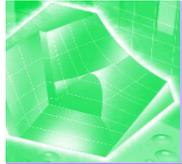




# PROJET SIMPFRI

**M. KARKRI, R. BOUSSEHAIN, M. FEIDT**

LEMTA -INPL-UHP, Nancy



# PLAN DE LA PRESENTATION

- 1. INTRODUCTION**
- 2. BILAN ENTROPIQUE**
- 3. BILAN EXERGETIQUE**
- 4. ANALYSE EXERGETIQUE PAR COMPOSANT**
- 5. EXERGIE DETRUITE TOTALE**
- 6. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES**



# 1. INTRODUCTION

# 2. BILAN ENTOPIQUE

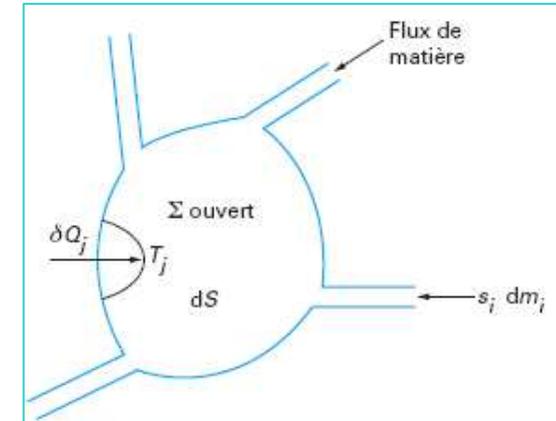
## Bilan entropique d'un système ouvert

La variation de l'entropie  $dS$  est due à :

▶ L'échange thermique avec le milieu extérieur :  $\sum \frac{\delta Q_j}{T_j}$

▶ Les irréversibilités internes:  $dS'$

▶ Les apports entropiques liés au flux de matière:  $\sum m_i ds_i$



Bilan entropique

$$dS = \sum \frac{\delta Q_j}{T_j} + dS' + \sum_{\text{entrant}} dm_i s_i - \sum_{\text{sortant}} dm_i s_i$$

En régime permanent

$$\sum \frac{\delta Q_j}{T_j} + dS' + \sum_{\text{entrant}} dm_i s_i - \sum_{\text{sortant}} dm_i s_i = 0$$

Si on fait l'hypothèse d'un apport thermique continu, le bilan entropique pendant un intervalle de temps  $\Delta t$  s'écrit :

$$\int \frac{\delta \dot{Q}}{T} + \dot{S}' = \left( \sum \dot{m}_i s_i \right)_{\text{sortant}} - \left( \sum \dot{m}_i s_i \right)_{\text{entrant}}$$

# 3. BILAN EXERGETIQUE

## Exergie

### Définitions:

L'exergie est la fraction maximale d'une forme d'énergie quelconque qui peut être convertie en travail lorsque le système est en présence du milieu ambiant à la température  $T_a$ .

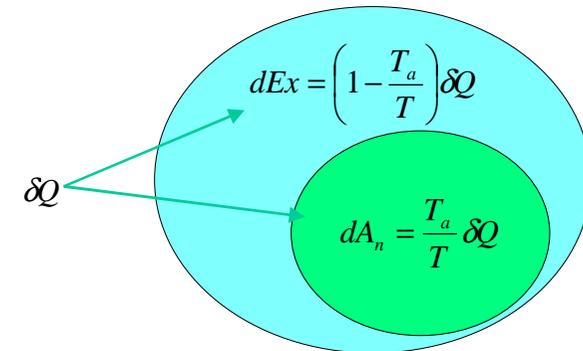
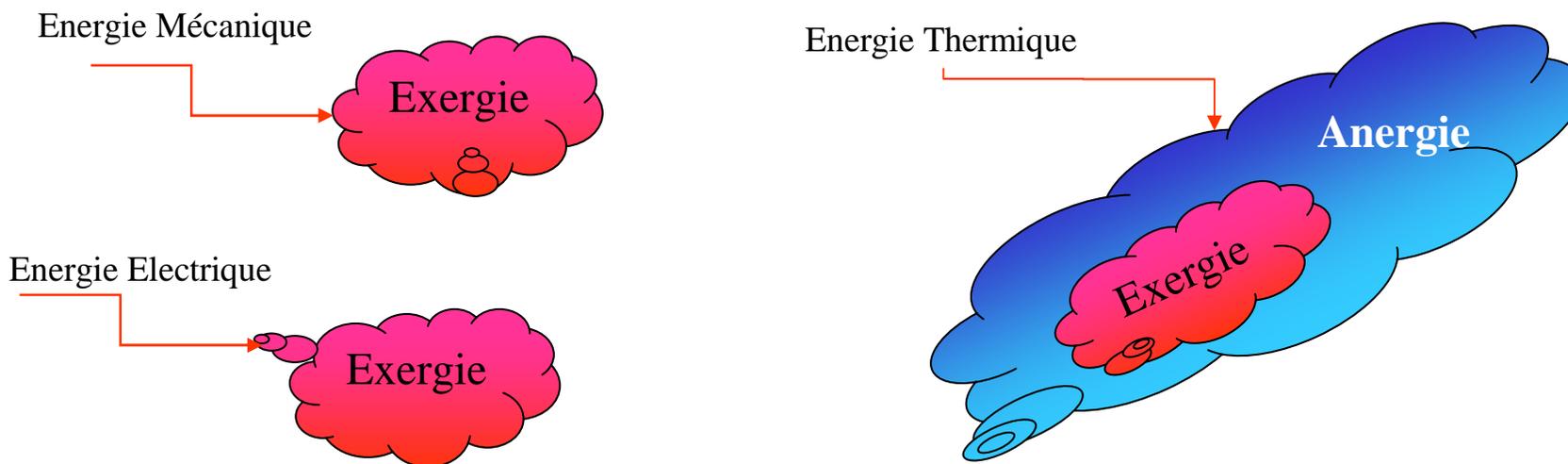
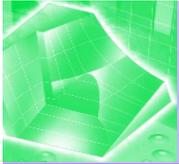


Fig.2: Contenu exergetique et anergétique de  $\delta Q$

### Contenu exergetique de diverses formes d'énergie





# 3. BILAN EXERGETIQUE

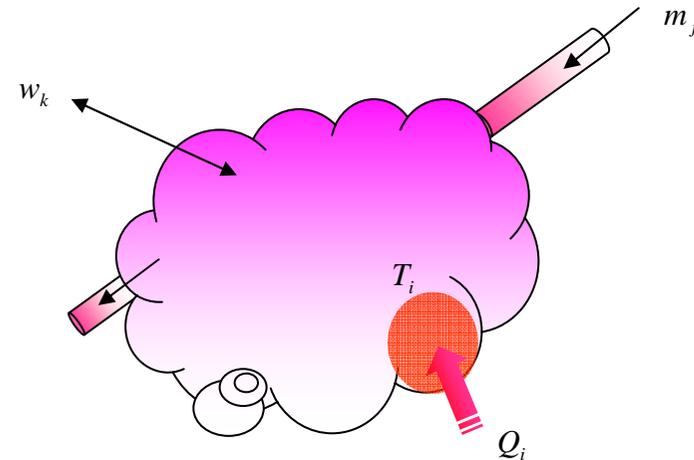
Principes de la thermodynamique :

**1**  $\frac{dU}{dt} = \sum_i \dot{Q}_i + \sum_j \dot{m}_j h_j^* + \sum_k w_k$

**2**  $\frac{dS}{dt} = \sum_i \frac{\dot{Q}_i}{T_i} + \sum_j \dot{m}_j s_j + S'_i$

Avec:

$h_j^* = h_j + \frac{v_j^2}{2} + gz_j$  enthalpie totale spécifique du constituant j échangé avec l'extérieur



(Bilan exergetique) :

▶  $\sum_i \dot{Q}_i \times \left(1 - \frac{T_a}{T_i}\right) + \sum_j \dot{m}_j \times (h_j^* - T_a s_j) + \sum_k \dot{w}_k - T_a \times S'_i = 0$

▶  $\sum_i \dot{Q}_i \times \left(1 - \frac{T_a}{T_i}\right) + \sum_j \dot{m}_j ex_j + \sum_k \dot{w}_k - i_D = 0$

$i_D$  Exergie détruite par le système (>0)

# 4. ANALYSE EXERGETIQUE

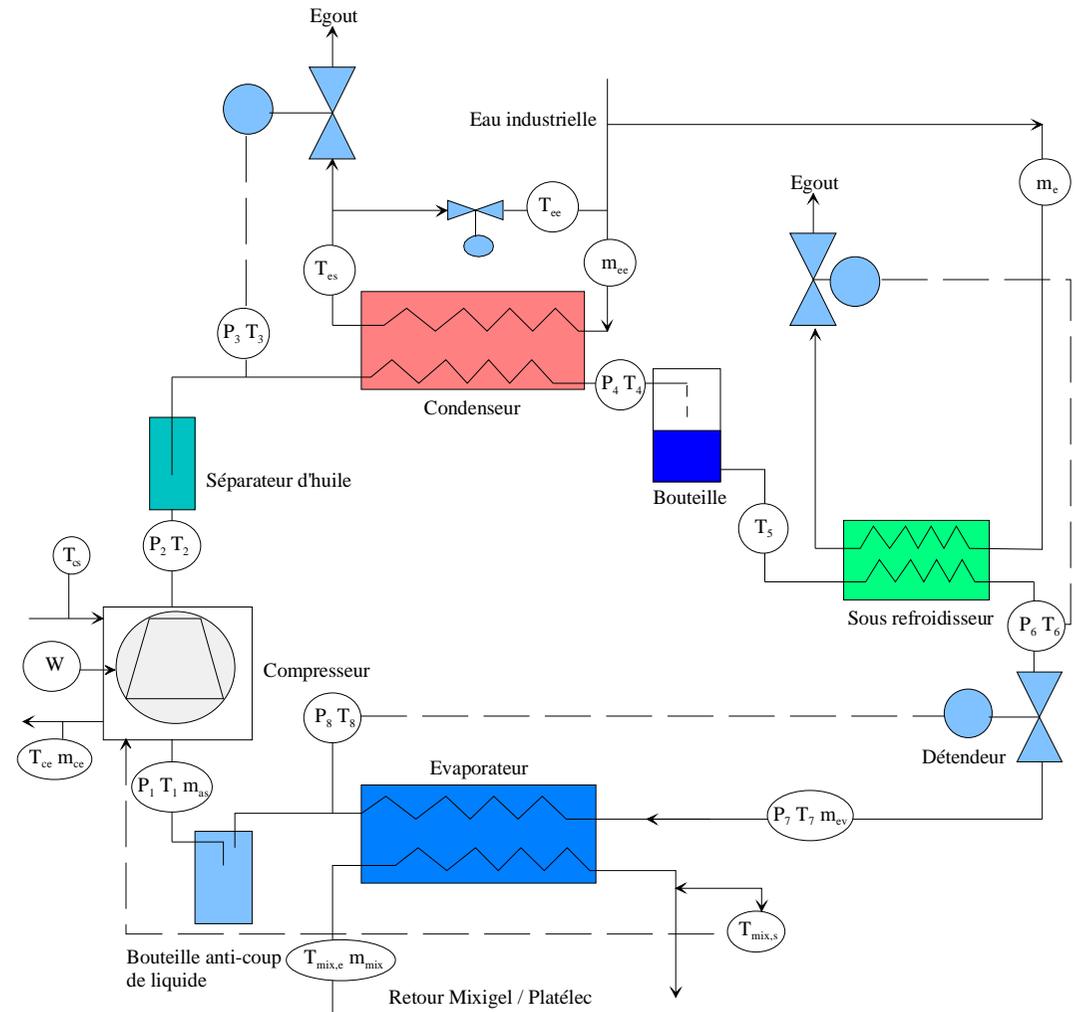
## Analyse Entropique et Exergétique du fluide cyclé

