



# Systemes de récupération et d'intégration de l'énergie

*Jean-Marie SEYNHAEVE*

Introduction

Récupération d'énergie - Méthodes

Illustration de systèmes de récupération d'énergie

Intégration de l'énergie - « Pinch technology »

Exemples



# Introduction

## Objectif des systèmes de récupération d'énergie (Heat recovery)

*Utiliser la chaleur jusqu'à une température la plus basse possible avant de la rejeter à la source froide.*

*≠ Conservation d'énergie : réduire les flux de chaleur à l'ambiance.*

## Exemples

- *Gaz ⇒ Liquide :*

*Conditionnement d'air : réchauffement de l'air déshumidifié par l'eau de refroidissement.*

- *Liquide ⇒ Liquide :*

*Préchauffage de l'eau d'un système de chauffage urbain par l'huile de process d'une raffinerie de pétrole.*

- *Solide ⇒ Gaz :*

*Préchauffage de l'air de combustion par les matières solides sortant d'un four.*

- *Gaz ⇒ Solide :*

*Préchauffage des matières premières par les fumées.*



# Méthodes de récupérations de chaleur

**1. Pompe à chaleur : cas d'étude**

**2. Échangeurs de chaleur : nouveaux designs - cas d'étude**

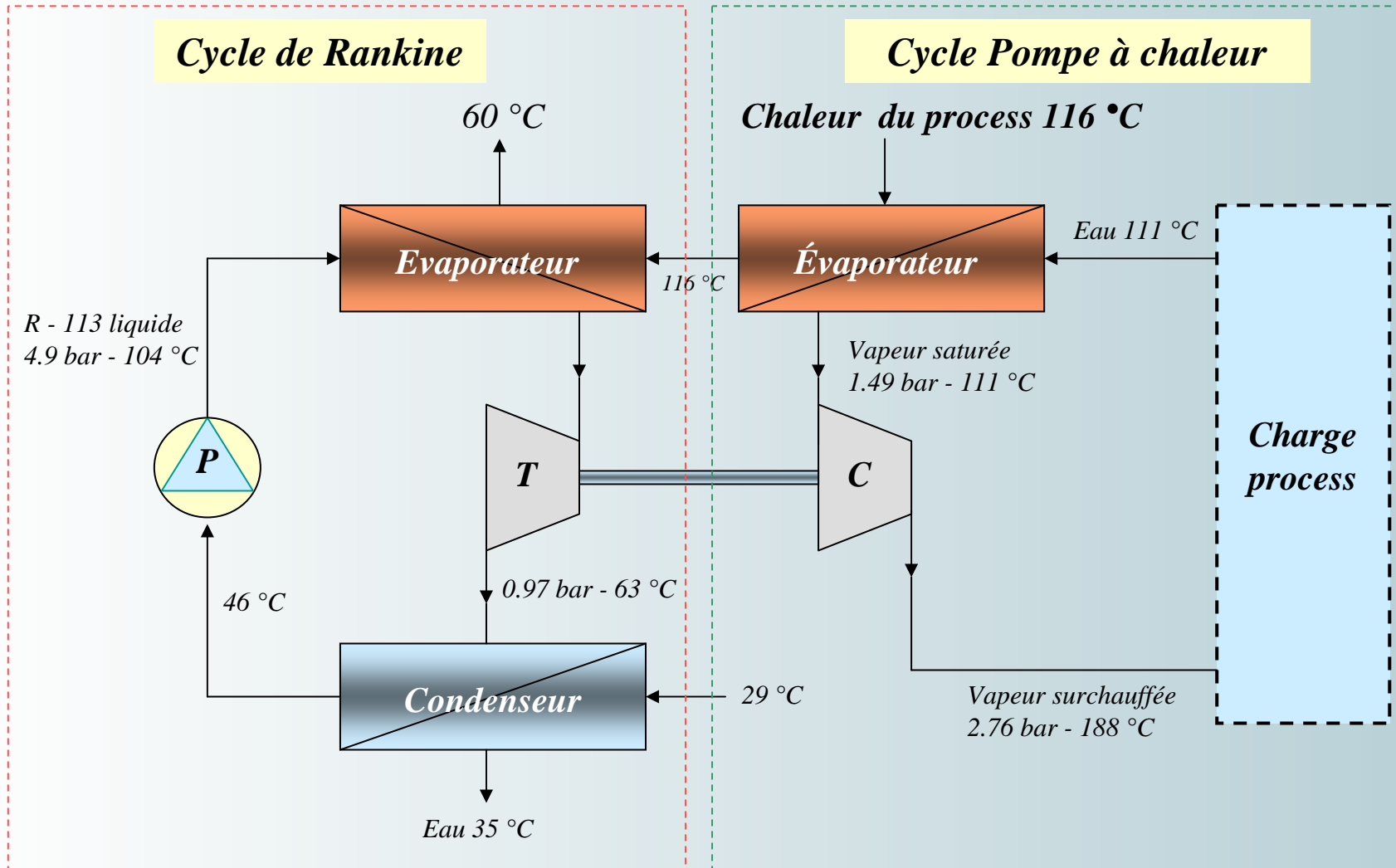
**3. Valorisation de processus : exemples**

