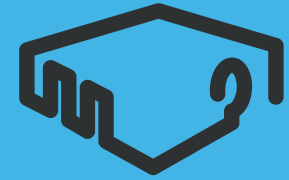


# Technique de l'entraînement électronique

Démarrateur électronique et variateur de fréquence

Couple de rotation variable et rendement d'énergie

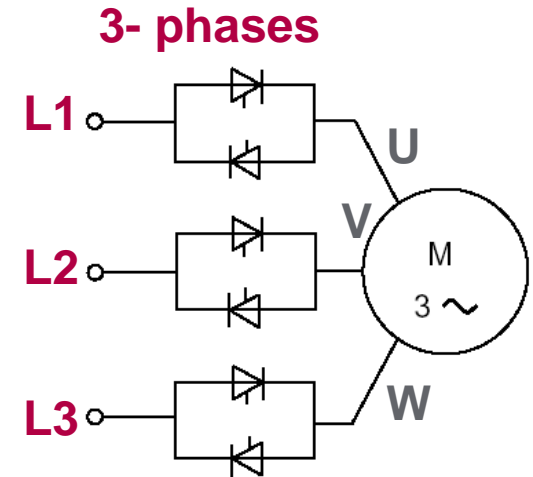
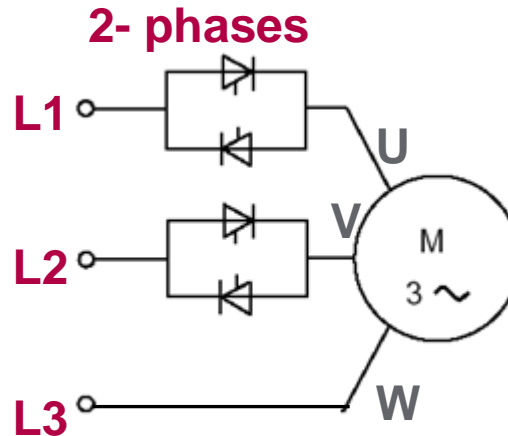
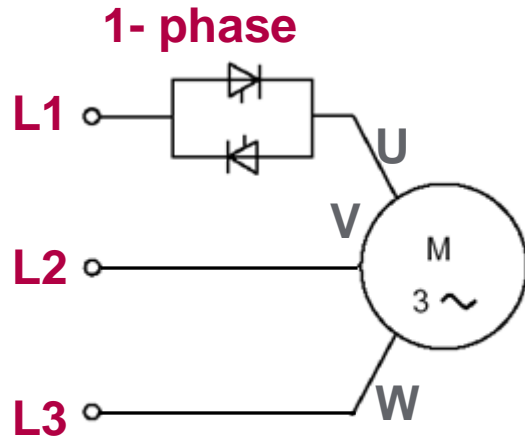
# Démarrateur électronique



Principe de fonctionnement  
Schémas

# Démarrateur électronique Technologie

- Gestion du moteur asynchrone



+ Petite taille  
+ Coût réduit

- Pas de protection thermique  
- Pas de limitation de courant  
- Charge asymétrique

+ Petite taille  
+ Coût réduit

- Pas de protection thermique  
- Mauvaise limitation de courant  
- Charge asymétrique

+ Meilleur contrôle de démarrage  
+ Limitation de courant efficace  
+ Charges symétriques  
+ Robuste et fiable  
+ Freinage du moteur  
+ classe de démarrage jusqu'à CI 30

# Démarrateur électronique

- Le démarrage électronique remplace:

- Démarrage directe, étoile triangle, moteur shunt, moteur à bagues...

Limitation du courant de démarrage à 3-4 fois le courant nominal moteur, grâce à l'élévation régulière de la tension moteur ou du couple, breveté télé-mécanique sur ATS 480

- Les avantages du démarrage électronique

- Supprime les à coups mécaniques, ainsi que les coups de béliers
- Supprime les pointes de courants
- Plus besoin de tirer 7 files au moteur ( diminutions des coûts)

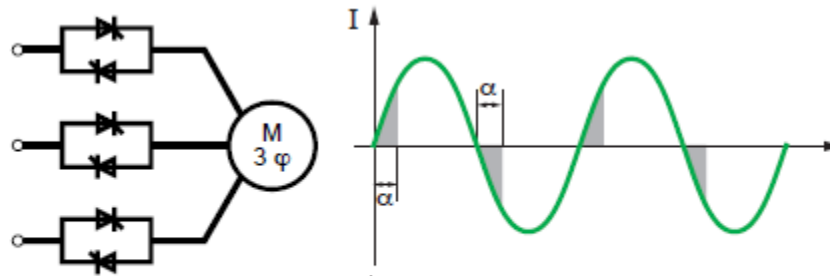
- inconvénients:

- Il n'est pas possible de varier la vitesse du moteur,

# Démarrateur électronique

## Gradateur de tension pour le démarrage des moteurs asynchrones

Il fournit, à partir d'un réseau alternatif, un courant alternatif de fréquence fixe égale à celle du réseau avec un contrôle de la valeur efficace de la tension par modification de l'angle de retard  $\alpha$  à l'amorçage des semi-conducteurs de puissance, deux thyristors montés tête-bêche dans chaque phase du moteur (cf. **fig. 9** ).



*Fig. 9 : démarrage de moteurs asynchrones et forme du courant d'alimentation.*

# Dimensionner un démarreur

- Critère de choix

- Application
- Tension de réseau
- **Courant nominal** et types du moteur
- Quantité de démarrages
- Classe de déclenchement
- Température ambiante
- Altitude de l'installation

- Dimensionnement de l'appareil

- Le courant nominal du démarreur devrait correspondre au moins au courant nominal du moteur.

