



# COMPRESSEURS D'AIR





**giz** Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



## Plan

- ▶ Notions de base
- ▶ Rendement des compresseurs
- ▶ Appareillage
- ▶ Possibilités d'économie d'énergie



**giz** Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



- Types de compresseurs
- Fonctionnement des compresseurs
- Performances des compresseurs

## **NOTIONS DE BASE**



**giz** Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



# Le compresseur

## ► But:

- Fournir la quantité d'air pressurisé requis pour générer la puissance désirée avec une quantité de travail minimum

## ► Type:

- Axial
- Centrifuge
- Mixte



giz Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



# Les machines de compression

- ▶ Si le fluide est un gaz, on parlera suivant le débit, le rapport de compression et le principe d'interaction entre fluide et l'organe moteur,
  - d'un ventilateur
    - d'une soufflante
    - d'un compresseur volumétrique
    - d'un turbocompresseur

## ▶ Ventilateurs

$$p_2 / p_1 = 1 \dots 1.05 \dots 1.10$$

## ▶ Soufflantes

$$p_2 / p_1 = 1.1 \dots 2.0$$

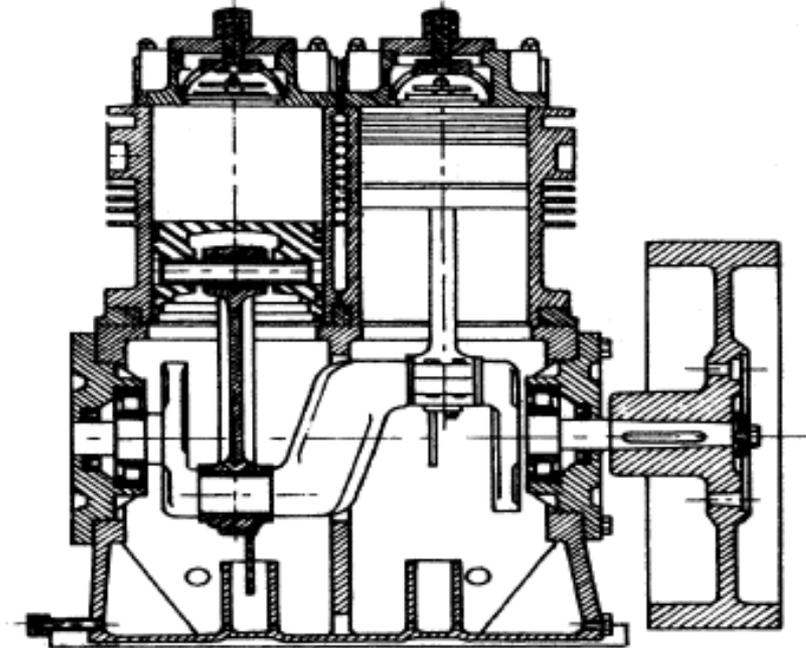
## ▶ Compresseurs

$$p_2 / p_1 = 2.0 \dots 20 \quad \text{basses pressions}$$

$$p_2 / p_1 = 20 \dots 100 \quad \text{hautes pressions}$$

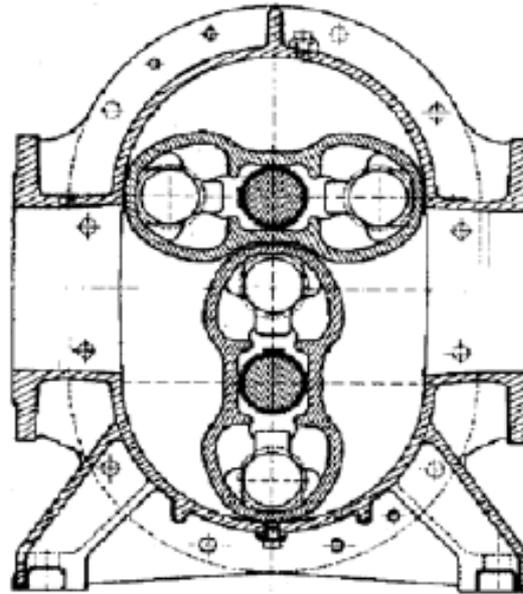
$$p_2 / p_1 = 100 \dots 2000 \quad \text{hypercompresseurs}$$

