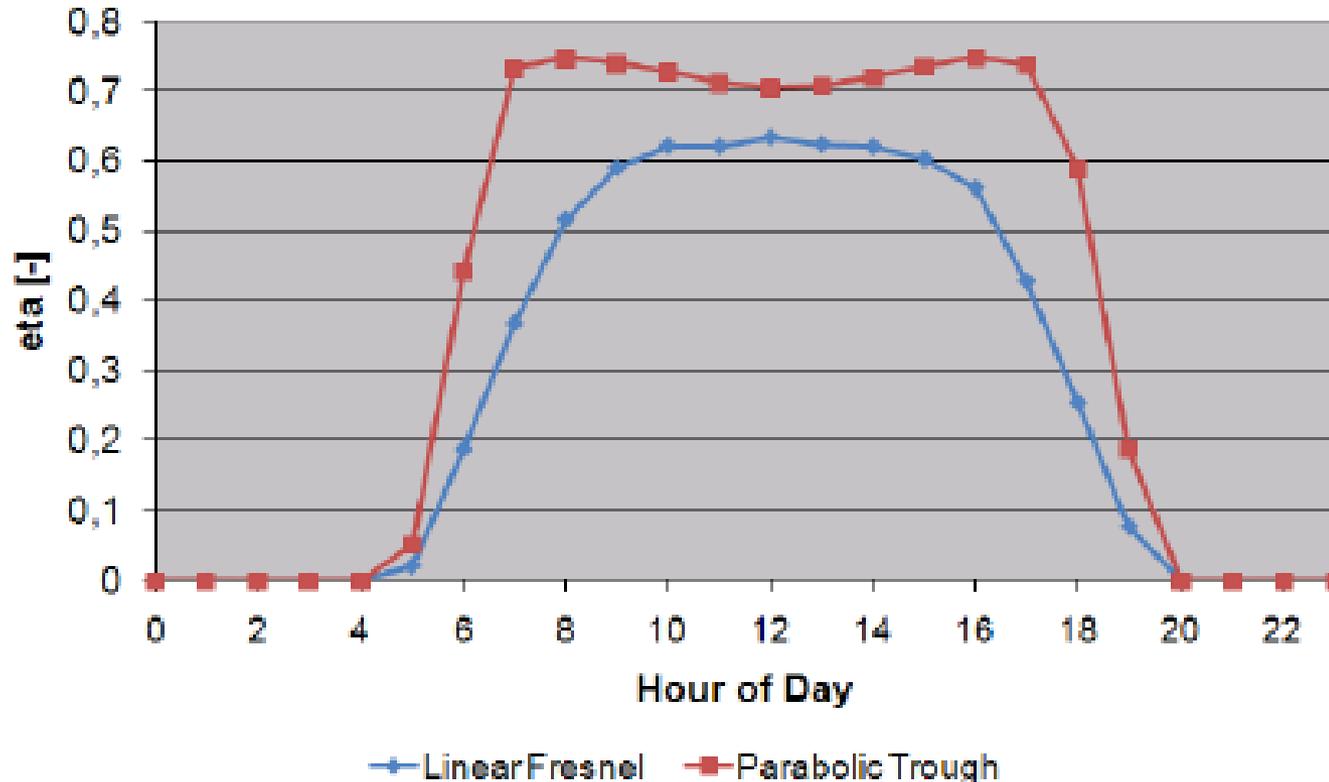
Source:

G Morin et al. Solar Energy (2012), 86, 1-12

H Schenk et al. JSEE (2014)