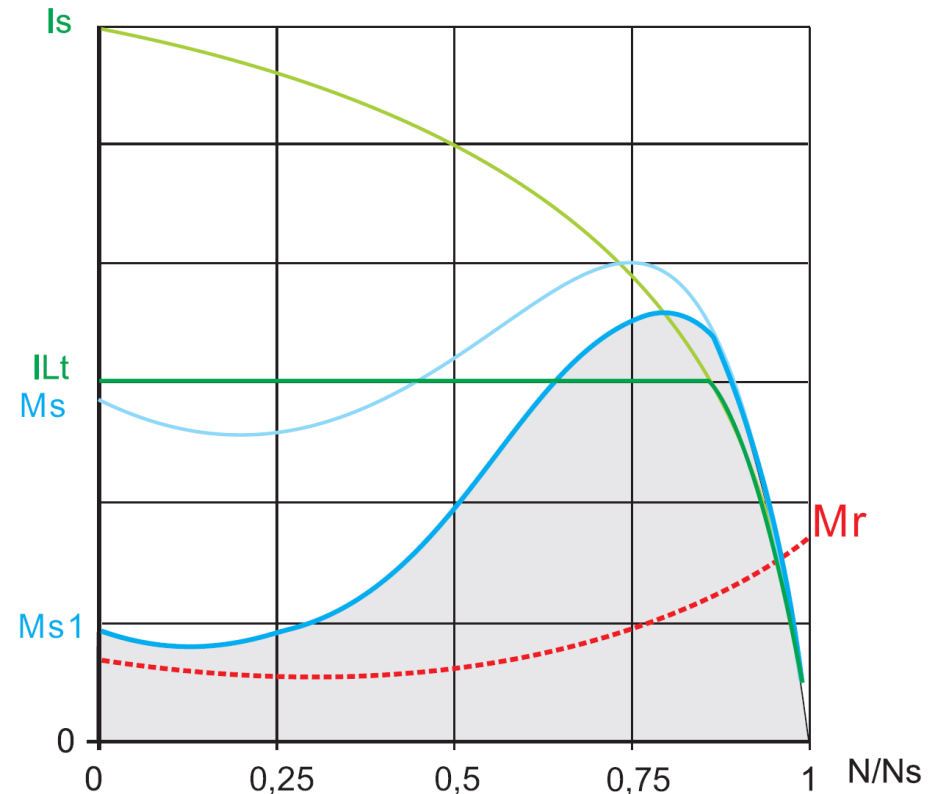
# Notions fondamentales du couple

- Comparaison du couple de démarrage

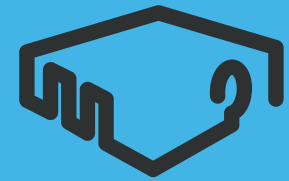
- **Ms** = couple en départ directe
- **Is** = Courant en départ directe
- **Mr** = Couple machine
- **Ms1** = couple avec ATS22

- Couple de rotation disponible

- Le couple de démarrage **Ms1** doit toujours être supérieur au couple machine **Mr**.
- Le couple de démarrage **Ms1** dépend du courant de démarrage **ILt**



# VARIATEUR DE FREQUENCE



Base du moteur asynchrone

Technique de raccordement

Moment d'inertie

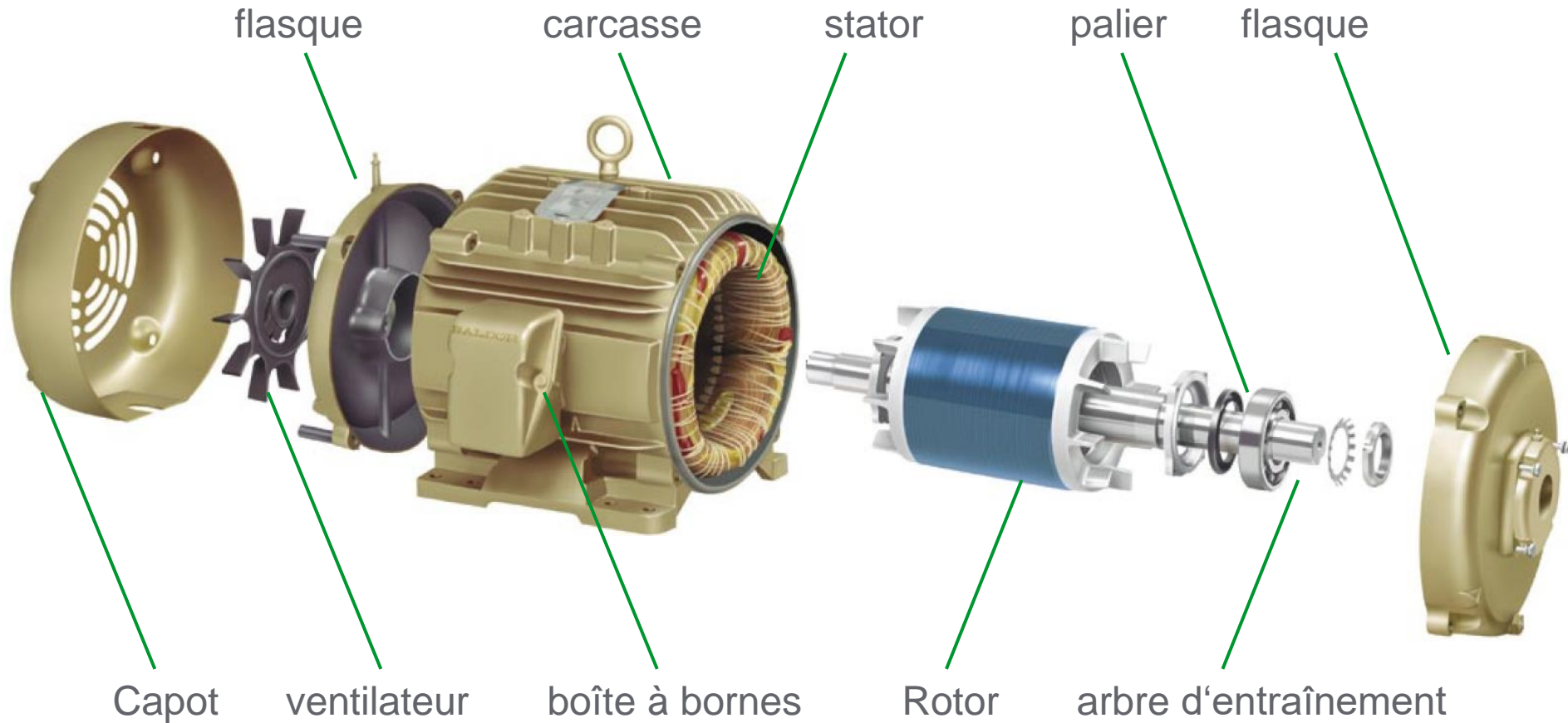
Bases des variateurs

EMV et filtres

Paramètres les plus importants



# Le moteur asynchrone



# Le moteur asynchrone

## principe de fonctionnement

- Le rotor tourne moins vite que la vitesse de synchronisme
- Vitesse réelle du rotor =  $n$ 
  - Correspond à la vitesse du rotor (glissement)
- Vitesse de synchronisme =  $n_0$ 
  - Correspond à la vitesse du champ tournant ex :  $(50\text{Hz} \times 60\text{s}) / \text{par le nombre de paires de pôles}$
- Glissement
  - Il y a une différence entre la vitesse de synchronisme et
  - La vitesse réelle du moteur
  - Le glissement est souvent donné en %
  - Le glissement dépend de la charge

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0}$$

# Le moteur asynchrone pour 50Hz

## Principe de fonctionnement

- Le couple de rotation est calculé avec la formule suivante :

$$T = \frac{P \cdot 60}{2 \pi n} = \frac{60}{2 \pi} \cdot \frac{P}{n} = 9,55 \frac{P [\text{W}]}{n [\text{rpm}]} \quad [\text{Nm}] \quad T = 9550 \frac{P [\text{kW}]}{n [\text{rpm}]} \quad [\text{Nm}]$$

$$M [\text{Nm}] = \frac{9550 \cdot P}{n}$$

M couple moteur  
P Puissance nominale [kW]  
n vitesse de synchronisme

Pour un moteur de même puissance (11 kW) le couple nominal est inversement proportionnel aux nombre de tours.