## Compresseur à piston



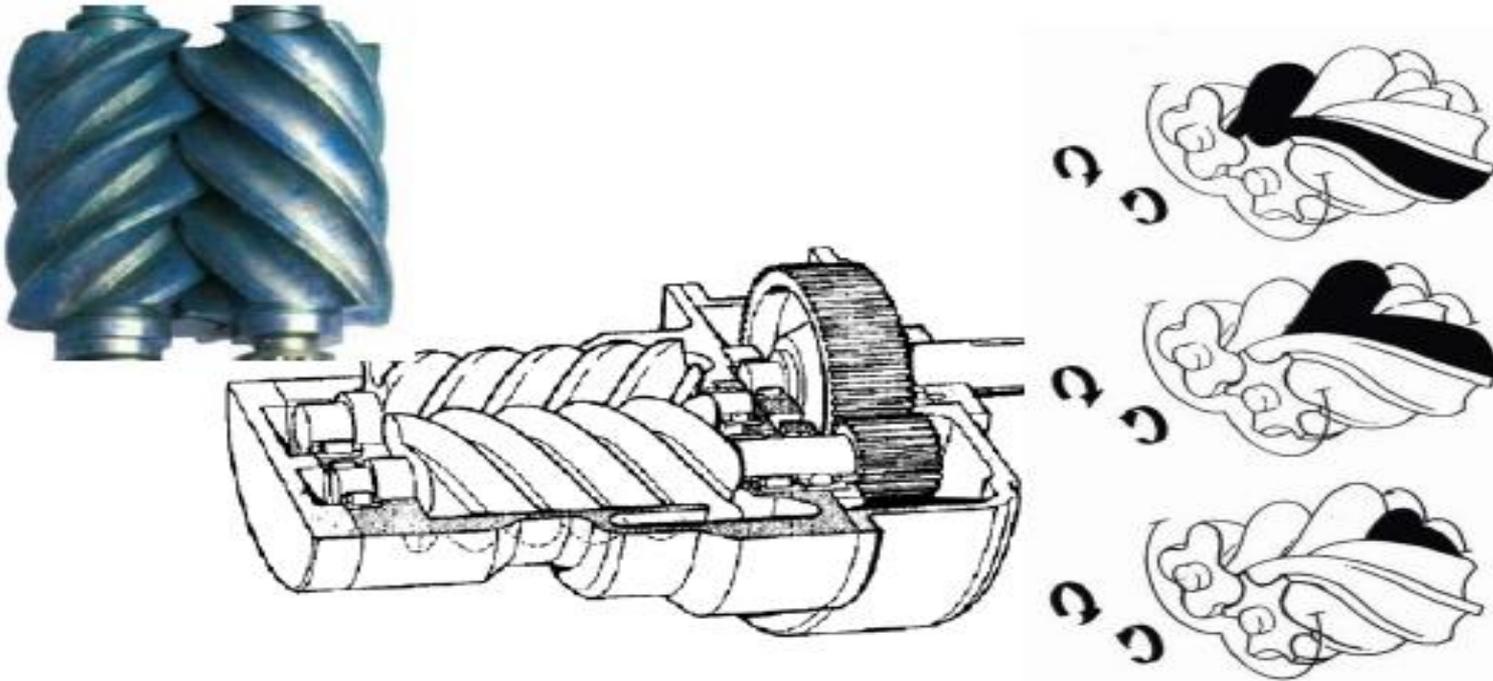
- ▶ Type : compresseur volumétrique alternatif
- ▶ Débit : faible
- ▶ Rapport de compression : élevé

## Compresseur Roots



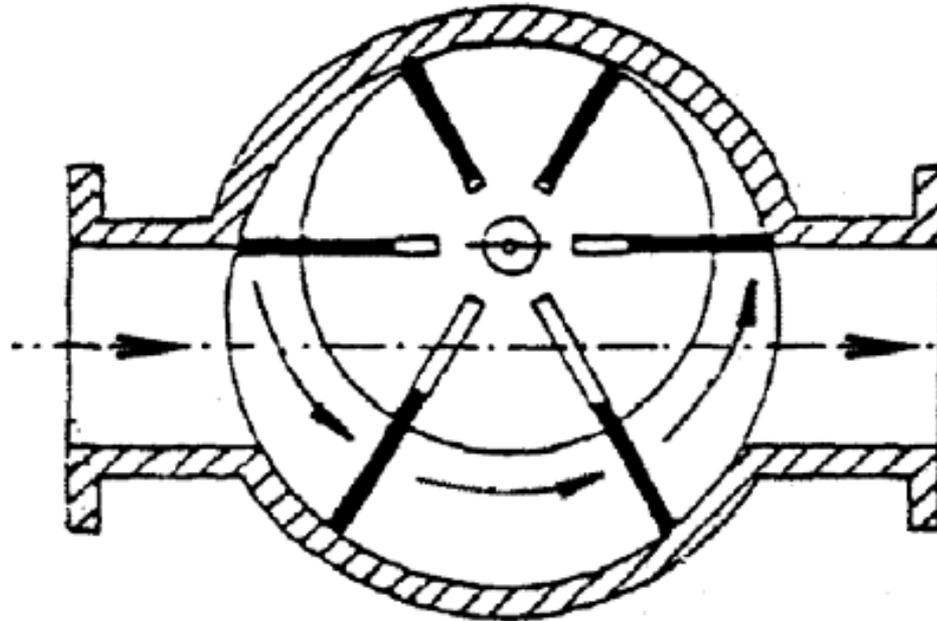
- ▶ Type : compresseur volumétrique rotatif (soufflante)
- ▶ Débit : faible
- ▶ Rapport de compression : faible\*

# Compresseur à vis



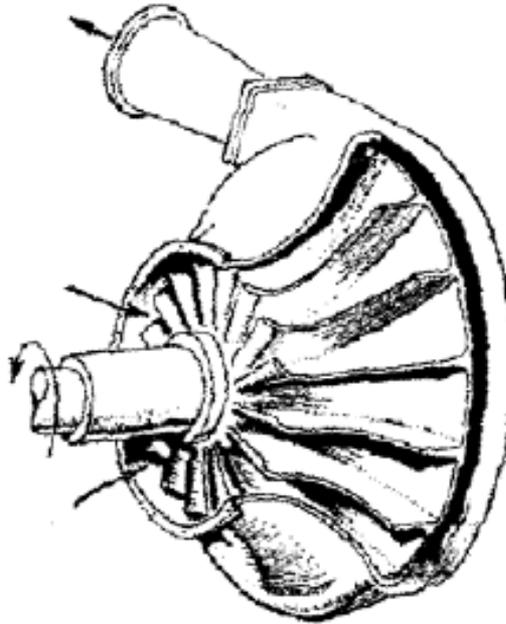
- ▶ Type : compresseur volumétrique rotatif (soufflante)
- ▶ Débit : faible
- ▶ Rapport de compression : faible

