



Office de la Formation Professionnelle et de la  
Promotion du Travail

Technicien Spécialisé

# Génie électrique Électromécanique des Systèmes Automatisés

## Manuel de cours Module 22

### Systèmes de commande électronique des moteurs



Edition 2022



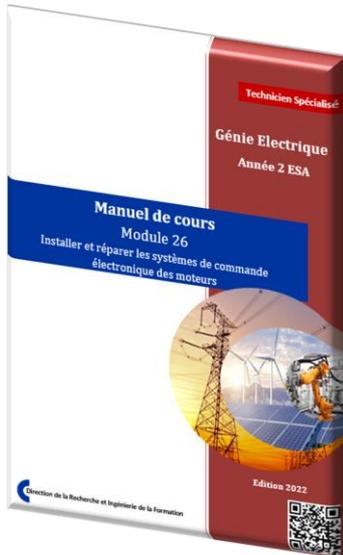
Direction de la Recherche et Ingénierie de la Formation



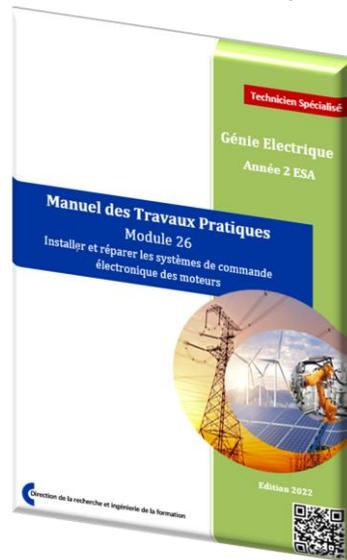
# Avant-propos

Les manuels de cours, de travaux pratiques et le guide e-learning sont téléchargeables à partir de la plateforme e-learning moyennant les codes QR suivants:

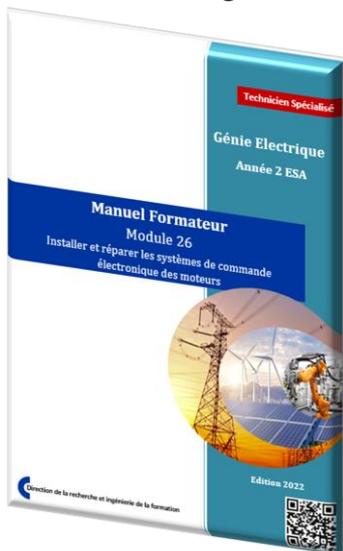
## Manuel de cours



## Manuel des travaux pratiques



## Guide e-learning



# SOMMAIRE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>AVANT-PROPOS</b> .....  | <b>2</b>  |
| <b>SOMMAIRE</b> .....  | <b>3</b>  |
| <b>COMPETENCES-CIBLES ET OBJECTIFS OPERATIONNELS</b> .....                   | <b>5</b>  |
| <b>CHAPITRE I</b> .....  | <b>8</b>  |
| <b>LES CONVERTISSEURS STATIQUES</b> .....                                    | <b>8</b>  |
| <b>1 INTRODUCTION</b> .....  | <b>9</b>  |
| <b>2 LES REDRESSEURS</b> .....   | <b>10</b> |
| 2.1 Redresseurs à diodes (non commandés).....                                | 10        |
| 2.2 Redresseurs à thyristors (commandés) .....                               | 17        |
| <b>3 LES GRADATEURS</b> .....  | <b>26</b> |
| 3.1 Gradateur monophasé.....   | 27        |
| 3.2 Gradateur triphasé.....  | 29        |
| <b>4 LES HACHEURS</b> .....  | <b>32</b> |
| 4.1 Hacheur « dévolteur » ou hacheur « série ».....                          | 32        |
| 4.2 Hacheur « Survolteur » ou hacheur « parallèle ». ....                    | 35        |
| 4.3 Hacheur réversible en courant. ....                                      | 36        |
| 4.4 Hacheur en pont ou 4 quadrants.....                                      | 38        |
| <b>5 LES ONDULEURS</b> .....   | <b>39</b> |
| 5.1 Onduleur de tension monophasée à 2 interrupteurs ou à point milieu. .... | 40        |
| 5.2 Onduleur en pont à 4 interrupteurs .....                                 | 41        |
| 5.3 Onduleur triphasé.....   | 44        |
| <b>CHAPITRE II</b> .....   | <b>46</b> |
| <b>COMMANDE ÉLECTRONIQUE DES MOTEURS</b> .....                               | <b>46</b> |
| <b>1 INTRODUCTION</b> .....  | <b>47</b> |
| <b>2 GÉNÉRALITÉS SUR LES ENTRAINEMENTS ÉLECTRIQUES</b> .....                 | <b>47</b> |
| 2.1 Éléments d'un entraînement :.....  | 48        |
| 2.2 Point de fonctionnement d'un système d'entraînement .....                | 58        |
| 2.3 Les quadrants de fonctionnement: .....                                   | 60        |
| <b>3 STRUCTURE ET PRINCIPALES FONCTIONS DES VARIATEURS DE VITESSE</b> .....  | <b>62</b> |
| 3.1 Structure de variateurs électroniques .....                              | 62        |
| 3.2 Les principales fonctions des variateurs de vitesse électroniques: ..... | 63        |
| <b>4 VARIATION DE VITESSE DES MOTEURS À COURANT CONTINU</b> .....            | <b>67</b> |

|   |  |                                    |
|---|--|------------------------------------|
| 4.1   | Equations de fonctionnement du moteur à courant continu (rappel) .....               | 67                                 |
| 4.2   | Variation de vitesse .....   | 68                                 |
| 4.3   | Dispositifs électroniques de variation de vitesse des moteurs à courant continu..... | 70                                 |
| <b>5</b>  | <b>VARIATION DE VITESSE DES MOTEURS ASYNCHRONES .....</b>                            | <b>76</b>                          |
| 5.1   | Equations de fonctionnement du moteur asynchrone .....                               | 76                                 |
| 5.2   | Variation de vitesse .....   | 77                                 |
| 5.3   | Dispositifs électroniques de variation de vitesse des moteurs asynchrones.....       | 79                                 |
| <b>CHAPITRE III.....</b>                            |  | <b>83</b>                          |
| <b>ETUDE DE CAS, LE VARIATEUR ALTIVAR 320 .....</b> |  | <b>83</b>                          |
| <b>1</b>  | <b>INTRODUCTION.....</b>   | <b>84</b>                          |
| <b>2</b>  | <b>INSTALLATION DE L'ALTIVAR 320.....</b>  | <b>85</b>                          |
| 2.1   | Montage : .....  | 85                                 |
| 2.2   | Raccordement du variateur :.....   | 90                                 |
| <b>3</b>  | <b>PROGRAMMATION .....</b>   | <b>95</b>                          |
| 3.1   | Outils de dialogue et de configuration .....   | 95                                 |
| 3.2   | Configuration et réglage des paramètres .....  | 97                                 |
| <b>4</b>  | <b>FONCTIONS DE SÉCURITÉ .....</b>   | <b>106</b>                         |
| 4.1   | Fonctions de sécurité conformes à la norme IEC 61800-5-2.....                        | 106                                |
| 4.2   | Fonction de sécurité non définie dans la norme IEC 61800-5-2 .....                   | 109                                |
| <b>5</b>  | <b>MAINTENANCE DU VARIATEUR .....</b>  | <b>112</b>                         |
| 5.1   | Maintenance préventive .....   | 112                                |
| 5.2   | Diagnostics et dépannage .....   | 112                                |
| <b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>                           |  | <b>119</b>                         |
| <b>CHAPITRE IV .....</b>                            |  | <b>ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.</b> |

## COMPETENCES-CIBLES ET OBJECTIFS OPERATIONNELS

### Module 22 : Systèmes de commande électronique des moteurs

Code : GEESA-22

Durée : 45 heures

#### ENONCE DE LA COMPETENCE

**Installer et réparer les systèmes de commande électronique des moteurs**

#### CONTEXTE DE REALISATION

- Individuellement
- À partir de :
  - Directives ;
  - Manuels et Fiches techniques ;
  - Dossier constructeurs (Notices, manuel opératoire, manuel maintenance...)
  - Schémas, plans, ou croquis ;
  - Abaques ou de tableaux ;
- 
- À l'aide de :
  - Composants électroniques ;
  - Moteurs électrique électriques
  - Bancs didactiques
  - Systèmes de commande électronique
  - Outils et d'instruments de mesure ;
  - Logiciel de programmation
  - Equipement de protection individuelle.

#### CRITÈRES GÉNÉRAUX DE PERFORMANCE

- Application correcte des procédures d'installation et de dépannage
- Conformité au cahier des charges
- Fonctionnement correcte de l'installation
- Précision des mesures
- Respect des tolérances
- Respect des règles de santé et de sécurité au travail.

| ÉLÉMENTS DE LA COMPÉTENCE  | CRITÈRES PARTICULIERS DE PERFORMANCE   |
|--|--|
| <p>A. Interpréter le cahier des charges des travaux d'installation des systèmes de commande électronique des moteurs</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interprétation judicieuse des éléments du cahier des charges et des directives</li> <li>• Description correcte des conditions de services</li> <li>• Interprétation juste de l'information technique relative aux types des systèmes de commande électronique des moteurs, leurs caractéristiques et leurs modes de fonctionnement</li> <li>• Interprétation juste des schémas</li> <li>• Interprétation correcte du plan des travaux d'installation</li> </ul>   |
| <p>B. Installer les systèmes de commande électronique des moteurs</p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interprétation juste des schémas</li> <li>• Interprétation correcte du plan des travaux d'installation</li> <li>• Sélection minutieuse des outils de travail</li> <li>• Détermination judicieuse des procédures d'installation</li> <li>• Installation correcte d'un variateur de vitesse</li> <li>• Configuration correcte d'un modèle de variateur de vitesse</li> <li>• Installation et réglage correctes d'un démarreur progressif</li> <li>• Branchement électrique correcte</li> <li>• Respect des procédures de mise en service et de démarrage</li> </ul> |
| <p>C. Réaliser des travaux de maintenance des systèmes de commande électronique des moteurs</p>                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Planification judicieuse des travaux de maintenance préventive et corrective</li> <li>• Vérification minutieuse des réglages et des paramètres de fonctionnement</li> <li>• Diagnostic correct des défaillances</li> <li>• Recherches minutieuses des causes de dysfonctionnement sur banc et schémas</li> <li>• Utilisation correcte des appareils de contrôle</li> <li>• Précision des mesures</li> <li>• Sélection juste des outils de travail</li> <li>• Changement correct des pièces endommagées</li> </ul>   |
| <p>D. Vérifier la qualité des travaux d'installation des systèmes de commande électronique des moteurs</p>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caractéristiques conformes avec le cahier de charges</li> <li>• Respect des Procédures de calibrage des paramètres</li> <li>• Choix judicieux des réglages.</li> <li>• Exécution correcte des essais en charge</li> <li>• Contrôle minutieux des paramètres de fonctionnement.</li> <li>• Utilisation appropriée des instruments de mesure.</li> </ul>  |

| ÉLÉMENTS DE LA COMPÉTENCE | CRITÈRES PARTICULIERS DE PERFORMANCE   |
|---------------------------|--|
|                           | <ul style="list-style-type: none"><li>• Analyse minutieuse de la qualité des fluides et de leurs niveaux de pollution</li><li>• Respect des règles de santé et de sécurité</li><li>• Rangement et nettoyage appropriés de l'aire de travail.</li><li>• Rédaction correcte du rapport d'installation ou de la fiche d'intervention.</li></ul> |

## Chapitre I

# Les Convertisseurs Statiques

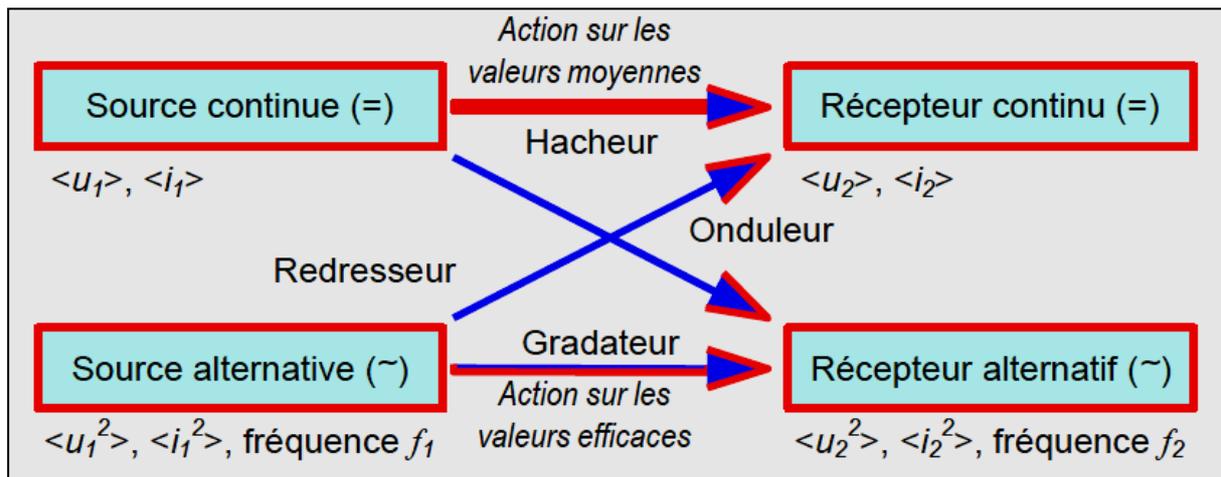
## 1 Introduction

Le principe de tout convertisseur d'électronique de puissance est la conversion de l'énergie électrique d'une tension et d'une fréquence à une autre. De nombreuses topologies de circuit existent pour répondre à différentes exigences. Certaines des topologies sont spécifiquement associées au contrôle de types de moteurs particuliers, tandis que d'autres peuvent être utilisées pour contrôler diverses formes de machines électriques. Certaines topologies sont associées à des applications ou à des plages de vitesse particulières.

L'énergie électrique est disponible soit sous forme alternative par un réseau de distribution électrique ou un alternateur, soit sous forme continue par des batteries d'accumulateurs ou des génératrices à courant continu. Quant à la charge, suivant sa nature, elle nécessite une énergie sous forme alternative ou continue.

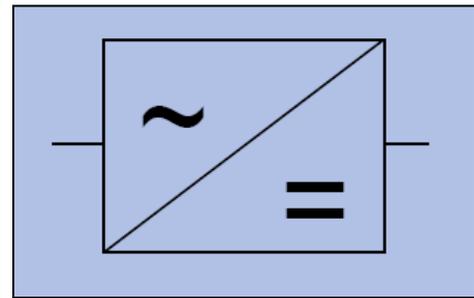
Toutes les topologies peuvent être classées en fonction du type de conversion qui ils effectuent :

- alternatif à continu, c'est le redresseur ;
- continu à continu, c'est le hacheur ;
- continu à alternatif, c'est l'onduleur ;
- et alternatif à alternatif, c'est le gradateur ( $f_1 = f_2$ ) ou le cycloconvertisseur ( $f_1 \neq f_2$ ).



## 2 Les redresseurs

Un redresseur est un convertisseur alternatif continu permettant de fournir, à partir d'une tension alternative monophasée ou triphasée, une tension continue fixe ou variable.



Pratiquement, on rencontre les redresseurs dans les variateurs de vitesse pour moteurs à courant continu, dans les chargeurs de batteries, les postes de soudure ou encore comme étage d'entrée d'un onduleur autonome...etc.

Les redresseurs peuvent être classés en deux grandes familles :

- Les redresseurs non commandés, qui sont à base de diodes. Ils fournissent une tension redressée à valeur moyenne constante.
- Les redresseurs commandés, qui sont à base de thyristors et diodes. Ils délivrent une tension redressée à valeur moyenne ajustable.

A noter que dans un redresseur, la fréquence du signal de sortie est au moins égale à celle du réseau alternatif.

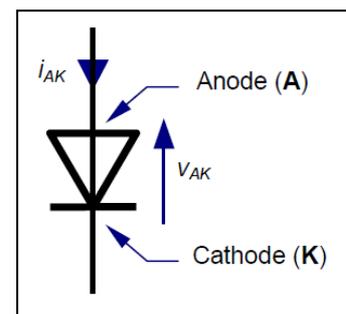
### 2.1 Redresseurs à diodes (non commandés)

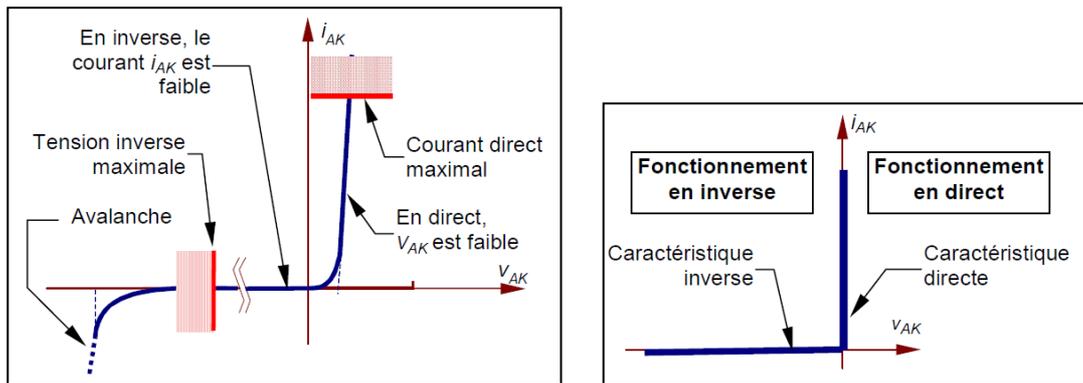
Dans ces redresseurs, l'élément commutateur utilisé est la diode.

#### 2.1.1 La diode

La diode est un composant actif à semi-conducteur de type polarisé qui ne laisse passer le courant que dans un sens indiqué arbitrairement par une flèche.

Le fonctionnement réel est toujours caractérisé par ses deux états passant (En direct) et bloqué (En inverse) :





Le modèle utilisé pour les études de fonctionnement en électronique de puissance est la diode parfaite à deux segments.

### 2.1.2 Redressement monophasé

#### Redressement simple alternance

##### Sur charge résistive

$V(t)$  est une tension sinusoïdale de valeur efficace  $V$  et de pulsation  $\omega$ .

$$V(t) = V_{max} \sin(\omega t) = V\sqrt{2} \sin(\omega t)$$

$$V(\theta) = V\sqrt{2} \sin(\theta); \theta = \omega t$$

- De  $0$  à  $\pi$  :  $V > 0 \Rightarrow D$  passante ;  $U(t) = V(t)$  ;  $i(t) = V(t)/R$
- De  $\pi$  à  $2\pi$  :  $V < 0 \Rightarrow D$  bloquée ;  $U(t) = 0$  ;  $i(t) = 0$

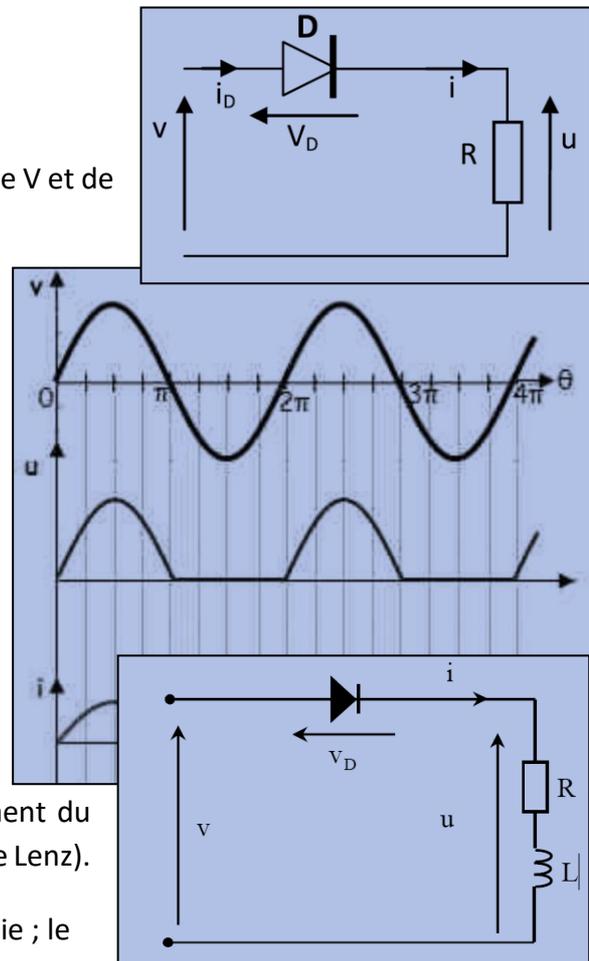
La valeur moyenne de la tension est :

$$U_{moy} = \frac{V_{max}}{\pi}$$

##### Sur charge inductive

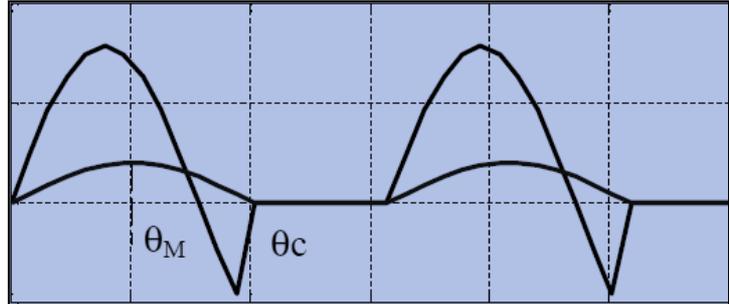
On sait déjà qu'une bobine retarde l'établissement du courant et qu'elle s'oppose à sa disparition (Loi de Lenz).

- De  $0$  à  $\theta_M$  : La self emmagasine de l'énergie ; le courant "a du mal" à croître



Le courant est en retard par rapport à la tension.

- De  $\theta_M$  à  $\theta_C$  : La self restitue l'énergie accumulée et prolonge la conduction



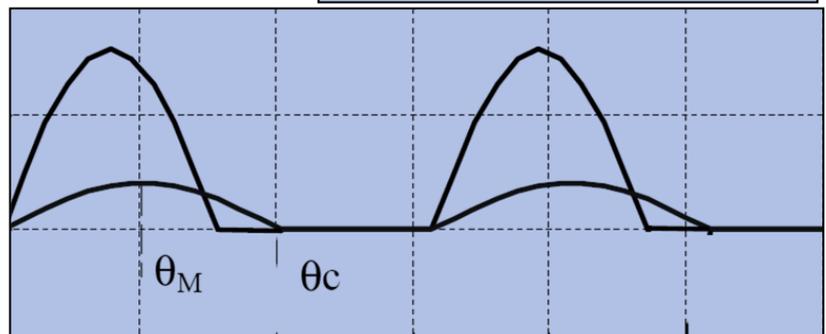
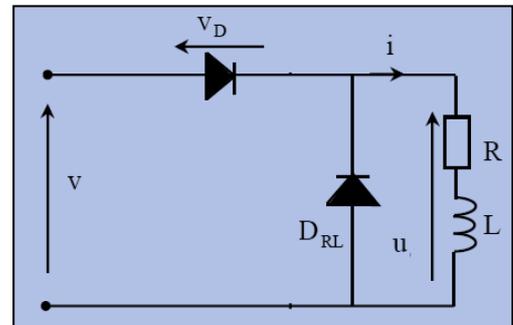
La self crée une tension négative pour maintenir le courant. La diode reste passante au-delà des  $T/2$  de l'alternance positive.

Les performances du montage ne sont pas totalement satisfaisantes. On remarque une amélioration dans la continuité du courant, mais la tension redressée  $U$  est en partie négative, sa valeur moyenne a diminuée par rapport au cas d'une charge résistive. Une valeur très grande de  $L$  (Bobine de lissage) peut annuler  $U$ .

#### Sur charge inductive avec une diode de roue libre

Pour corriger le problème de diminution de la tension, on ajoute une diode de roue libre en parallèle de la charge comme ci-contre.

Les deux diodes sont en cathode commune. une seule des deux diodes peut conduire à la fois, celle qui a le potentiel anodique le plus élevé.



- Durant l'alternance positive de la tension  $V$ , la diode  $D$  est passante, la diode  $D_{RL}$  est bloquée. Le comportement du montage est connu.
- Dés que  $V$  s'annule la diode  $D$  se bloque et la diode  $D_{RL}$  prend le relais de la conduction du courant  $i$  dans la charge.  $D_{RL}$  conduisant, la tension à ses bornes  $U$  est nulle.

L'énergie emmagasinée dans l'inductance est dissipée dans la résistance  $R$  et le courant  $i$  décroît et s'annule à  $\theta_C$ . L'annulation du courant caractérise un fonctionnement en conduction discontinue. Si  $L$  est importante (l'énergie est suffisante), le courant ne s'annule pas, c'est la conduction continue.

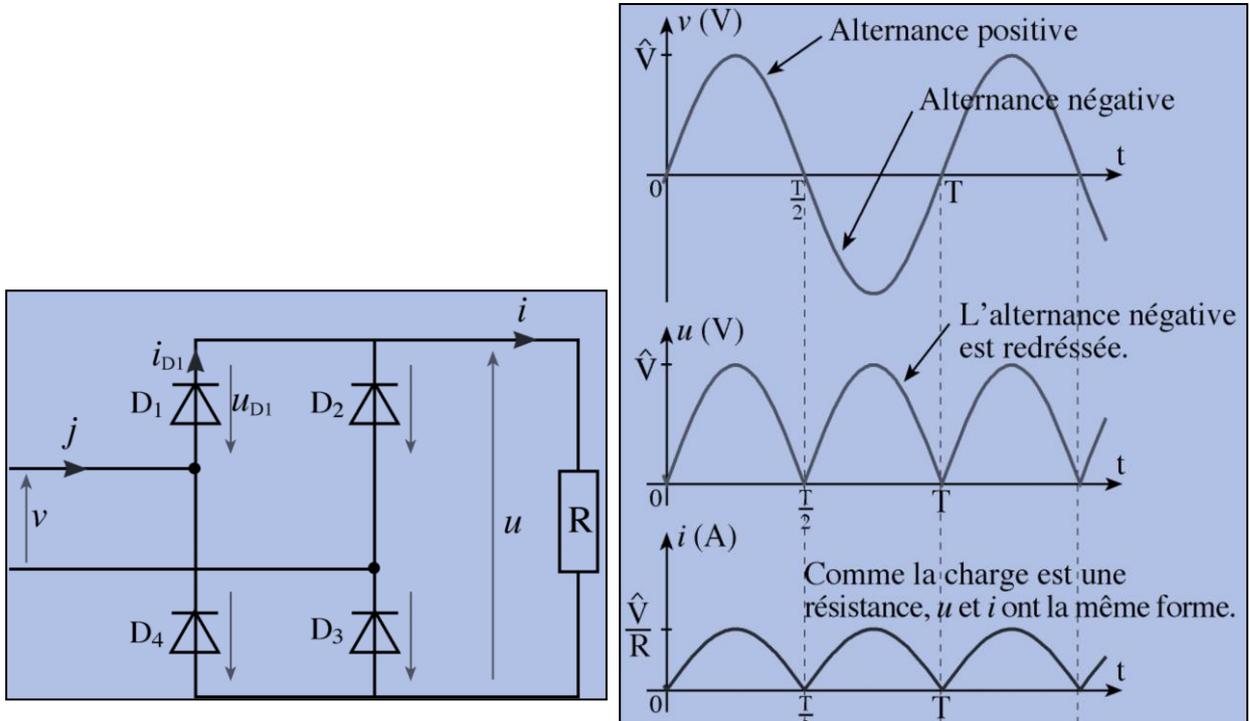
#### Redressement double alternance montage PD2

##### Sur charge résistive

$V(t)$  est une tension sinusoïdale de valeur efficace  $V$  et de pulsation  $\omega$ .

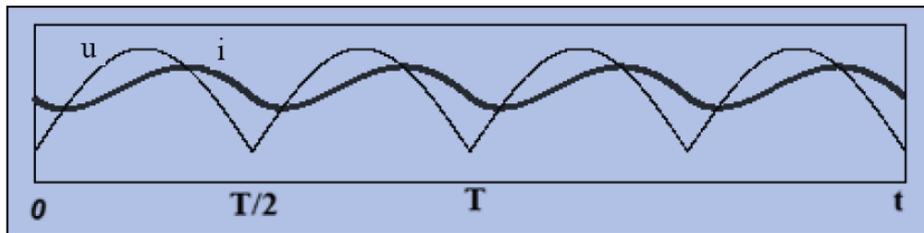
- De  $0$  à  $\pi$  :  $V > 0$  : D1 et D3 passantes ; D2 et D4 bloquées :  $U = V$  ;  $i = V/R$
- De  $\pi$  à  $2\pi$  :  $V < 0$  : D1 et D3 bloquées ; D2 et D4 Passantes :  $U = -V$  ;  $i = -V/R$

Comme la charge est une résistance,  $u$  et  $i$  ont la même forme.

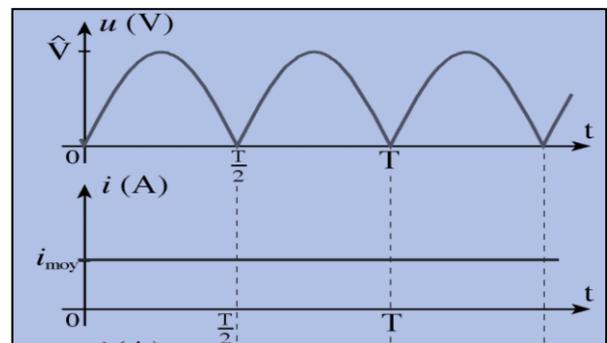


Sur charge inductive R-L

Dans le cas d'un redressement double alternance PD2 sur une charge inductive les diodes sur le même bras jouent le rôle de roue libre, par suite la forme de la tension est celle sur une charge résistive. Le courant est toujours lissé par l'effet inductif.



Lorsque l'inductance  $L$  augmente, la conduction est continue (le courant  $i$  ne passe pas par zéro) et l'ondulation du courant diminue. Si  $L$  est assez importante, on peut considérer le courant  $i$  comme constant.



### Sur charge active R-E

Considérons une charge R-E. Il peut s'agir par exemple d'un moteur à courant continu ou d'une batterie à recharger.

Analysons le fonctionnement.

Si  $u < E_0$ , nous trouvons  $i < 0$ . Cette situation bloque les diodes. Donc :

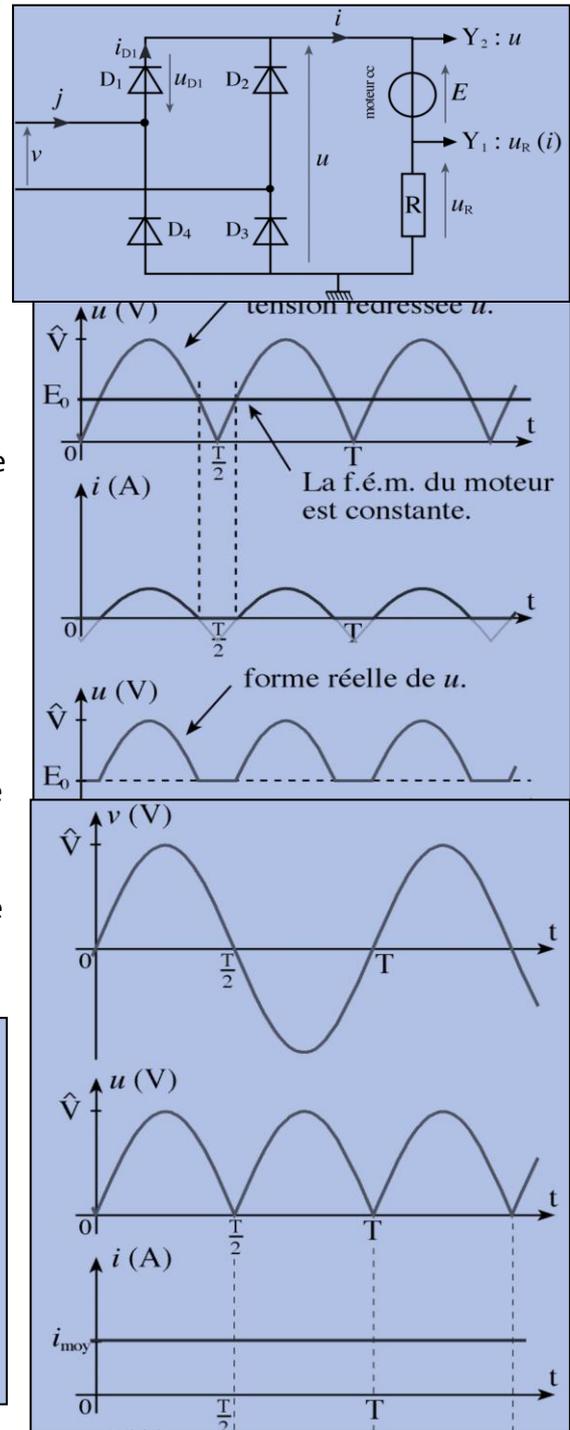
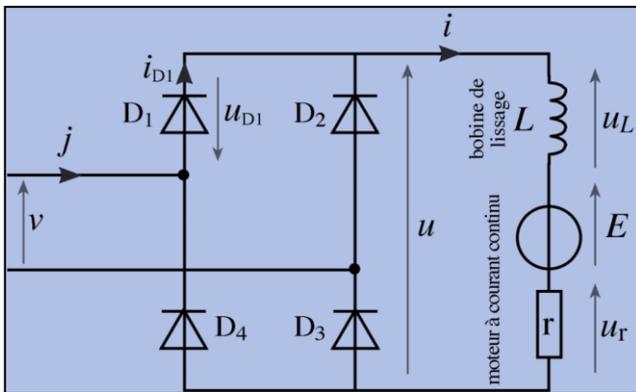
- si  $u > E_0$ , alors les diodes conduisent ( $i > 0$ );
- si  $u < E_0$ , alors les diodes sont bloquées ce qui entraîne  $i = 0$ .

$$u = E_0 + Ri ; i = (u - E_0)/R$$

### Sur charge active R-L-E

La tension  $u$  est imposée par le réseau, à travers le transformateur et le pont de Graëtz.