Paired de pôles	Pole	Vitesse de synchronisme (1/min)	Vitesse nominale moteur (1/min)	P (kW)	Couple nominal (Nm)
1	2	3000	2940	11	35
2	4	1500	1350	11	70
3	6	1000	950	11	105
4	8	750	700	11	140
5	10	600	550	11	175
6	12	500	470	11	210

# Le moteur asynchrone

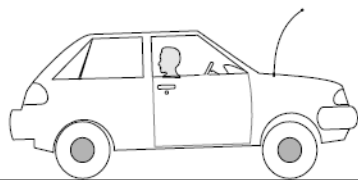
## Principe de fonctionnement

### ● Fonctionnement dans les 4 quadrants

- - - -> Couple de rotation
- - - -> Sens de rotation

#### 4. Quadrant

Marche arrière  
Générateur



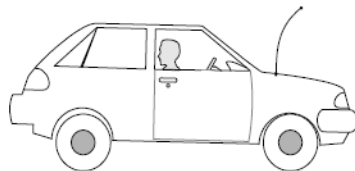
#### 1. Quadrant

Marche avant  
Moteur



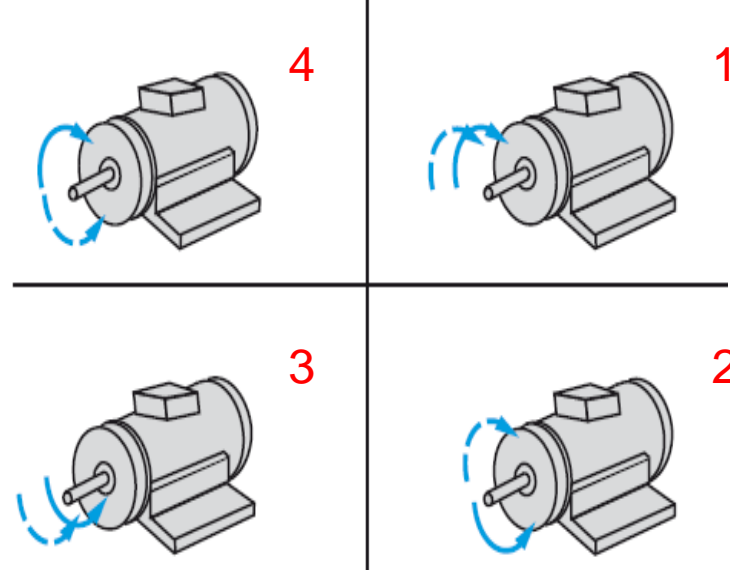
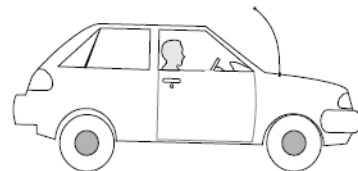
#### 3. Quadrant

Marche arrière  
Moteur



#### 2. Quadrant

Marche avant  
Générateur



# Le moteur asynchrone

## Plaque moteur



### Plaque moteur

EMWB	IE3
100L-2	123456789
$\Delta$ 230 V Y 400 V	10.9 A 6.3 A
3 kW	Cos $\phi$ 0.86
2835 1/min	50 Hz
F	IP55

Fabriquant

Type de moteur

Couplage moteur  
en fonction de la  
tension réseau

Puissance  
nominale

Vitesse nominale

Classe d'isolation

Classe d'efficacité

N° de série

Courant nominal  
en fonction de la  
tension réseau

Cos  $\phi$

Fréquence  
nominale

Degré de  
protection

# Le moteur asynchrone

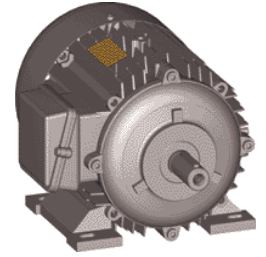
EMWB	EFF3
100L-2	123456789
$\Delta$ 230 V Y 400 V	10.9 A 6.3 A
3 kW	Cos $\phi$ 0.86
2835 1/min	50 Hz
F	IP55

## ● Classe d'isolation

- La température admissible de l'isolation d'enroulement est définie dans les différentes classes
- Pour l'utilisation avec des variateurs de fréquences il est conseillé que les moteurs soient en classe d'isolement F

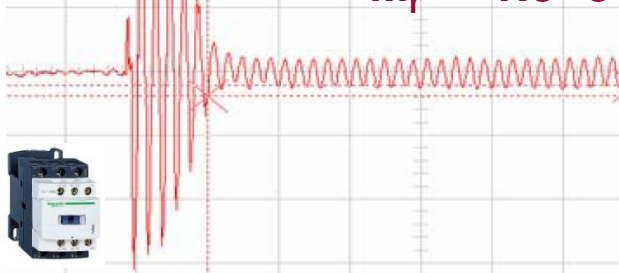
Classe d'isolation	Température Max.	Exemple de construction
A	105°C	soie, textiles de polyamide, papier, caoutchouc synthétique imprégné avec les agglutinants organiques
E	120°C	Papier vernis
B	130°C	Matières(Tissus) inorganiques comme le mica, amiante, imprégné avec des vernis de résine synthétique
F	155°C	Comme B mais imprégné avec des silicones et plastiques organiques
H	180°C	Comme B seulement imprégné avec de pures silicones