# Compresseur à palette



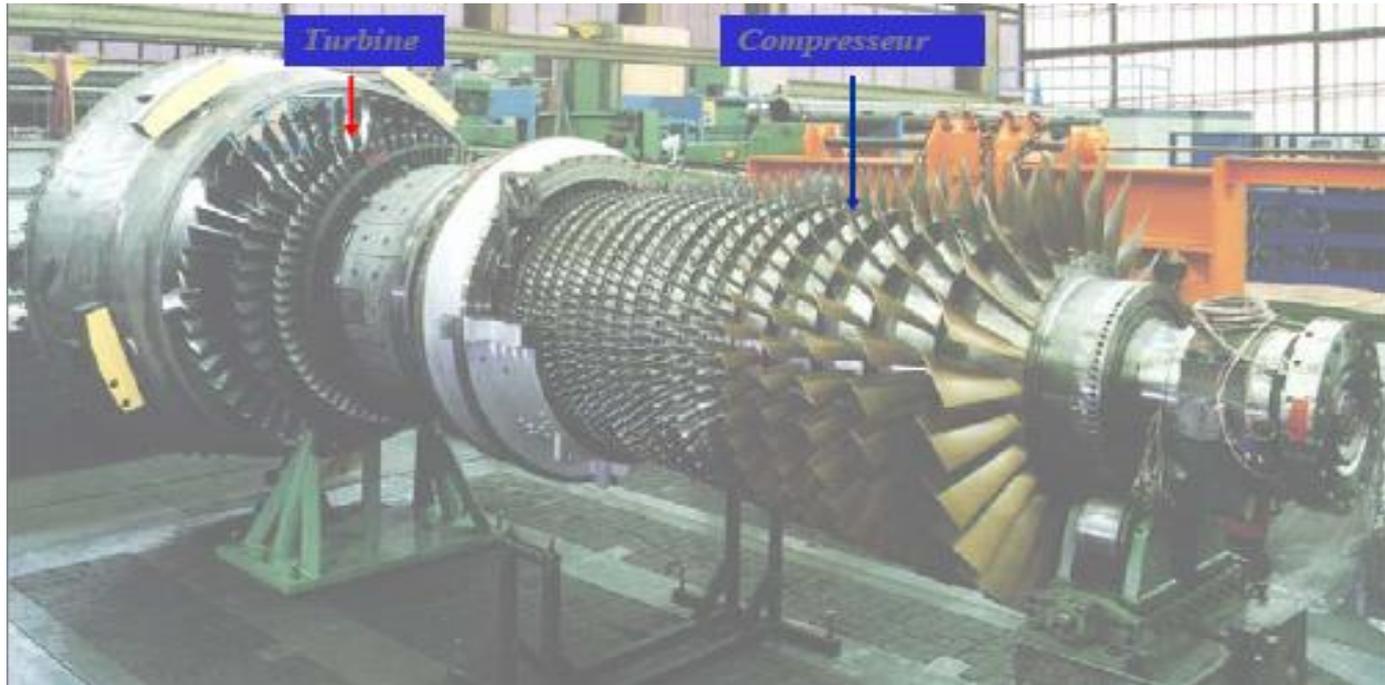
- ▶ Type : compresseur volumétrique rotatif (soufflante)
- ▶ Débit : faible
- ▶ Rapport de compression : faible\*

# Compresseur centrifuge



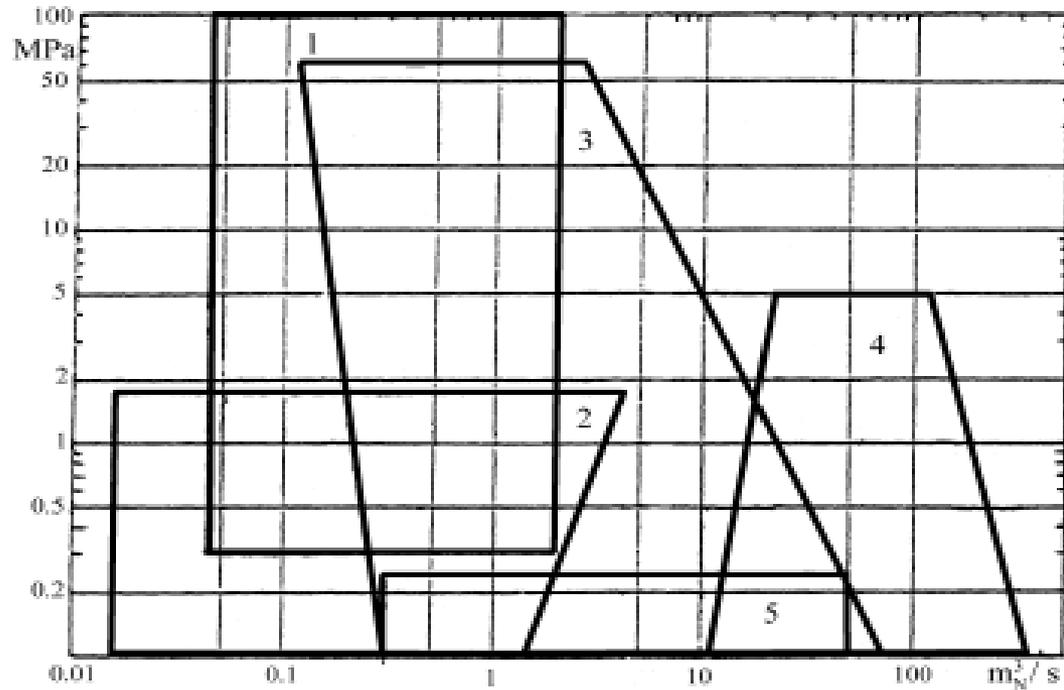
- ▶ Type : compresseur rotatif radial ou turbocompresseur radial
- ▶ Débit : moyen
- ▶ Rapport de compression : élevé