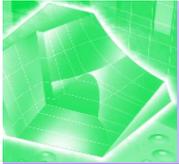
Analyse Entropique et exergétique par composants.



$$\int \frac{\delta \dot{Q}}{T} + \dot{S}' = \left( \sum \dot{m}_s s_s \right)_{\text{sortant}} - \left( \sum \dot{m}_e s_e \right)_{\text{entrant}}$$

$$\sum \left( 1 - \frac{T_a}{T_i} \right) \dot{Q}_i - \dot{W} + \sum_{en} \dot{m}_{en} e_{en} - \sum_s \dot{m}_s e_s - \dot{I}_D = 0$$





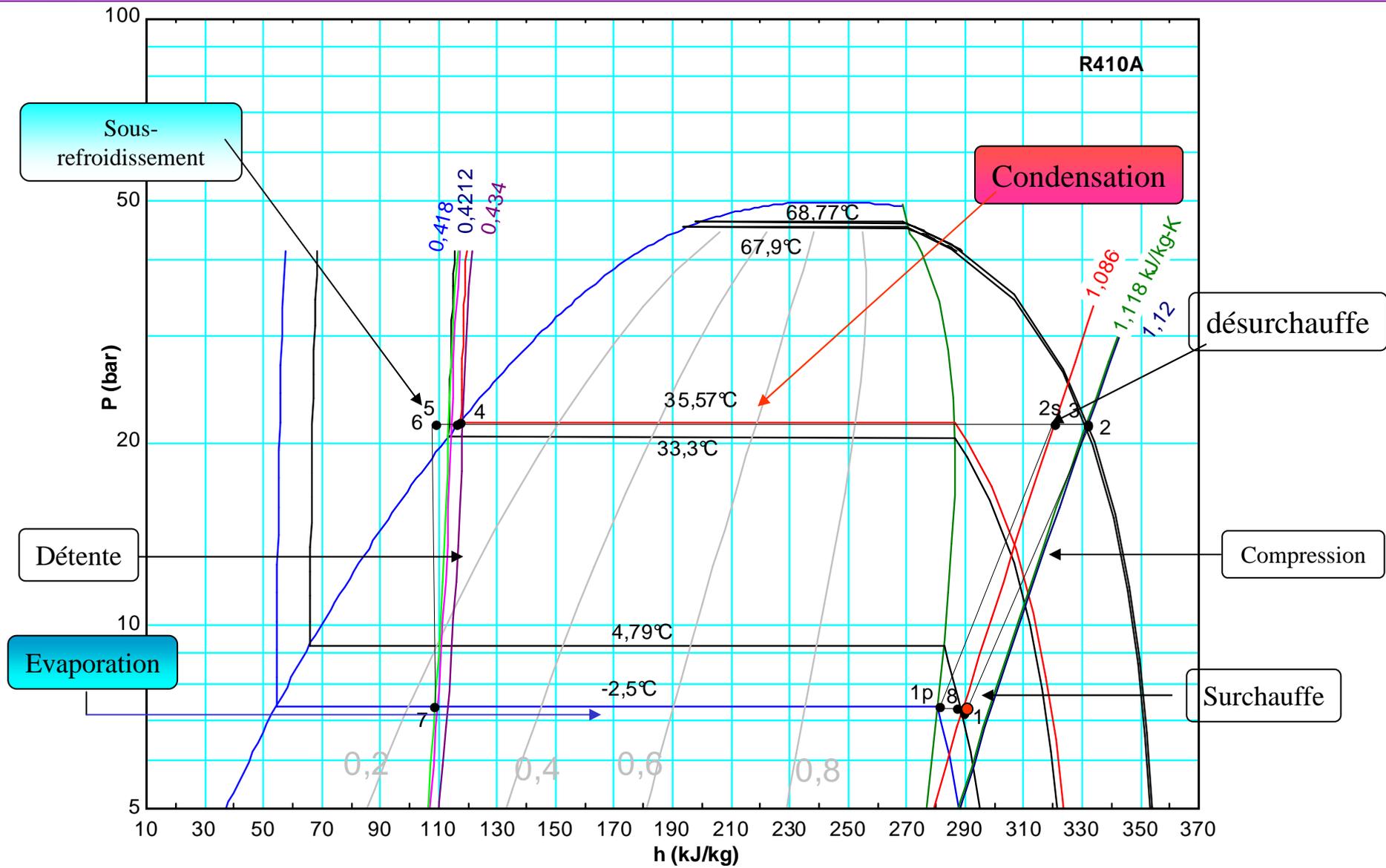
# 4. ANALYSE EXERGETIQUE

**Conditions d'essais :** La variation de vitesse du compresseur est fixe et a pour valeur le régime nominal : 1500 trs/min. La Vev sur la pompe du Mixigel sera désactivée.

## Synthèse des essais

Essais	Série d'essai	T° de condensation (°C)	T° mixigel sortie évaporateur (°C)	Charge Platélec (kW)
Essai n° 1	1.1	35	8	120
	1.2	35	6	110
	1.3	35	0	100
	1.4	35	-10	50
	1.5	35	-20	40
	1.6	35	-30	20
Essai n° 2	2.1	25	6	190
	2.2	30	6	150
	2.3	40	6	100
Essai n° 3	2.4	25	-20	50
	2.5	30	-20	40
	2.6	40	-20	25

# EXPLOITATION DES MESURES



# EXPLOITATION DES MESURES

COP des cycles thermodynamiques de la machine en fonction de  $T_{mix,s}$  :

**1** Cycle réel : 1-2-3-4-5-6-7-8-1

$$COP_I = \frac{\dot{Q}_{ev}}{\dot{W}_{cp}} = \frac{h_8 - h_7}{h_2 - h_1}$$

**2** Cycle (1-2s-3-4-5-6-7-8-1)

$$COP_{II} = \frac{h_8 - h_7}{h_{2s} - h_1}$$

**3** Cycle (1-2s-3-4-5-6-7s-8-1)

$$COP_{III} = \frac{h_8 - h_{7s}}{h_{2s} - h_1}$$

**4** Cycle : 1p -2' -4 -7p -1p

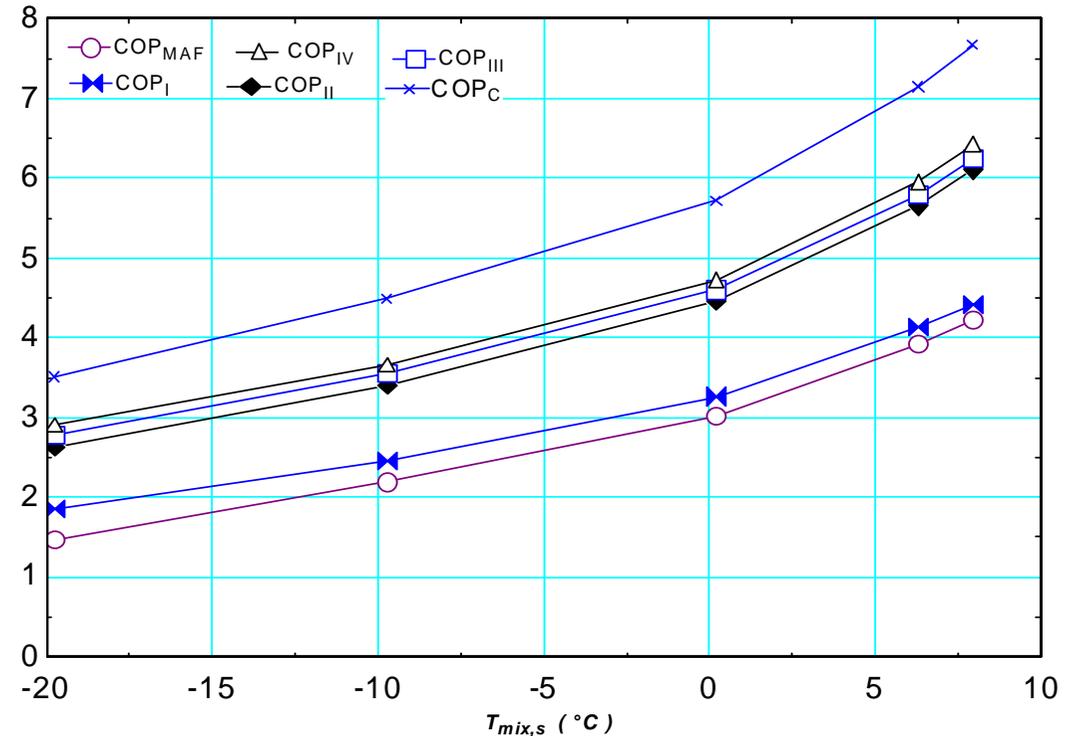
une évaporation sans surchauffe : 1p (p1, x=1)

une compression isentropique : 2'(p2,s2=s1)

une détente isentropique : 7p (P7, s7=s4) :

$$COP_{IV} = \frac{h_{1p} - h_{7s}}{h_{2s} - h_{1p}}$$

**5** COP de la machine:  $COP_{MAF} = \frac{\dot{W}_F}{\dot{W}_{cpr,real}}$



COP des Cycles thermodynamiques en fonction de  $T_{mix}$  en sortie de l'évaporateur

# EXPLOITATION DES MESURES

COP des cycles thermodynamiques de la machine en fonction de  $T_{mix,s}$  :