Rendement optique

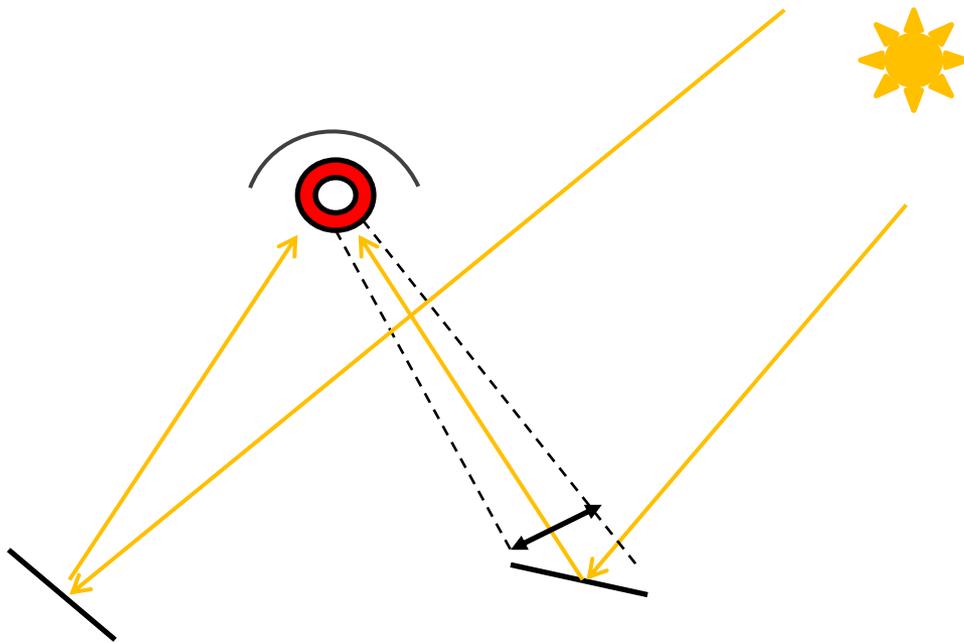
Optical Efficiency at a Typical Summer Day



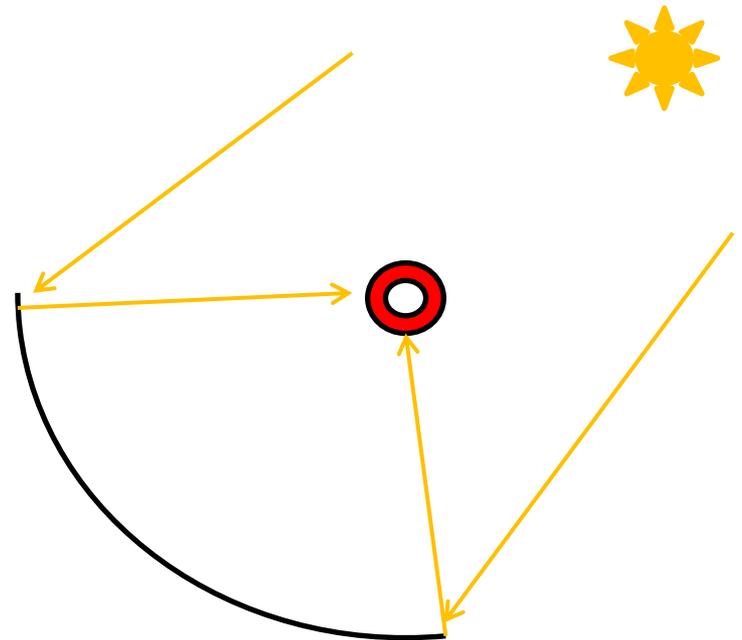
Meilleur rendement optique du cylindro-parabolique mais Fresnel linéaire plus compact et moins consommateur d'énergie parasite pour le suivi solaire et les pompes.