# Compresseur axial



- ▶ Type : compresseur rotatif axial ou turbocompresseur axial
- ▶ Débit : élevé
- ▶ Rapport de compression : moyen

# Domaines d'utilisations



1 compresseurs a piston

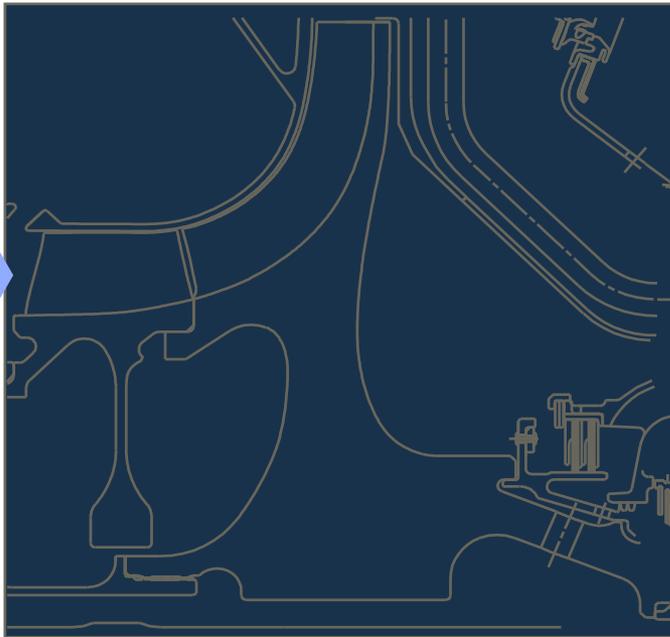
3 compresseurs centrifuges

2 compresseurs volumetriques rotatifs

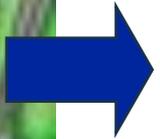
4 compresseurs axiaux

5 turbosoufflantes

# Le compresseur



Centrifuge



Axial



**giz** Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



**BUREAU  
VERITAS**

# Fonctionnement

- ▶ Lois des gaz parfaits
- ▶ Performance
- ▶ Conditions à l'aspiration

# Lois des gaz parfaits

$$\frac{P1.V1}{T1} = \frac{P2.V2}{T2}$$

- ▶ P1,P2: Pression initiale et corrigée (kPa abs)
- ▶ V1,V2: Volume initiale et corrigé (l)
- ▶ T1,T2: Température initiale et corrigée (K)

# Volume d'air libre équivalent (Vale)

$$Vale = \frac{P1.V1.293,15}{T1.101,325}$$

- Conditions normales: T=20° C,  
P=101.325 kPa (abs)