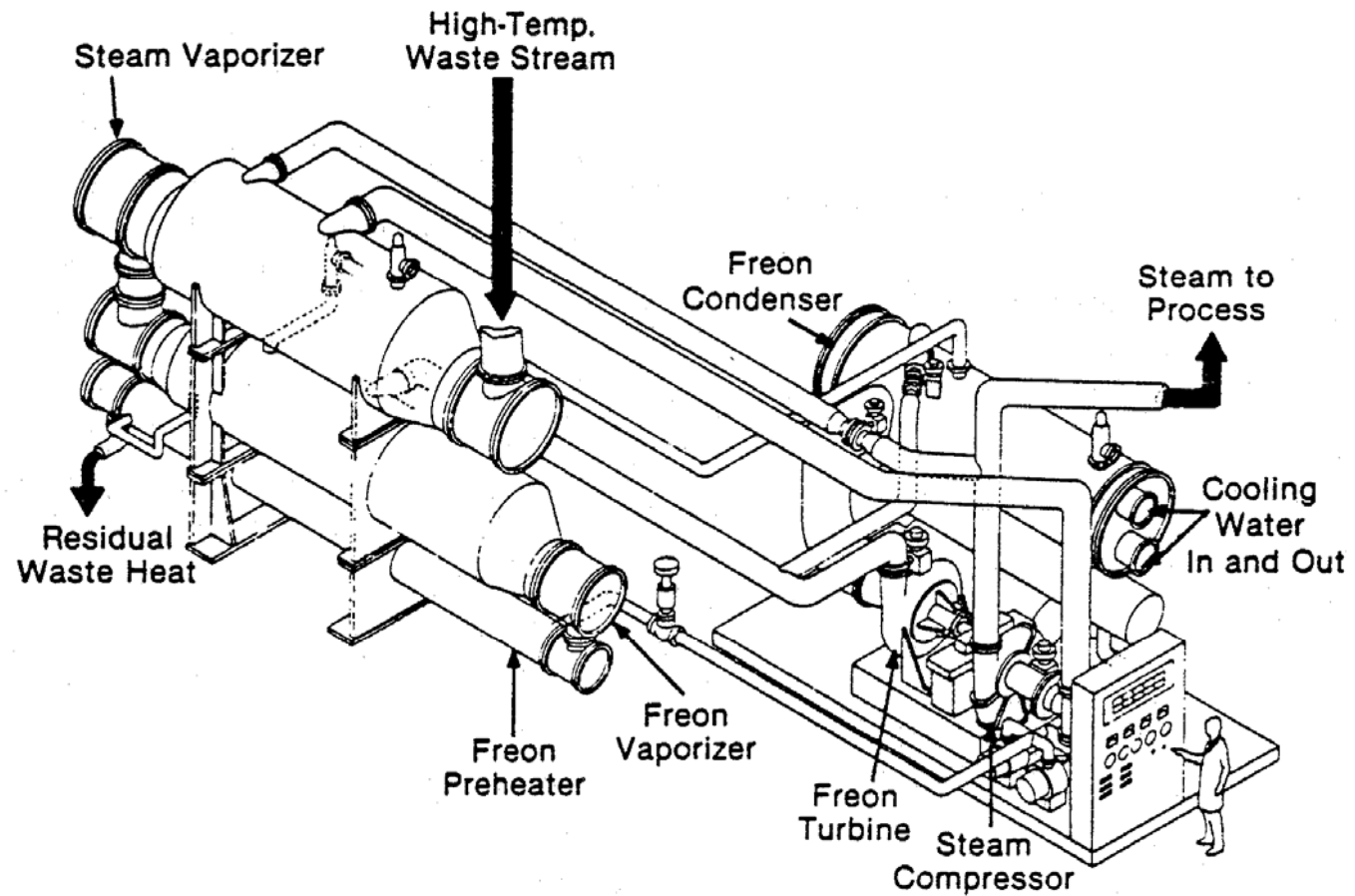
**4. Intégration des process (Process integration) : technique du pincement**

