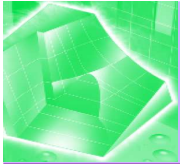


PROJET SIMPFRI

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

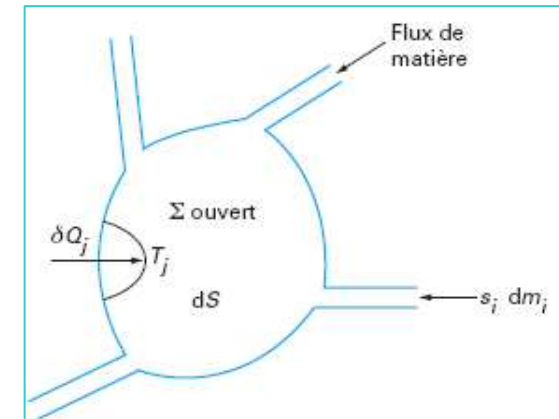
Bilan entropique d'un système ouvert

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

$$dS = \sum \frac{\delta Q_j}{T_j} + dS' + \sum_{entrant} dm_i s_i - \sum_{sor\ tan\ t} dm_i s_i$$

En régime permanent

$$\sum \frac{\delta Q_j}{T_j} + dS' + \sum_{entrant} dm_i s_i - \sum_{sor\ tan\ t} dm_i s_i = 0$$

Si on fait l'hypothèse d'un apport thermique continu, le bilan entropique pendant un intervalle de temps Δt s'écrit :

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

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 .

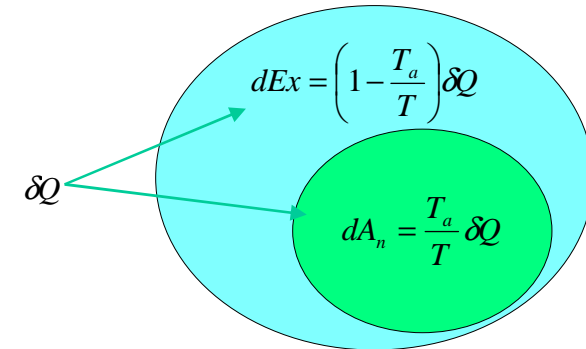
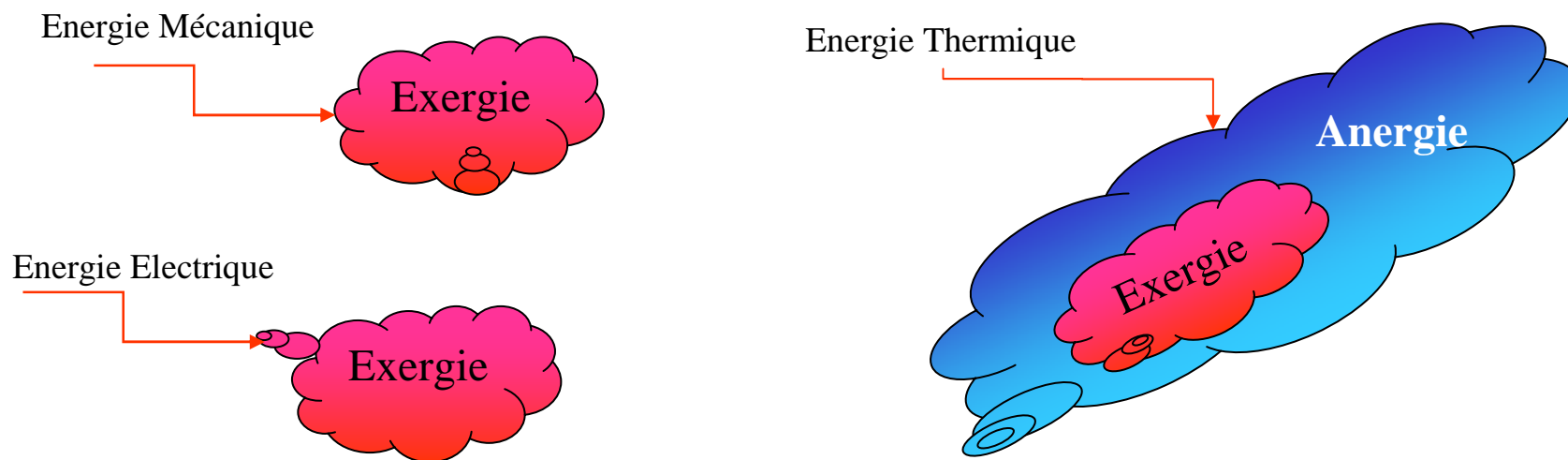
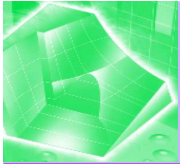


Fig.2: Contenu exergetique et anergétique de δQ

Contenu exergetique de diverses formes d'énergie





3. BILAN EXERGETIQUE

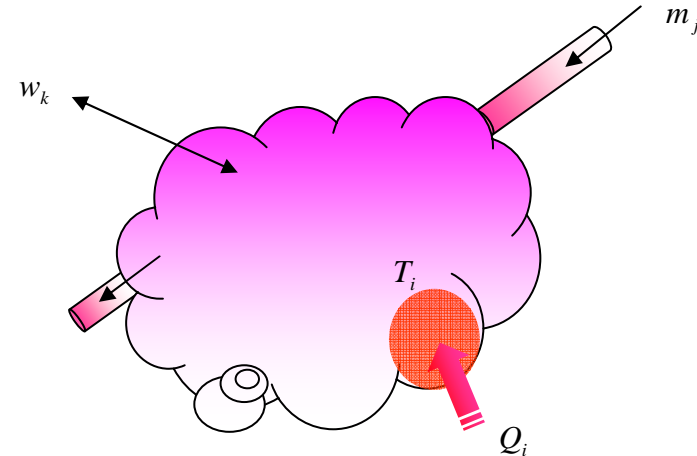
Principes de la thermodynamique :

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

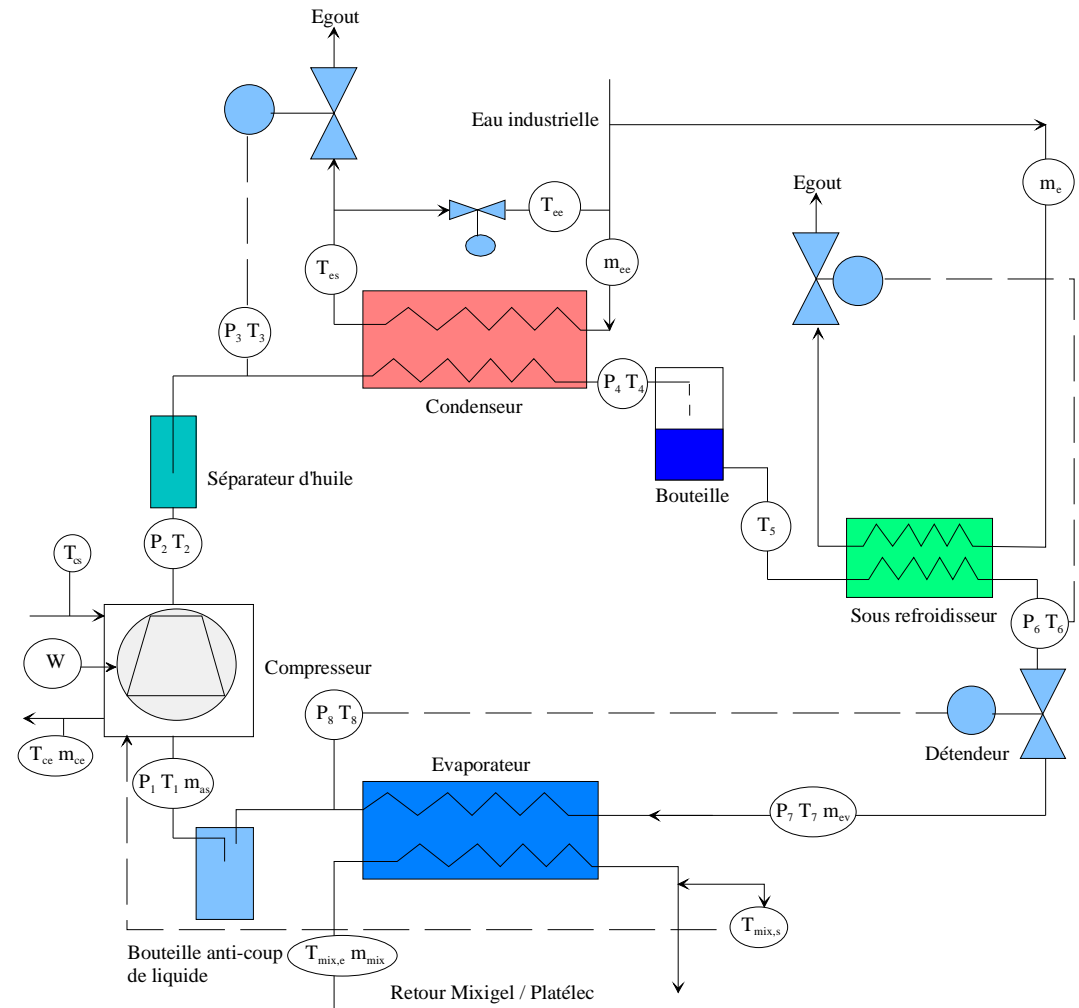
Analyse Entropique et Exergétique du fluide cyclé

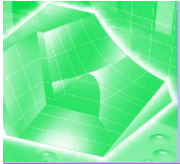
Analyse Entropique et exergétique par composants.