Le courant  $i$  est lissé par l'inductance  $L$ . Son intensité est imposée par la charge  $R, E$ .



### 2.1.3 Redressement triphasé

Lorsque la puissance demandée par le récepteur est grande, il est intéressant de l'alimenter à partir du réseau triphasé.

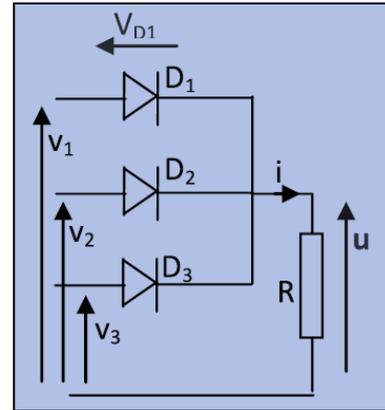
En triphasé le système des tensions est défini par trois ondes  $v_1, v_2$  et  $v_3$  d'équations :

- $V_1(t) = V \sin(2\pi f t)$

- $V_2(t) = V\sqrt{2} \sin(2\pi f t - 2\pi/3)$
- $V_3(t) = V\sqrt{2} \sin(2\pi f t - 4\pi/3)$

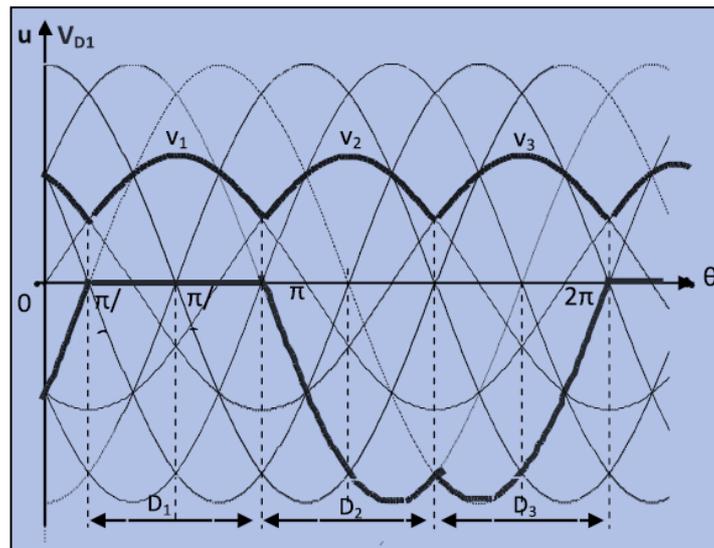
### Redressement simple alternance P3

Dans la configuration comme ci-contre à cathodes communes, la diode conductrice est celle dont le potentiel d'anode est le plus positif, les autres diodes sont bloquées. L'analyse de fonctionnement est comme suite :



| Intervalle                  | Tension la plus positive | Diode conductrice | Diodes bloquées | Tension u | Tension $v_{D1}$  |
|-----------------------------|--------------------------|-------------------|-----------------|-----------|-------------------|
| $0 \text{ à } \pi/6$        | $V_3$                    | D3                | D1 et D2        | $u = v_3$ | $v_{D1} = u_{13}$ |
| $\pi/6 \text{ à } 5\pi/6$   | $V_1$                    | D1                | D2 et D3        | $u = v_1$ | $v_{D1} = 0$      |
| $5\pi/6 \text{ à } 9\pi/6$  | $V_2$                    | D2                | D3 et D1        | $u = v_2$ | $v_{D1} = u_{12}$ |
| $9\pi/6 \text{ à } 12\pi/6$ | $V_3$                    | D3                | D1 et D2        | $u = v_3$ | $v_{D1} = u_{13}$ |

Les allures des tensions  $u$  et  $v_{D1}$  sont comme suite :

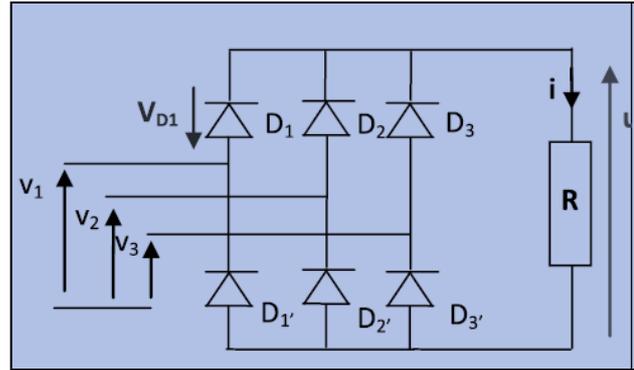


La valeur moyenne de la tension est :

$$U_{moy} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} \cdot V_{max}$$

### Redressement double alternance PD3

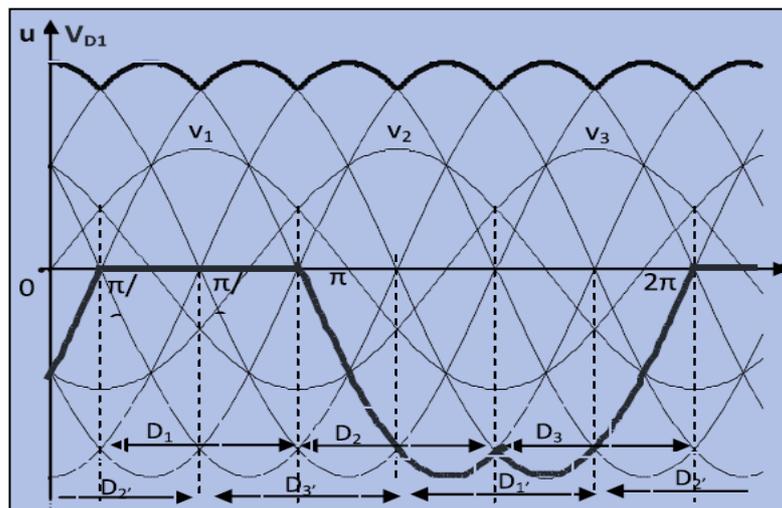
Ce montage peut être considéré comme résultant de l'association d'un montage redresseur à anodes communes et d'un montage redresseur à cathodes communes. Pour les diodes à cathodes communes, la diode conductrice est celle dont le potentiel d'anode est le plus positif, les autres diodes sont bloquées.



Pour les diodes à anodes communes, la diode conductrice est celle dont le potentiel de la cathode est le plus négatif, les autres diodes sont bloquées.

L'analyse de fonctionnement est comme suite :

| Intervalle                   | Tension la plus positive | Tension la plus négative | Diodes passantes | Tension u    | Tension $v_{D1}$  |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------|--------------|-------------------|
| $0 \text{ à } \pi/6$         | V3                       | V2                       | D3 et D2'        | $u = u_{32}$ | $v_{D1} = u_{13}$ |
| $\pi/6 \text{ à } 3\pi/6$    | V1                       | V2                       | D1 et D2'        | $u = u_{12}$ | $v_{D1} = 0$      |
| $3\pi/6 \text{ à } 5\pi/6$   | V1                       | V3                       | D1 et D3'        | $u = u_{13}$ | $v_{D1} = 0$      |
| $5\pi/6 \text{ à } 7\pi/6$   | V2                       | V3                       | D2 et D3'        | $u = u_{23}$ | $v_{D1} = u_{12}$ |
| $7\pi/6 \text{ à } 9\pi/6$   | V2                       | V1                       | D2 et D1'        | $u = u_{21}$ | $v_{D1} = u_{12}$ |
| $9\pi/6 \text{ à } 11\pi/6$  | V3                       | V1                       | D3 et D1'        | $u = u_{31}$ | $v_{D1} = u_{13}$ |
| $11\pi/6 \text{ à } 12\pi/6$ | V3                       | V2                       | D3 et D2'        | $u = u_{32}$ | $v_{D1} = u_{13}$ |



La valeur moyenne de la tension est :

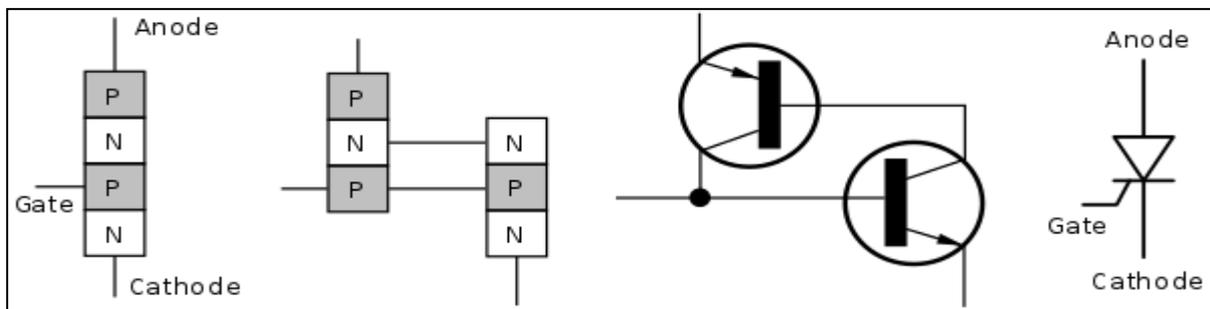
$$U_{moy} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} \cdot V_{max}$$

## 2.2 Redresseurs à thyristors (commandés)

Le redressement commandé est la conversion d'une tension alternative en tension continue de valeur moyenne réglable. Dans ces redresseurs, l'élément commutateur utilisé est le thyristor.

### 2.2.1 Les Thyristors

Un thyristor (parfois dénommé SCR (Silicon Controlled Rectifier) est un interrupteur électronique semi-conducteur à l'état solide constitué de quatre couches, alternativement dopées N et P. C'est un des composants essentiels de l'électronique de puissance. La structure en couches P-N-P-N du thyristor peut être modélisée par deux transistors PNP et NPN connectés selon le schéma ci-dessous.



Modélisation physique et électronique d'un thyristor, ainsi que son symbole.

Un thyristor a trois états possibles :

**Thyristor amorçable** :  $v_{AK} > 0$  et  $i_{AK} \approx 0$  (Interrupteur ouvert)

**Thyristor bloqué (OFF)** : Comme une diode :  $i_{AK} \approx 0$  et  $v_{AK} < 0$  (Interrupteur ouvert)

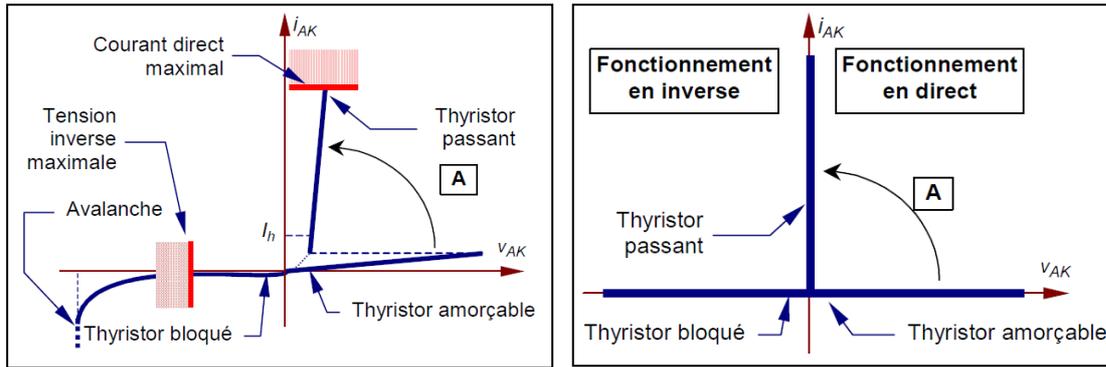
**Thyristor passant (ON)** : Comme une diode :  $i_{AK} > 0$  et  $v_{AK} \approx 0$  (Interrupteur fermé)

Changements d'états ou commutations entre les deux états stables bloqués ou passants sont :

**Amorçage (A) : Transition OFF-ON** : Courant de gâchette  $i_G > 0$  quand  $v_{AK} > 0$

**Blocage : Transition ON-OFF**

- Spontané : quand  $i_{AK}$  s'annule.
- Forcé : par application d'une tension négative aux bornes du thyristor, provoquant donc son extinction.



Une autre fois le modèle utilisé en électronique de puissance est le modèle parfait de trois segments.

## 2.2.2 Redressement monophasé

### Redressement simple alternance

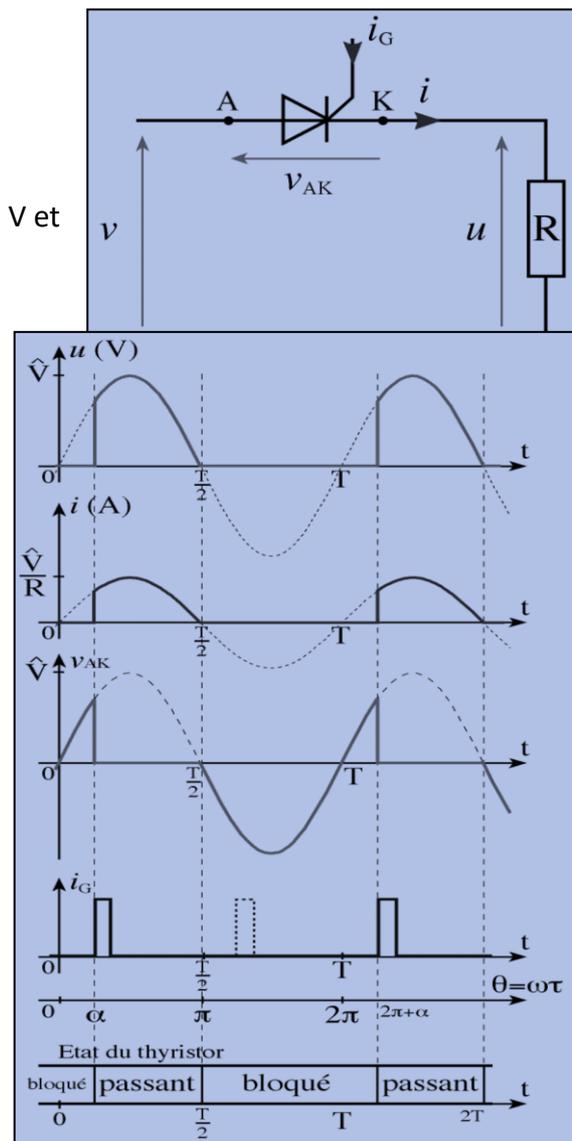
#### Sur charge résistive

$V(t)$  est une tension sinusoïdale de valeur efficace  $V$  et de pulsation  $\omega$ .

$$V(t) = V \sqrt{2} \sin \omega t$$

Le thyristor est passant qu'à partir du moment où l'on envoie le signal de gâchette et à la condition que la tension  $V_{AK}$  soit positive.

- $\theta \in [0, \alpha]$  :  $V > 0$  mais pas d'impulsion ( $i_G=0$ ) : Thyristor bloqué  
 $U = 0$  ;  $i = 0$ ,  $V_{AK} = V$ ;
- à  $\theta = \alpha$  :  $V_e > 0$ ,  $i_G > 0$   
 Le thyristor devient passant.
- $\theta \in [\alpha, \pi]$  :  
 Le thyristor reste passant :  
 $U = V$  ;  $i = V/R$ ,  $V_{AK} = 0$ ;
- à  $\theta = \pi$  ;  
 $U$  s'annule, donc  $i$  s'annule et le thyristor se bloque.
- $\theta \in [\pi, 2\pi]$  :  
 Thyristor reste bloqué car  $V < 0$  (même si une impulsion arrive sur la gâchette le thyristor reste bloqué)  
 $U = 0$  ;  $i = 0$ ,  $V_{AK} = V$ ;



La valeur moyenne de la tension est :

$$U_{moy} = \frac{V_{max}}{2\pi} \cdot (1 + \cos(\alpha))$$

Sur charge inductive (sans ou avec une diode de roue libre)

Le fonctionnement et les allures des tensions et courants sont identiques au montage de redressement simple alternance non commandé; avec la seule différence est le temps départ (temps d'amorçage du thyristor) qui sera retardé d'un angle  $\alpha$ .

### Redressement double alternance montage PD2

Sur charge résistive

$\theta \in [0, \alpha]$  : aucun Thyristor passant :

$$U = 0 ; i = 0$$

- $\theta \in [\alpha, \pi]$  : T1 et T3 passants :

$$U = V ; i = V/R$$

A  $\theta = \pi$ ,  $U = 0$ , donc  $i = 0$  d'où le blocage des thyristors T1 et T3

- $\theta \in [\pi, \alpha + \pi]$  : aucun thyristor passant :

$$U = 0 ; i = 0$$

- $\theta \in [\alpha + \pi, 2\pi]$  : T4 et T2 passants :

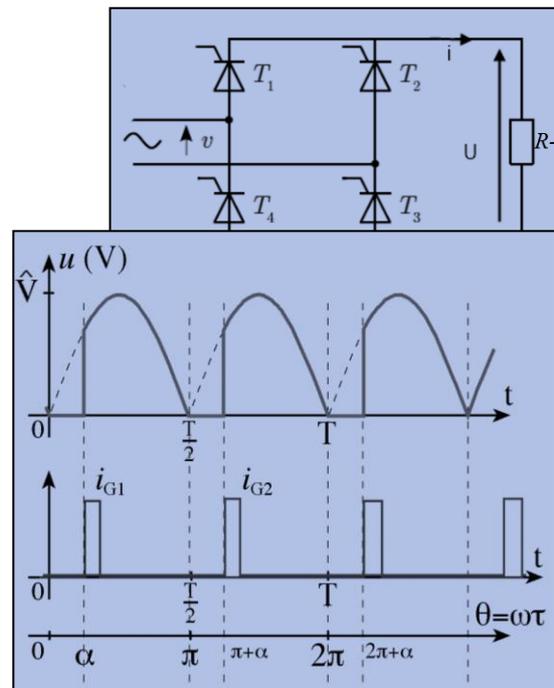
$$U = -V ; i = -V/R$$

- $\theta \in [2\pi, 2\pi + \alpha]$  : aucun thyristor passant :

$$U = 0 ; i = 0$$

La valeur moyenne de la tension est :

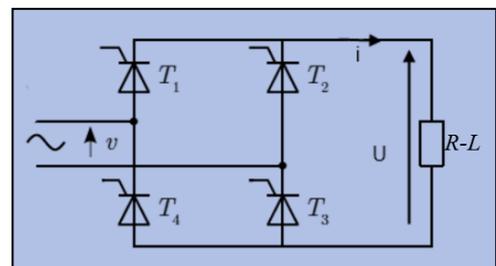
$$U_{moy} = \frac{V_{max}}{\pi} \cdot (1 + \cos(\alpha))$$



Sur charge inductive R-L

L'inductance prolonge la conduction du courant après  $T/2$ . Donc suivant les valeurs de L et de  $\alpha$  on trouve deux modes de fonctionnement :

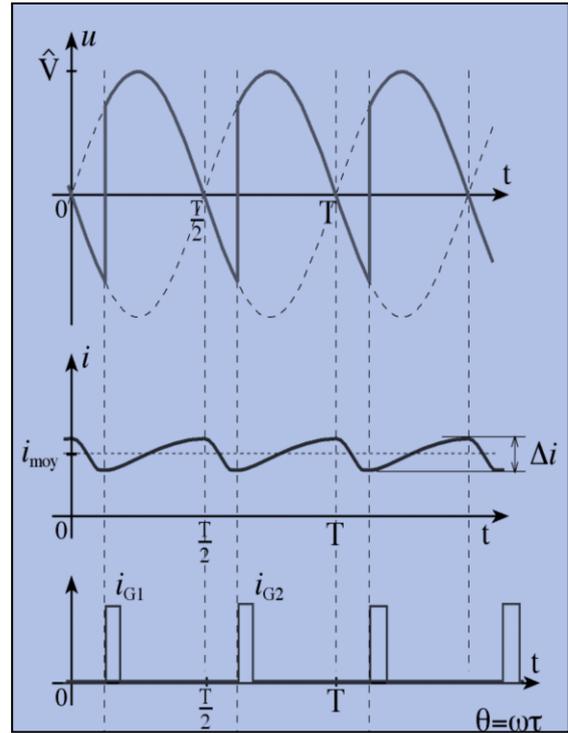
- Le courant s'annule avant l'arrivée de  $\alpha$ , c'est la conduction discontinue.



- $\alpha$  arrive avant l'annulation du courant, c'est la conduction continue.

Dans la pratique on cherche à avoir un courant continu par l'ajout d'une bobine de lissage qu'on suppose suffisante pour garantir la continuité du courant. Pour cela on se limite à l'étude du mode de conduction continue.

- $\theta \in [\alpha, \pi]$  : T1 et T3 passants :  $U = V$  ;  $Ri + Ldi/dt = V \sqrt{2} \sin \omega t$
- $\theta \in [\pi, \alpha + \pi]$  : T1 et T3 restent passants puisque le courant  $i$  ne s'annule pas :  $U = V < 0$  ;  $Ri + Ldi/dt = V \sqrt{2} \sin \omega t$   
Dans cette phase la tension est négative ce qui diminue la valeur moyenne.
- $\theta \in [\alpha + \pi, 2\pi]$  : T2 et T4 passants :  $U = -V$  ;  $Ri + Ldi/dt = -V \sqrt{2} \sin \omega t$
- $\theta \in [2\pi, \alpha + 2\pi]$  : T2 et T4 restent passants puisque le courant  $i$  ne s'annule pas :  $U = -V$  ;  $Ri + Ldi/dt = -V \sqrt{2} \sin \omega t$



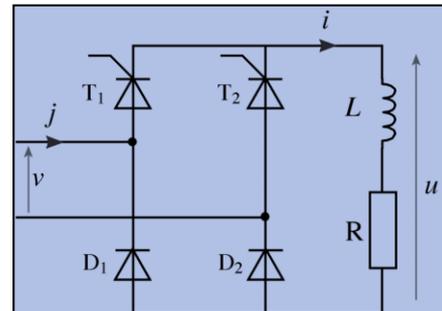
La valeur moyenne de la tension est :

$$U_{moy} = \frac{2V_{max}}{\pi} \cdot \cos(\alpha)$$

**Redressement double alternance montage PD2 mixte**

Sur charge inductive R-L

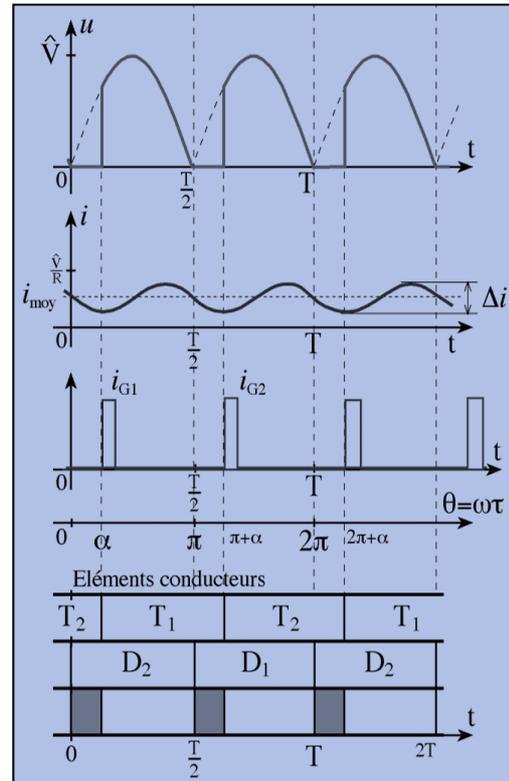
Pour remédier au problème de diminution de la valeur moyenne de  $u$ , on utilise le montage mixte.



Dans ce montage les diodes (avec les thyristors correspondants) fonctionnent en roue libre empêchant l'inversion de la tension  $u$ .

Toujours on suppose que  $L$  est assez important pour que la conduction soit continue.

- $[\alpha, \pi]$  : T1 et D2 passants :  
 $U = V$ ;
- $[\pi, \alpha + \pi]$  : T1 reste passant (le courant  $i$  ne s'annule pas) D1 passante ( $V < 0$ ) :  
Phase de roue libre.  
 $U = 0$  ;
- $[\alpha + \pi, 2\pi]$  : T2 et D1 passants :  
 $U = -V$  ;
- $[2\pi, 2\pi + \alpha]$  : T2 et D2 passants : phase de roue libre.  
 $U = 0$  ;



La valeur moyenne de la tension est :

$$U_{moy} = \frac{V_{max}}{\pi} \cdot (1 + \cos(\alpha))$$

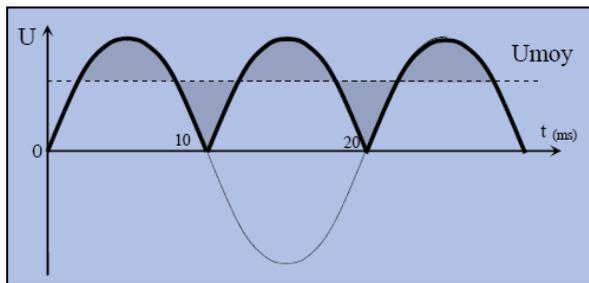
### Onduleur assisté

Revenons au redressement double alternance montage PD2 tout thyristors sur charge inductive R-L (ou sur charge active) où l'inductance garantit la continuité du courant dans la charge.

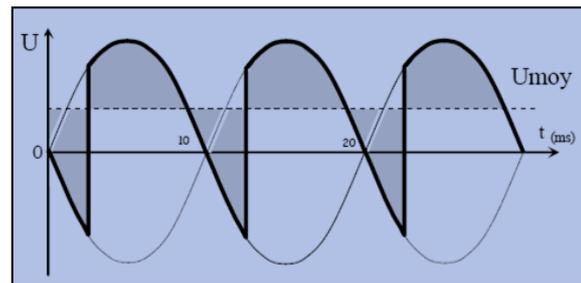
La valeur moyenne de la tension aux bornes de la charge est

$$U_{moy} = (2 \cdot V_{max} / \pi) \cdot \cos \alpha$$

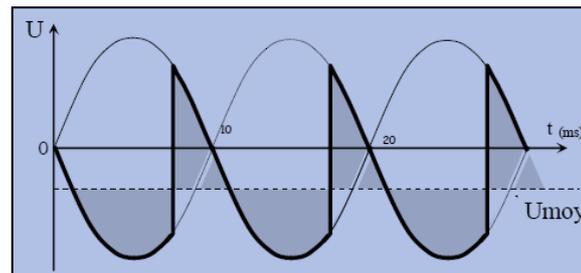
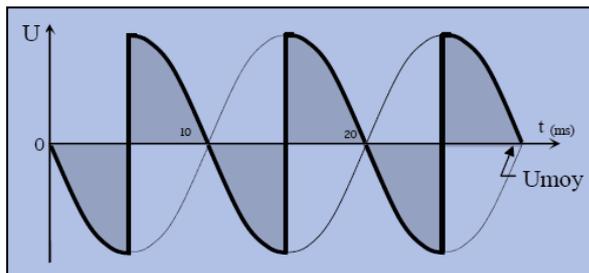
Cette tension peut être positive ou négative suivant la valeur de  $\alpha$  comme suite :



$$\alpha = 0; U_{moy} = (2 \cdot V_{max} / \pi)$$

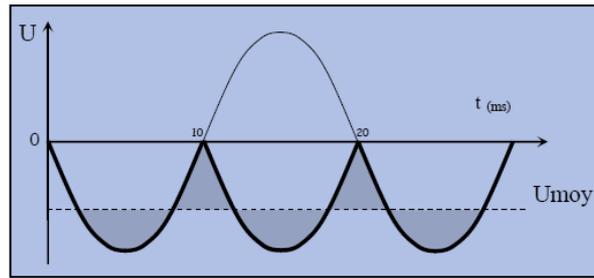


$$\alpha = \pi / 4; U_{moy} = (2 \cdot V_{max} / \pi) \times 0.707$$



$$\alpha = \pi / 2; U_{moy} = 0$$

$$\alpha = 3 \pi / 4; U_{moy} = - (2.V_{max} / \pi) \times 0.707$$

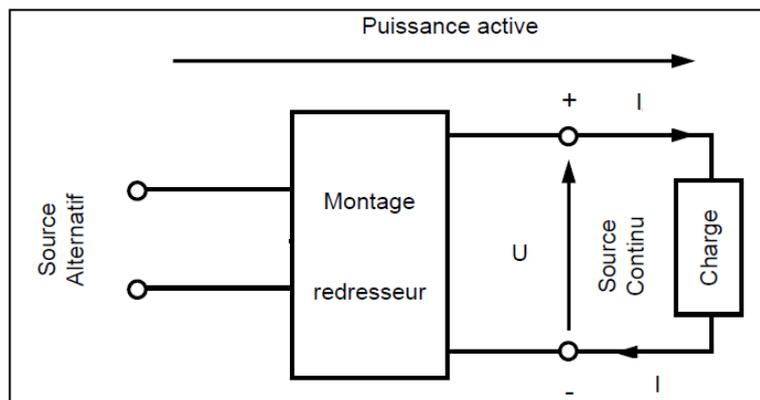


$$\alpha = \pi; U_{moy} = - (2.V_{max} / \pi)$$

On distingue deux types de fonctionnements :

**Pour  $0 < \alpha < \pi/2$  :**

La tension redressée est positive, et la puissance active ( $P_a = U_{moy} \times I > 0$ ) fournie par le redresseur à la charge est positive. La charge absorbe donc de l'énergie et le montage fonctionne en tant que redresseurs à tension redressée variable en fonction du retard d'amorçage  $\alpha$ .

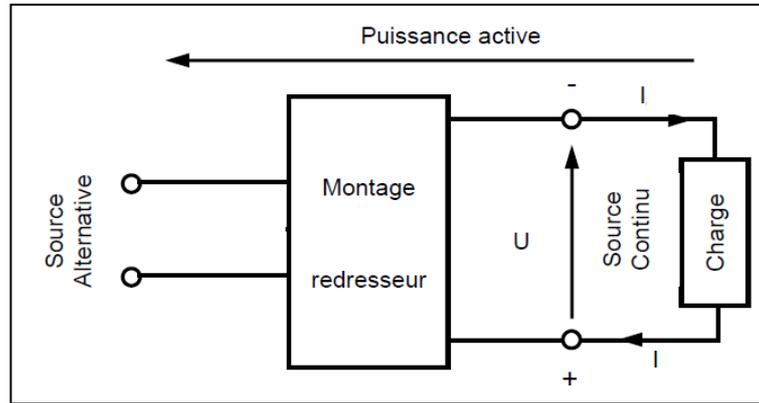


**Pour  $\pi/2 < \alpha < \pi$  :**

La tension redressée est négative, et la puissance active ( $P_a = U_{moy} \times I < 0$ ) est négative. La charge n'est plus un récepteur mais un générateur. L'énergie passe du côté continu au côté alternatif. Le montage fonctionne en onduleur.

Le montage ne peut fonctionner, dans ces conditions, que s'il est connecté, côté continu (charge), sur un dispositif susceptible de lui fournir de l'énergie, soit par exemple : génératrice courant continu, pont redresseur, batterie d'accumulateurs.

On a alors un fonctionnement en onduleur assisté. C'est un onduleur car l'énergie passe de la source continue au réseau alternatif; il est assisté car la valeur efficace et la fréquence des tensions alternatives sont fixées par le réseau alternatif.

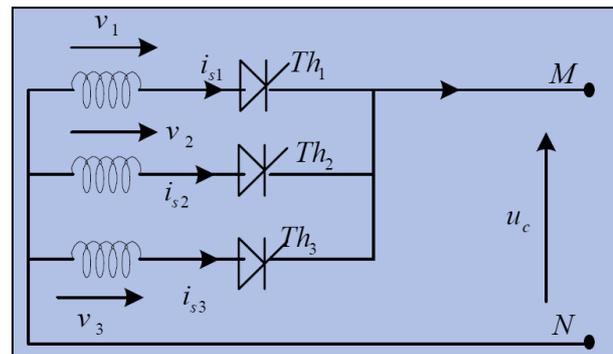


Pour  $\alpha = \pi / 2$ , le convertisseur ne marche ni en redresseur ni en onduleur. La tension redressée moyenne à la sortie est nulle.

### 2.2.3 Redressement triphasé

#### Redressement simple alternance P3

En remplaçant les diodes par des redresseurs à thyristors, on peut retarder l'entrée en conduction des redresseurs. On dit qu'on fonctionne en commutation retardée. On caractérise le retard par l'angle  $\alpha$ . Les thyristors sont débloqués avec un retard en temps de  $\alpha / \omega$  par rapport à l'instant où les diodes correspondantes étaient en conduction.