**1** Cycle réel : 1-2-3-4-5-6-7-8-1

$$COP_I = \frac{\dot{Q}_{ev}}{\dot{W}_{cp}} = \frac{h_8 - h_7}{h_2 - h_1}$$

**2** Cycle (1-2s-3-4-5-6-7-8-1)

$$COP_{II} = \frac{h_8 - h_7}{h_{2s} - h_1}$$

**3** Cycle (1-2s-3-4-5-6-7s-8-1)

$$COP_{III} = \frac{h_8 - h_{7s}}{h_{2s} - h_1}$$

**4** Cycle : 1p -2' -4 -7p -1p

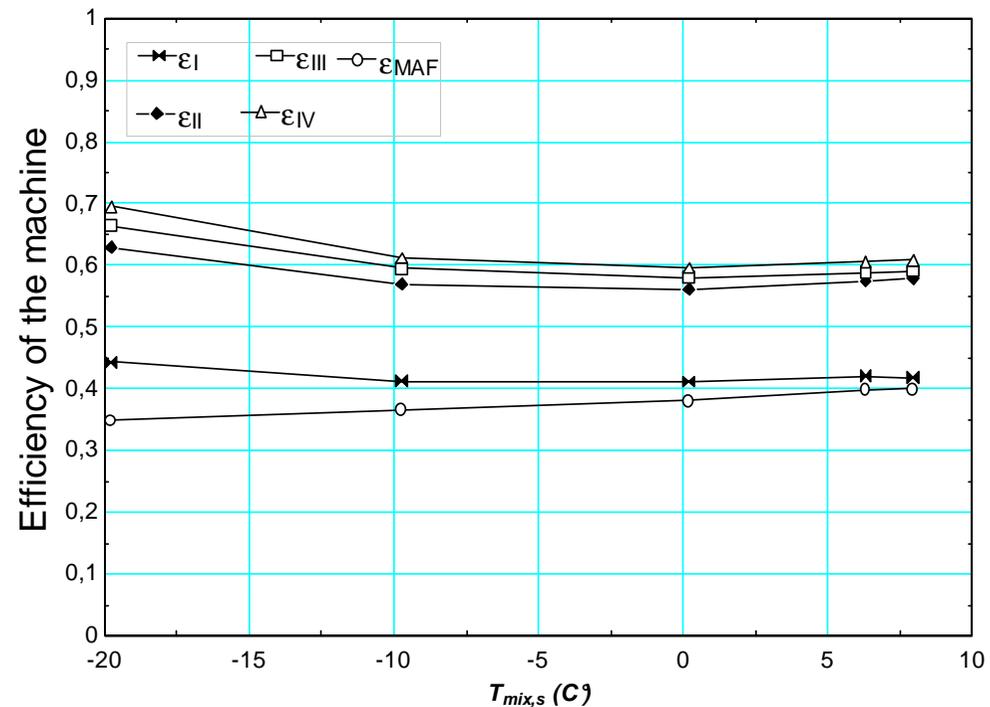
une évaporation sans surchauffe : 1p ( $p_1, x=1$ )

une compression isentropique : 2' ( $p_2, s_2=s_1$ )

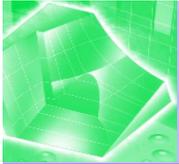
une détente isentropique : 7p ( $P_7, s_7=s_4$ ) :

$$COP_{IV} = \frac{h_{1p} - h_{7s}}{h_{2s} - h_{1p}}$$

**5** COP de la machine:  $COP_{MAF} = \frac{\dot{W}_F}{\dot{W}_{cpr,real}}$



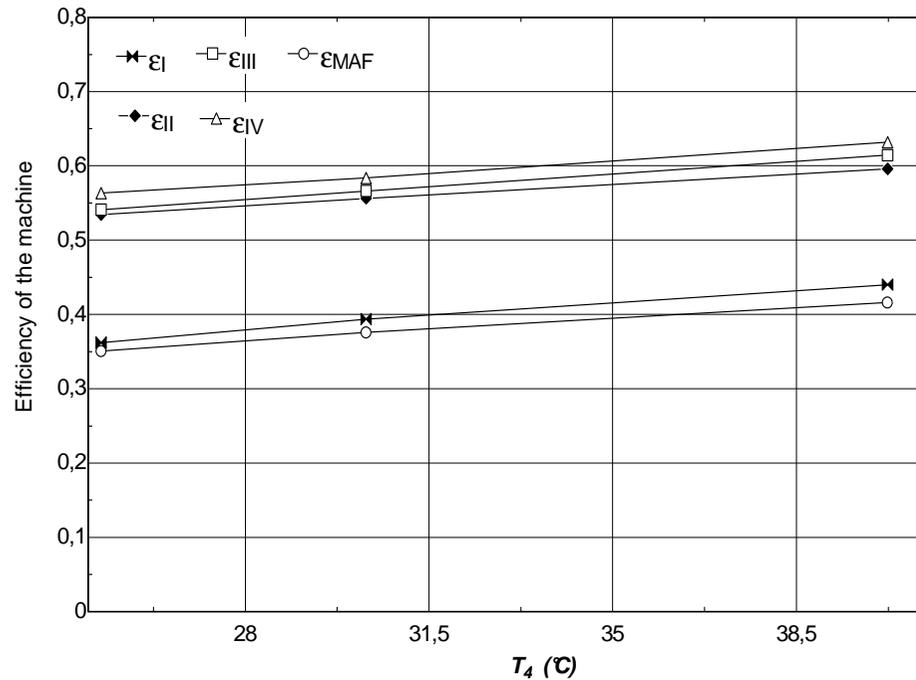
Efficacité en fonction de  $T_{mix}$  en sortie de l'évaporateur



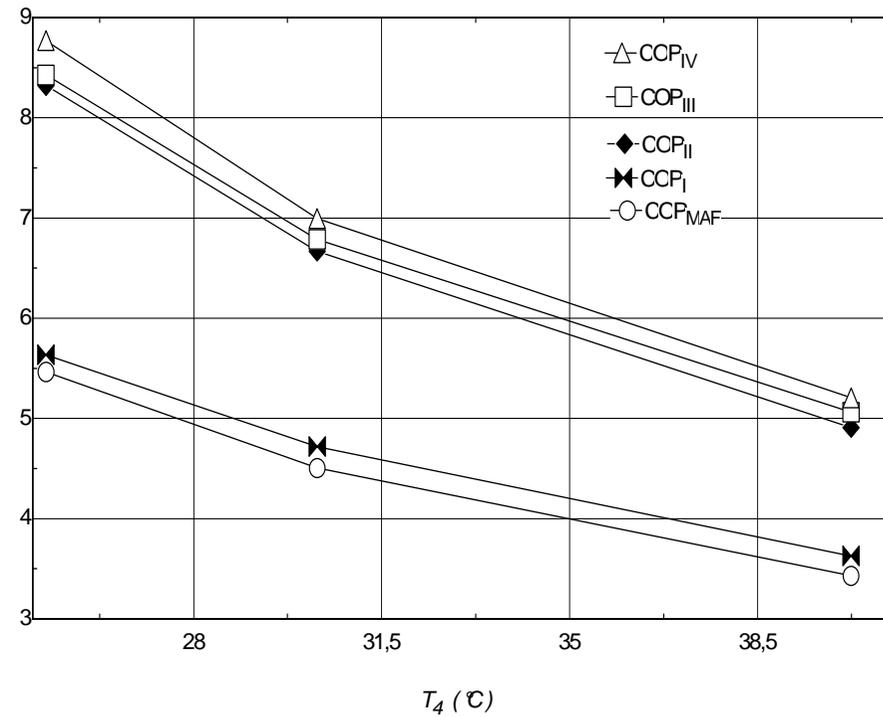
# EXPLOITATION DES MESURES

Essai n° 2

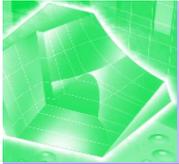
Série d'essai	T° de condensation (°C)	T° mixigel sortie évaporateur (°C)	Charge Platélec (kW)
2.1	25	6	190
2.2	30	6	150
2.3	40	6	100



Efficacité en fonction de  $T_{cond}$



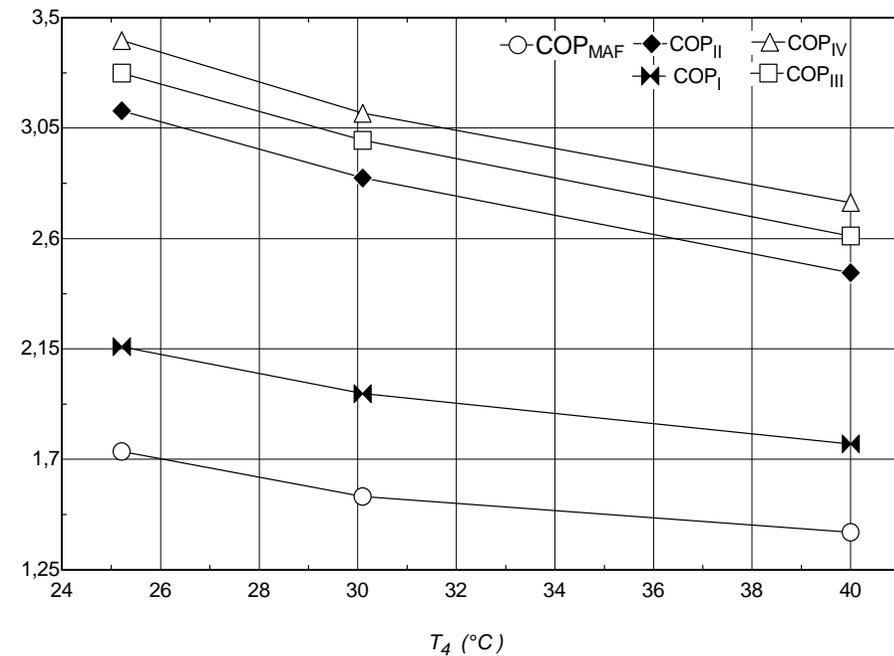
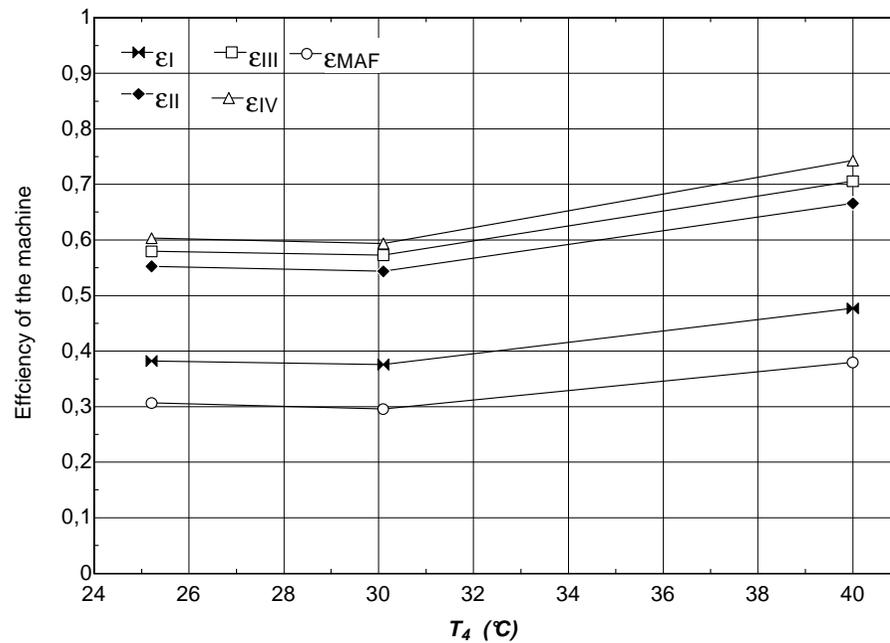
COPs en fonction de  $T_{cond}$



# EXPLOITATION DES MESURES

Essai n° 3

Série d'essai	T° de condensation (°C)	T° mixigel sortie évaporateur (°C)	Charge Platélec (kW)
2.4	25	-20	50
2.5	30	-20	40
2.6	40	-20	25