*Agencement optimal des échangeurs de chaleur dans un processus industriel.*



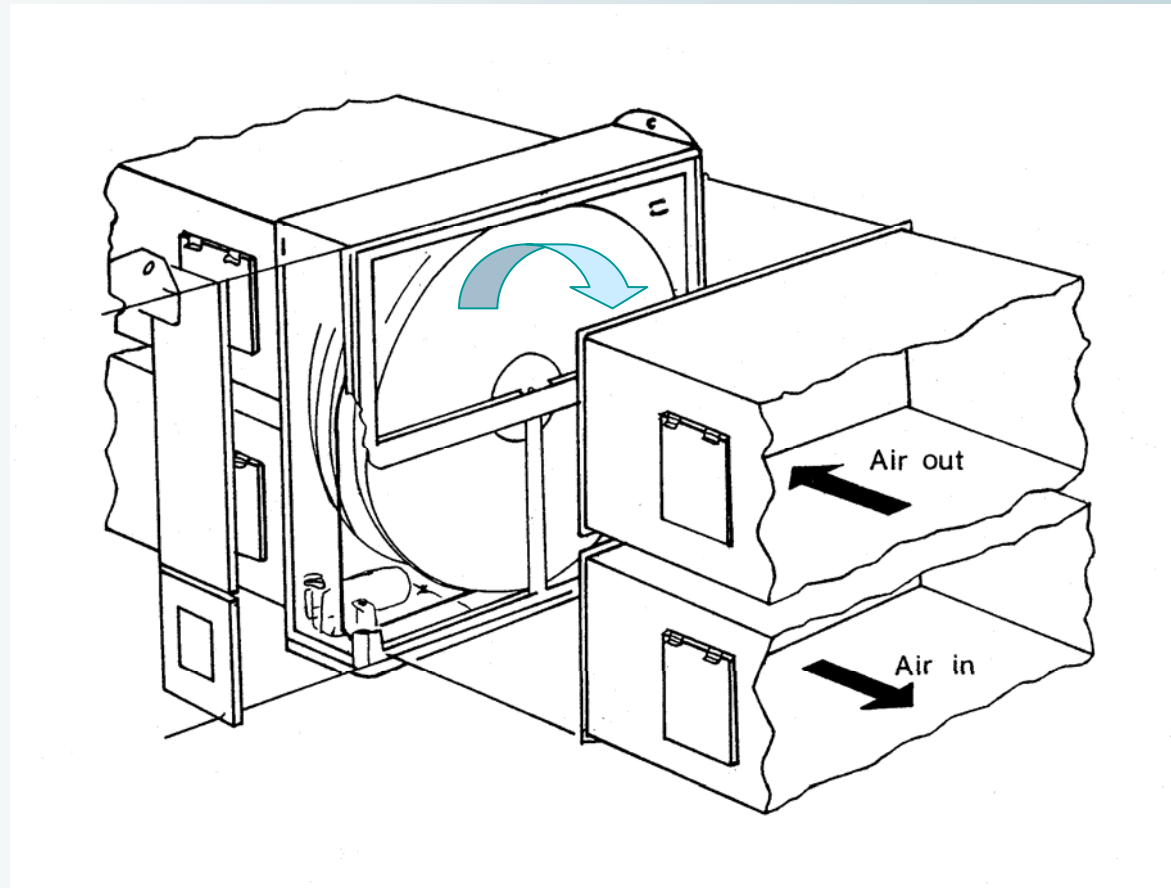
## 1. Pompe à chaleur : cas d'étude







## 2. Cas d'étude : Régénérateur rotatif dans une papeterie



**Avantages :** *Faible encombrement, Bon marché, Faible perte de charge, efficacité = 80 %*

**Inconvénient :** *Non étanche, Mélange des deux gaz*



**UCL**

Université  
catholique  
de Louvain

- **Conditions de fonctionnement :**

- *Besoin pour séchoir à bois : 57 m<sup>3</sup>/s d'air à 65 °C*
- *Chaudière à gaz naturel : 5.6 €/GJ*
- *Rendement chaudière : 0.83*
- *Utilisation : 8064 h/an*

- **Caractéristiques d'un régénérateur rotatif : (3 dispositifs en //)**

- *Rendement : 80 % pour 19 m<sup>3</sup>/s*
- *Prix : 30000 €*
- *Ventilateur : 37 kW*

- **Économie de chaleur par heure :**

$$= 0.80 \times 57 \text{ m}^3/\text{s} \times 1 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 1 \text{ kJ}/\text{kg}^\circ\text{C} \times (65-15) \text{ }^\circ\text{C} \times 3600 \text{ s}/\text{h} \times 10^{-6} \text{ GJ}/\text{kJ} = 8.21 \text{ GJ}/\text{h}$$

- **Économie annuelle :**

$$= 8.21 \text{ GJ}/\text{h} \times 8064 \text{ h}/\text{an} \times 5.6 \text{ €/GJ} / 0.83 = 446143 \text{ €/an}$$





**UCL**

Université  
catholique  
de Louvain

## • Coût de l'investissement :

• <i>3 régénérateurs rotatifs :</i>	90000 €
• <i>3 ventilateurs :</i>	30000 €
• <i>Montage et conduites :</i>	100000 €
• <b>TOTAL :</b>	<b>220000 €</b>

## • Coût d'utilisation annuel :

• <i>Électricité ventilateurs (3 x 37 kW à 0.11 €/kWh):</i>	98461 €/an
• <i>Entretien et maintenance :</i>	1600 €/an
• <b>TOTAL :</b>	<b>100061 €/an</b>