# Comparaison des courants de démarrage



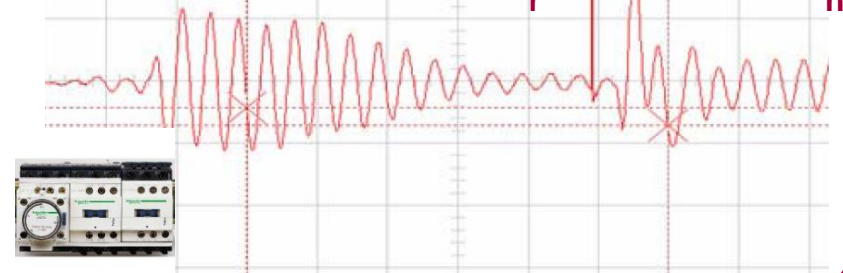
**Directe**

$$I_{\max} = 6-8 \times I_n$$
$$M_r = 1.5 -3 \times M_n$$



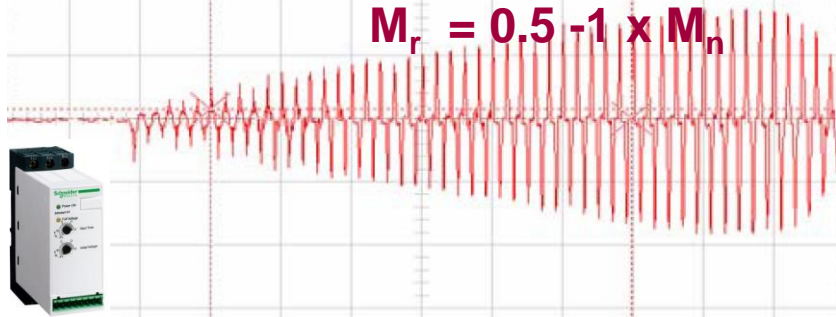
**Etoile-triangle**

$$I_{\max} = 1.3-3 \times I_n$$
$$M_r = 0.5 -1 \times M_n$$



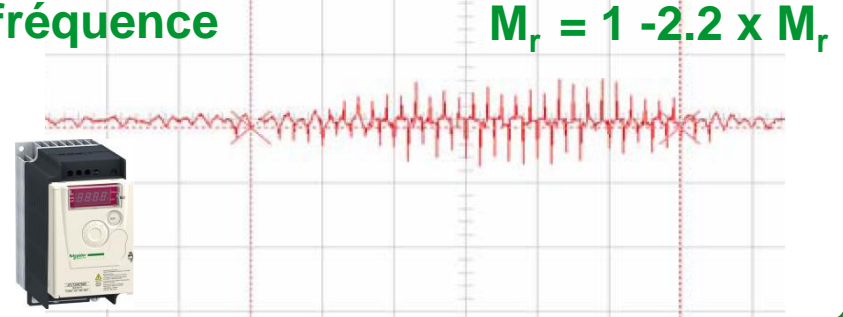
**Soft starter**

$$I_{\max} = 2.5-5 \times I_n$$
$$M_r = 0.5 -1 \times M_n$$



**Variateur de fréquence**

$$I_{\max} = 1.65 \times I_n$$
$$M_r = 1 -2.2 \times M_n$$



# Comment définir le variateur

## ● Critères de choix

- Type d'application (couple variable ou couple constant)
- Tension du réseau, tension et fréquence nominale du moteur
- **Courant nominal** du moteur
- Comment le variateur est il commandé (API, standard...)
- Fonctions utiles : logique de frein, régulateur PID, vitesses préselectionnées...
- Conditions d'utilisations: températures, altitudes, poussières, indices de protections...
- Communication, sécurité, fonctions logiques, moteurs synchrone, moteur spéciaux

## ● Principe fondamental

- Le courant nominal permanent, du variateur doit être égale a celui du moteur



# Types de machines

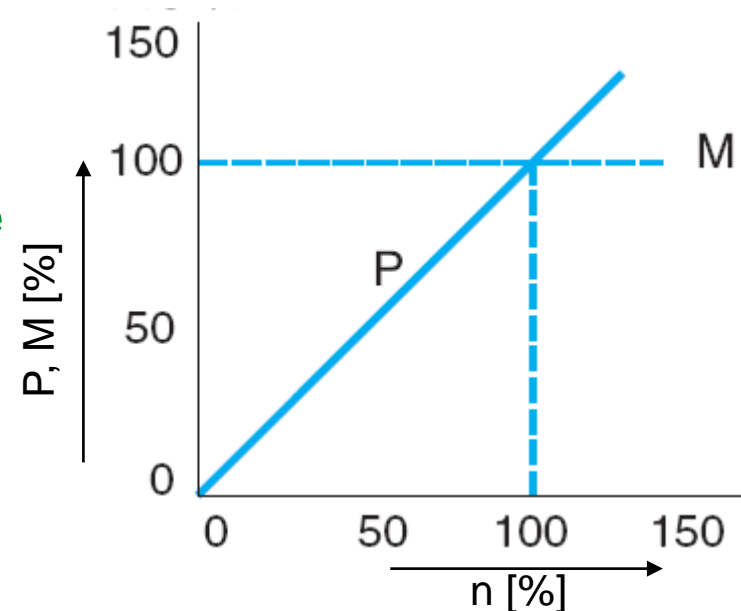
## Types de charges

- Machines à couple constant

- Convoyeurs à bandes
- Dispositifs de levage
- Moulins
- Concasseur

- Le couple de rotation nécessaire est  
Indépendent du nombre de tours

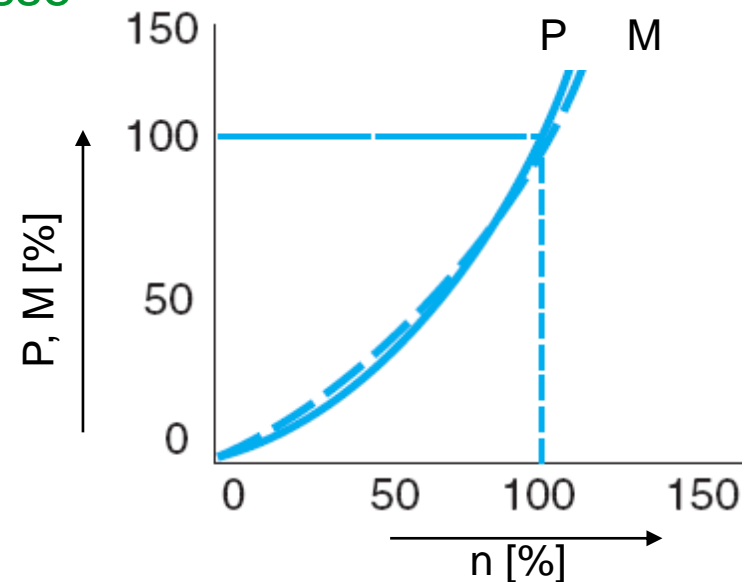
- La puissance reste linéaire avec le nombre  
de tours



