

**Analyse énergétique et  
exergétique  
d'une installation de  
micro-cogénération solaire**

**Muriel Alaphilippe, Françoise Strub**

**Pascal Stouffs**

Micro-cogénération solaire :

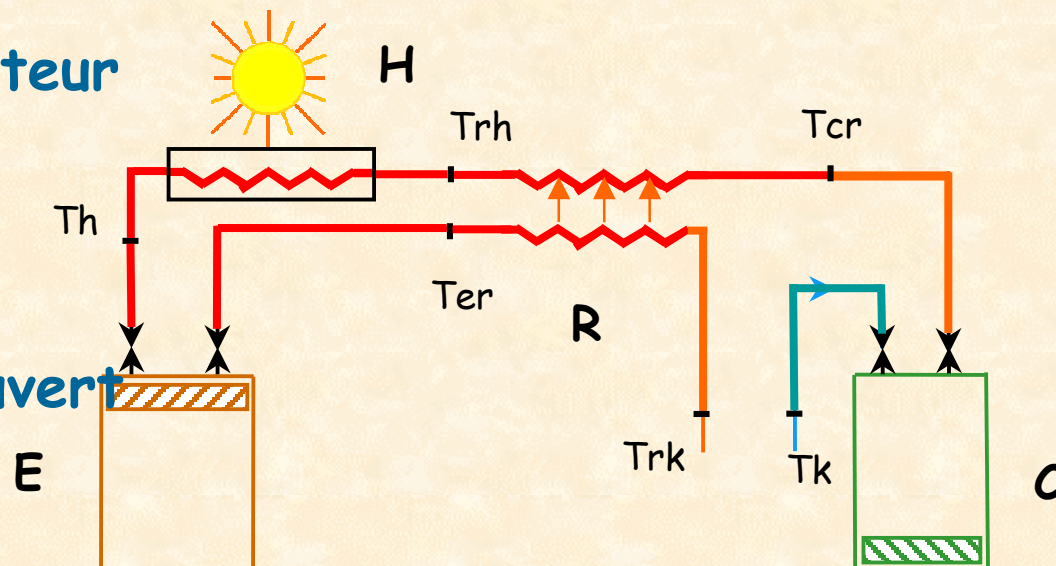
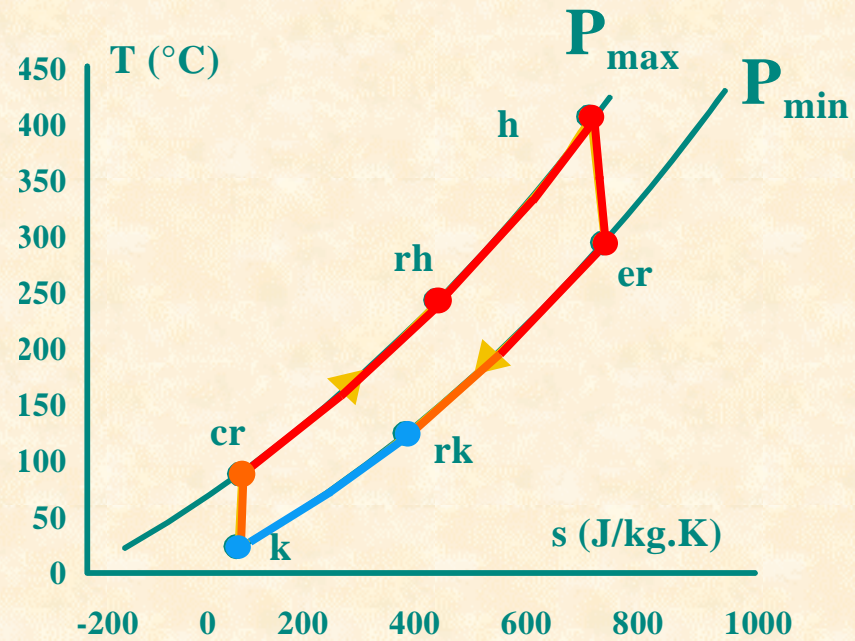
Couplage d'un moteur Ericsson