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

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





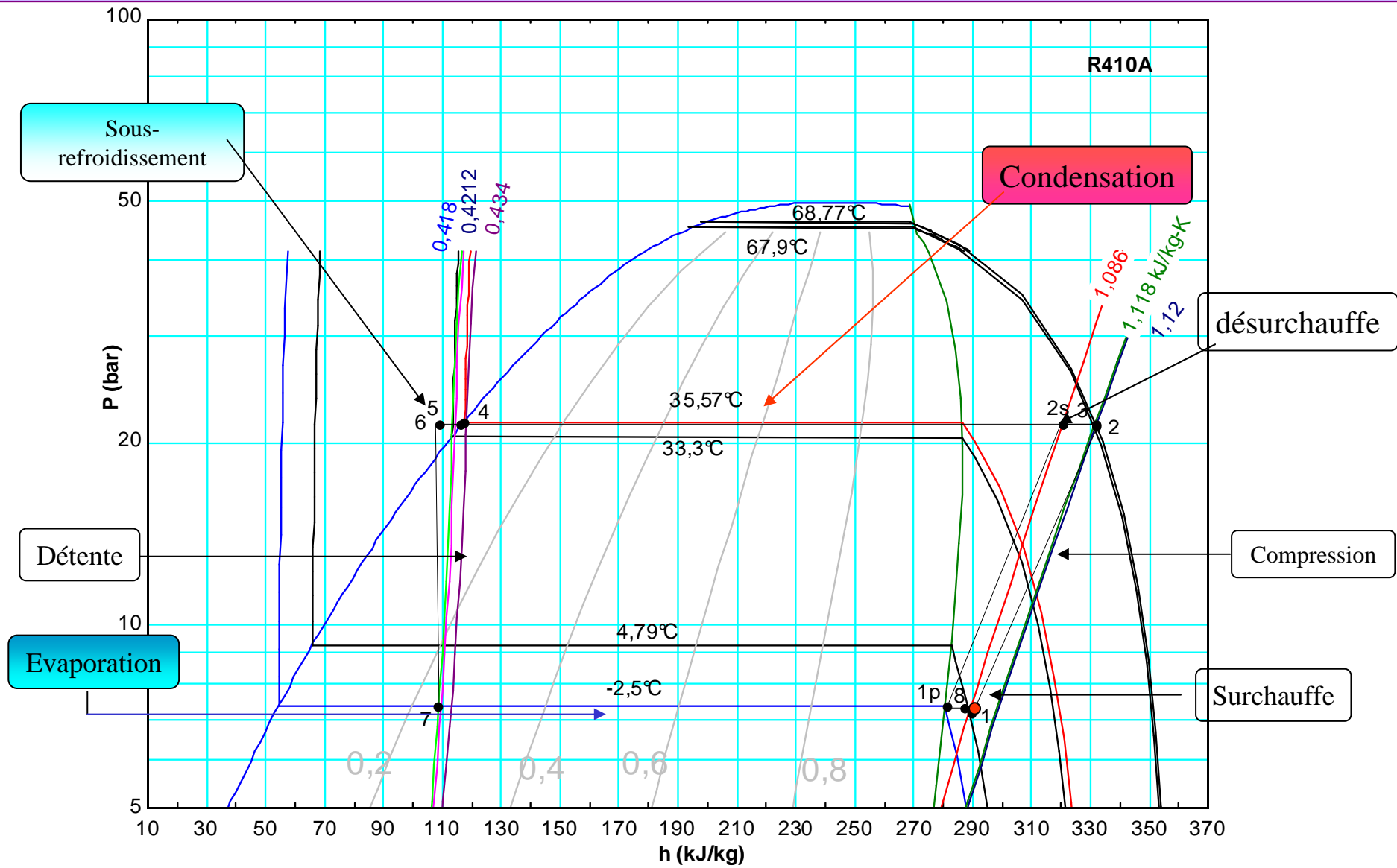
4. ANALYSE EXERGETIQUE

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

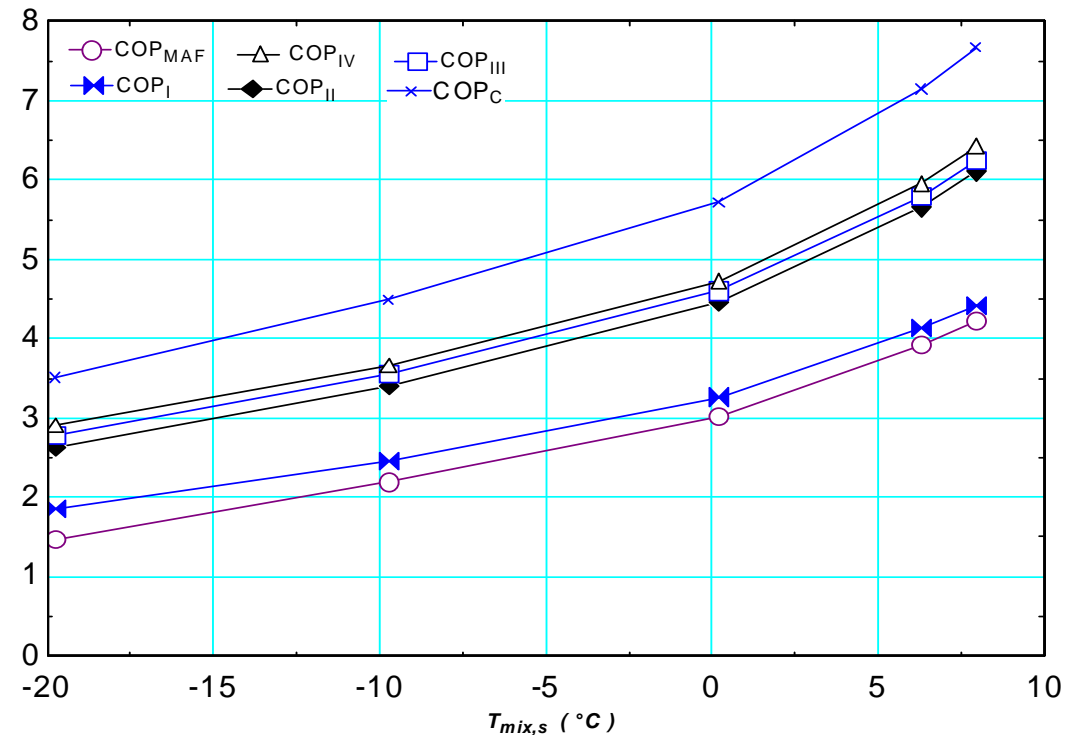
une évaporation sans surchauffe : 1p (p1, x=1)

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

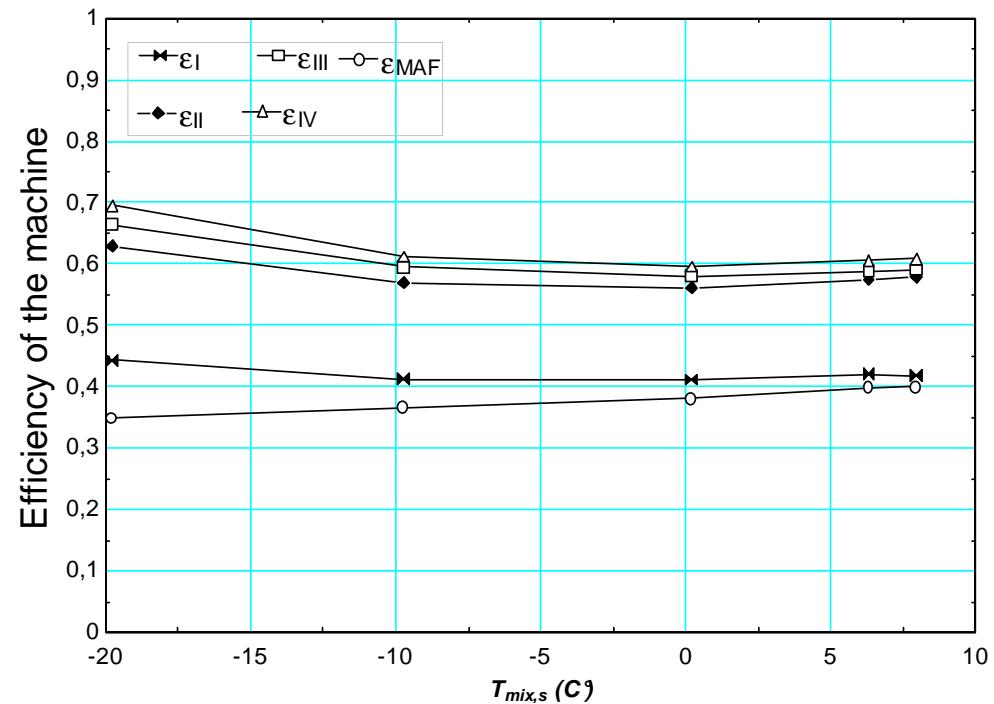
une évaporation sans surchauffe : 1p ($p_1, x=1$)

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

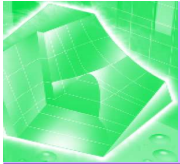
une détente isentropique : 7p ($P_7, s_7=s_4$) :

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

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



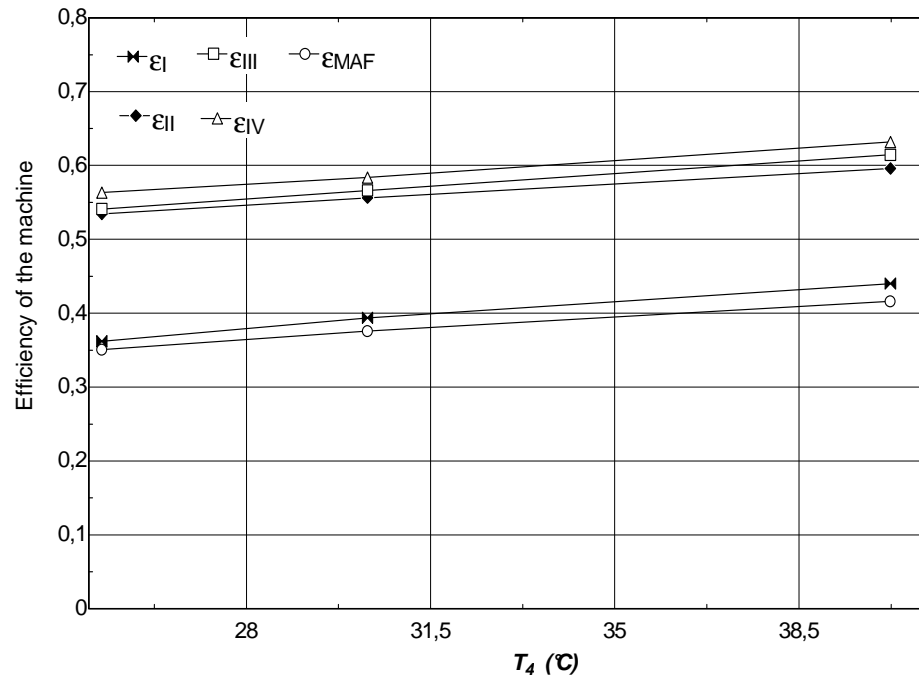
Efficacité en fonction de T_{mix} en sortie de l'évaporateur