## • Retour d'investissement simple :

$$= 220000 / (446143 - 100061) = 0.67 \text{ an} = 8 \text{ mois}$$

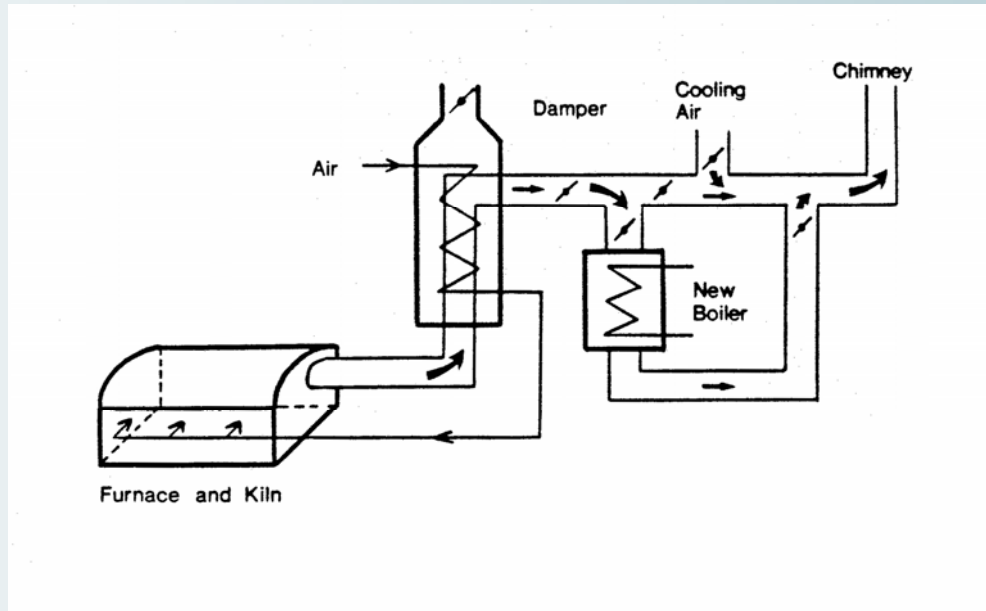
**Projet très rentable**



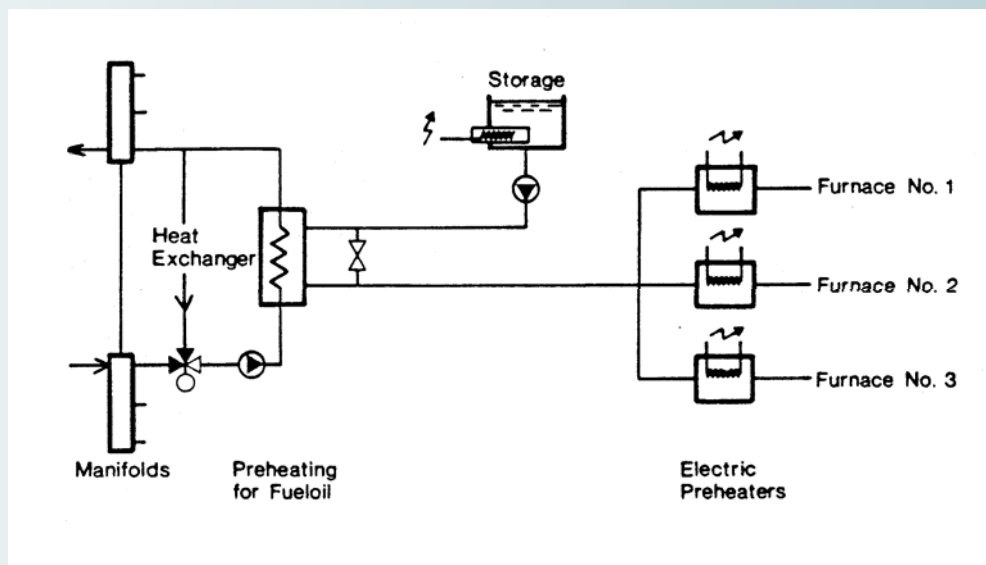


### 3. Valorisation de processus : exemples

#### Chaudière de récupération

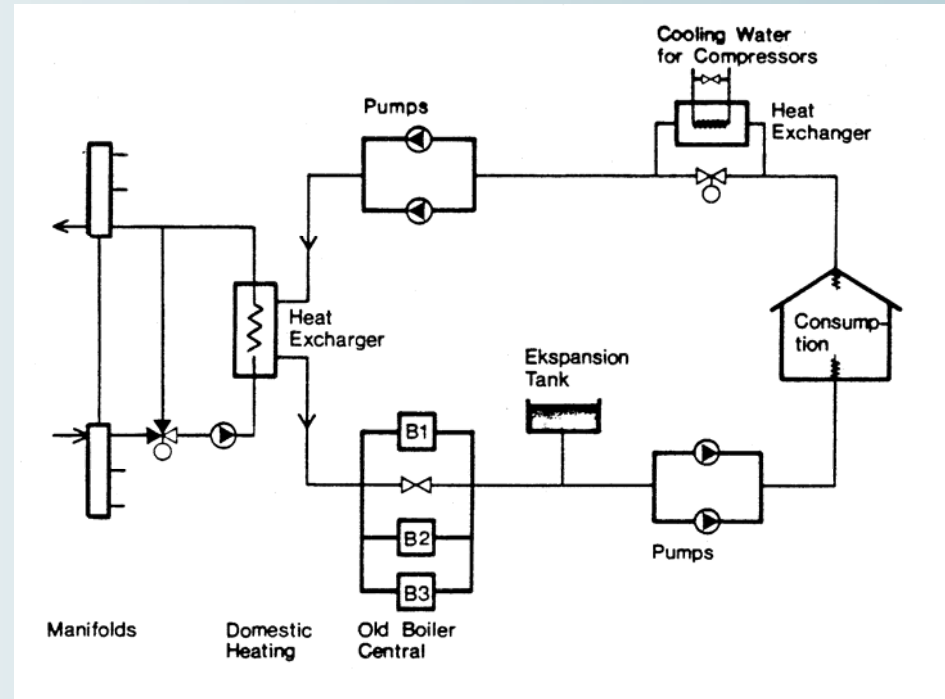


#### Système de préchauffage de fuel

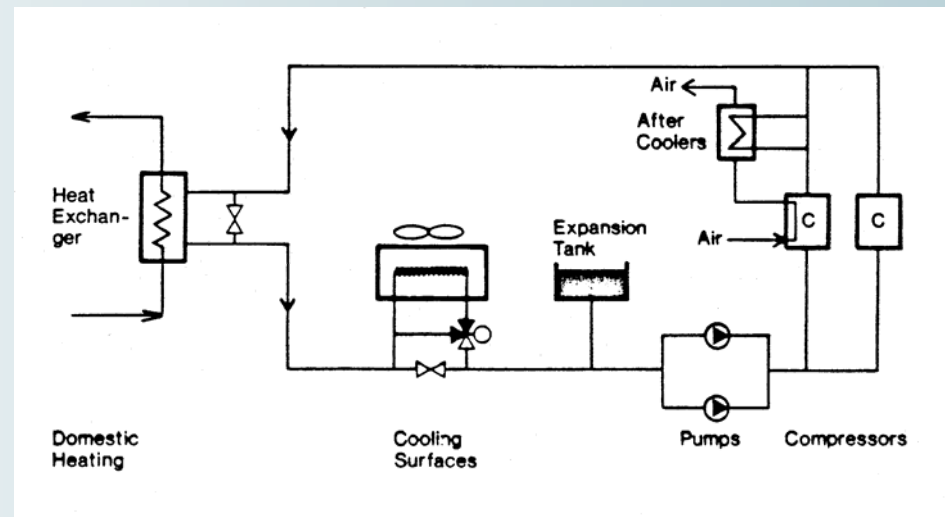




## Chauffage urbain alimenté par une entreprise



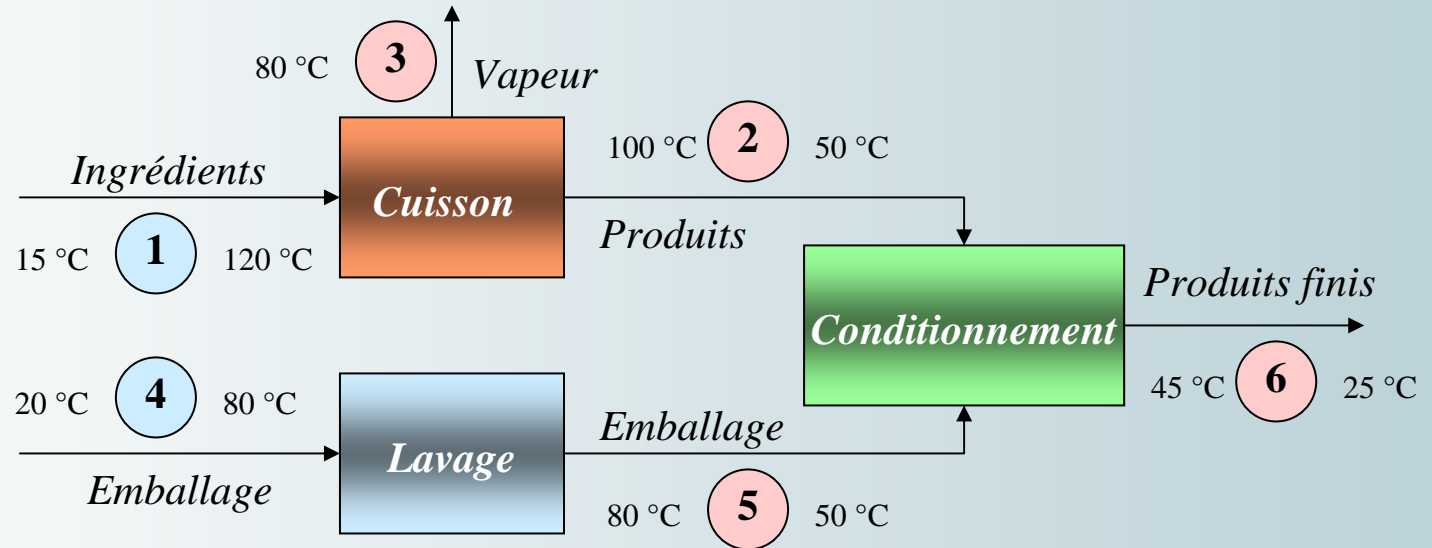