et d'un capteur Solaire

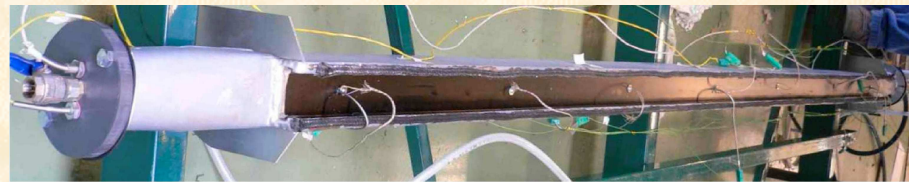
Solaire

Air=fluide

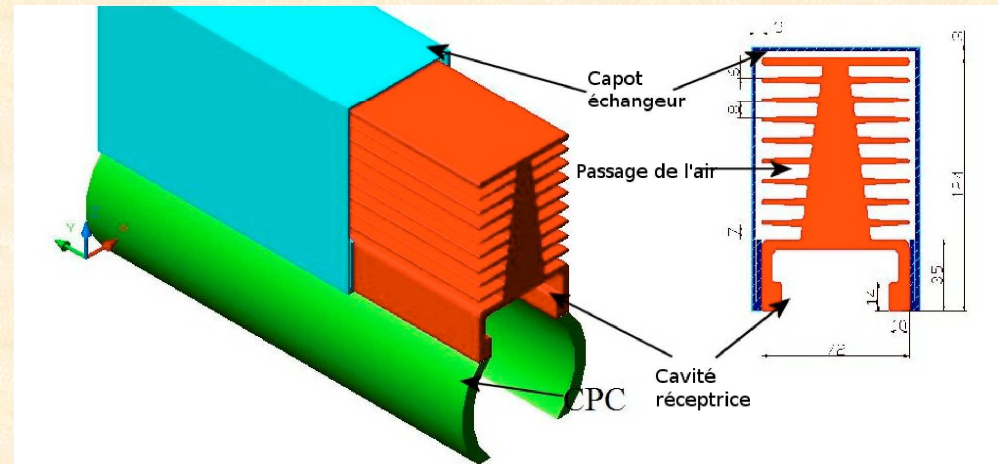
En cycle ouvert



# Le capteur solaire = concentrateur + Échangeur 'H'



Échangeur réchauffeur 'H'



Concentrateur Parabolique Composé

## Caractéristiques du système étudié

paramètres	valeurs
$L$	2,50 m
$L_{N-S}$	2,348 m
$l_{pap}$	0,04 m
$\varepsilon F$	0,15
$\eta_c$	0,7
$\eta_{meca,C}$	0,9
$\eta_{meca,E}$	0,9
$\eta_{si,C}$	0,9
$\eta_{si,E}$	0,9
$h_{free}$	$10 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$
$\epsilon_r$	0,8
$P_0$	$10^5 \text{ Pa}$
$T_0$	288,15 K
$\gamma$	1,4
$c_{p,air}$	$1004 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
$S_p$	$0,0029 \text{ m}^2$
$D_M$	0,0086 m
$Pr$	0,7



Capteur cylindro-parabolique

'Soleil-Vapeur'

taux de concentration = 58,7

Surface d'ouverture

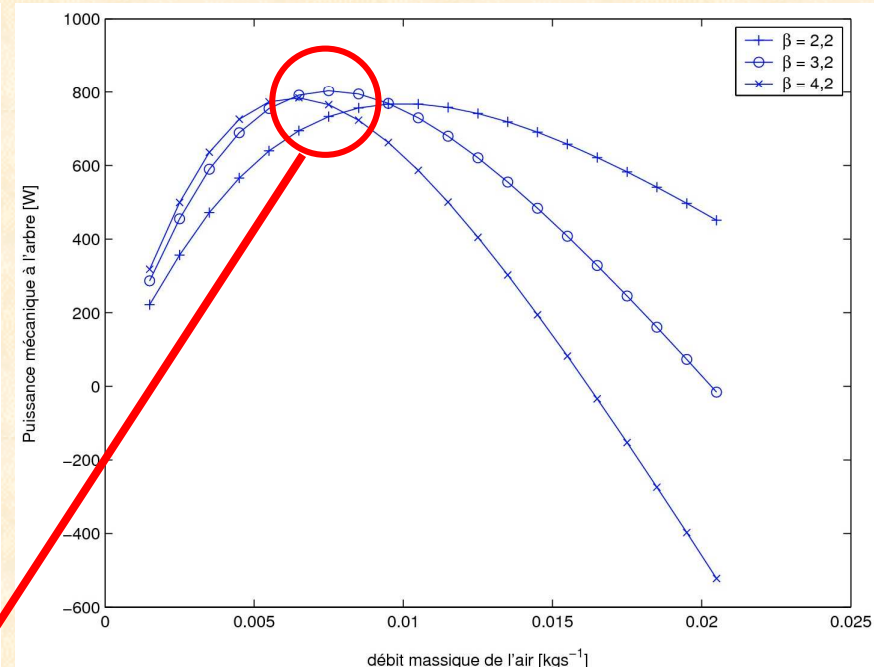
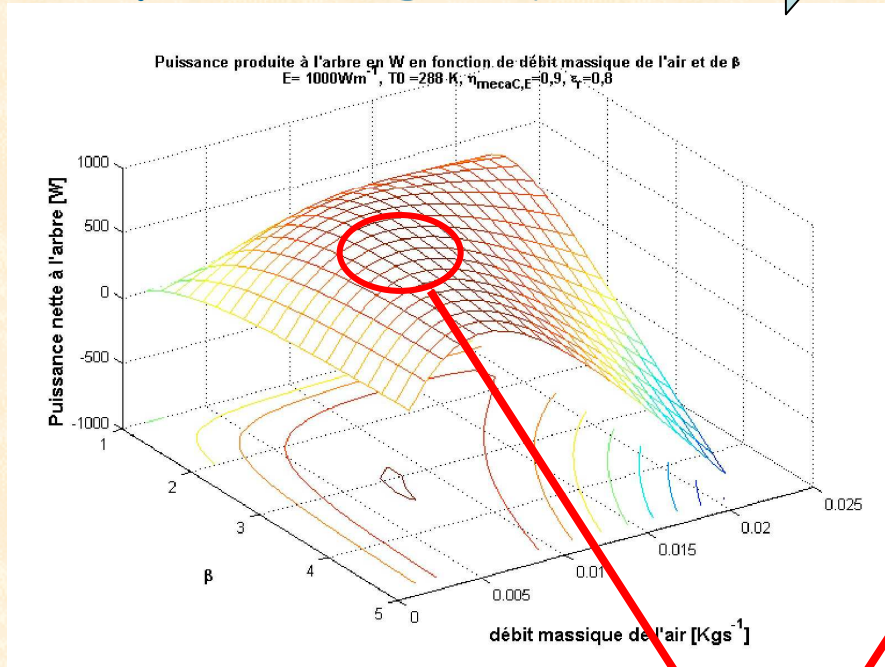
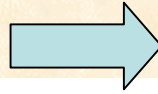
$5,87 \text{ m}^2$