# Types de machines

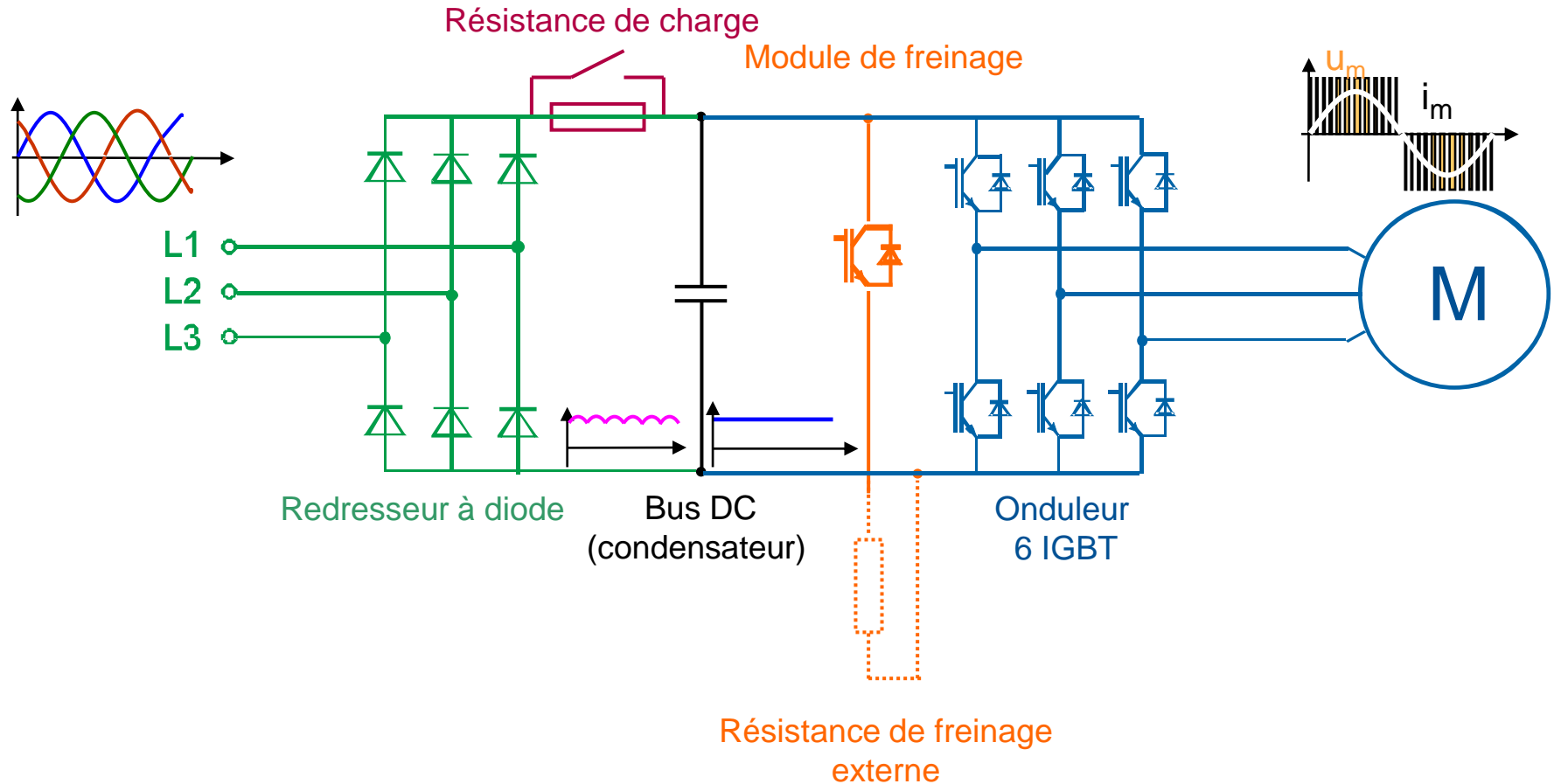
## Types de charges

- Machines à couple quadratiques
  - ventilateurs
  - Pompes
- Le couple augmente au carré de la vitesse
- La puissance augmente au cube de la vitesse



# Variateur de fréquence

Structure d'un variateur et type de fonctionnement



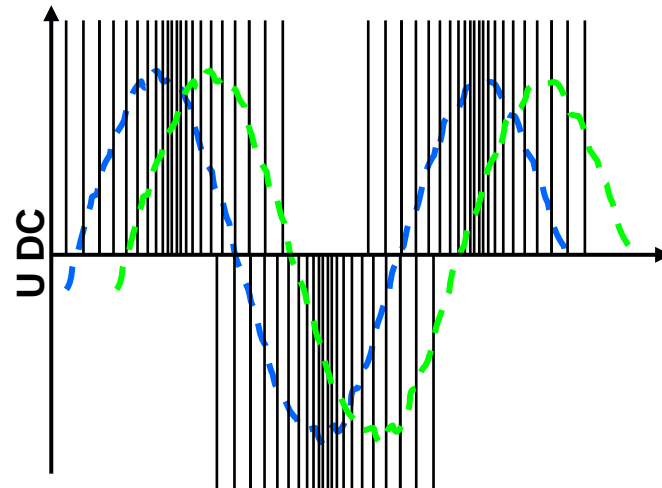
# Variateur de fréquence

## Structure d'un variateur et type de fonctionnement

- La tension du Bus DC correspond à  $\times\sqrt{2}$ 
  - 230V AC  $\times\sqrt{2} = 325V$  DC
  - 400V AC  $\times\sqrt{2} = 566V$  DC
  - 690V AC  $\times\sqrt{2} = 976V$  DC
- La tension sinusoïdale moteur est modulée par les IGBT
- La forme sinusoïdale du courant est due à la charge inductive

Courant

Tension



# Variateur de fréquence

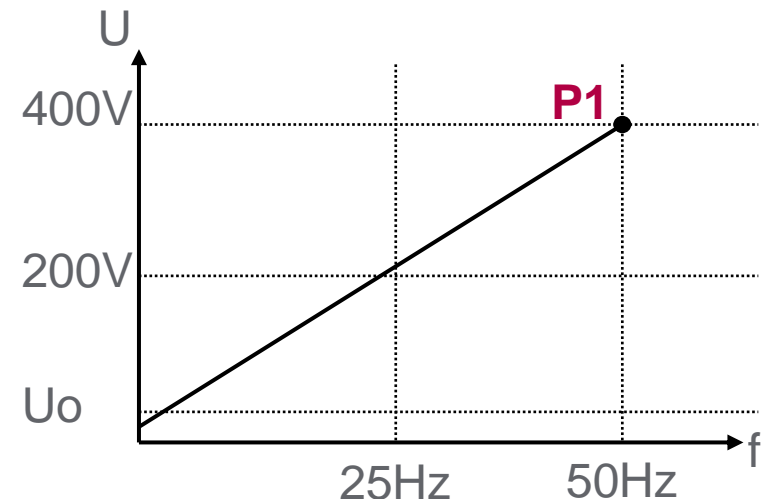
## Structure et type de fonctionnement

### ● U/f

- La Loi de contrôle moteur la plus simple est le contrôle scalaire **U/F**
- La tension moteur augmente de manière linéaire à la fréquence, et Assure le couple constant
- D'autres contrôles existent, vectoriel, quadratique, moteur synchrone.

**U<sub>0</sub>: Tension de départ**  
tension > 0V à 0Hz

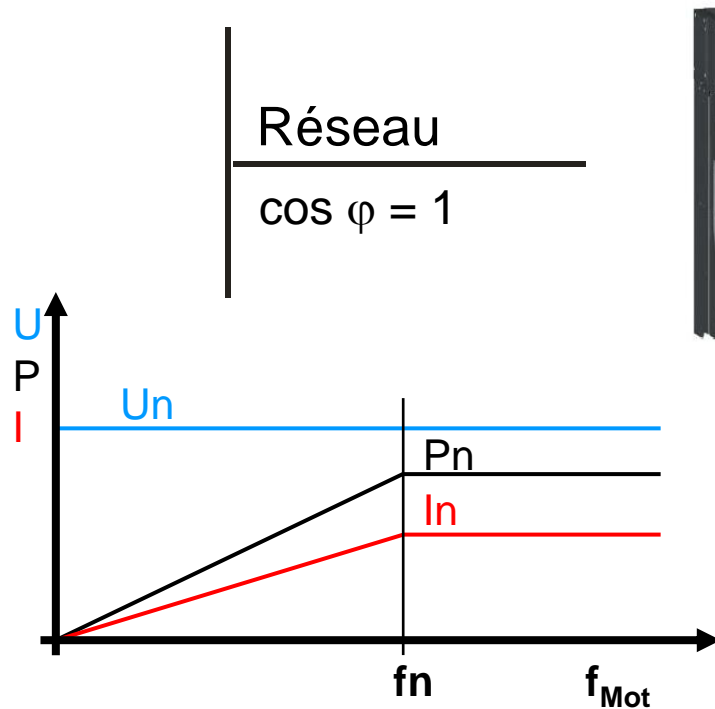
**P1: Point max. du rapport U/F**  
Tension/Fréquence