L'analyse de fonctionnement est similaire à celui du redresseur à diode avec un retard  $\alpha$ .

| Intervalle                                   | Tension la plus positive | Thyristor passant | Thyristors bloqués | Tension u | Tension $v_{Th1}$ |
|--|--------------------------|-------------------|--------------------|-----------|-------------------|
| $0 \text{ à } \pi/6 + \alpha$                | V3                       | Th3               | Th1 et Th2         | $u = v3$  | $v_{D1} = u13$    |
| $\pi/6 + \alpha \text{ à } 5\pi/6 + \alpha$  | V1                       | Th1               | Th2 et Th3         | $u = v1$  | $v_{D1} = 0$      |
| $5\pi/6 + \alpha \text{ à } 9\pi/6 + \alpha$ | V2                       | Th2               | Th3 et Th1         | $u = v2$  | $v_{D1} = u12$    |
| $9\pi/6 + \alpha \text{ à } 12\pi/6$         | V3                       | Th3               | Th1 et Th2         | $u = v3$  | $v_{D1} = u13$    |

Comme dans le cas du PD2, deux cas sont à considérer :

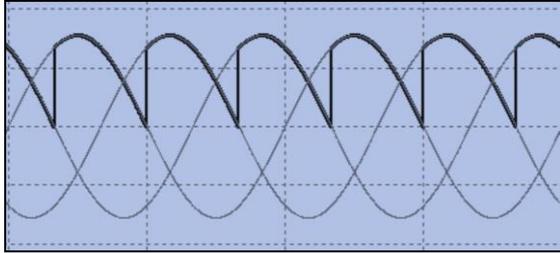
- $\alpha < \pi / 2$ : marche en redresseur.

La tension  $u$  est formée de 3 portions de sinusoides par période  $T$ . Au fur et à mesure que  $\alpha$  croît la tension moyenne redressée  $U_{moy}$  diminue. Tant que  $\alpha < \pi / 2$  le montage fonctionne en redresseur à rapport de transformation alternatif-continu variable.

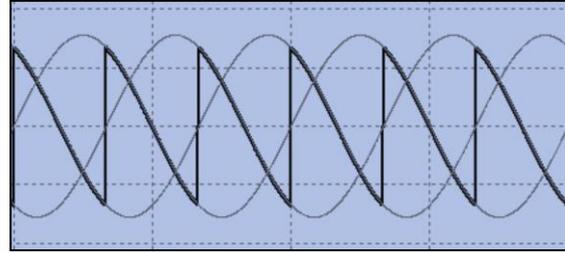
- $\alpha > \pi / 2$ : marche en onduleur assisté.

La tension moyenne redressée  $U_{moy}$  s'inverse. La puissance, fournie du côté continu, est négative. La charge n'est plus un récepteur mais plutôt un générateur. L'énergie passe du côté continu au côté alternatif. Le montage fonctionne en onduleur.

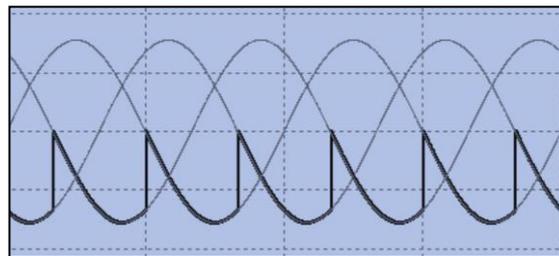
Les chronogrammes des tensions sont comme suite :



$\alpha = \pi / 6$ ; marche redresseur



$\alpha = \pi / 2$ ;  $U = 0$



$\alpha = 5\pi / 6$ ; marche en onduleur assisté

La valeur moyenne de la tension est :

$$U_{moy} = \frac{3\sqrt{3}}{2 \cdot \pi} V_{max} \cdot \cos(\alpha)$$

### Redressement double alternance PD3

Comme pour un redresseur parallèle double à diodes triphasé, la charge voit une tension égale à la différence entre la tension délivrée par le commutateur « à cathodes communes » et celle fournie par le commutateur " à anodes communes ".

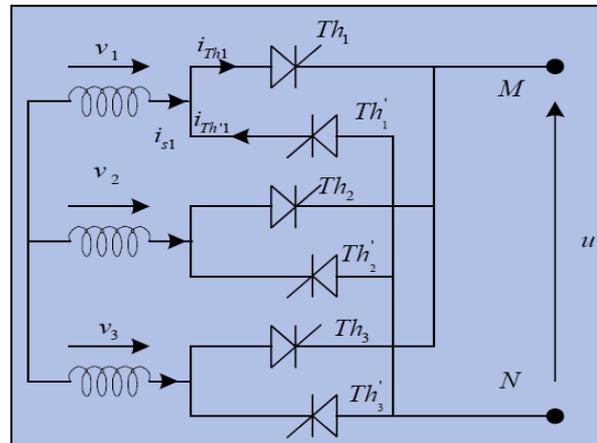
Le thyristor  $Th_1$  est susceptible de conduire lorsque la tension  $V_1$  est la plus positive des composantes  $V_1$ ,  $V_2$  et  $V_3$ . Il est commandé à l'amorçage après un angle de

retard  $\alpha$  (retard par rapport à la conduction naturelle des diodes).

Le thyristor  $Th_2'$  est à son tour susceptible de conduire lorsque  $V_2$  devient la plus négative. Il est commandé à l'amorçage après un angle de retard à l'amorçage  $\alpha$ .

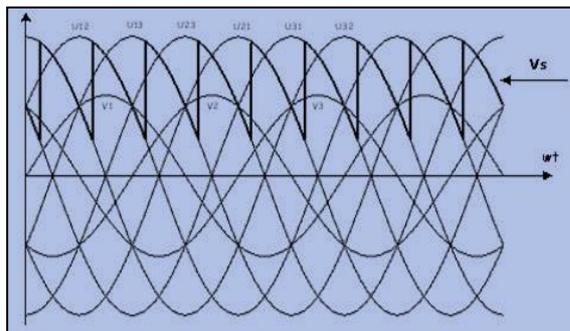
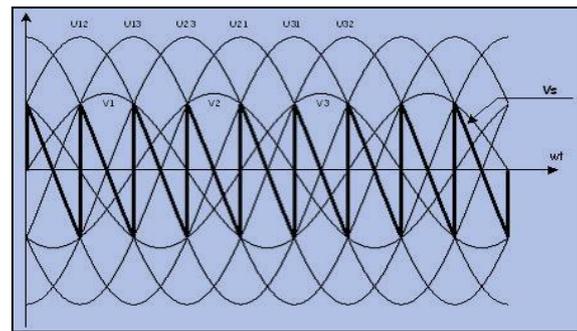
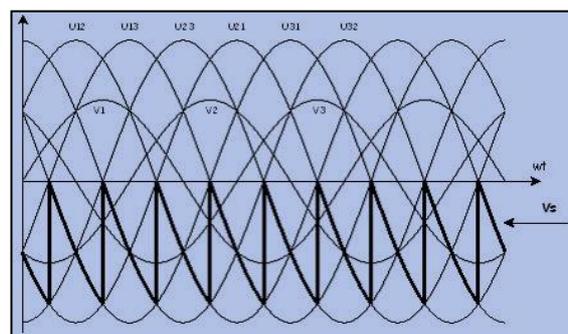
Si ces deux thyristors conduisent simultanément, on aura en sortie  $U = V_1 - V_2 = U_{12}$ .

L'analyse de fonctionnement est comme suite :



| Intervalle                                    | Tension la plus positive | Tension la plus négative | Thyristors passants | Tension u    | Tension $V_{Th1}$ |
|---|--------------------------|--------------------------|---------------------|--------------|-------------------|
| $0 \text{ à } \pi/6 + \alpha$                 | V3                       | V2                       | Th3 et Th2'         | $u = u_{32}$ | $V_{D1} = u_{13}$ |
| $\pi/6 + \alpha \text{ à } 3\pi/6 + \alpha$   | V1                       | V2                       | Th1 et Th2'         | $u = u_{12}$ | $V_{D1} = 0$      |
| $3\pi/6 + \alpha \text{ à } 5\pi/6 + \alpha$  | V1                       | V3                       | Th1 et Th3'         | $u = u_{13}$ | $V_{D1} = 0$      |
| $5\pi/6 + \alpha \text{ à } 7\pi/6 + \alpha$  | V2                       | V3                       | Th2 et Th3'         | $u = u_{23}$ | $V_{D1} = u_{12}$ |
| $7\pi/6 + \alpha \text{ à } 9\pi/6 + \alpha$  | V2                       | V1                       | Th2 et Th1'         | $u = u_{21}$ | $V_{D1} = u_{12}$ |
| $9\pi/6 + \alpha \text{ à } 11\pi/6 + \alpha$ | V3                       | V1                       | Th3 et Th1'         | $u = u_{31}$ | $V_{D1} = u_{13}$ |
| $11\pi/6 + \alpha \text{ à } 12\pi/6$         | V3                       | V2                       | Th3 et Th2'         | $u = u_{32}$ | $V_{D1} = u_{13}$ |

Toujours dans le cas d'une charge inductive garantissant un courant  $i$  dans la charge interrompu et se trouve commuté par une paire de thyristors. Les chronogrammes des tensions sont comme ci-dessous avec les deux modes de fonctionnement en redresseur à tension variable ou en onduleur assisté :

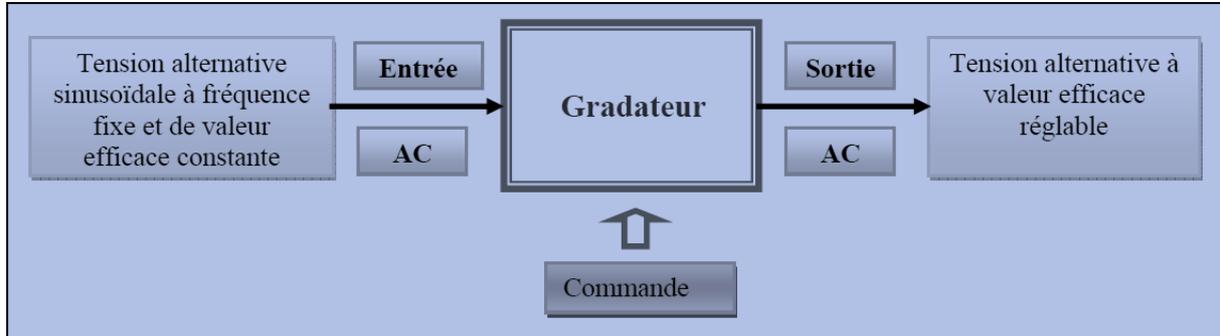

 $\alpha = \pi / 4$ ; marche redresseur

 $\alpha = \pi / 2$ ;  $U = 0$ 

 $\alpha = 2\pi / 3$ ; marche en onduleur

La valeur moyenne de la tension est :

$$U_{moy} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_{max} \cdot \cos(\alpha)$$

### 3 Les gradateurs

Les gradateurs sont les convertisseurs statiques qui, alimentés par un réseau alternatif, fournissent une tension à valeur moyenne nulle, de même fréquence que celle du réseau d'alimentation, mais de valeur efficace réglable.



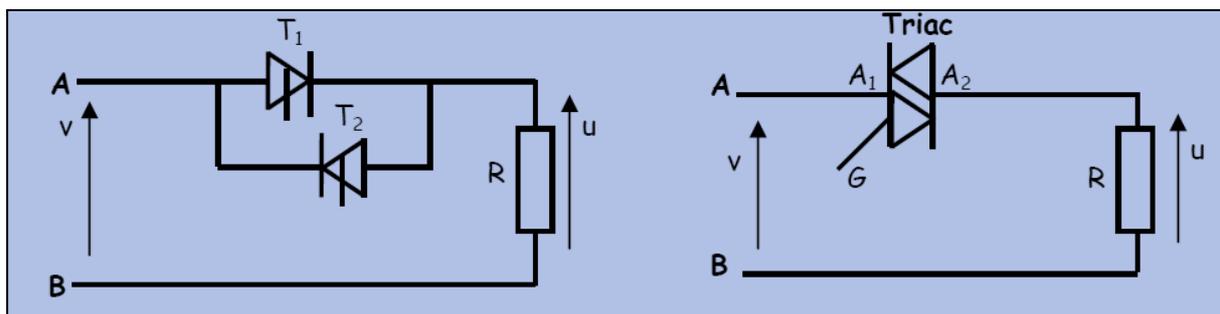
Les deux thyristors doivent être commandés avec le même angle de retard  $\alpha$  pour obtenir une tension  $U$  alternative de valeur moyenne nulle.

Deux modes de commande de l'énergie transférée à la source sont possibles :

- **commande à angle de phase:** la variation de la valeur efficace  $U$  est obtenue en agissant sur l'angle de retard  $\alpha$ . C'est la technique principale des gradateurs actuels.
- **commande à trains d'ondes:** les deux thyristors sont commandés pleine onde pendant le temps  $T_{on}$  (période de conduction) puis sont bloqués jusqu'à la fin de la période de modulation.

La variation de  $T_{on}/T_c$  permet de commander la tension efficace  $U$ .

Le principe de fonctionnement permet l'emploi de composants de type thyristors, à fonctionnement bidirectionnel, grâce à l'association tête-bêche de deux éléments comme indiqué ci-dessous. Tant que les puissances mises en jeu le permettent, on peut remplacer cette structure par un triac, ce qui simplifie en particulier la conception des circuits de commande.



### 3.1 Gradateur monophasé

#### 3.1.1 Commande à angle de phase

Les intervalles de conduction s'obtiennent en remarquant que, comme  $i$  est proportionnel à  $u$ , chaque thyristor se bloque à l'instant où  $U = 0$  (donc à chaque passage par zéro de  $V$ ).

Le fonctionnement est comme suite :

- $0 < \theta < \pi : V > 0$

Le thyristor T1 est susceptible d'être amorcé.

A  $\theta = \alpha$  T1 est amorcé, le courant  $i$  circule à travers

T1

On en déduit que :  $U = V$  et  $i = V/R$

T1 se bloque naturellement en  $\theta = \pi$  ( $i = 0$ ).

- $0 < \theta < 2\pi : V < 0$

Le thyristor T2 est susceptible d'être amorcé.

A  $\theta = \pi + \alpha$  T2 est amorcé, le courant  $i$  circule à travers T2

On en déduit que :  $U = V$  et  $i = V/R$

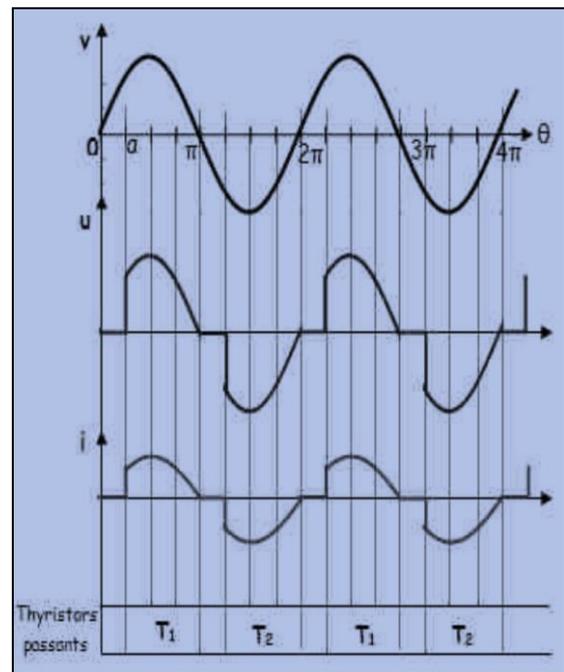
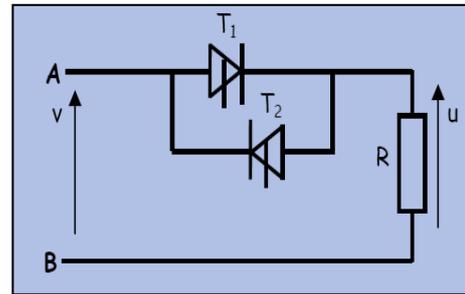
T2 se bloque naturellement en  $\theta = 2\pi$  ( $i = 0$ ).

On en déduit les allures de  $U$  et de  $i$ . On peut noter que l'angle de conduction des thyristors est égal à  $\pi - \alpha$ .

Grandeurs caractéristiques :

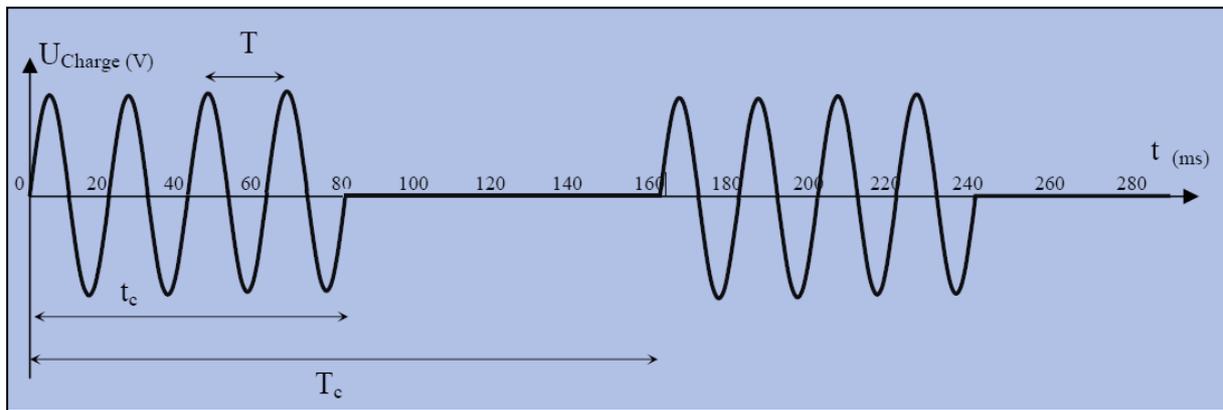
- Valeur moyenne de la tension  $U$  :  $U_{\text{moy}} = 0$  (tension alternative)

- Valeur efficace de la tension  $U$  :  $U_{\text{eff}} = V \cdot \sqrt{\left(1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}\right)}$



#### 3.1.2 Commande à trains d'ondes

Dans les installations où l'inertie est lente (chauffage, éclairage) on peut remplacer la commande de phase par un fonctionnement en "tout ou rien", les interrupteurs étant passants pendant  $n_1$  périodes du réseau ( $t_c$ ) et bloqués pendant les  $n - n_1$  périodes suivantes ( $T_c - t_c$ ). Si, de plus, la période  $T_c$  est constante, on obtient la commande dite à "train d'ondes", où la puissance dissipée dans la charge est proportionnelle au rapport  $t_c/T_c$ .



Dans cette commande au lieu de ne laisser passer qu'une partie de l'onde sinusoïdale, on laisse passer le courant pendant un nombre  $n$  entier de périodes : c'est le temps de conduction  $t_c$ . Ensuite on bloque le gradateur, à l'occasion d'un passage à 0, pendant  $T_c - t_c$  puis on laisse passer de nouveau pendant le temps  $t_c$ , etc...

Chaque série de  $n$  alternances est appelée train d'ondes. Le temps qui sépare les débuts (ou les fins) de deux trains d'ondes est désigné par  $T_c$ . C'est la période de commande.

Plus  $t_c$  se rapproche de  $T_c$  et plus  $U_{charge}$  est proche de  $U_{réseau}$ . Pour exprimer cela on a défini, le rapport cyclique :  $\tau = t_c / T_c$  avec  $0 \leq \tau \leq 1$

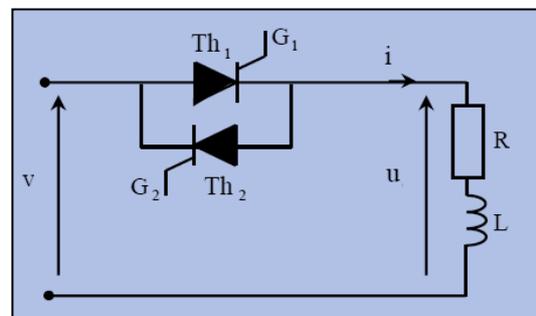
Pour obtenir la puissance moyenne fournie au récepteur, il suffit d'écrire :

$$P_{moy} = \tau \cdot P_{nominale}$$

### 3.1.3 Débit sur charge inductive

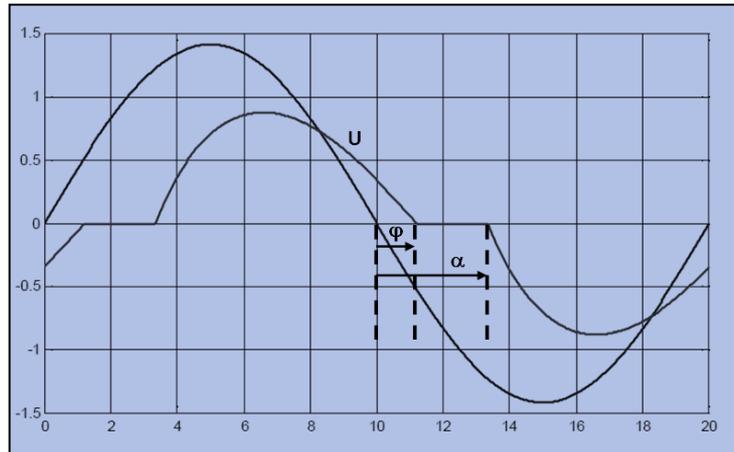
Sous l'effet inductif de la bobine, le courant sera retardé par rapport à la tension. Notons  $\varphi$  le déphasage qui existerait entre  $U$  et  $i$  en régime sinusoïdal permanent.

L'annulation du courant, donc le blocage de l'interrupteur, se produit après le passage par zéro de  $V$ , ce qui entraîne un allongement de l'angle de conduction, d'autant plus important que  $\varphi$  est plus élevé.



On distingue deux cas :

- $\alpha > \varphi$  : Th1 se bloque donc naturellement avant l'amorçage de Th2. Th2 conduit de  $\alpha + \pi$  à  $2\pi$ . C'est le fonctionnement en gradateur où la tension et le courant efficaces dans la charge varient en fonction de  $\alpha$ . Les thyristors s'amorçant dès l'apparition du signal de gâchette, la commande longue ne s'imposerait pas pour ce mode de fonctionnement.
- $\alpha < \varphi$  : Th1 conduit donc encore lorsque Th2 reçoit l'impulsion d'amorçage. Le fonctionnement dépend du mode de commande :
  - ☑ Si les thyristors sont commandés par de brèves impulsions de gâchette, l'impulsion envoyée sur Th2 est inopérante puisqu'il est polarisé en inverse. Lorsque Th1 se bloque, Th2 n'est plus commandé. Th2 ne conduit donc jamais et le montage fonctionne en redresseur simple alternance.
  - ☑ Si les thyristors sont commandés par train d'impulsions (commande de type longue), lorsque Th1 se bloque, Th2 est toujours commandé donc conduit à partir de  $\theta = \varphi$ . On a donc en permanence Th1 ou Th2 passant et  $U = V$  en permanence. On est dans le cas de la conduction continue, le courant  $i$  est sinusoïdal. Il s'ensuit que, pour ce mode de fonctionnement, le système ne réagit plus à la commande, ce qui confirme le fait que lorsque le courant est ininterrompu, l'interrupteur est passant en permanence et le fonctionnement en gradateur disparaît.



## 3.2 Gradateur triphasé

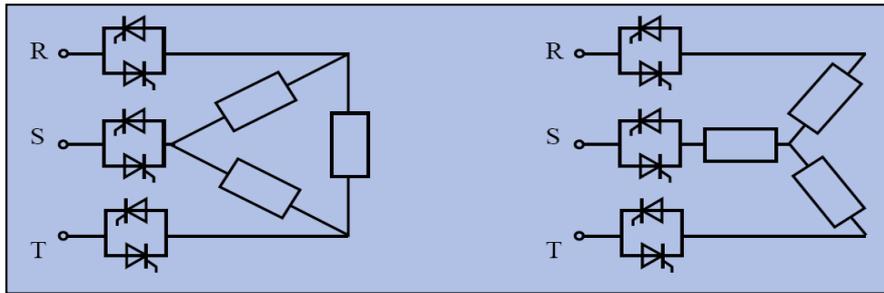
### 3.2.1 Branchements du gradateur

Contrairement au monophasé, où il n'y avait qu'une seule façon d'associer l'interrupteur avec la charge, il existe en triphasé diverses possibilités, surtout si la charge, que nous supposons équilibrée, est de type à six bornes accessibles. De plus, on peut dans certains cas, peu employés, remplacer les interrupteurs à deux thyristors par des interrupteurs mixtes ( un thyristor et une diode ).

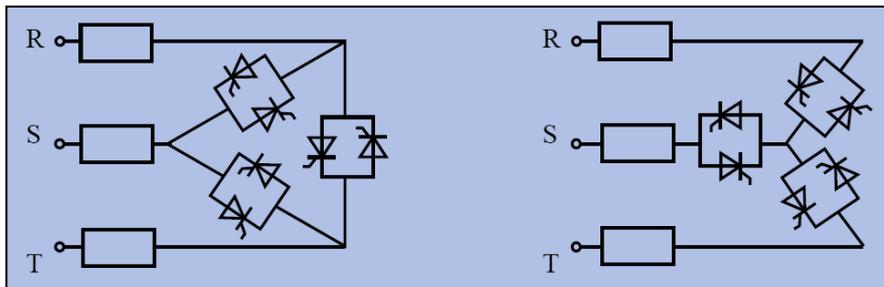
Dans la suite, nous présentons une description sommaire des montages les plus usuels. Les grandeurs caractéristiques et leur évolution sont qualitativement les mêmes que pour le gradateur monophasé.

On distingue quatre structures de montage :

- Le gradateur est entre la source et le récepteur



- Le gradateur est en aval du récepteur

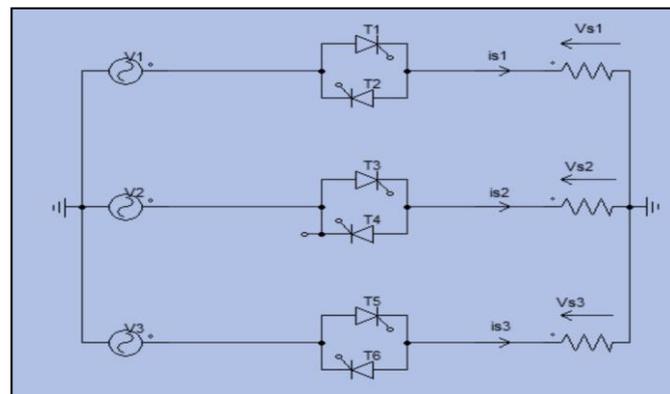


### 3.2.2 Analyse de fonctionnement

Soit la structure ci-contre, où le gradateur est alimenté par un système triphasé équilibré ( $V_1, V_2, V_3$ ) et le neutre de l'alimentation est relié au neutre du récepteur.

Les tensions aux bornes de la charge sont mentionnées ( $V_{s1}, V_{s2}, V_{s3}$ )

Suivant le retard à l'amorçage  $\alpha$  des thyristors, trois modes de fonctionnement sont possibles :

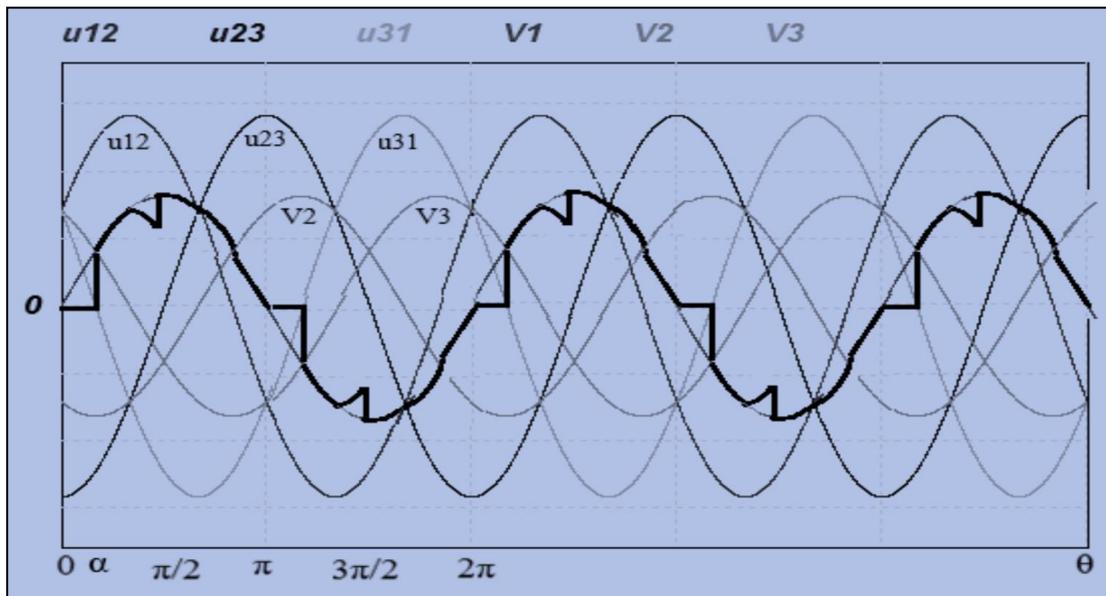


- $0 < \alpha < \pi / 3$ , il y a tantôt deux, tantôt trois thyristors passants.
- $\pi / 3 < \alpha < \pi / 2$ , il y a toujours deux thyristors passants.
- $\pi / 2 < \alpha < 5\pi / 6$ , il y a tantôt deux thyristors passants tantôt aucun thyristor.
- $5\pi / 6 < \alpha < \pi$ , aucun thyristor n'est conducteur.

Dans le premier cas :

- (T4 et T5) ou (T3 et T6) passants :  $V_{s1} = 0$ .
- (T1, T4 et T5) ou (T2, T3 et T6) passants  $V_{s1} = V_1$ .
- (T4 et T1) ou (T5 et T2) passants  $V_{s1} = u_{12}/2$ .
- (T4, T1 et T6) ou (T3, T2 et T5) passants  $V_{s1} = V_1$ .
- (T1 et T6) ou (T2 et T5) passants  $V_{s1} = u_{13}/2$ .
- (T1, T3 et T6) ou (T2, T4 et T5) passants  $V_{s1} = V_1$ .

Exemple, pour  $\alpha = \pi / 6$ , on obtient le chronogramme de la tension  $V_{s1}$  suivant.



Toujours pour le premier cas, la valeur efficace de la tension de sortie  $V_{s1}$  est :

$$V_{s1\text{eff}} = V \cdot \sqrt{\left(1 - \frac{3\alpha}{4\pi} + \frac{3\sin 2\alpha}{4\pi}\right)}$$

## 4 Les hacheurs

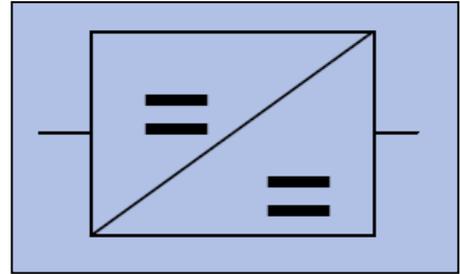
Un hacheur est un convertisseur continu –continu qui a pour rôle de fournir une tension continue variable à partir d'une tension continue fixe. Il est principalement utilisé pour alimenter les moteurs à courant continu dont on veut faire varier la vitesse.

Le principe du hacheur consiste à établir puis interrompre périodiquement la liaison source- charge à l'aide d'un interrupteur électronique. L'interrupteur électronique (H) un interrupteur unidirectionnel parfait qui peut être un transistor de puissance (bipolaire, MOS, ou IGBT) ou un thyristor accompagné d'un circuit auxiliaire d'extinction ou un GTO. il est commandé en ouverture et en fermeture par un signal périodique de rapport cyclique  $\alpha$ .

Le rapport cyclique est défini comme le temps  $t_{ON}$  pendant lequel l'interrupteur est fermé divisé par la période de fonctionnement du montage T.

$$\alpha = t_{ON}/T$$

La valeur de rapport cyclique :  $0 \leq \alpha \leq 1$

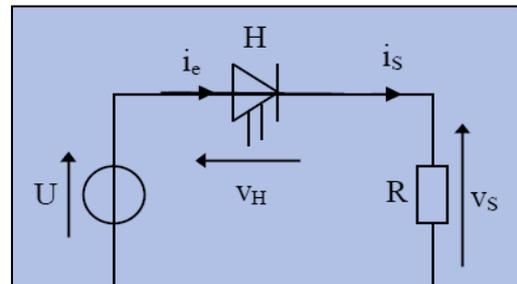


### 4.1 Hacheur « dévolteur » ou hacheur « série ».

#### 4.1.1 Sur charge résistive

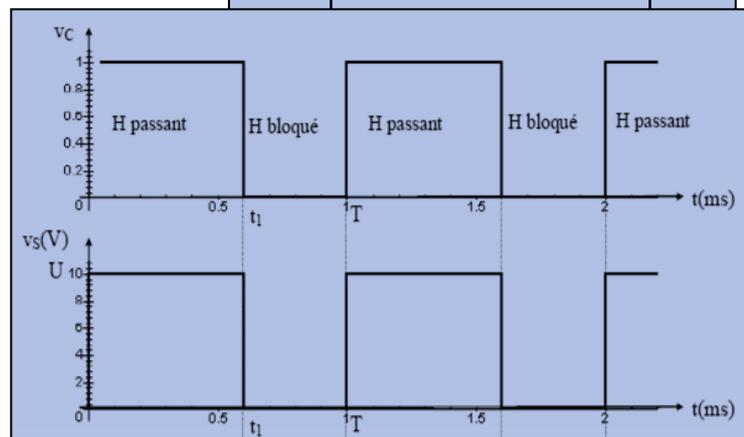
Soit le montage suivant :

L'interrupteur H est commandé par un signal  $v_c$  périodique de période T. l'état haut de ce signal commande la fermeture de H; l'état bas, commande l'ouverture.