Flux solaire constant

$E = 1000 \text{ W/m}^2$

$T_0 = 288 \text{ K}$

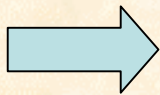
## Analyse énergétique



Un point optimal de fonctionnement qui maximise la puissance mécanique

$$\beta = 3,2 \quad \text{et} \quad \dot{m} = 0,0075 \text{ kg/s}$$

- faible variation des performances autour du point de fonctionnement (souplesse de fonctionnement du système),
- faible débit = faible vitesse d'air = faibles pertes de charges (cf hyp.)
- faible rapport de pression = technologie simple



## Résultats au point optimal

Paramètre	valeur
$T_k$	288, 15 K
$T_{cr}$	414, 4 K
$T_{rh}$	699, 3 K
$T_{p0}$	786 K
$T_{pL}$	1066 K
$T_h$	1034 K
$T_{er}$	770, 5 K
$T_{rk}$	485, 6 K
$\dot{Q}_{sol}$	5870 W
$\dot{W}_i$	1139 W
$\dot{W}_{net}$	803, 5 W
$\dot{W}_{lec}$	763, 3 W
$\dot{Q}_k$	1645 W
$\eta_i$	40, 9 %
$\eta_{mot}$	28, 9 %
$\eta_{global \text{ solaire/elec}}$	13 %
$\eta_{global \text{ solaire/elec+chaleur}}$	41 %