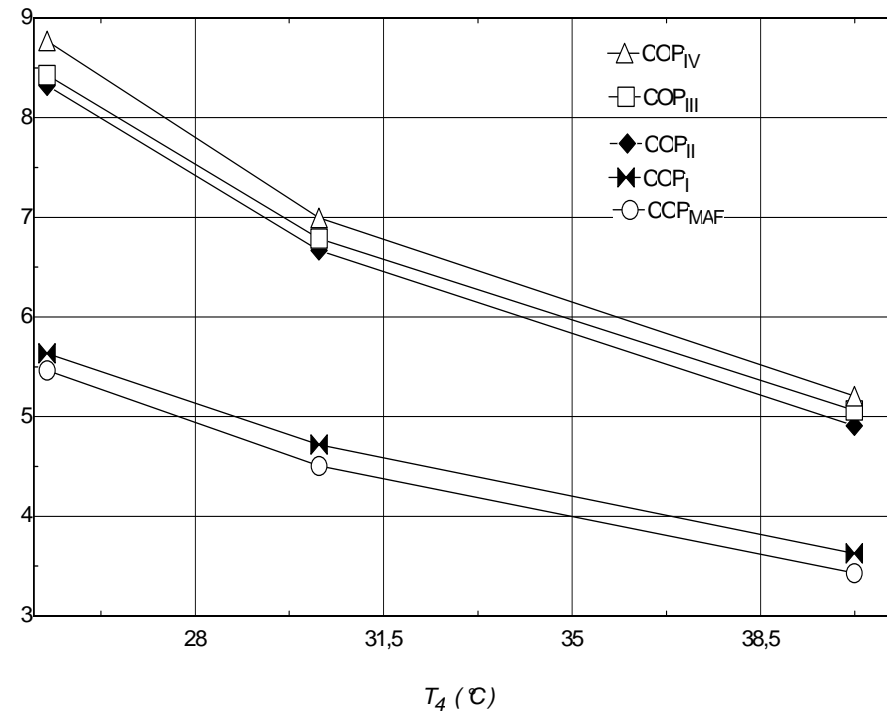
EXPLOITATION DES MESURES

Essai n° 2

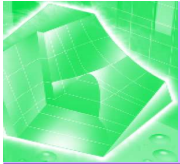
Série d'essai	T° de condensation (°C)	T° mixigel sortie évaporateur (°C)	Charge Platélec (kW)
2.1	25	6	190
2.2	30	6	150
2.3	40	6	100



Efficacité en fonction de T_{cond}



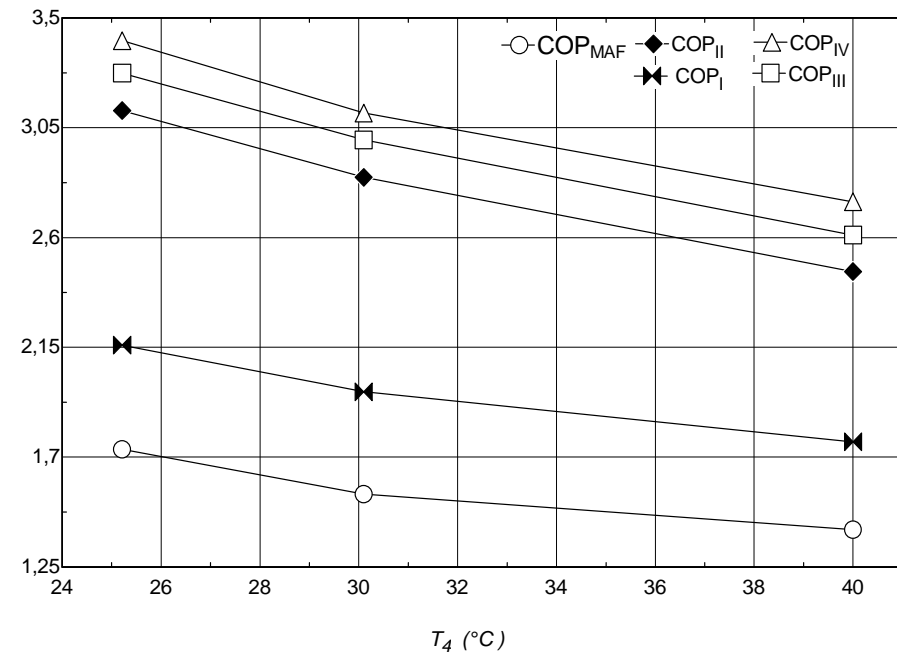
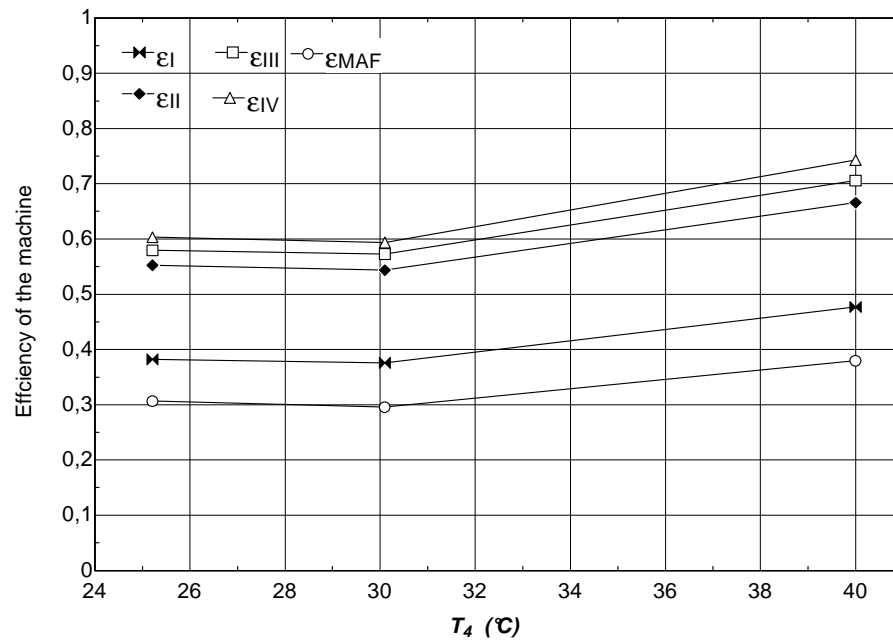
COPs en fonction de T_{cond}



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_{cond}

COPs en fonction de T_{cond}

ANALYSE ENTROPIQUE

A- Compresseur

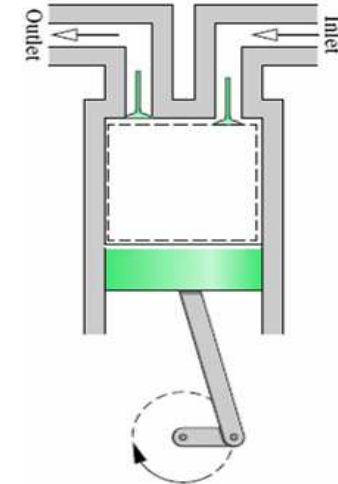
Puissance mécanique de compression : $\dot{W}_{cpr} = \dot{m}(h_2 - h_1)$

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 : $\dot{S}_{det} = \dot{m}(s_7 - s_6)$

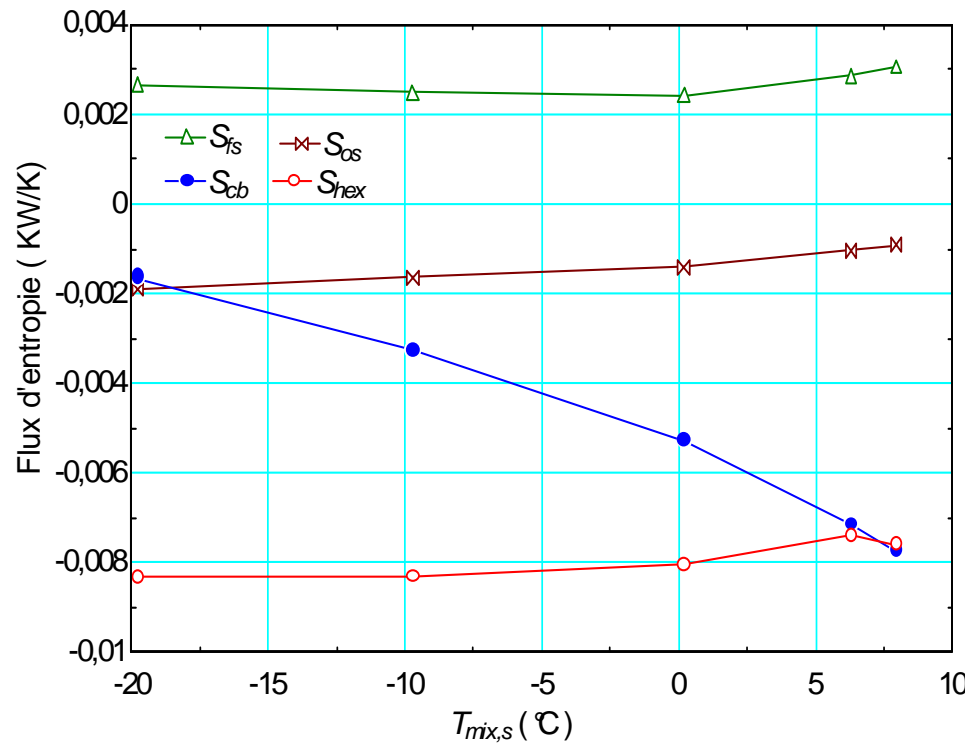
D- Evaporateur :