## Récupération de chaleur de compresseurs





## 4. Intégration des process (Process integration) : technique du pincement

### Exemple simple : industrie alimentaire



### Caractéristiques des flux de process

No flux	Type de flux	Tin (°C)	Tout (°C)	Capacité (kW/°C)
1	Froid	15	120	6
2	Chaud	100	50	-5
3	Chaud	80	79	-200
4	Froid	20	80	2
5	Chaud	80	50	-2
6	Chaud	45	20	-6

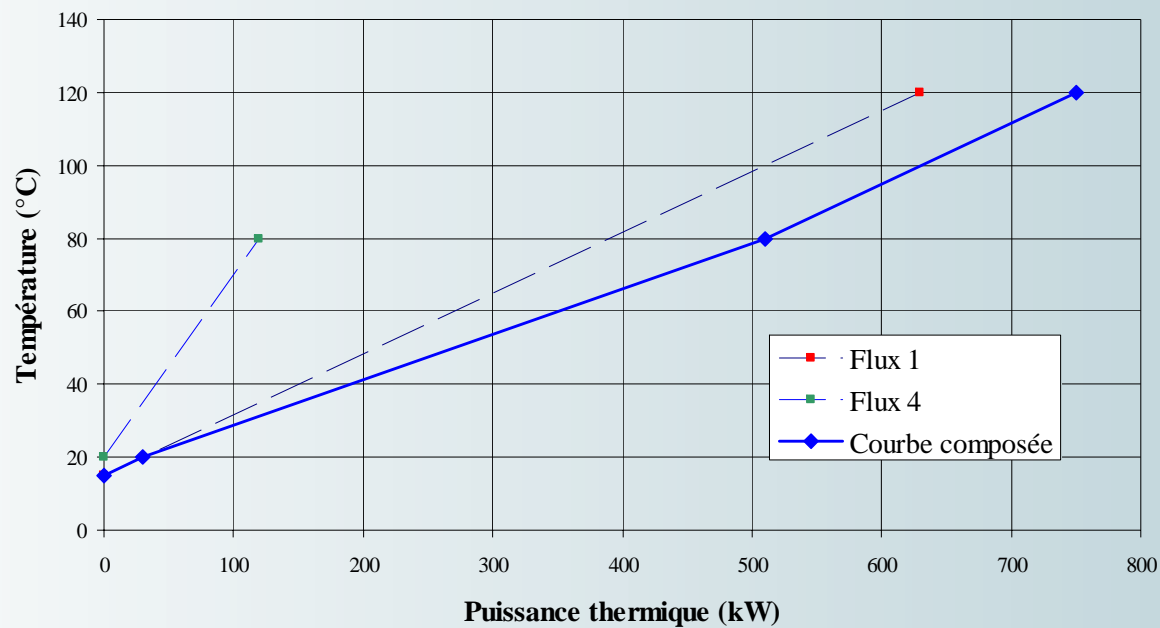




## Courbe composée des flux froids

<i>Chaleur composée</i>	<i>Température</i>	<i>Somme des C</i>	Flux 1	Flux 4
kW	°C	kW/°C	kW/°C	
0	15	6	6	-
30	20	8	6	2
510	80	6	6	
750	120			