Efficacité en fonction de T<sub>cond</sub>

COPs en fonction de T<sub>cond</sub>

# ANALYSE ENTROPIQUE

## A- Compresseur

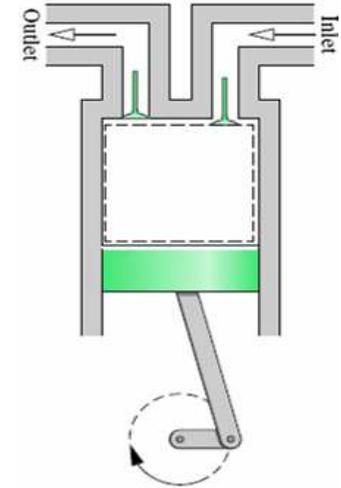
Puissance mécanique de compression :  $\dot{W}_{cpr} = \dot{m}(h_2 - h_1)$

Entropie créée :  $\dot{S}_{créée} = \dot{m}(s_2 - s_1) - \dot{S}_{parois}$

Puissance mécanique dégradée :  $\dot{W}_{cpr\_dét} = T_0 \dot{S}_{créée}$

Puissance mécanique minimale :  $\dot{W}_{cpr\_min} = \dot{W}_{cpr} - T_0 \dot{S}_{créée}$

Anergie électromécanique :  $\dot{S}_{elec,meca} = \frac{\dot{W}_{elec} - \dot{W}_{cpr}}{T_0}$



## B- Condenseur

Flux de chaleur cédé par le réfrigérant :  $\dot{Q}_C = \dot{m}(h_4 - h_3)$

L'entropie thermique créée côté fluide frigorigène :  $\dot{S}_{créée} = [\dot{m}_i s_i]_{sortie}^{entrée} - \frac{\dot{Q}_c}{T_{en,cf}} - \dot{m} \Delta p / \rho_{mc} T_{en,cf}$

## C- Détendeur

Irréversibilité de détendeur avec adiabaticité :  $\dot{S}_{det} = \dot{m}(s_7 - s_6)$

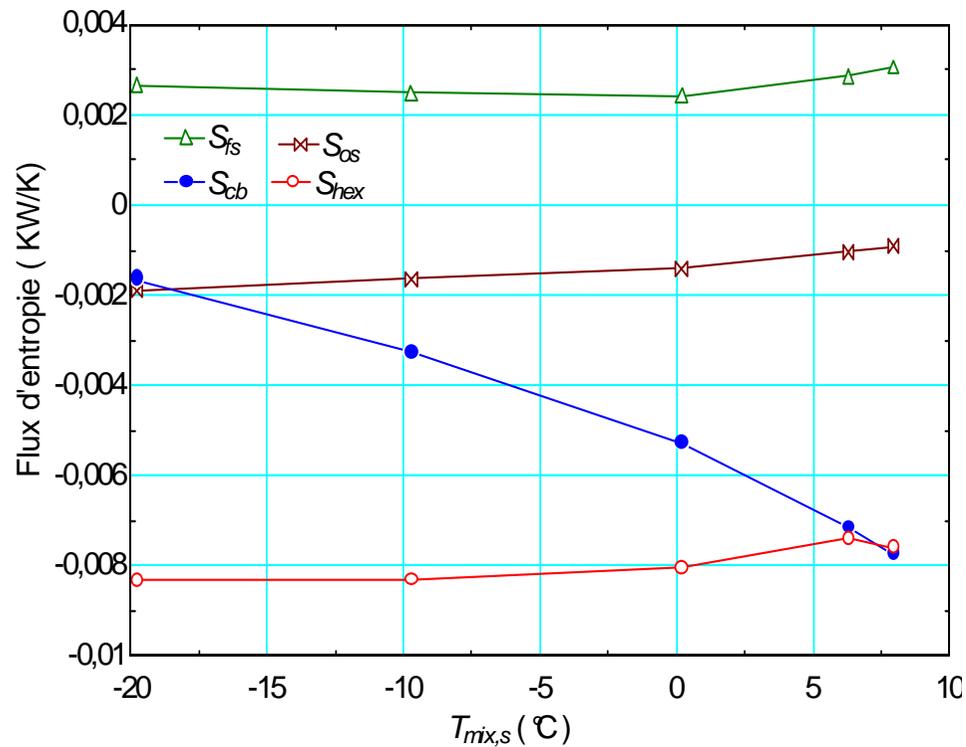
## D- Evaporateur :

Flux de chaleur reçu par le réfrigérant :  $\dot{Q}_F = \dot{m}(h_8 - h_7)$

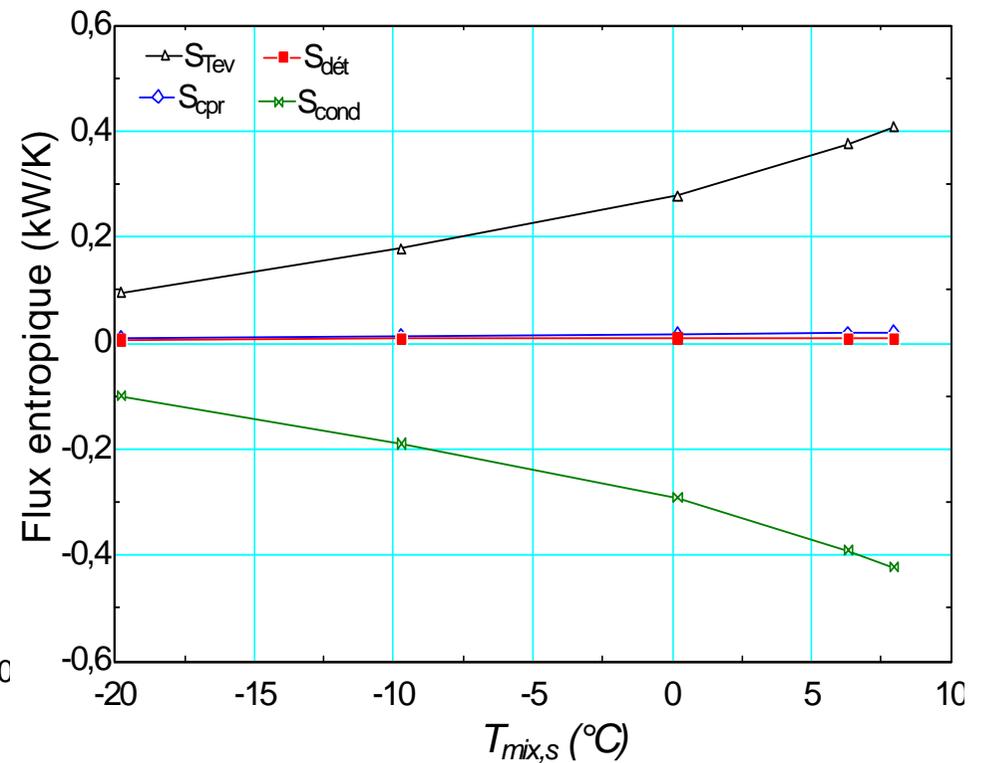
Entropie thermique créée côté fluide frigorigène :  $\dot{S}_{créée} = [\dot{m}_i s_i]_{sortie}^{entrée} - \frac{\dot{Q}_F}{T_{en,mix}} - \dot{m} \Delta p / \rho_{mev} T_{en,f}$

# ANALYSE ENTROPIQUE

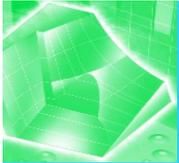
(Essai n ° 1)



Flux entropique des auxiliaires

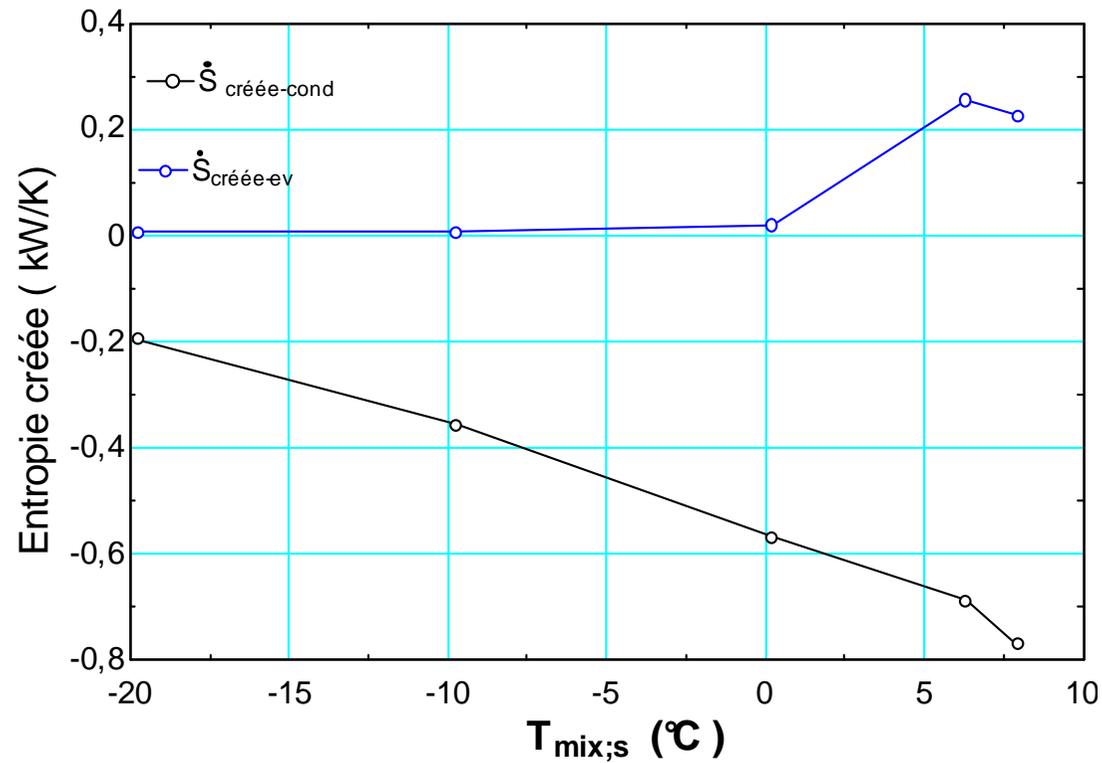


Flux entropique des composants principaux

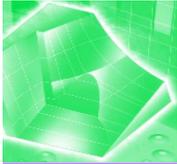


# ANALYSE ENTROPIQUE

(Essai n ° 1)



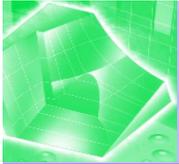
Entropie créée dans les composants principaux