# Variateur de fréquence

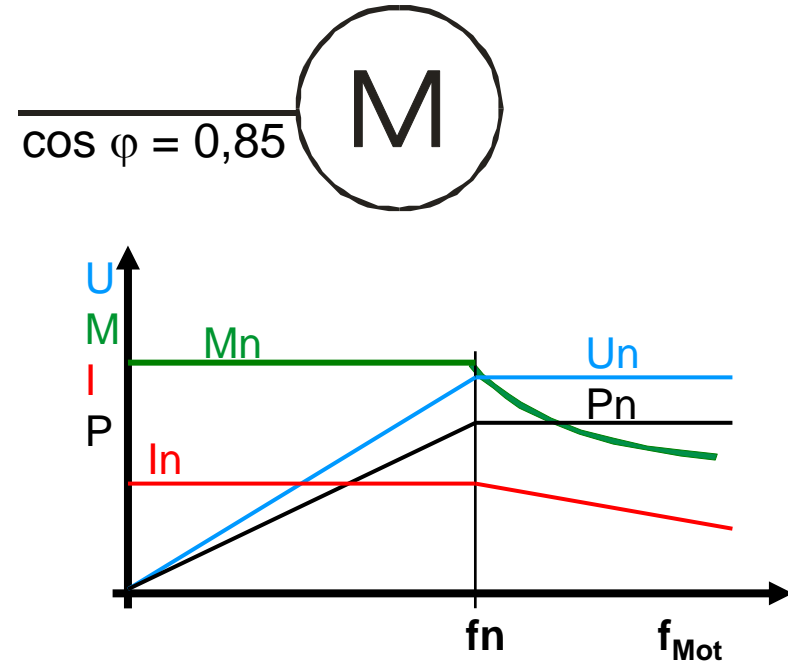
## Structure et type de fonctionnement

- Comportement du réseau indépendamment de la vitesse moteur



$$P_{\text{réseau}} = U \times I \times \sqrt{3} \times \lambda$$

$$I_{\text{réseau}} = f(\text{couple de rotation}, \text{vitesse moteur})$$



$$P_{\text{Motor}} = U \times I \times \sqrt{3} \times \cos \varphi \times \eta$$

$$I_{\text{Motor}} = f(\text{couple de rotation})$$

# Filtres et inductances

## Critères de choix

- Les filtres s'organisent en plusieurs groupes

### Option contre les perturbations réseau

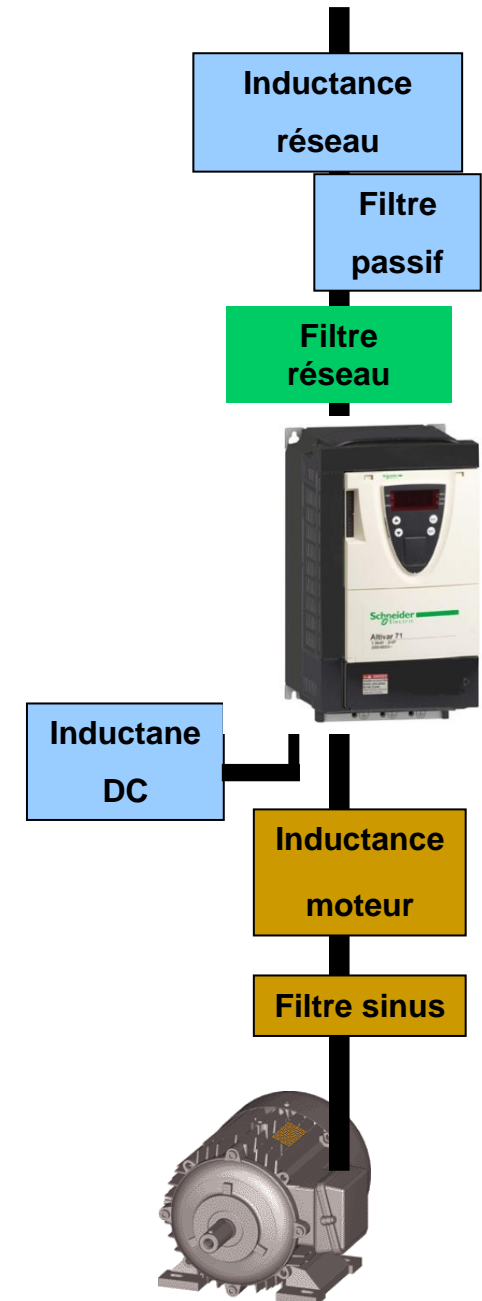
- Filtre Sinus

### Option contre les harmoniques réseau

- Inductance de ligne
- Inductance DC (sur le bus continu)
- Filtre passif et filtre actif
- AFE (Active Front End)

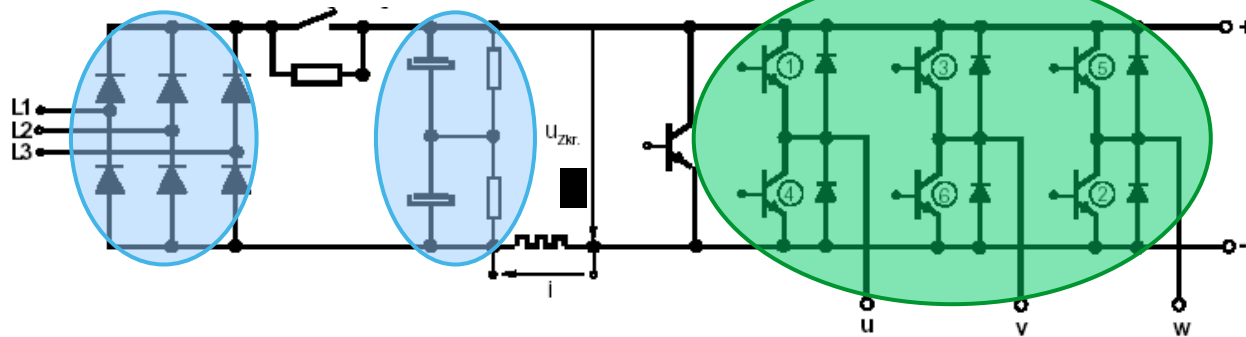
### Option pour protéger le moteur contre les surtensions