Le fonctionnement est comme suite :

- $0 \leq t \leq \alpha T$  : H est fermé  
 $v_H = 0$ ;  
 $v_s = U = R i_s = R i_e$   
 $i_s = U/R$

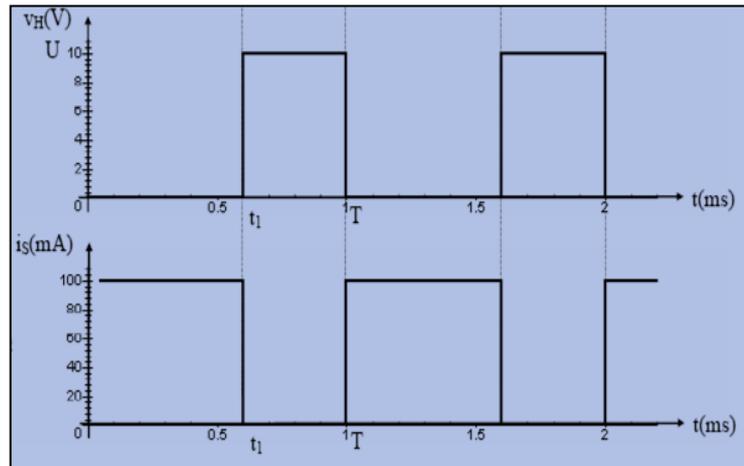


- $\alpha T \leq t \leq T$  : H est ouvert  
 $v_H = U$ ;  
 $v_s = 0 = R i_s = R i_e$   
 $i_s = 0$

La valeur moyenne de la tension  $v_s$  est :

$$V_{s\text{moy}} = \alpha \cdot U$$

Cette valeur peut être ajustée en modifiant la valeur du rapport cyclique  $\alpha$  donc sur la commande de H.



Quelle que soit la nature de la charge, on aura  $0 \leq V_{s\text{moy}} \leq U$ . Le hacheur série est bien abaisseur de tension (hacheur dévolteur).

La tension de sortie du hacheur n'est pas continue mais toujours positive. Lorsque la période est assez faible (fréquence de 100 à 1000 Hz) la charge ne « voit » pas les créneaux mais la valeur moyenne de la tension.

#### 4.1.2 Sur charge active R, L, E.

Soit le montage ci-contre, avec :

L suffisamment grande pour avoir  $i_s$  ininterrompu.

DRL : diode de roue libre fonctionnant quand H se bloque.

H est commandé par le signal  $v_c$  comme précédemment.

On distingue deux cas de fonctionnement :

##### 1. R est non négligeable.

- $0 \leq t \leq \alpha T$  : H est fermé; DRL bloquée.

$$v_H = 0;$$

$$v_s = U$$

Le courant  $i_s$  est régié par l'équation différentielle suivante :

$$U = E + R i_s + L \frac{di_s}{dt}; \text{ (} i_s \text{ exponentielle)}$$

- $\alpha T \leq t \leq T$  : H est ouvert; DRL passante

$$v_H = U;$$

$$v_s = 0$$

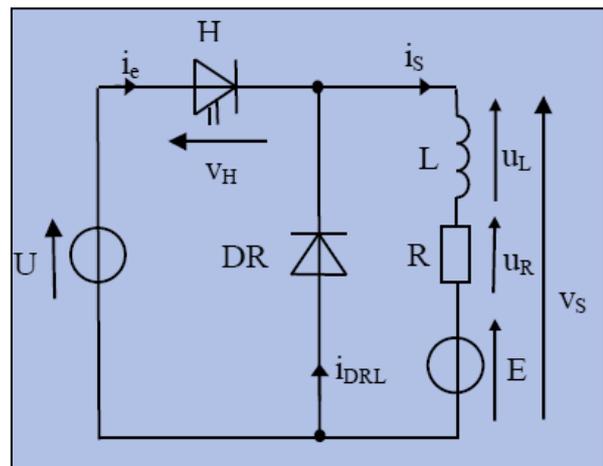
Le courant  $i_s$  est régié par l'équation différentielle suivante :

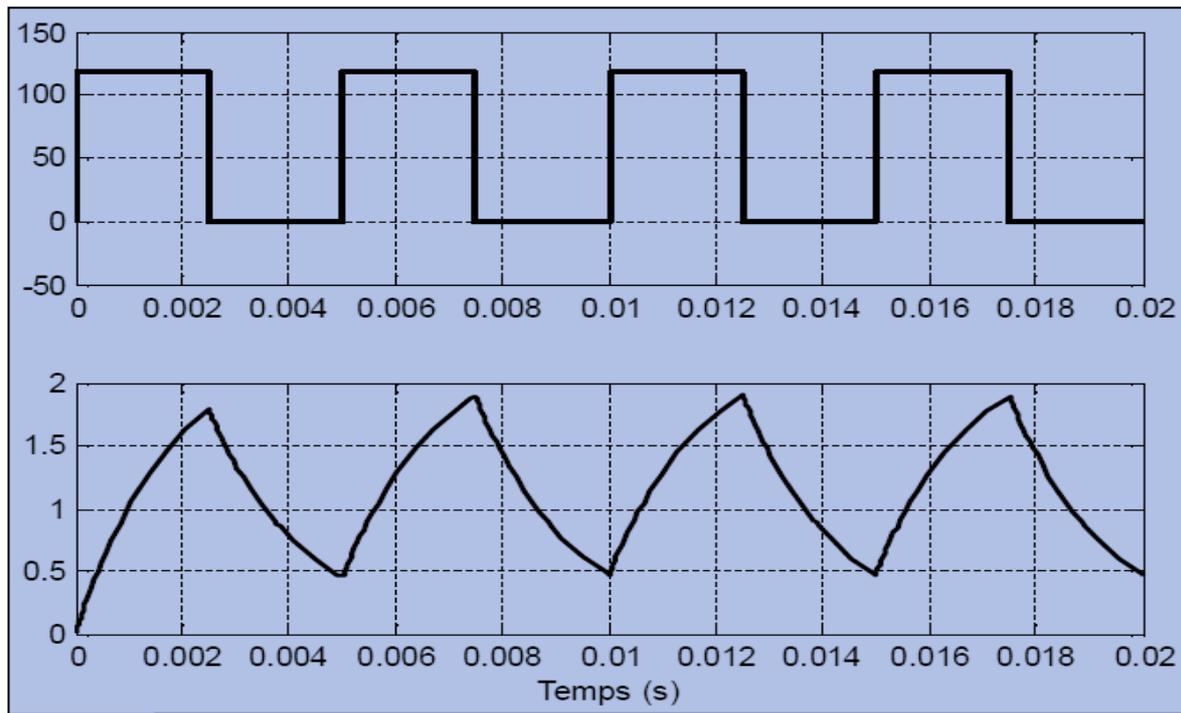
$$0 = E + R i_s + L \frac{di_s}{dt}; \text{ (} i_s \text{ exponentielle)}$$

La valeur moyenne de la tension  $v_s$  est toujours :

$$V_{s\text{moy}} = \alpha \cdot U$$

Les chronogrammes sont comme suite :





## 2. R est négligeable.

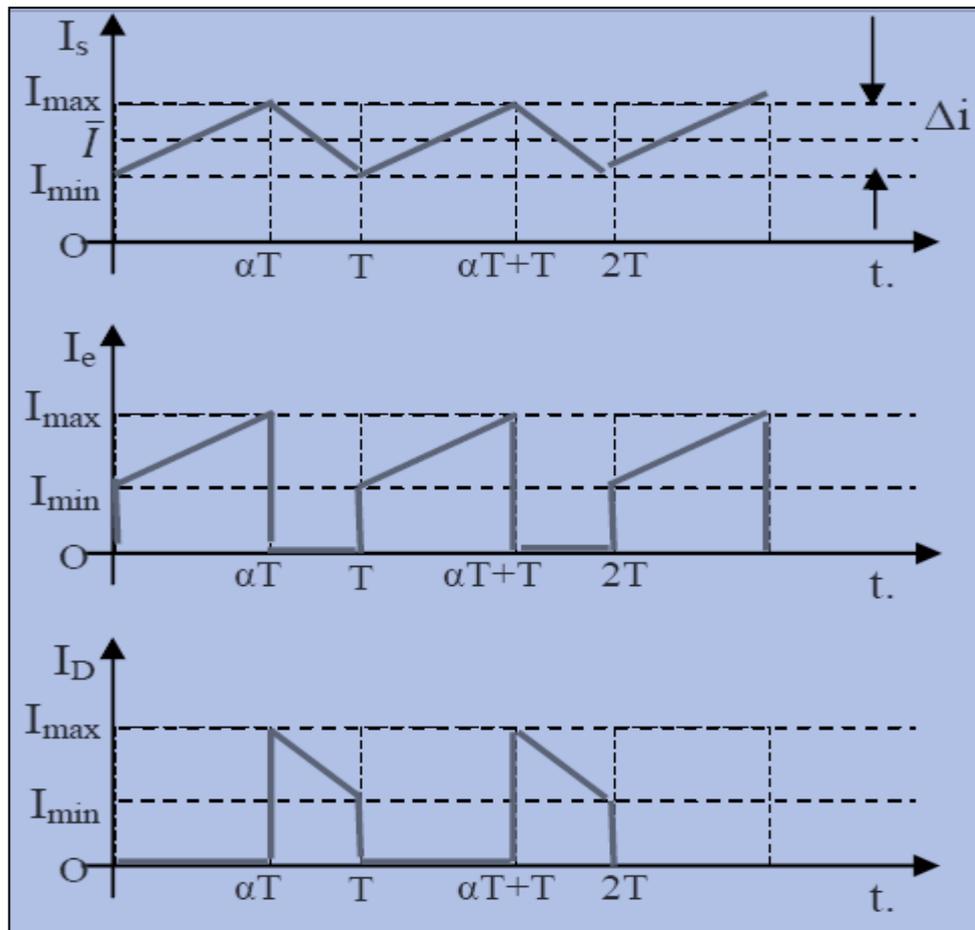
En réalité R est très faible (résistance des filaments du moteur) et par suite on peut négliger la chute de tension aux bornes. Les équations différentielles du courant deviennent :

- $0 \leq t \leq \alpha T$  : H est fermé; DRL bloquée.  

$$U = E + L \frac{di}{dt}; \text{ (is linéaire croissant)}$$
- $\alpha T \leq t \leq T$  : H est ouvert; DRL passante  

$$0 = E + L \frac{di}{dt}; \text{ (is linéaire décroissant)}$$

Les chronogrammes des courants deviennent :



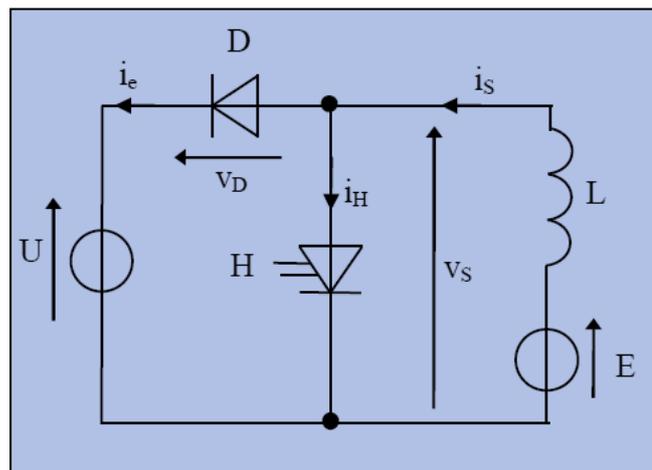
L'ondulation du courant  $\Delta i_s$  est fonction de l'inductance  $L$  et de la fréquence du hacheur  $F$ . Plus  $L$  augmente, plus  $\Delta i_s$  diminue. Plus  $F$  augmente, plus  $\Delta i_s$  diminue.

#### 4.2 Hacheur « Survolteur » ou hacheur « parallèle ».

Si on considère un moteur à courant continu entraînant une charge lourde (train par exemple). Lors d'une phase de freinage il est intéressant de récupérer l'énergie mécanique en le transformant en énergie électrique.

La machine fonctionne en génératrice mais sa f.e.m  $E$  décroît (car sa vitesse diminue) et devient inférieure à la tension du réseau  $U$  qui alimente le moteur. Pour assurer le transfert d'énergie électrique vers le réseau, il faut un hacheur élévateur de tension.

Le montage est donné ci-haut et le fonctionnement est comme suite :



- $0 \leq t \leq \alpha T$  : H est fermé; D est bloquée.  
 $v_H = v_s = 0$ ;  
 $i_e = 0$   
 Le courant  $i_s$  est régié par l'équation différentielle suivante :  
 $E = L \text{ di}_s/\text{dt}$ ; ( $i_s$  linéaire croissant)  
 Le courant  $i_s$  croit de sa valeur minimale  $i_{s\text{min}}$  à sa valeur maximale  $i_{s\text{max}}$ .  
 L'inductance L accumule de l'énergie.
- $\alpha T \leq t \leq T$  : H est ouvert; D est passante.  
 $v_H = v_s = U$ ;  
 $i_H = 0$   
 Le courant  $i_s$  (=  $i_e$ ) est régié par l'équation différentielle suivante :  
 $E - U = L \text{ di}_s/\text{dt}$ ; ( $i_s$  linéaire décroissant)  
 Le courant  $i_s$  décroît de sa valeur maximale  $i_{s\text{max}}$  à sa valeur minimale  $i_{s\text{min}}$ .  
 L'inductance L restitue de l'énergie à la source U.

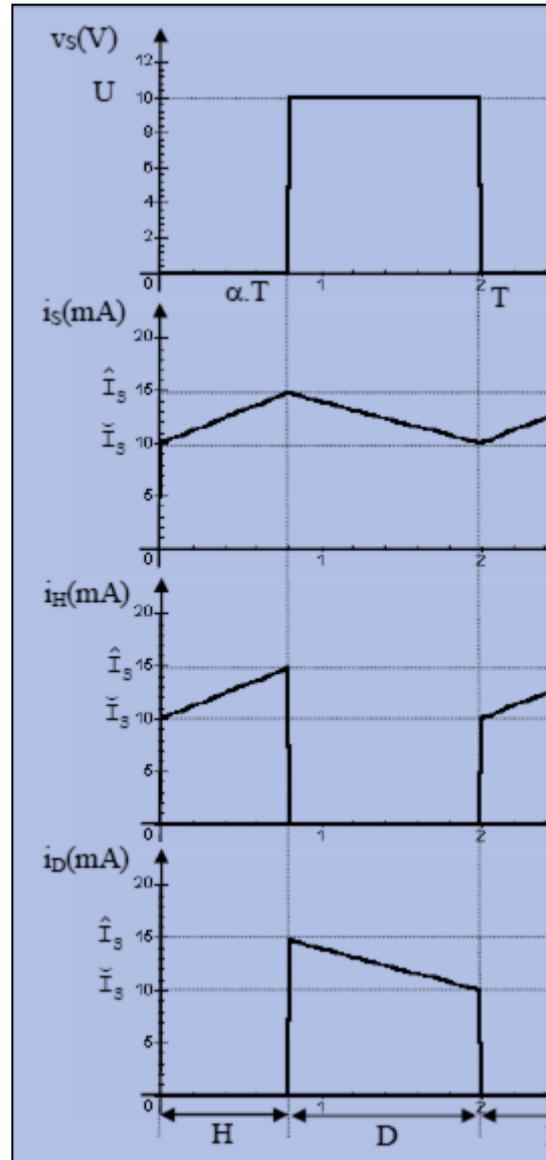
La valeur moyenne de la tension  $v_s$  est :

$$V_{s\text{moy}} = (1-\alpha).U; \text{ avec aussi } V_{s\text{moy}} = E; \text{ donc } U = E/(1-\alpha) \geq E$$

### 4.3 Hacheur réversible en courant.

Cette structure s'applique à l'alimentation d'une machine à courant continu pour permettre des phases de traction et de freinage sans réversibilité de la vitesse (tension unidirectionnelle) mais avec réversibilité de couple (réversibilité de courant). C'est un hacheur en ½ pont constitué par l'association d'un hacheur série et d'un hacheur parallèle.

Deux modes de fonctionnement sont possibles :

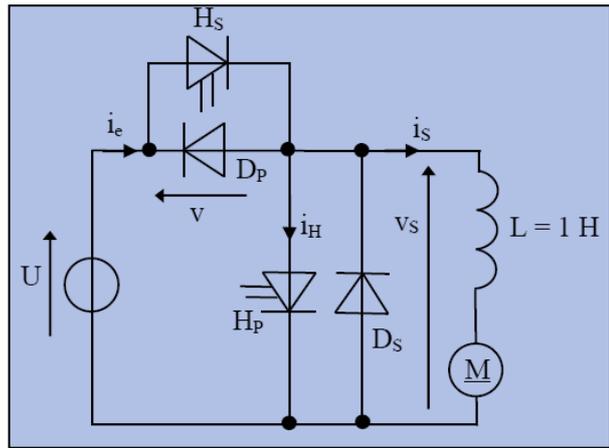


▪ **Fonctionnement Hacheur série ou dévolteur**

Le hacheur série est commandé, le hacheur parallèle est bloqué. Seuls Hs et Ds conduisent. La machine fonctionne en moteur.  $i_s > 0$ .

$V_{smoy} = \alpha U > 0$ ;  $I_{smoy} > 0$ ;  $P > 0$

L'énergie va de la source de tension vers le récepteur de courant



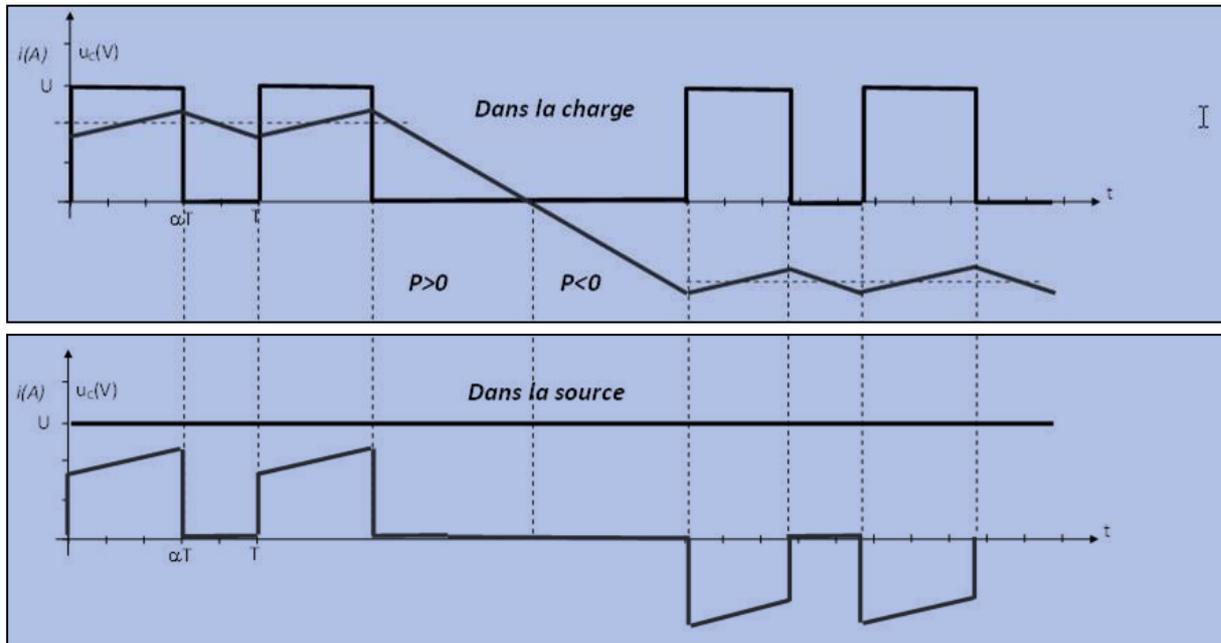
▪ **Fonctionnement Hacheur parallèle ou survolteur**

Le hacheur série est bloqué, le hacheur parallèle est commandé. Seuls Hp et Dp conduisent. La machine fonctionne en génératrice.  $i_s < 0$ .

$V_{smoy} = \alpha U > 0$ ;  $I_{smoy} < 0$ ;  $P < 0$

L'énergie va de la source de courant vers le récepteur de tension

Les chronogrammes de tension et de courant sont comme suite :

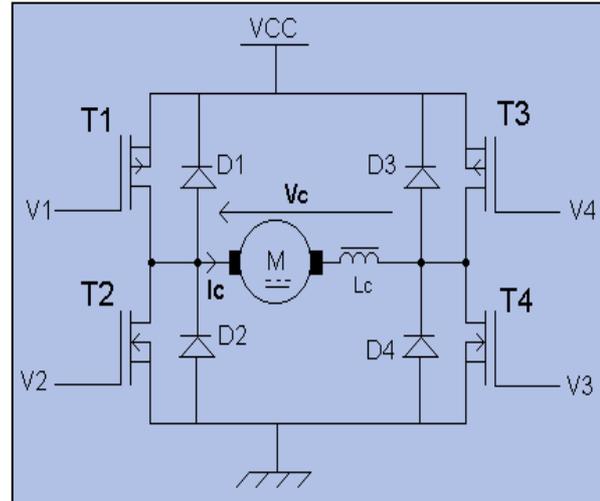


**Remarque :** une structure d'un hacheur réversible en tension permettant d'inverser la tension tout en conservant le sens du courant est possible.

#### 4.4 Hacheur en pont ou 4 quadrants.

Ce convertisseur assure non seulement la réversibilité en courant, mais également la réversibilité en tension, dans ce cas on trouve deux configurations possibles :

- $u_c$  et  $i_c$  sont de signes identiques, le convertisseur doit donc permettre le fonctionnement dans les quadrants 1 et 3.
- $u_c$  et  $i_c$  sont de signes opposés, le convertisseur doit donc permettre le fonctionnement dans les quadrants 2 et 4.



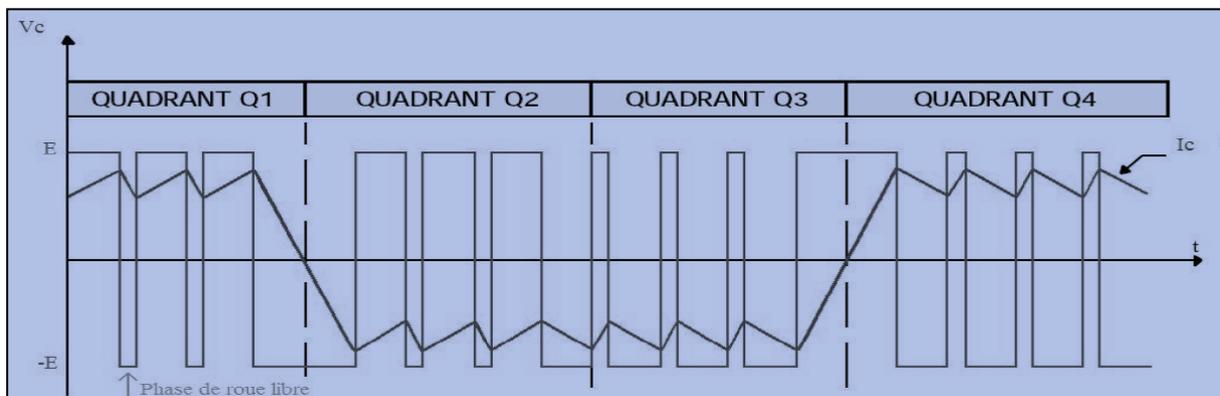
Deux stratégies de commande sont généralement utilisées :

##### 4.4.1 Fonctionnement en modulation +E/-E

Cette modulation connue par la commande continue selon une séquence de commutation alternée des interrupteurs, dans ce cas on procède :

- A chaque période  $T$ , on commande la fermeture de T1 et T4 pendant  $\alpha T$ .
- On commande la fermeture de T2 et T3 pendant le reste de la période.

Les formes d'ondes des grandeurs  $V_c(t)$  et  $i_c(t)$  sont comme suite :



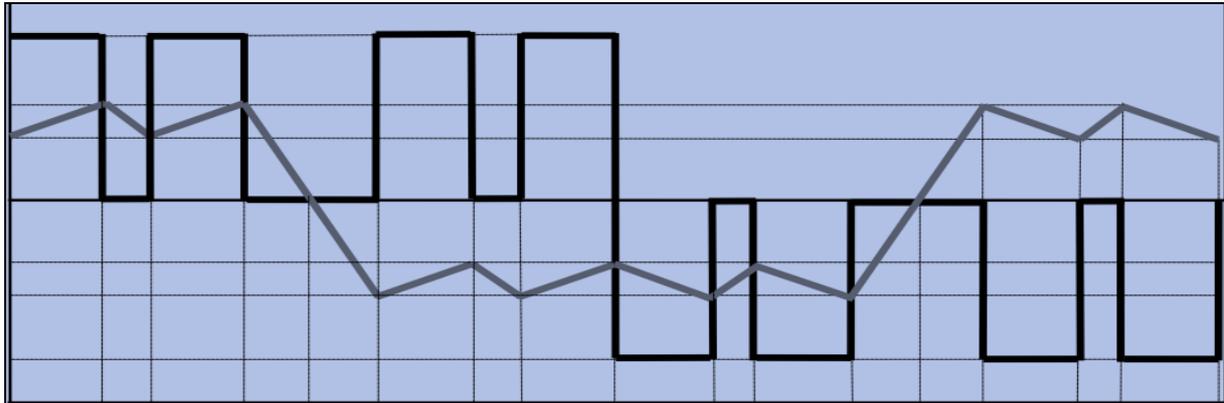
##### 4.4.2 Fonctionnement en modulation +E/0/-E

Cette modulation connue aussi par la commande séquentielle selon une séquence de commutation circulaire des interrupteurs. Dans ce cas, on ne fait travailler que deux interrupteurs au cours d'une période  $T$  de fonctionnement du hacheur :

- L'un fermé en permanence, joue le rôle d'interrupteur d'aiguillage.
- L'autre, fermé et ouvert à la fréquence de fonctionnement du hacheur, assure le hachage.

Exemple : commander en permanence la fermeture de T4. Le courant est positif (fonctionnement moteur) et on hache par T1 :

Les formes d'ondes des grandeurs  $V_c(t)$  et  $i_c(t)$  sont comme suite :



## 5 Les onduleurs

Les onduleurs sont les convertisseurs statiques continu alternatif permettant de produire une source de tension alternative à partir d'une source de tension continue.

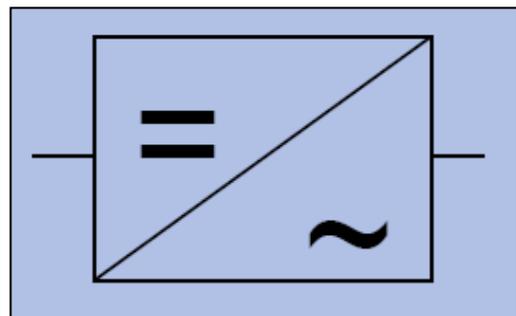
Le signal alternatif en sortie peut être sinusoïdal ou non de fréquence fixe ou variable.

Comme dans le premier convertisseur (Les Redresseurs), un redresseur commandé tout

thyristors peut fonctionner en onduleur. Ce type d'onduleur est dit « assisté » car la fréquence et la valeur efficace des tensions alternatif sont imposés par le réseau. On se propose dans cette partie d'étudier les onduleurs autonomes. Ces derniers fixent eux-mêmes la fréquence et la valeur efficace de leur tension de sortie.

Les onduleurs autonomes se classent en deux groupes :

- **Onduleurs à fréquence fixe.** Ceux-ci sont utilisés comme alimentation de secours dans le centre hospitaliers, les centrales téléphoniques, les ordinateurs, etc. La source de tension continue est généralement constituée d'une batterie d'accumulateurs. La fréquence et l'amplitude de la tension de sortie sont fixes.
- **Onduleurs à fréquence variable.** Ceux-ci sont alimentés en courant continu à partir du réseau alternatif par l'intermédiaire d'un redresseur. Ils fournissent des tensions de fréquence et d'amplitude variables utilisées pour contrôler la vitesse de moteurs à courant alternatif.



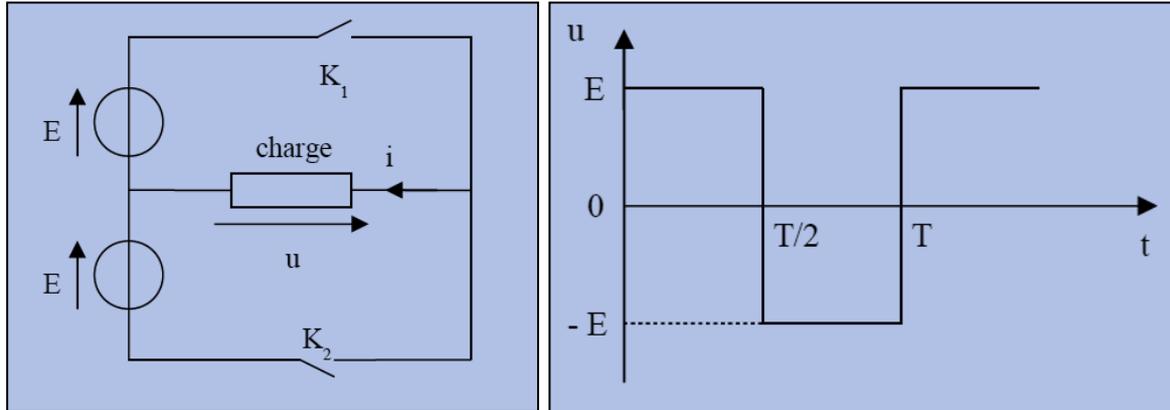
## 5.1 Onduleur de tension monophasée à 2 interrupteurs ou à point milieu.

### 5.1.1 Débit sur charge résistive

Dans cet onduleur, on dispose de deux sources de tension continu  $E$  qui vont fonctionner alternativement. Le rapport cyclique de la commande est  $\alpha = \frac{1}{2}$ .

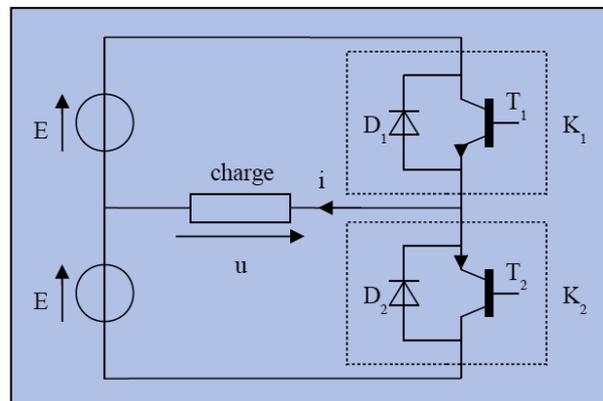
- Pendant un  $T/2$ ,  $K_1$  est fermé. Le courant rentre par la droite du récepteur;  $u = E$ .
- Puis c'est  $K_2$  pendant un temps de  $T/2$ , le courant pénètre dans le récepteur par la gauche;  $u = -E$ , etc.

C'est bien un courant alternatif. La tension obtenue est de forme carrée et non sinusoïdale :



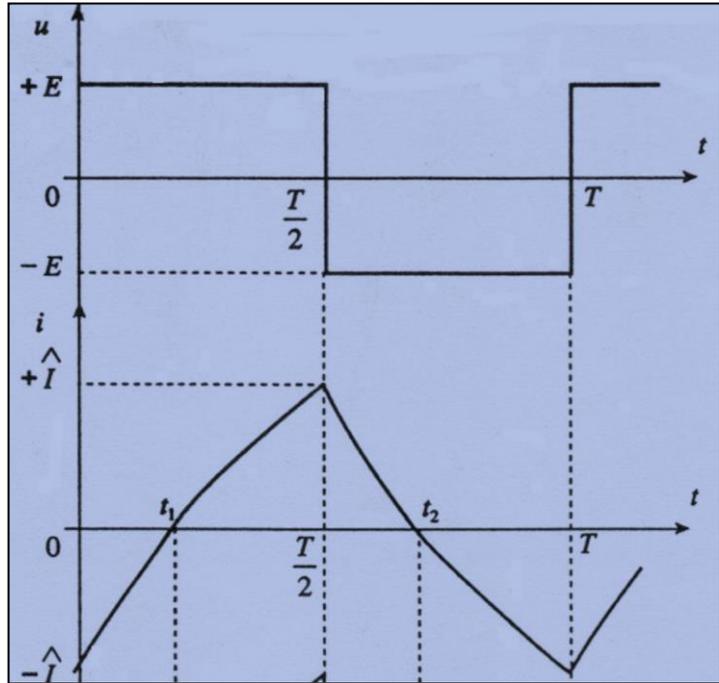
### 5.1.2 Débit sur charge inductive

Dans ce cas, l'annulation du courant  $i$  et celle de la tension  $u$  ne sont pas simultanées. Lorsque  $K_1$  (ou  $K_2$ ) est ouvert, le courant est tantôt positif, tantôt négatif.