# EXERGIE DETRUITE TOTALE

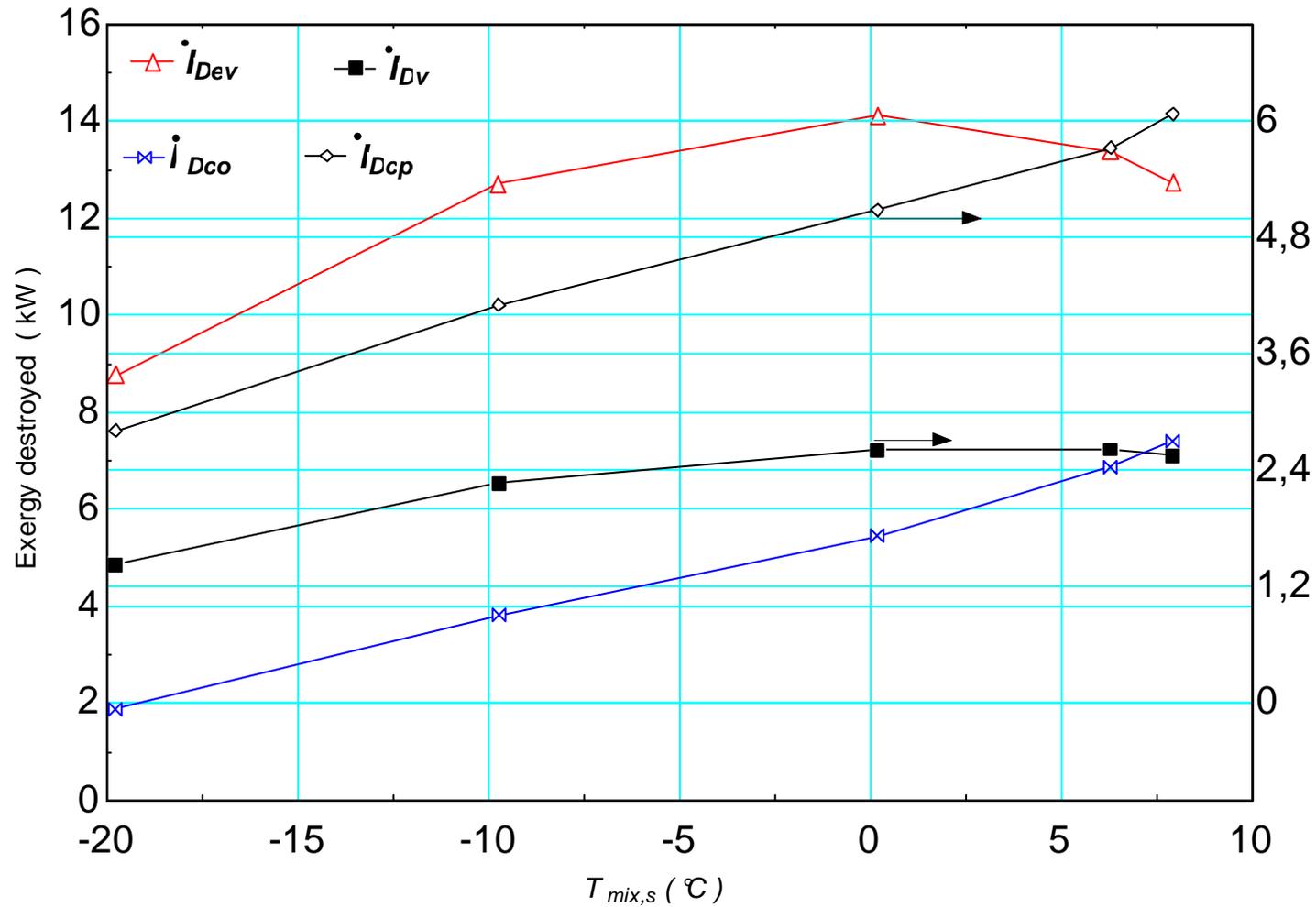
Bilan exergétique du fluide cyclé (R410A) , Essai n ° 1

	Exergie détruite côté fluide frigorigène en (kW)				
T Mixigel (°C )	7,941	6,294	0,1958	-9,73	-19,77
Compresseur	6,078	5,723	5,088	4,107	2,809
Condenseur	7,412	6,87	5,446	3,809	1,884
Évaporateur	12,74	13,37	14,11	12,7	8,769
Détendeur	2,53	2,61	2,61	2,289	1,468
Bouteille	0,3539	0,3279	0,2427	0,1501	0,0758
HEX	0,07713	0,08167	0,1096	0,1224	0,09468
Bouteille anti-coup	0,381	0,356	0,34	0,2668	0,263
Séparateur d'huile	0,161	0,159	0,14	0,136	0,158
Somme d'irréversibilités	29,76	29,51	28,10	23,58	15,52



# EXERGIE DETRUITE TOTALE

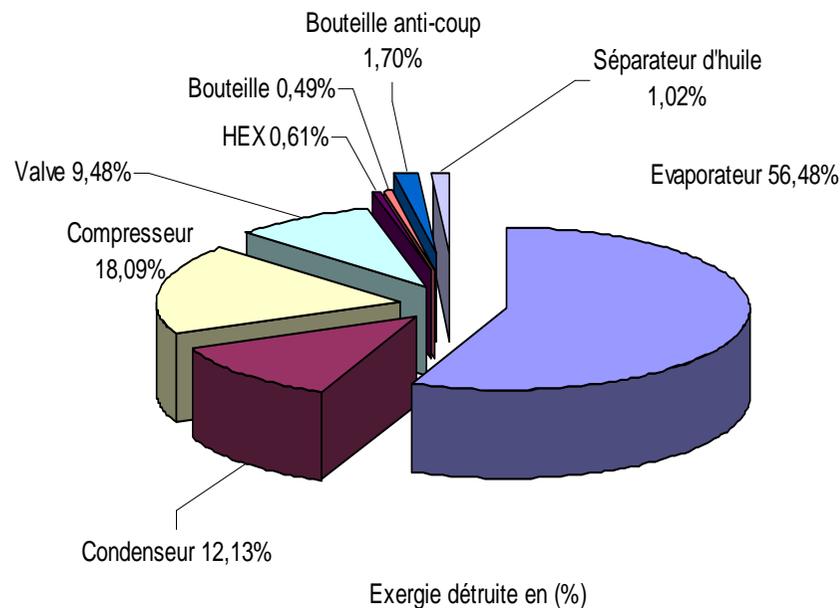
Bilan exergétique du fluide cyclé (R410A) , Essai n ° 1



# EXERGIE DETRUITE TOTALE

(Essai n ° 1)

Exergie détruite en (%) pour  $T_{mix} = -20\text{ °C}$

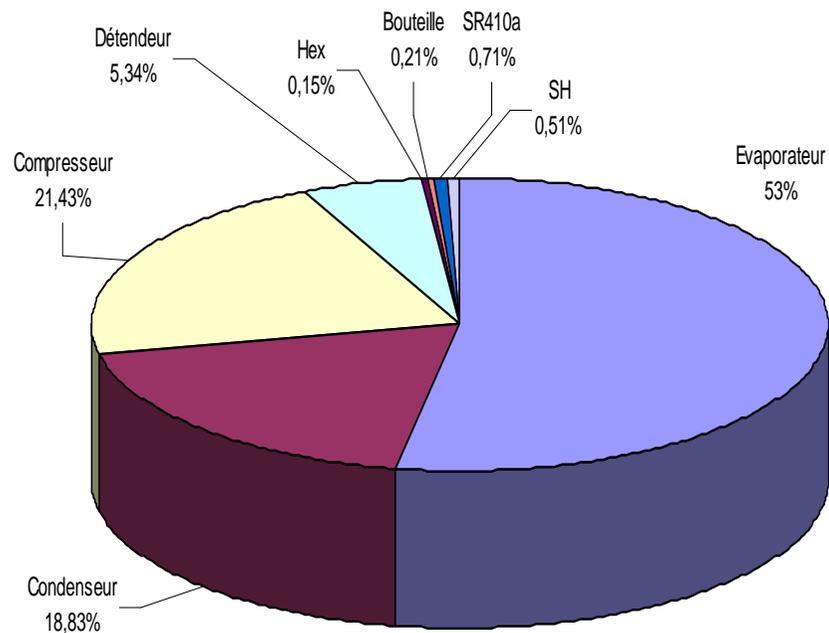


Exergie détruite adimensionnelle (%) du fluide cyclé

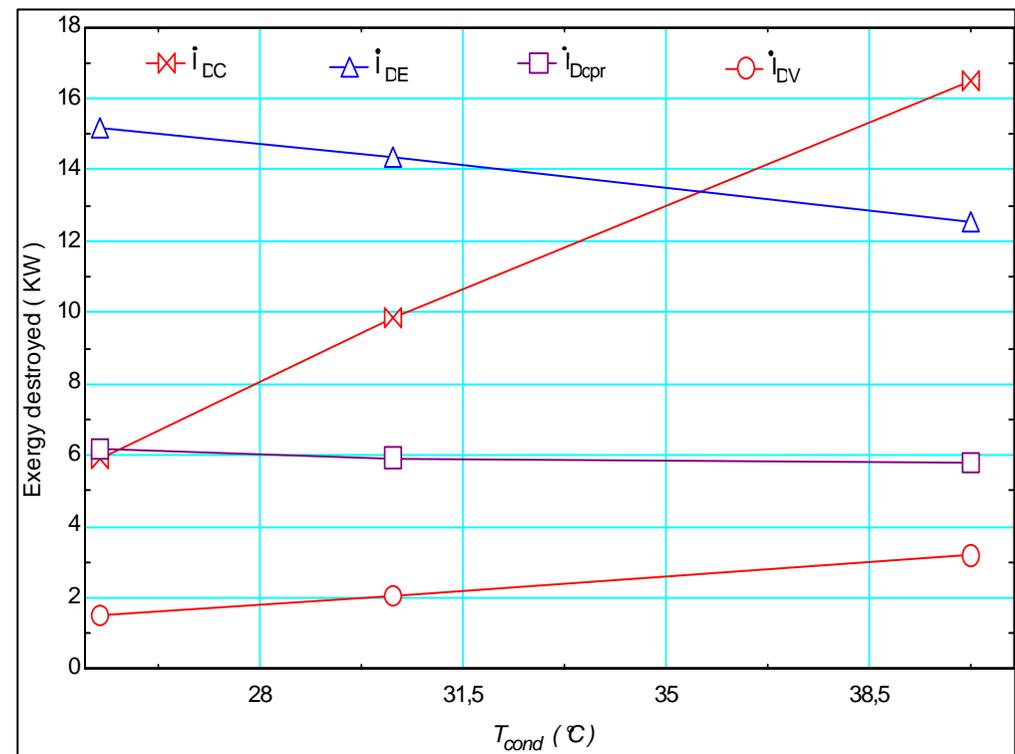
T Mixigel (°C)	Exergie détruite côté fluide frigorigène en (%)				
	-19,77	-9,73	0,1958	6,294	7,941
Évaporateur	56,479	53,84	50,19	45,29	42,80
Condenseur	12,134	16,147	19,37	23,27	24,90
Compresseur	18,092	17,41	18,10	19,38	20,41
Valve	9,48	9,733	9,33	8,90	8,60
HEX	0,609	0,5189	0,389	0,276	0,26
Bouteille	0,48	0,6363	0,863	1,11	1,187
Bouteille anti-coup	1,69	1,131	1,24	1,20	1,28
Séparateur d'huile	1,01	0,57	0,50	0,54	0,545