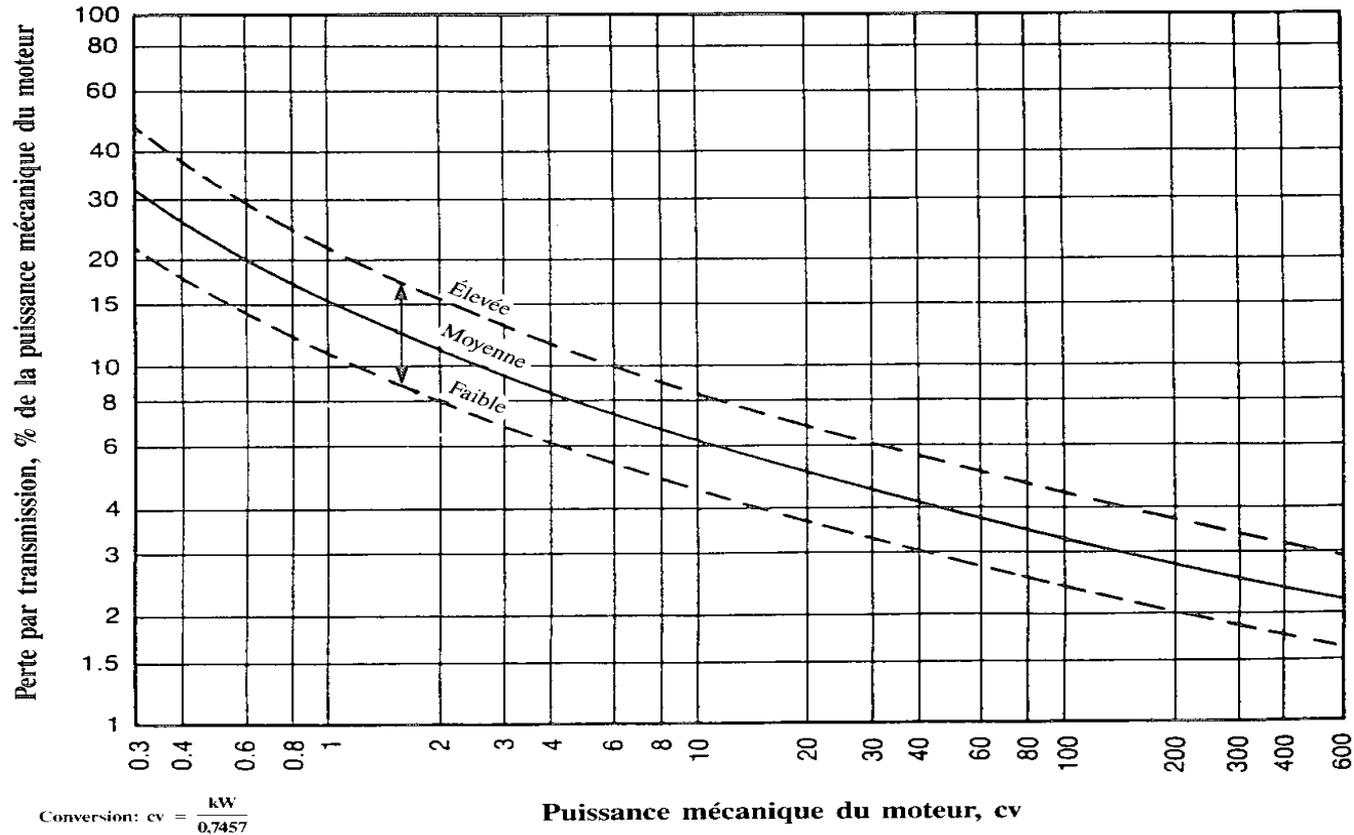


# Rendement d'entraînement

$$E_{fd} = \frac{1 - \text{perte.par.transmission}}{100}$$

- ▶ Compresseur sans couplage:  $E_{fd}=1$

# Evaluation de la perte par transmission



## Puissance d'entrée de l'arbre du compresseur

$$W_{ci} = W_{mo} \cdot E_{fd}$$

- ▶  $W_{ci}$  : Puissance d'entrée à l'arbre du compresseur (kW)
- ▶  $W_{mo}$  : Puissance de sortie de l'arbre du moteur (kW)
- ▶  $E_{fd}$  : Rendement de l'entraînement (décimales)

# Rendement du compresseur

$$E_{fc} = \frac{W_c}{W_{ci}} \cdot 100$$

- ▶  $E_{fc}$  : Rendement du compresseur (%)
- ▶  $W_c$  : Puissance de compression idéale (kW)
- ▶  $W_{ci}$  : Puissance d'entrée à l'arbre du compresseur (kW)

# Puissance de compression idéale

$$W_c = 0,0043 \cdot P_i \cdot f_{as} \cdot N \cdot \left[ \left( \frac{P_d}{P_i} \right)^{\frac{0.231}{N}} - 1 \right]$$

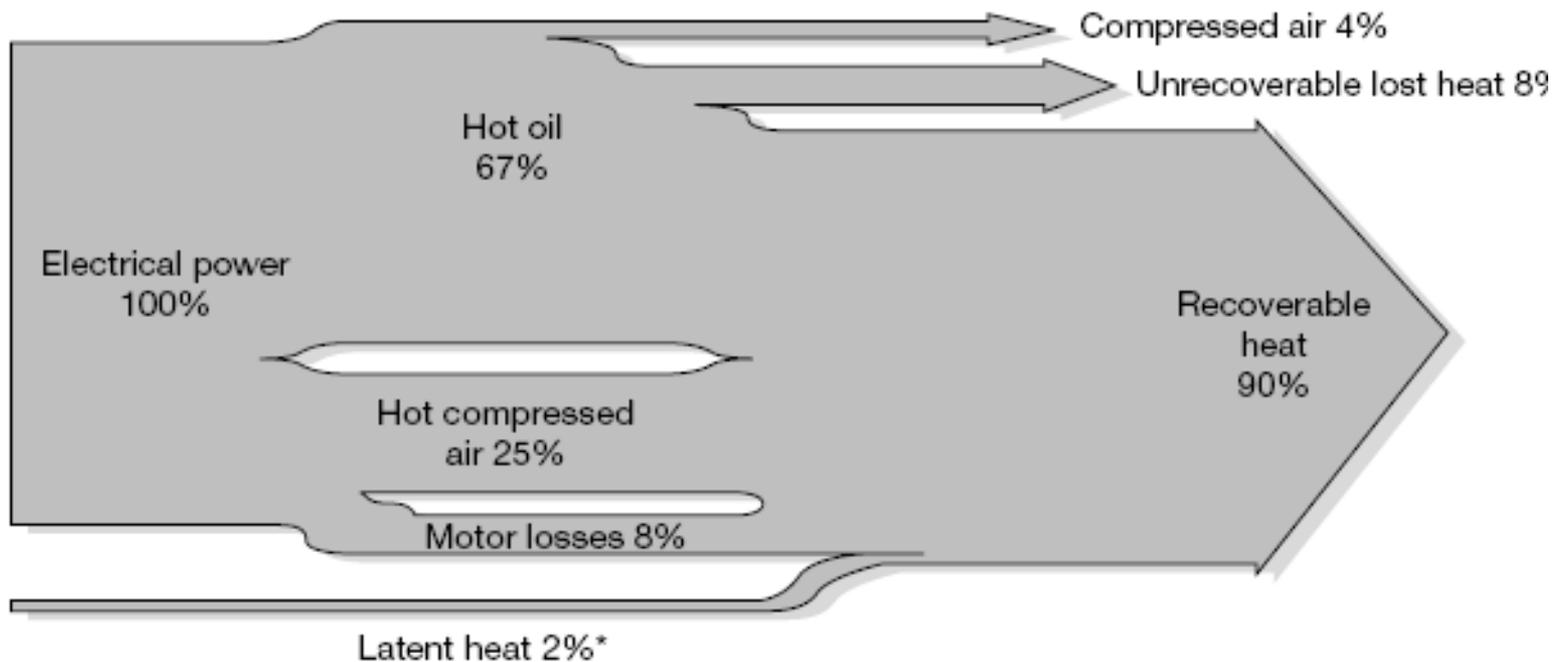
- ▶  $P_i$ : Pression d'aspiration (kPa abs)
- ▶  $P_d$ : Pression de refoulement (kPa abs)
- ▶  $f_{as}$ : Débit d'air libre équivalent (l)
- ▶  $N$ : Nombre d'étages