**Système adapté à la  
cogénération**

Rendement de conversion

Solaire/Électricité

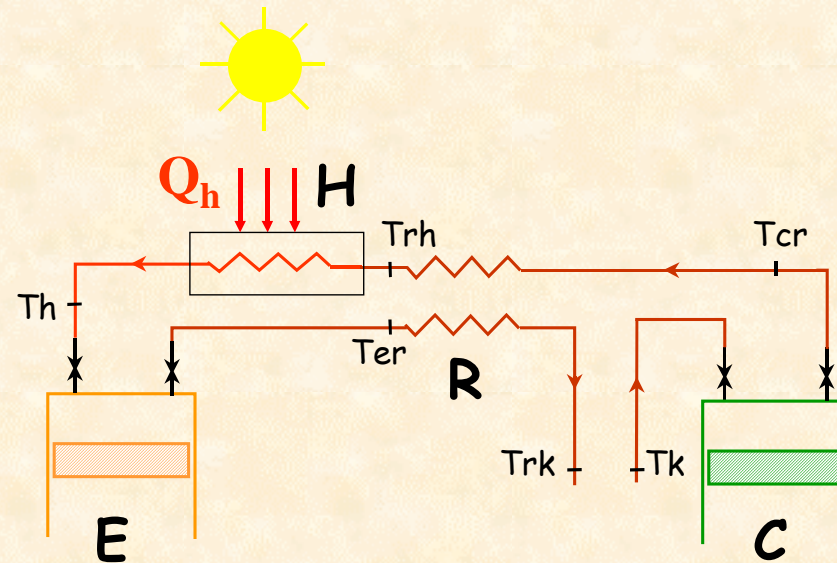
**13%**

Solaire/ Électricité +Chaleur  
>200°C

**41%**

Seul rejet : air pur

## Analyse exergétique du système au point optimal



En chaque point  $i$  du cycle : Calcul du flux d'exergie

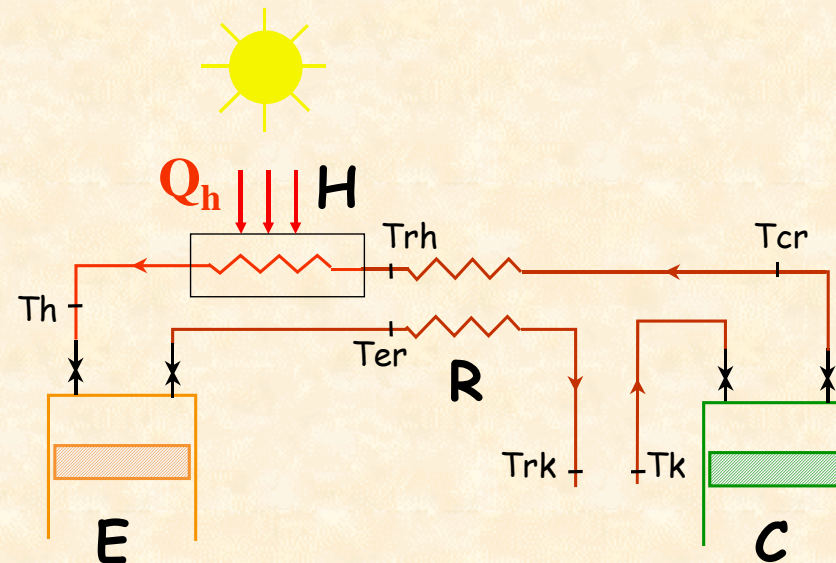
$$\dot{E}x_i(T_i, P_i) = \dot{m} \left( h(T_i, P_i) - T_0 s(T_i, P_i) \right)$$

Pour chaque composant du système C, R, H, E :

- Identification du produit et de la ressource exergétique
- Bilan des flux d'exergie
- Rendements exergétiques
- Exergie détruite

$$\eta_{ex} = \frac{\dot{Ex}_{Produit}}{\dot{Ex}_{Ressources}}$$

$$\dot{Ex}_D = \dot{Ex}_{Produit} - \dot{Ex}_{Ressources}$$

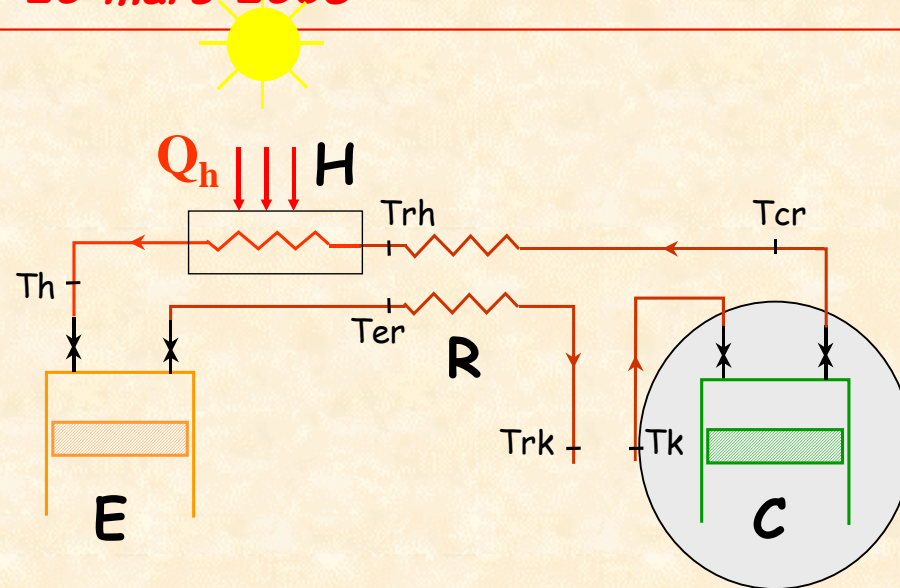




Compression 'C'