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

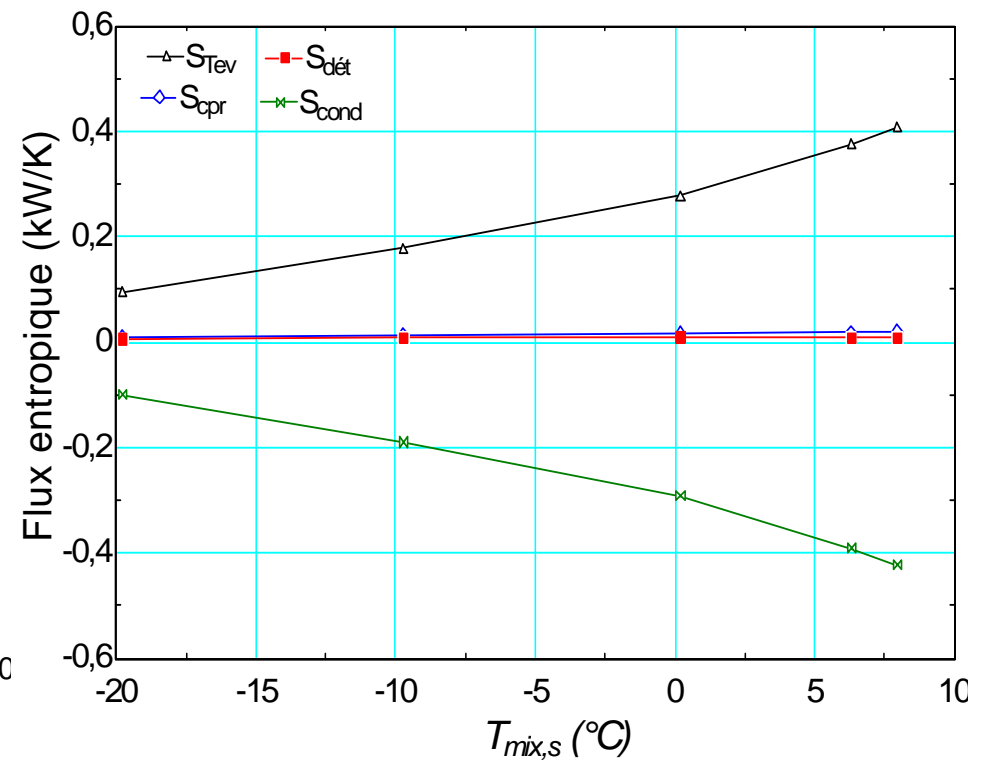
Entropie thermique créée côté fluide frigorigène : $\dot{S}_{créée} = [\dot{m}_i s_i]_{sortie}^{entrée} - \frac{\dot{Q}_F}{T_{en,mix}} - \dot{m} \Delta p / \rho_{mev} T_{en,f}$

ANALYSE ENTROPIQUE

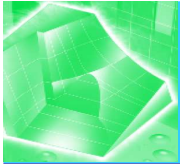
(Essai n ° 1)



Flux entropique des auxiliaires

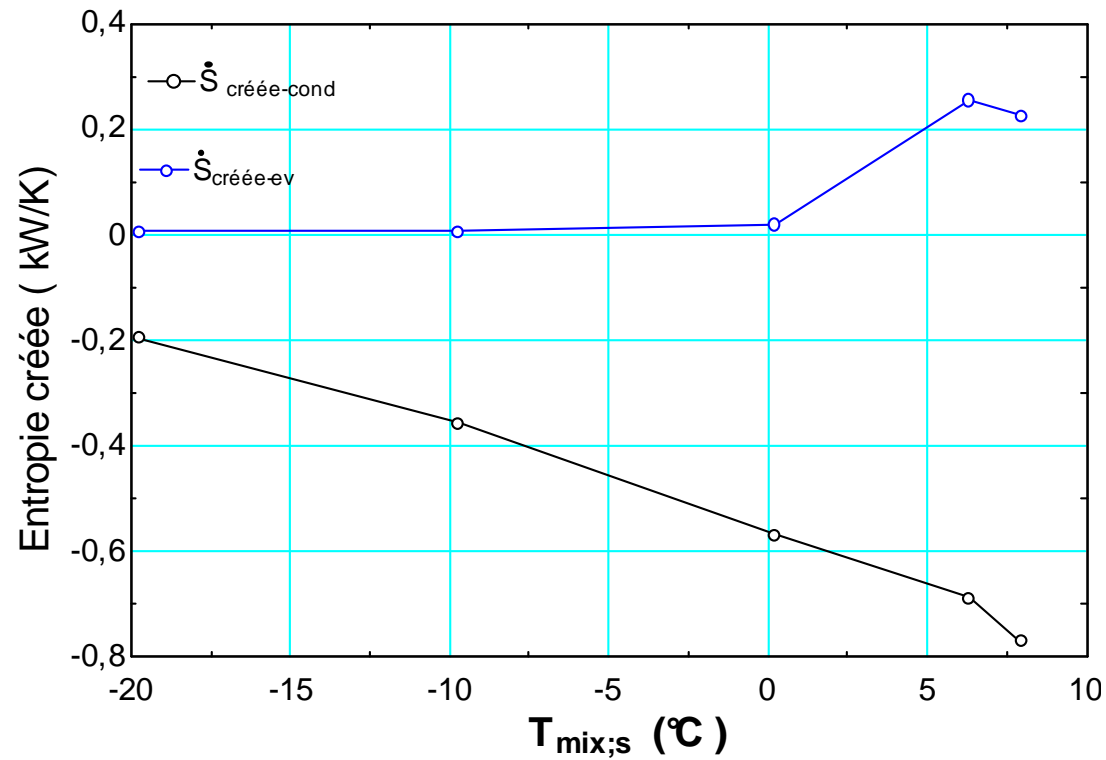


Flux entropique des composants principaux

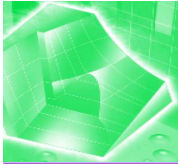


ANALYSE ENTROPIQUE

(Essai n ° 1)



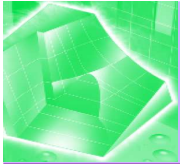
Entropie créée dans les composants principaux



EXERGIE DETRUITE TOTALE

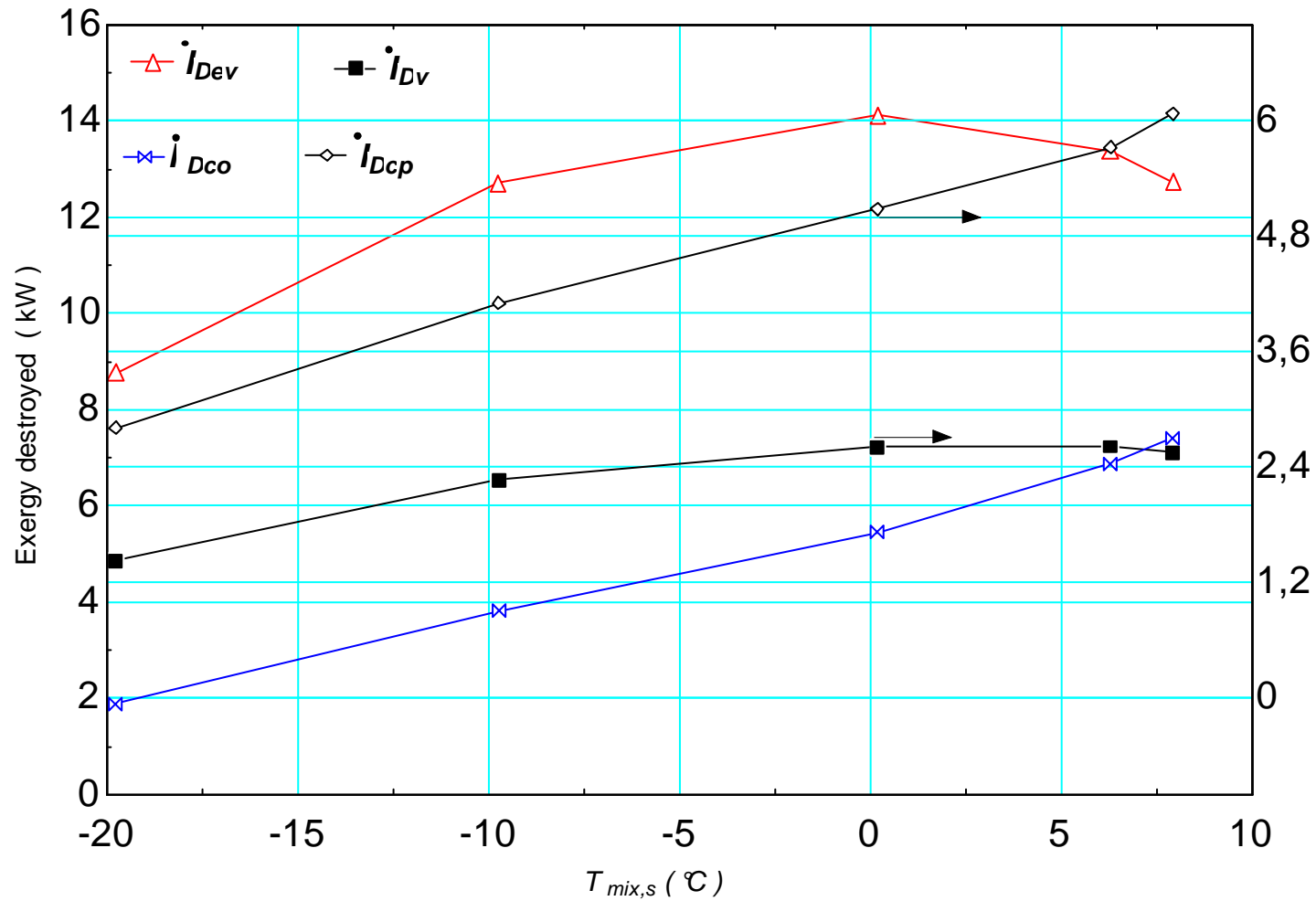
Bilan exergétique du fluide cyclé (R410A) , Essai n ° 1