# Coûts d'exploitation et économies

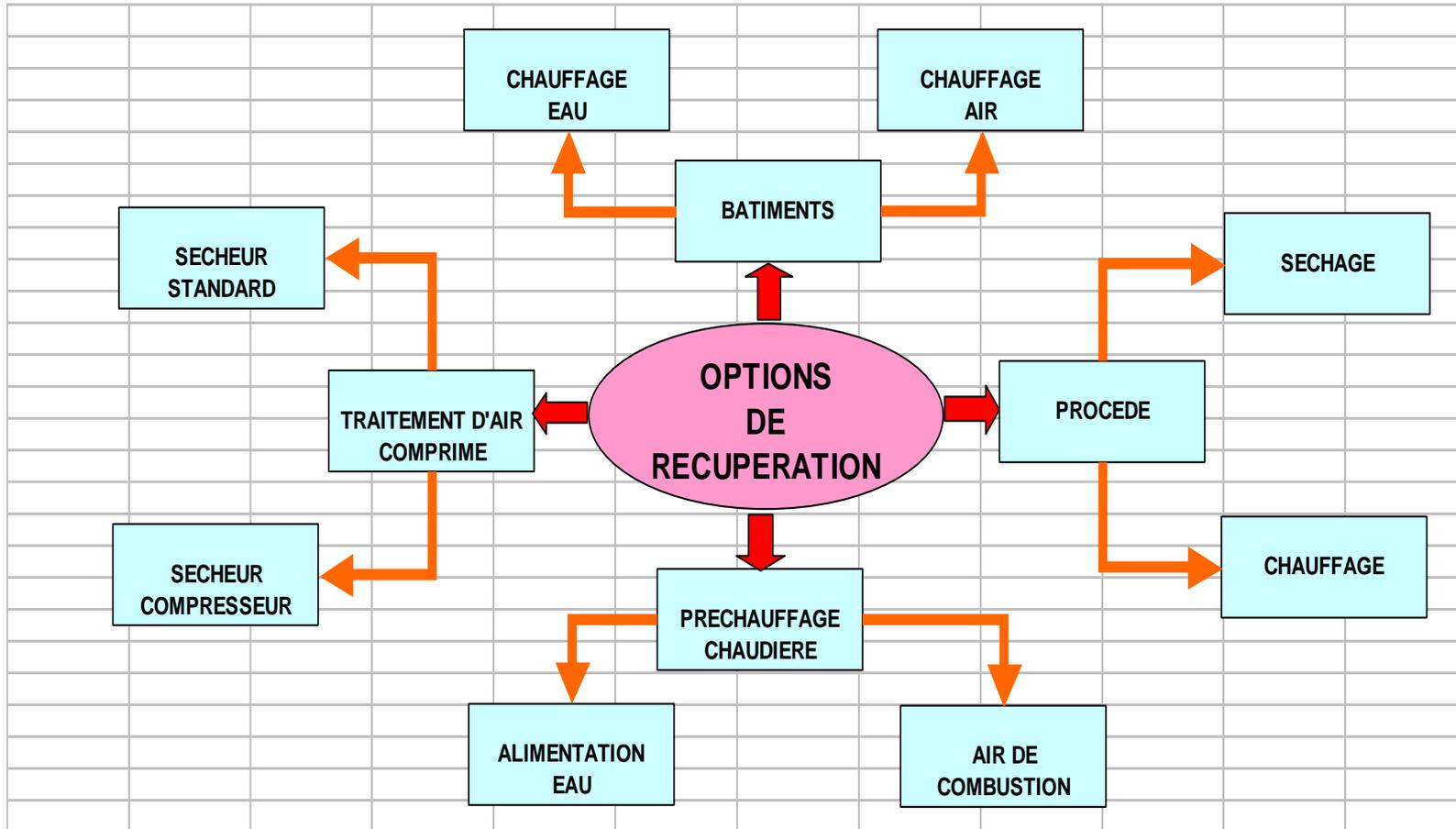
$$\text{Cout.énergétique.annuel} = W_{mi}.C_e.h$$

- ▶  $W_{mi}$  : Puissance d'entrée du moteur (kW)
- ▶  $C_e$  : Coût unitaire de l'électricité (Dh/kWh)
- ▶  $h$  : Durée de fonctionnement (h/an)