Rendement optique

LF: Effet cosinus défavorable le matin et le soir car le récepteur est fixe



CP: Le récepteur tourne avec le concentrateur l'incidence est plus favorable



Rendement optique

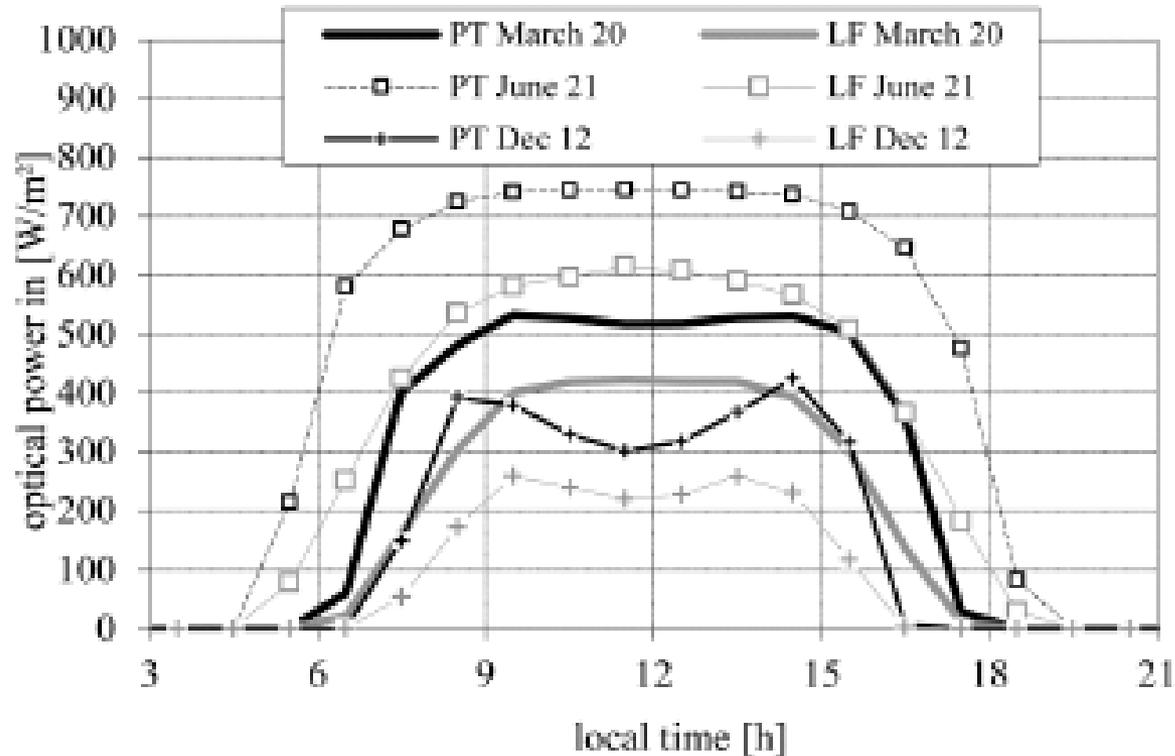


Fig. 5.5: Optical power (\dot{q}_{solar}) of a PT and LF system on March 20, June 21, December 12 for Daggett