- Inductance moteur
- Filtre sinus



# Filtres et inductances

## Critères de choix



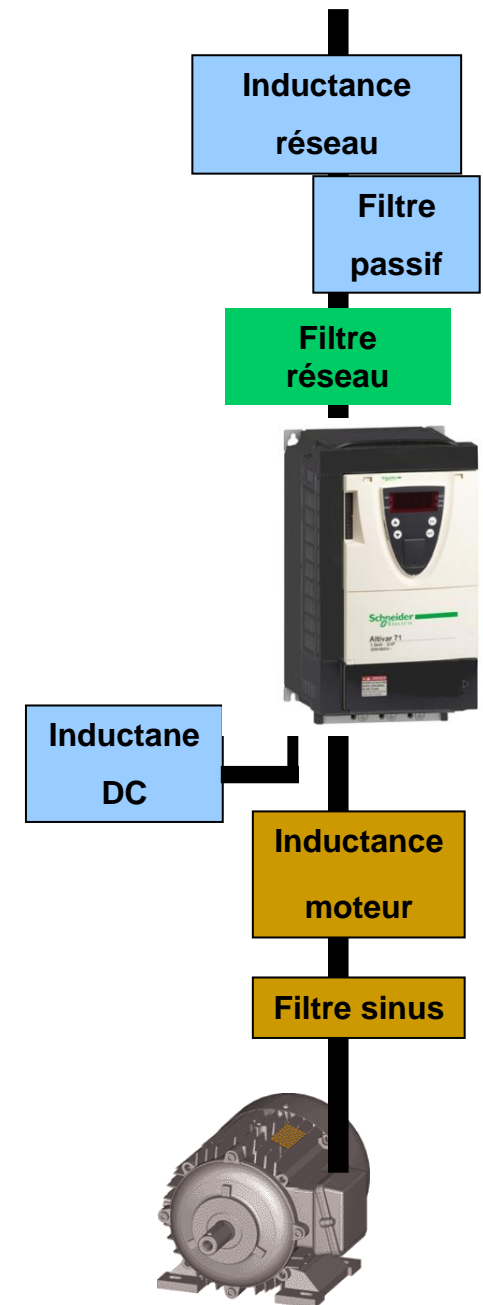
redresseur

Bus DC interne

Etage de sortie

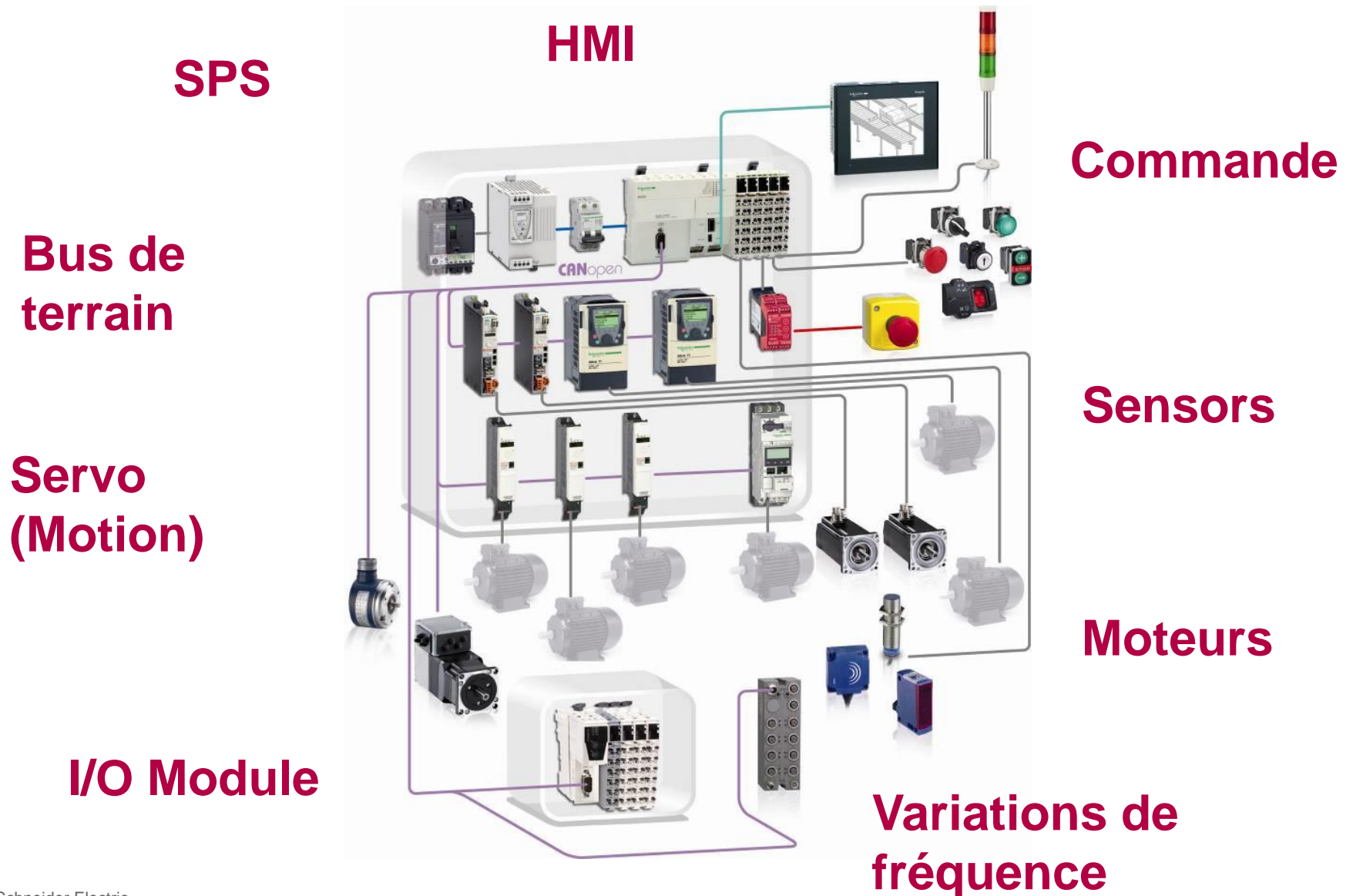
Ici apparaissent les harmoniques

Ici apparaissent les perturbations haute fréquence





# Automatisme industrielle



# Le variateur de fréquence

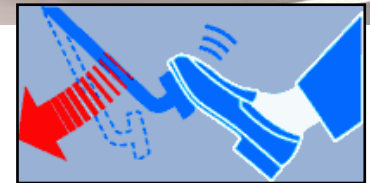
## Un composant clé pour le rendement énergétique

# Couple variable



Tu as déjà essayé?

Donner des gaz à fond et freiner  
Pour réguler la vitesse



Pas très efficace?

Souvent utilisé en ventilation et pompage!