# EXERGIE DETRUITE TOTALE

Analyse exergétique : Essai n ° 2



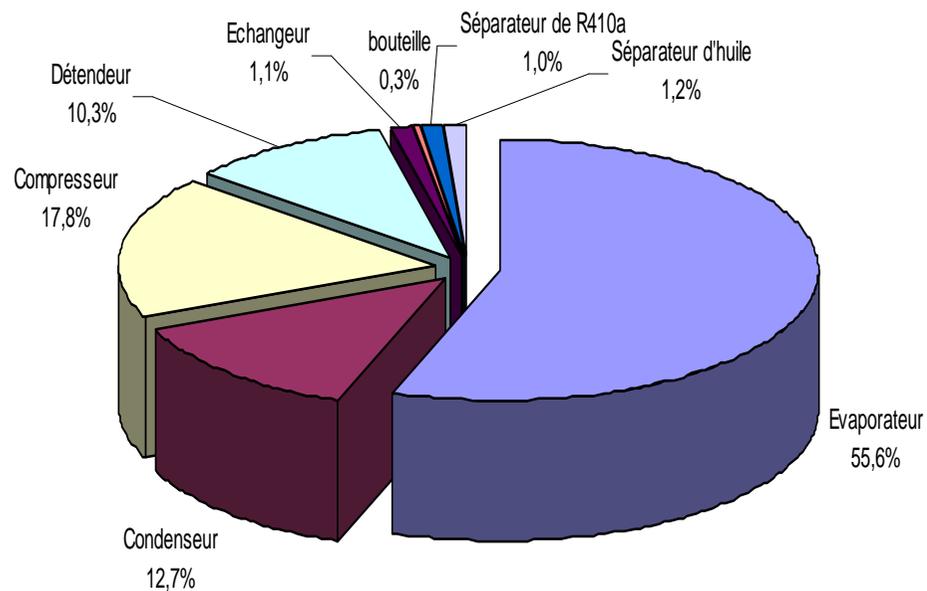
Exergie détruite en % , Tcond = 25 °C



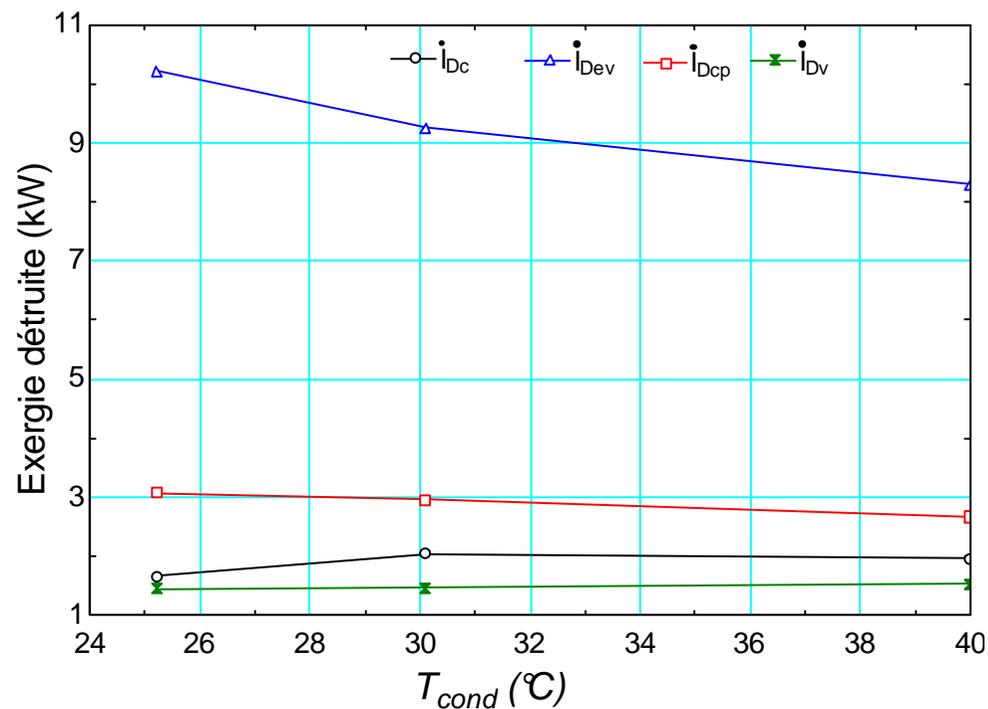
Exergie détruite en fonction de Tcond

# EXERGIE DETRUITE TOTALE

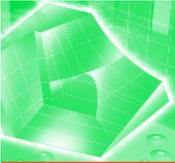
Analyse exergetique: Essai n °3



Exergie détruite en % , Tcond=25 °C



Exergie détruite en fonction de Tcond



# REGIME TRANSITOIRE

## ANALYSE DES DONNÉES DYNAMIQUES

### ESSAI INITIAL SIMPFRI

Séries de perturbations par rapport à un point de fonctionnement

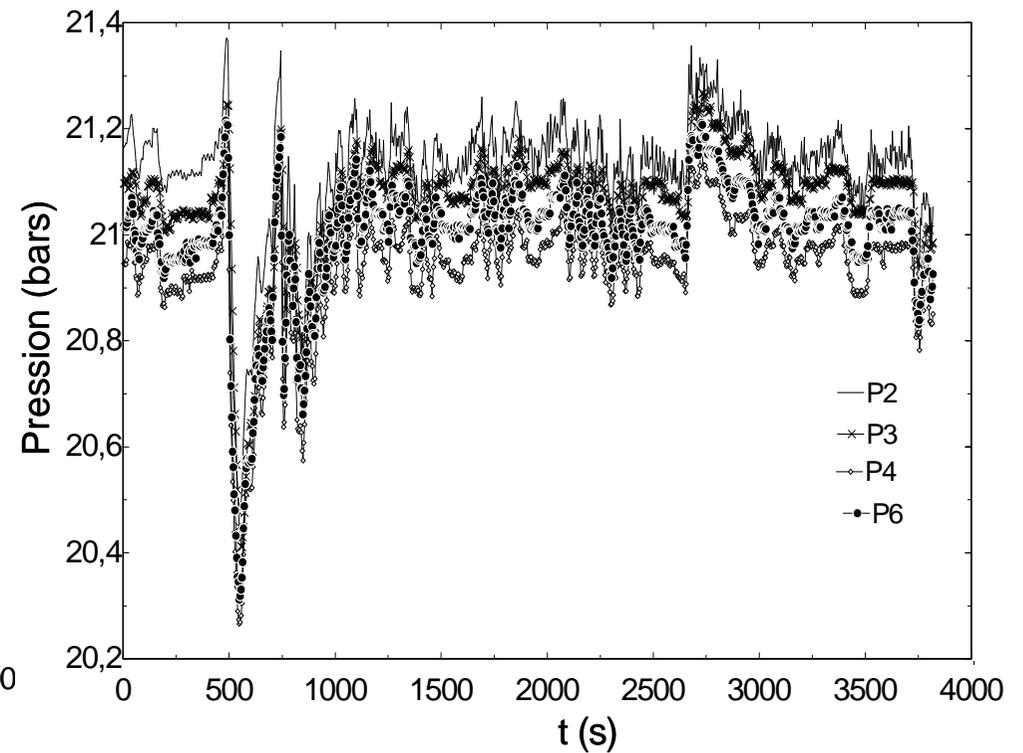
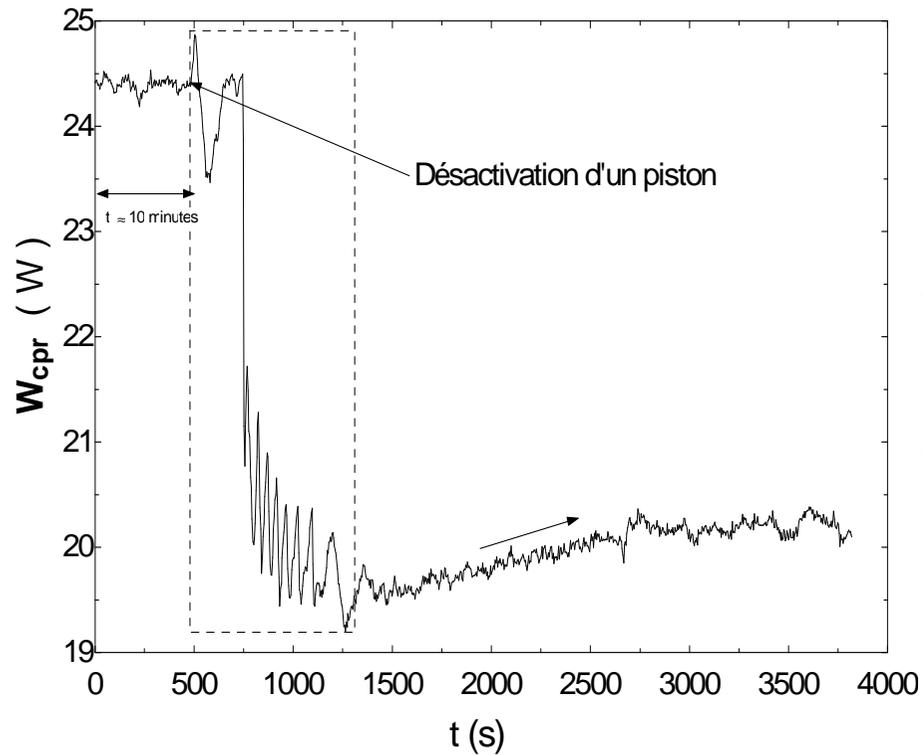
- 1** Désactivation d'un piston.
- 2** Augmentation de la puissance Platélèc de 10%.
- 3** Augmentation de la température en entrée condenseur de 5°C.
- 4** Baisse du débit de Mixigel de 25%
- 5** Augmentation du débit au condenseur de 30 %

# REGIME TRANSITOIRE

## ANALYSE DES DONNÉES DYNAMIQUES

1

Désactivation d'un piston.