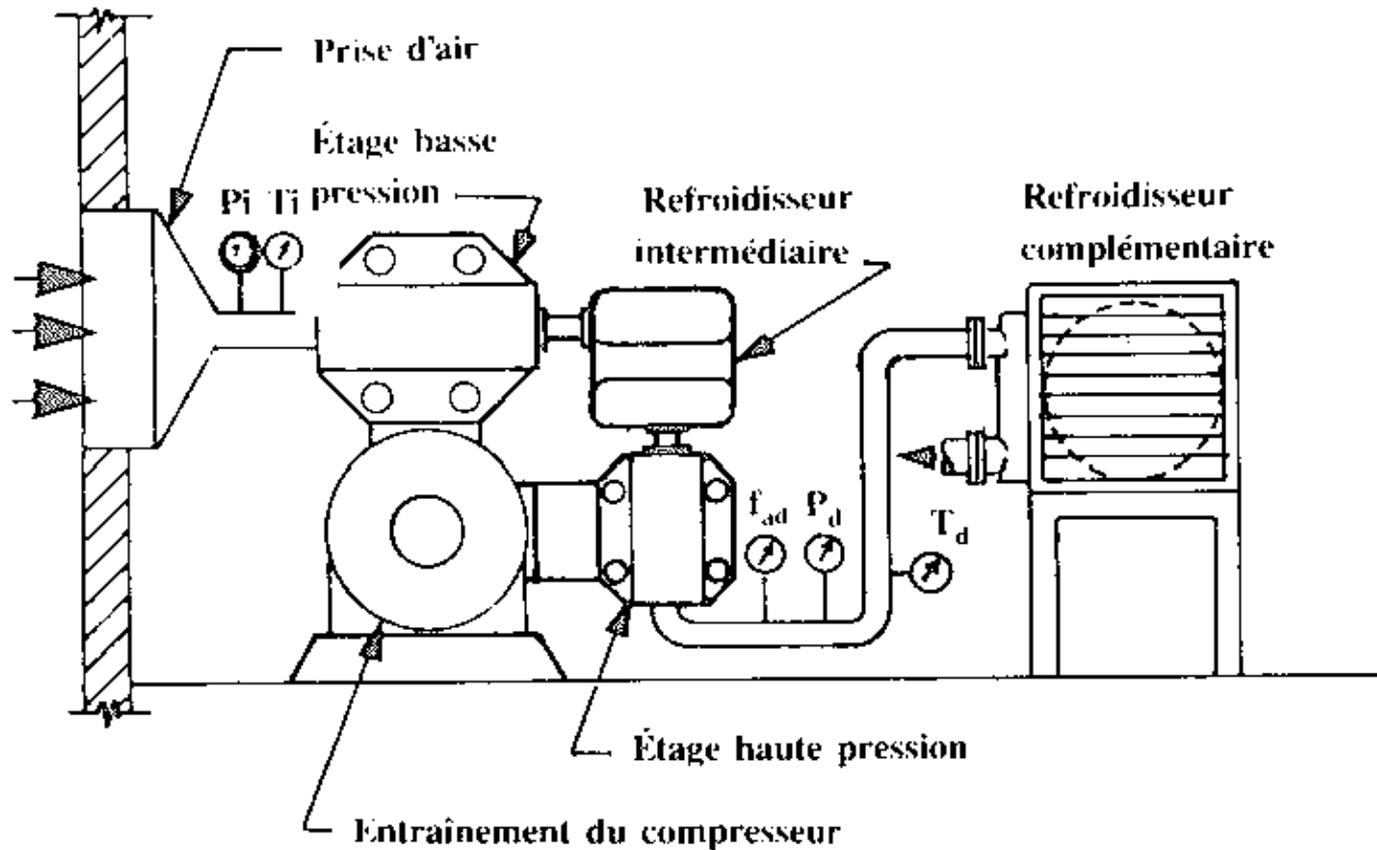
# Flux énergie: Compresseur à vis



# Récupération de chaleur



# Récupération d'énergie



Emplacement des composants d'un compresseur



## Quantité type d'énergie d'entrée consommée par les composants du compresseur

Efficacité d'échange thermique (en décimales)  
(quantité d'énergie récupérable)

Composants	Fluide refroidisseur	
	Air	Eau
Moteur électrique	0,08	—
Refroidisseur intermédiaire	0,45	0,44
Refroidisseur complémentaire	0,45	0,44
Compresseur refroidi à l'air	0,05	—
Compresseur refroidi à l'eau	0,01	0,04
Compresseur refroidi à l'air et refroidisseur intermédiaire refroidi à l'eau	0,03	0,44
Compresseur et refroidisseur intermédiaire refroidis à l'air	0,50	—



- ▶ Compresseur refroidi à air: chauffer l'air jusqu'à **80°** C.
- ▶ Compresseur refroidi à l'eau: chauffer l'eau jusqu'à **95°** C.

Economie d'énergie significative



# ENERGIE DISPONIBLE COMPRESSEURS A VIS

CAPACITE l/s	PUISSANCE NOMINALE Kw	AIR DE REFROIDISSEMENT l/s	CHALEUR DISPONIBLE Kw	EQUIVALENT FUEL DHS/AN (2876 Dhs/tonne)		EQUIVALENT ELECTR DHS/AN (0.75 Dhs/kWh)	
				48 h/sem	168 h/sem	48 h/sem	168 h/sem
40	15	450	12.7	8167	28585	23774	83210
60	22	810	21	13505	47266	39312	137592
159	55	1600	53.5	34404	120416	100152	350532
314	110	3700	107	68809	240831	200304	701064
450	160	5600	157	100963	353369	293904	1028664
585	200	8900	197	126685	443399	368784	1290744
725	250	8900	246	158196	553686	460512	1611792