# Couple variable

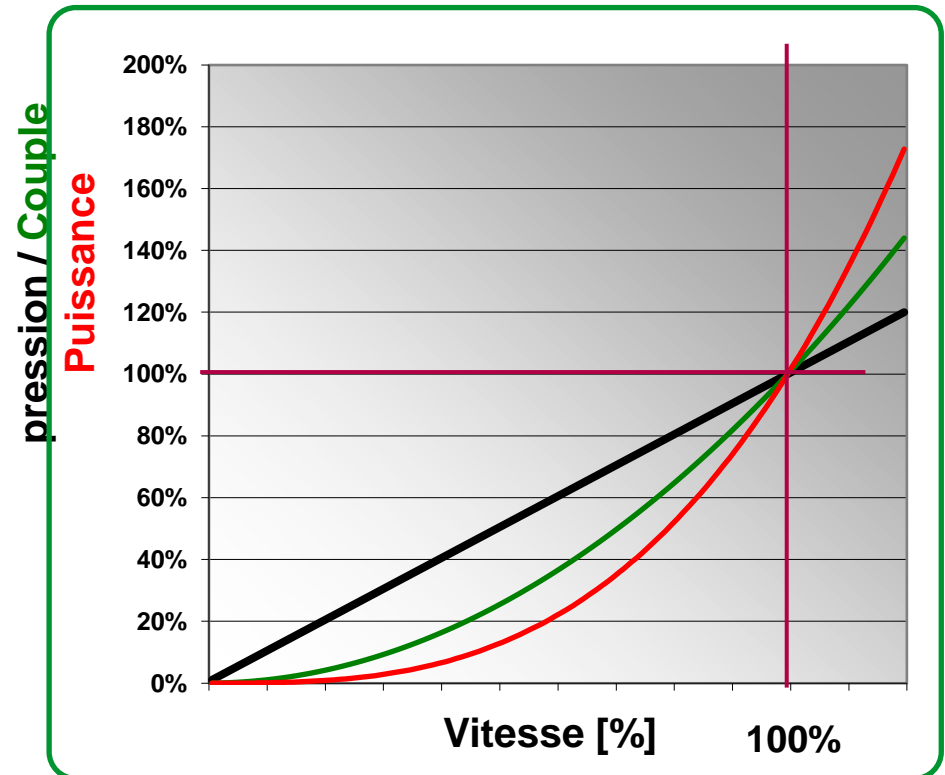


## Caractéristiques typiques des pompes et ventilateurs

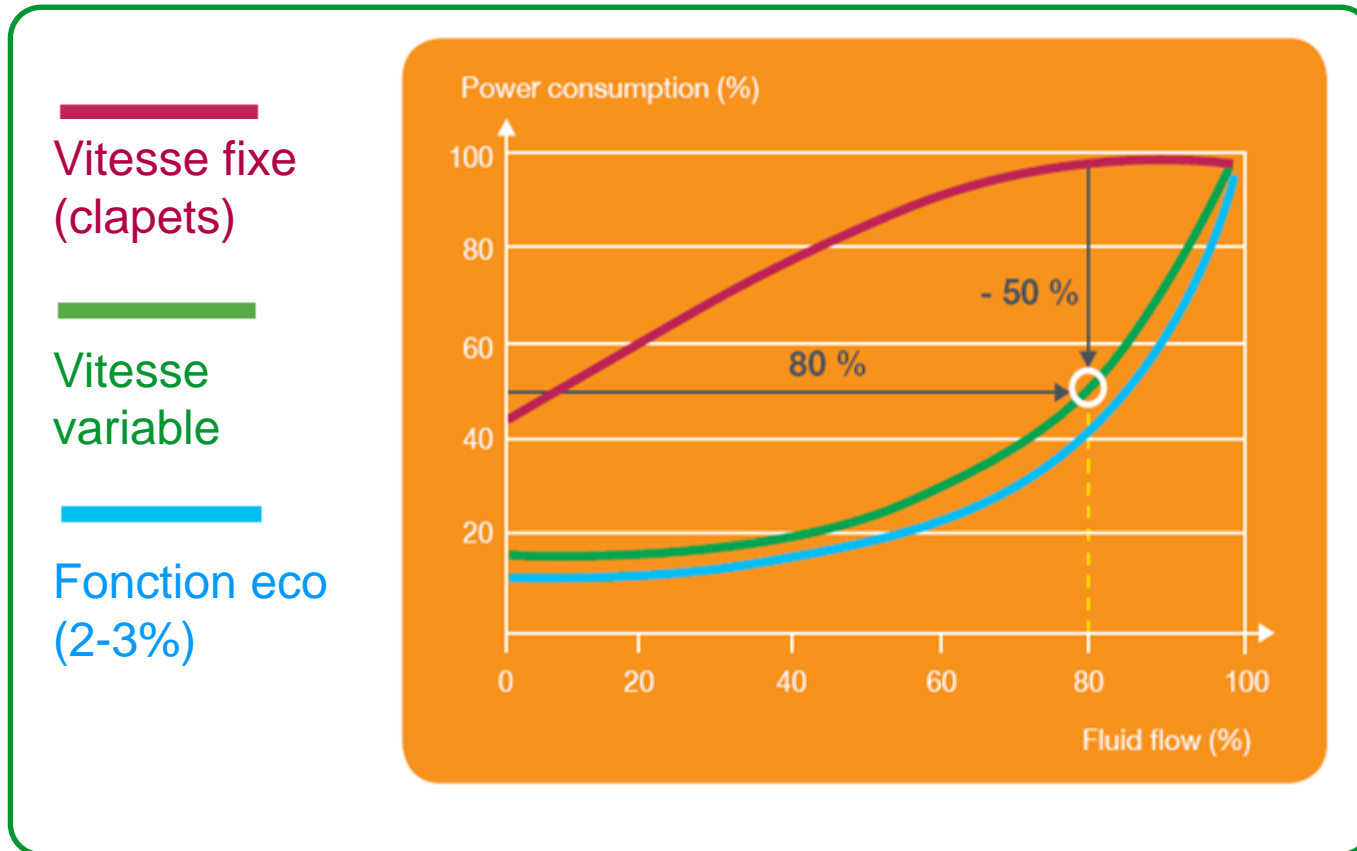
La **Pression ou le flux** augmente / diminue proportionnellement à la vitesse

Le **couple** augmente / diminue au carré de la vitesse

La **Puissance** augmente / Diminue au cube de la vitesse



# Couple variable pompes et ventilateurs



**80%** Point de charge

$$P = 80\% \times 80\% \times 80\% = \mathbf{51.2\%}$$

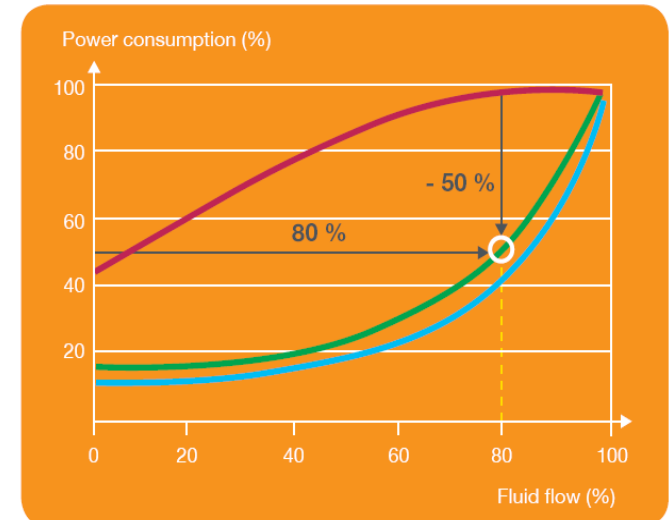
# Résumé

Beaucoup de pompes et ventilateurs sont encore en démarrage direct.

Le remplacement par un variateur de fréquence convient pour toutes les vitesses de fonctionnement, et garanti un meilleur rendement de l'installation.

Vous atteigniez un rendement optimal de l'énergie par la diminution de la vitesse avec une économie allant jusqu'à **50%**.

Le coût supplémentaire qu'engendre l'installation d'un variateur de fréquence, sera vite amorti.



Illustrative curves only (not contractual)

Merci de votre attention

Make the most of your energy



**Schneider**  
Electric