	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

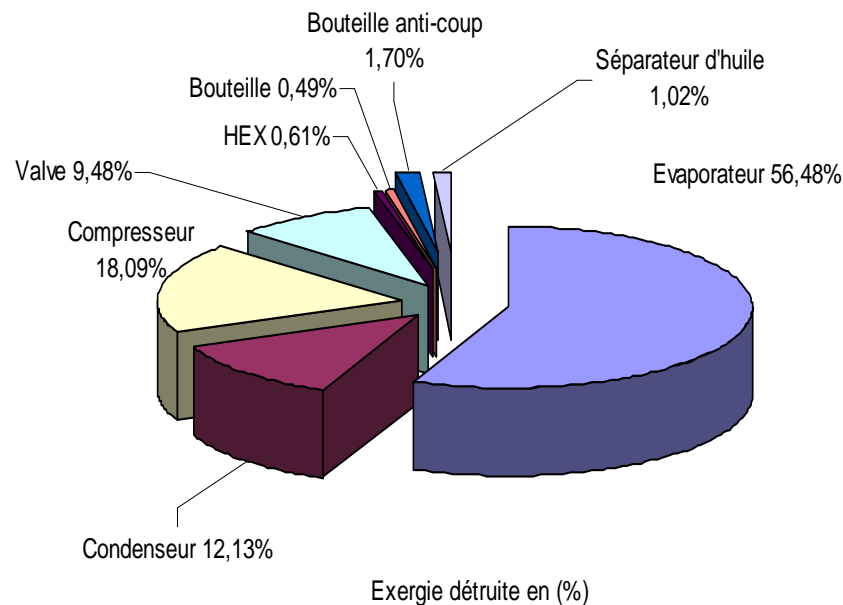
Bilan exergétique du fluide cyclé (R410A) , Essai n ° 1



EXERGIE DETRUITE TOTALE

(Essai n ° 1)

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

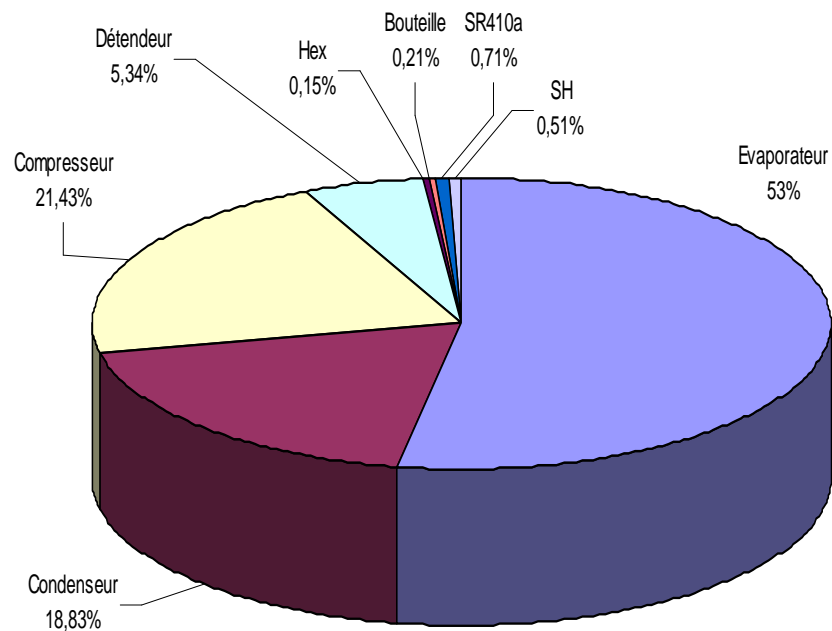


Exergie détruite adimensionnelle (%) du fluide cyclé

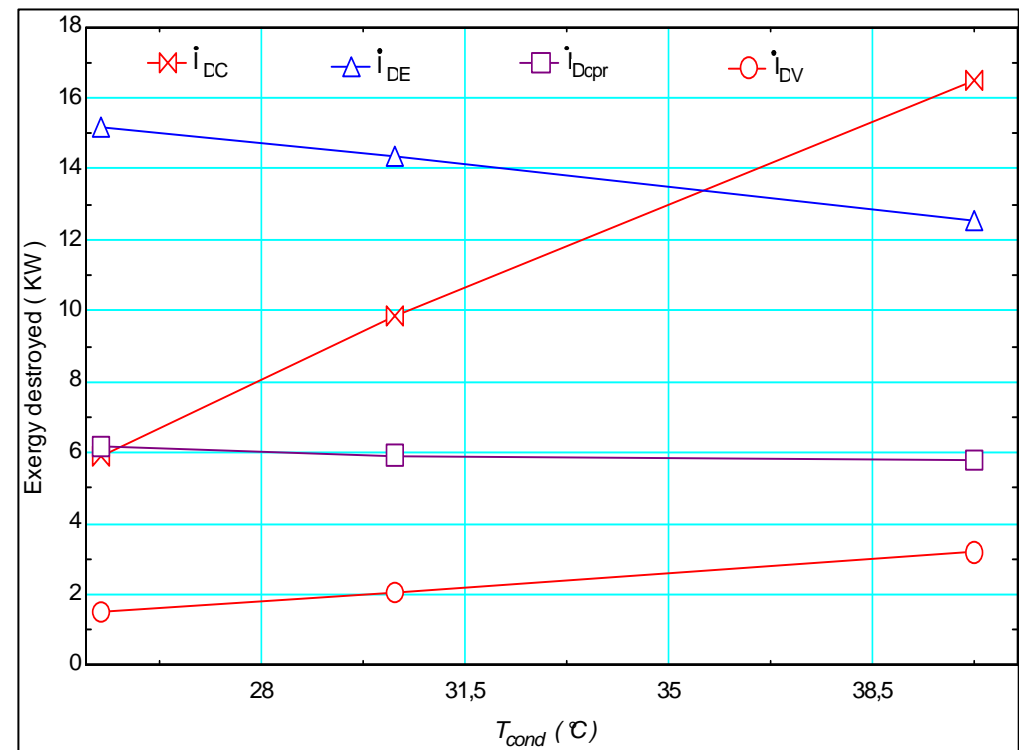
T Mixigel (°C)	Exergie détruite côté fluide frigorigène en (%)				
	-19,77	-9,73	0,1958	6,294	7,941
Évaporateur	56,479	53,84	50,19	45,29	42,80
Condenseur	12,134	16,147	19,37	23,27	24,90
Compresseur	18,092	17,41	18,10	19,38	20,41
Valve	9,48	9,733	9,33	8,90	8,60
HEX	0,609	0,5189	0,389	0,276	0,26
Bouteille	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