# ANALYSE ENERGETIQUE D'UN COMPRESSEUR

	UNITE	VALEUR	
<b>PLAQUE SIGNALÉTIQUE</b>			
Nombre d'étages		2	
Tension nominale	V	575	
Intensité nominale à pleine charge	A	177	
Phases		3	
Puissance nominale	kW	147	
Facteur de puissance à pleine charge		0.91	
<b>MESURES</b>			
Tension mesurée	V	579	
Intensité mesurée	A	178	
Facteur de puissance mesuré		0.91	
Pression d'aspiration	kPa abs	96.725	
Pression de refoulement	kPa abs	792.325	
Débit d'air à la pression de refoulement	l/s	81.9	
Température d'aspiration	K	10.3	
Température de refoulement	K	99.7	
Durée de fonctionnement	h/an	2000	
Coût moyen de l'électricité	Dhs/kWh	0.75	
Débit d'air libre équivalent	l/s	504	
Puissance de compression idéale	kW	116	
Rapport de charge		1.01	surcharge moteur
Rendement moteur		0.92	Tables
Puissance sortie moteur	kW	149	
Rendement entraînement		0.97	Tables
Puissance entrée arbre compresseur	kW	145	
Rendement du moteur	%	80	



**giz** Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



# Appareillage



**giz** Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



# Réservoirs d'air

- ▶ Très utile lorsque la demande en air n'est pas cte et où le compresseur n'est pas utilisé à son maximum en tout temps.
- ▶ Amortit le coup de bélier
- ▶ Assure un refroidissement partiel
- ▶ Piège l'eau et l'huile



# Réglage des compresseurs

- ▶ Trois méthodes de réglage:
  - Le réglage à vitesse constante (circuit de décharge)
  - Le réglage par arrêt et départ (manostat)
  - Le réglage à double action

## Refroidisseurs intermédiaire et complémentaire

- ▶ Intermédiaire: la T de l'air et le rendement des étages suivants.
- ▶ Complémentaire: la T de l'air et l'humidité de l'air



## Possibilités de gestion de l'Energie

- Amélioration de coût modique
- Rénovation
- Maintenance

## Maintenance

- ▶ Vérifier les fuites des systèmes pneumatiques
- ▶ Vérifier le fonctionnement des refroidisseurs et nettoyer les surfaces d'échange
- ▶ Alimenter les compresseurs avec l'air le plus froid possible
- ▶ Mettre en place d'un programme d'inspection et d'entretien
- ▶ Vérifier et régler les entraînements (courroies , poulies, couplage etc...)
- ▶ Arrêter les compresseurs (absence de besoins)



**giz** Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



# Application: arrêt des compresseurs

- ▶ Un compresseur de 75 kW fonctionne 12 h/jour, 250 jours/an. On a décidé d'arrêter le compresseur 1 h/j (pas de besoin). Quelle est l'économie annuelle qui en résulte?

# Economie annuelle

Tension mesurée	V	575
Intensité mesurée	A	23
Constante de phase		1.73
Facteur de puissance mesuré		0.71
Cout unitaire de l'électricité	Dh/kWh	0.75
Durée de fonctionnement (réduction)	h	250
Puissance d'entrée électrique	kW	16.2
Economie annuelle	Dh/an	<b>3046</b>

# Coût modique

- ▶ Relocaliser les prises d'air
- ▶ Installer des filtres à faible perte de charge
- ▶ Arrêt des compresseurs

# Relocaliser les prises d'air

Température entrée initiale	°C	25
Température entrée corrigée	°C	12
Puissance d'entrée initiale du moteur	kW	164
Cout unitaire électricité	Dhs/kWh	0.75
Durée de fonctionnement	h	4000
Puissance d'entrée corrigée	kW	157
Economie anuelle	Dhs/an	21810

## Installer des filtres à faible perte de charge

- ▶ La pression d'utilisation d'un compresseur rotatif à vis ayant un débit de 250 l/s est de 860 kPa eff.
- ▶ Pertes de charge du filtre = 3kPa
- ▶ Pression d'aspiration = 98,325 kPa abs
- ▶ Changement de filtre  $D_p = 1$  kPa
- ▶ Pression d'aspiration corrigée = 100,325 kPa abs
- ▶ Mesures: 580 V, 141 A, Cos phi 0,88, 3 phases.
- ▶ Durée de fonctionnement: 4022 h/an
- ▶ Période de rentabilité et gains ?



## Installer des filtres à faible perte de charge

Durée de fonctionnement	h/an	4022
Tension mesurée	V	580
Intensité mesurée	A	141
Constante de phase		1.73
Facteur de puissance mesuré		0.88
Puissance d'entrée électrique	kW	125
Pression d'entrée initiale	kPa (abs)	98.325
Pression d'entrée corrigée	kPa (abs)	100.325
Pression d'échappement	kPa (abs)	961.325
Facteur de pression d'entrée initial		0.693
Facteur de pression d'entrée corrigé		0.685
Puissance d'entrée corrigée	kW	123
Economie annuelle	Dhs/an	<b>3267</b>



# Rénovation

- ▶ Installer un système de récupération de chaleur
- ▶ Remplacer les compresseurs par des turbo souffleurs
- ▶ Remplacer les compresseurs à 1 étage par des compresseurs bi étagés.
- ▶ Installer un VEV
- ▶ Délocaliser les compresseurs
- ▶ Installer un système de gestion d'énergie

# Installer un VEV



## Récupérer la chaleur de l'eau de refroidissement

- ▶ Compresseur refroidi à l'eau. L'eau était rejetée.
- ▶ Récupérer l'eau pour les besoins de procédé.
- ▶ Données recueillies:
  - ▶ Moteur: 450 kW, 3 phases, 2300 V, 127 A, Cos Phi 0,92  
rendement 0,95
  - ▶ Mesures: 2334 V, 121 A, Cos phi 0,92
  - ▶ Cout combustible: 0,75 Dh/kWh
  - ▶ Fonctionnement: 4480 h/an
- ▶ **Rentabilité et gain ?**