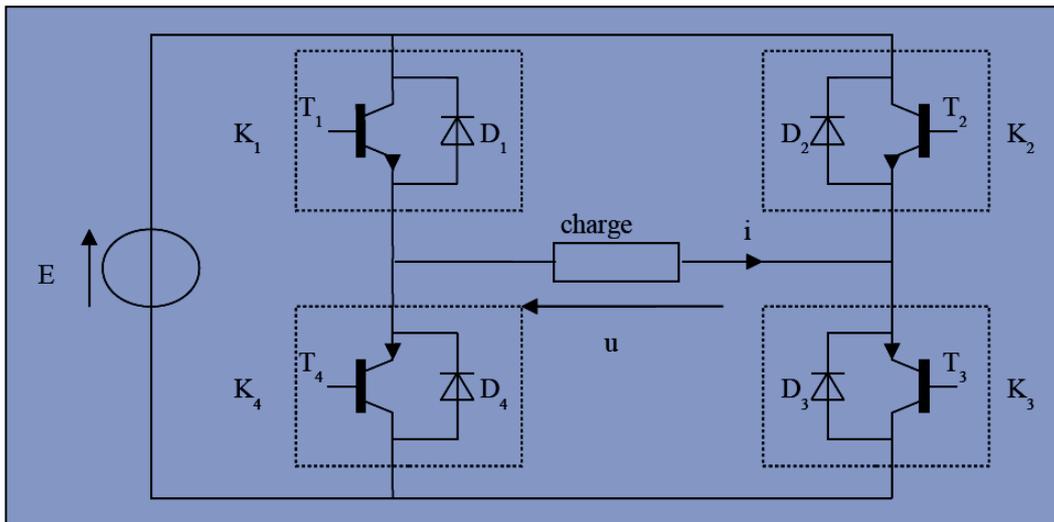
Donc, il faut donc ajouter un dispositif permettant d'inverser le courant. On ajoute pour cela une diode en parallèle.

- **De 0 à  $t_1$**  :  $i < 0$  et  $u > 0$  donc  $p < 0$ , la charge fournit donc de la puissance à la source de tension et le courant passe par D1 .
- **De  $t_1$  à  $T/2$**  :  $i > 0$  et  $u > 0$  donc  $p > 0$ , la charge reçoit donc de la puissance de la source de tension et le courant passe par T1 .
- **De  $T/2$  à  $t_2$**  :  $i > 0$  et  $u < 0$  donc  $p < 0$ , la charge fournit donc de la puissance à la source de tension et le courant passe par D2 .
- **De  $t_2$  à  $T$**  :  $i < 0$  et  $u < 0$  donc  $p > 0$ , la charge reçoit donc de la puissance de la source de tension et le courant passe par T2 .



## 5.2 Onduleur en pont à 4 interrupteurs

La structure la plus répandue est la structure en pont complet comme ci-après, avec les spécificités suivantes :



- La source étant continue, il faut des interrupteurs commandables à l'ouverture et à la fermeture pour gérer le transfert de puissance. On utilise généralement des transistors.

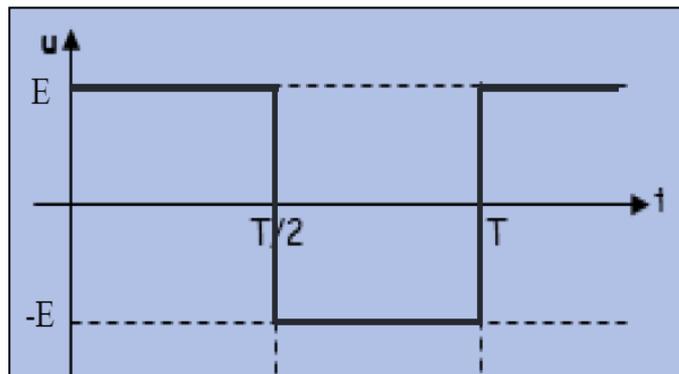
- Si la charge est inductive (ce qui est le cas général), il faut permettre au courant de circuler dans les 2 sens dans les interrupteurs afin que la bobine puisse se démagnétiser. On place pour cela une diode en parallèle inverse.
- K1 et K4 ne peuvent pas être fermés en même temps car E serait court-circuitée. Il en est de même pour K2 et K3.
- Si la charge est inductive (source de courant) K1 et K4 ne peuvent pas être ouverts en même temps car la charge serait en circuit ouvert. Il en est de même pour K2 et K3.
- K1 et K4 sont donc complémentaires et il en est de même pour K2 et K3.

Le but de la structure est toujours de créer aux bornes de la charge une tension alternative. Pour cela, il suffit de commander les interrupteurs deux à deux. La commande peut être : symétrique, décalée ou MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion).

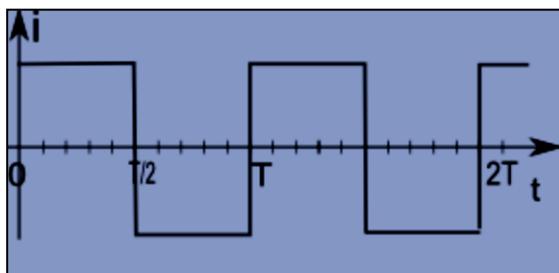
### 5.2.1 Commande symétrique

La période  $T$  est imposée par la commande et le rapport cyclique  $\alpha = 0.5$ .

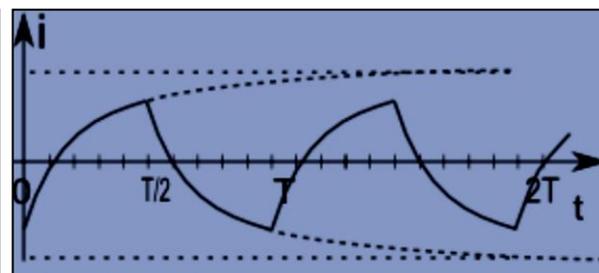
- pour  $0 \leq t \leq T/2$   
On commande la fermeture de K1 et K3, durant cette durée K2 et K4 sont ouverts. La tension aux bornes de la charge aura donc la valeur  $u = E$ .
- pour  $T/2 \leq t \leq T$   
On commande la fermeture de K2 et K4, durant cette durée K1 et K3 sont ouverts. La tension aux bornes de la charge durant cette phase  $u = -E$



La tension  $u$  est alternative non sinusoïdale. La forme du courant dépend de la charge.



Débit sur charge résistive



Débit sur charge inductive

Si la charge est inductive, on observe des charges et des décharges de la bobine (comme pour le hacheur). L'allure de  $i$  se rapproche plus d'une sinusoïde qu'avec la charge résistive.

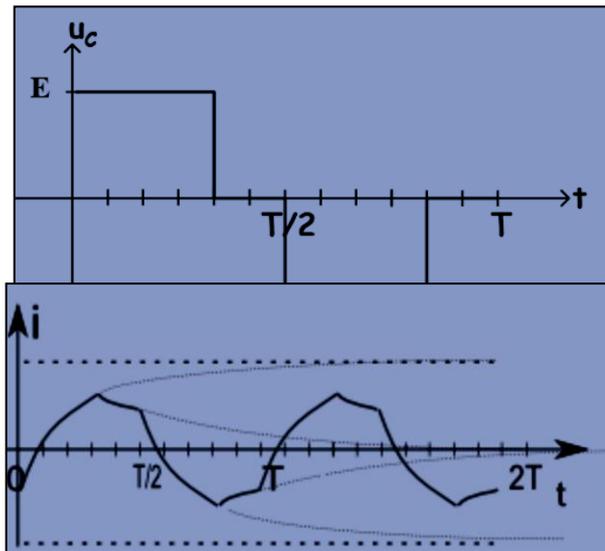
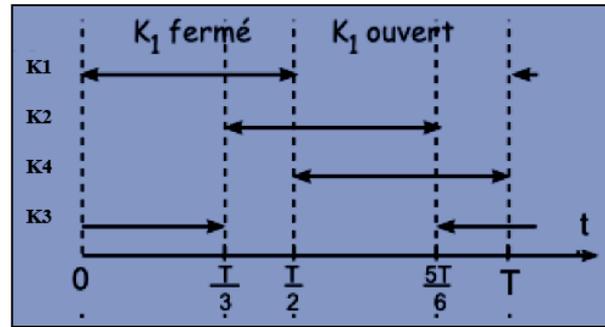
### 5.2.2 Commande décalée

Dans le but d'améliorer la qualité du courant en jouant sur la commande, On utilise la commande décalée où on ajoute un intervalle de temps pour lequel la tension de sortie sera nulle.

La tension de sortie sera toujours en créneaux, mais son allure se rapprochera un peu plus d'une sinusoïde. Il en sera donc de même pour le courant.

- De 0 à  $T/3$  : K1 et K3 sont fermés :  
 $U = E$
- De  $T/3$  à  $T/2$  : K1 et K2 sont fermés :  
 $U = 0$
- De  $T/2$  à  $5T/6$  : K2 et K4 sont fermés :  
 $U = -E$
- De  $5T/6$  à  $T$  : K3 et K4 sont fermés :  
 $U = 0$

Le courant s'améliore d'avantage et la forme se rapproche du sinusoïde.



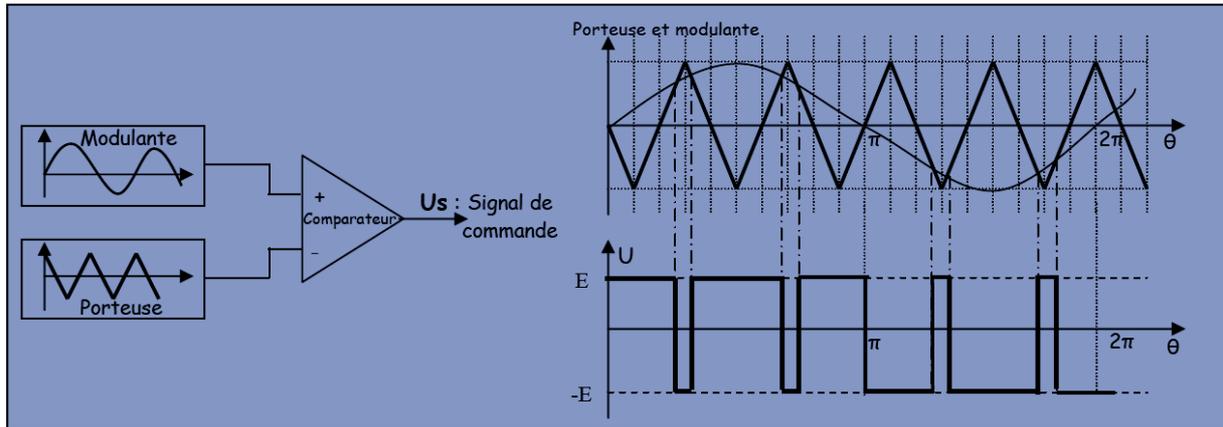
### 5.2.3 Commande MLI

Si on utilise l'onduleur pour faire varier la vitesse d'un moteur asynchrone, le stator de ce dernier nécessite des courants les plus sinusoïdaux possibles (le champ tournant créé doit être sans à-coup, pour éviter les à-coups de couple et donc les vibrations pour le moteur). La commande décalée n'est pas assez satisfaisante pour ces moteurs.

La MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion) a été développée spécialement pour la commande de ces moteurs alternatifs. Elle utilise les charges et décharge que présente le courant lors des variations de tension de sortie.

Le principe est de créer un grand nombre de créneaux pendant une période (dans les autres commandes, c'était un créneau positif et un créneau négatif pour une période). En choisissant judicieusement ces temps de charge et décharge, le courant se rapproche de l'allure de sinusoïde.

Plusieurs façons de moduler la largeur des créneaux existent. La plus simple à mettre en oeuvre est de faire la comparaison entre une tension sinusoïdale de référence (Modulante) et un signal triangulaire de fréquence plus importante (porteuse).

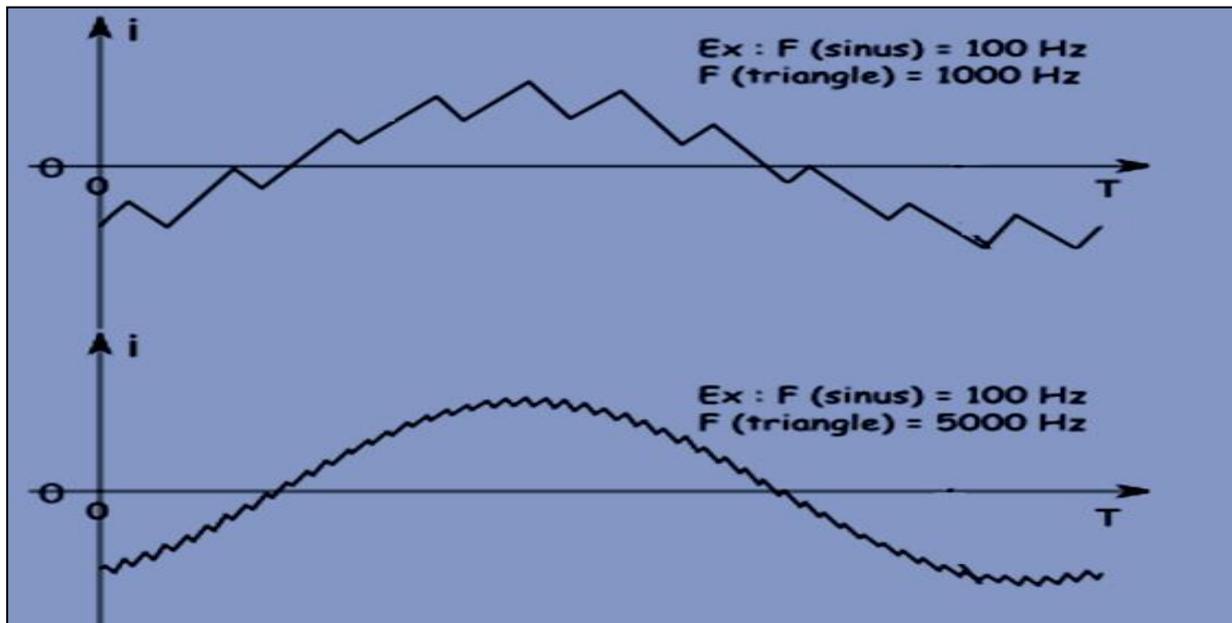


Grâce à un comparateur, on commande K1 et K4 à la fermeture quand le signal sinusoïdal est au-dessus du signal triangulaire, dans ce cas  $u = E$ , sinon  $u = -E$ .

On obtient ainsi une série d'impulsions dont les largeurs sont modulées au rythme de la comparaison entre la sinusoïde de référence et le signal triangulaire.

La tension de sortie ne prenant pour valeur que  $E$  ou  $-E$ , sa valeur efficace sera égale à  $E$

Pour le courant, on peut obtenir les formes d'ondes suivantes.

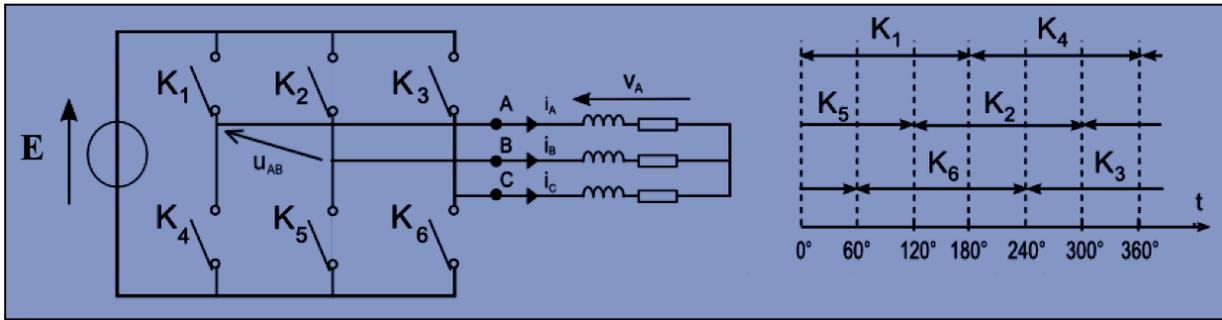


L'allure du courant illustre l'effet de l'augmentation de la fréquence de la porteuse (donc le nombre de créneaux pendant une période) sur la qualité du sinusoïde,.

### 5.3 Onduleur triphasé

La figure ci-dessous donne le schéma de principe d'un ensemble onduleur moteur asynchrone. L'onduleur est alimenté par une source de tension continue  $E$ . Les interrupteurs d'un même bras de l'onduleur sont toujours complémentaires.

Chaque interrupteur de puissance est en réalité réalisé par un transistor en antiparallèle avec une diode. Ces composants sont supposés idéaux.

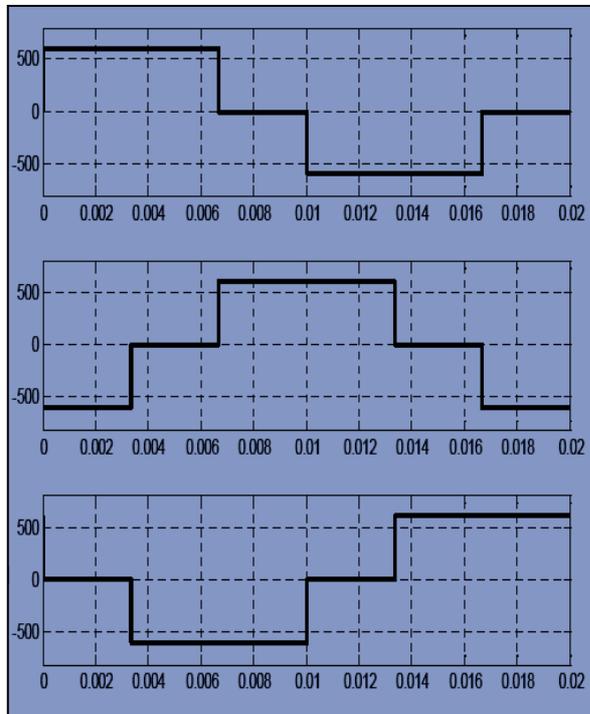


L'onduleur triphasé est équivalent à 3 onduleurs en demi-pont commandés avec un décalage de  $2\pi/3$ .

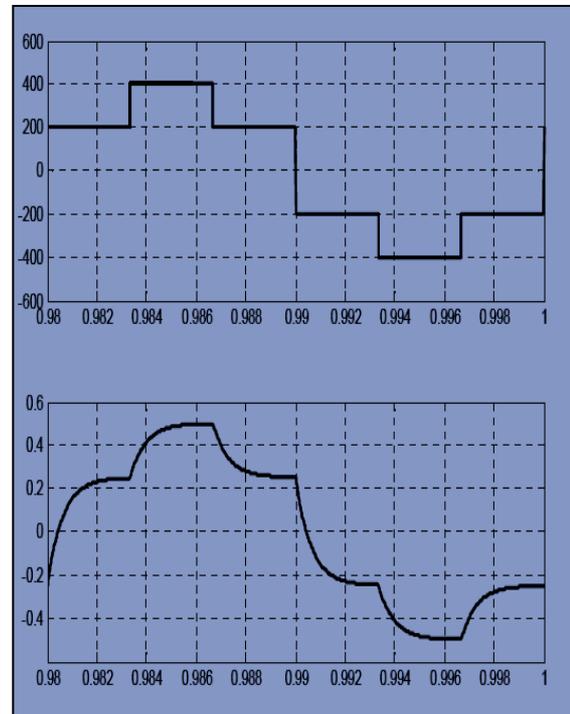
Dans un système équilibré, on peut déduire les équations des tensions simples suivantes :

$$V_A = \frac{1}{3}(U_{AB} - U_{CA}); V_B = \frac{1}{3}(U_{BC} - U_{AB}); V_C = \frac{1}{3}(U_{CA} - U_{BC})$$

En faisant une analyse on détermine les formes des signaux comme suite :



Les tensions composées



Tension simple et courant de charge (R-L)

## Chapitre II

# Commande électronique des moteurs

## 1 Introduction

La commande d'une grande variété de moteurs par une simple commutation tout ou rien n'est facile à mettre en œuvre mais peut mettre en évidence des contraintes gênantes dans certaines applications :

- La vitesse de rotation du moteur est constante (pas de variation de vitesse).
- Des pointes de courant (appel de courant) apparaissent lors du démarrage d'un moteur et peuvent perturber le fonctionnement des autres appareils connectés sur le réseau électrique.
- Des à-coups mécaniques surviennent lors des démarrages ou des arrêts des moteurs qui peuvent être contraignants pour les machines ou la sécurité des personnes.

Pour remédier à ces contraintes il est possible d'utiliser des démarreurs et des variateurs de vitesse électroniques pour les moteurs à courant continu ou courant alternatif.

Ces commandes permettent des démarrages ou arrêts progressifs en réglant les temps d'accélération ou de décélération, mais également la variation de vitesse afin de s'adapter aux contraintes d'exploitations.

En fonction de la nature du moteur utilisé sur la machine on choisira la commande électronique adaptée :

- Redresseur commandé.
- Gradateur de tension.
- Hacheur.
- Convertisseur de fréquence.

## 2 Généralités sur les entraînements électriques

La commande des machines électriques est l'une des applications des convertisseurs statiques. Cette commande nécessite l'association d'une machine (courant continu, synchrones, asynchrones ou autres) dont le fonctionnement est à une vitesse variable en lui conservant un couple optimum, à un convertisseur statique (redresseur, hacheur, gradateur, onduleur).

En fait, le choix du moteur d'entraînement dépend du travail demandé, du lieu de travail et de la puissance à fournir. De même, la source d'énergie dont on dispose, les contraintes sur les paramètres que l'on doit fournir et le prix de revient de l'ensemble déterminent le type du convertisseur à associer au moteur.

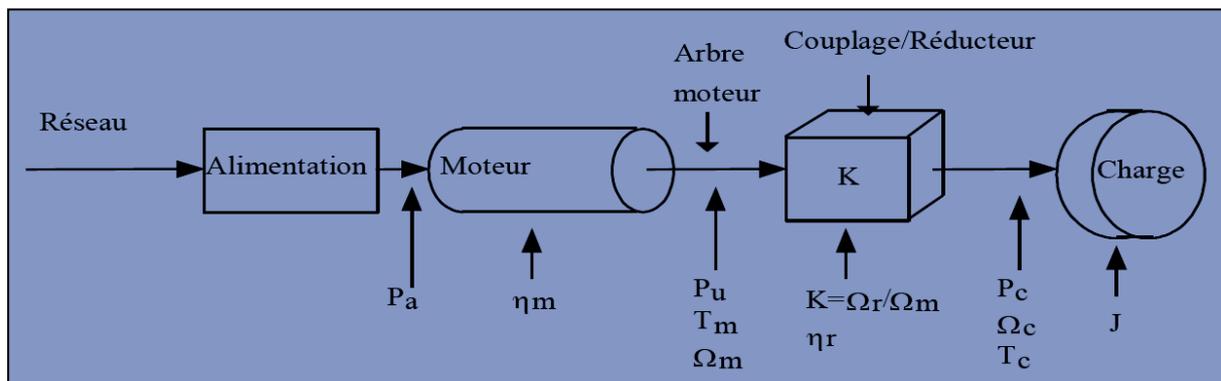
Alors, on ambitionne d'étudier et d'analyser les possibilités d'association de convertisseur en vue de la commande. L'apport des convertisseurs statiques tel que la possibilité de

fonctionner dans les quatre quadrants des axes couple vitesse, la solution des problèmes de démarrage et la possibilité de régulation et de contrôle à distance.

## 2.1 Éléments d'un entraînement :

Un entraînement électrique est un système électromécanique destiné à réaliser un processus technologique grâce au mouvement d'un organe de travail. Il est généralement constitué d'un moteur électrique, son alimentation qui constitue le départ moteur, qui est lui-même un circuit intermédiaire entre le moteur et le réseau, d'un convertisseur mécanique de mouvement (ex: Couplage/réducteur), d'un organe de travail (la charge) et d'un système de commande.

La chaîne de transmission complète peut être représentée par figure suivante :



- $P_a$  : Puissance absorbée par le moteur en W ou kW
- $\eta_m$  : Rendement du moteur ( $\eta_m = P_u / P_a$ )
- $P_u$  : Puissance utile fournie par le moteur sur l'arbre en W ou kW ( $P_u = T_m \Omega_m$ )
- $T_m$  : Couple utile sur l'arbre moteur ou couple résistant opposé par la charge en Nm
- $\Omega_m$  : Vitesse de rotation de l'arbre moteur en rad/s
- $K$  : Rapport de réduction du réducteur ( $K = \Omega_r / \Omega_m$ )
- $\eta_r$  : Rendement du réducteur ( $\eta_r = P_c / P_u$ )
- $P_c$  : Puissance demandée par la charge en W ou kW
- $\Omega_c$  : Vitesse de rotation de la charge en rad/s
- $T_c$  : Couple résistant de la charge en Nm
- $J$  : Moment d'inertie de la charge en kg/m<sup>2</sup>

### 2.1.1 Alimentation ou « départ-moteur »

Ce bloc est souvent appelé "départ moteur". Il comprend quatre fonctions de base :

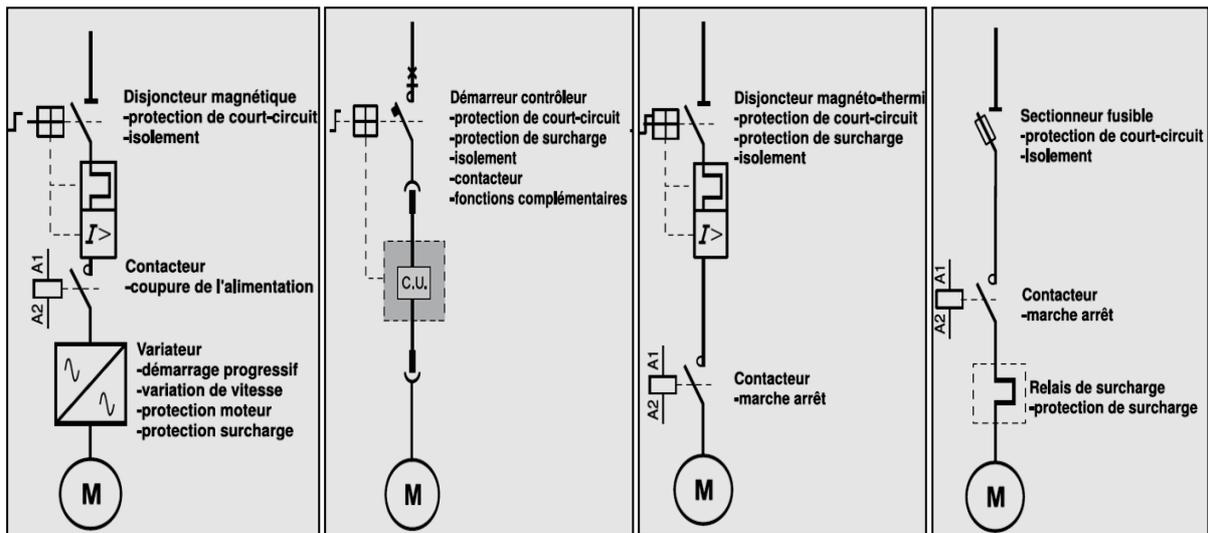
- le sectionnement,
- la protection contre les courts-circuits,
- la protection contre les surcharges,

- la commutation ou commande (marche - arrêt).

Chaque départ-moteur peut être enrichi de fonctionnalités supplémentaires selon les besoins de l'application. Elles peuvent concerner :

- la puissance : variation de la vitesse, démarrage progressif, inversion de phase, etc.
- le contrôle : contacts auxiliaires, temporisation, communication, etc.

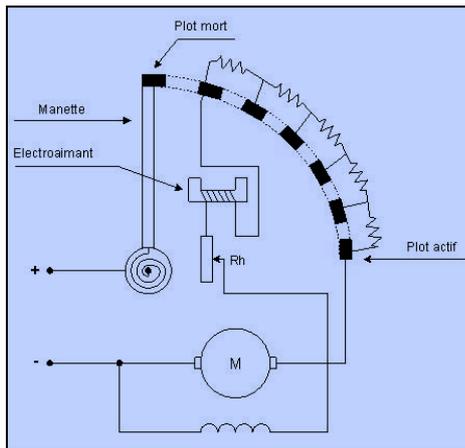
Selon la constitution d'un départ-moteur, les fonctions peuvent être réparties de différentes manières comme ci-dessous :



### 2.1.2 Alimentations classiques des moteurs

#### Moteurs à courant continu :

Classiquement l'alimentation d'un moteur à courant continu était par des rhéostats de démarrage. Ce rhéostat était utilisé principalement pour limiter le courant de démarrage, mais il peut être aussi utilisé pour la variation de vitesse. Le rôle du rhéostat est de dissiper une partie de la puissance débitée par la source et ainsi limiter la puissance absorbée par le moteur.

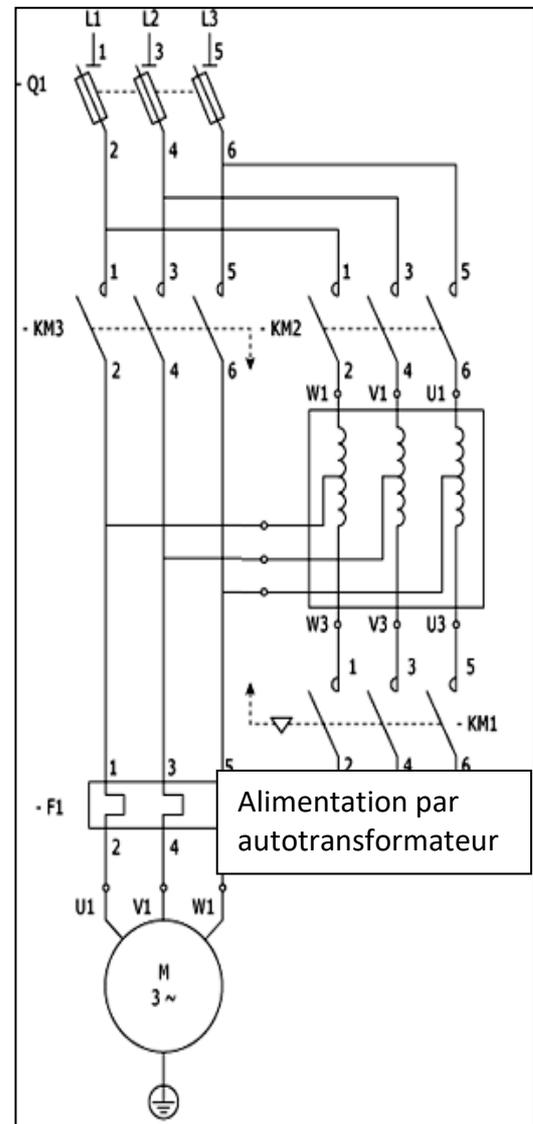


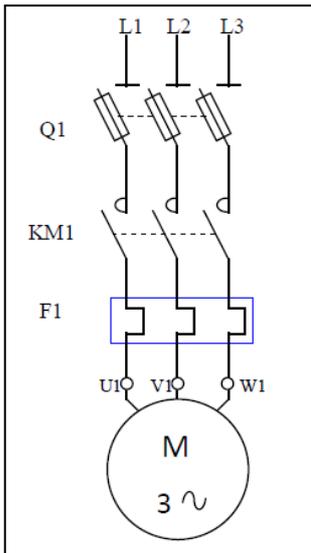
### Moteurs à courant alternatif :

Les schémas d'alimentations classiques des moteurs à courant alternatifs sont représentés ci-dessus, on y retrouve principalement :

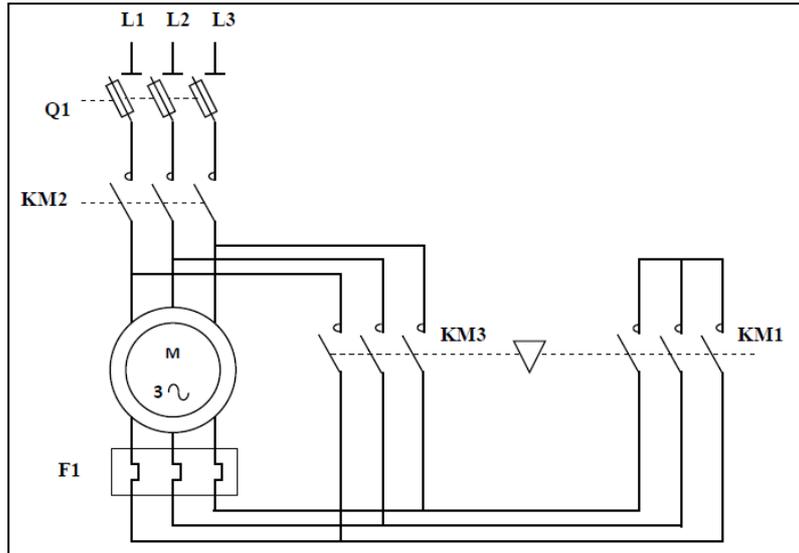
- **L'alimentation directe :** Le moteur fonctionne au tour de sa caractéristique naturelle. La vitesse de rotation dépend de la charge entraînée. La commande est limitée à la mise en marche ou à l'arrêt du moteur.
- **L'alimentation avec un autotransformateur :** L'autotransformateur est utilisé pour agir sur la valeur de la tension d'alimentation du moteur.
- **L'alimentation étoile-triangle :** elle permet d'alimenter le moteur avec une tension simple ou une tension composée, elle est utilisée pour réduire le courant de démarrage
- **L'alimentation à travers des résistances :** Pour les résistances, elles sont insérées en série soit avec le circuit statoriques soit avec le circuit rotorique. Les résistances ont pour rôle d'agir sur la valeur du courant du moteur dans le but de maîtriser les courants d'appel ou obtenir des vitesses de rotations différentes.

Le nombre des résistances ou de positions de l'autotransformateur, définissent le nombre de vitesses de rotation qui peuvent être mises en œuvre.