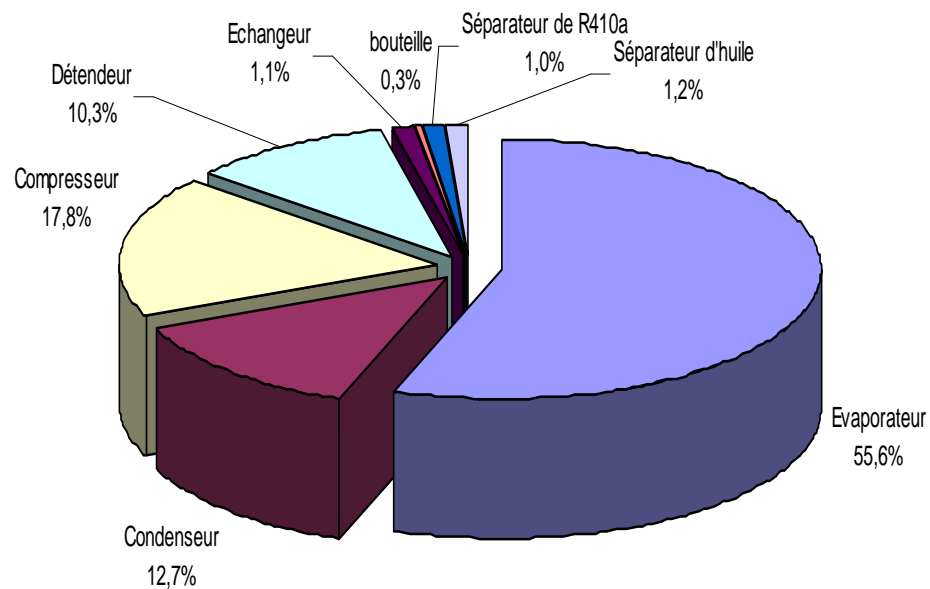
Exergie détruite en % , Tcond = 25 °C



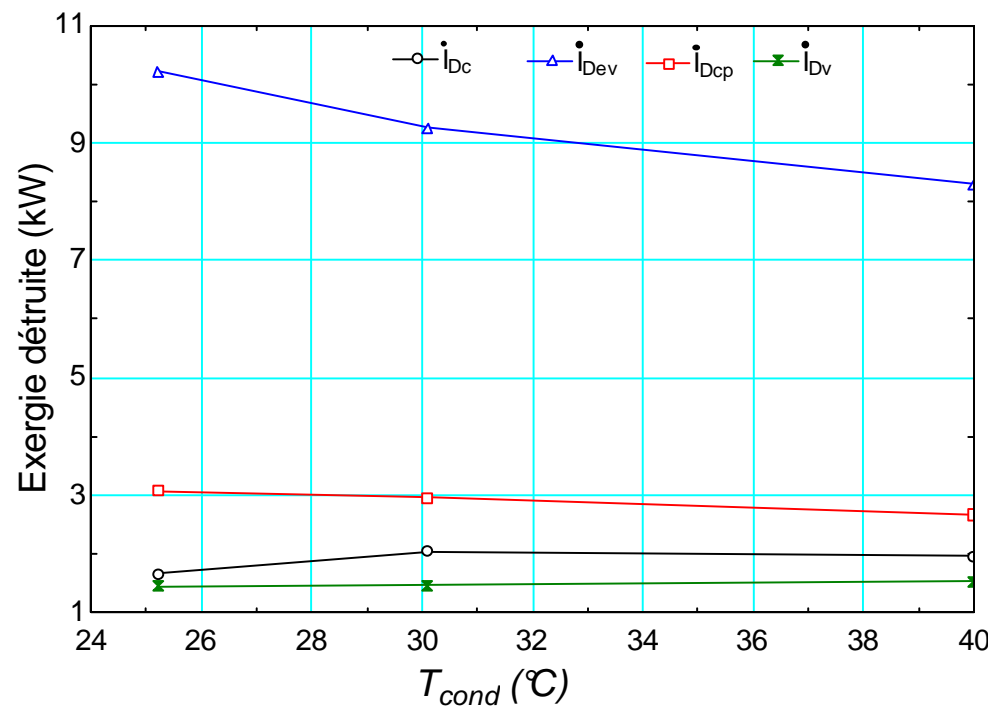
Exergie détruite en fonction de Tcond

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

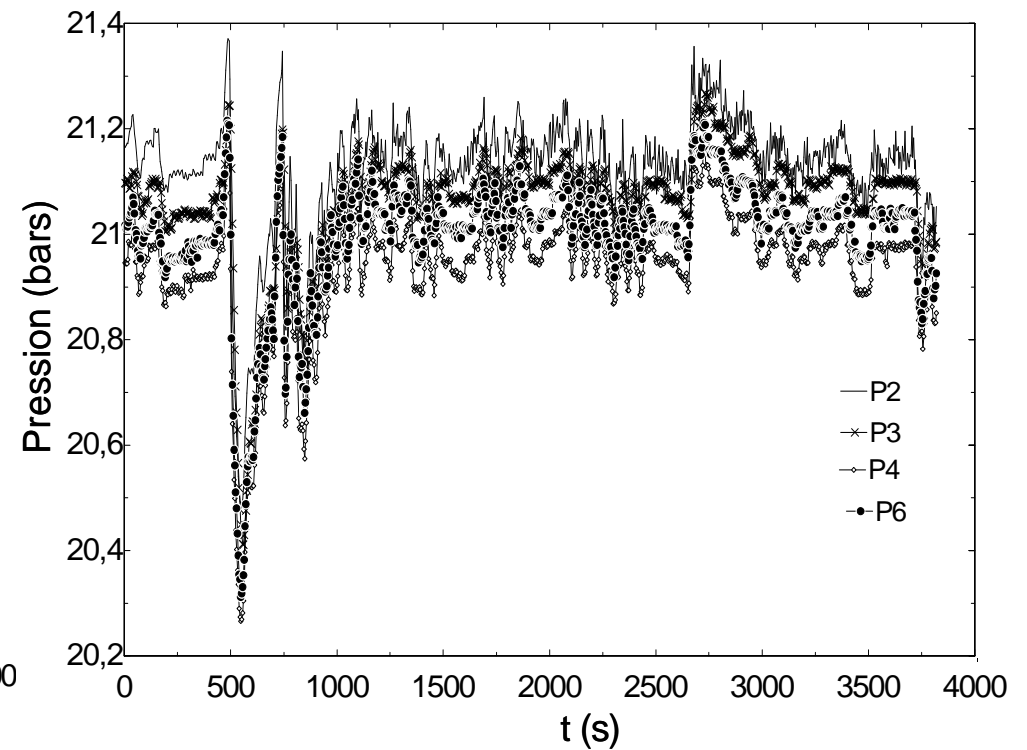
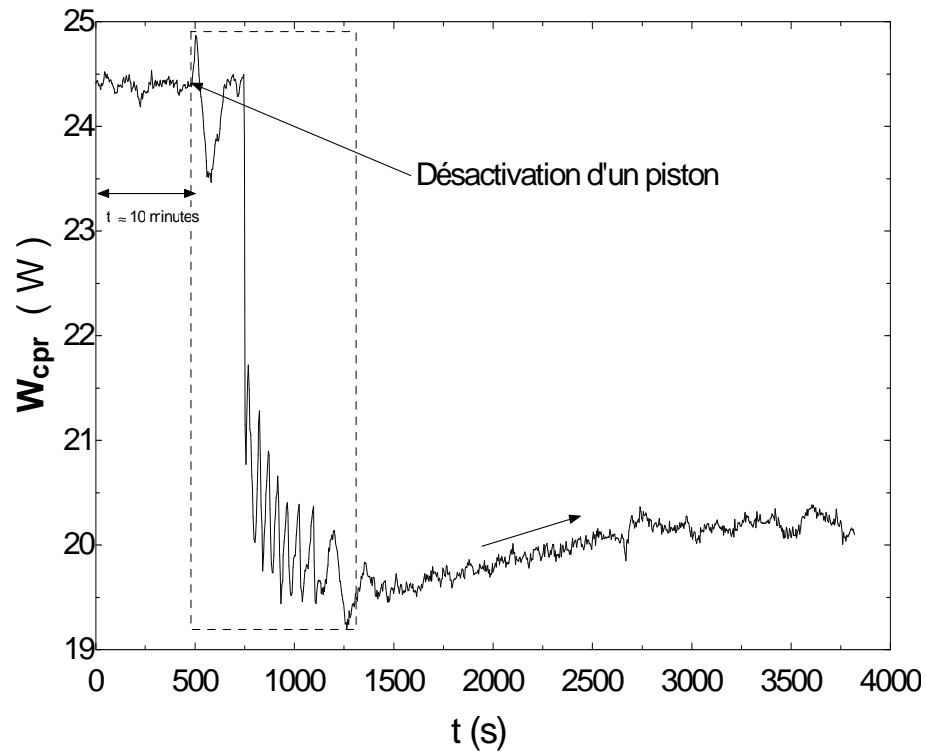
- 1** Désactivation d'un piston.
- 2** Augmentation de la puissance Platélèc de 10%.
- 3** Augmentation de la température en entrée condenseur de 5°C.
- 4** Baisse du débit de Mixigel de 25%
- 5** Augmentation du débit au condenseur de 30 %

REGIME TRANSITOIRE

ANALYSE DES DONNÉES DYNAMIQUES

1

Désactivation d'un piston.

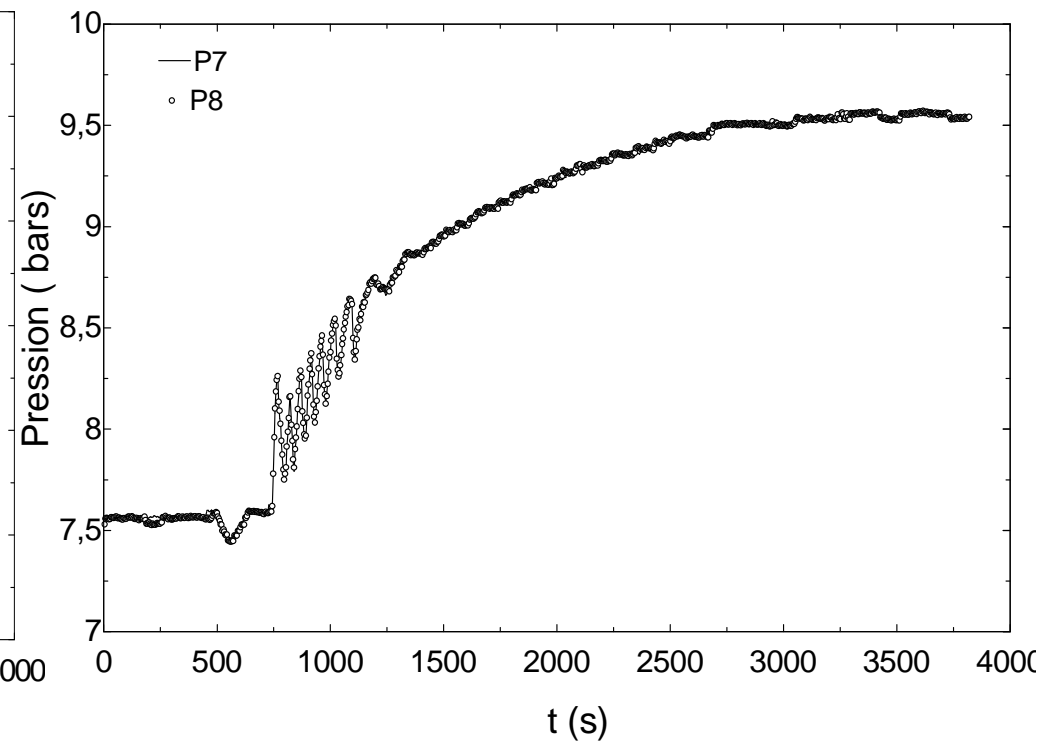
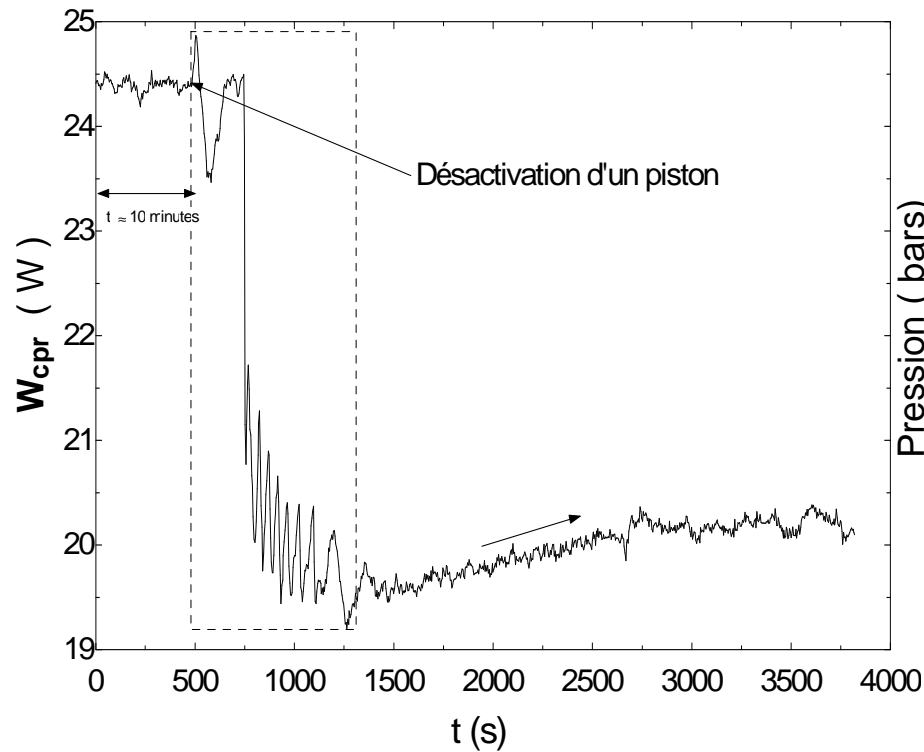


REGIME TRANSITOIRE

ANALYSE DES DONNÉES DYNAMIQUES

1

Désactivation d'un piston.