Rendement thermique

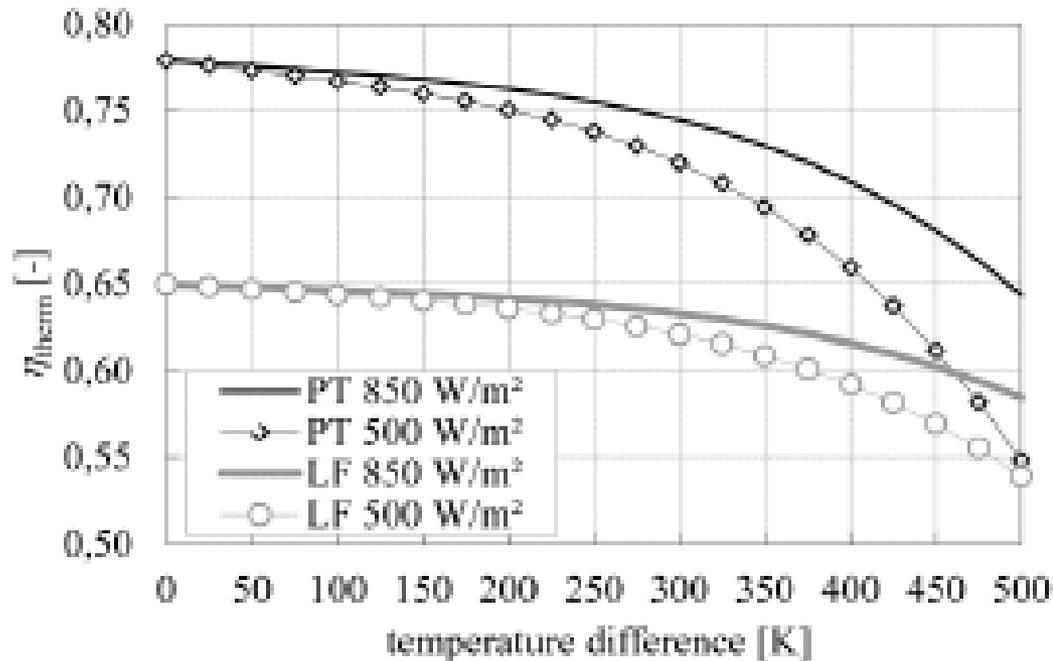


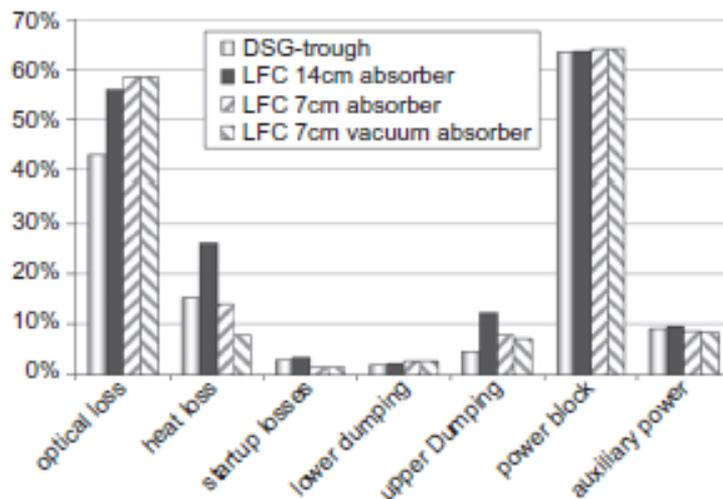
Fig. 6.2: Thermal efficiency of collector field at DNI = 850 W/m² and 500 W/m² (perpendicular irradiation)

Rendement global



Results for the break even costs case (*ECOSTAR* and *ColSim*-approach).

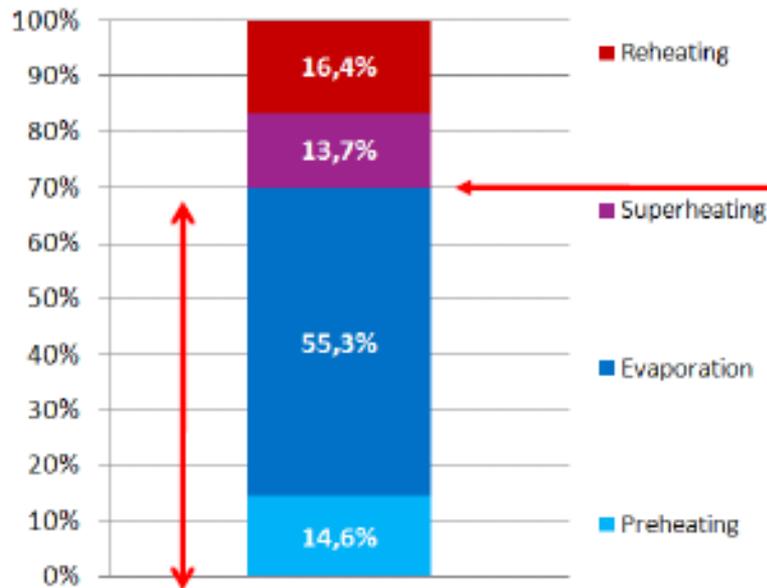
Quantity		<i>ECOSTAR</i>		<i>COLSIM</i>	
		PTC reference	LFC break-even case	PTC reference	LFC break-even case
Solar field cost	(%)	100%	55%	100%	53%
Solar field size	(10^{+3} m ²)	273	373	265	369
Land requirement	(10^{+3} m ²)	955	746	927	738
Net electrical output/year	(GW h)	114	97	107	90
Annual optical efficiency	(%)	58%	43%	57%	43%
Annual thermal efficiency	(%)	85%	76%	84%	74%
Annual power block efficiency	(%)	34%	32%	33%	32%
Total annual efficiency	(%)	15.0%	9.3%	14.5%	8.7%



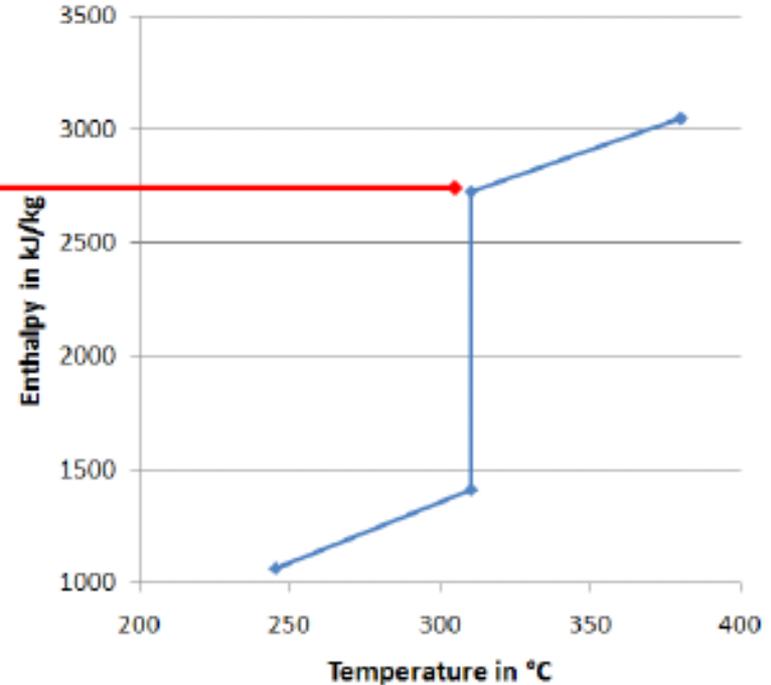
La technologie FL devient concurrentielle avec la technologie CP pour la production d'électricité si son coût d'installation est d'environ 55% du coût du CP.