**Courbe composée FROID**

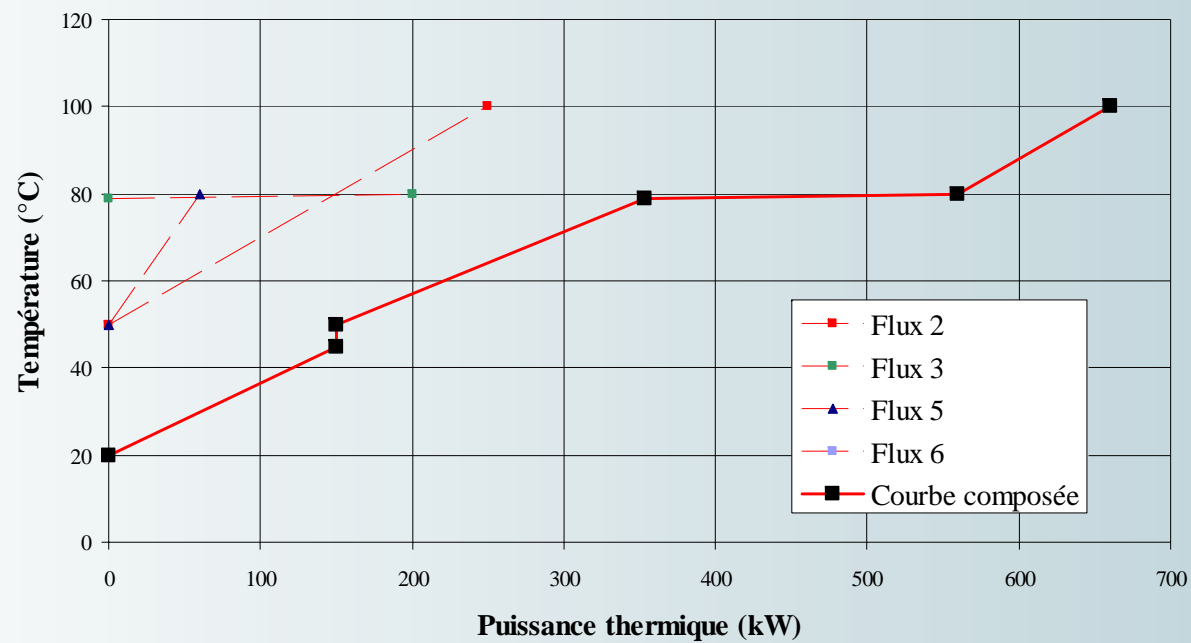




## Courbe composée des flux chauds

<i>Chaleur composée</i>	<i>Température</i>	<i>Somme des C</i>	Flux 2	Flux 3	Flux 5	Flux 6
kW	°C	kW/°C	kW/°C	kW/°C	kW/°C	kW/°C
660	100	-	-	-	-	-
560	80	-5	-5	-	-	-
353	79	-207	-5	-200	-2	-
150	50	-7	-5	-	-2	-
150	45	0	-	-	-	-
0	20	-6	-	-	-	-6