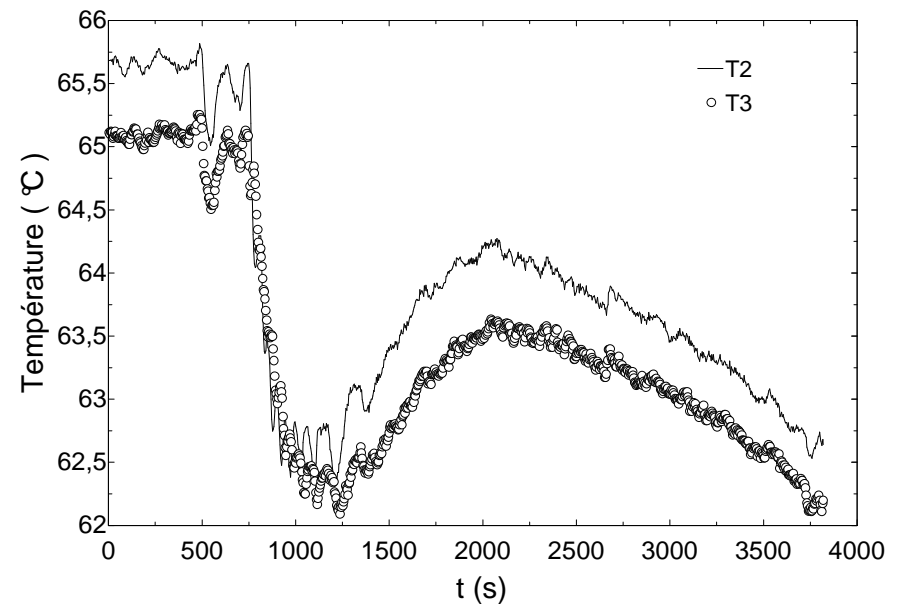
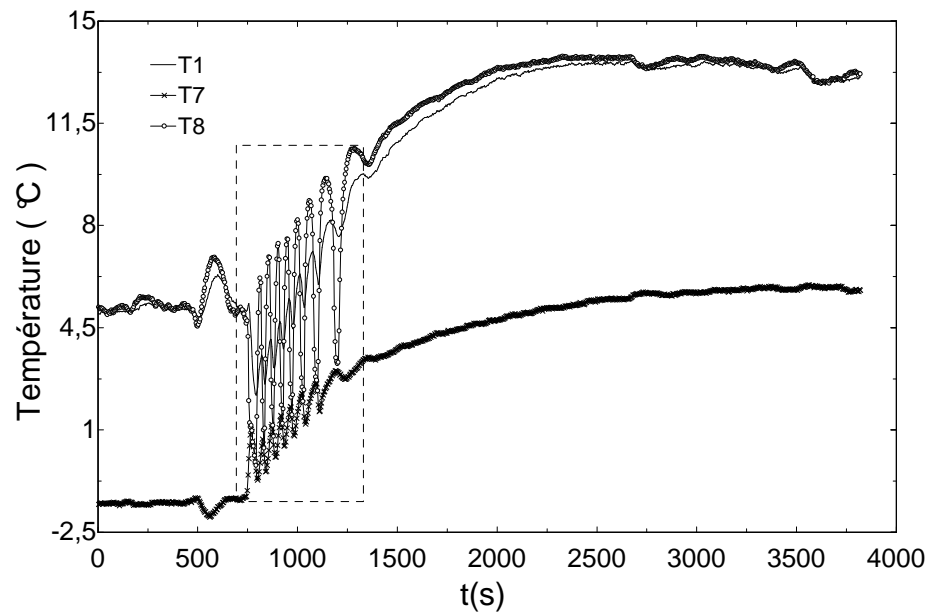


REGIME TRANSITOIRE

ANALYSE DES DONNÉES DYNAMIQUES

1

Désactivation d'un piston.

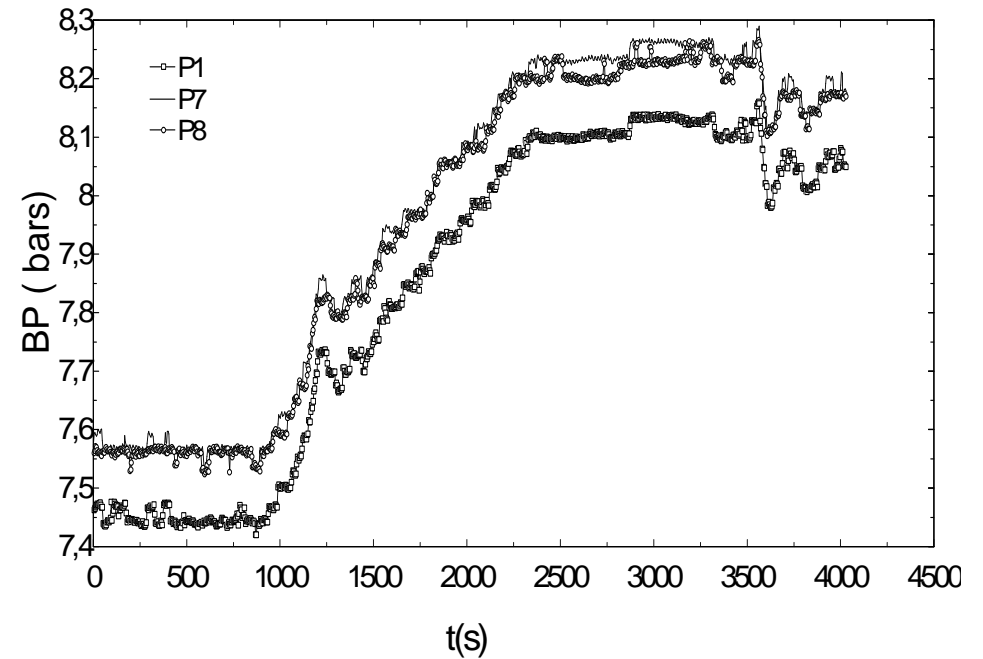
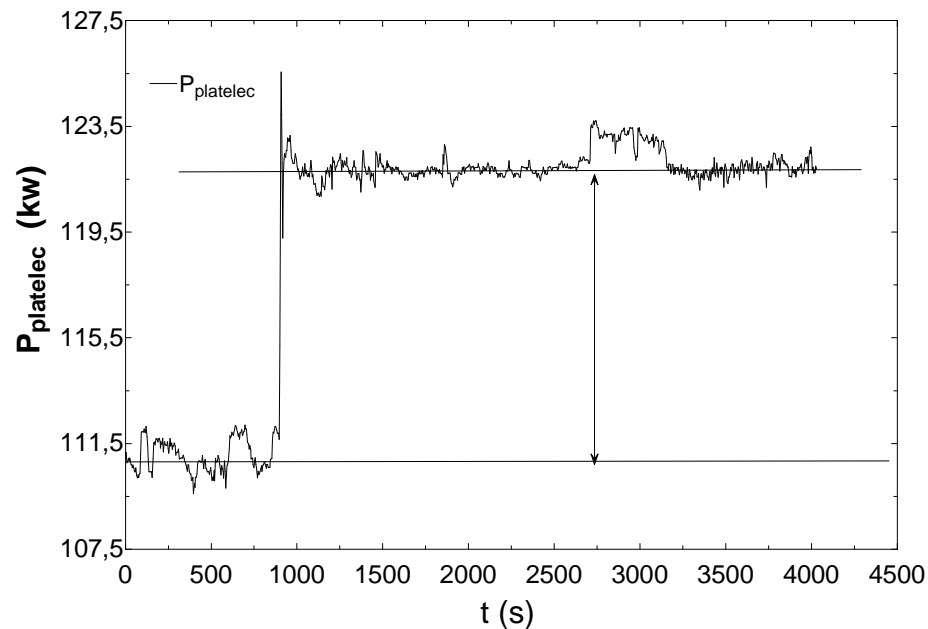


REGIME TRANSITOIRE

ANALYSE DES DONNÉES DYNAMIQUES

2

Augmentation de la puissance Platélec de 10%.