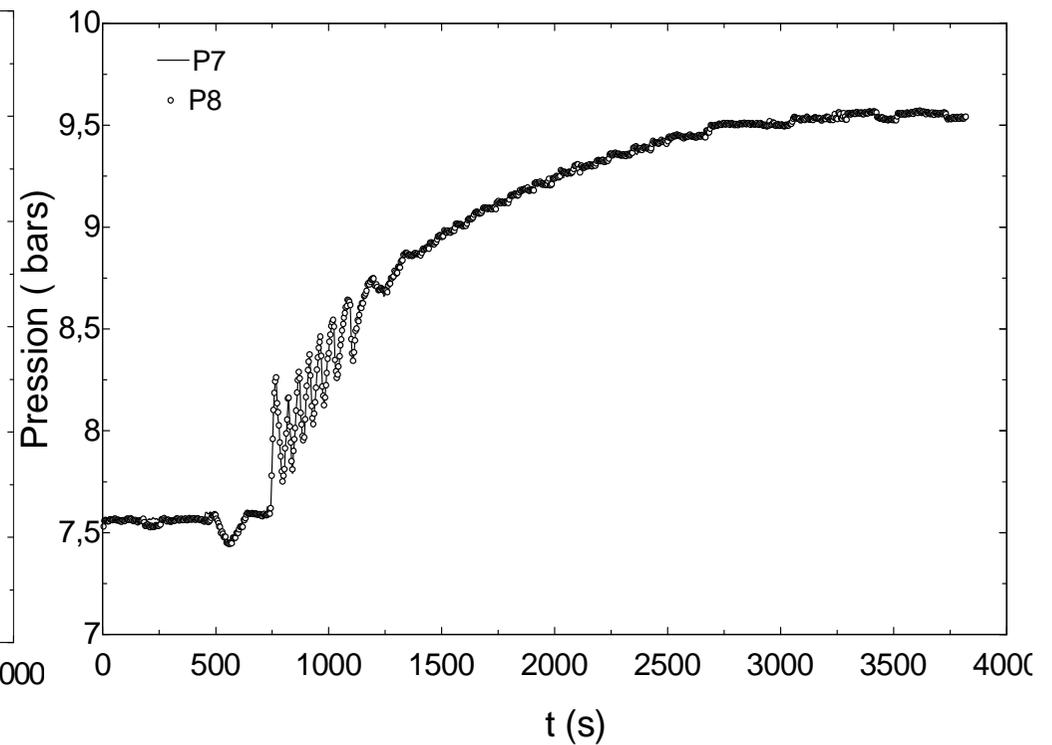
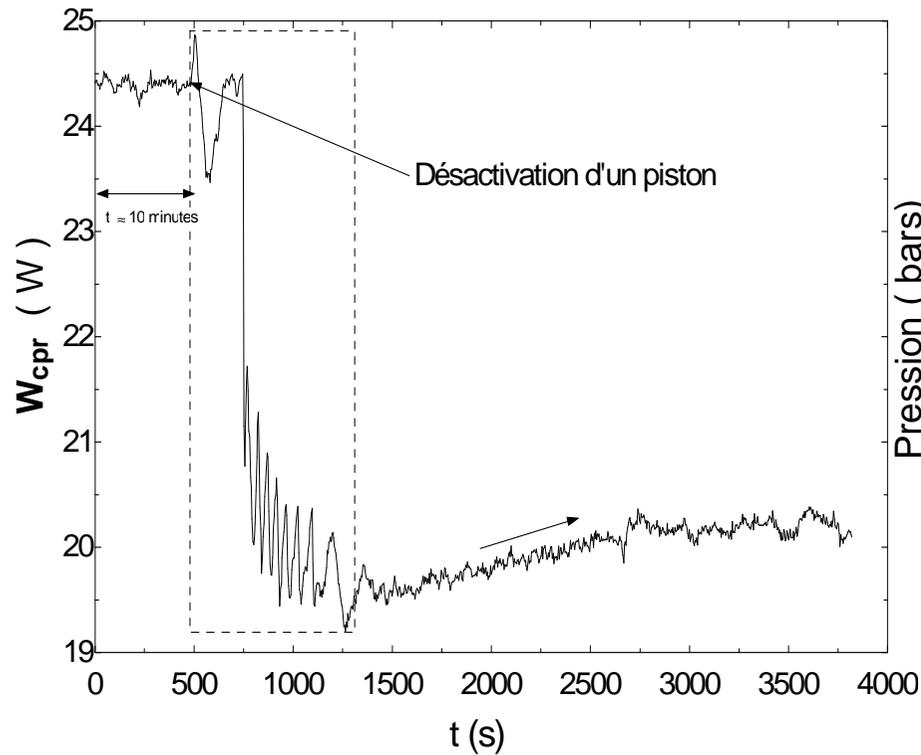


# REGIME TRANSITOIRE

## ANALYSE DES DONNÉES DYNAMIQUES

1

Désactivation d'un piston.

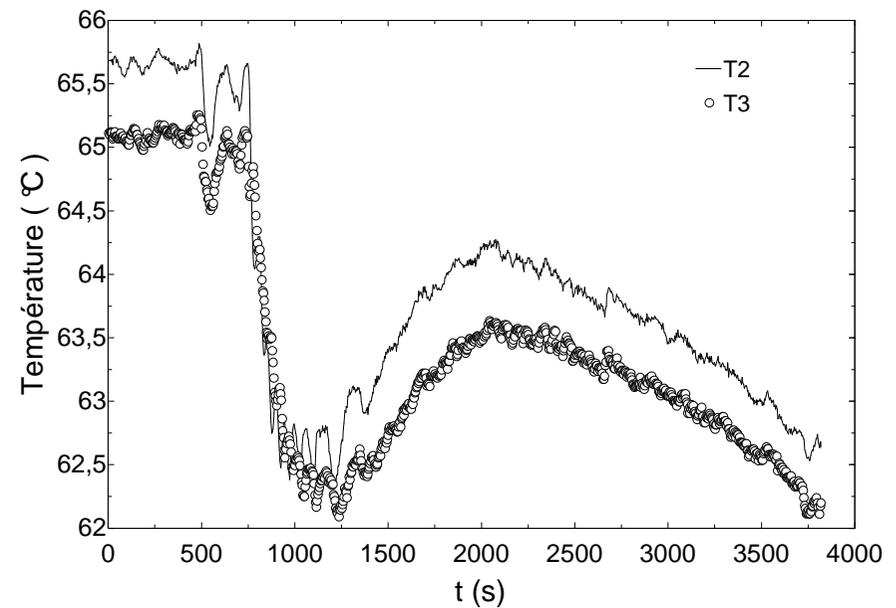
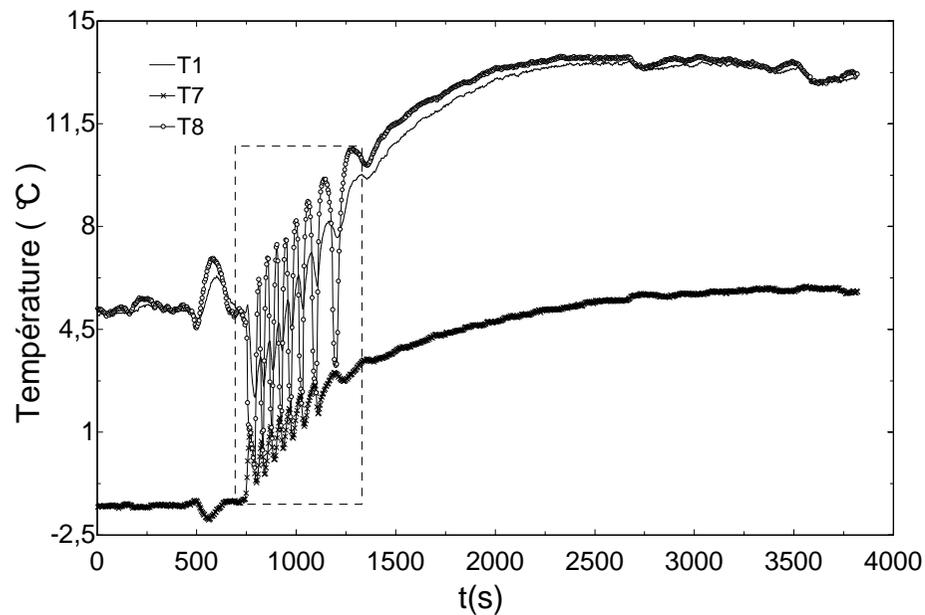


# REGIME TRANSITOIRE

## ANALYSE DES DONNÉES DYNAMIQUES

1

Désactivation d'un piston.

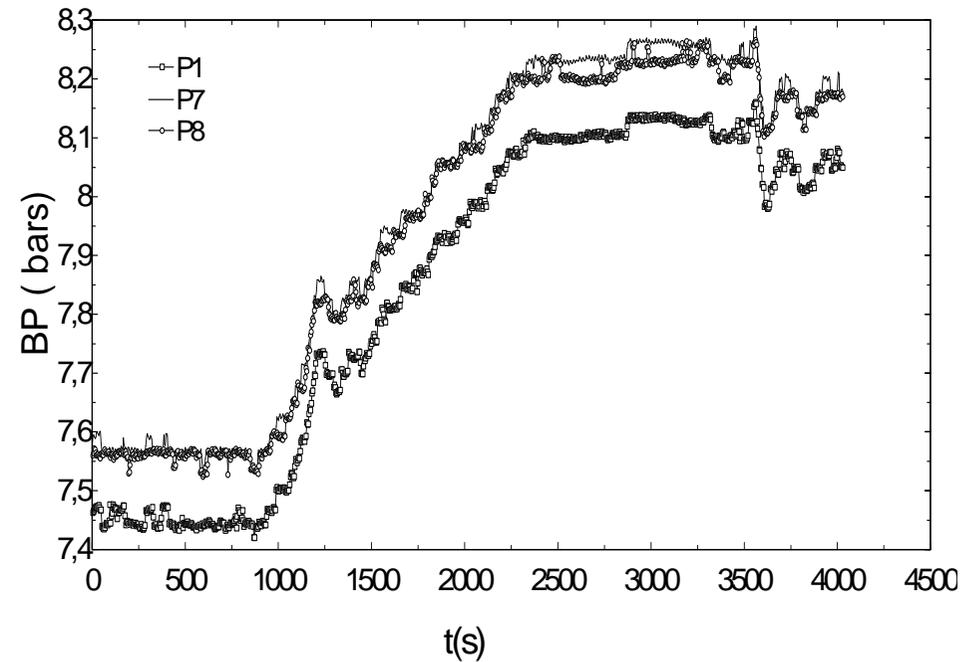
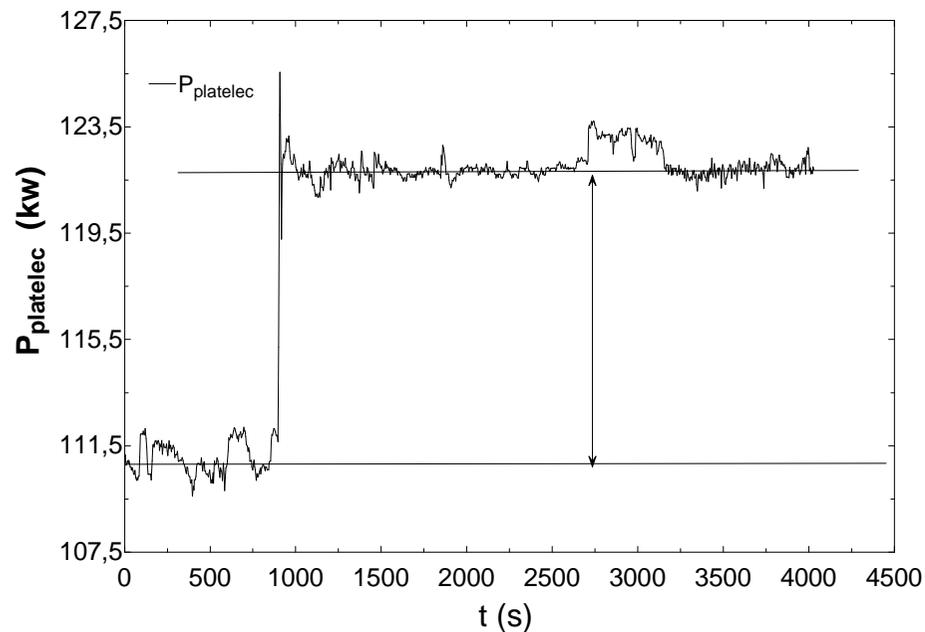


# REGIME TRANSITOIRE

## ANALYSE DES DONNÉES DYNAMIQUES

2

Augmentation de la puissance Platélec de 10%.