$$\eta_{ex,C} = \frac{\dot{E}x_{cr} - \dot{E}x_k}{\dot{W}_{C,r}}$$

$$\dot{E}x_{D,C} = \dot{W}_{C,r} - (\dot{E}x_{cr} - \dot{E}x_k)$$

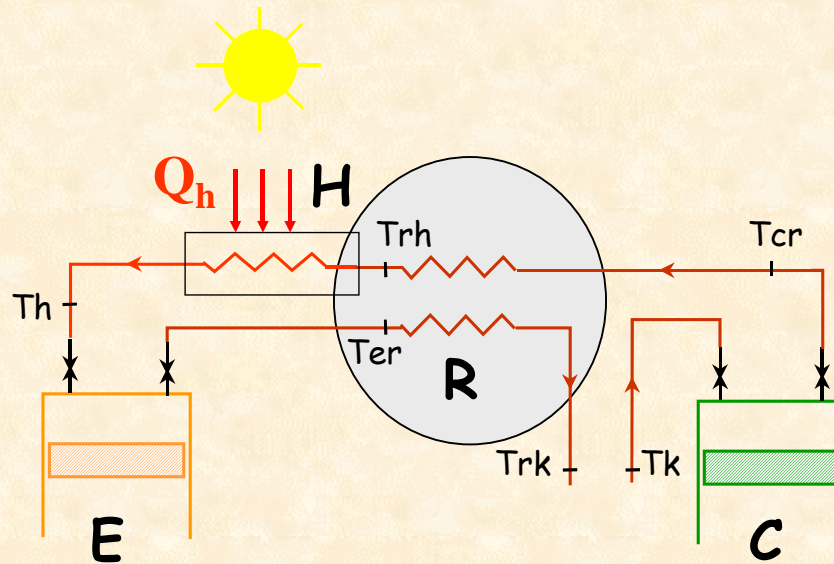


Récupérateur 'R'

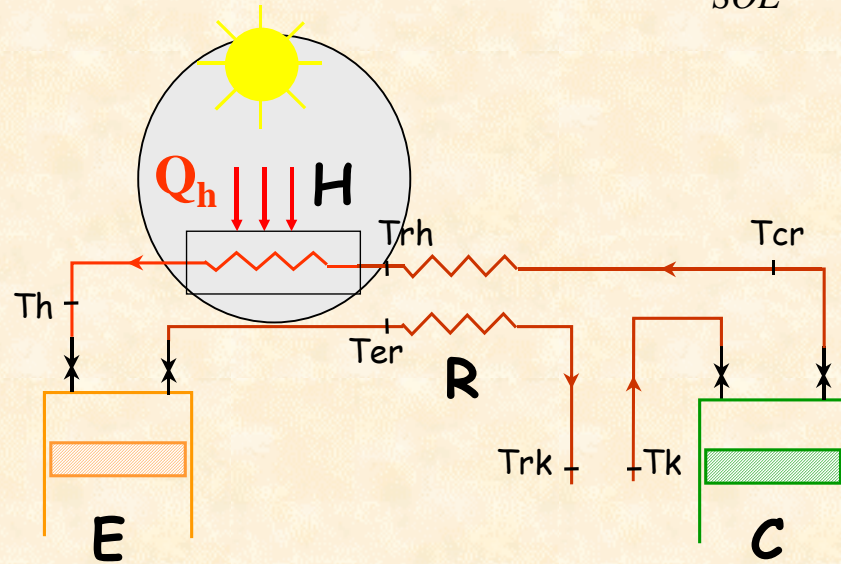
$$\eta_{ex,R} = \frac{\dot{E}x_{rh} - \dot{E}x_{cr}}{\dot{E}x_{er} - \dot{E}x_{rk}}$$

$$\dot{E}x_{D,R} = \dot{E}x_{er} - \dot{E}x_{rk} - (\dot{E}x_{rh} - \dot{E}x_{cr})$$

Rôle du récupérateur?  
Produit ressource



Le capteur solaire



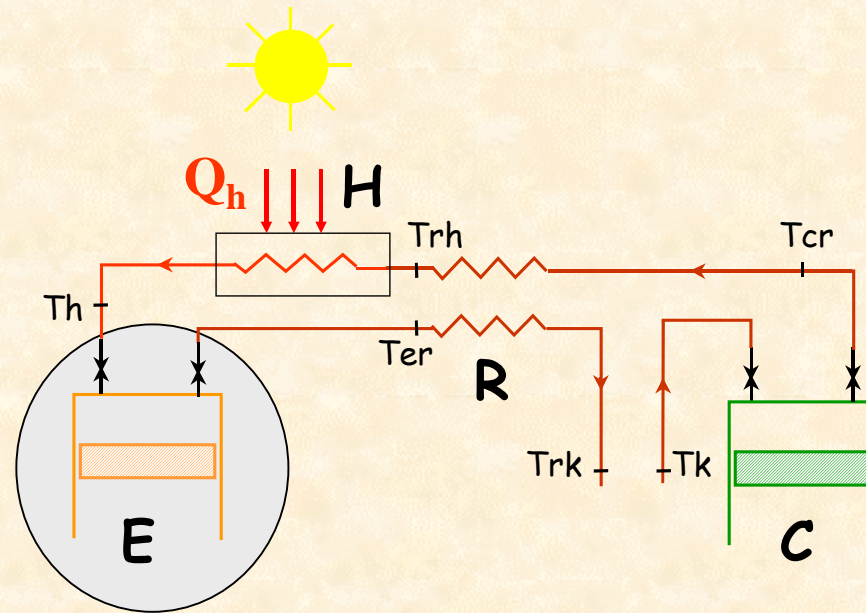
$$\dot{E}x_{SOL} = E \cdot S \cdot \eta_{Conc} \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T_{sol}}\right)$$

Exergie entrante surévaluée ?