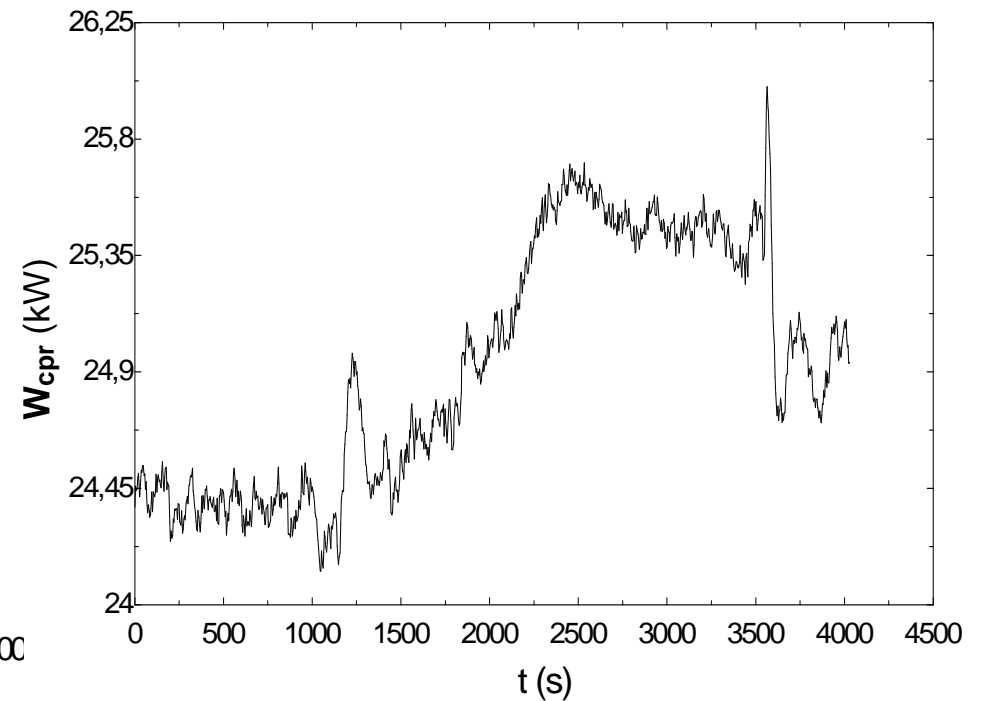
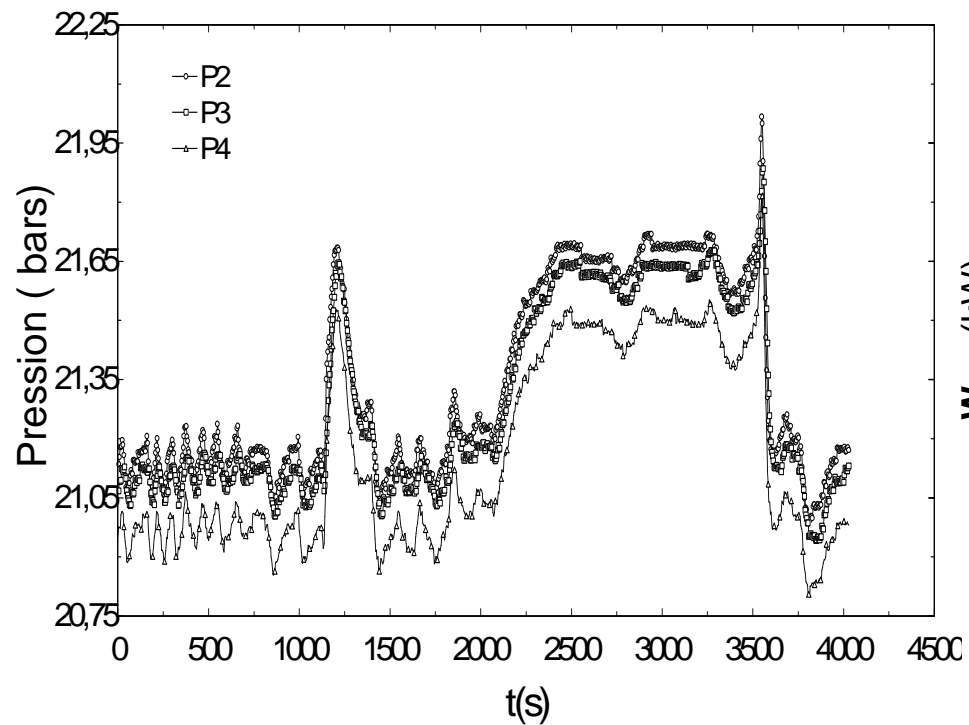


REGIME TRANSITOIRE

ANALYSE DES DONNÉES DYNAMIQUES

2

Augmentation de la puissance Platélèc de 10%.



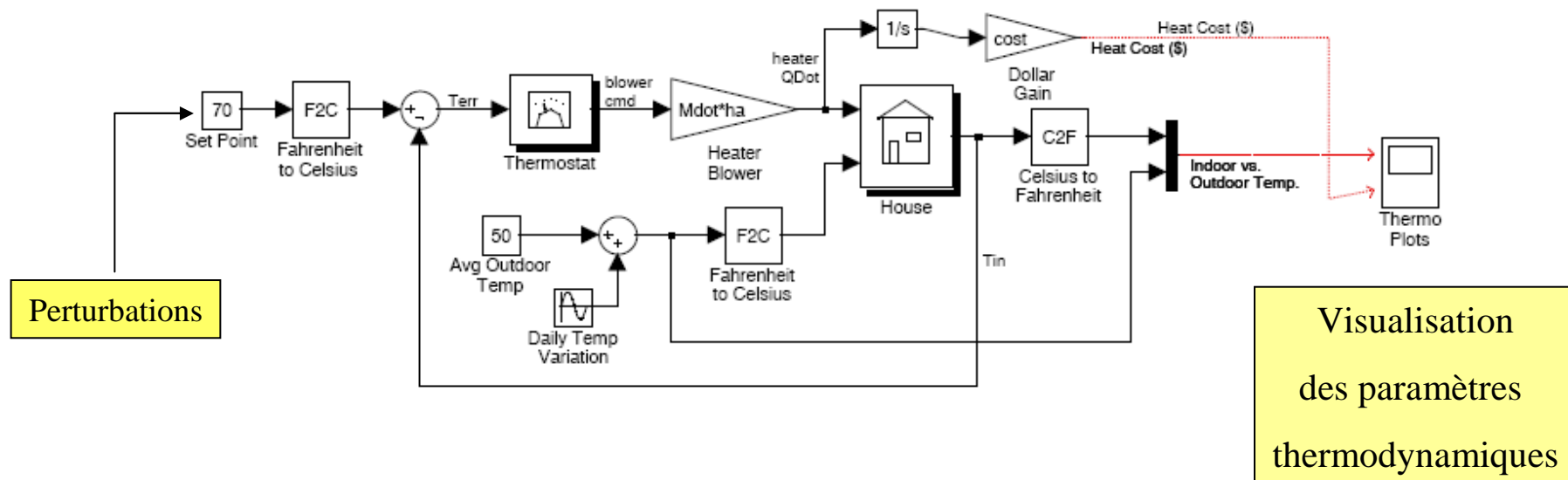
REGIME TRANSITOIRE

Travail en cours

Définition des lois de comportement des composants pour chaque perturbation.

Modèle entropique et exergetique en régime transitoire.

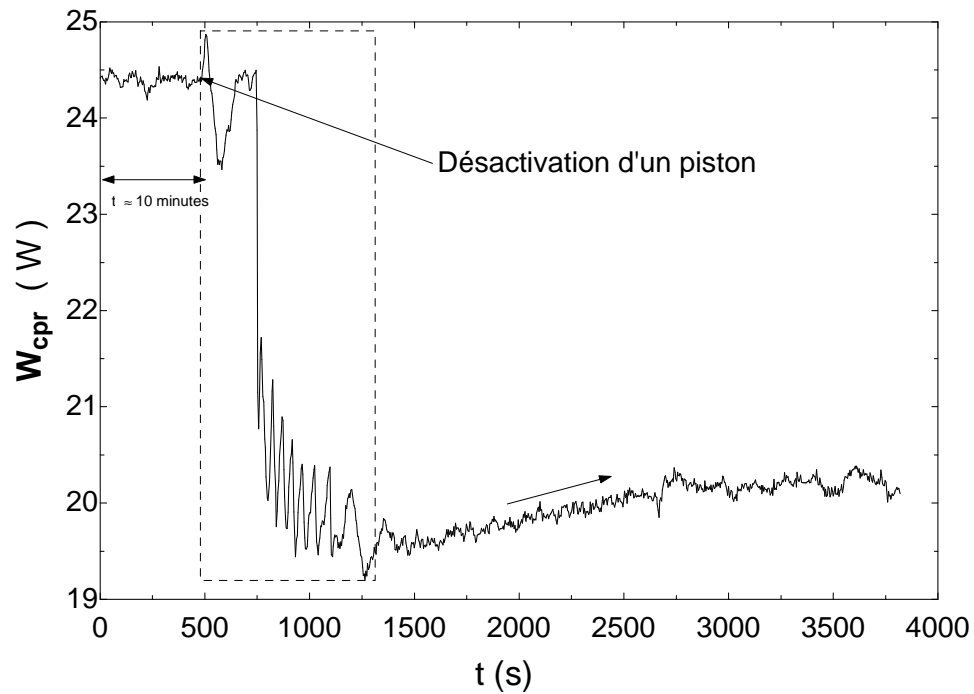
Modèle type sur Simulink (exemple)



MERCI

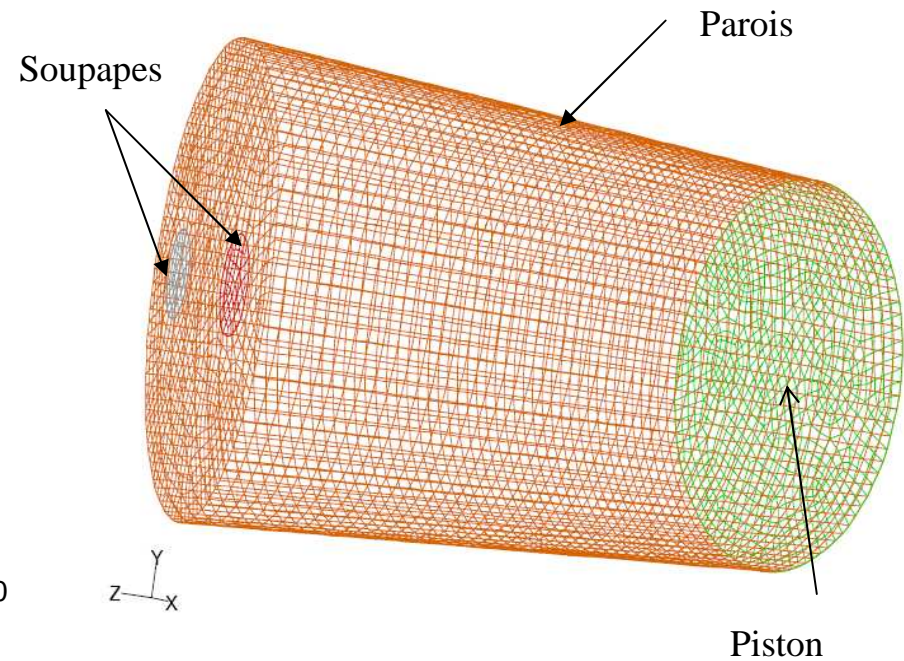
Analyse exergetique par composant en régime transitoire (en cours)

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