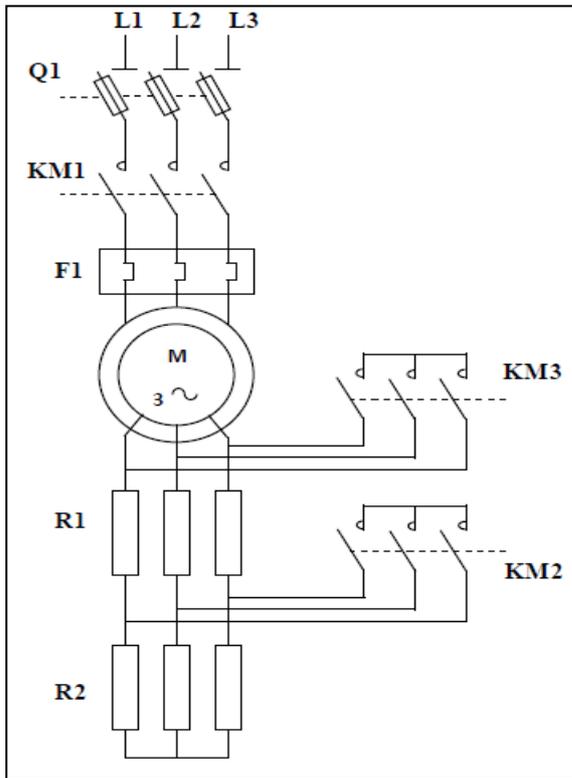




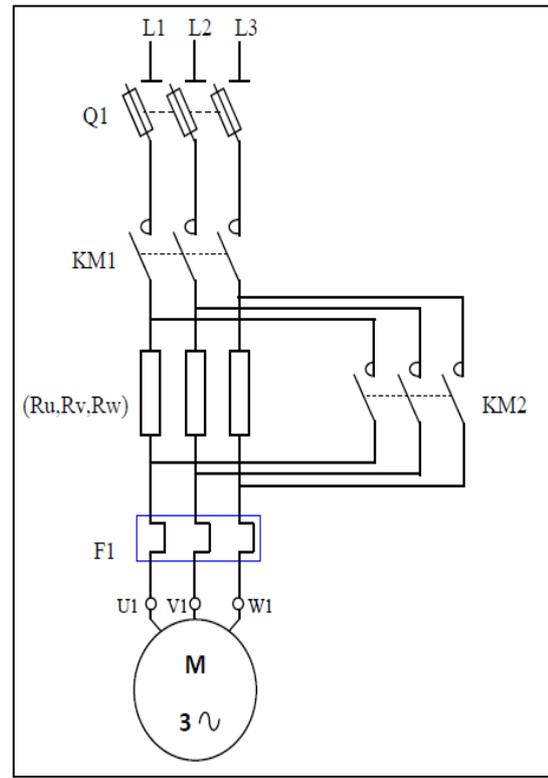
Alimentation direct



Alimentation étoile triangle



Alimentation par des résistances rotoriques



Alimentation par des résistances statoriques

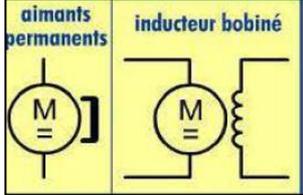
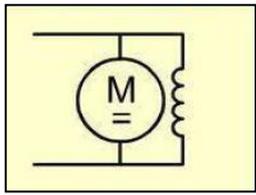
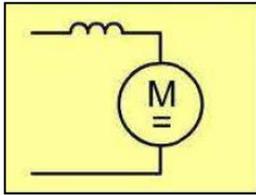
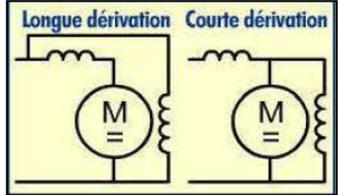
Les alimentations électroniques modernes seront l'objet des parties qui viennent.

### 2.1.3 Les moteurs électriques :

On trouve principalement des moteurs électriques à courant continu et des moteurs à courant alternatif.

### Moteurs électriques à courant continu :

Selon les différents montages possibles entre les enroulements induits et inducteurs on obtient les différents types d'excitations, on trouve donc :

| Excitation séparée  | Excitation dérivation (moteur shunt)   | Excitation série (moteur universel)   | Excitation composée (moteur compound)  |
|---|--|---|--|
|    |   |   |   |
| <p>Dans le cas d'un inducteur bobiné, nécessite deux alimentations.</p> <p>Petites puissances pour les moteurs à aimants permanents.</p> <p>Risque d'emballement si le courant de l'inducteur est interrompu.</p> | <p>Vitesse relativement constante, quelle que soit la charge (autorégulateur de vitesse).</p> <p>Absence d'emballement à vide.</p> <p>Couple de démarrage moyen.</p> | <p>Fort couple à basse vitesse.</p> <p>Autorégulateur de puissance : la vitesse décroît lorsque la charge augmente.</p> <p>Risque d'emballement à vide.</p> | <p>Couple de démarrage meilleur qu'en dérivation mais plus faible qu'en série.</p> <p>Vitesse relativement stable, quelle que soit la charge.</p> <p>Absence d'emballement à vide.</p> |

### Moteurs électriques à courant alternatif :

Ce sont des machines qui se constituent d'un rotor et d'un stator. Le stator est alimenté par un courant alternatif, qui produit un champ magnétique statorique tournant qui est à la base de leur principe de fonctionnement.

Il existe deux types de machine à courant alternatives : Les machines synchrones et les machines asynchrones.

- Les machines synchrones où la vitesse de rotation du rotor est égale à la vitesse du champ tournant statorique.
- Les machines asynchrones où la vitesse de rotation n'est jamais égale, toujours inférieur, à la vitesse du champ tournant statorique.

Le moteur asynchrone triphasé, est le moteur le plus utilisé dans les installations industrielles.

### 2.1.4 Couplage et transmission :

Pour une machine dans laquelle une pièce doit être mise en rotation, lorsque l'actionneur choisi pour créer un mouvement de rotation est un moteur, cinq principales technologies de transmission s'offrent alors au concepteur : les réducteurs et engrenages, les courroies, chaînes et accouplements.

Cette transmission de puissance peut se faire :

- A la même vitesse en faisant appel à des accouplements qui peuvent être soit rigides, flexible ou élastiques.
- Avec changement de vitesse à axes parallèles en faisant appel à des roues de friction, à des engrenages, poulies courroies
- A travers des systèmes de transformation de mouvement comme le système vis et écrous trapézoïdaux (ou vis mère), Pignon crémaillères, Cames-suiveurs ou Bielle manivelle

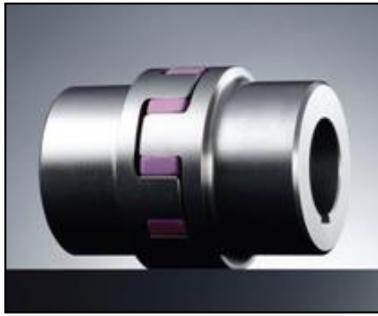
#### Transmission sans changement de vitesse de rotation :

Sur une ligne de transmission de puissance, entre chaque élément, comme un réducteur, un moteur ou un palier,... on peut trouver un accouplement. Le montage est toujours en ligne.

L'accouplement a pour fonction d'assurer la liaison entre deux éléments menant et mené, et de transmettre un couple et une vitesse de rotation sans perte de rendement (ou négligeable) et en autorisant des désalignements.

On distingue 3 types d'accouplements :

- L'accouplement à anneau : élastique, c'est le plus utilisé.  
Cette technologie permet notamment d'amortir les chocs et vibrations pour une meilleure durée de vie des installations.
- L'accouplement à lamelle : flexible, sans jeu angulaire, il nécessite peu d'entretien.  
Ils permettent de rattraper de petits défauts d'alignement (typiquement les défauts d'usinage). Ces accouplements sont généralement constitués de deux parties rigides solidaires des arbres et d'une partie légèrement flexible qui rattrape les défauts d'alignement.
- Frette de serrage mécanique (moyeu conique) ou hydraulique (principe de Pascal) : rigide, elle n'admet aucun déplacement des éléments. existe de nombreux montages: vis de pression, serrage par mâchoires, clavetage ...



Accouplement à anneau



Accouplement à lamelle



Frette de serrage

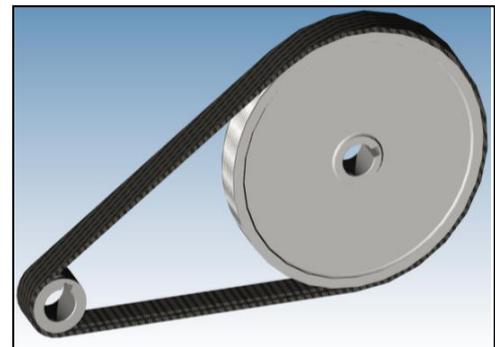
### Transmission avec changement de vitesse de rotation :

#### Transmission par poulie-courroie

Un système poulies courroie permet de transmettre une puissance dans le mouvement de rotation d'un arbre à un autre. Les deux, ou plusieurs arbres, pouvant être éloignés l'un de l'autre.

La relation liant les couples et les vitesses de rotation est :

$$\frac{w_2}{w_1} = \frac{C_1}{C_2} = \frac{d_1}{d_2}$$



Avec :

- $w_1$  et  $w_2$  : respectivement, la vitesse de rotation de la poulie 1 et de la poulie 2;
- $C_1$  et  $C_2$  : respectivement, le couple développé par la poulie 1 et de la poulie 2;
- $d_1$  et  $d_2$  : respectivement, diamètre de la poulie 1 et de la poulie 2.

#### Transmission par chaîne

Le système pignon chaîne permet de transmettre un mouvement de rotation sans glissement à une distance pouvant aller jusqu'à plusieurs mètres.

Contrairement aux courroies, une tension initiale n'est pas nécessaire pour obtenir l'adhérence, ce qui diminue l'effort.



## Réducteurs à roue et vis

C'est un type de réducteur, où le système de roue/vis sans fin peut aussi être utilisé dans des systèmes asservis. Ce système est souvent utilisé dans les cas où une très grande démultiplication est recherchée.

Les arbres d'entrée et de sortie sont perpendiculaires et le rapport de réduction compris entre 2,5 et 100.



D'autres systèmes de transmissions existent. Ils ne sont pas abordés ici, comme les systèmes à engrenages, à renvois d'angle ou de transformation de mouvement.

### 2.1.5 Les paramètres mécaniques des charges entraînées

#### L'inertie :

Elle est d'autant plus importante que la masse de la charge est grande et s'oppose à la mise en mouvement. Elle est caractérisée par le moment d'inertie  $J$ , qui s'exprime en  $\text{kg/m}^2$ .

#### La vitesse :

C'est la qualification du mouvement d'une charge présentant une certaine inertie et soumis à un couple. Pour les moteurs électriques, elle s'exprime en tours par minute (Tr/mn).

#### Le couple :

C'est le couple qui s'oppose au mouvement d'entraînement de la machine. Il s'exprime en Newton mètre (Nm).

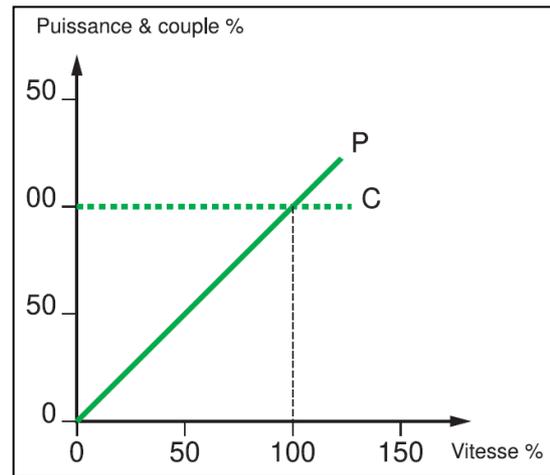
Pour animer une mécanique en rotation, il faut que le couple généré par le moteur  $C_m$  soit supérieur ou égal au couple que lui oppose la machine  $C_r$ . Il est donc nécessaire de connaître l'évolution du couple résistant en fonction de la vitesse de la machine.

Essentiellement il existe trois familles du couple résistant.

#### Fonctionnement à couple constant

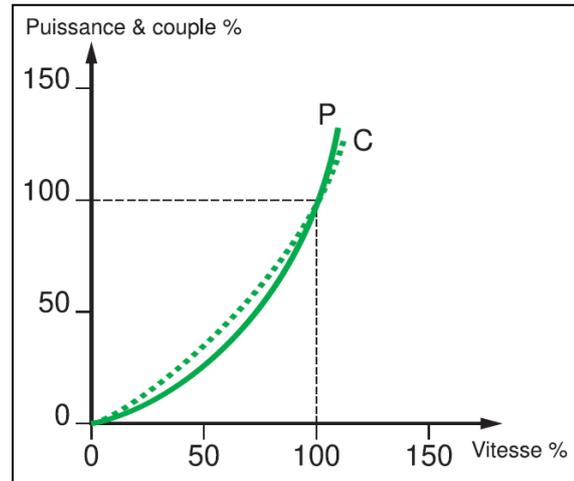
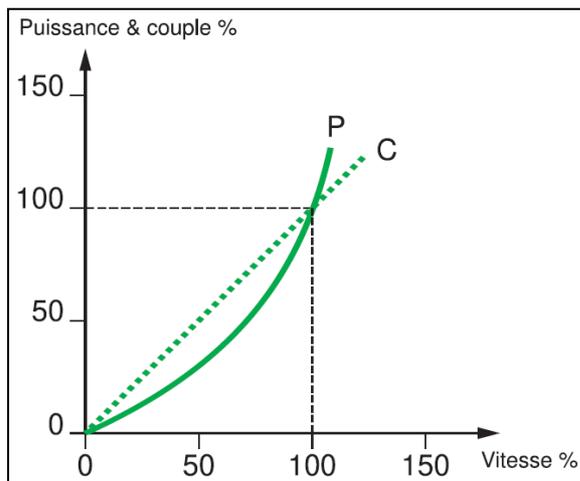
Le fonctionnement est dit à couple constant quand les caractéristiques de la charge sont telles qu'en régime établi, le couple demandé est sensiblement le même quelle que soit la vitesse.

Ce mode de fonctionnement se retrouve sur des machines de type convoyeur, broyeurs ou engins de levage. Pour ce type d'application, le dispositif de démarrage doit avoir la capacité de fournir un couple de démarrage important (1.5 fois ou plus le couple nominal) pour vaincre les frottements statiques et pour accélérer la machine (inertie).



### **Fonctionnement avec couple croissant avec la vitesse**

Les caractéristiques de la charge sont telles que le couple demandé croît avec la vitesse. C'est en particulier le cas des pompes volumétriques à vis d'Archimède dont le couple croît linéairement avec la vitesse ou les machines centrifuges (pompes et ventilateurs) dont le couple varie comme le carré de la vitesse.



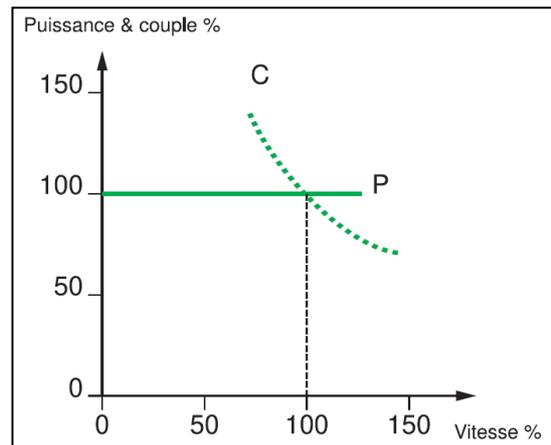
La puissance des pompes volumétriques à vis varie comme le carré de la vitesse. La puissance des machines centrifuges varie comme le cube de la vitesse.

Un démarreur destiné à ce type d'application aura un couple de démarrage plus faible. En général, une valeur d'1.2 fois le couple nominal du moteur sera suffisante.

### **Fonctionnement avec couple décroissant avec la vitesse**

Pour certaines machines, le couple demandé par la charge diminue quand la vitesse augmente. C'est le cas en particulier pour le fonctionnement, dit à puissance constante, quand le moteur fournit un couple inversement proportionnel à la vitesse angulaire.

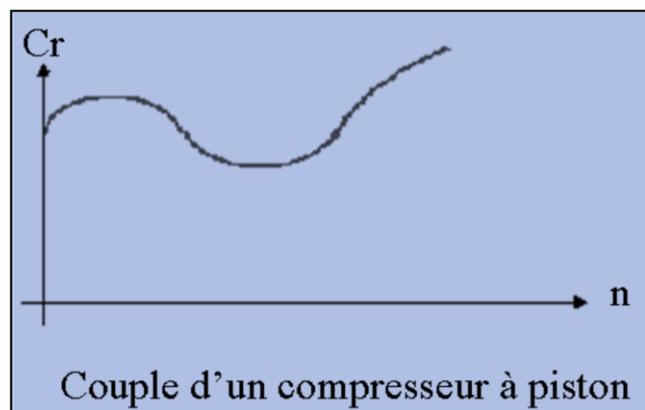
C'est le cas, par exemple, pour un enrouleur dont la vitesse angulaire doit diminuer au fur et à mesure que croît le diamètre d'enroulement par accumulation du matériau. C'est également le cas des moteurs de broche des machines-outils.



Les courbes précédentes illustrant les différents types de couples résistants rencontrés ne tiennent pas compte des sur-couples résistants opposés par bon nombre de machines au tout début du démarrage (au décollage).

Une machine peut présenter en cours de cycle un couple résistant très variable. Ceci peut être dû à :

- des causes non aléatoires provenant d'une cinématique particulière (cames, bielles manivelles) ou provenant de cycles spécifiques de travail (presses).
- des variations irrégulières de sa charge (variation du flux ou de la consistance de produits)



### Couple entraînant

Il y a couple entraînant lorsque la mécanique entraîne le moteur:

1. Dans le cas de mouvements horizontaux lors des ralentissements plus rapides que ceux obtenus naturellement par simple disparition du couple moteur ou du fait de l'action d'un élément extérieur comme le vent.
2. Dans le cas des mouvements verticaux lors de la descente de la charge.

Quelles que soient leurs caractéristiques de couple résistant, toutes les mécaniques sont tantôt réceptrices tantôt génératrices d'énergie. Lorsque la mécanique est entraînante, le flux d'énergie s'inverse, le souci est de contrôler le potentiel d'énergie par des actions de freinage.

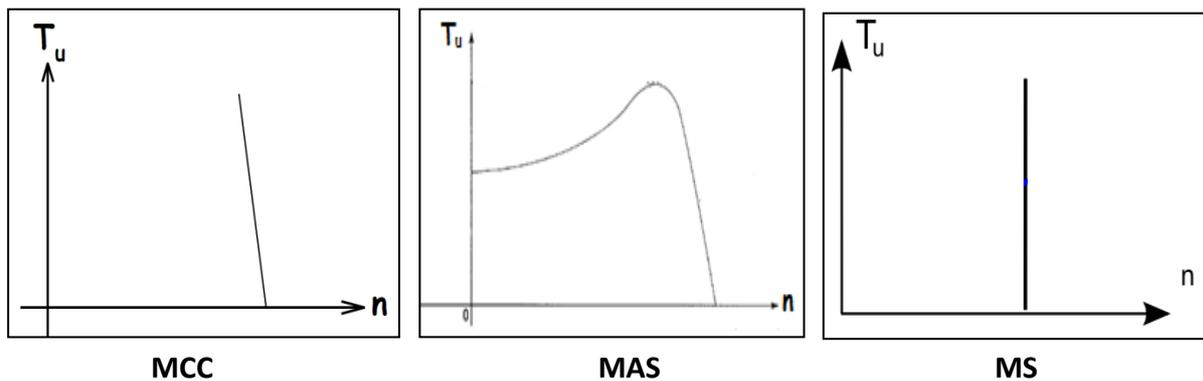
## 2.2 Point de fonctionnement d'un système d'entraînement

### 2.2.1 Caractéristiques mécaniques des moteurs électriques

Similairement aux charges mécaniques caractérisées la caractéristique mécanique moment du couple résistant en fonction de la vitesse :  $T_r=f(\Omega)$ , tout moteur électrique est caractérisé par sa caractéristique mécanique :  $T_u= f(n)$ . Celle-ci retrace l'évolution du moment du couple moteur en fonction de sa fréquence de rotation.

C'est la caractéristique la plus importante de la machine puisqu'elle donne l'ensemble des points de fonctionnement ( $T_u ; \Omega$ ) possibles. Elle permet en outre d'apprécier si une machine est adaptée ou non à la charge mécanique à entraîner.

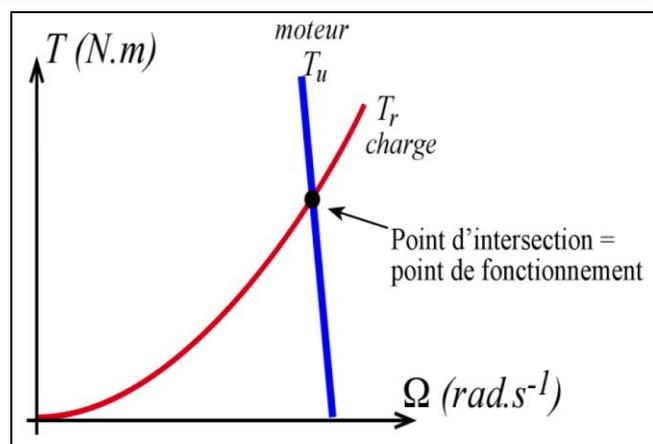
Les moteurs les plus répandus sont le moteur à courant continu (MCC), le moteur asynchrone (MAS) et le moteur synchrone (MS). Ils ont les caractéristiques mécaniques respectives suivantes :



### 2.2.2 Stabilité du point de fonctionnement

Une fois le régime transitoire terminé (exemple démarrage), la machine et la charge connectée tourneront à la vitesse indiquée par l'intersection des deux caractéristiques :

Au régime permanent (vitesse constante) le couple moteur  $T$  développé par la machine est égal au couple résistant  $T_r$  imposé par la charge :



$$T_u = T_r$$

La vitesse est régie par la relation fondamentale de la dynamique :

$$T_u - T_R = J \frac{d\Omega}{dt}$$

Avec  $J$  : moment d'inertie sur l'arbre du moteur ;

$d\Omega/dt$  : accélération angulaire.

Comme le moment d'inertie est positif (et reste constant tant que l'on ne change pas de charge ou de moteur) alors :

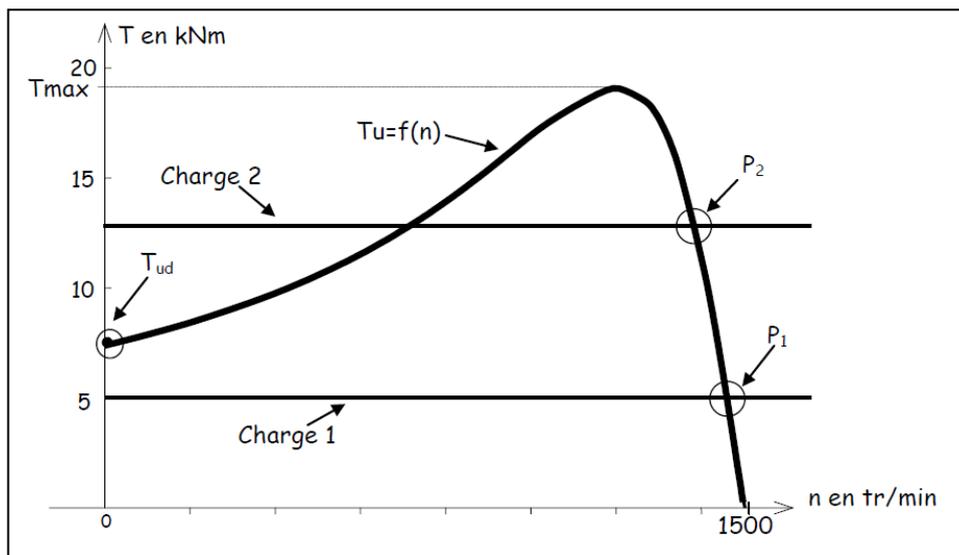
- Si  $T_u > T$ ,  $d\Omega/dt > 0$  : le moteur accélère, la vitesse augmente.
- Si  $T_u < T$ ,  $d\Omega/dt < 0$  : le moteur décélère, la vitesse diminue.
- si  $T_u = T$ ,  $d\Omega/dt = 0$  : le moteur tourne à vitesse constante

L'étape la plus essentielle c'est de déterminer est-ce que le point de fonctionnement trouvé est stable ou instable, on parle alors d'équilibres stable et instable. Alors que, pour que le point de fonctionnement soit stable, il faut et il suffit que : La pente du couple résistant par rapport à la vitesse soit plus grande que la pente du couple moteur par rapport à la vitesse. A une augmentation de la vitesse correspondra alors  $J \frac{d\Omega}{dt} < 0$ , donc une diminution de la vitesse de rotation et un retour à l'équilibre.

### 2.2.3 Couple de démarrage

Au démarrage, il faut que  $T_{ud} > T_r$  sinon le moteur n'accélère pas et ne pourra donc pas démarrer.

Exemple d'un moteur asynchrone entraînant une charge à couple résistant constant :



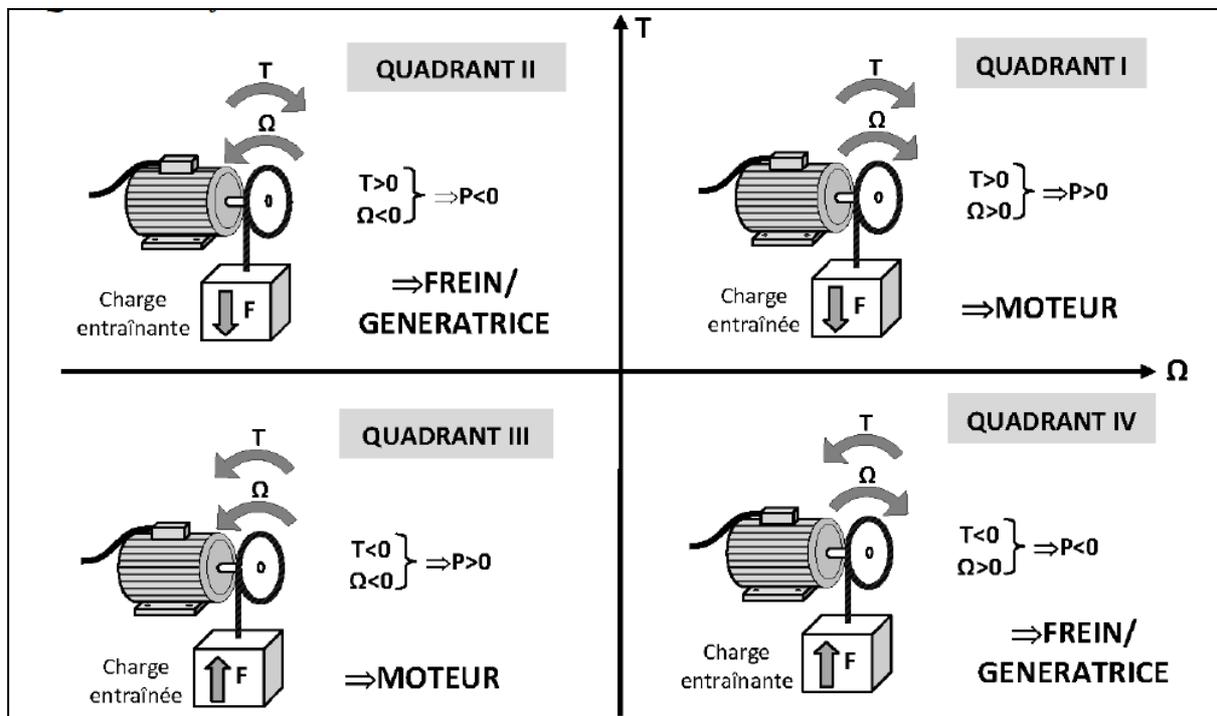
- Pour l'entraînement de la charge 1, le couple utile au démarrage ( $T_{ud}$ ) est supérieur au couple résistant de la charge. Le moteur démarrera et accélérera jusqu'à atteindre le point de fonctionnement  $P_1$ .

- Pour l'entraînement de la charge 2,  $T_{ud} < T_r$ , le moteur ne démarrera pas. Le point de fonctionnement P2 est théoriquement possible mais ne peut pas être atteint dans ces conditions. Pour l'atteindre, il faut charger après démarrage ou intervenir sur les grandeurs électriques pour obtenir un  $T_{ud}$  plus important.

### 2.3 Les quadrants de fonctionnement:

Toutes les machines électriques sont naturellement réversibles. Pour bénéficier de cette propriété, il faut que le convertisseur et la source soient également réversibles. Si la source ne l'est pas on ne peut pas récupérer l'énergie lors d'une phase de freinage de la machine mais on peut la dissiper dans des rhéostats (réversibilité dissipatrice).

- Quadrant I seul :** le moteur ne tourne que dans un seul sens de rotation, le couple est positif ou nul (accélérations contrôlées et décélération non contrôlées). Ce type de variateur utilise un convertisseur non réversible.  
 Application : perceuse électrique à variateur, aspirateur, pompe...
- Quadrant IV seul :** Seul le fonctionnement en génératrice est possible. La machine ne peut démarrer de manière électrique, elle doit être entraînée par le côté mécanique depuis la vitesse nulle.  
 Application : Eolienne



- Quadrants (I et II) :** la machine ne tourne que dans un seul sens de rotation, le couple est positif ou négatif (accélérations et décélération contrôlées). Ce type de variateur utilise un convertisseur réversible 2 quadrants.  
 Application : treuil, levage...

- **Quadrants (I et III) :** Ce type de variateur utilise un convertisseur non réversible, sachant qu'il garantit une inversion du couple et de la vitesse tout en passant par l'état d'arrêt.  
Application : visseuse-dévisseuse, lève-vitre électrique et réglage de rétroviseur d'automobile...
- **Quadrants (I et IV) :** la machine tourne dans les deux sens de rotation (pour le sens inverse la charge est nécessairement entraînant), le couple est toujours positif (accélérations contrôlées et décélération non contrôlées)  
Applications : scooter électrique laminoir...
- **Quadrants (I à IV) :** la machine tourne dans les deux sens de rotation quelle que soit la charge entraînée le couple est positif ou négatif. Le variateur sait gérer des accélérations et décélérations, ainsi que des freinages dans toutes les situations disponibles.

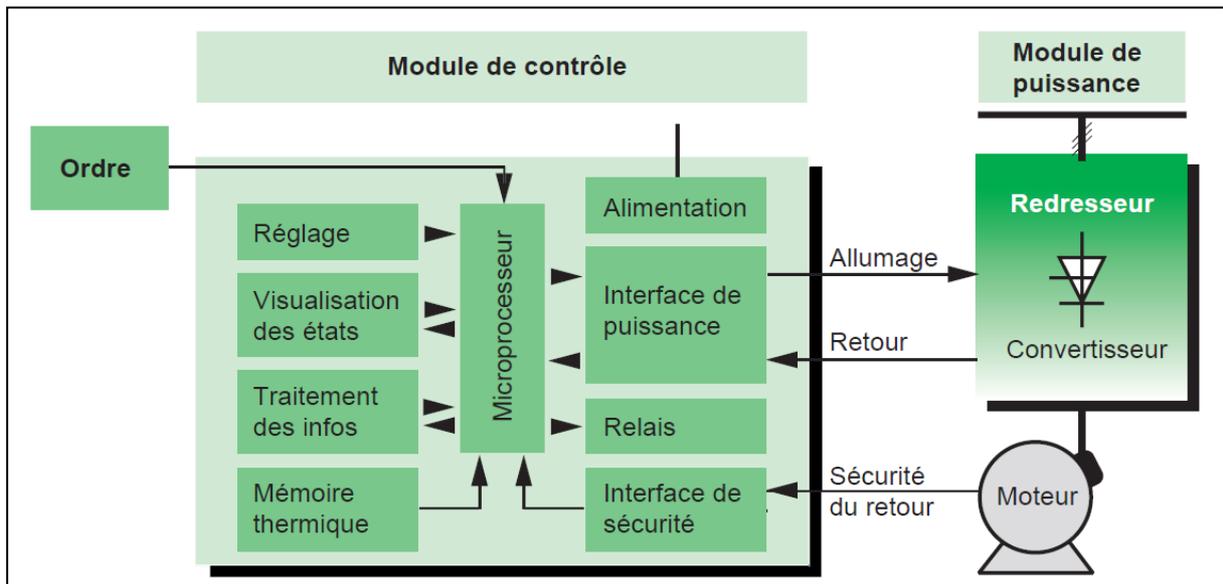
### 3 Structure et principales fonctions des variateurs de vitesse

Pour démarrer les moteurs électriques et contrôler leur vitesse, les démarreurs rhéostatiques, les variateurs mécaniques et les groupes tournants (Ward Leonard en particulier) ont été les premières solutions ; puis les démarreurs et les variateurs électroniques se sont imposés dans l'industrie comme la solution moderne, économique, fiable et sans entretien.

#### 3.1 Structure de variateurs électroniques

Les démarreurs et les variateurs de vitesse électroniques sont composés de deux modules généralement regroupés dans une même enveloppe :

- un module de contrôle qui gère le fonctionnement de l'appareil,
- un module de puissance qui alimente le moteur en énergie électrique.