➤ **Concentrateur**  $\eta_{ex,conc} = \eta_c$   $\dot{E}x_{D,conc} = (1 - \eta_c) \dot{E}x_{SOL}$

➤ **Échangeur 'H'**  $\eta_{ex,H} = \frac{\dot{E}x_h - \dot{E}x_{rh}}{\eta_c \dot{E}x_{SOL}}$   $\dot{E}x_{D,H} = \eta_c \dot{E}x_{SOL} - (\dot{E}x_h - \dot{E}x_{rh})$

Détente 'E'



$$\eta_{ex,E} = \frac{\dot{W}_{E,r}}{\dot{E}x_h - \dot{E}x_{er}}$$

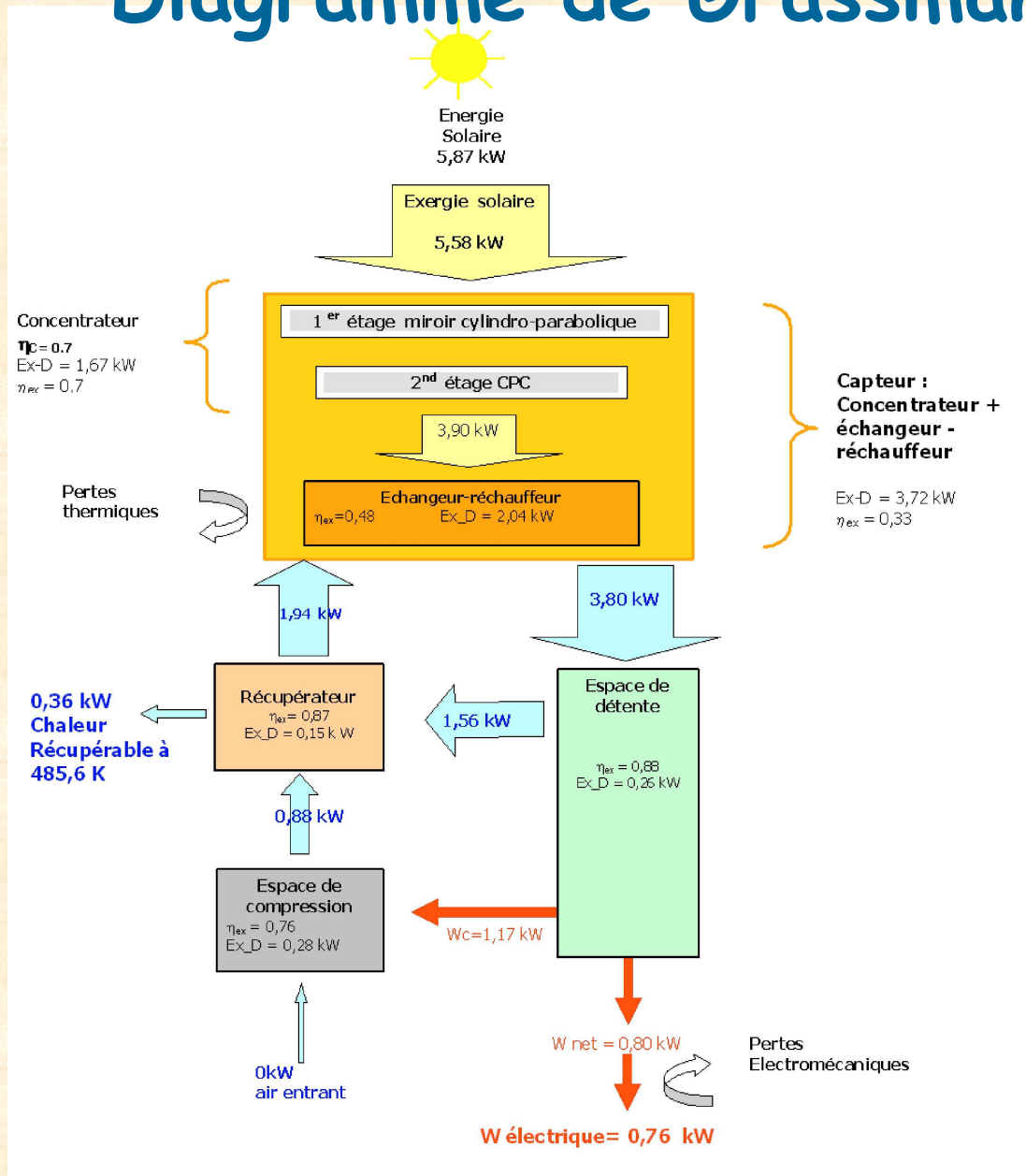
$$\dot{E}x_{D,E} = (\dot{E}x_h - \dot{E}x_{er}) - \dot{W}_{E,r}$$