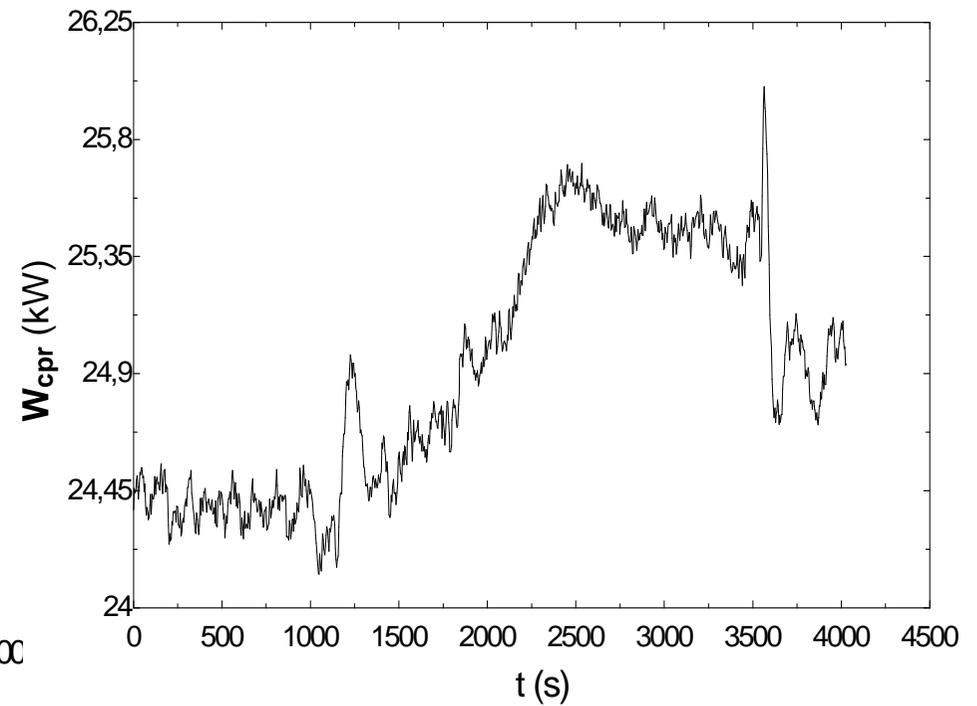
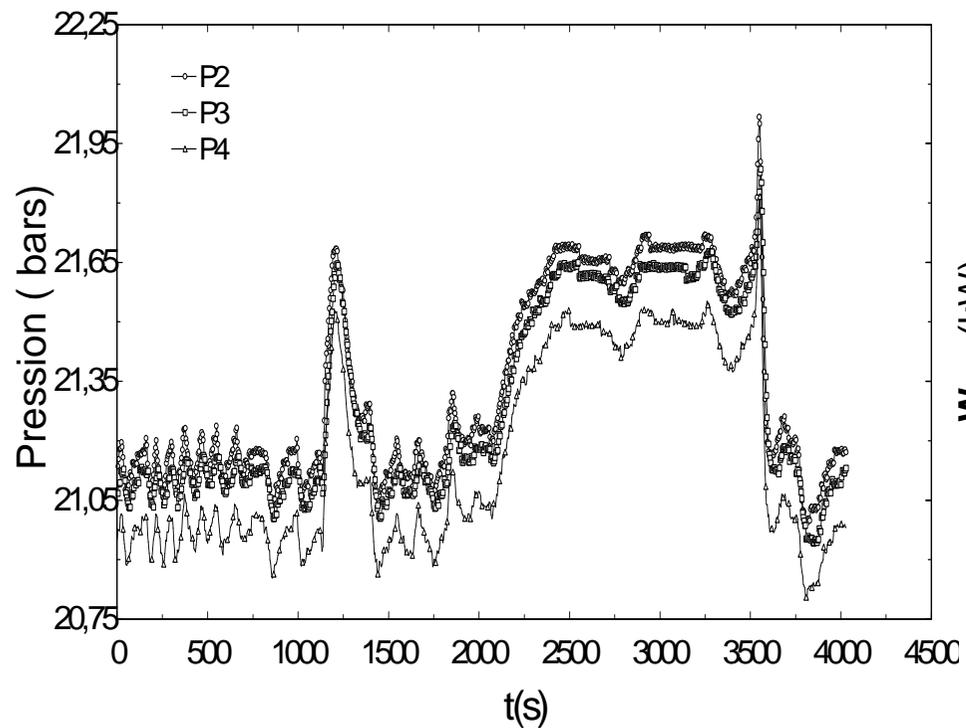


# REGIME TRANSITOIRE

## ANALYSE DES DONNÉES DYNAMIQUES

2

Augmentation de la puissance Platélèc de 10%.



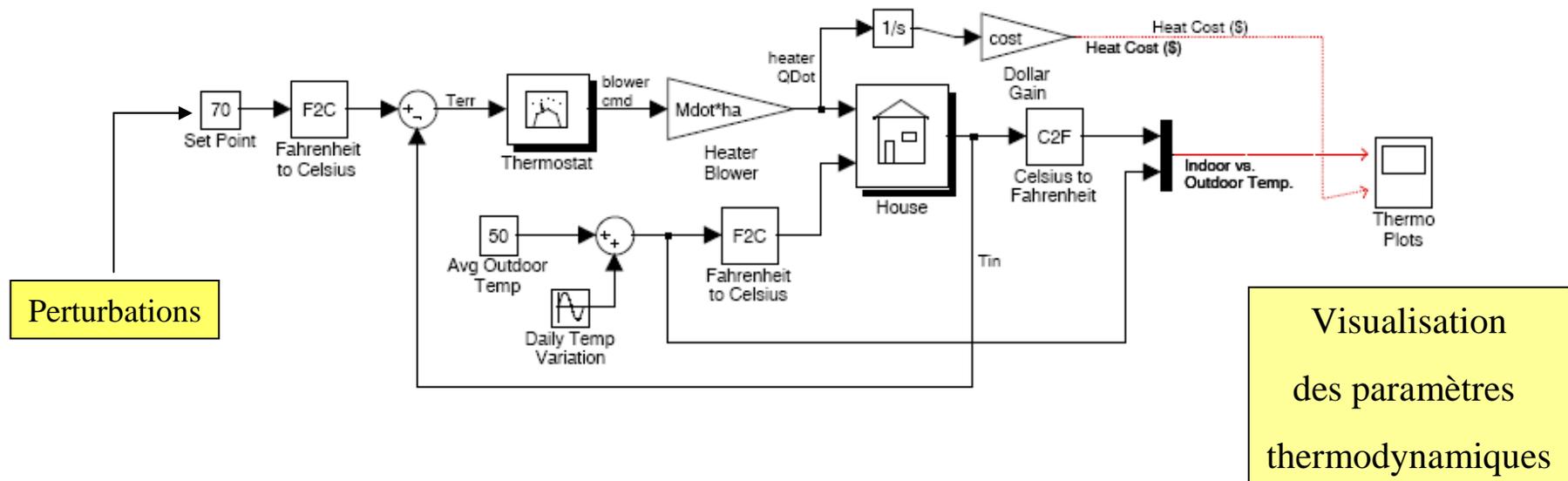
# REGIME TRANSITOIRE

Travail en cours

Définition des lois de comportement des composants pour chaque perturbation.

Modèle entropique et exergetique en régime transitoire.

Modèle type sur Simulink (exemple)



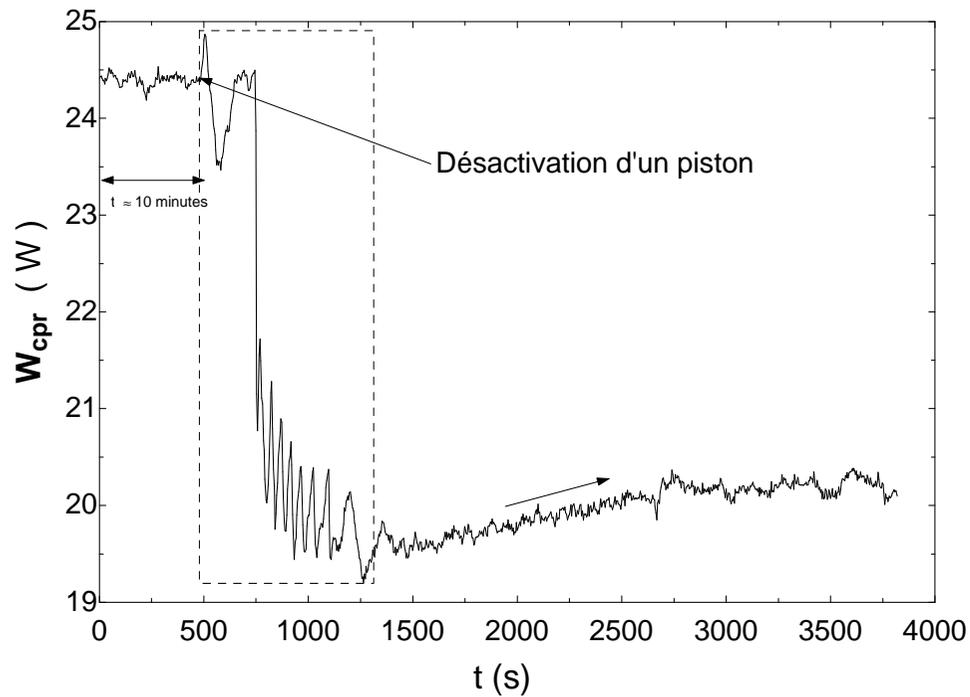
---

---

**MERCI**

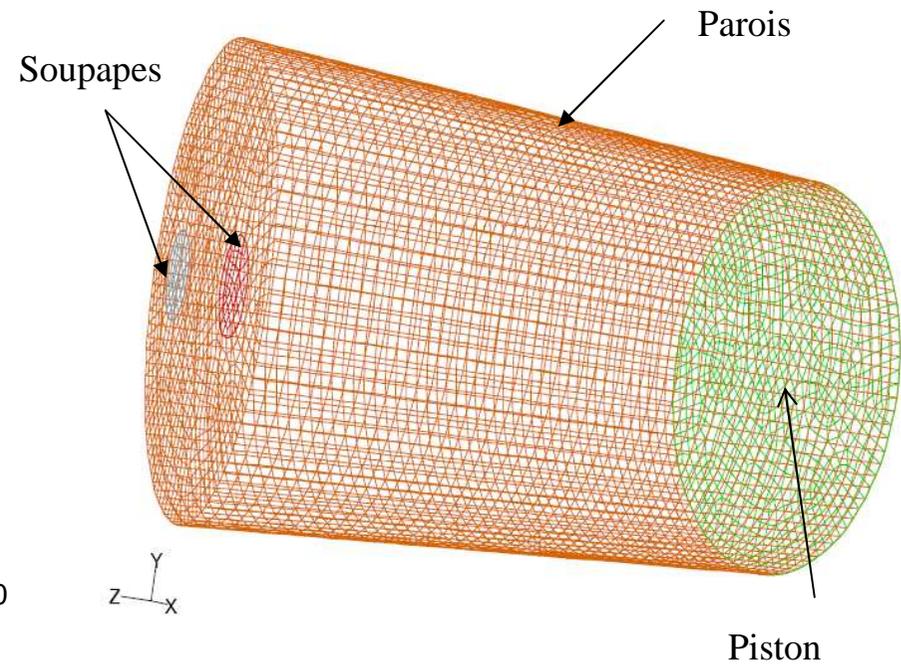
## Analyse exergétique par composant en régime transitoire (en cours)

### Désactivation d'un piston du compresseur



Évolution du travail en fonction du temps

### Simulation numérique sur Fluent (3D,t)



Évolution du maillage en fonction du temps