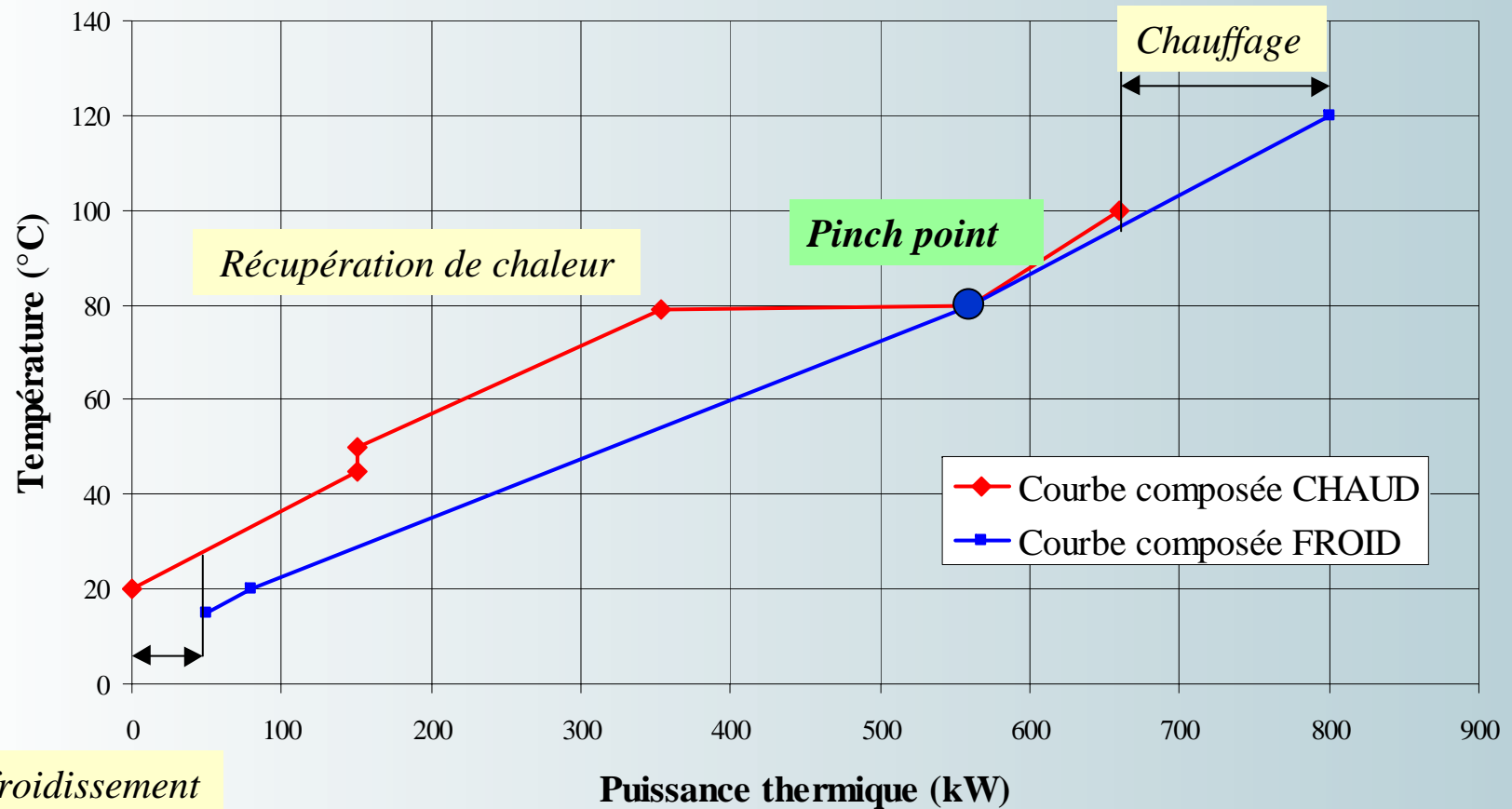
### Courbe composée CHAUD





## Point de pincement de température : “Pinch point”

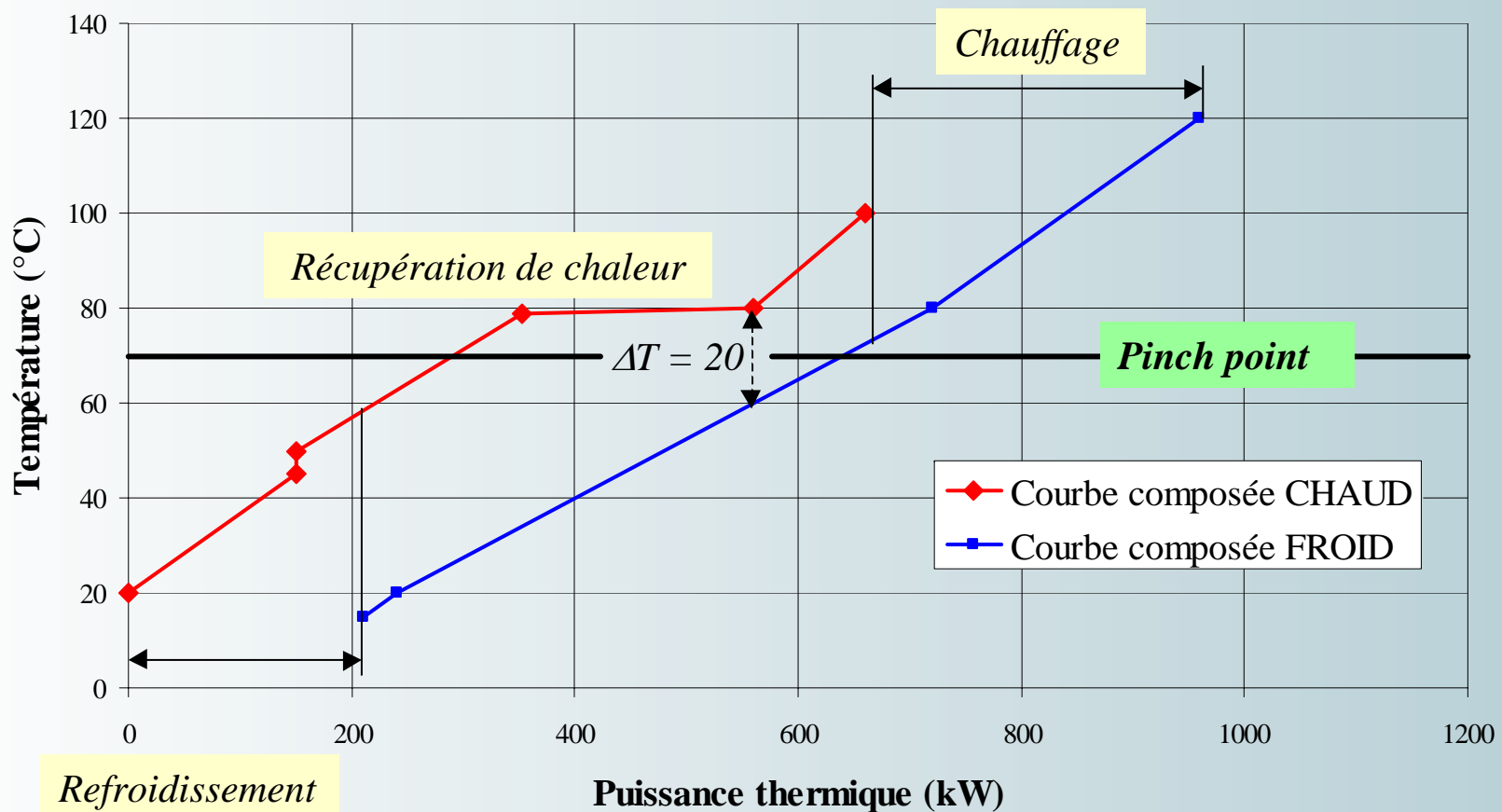
Pinch Point : Différence de température = 0 °C





## Point de pincement de température : "Pinch point"

Pinch Point : Différence de température = 20 °C



## Règles d'or de la "technologie du pincement"

1. Pas de transfert de chaleur à travers le point de pincement.

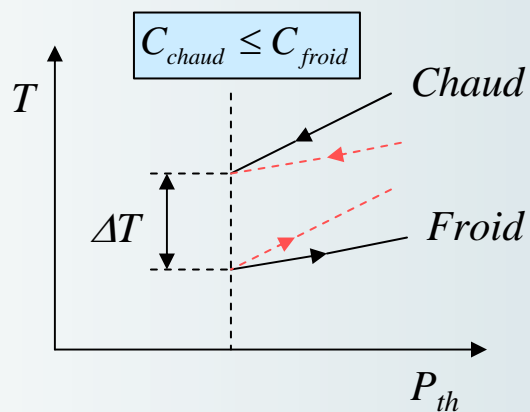
2. Ne pas refroidir au-dessus du point de pincement.

3. Ne pas réchauffer au-dessous du point de pincement.

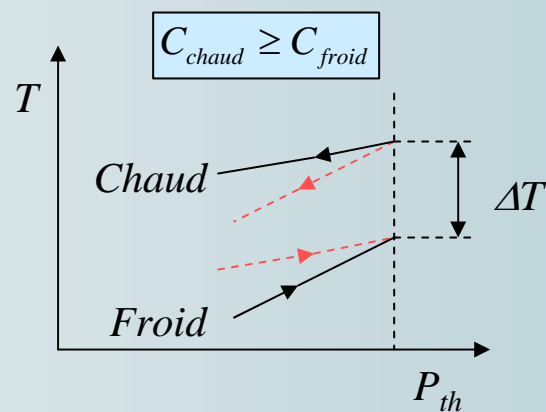
4. Transférer la chaleur à contre-courant.