## Résultats

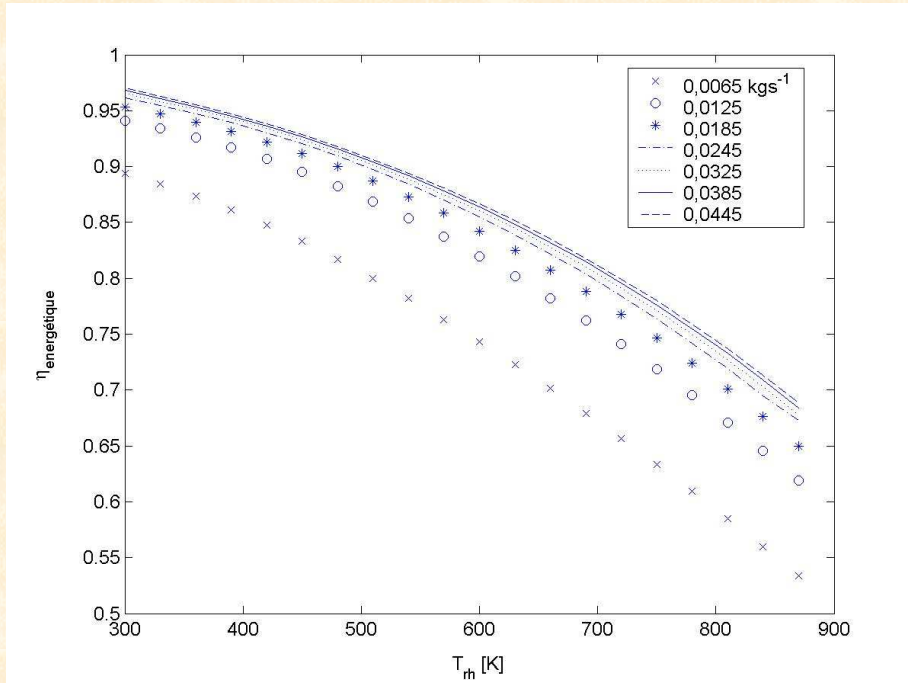
Composants	Exergie détruite $Ex_D$ (W)	Taux de destruction d'exergie (%)	$\eta_{ex}$
Compression	283	6,4	0,76
Recupérateur	155	3,5	0,87
Capteur solaire	3719	84,2	0,33
Concentrateur seul	1673	–	0,7
Echangeur-réchauffeur	2045	–	0,48
Détente	258	5,9	0,88
Système complet	4415	100	0,20

Utilisation  
thermique  
À quel niveau de  $T_2$ ?

# Diagramme de Grassman



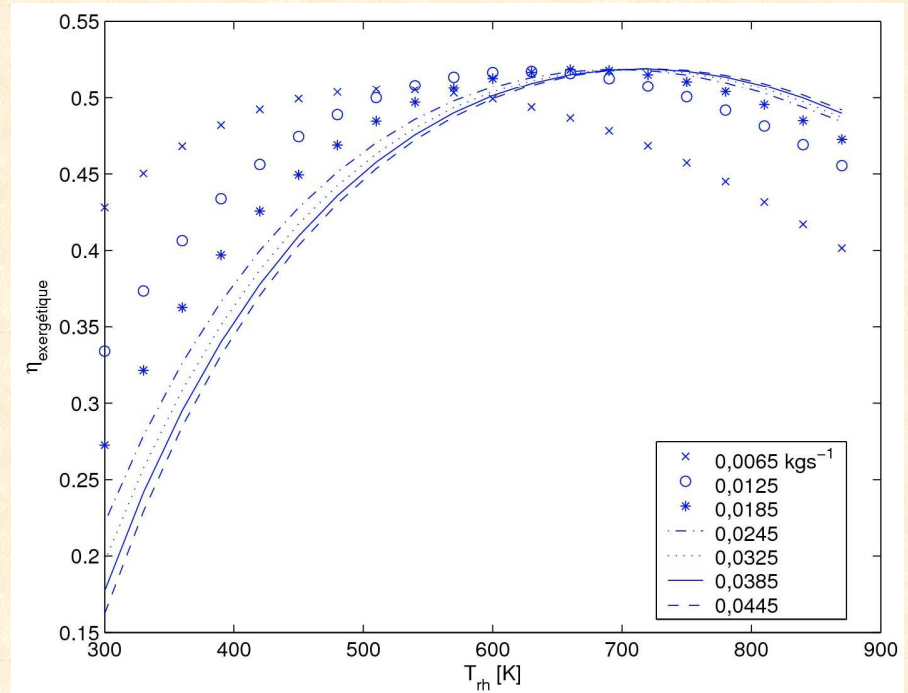
## Analyse énergétique et exergétique de l'échangeur réchauffeur 'H'