Concept mixte FL/CP

Fractions of Required Thermal Energy

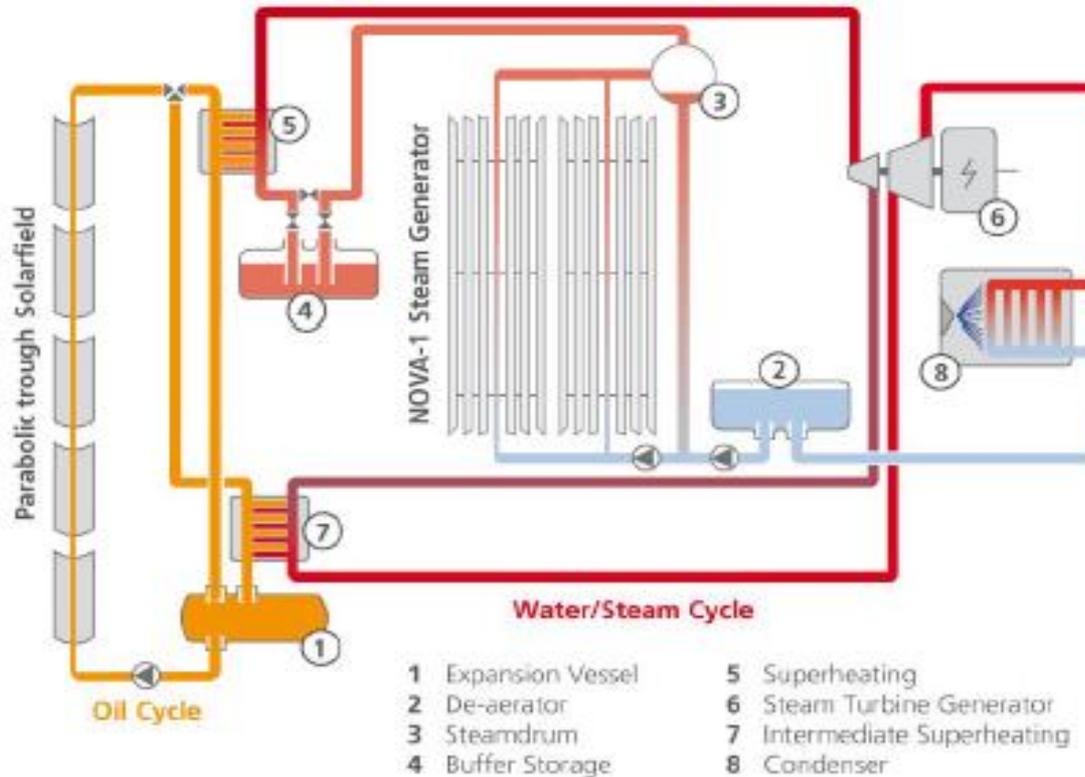


Enthalpy-Temperature Curve



=> 70% of thermal heat input necessary for preheating and evaporation

Concept mixte FL/CP



Turbine block		Superheated Steam Turbine
Turbine capacity		50 MW
Solarfield size	NOVA-1 parabolic trough	210,000 m²
		75,000 m²
Land use		645,000 m²



Un marché potentiel: la chaleur et le froid industriels



Source : Cyprus Institute



Conclusion

- Les concentrateurs de Fresnel linéaire sont handicapés par leur faible rendement optique et le manque de solutions adaptées au stockage à grande échelle pour la GDV (sauf eau sous pression)
- Mais ils sont compacts, simples (construction locale) et modulaires
- Ils sont bien adaptés à la production d'électricité à petite et moyenne puissance et à la production de chaleur et de froid industriels (intégration toiture)