- **Le module de contrôle**

Sur les démarreurs et les variateurs modernes, toutes les fonctions sont commandées par un microprocesseur qui exploite les réglages, les ordres transmis par un opérateur ou par une unité de traitement, et les résultats de mesure comme la vitesse, le courant, etc.

A partir de ces informations, le microprocesseur gère les rampes d'accélération et de décélération, l'asservissement de vitesse, la limitation de courant, et génère la commande des composants de puissance.

Les réglages (limites de vitesse, rampes, limitation de courant, etc.) se font soit par claviers intégrés, soit à partir d'automates par des bus de terrain ou de PC pour charger des réglages standard.

- **Le module de puissance**

Le module de puissance est principalement constitué de :

- composants de puissance (diodes, thyristors, IGBT, etc.),
- interfaces de mesure des tensions et/ou des courants,
- et fréquemment d'un ensemble de ventilation.

### 3.2 Les principales fonctions des variateurs de vitesse électroniques:

- **Accélération contrôlée**

La mise en vitesse du moteur est contrôlée au moyen d'une rampe d'accélération linéaire ou en « S ». Cette rampe est généralement réglable et permet par conséquent de choisir le temps de mise en vitesse approprié à l'application.

- **Variation de vitesse**

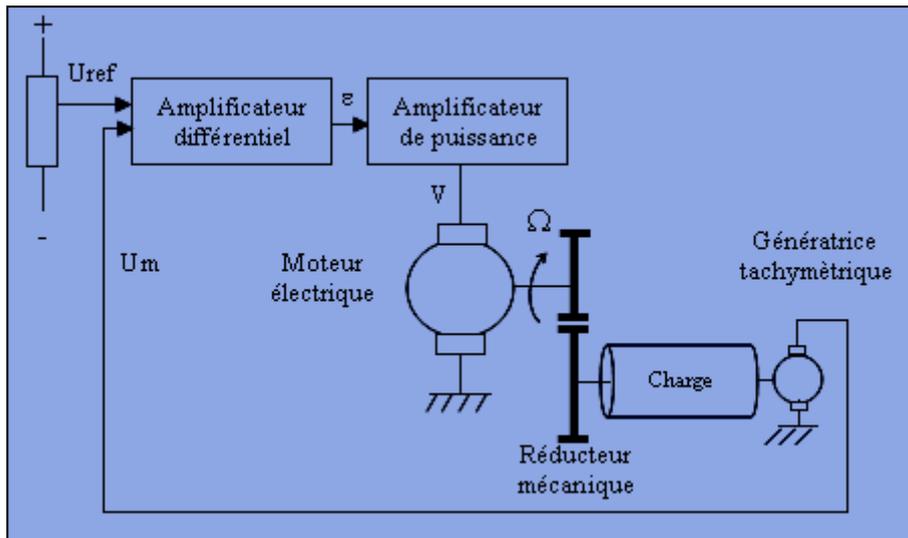
Un variateur de vitesse peut ne pas être en même temps régulateur. Dans ce cas, il possède une commande et une amplification de puissance, mais sans boucle de retour : il est dit « en boucle ouverte ». La vitesse peut varier en fonction des perturbations (variations de la tension d'alimentation, de la charge et de la température) s'éloignant de la consigne sans réaction du variateur.

- **Régulation de vitesse**

Un régulateur de vitesse est un variateur asservi. Il possède un système de commande avec amplification de puissance et une boucle de retour : il est dit « en boucle fermée ».

La vitesse du moteur est définie par une consigne. Si un écart est détecté suite à une variation de la vitesse, les grandeurs appliquées au moteur (tension et/ou fréquence) sont automatiquement corrigées de façon à ramener la vitesse à sa valeur initiale.

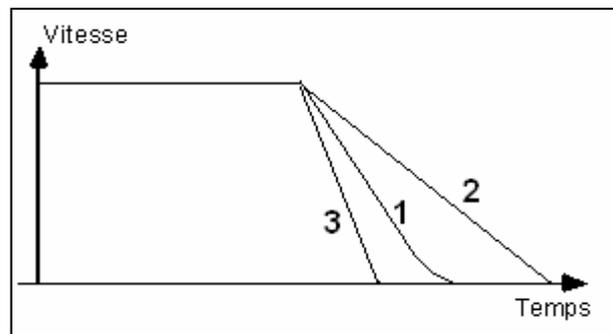
Grâce à la régulation, la vitesse est pratiquement insensible aux perturbations.



### ▪ Décélération contrôlée

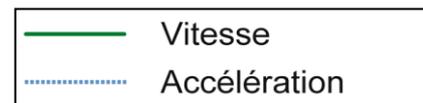
Quand un moteur est mis hors tension, sa décélération est due uniquement au couple résistant de la machine (décélération naturelle). Lors de cette phase de ralentissement on a une accélération négative. Trois cas peuvent se présenter:

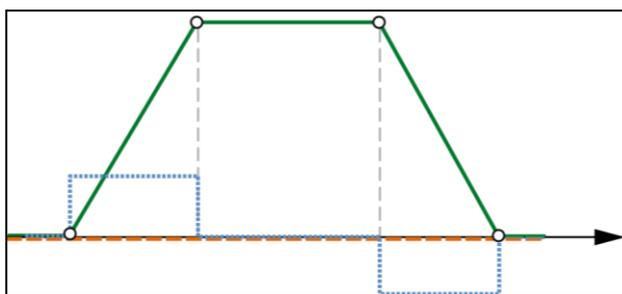
1. la décélération est naturelle, la machine est laissée à elle-même, on coupe la tension du moteur d'entraînement qui développe donc un couple nul, seul intervient le couple résistant.
2. la décélération désirée est plus lente que la décélération naturelle, le moteur doit continuer à entraîner la charge jusqu'à l'arrêt.
3. la décélération désirée est plus rapide que la décélération naturelle, le moteur doit développer un couple résistant qui vient s'ajouter au couple résistant de la machine, on parle alors de freinage électrique.



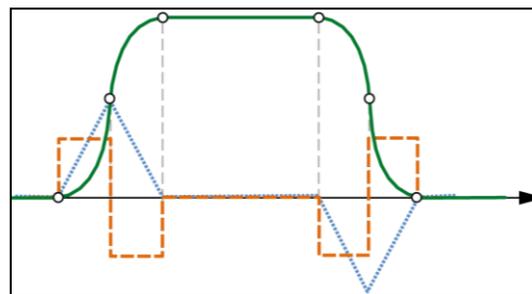
Les démarreurs et variateurs électroniques permettent de contrôler la décélération au moyen d'une rampe linéaire ou en « S », généralement indépendante de la rampe d'accélération.

Ci-dessous les courbes d'accélération/décélération,





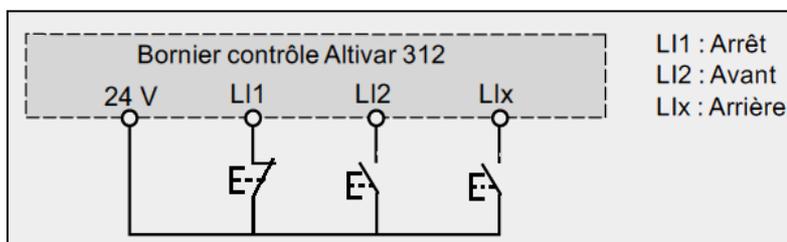
Profil rampe linéaire



profil courbé en S

### ▪ Inversion du sens de marche

L'inversion de la tension d'alimentation (variateurs pour moteur à courant continu) ou l'inversion de l'ordre des phases d'alimentation du moteur est réalisée automatiquement, soit par inversion de la consigne à l'entrée, soit par un ordre logique sur une borne, soit par une information transmise par une connexion réseau. La majorité des variateurs actuels pour moteurs alternatifs permettent cette fonction en standard.



Ci-contre la commande du sens de marche et de l'arrêt par contacts à impulsions pour l'Altivar 312.

### ▪ Freinage d'arrêt

Ce freinage consiste à arrêter un moteur sans pour autant contrôler la rampe de ralentissement. Pour les démarreurs et variateurs de vitesse pour moteurs asynchrones, ceci est réalisé de manière économique en injectant du courant continu dans le moteur.

Sur un variateur pour moteur à courant continu, cette fonction sera assurée en connectant une résistance aux bornes de l'induit.

### ▪ Protections intégrées

Les variateurs modernes assurent en général la protection thermique des moteurs et leur propre protection. A partir de la mesure du courant et d'une information sur la vitesse (si la ventilation du moteur dépend de sa vitesse de rotation), un microprocesseur calcule l'élévation de température du moteur et fournit un signal d'alarme ou de déclenchement en cas d'échauffement excessif.

Les variateurs, et notamment les convertisseurs de fréquence, sont d'autre part fréquemment équipée de protections contre :

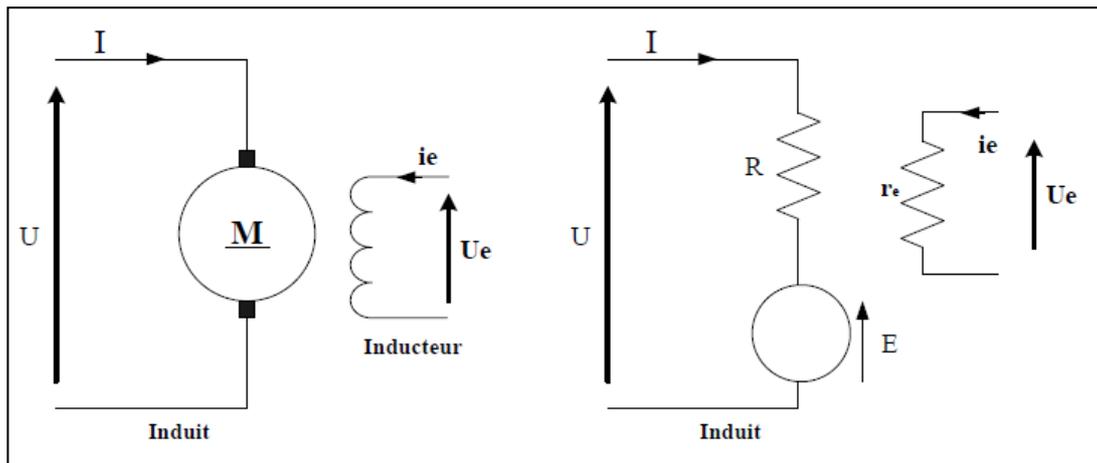
- les courts-circuits entre phases et entre phase et terre,
- les surtensions et les chutes de tension,
- les déséquilibres de phases,
- la marche en monophasé.

## 4 Variation de vitesse des moteurs à courant continu

### 4.1 Équations de fonctionnement du moteur à courant continu (rappel)

#### 4.1.1 Modélisation

Soit la modélisation du moteur à courant continu à excitation séparée ci-après. En régime permanent (continu) on néglige l'effet de l'inductance.



$$U = E' + R \cdot I \quad (1)$$

$$E' = K \cdot \Omega \cdot \Phi \quad (2)$$

$$\Omega = (U - R \cdot I) / K \cdot \Phi \quad (3)$$

$$T = K \cdot \Phi \cdot I \quad (4)$$

Avec :

- $E'$  : force contre-électromotrice (V)
- $U$  : tension d'alimentation de l'induit (V)
- $R$  : résistance de l'induit ( $\Omega$ )
- $I$  : courant absorbé par l'induit (A)
- $\Phi$  : flux créé par l'inducteur (Weber)
- $T$  : couple moteur (Nm)

#### 4.1.2 Caractéristiques électromécaniques

Les caractéristiques qui nous intéressent sont :

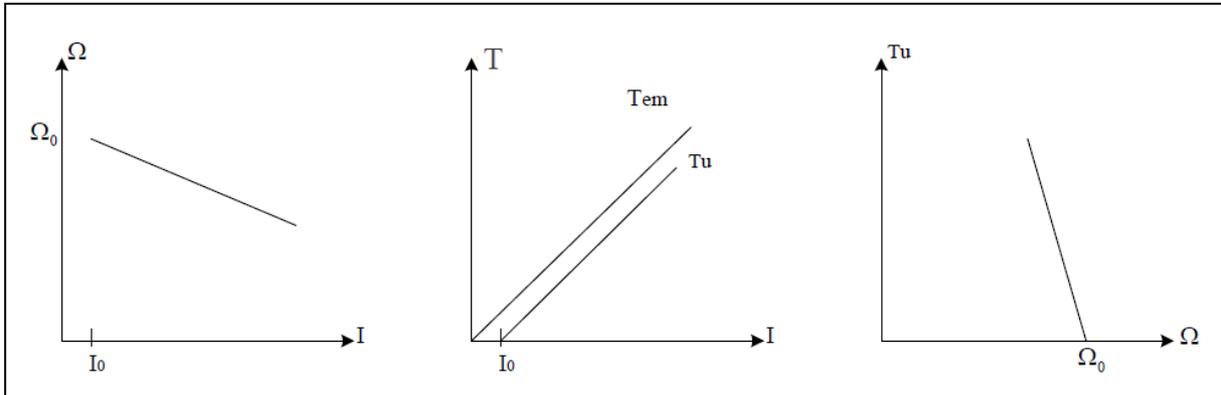
- Caractéristique électromécanique de vitesse  $\Omega = f(I)$ .  
(3) donne  $\Omega = (U/K\Phi) - (R/K\Phi) \cdot I$
- Caractéristique électromécanique de couple  $T = f(I)$ .  
(4) donne  $T = (K\Phi) \cdot I$
- Caractéristique mécanique  $T = f(\Omega)$ .

(1) et (2) donnent  $U = K\Phi \Omega + RI$  (5)

Par élimination du courant entre les relations (4) et (5), on obtient;

$$U = K\Phi \Omega + R(T/ K\Phi) \text{ ce qui donne } T = (K\Phi/R).U - ((K\Phi)^2/R). \Omega$$

D'où les allures ci-dessous :



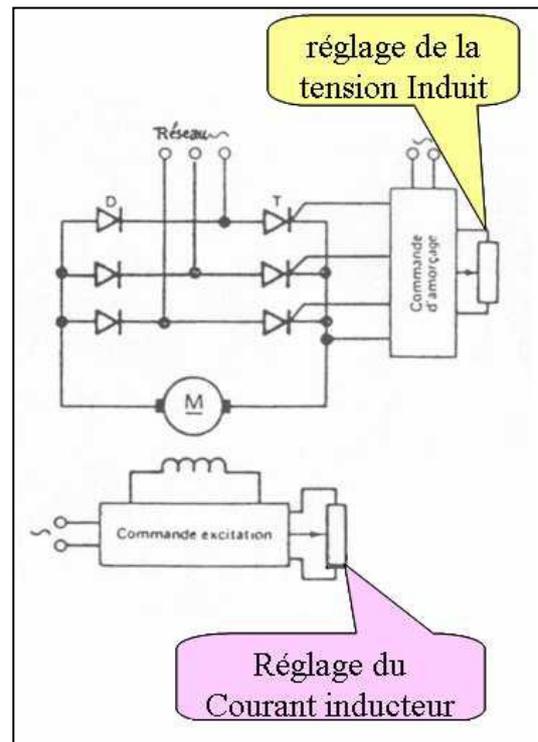
#### 4.2 Variation de vitesse

La relation de la vitesse d'un moteur à courant continu (à excitation shunt ou séparée) est donnée par la relation (3) :

$$\Omega = (U - R.I) / K. \Phi$$

En explorant cette relation, il apparait clairement trois possibilités pour le réglage de la vitesse :

- Action sur R (réglage rhéostatique) ; Ce réglage ne fait pas partie de ce cours.
- Action sur  $\Phi$  (réglage du courant collecteur) ;
- Action sur U (réglage de la tension d'induit).



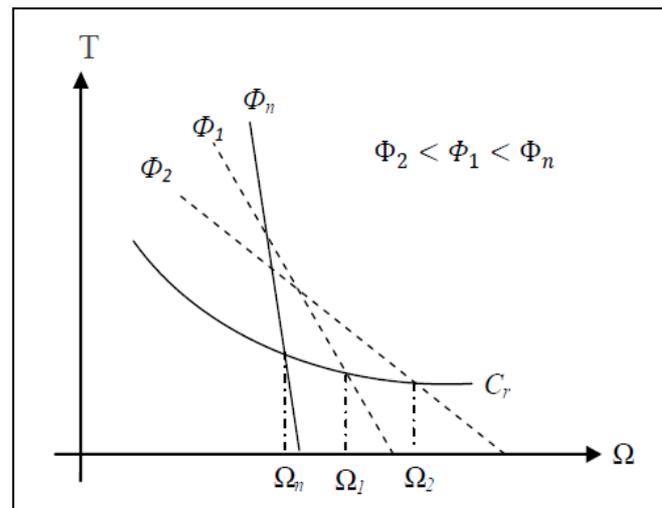
### 4.2.1 Réglage du courant collecteur

Il est important de noter, que suite à la relation du couple ( $T = K \cdot \Phi \cdot I$ ), on a toujours intérêt à appliquer le flux maximal lors du démarrage pour avoir un couple maximal pouvant vaincre l'inertie de la charge. Par ailleurs, du fait de la saturation du fer de la machine, cette valeur de flux est limitée. Donc on ne peut pas atteindre des vitesses faibles en agissant sur le courant inducteur seul.

Il en résulte donc et conformément à la relation (3) donnant la vitesse du moteur ; que le réglage est obtenu uniquement en réduisant la valeur du flux (courant d'excitation), ce qui augmente la vitesse par rapport à la vitesse nominale. Cela se réalise par l'introduction d'un rhéostat de champ dans le circuit d'excitation.

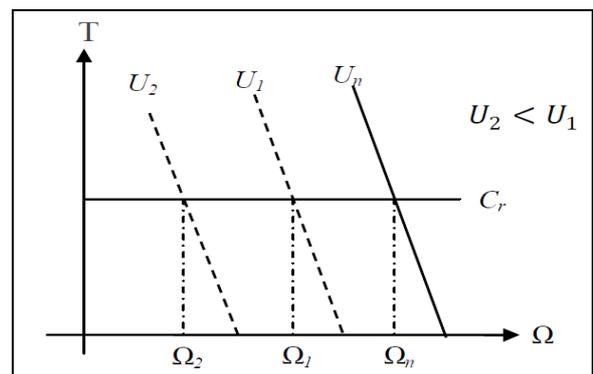
**Important :** on ne peut pas augmenter la vitesse librement par risque d'emballement. Dans la pratique le courant d'excitation doit respecter toujours la relation :

$$I_e \leq I_{en}/2$$



### 4.2.2 Réglage de la tension d'induit

Toujours conformément à la relation (3) donnant la vitesse du moteur et tout en conservant le flux constant, la vitesse du moteur est quasiment proportionnelle à U. le réglage est obtenu par réduction de la vitesse par rapport à la vitesse nominale en réduisant la valeur de la tension d'alimentation.



Les caractéristiques se déplacent parallèlement par rapport à la caractéristique d'origine, comme le montre la figure ci-contre.

Ce mode de réglage est excellent du point de vue technique car les caractéristiques ne sont pas déformées (l'allure shunt est conservée), d'autre part du point de vue économique, aucune énergie n'est gaspillée et le rendement demeure élevé. Cependant, cette solution

nécessite l'emploi d'un variateur de vitesse. L'alimentation de l'induit par l'intermédiaire d'un pont redresseur commandé ou d'un hacheur permet donc de faire varier continument la vitesse de 0 jusqu'à  $\Omega_N$ .

### 4.3 Dispositifs électroniques de variation de vitesse des moteurs à courant continu

Pour obtenir une tension continue variable, il existe 2 possibilités :

- Partir d'une tension alternative sinusoïdale et utiliser un redresseur commandé
- Partir d'une tension continue fixe et utiliser un hacheur

#### 4.3.1 Variateurs à redresseurs

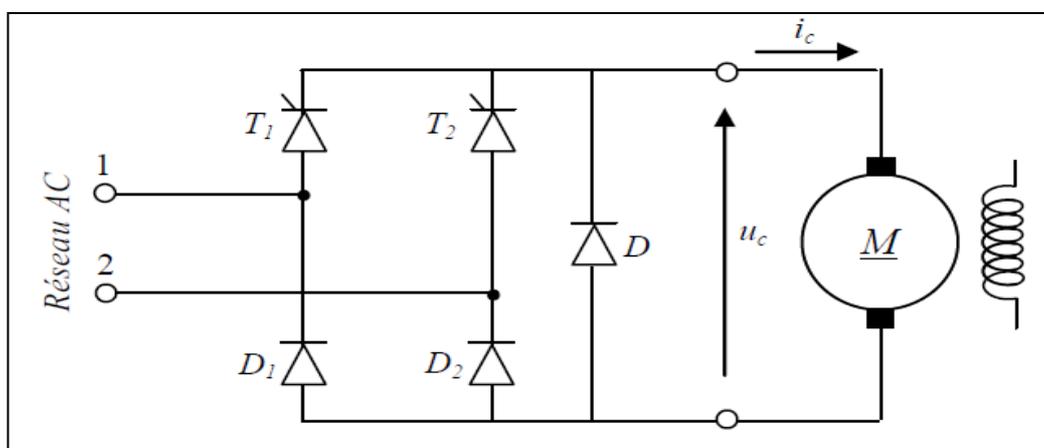
Ce sont les plus répandus dans les applications industrielles puisqu'ils partent directement de la tension du réseau (avec ou sans transformateur). Ils sont monophasés ou triphasés selon la puissance du moteur.

##### Montages non réversibles

Lorsque le moteur à courant continu ne doit tourner que dans un sens et que l'entraînement ne nécessite pas un freinage rapide, on utilise un variateur non réversible permettant la marche de la machine en moteur dans le quadrant I du plan ( $T, \Omega$ ).

En monophasé, on utilise le plus souvent les montages en pont (PD2) qui ont surtout l'avantage de ne pas nécessiter de transformateur. Il y'a deux possibilités :

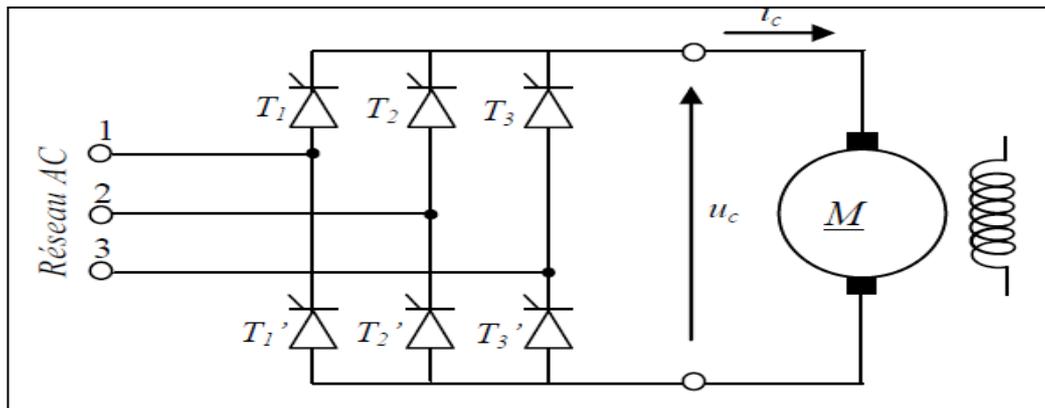
- Pont complet à quatre thyristors
- Pont mixte à deux thyristors et deux diodes.



En triphasé, on utilise les montages en pont pour éviter l'emploi d'un transformateur. Il y'a deux possibilités :

- Pont complet a six thyristors
- Pont mixte (3 thyristors et 3 diodes)

Le montage mixte est le plus économique, mais ses performances sont si mauvaises qu'on utilise le plus souvent le pont tout thyristors.



### Montages réversibles

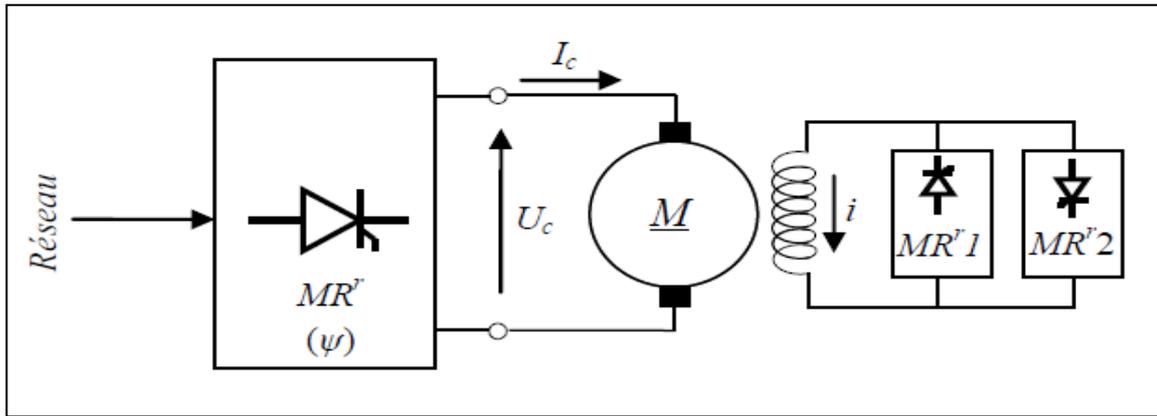
Par variateur réversible, on entend un entraînement permettant une inversion rapide du sens de rotation. Le variateur doit pouvoir assurer le fonctionnement dans les quatre quadrants. Trois montages sont possibles :

- Inversion du courant inducteur,
- Inversion du courant d'induit,
- Montage réversible tête-bêche.

Ils utilisent tous au moins un montage tout thyristors permettant l'inversion de la tension  $U$ ; c'est la réalisation des passages entre les quadrants 1 et 2 ou 3 et 4 qu'ils diffèrent.

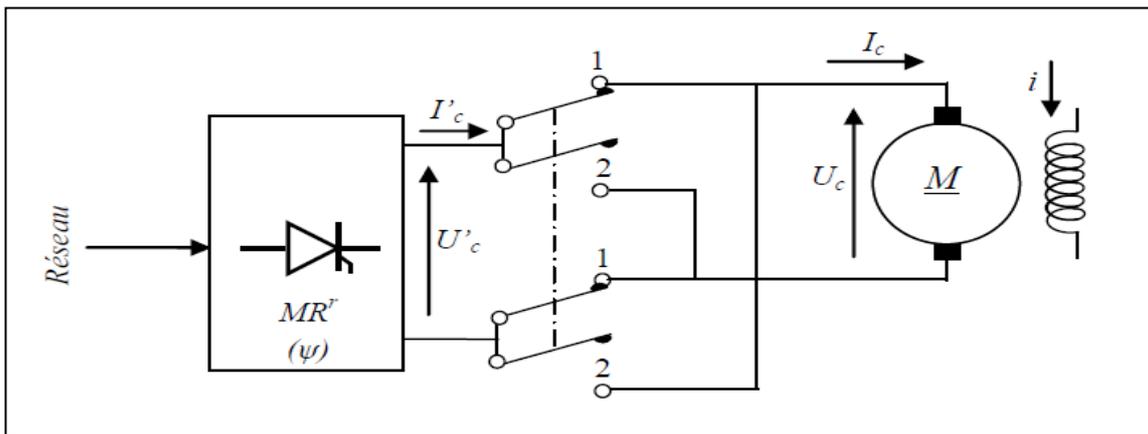
#### 1. Montage à inversion du courant inducteur

L'induit est alimenté par un seul montage redresseur tout thyristors (pont à quatre thyristors en monophasé, pont à six thyristors en triphasé, le plus souvent). L'inversion du couple est réalisée par inversion du courant inducteur à courant  $I$  dans l'induit nul.



2. Montage a inversion du courant induit

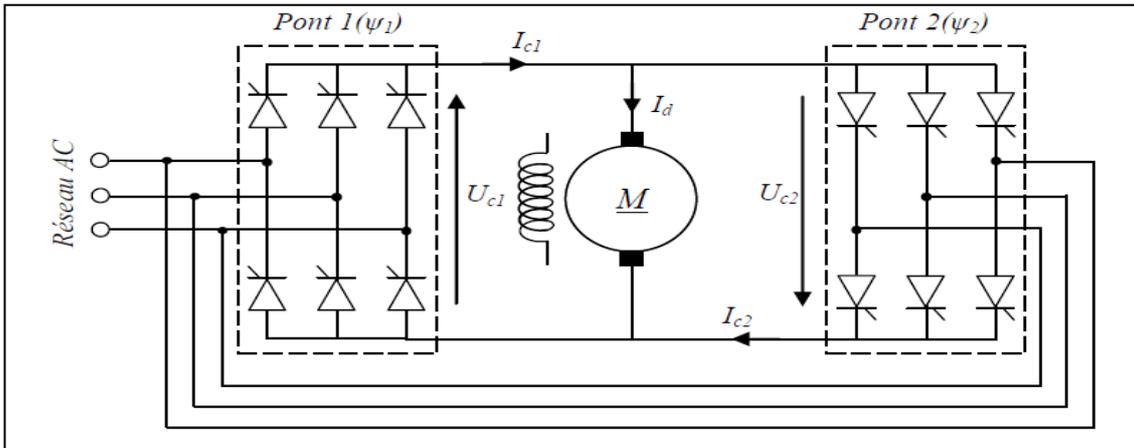
L'induit est toujours alimenté par le même montage tout thyristors ; l'inversion du couple s'obtient par inversion du courant  $I$  à l'aide d'un contacteur bipolaire.



3. Montage réversible tête-bêche

Pour assurer des inversions très rapides avec un équipement totalement statique, on doit utiliser deux montages redresseurs principaux tout thyristors montés en tête-bêche aux bornes de l'induit ; l'un fournit au moteur le courant  $I_d$  positif, l'autre le courant  $I_d$  négatif.

Le pont 1 assure le fonctionnement dans les quadrants 1 et 4, le pont 2 dans les quadrants 2 et 3

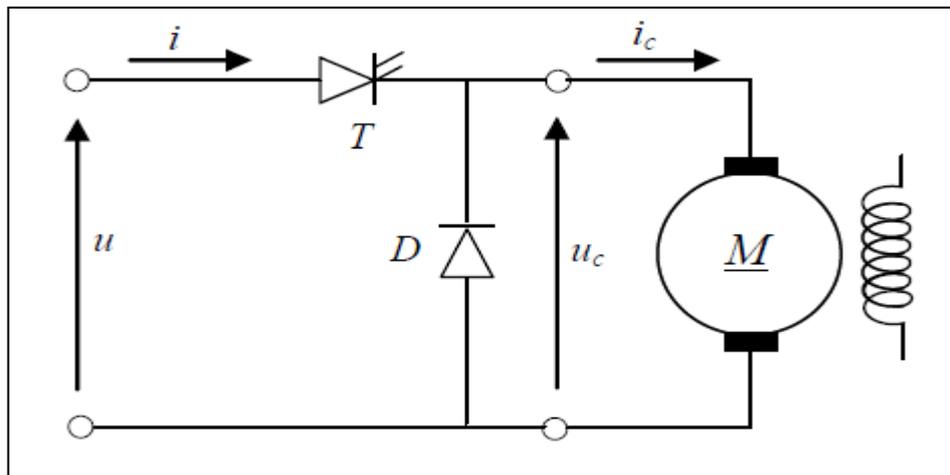


### 4.3.2 Variateurs à hacheurs

Lorsque l'équipement est alimenté en courant continu, comme c'est le cas avec une batterie d'accumulateurs ou la caténaire à courant continu en traction électrique, l'obtention de la tension continue variable appliquée à l'induit  $U_d$  est réalisée au moyen d'un hacheur.