si  $T_{rh}$  (Te) augmente =>

$\eta_{\text{ener.}}$  diminue

Rôle négatif du préchauffage

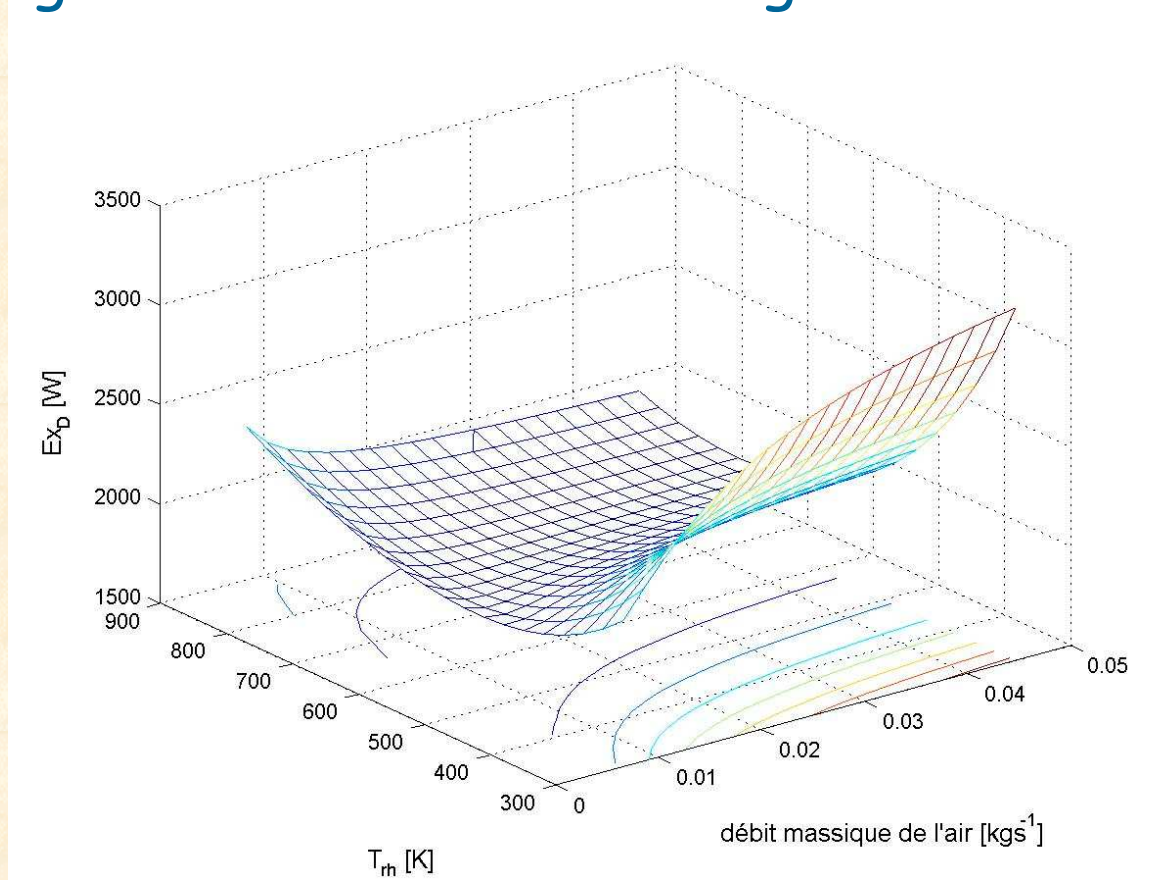


si  $T_{rh}$  (Te) augmente =>

un point optimal  $\eta_{\text{exer}}$

Rôle positif du préchauffage  
autour de 500K  $\rightarrow$  700K selon les  
débits => récupérateur efficace!

## Exergie détruite dans l'échangeur réchauffeur 'H'

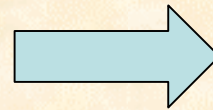


**Confirme => Intérêt de préchauffer l'air pour diminuer la destruction d'exergie dans l'échangeur 500-700K**

## Conclusion

### Analyse Exergétique...

- le capteur représente la plus grande source d'irréversibilités du procédé (84% de la destruction d'exergie totale).



- Performances améliorées si  $T_{rh} > 500-700$  K

- Faible influence du débit d'air.

- Nécessité d'installer un récupérateur performant
- recherche des performances maximales sur le capteur solaire



## Conclusion

L'analyse exergétique

Des intérêts =>

- Localisation des destructions d'exergie
- Optimisation des performances des systèmes
- Aide pour la conception du système

Des difficultés =>

- Quantifier l'exergie solaire entrante
- Définition du rôle du récupérateur pour un cogénérateur (priorité chaleur ou électricité)
- Pour quantifier l'exergie thermique nécessité de définir le besoin de chaleur et son niveau de température