5. Comment s'éloigner du point de pincement ?

Au-dessus du pincement



Au-dessous du pincement





## Table des températures adaptée en fonction du pincement

Soit un  $\Delta T$  de 20 °C  $\Rightarrow$  + 10 °C pour les flux froids et -10 °C pour les flux chauds

<i>Intervalle de température</i>	<i>Flux 1 kW/°C</i>	<i>Flux 4 kW/°C</i>	<i>Flux 6 kW/°C</i>	<i>Flux 5 kW/°C</i>	<i>Flux 3 kW/°C</i>	<i>Flux 2 kW/°C</i>
130	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>200</b>	<b>2</b>
90	<b>1</b>					
70	<b>2</b>					
69	<b>3</b>					
40	<b>4</b>					
35	<b>5</b>					
30	<b>6</b>					
25	<b>7</b>					
10	<b>8</b>					

Diagram illustrating the temperature intervals and heat fluxes for different streams (Flux 1, Flux 4, Flux 6, Flux 5, Flux 3, Flux 2) across various temperature intervals. The temperature intervals are shown on the y-axis (130, 90, 70, 69, 40, 35, 30, 25, 10 °C). The heat fluxes are shown in kW/°C. Blue arrows indicate cold fluxes (Flux 1, Flux 4, Flux 6) and red arrows indicate hot fluxes (Flux 5, Flux 3, Flux 2). The values are: Flux 1: 120, 15; Flux 4: 80, 20; Flux 6: 45, 20; Flux 5: 100, 50; Flux 3: 80, 79; Flux 2: 80, 50.

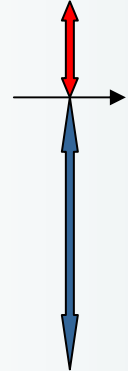


## Identification des besoins en chaleur et en froid

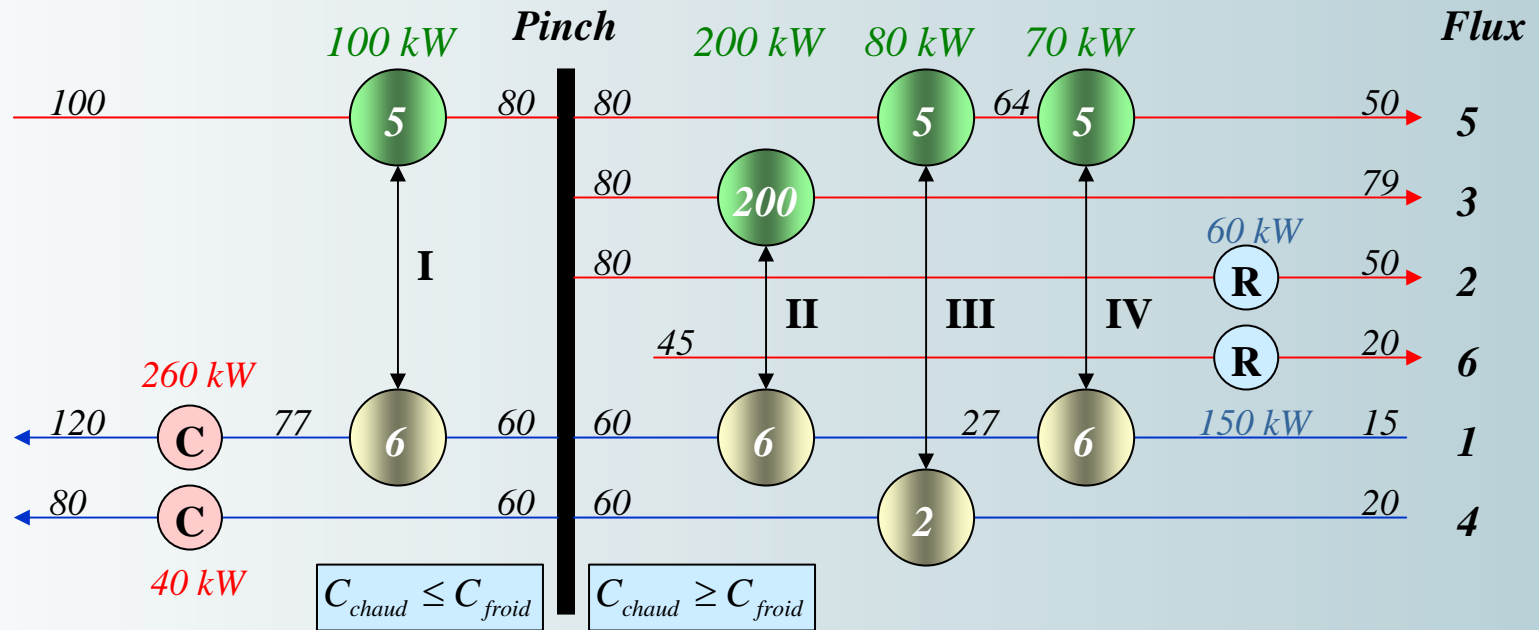
Intervalle	Température °C	$\Delta T$ °C	Flux	$C_{froid} - C_{chaud}$ kW/°C	$P_{therm}$ kW	Status
1	130 - 90	40	1	6-0=6	+240	Déficit
2	90 - 70	20	1 4 5	8-5=3	+60	Déficit
3	70 - 69	1	1 4 5 3 2	8-207=-199	-199	Surplus
4	69 - 40	29	1 4 5 2	8-7=1	+29	Déficit
5	40 - 35	5	1 4	8-0=8	+40	Déficit
6	35 - 30	5	1 4 6	8-6=2	+10	Déficit
7	30 - 25	5	1 6	6-6=0	0	-
8	25 - 10	15	6	0-6=-6	-90	Surplus

300 kW

Pinch



210 kW





## Flow Sheet de l'installation