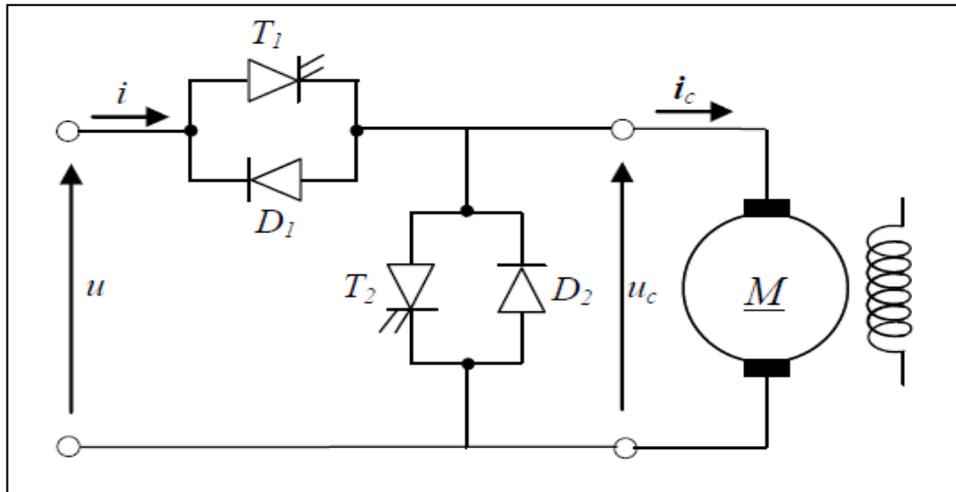
#### 1. Hacheur série

On emploie le hacheur série lorsque le moteur ne doit travailler que dans le quadrant 1 ;



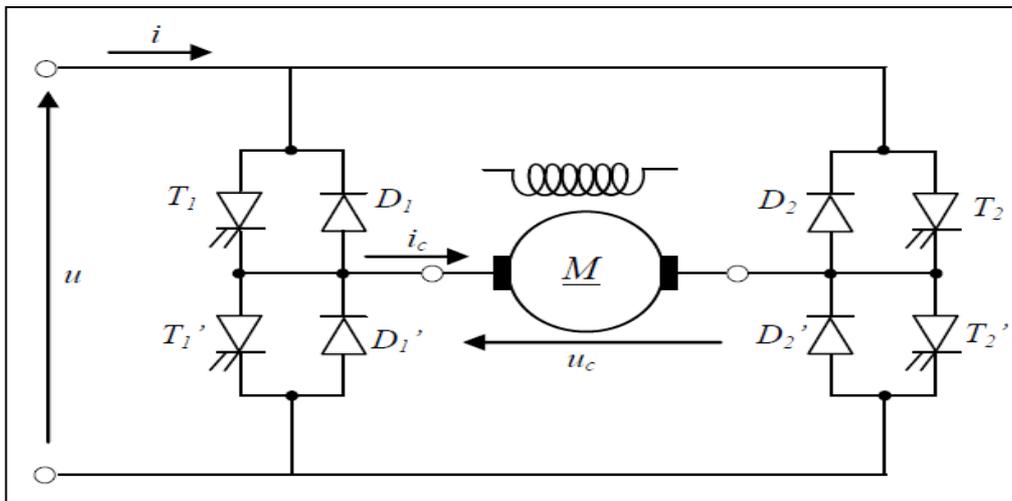
#### 2. Hacheur réversible en courant

Le hacheur à deux interrupteurs réversibles en courant est utilisé lorsque le moteur doit travailler dans les quadrants 1 et 2 ;



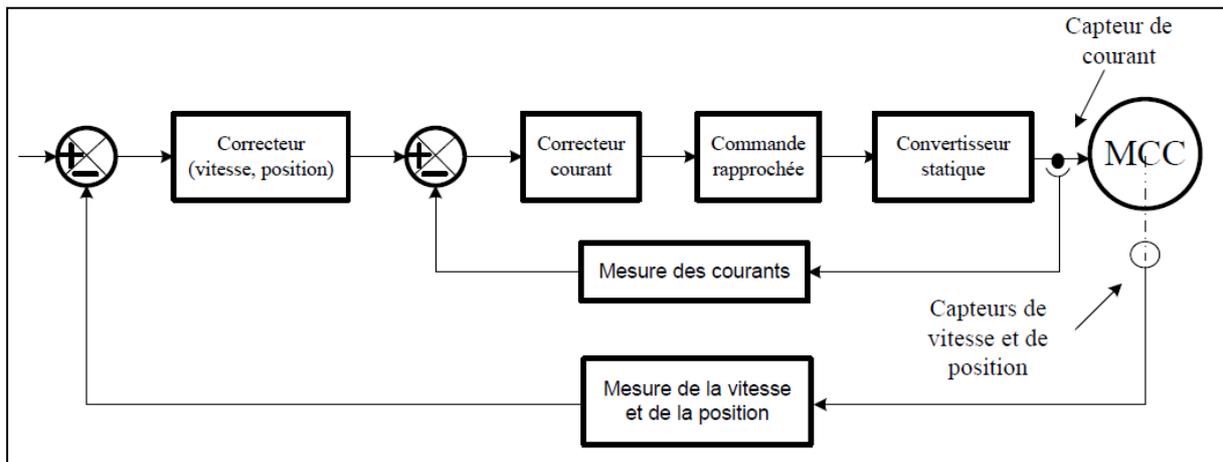
### 3. Hacheur en pont

Lorsque le fonctionnement a lieu dans les quatre quadrants, on a recours au hacheur en pont réversible en courant et en tension.



#### 4.3.3 Régulation de la vitesse des machines à courant continu

Pour réaliser la régulation de vitesse, on utilise un système asservi (structure en boucle) selon le schéma de principe ci-après :



C'est la structure générale la plus fréquente. C'est un variateur de vitesse à deux boucles en cascade. On y distingue les deux organes de puissance (le moteur et le convertisseur statique avec son électronique de commande), les deux capteurs (courant et vitesse) et les deux régulateurs (de courant et de vitesse).

Le recours à cette commande à retro-réaction est motivé, essentiellement, par le fait qu'une telle structure permet d'éliminer (minimiser) l'influence des perturbations extérieures (variation du couple résistant par exemple). Ce que ne permet pas de réaliser un système en boucle ouverte.

## 5 Variation de vitesse des moteurs asynchrones

### 5.1 Équations de fonctionnement du moteur asynchrone

#### 5.1.1 Modélisation

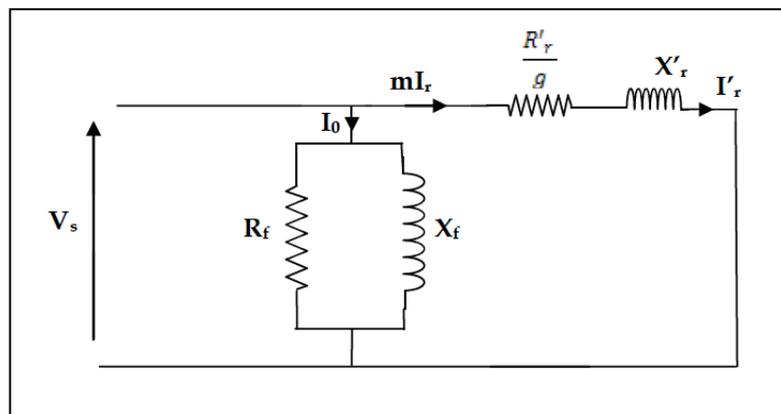
Dans le moteur asynchrone les courants statoriques de fréquence  $f$  (pulsation  $\omega_s = 2\pi f$ ) créent un champ tournant à la vitesse synchrone  $\Omega_s = \omega/p$ . Ce flux balayant le bobinage rotorique y induit des f.e.m. Ce bobinage étant en court-circuit, les f.e.m. induites y produisent des courants rotoriques. C'est l'action du flux tournant statorique sur les courants rotoriques qui crée le couple. C'est pour cela que ce moteur est souvent appelé moteur d'induction.

Si le rotor tournait à la vitesse synchrone  $\Omega_s$ , le flux à travers les bobines rotoriques serait constant. Il n'y aura plus de f.e.m. induites, donc plus de couple. Le rotor tourne nécessairement à une vitesse  $\Omega$  inférieure à la vitesse  $\Omega_s$  du champ. C'est la notion de glissement :

$$g = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s}$$

Le nom asynchrone est dû à la différence entre  $\Omega$  et  $\Omega_s$ .

En négligeant l'impédance de fuite de l'enroulement statorique. Le schéma équivalent devient celui de la figure ci-contre :



#### 5.1.2 Caractéristiques électromécaniques

L'expression du couple électromagnétique est :

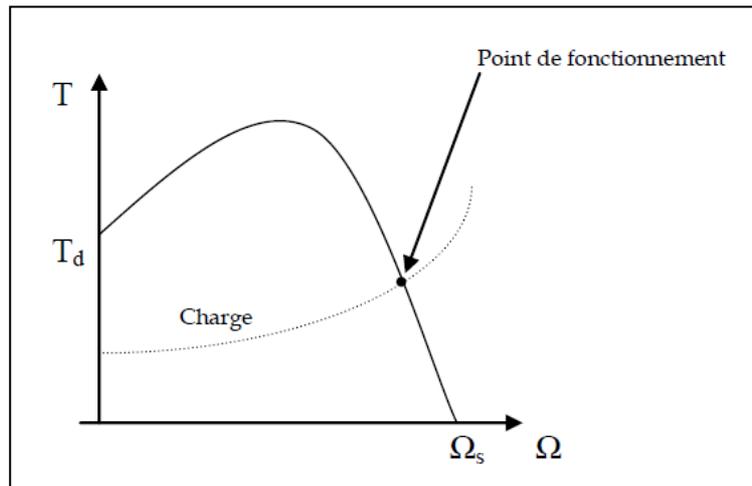
$$T_{em} = 3 \cdot p \cdot \left( \frac{V_s}{\omega_s} \right)^2 \cdot \omega_s \cdot \frac{\frac{R'_r}{g}}{\left( \frac{R'_r}{g} \right)^2 + (L'_r \cdot \omega_s)}$$

D'après cette expression, on déduit :

- Au démarrage  $\Omega = 0$ , alors  $g = 1$ .
- A vide  $g = 0$ , alors  $T_{em} = 0$ .

- Si  $g$  est faible, Le couple est proportionnel au glissement
- Si  $g$  est grande, Le couple est inversement proportionnel au glissement
- Entre ces deux situations, le couple passe par un maximum.

D'où l'allure de la caractéristique couple-vitesse :



La courbe  $T_{em} = f(\Omega)$  présente deux branches ; l'une instable comprise entre le démarrage ( $g=1$ ) et le point à couple max, l'autre est stable comprise entre ce point et le fonctionnement à vide ( $g=0$ ).

Les deux raisons pour que le glissement nominal d'un moteur asynchrone soit petit devant 1 (il est de l'ordre de 2% à 5%) sont :

- L'exigence d'un bon rendement ;
- La bonne stabilité en vitesse.

## 5.2 Variation de vitesse

Les différents procédés envisageables consistent à mettre à profit les modifications de la caractéristique couple-vitesse résultant de la variation des paramètres intervenant dans l'expression de  $T_{em} = f(\Omega)$ .

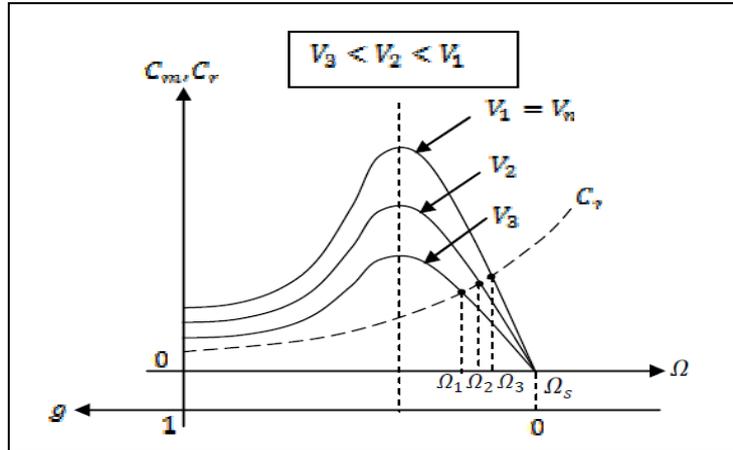
D'après l'expression ci-haut, les paramètres sur lesquels on peut agir pour modifier la caractéristique couple-vitesse sont:

- La résistance rotorique  $R'r$  ; Ce réglage ne fait pas partie de ce cours.
- La tension d'alimentation  $V_s$  ;
- La pulsation  $\omega_s$  (donc fréquence  $f$  de l'alimentation).

### 5.2.1 Réglage par la tension d'alimentation

Le procédé le plus simple pour faire varier la vitesse du moteur asynchrone consiste à alimenter la machine à fréquence constante mais à faire varier la valeur de la tension à ses bornes.

Le couple varie comme le carré de la tension  $V_s$ , et en particulier le couple max, en revanche, le glissement  $g_{max}$  ne dépend pas de  $V_s$ . Partant de la caractéristique à tension nominale, la seule variation possible est une diminution de la tension  $V_s$ . Pour des valeurs décroissantes de cette dernière, on obtient les courbes représentées ci-contre :

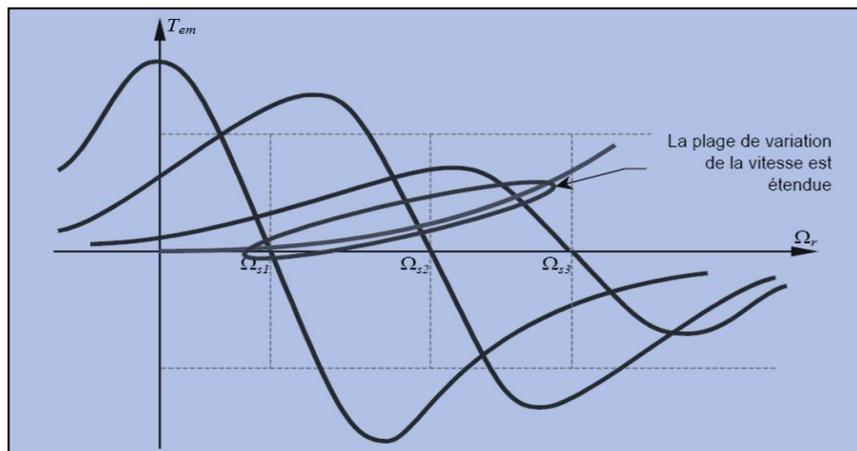


A couple résistant donné, plus la tension est faible, plus le glissement est élevé et donc la vitesse réduite.

**5.2.2 Réglage par la fréquence de l'alimentation**

L'expression de la pulsation de synchronisme  $\Omega_s = \omega/p = (2\pi f)/p$  montre la relation proportionnelle entre la fréquence et la vitesse.

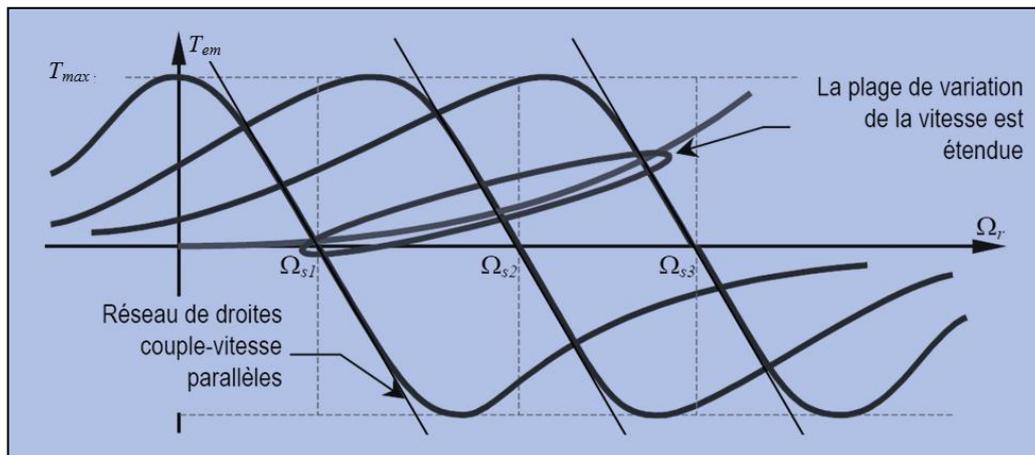
D'après la relation de  $T_{em}$  en fonction de  $\Omega_s$ , on peut déduire les allures de  $T_{em} = f(\Omega) = f(f)$ .



On observe clairement une modification du point de fonctionnement, donc de la vitesse de rotation du moteur asynchrone. La plage de variation est très étendue : elle peut couvrir pratiquement toute la caractéristique de la charge entraînée.

On peut montrer que pour éviter la saturation des matériaux magnétique du moteur, il faut maintenir la quantité  $V_s/f$  constante.

D'où l'allure de la courbe  $T_{em} = f(\Omega)$ , lorsque  $f$  varie avec  $V_s/f = \text{constante}$ .



Le réseau de courbes linéarisées est semblable à celui obtenu lors du tracé des caractéristiques de couple du moteur à courant continu par action sur la tension moyenne d'induit.

Il y a donc analogie entre les deux moteurs du point de vue de leur comportement externe, la fréquence jouant, pour un moteur asynchrone, le même rôle que la tension d'induit pour un moteur à courant continu.

### 5.3 Dispositifs électroniques de variation de vitesse des moteurs asynchrones

Pour obtenir une vitesse variable du moteur asynchrone, il existe 2 possibilités :

- Faire varier la tension d'alimentation en utilisant un gradateur.
- Faire varier la fréquence d'alimentation en utilisant un onduleur.

#### 5.3.1 Variateurs à gradateur

Par le passé, le gradateur associé à des moteurs spéciaux (moteurs à cage résistante), était utilisé pour réaliser la variation de vitesse des moteurs asynchrones.

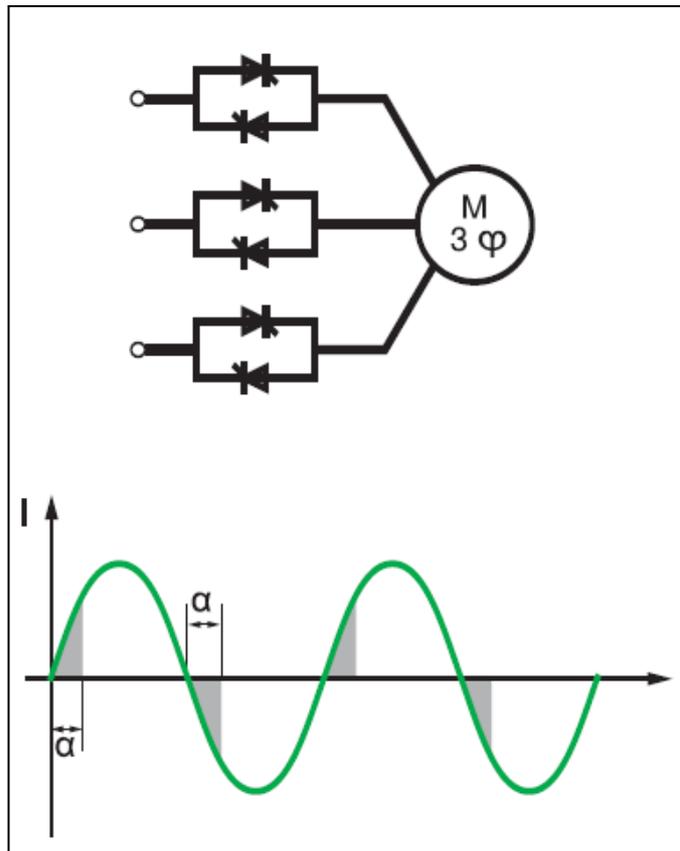
Pour régler la vitesse lorsqu'on utilise ce procédé, on place entre le réseau et le moteur un gradateur pour chacune des phases (schéma ci-dessous). Chaque branche se compose de deux thyristors montés en têtebêche, permettent de tronquer successivement et symétriquement chaque alternance de la tension diminuant ainsi la valeur efficace. Cette solution déforme cependant l'onde de tension engendrant des pertes supplémentaires.

Du fait de sa faible plage de variation de vitesse sur moteur à cage standard, le gradateur statorique est surtout utilisé comme procédé de démarrage sur des machines dont le couple résistant est de type parabolique.

Ce type de variateur (connu également sous le nom de soft starter) est presque exclusivement utilisé pour le démarrage des moteurs. Ce dispositif fournit, à partir d'un réseau alternatif, une tension variable de même fréquence.

Le schéma le plus usuel, comme décrit ci-haut, comporte deux thyristors montés tête-bêche dans chaque phase du moteur.

Le même gradateur peut être utilisé pour réaliser une décélération programmée. Une fois le démarrage effectué, le gradateur peut être court circuité par un contacteur et être utilisé pour le démarrage d'un autre moteur.



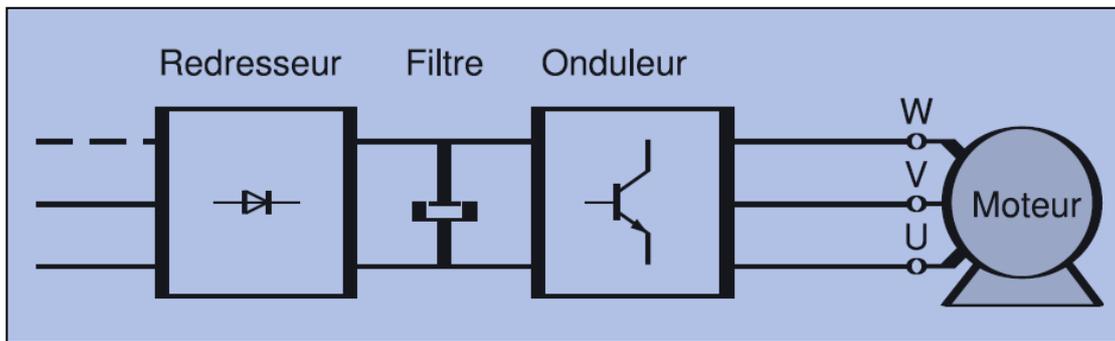
### 5.3.2 Variateurs à onduleur

Parmi les solutions permettant d'obtenir la variation de la vitesse de rotation du moteur asynchrone, la plus performante consiste à modifier la fréquence du réseau d'alimentation tout en maintenant le rapport  $V_s/f$  constant.

Le convertisseur de fréquence, alimenté à tension et fréquence fixes par le réseau, assure au moteur, en fonction des exigences de vitesse, son alimentation en courant alternatif à tension et fréquence variables.

#### Constitution

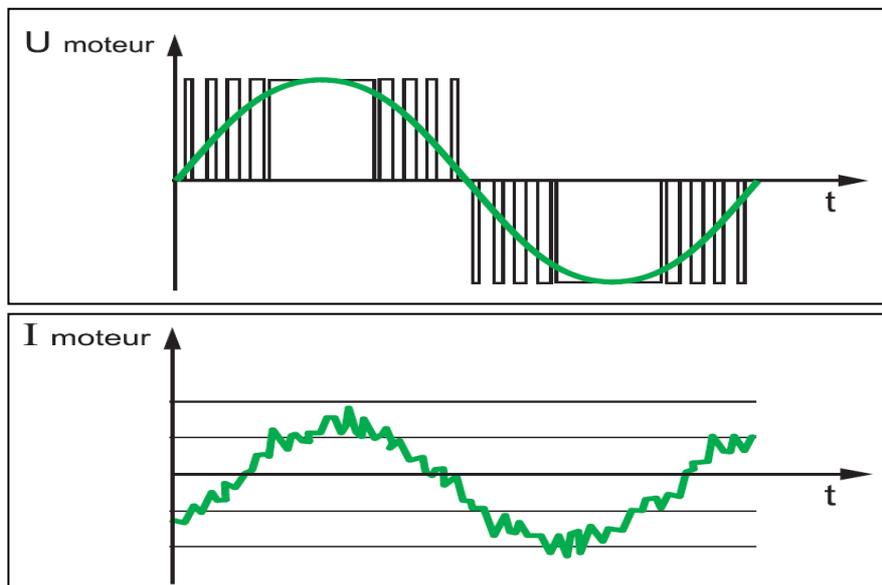
Le circuit de puissance est constitué par un redresseur et un onduleur qui, à partir de la tension redressée, produit une tension d'amplitude et fréquence variables. Pour respecter les normes, un filtre « réseau » est placé en amont du pont redresseur.



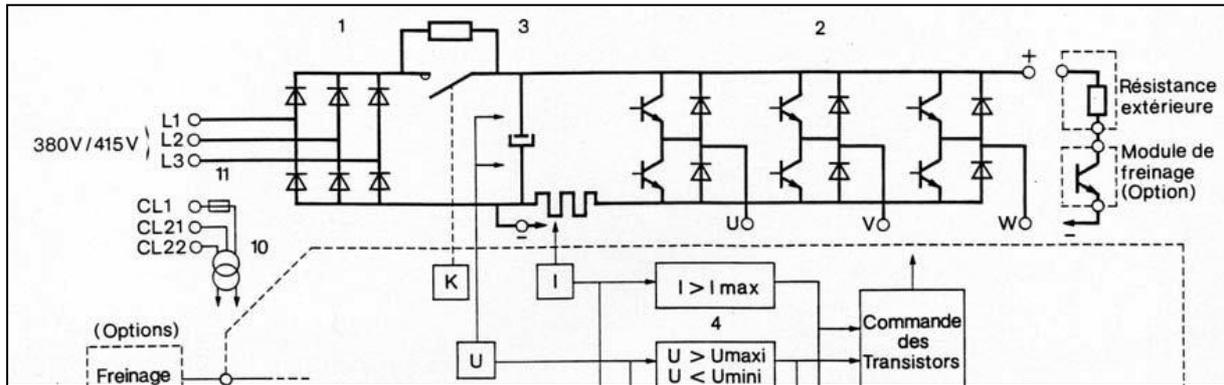
Le redresseur est en général équipé d'un pont redresseur à diodes et d'un circuit de filtrage constitué d'un ou plusieurs condensateurs en fonction de la puissance.

Le pont onduleur, connecté à ces condensateurs, utilise six semiconducteurs de puissance (en général des IGBT) et des diodes de roue libre associées.

La génération de la tension de sortie est obtenue par découpage de la tension redressée suivant des motifs rectangulaires dont le rapport cyclique suit une loi sinusoïdale du temps. C'est la modulation de largeur d'impulsion sinus-triangle. Le courant alternatif résultant est aussi sinusoïdal que possible.



**Exemple d'un schéma fonctionnel d'un onduleur triphasé industriel (Télémécanique)**



1. Redresseur
2. Onduleur triphasé
3. Filtre

## Chapitre III

### Etude de cas, Le variateur ALTIVAR 320

## 1 Introduction

Le variateur Altivar Machine ATV320 est un variateur de vitesse pour moteurs asynchrones et synchrones triphasés de 0,18 à 15 kW.

Le variateur Altivar Machine ATV320 est robuste, simple à mettre en service et facile à intégrer dans différentes configurations de machines et d'armoires. Il peut également s'intégrer dans les principales architectures d'automatisme. Les variateurs Altivar Machine ATV320 répondent parfaitement aux besoins des applications basées sur des machines industrielles simples. Il intègre de



nombreuses fonctions pratiques afin de couvrir les besoins d'applications les plus courantes, notamment :

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Manutention</li> <li>▪ Levage</li> <li>▪ Machines d'emballage</li> <li>▪ Travail des matériaux</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Textile</li> <li>▪ Pompage</li> <li>▪ Contrôle général de machines</li> </ul> |
|--|--|



Levage



Travail des matériaux



Textile

L'ATV320 est conçu pour augmenter la disponibilité des machines et améliorer leurs performances tout en réduisant le coût total des machines.

## 2 Installation de l'altivar 320

### 2.1 Montage :

#### 2.1.1 Présentation du variateur

Dans la gamme des variateurs ATV 320, on trouve plusieurs modèles et plusieurs formats correspondant aux différentes applications. A chaque modèle correspond une référence catalogue et un format comme suite :

##### a. Signification de la référence :

|  | ATV | 320 | U | 22 | N4 | C |
|--|-----|-----|---|----|----|---|
| <b>Gamme d'appareils</b><br>ATV Altivar  |     |     |   |    |    |   |
| <b>Type d'appareil</b><br>320 Gamme de variateurs  |     |     |   |    |    |   |
| <b>Facteur de déclassement de la puissance</b><br>U Puissance x 0,1<br>D Puissance x 1   |     |     |   |    |    |   |
| <b>Puissance nominale</b><br>02 - 04 - 06 - 07 - 11 - 15 - 22 - 30 - 40 - 55 - 75  |     |     |   |    |    |   |
| <b>Bloc puissance</b><br>M2 Monophasé, 200 Vac (200... 240 Vac)<br>M3 Triphasé, 200 Vac (200... 240 Vac)<br>N4 Triphasé, 400 Vac (380... 500 Vac)<br>S6 Triphasé, 600 Vac (525... 600 Vac) |     |     |   |    |    |   |
| <b>Format d'appareil</b><br>B Format "book"<br>C Format "compact"<br>W Corps IP 66<br>WS IP 65 avec interrupteur-sectionneur TeSys Vario   |     |     |   |    |    |   |

##### b. Différents formats :

Les tailles des variateurs sont définies par un chiffre et une (ou deux) lettres. Le premier chiffre des tailles (1, 2, 3, 4 et 5) correspond à l'empreinte du variateur. Ce premier chiffre de la taille est suivi de d'une (ou deux lettres) tels que :

- la lettre B pour le format "Book" ;
- la lettre C pour le format "Compact" ;
- la lettre W pour les variateurs IP66 ;
- la lettre WS pour les variateurs IP65.

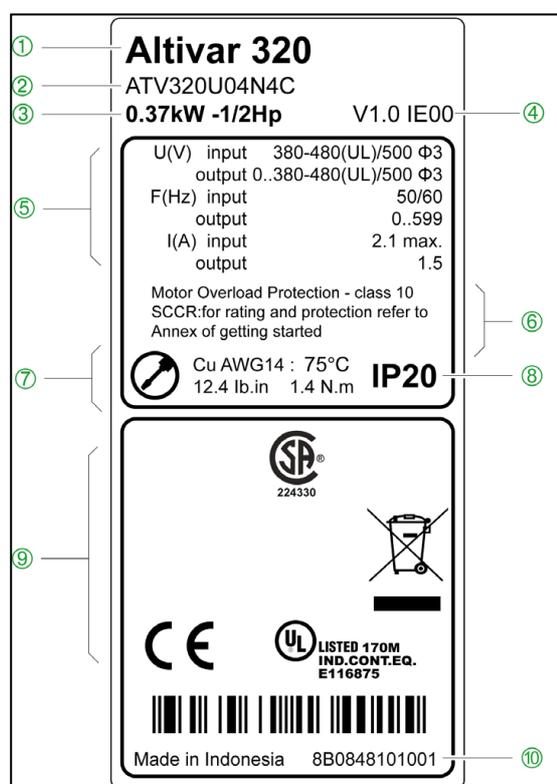
|               |                  |                       |
|---------------|------------------|-----------------------|
| format "Book" | format "Compact" | variateurs IP66/ IP65 |
|---------------|------------------|-----------------------|



**c. Plaque d'identification :**

Les significations des données de la plaque d'identification sont comme suite :

1. Type de produit
2. Référence catalogue
3. Puissance nominale
4. Version du FireWire
5. Alimentation
6. Informations sur les fusibles et les protections contre les surcharges
7. Informations sur les câbles d'alimentation
8. Degré de protection
9. Certifications
10. Numéro de série



**2.1.2 Données techniques**

1. Données mécaniques
  - a. **Conditions thermiques :**

Le fonctionnement dans la température de l'air ambiant est comme suit :

| Variateur    | Température | Remarques         |
|--------------|-------------|-------------------|
| ATV320•••••B | -10...50    | Sans déclassement |

|               |          |                   |
|---------------|----------|-------------------|
| ATV320●●●●●C  | 50...60  | Avec déclassement |
| ATV320●●●●●W  | -10...40 | Sans déclassement |
| ATV320●●●●●WS | 40...60  | Avec déclassement |

### b. Altitude d'utilisation

Pour une altitude < 1000 m, le fonctionnement possible sans déclassement. Pour les altitudes > 1000 m, le fonctionnement est possible avec déclassement du courant nominal du variateur de 1 % tous les 100 m.

### c. Degré de pollution et degré de protection

| Variateur                    | Degré de pollution | Degré de protection |
|------------------------------|--------------------|---------------------|
| ATV320●●●●●B<br>ATV320●●●●●C | 2                  | IP20                |
| ATV320●●●●●W                 | 3                  | IP66                |
| ATV320●●●●●WS                | 3                  | IP65                |

## 2. Calibres des variateurs

| Tension d'alimentation<br>50/60 Hz | Puissance nominale (kW) | Courant nominal sortie<br>variateur (A) |
|------------------------------------|-------------------------|---|
| monophasée : 200...240 V           | de 0.18 à 2.2           | de 1.5 à 11                             |
| triphasée : 200...240 V            | de 0.18 à 15            | de 1.5 à 66                             |
| triphasée : 380...500 Vac          | de 0.37 à 15            | de 1.5 à 33                             |
| triphasée : 525...600 Vac          | de 0.75 à 15            | de 1.7 à 22                             |

## 3. Dispositif de protection amont

Un dispositif de protection contre les courts-circuits (DPCC) calibré en fonction du variateur aide à protéger l'installation aval en cas de court-circuit interne au variateur et à minimiser les dommages subis par le variateur et la zone environnante.

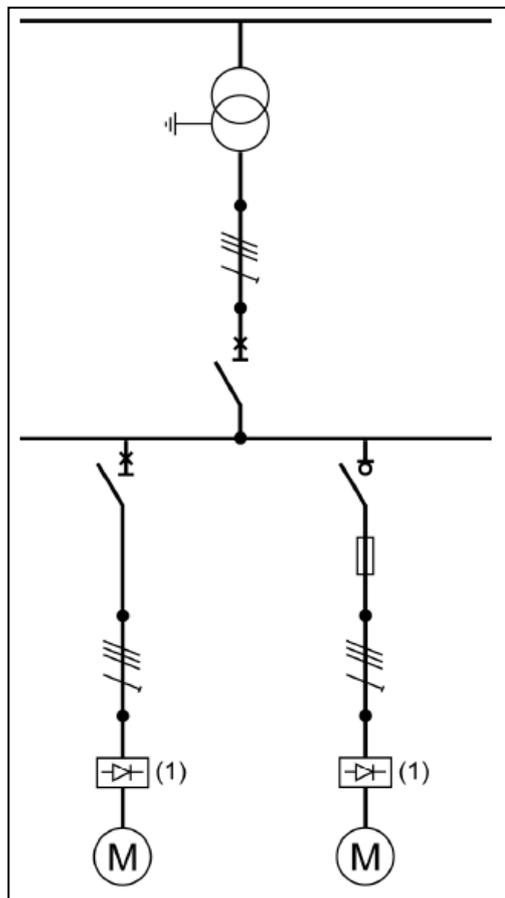
Le DPCC calibré en fonction du variateur est obligatoire pour aider à garantir la sécurité du variateur. Il complète la protection des circuits de dérivation aval pour les installations électriques.

Le DPCC minimise les dommages en cas d'erreur détectée, comme par exemple un court-circuit interne du variateur. Pour le DPCC il faut tenir compte des deux caractéristiques suivantes :

- le courant maximum de court-circuit présumé
- le courant minimum de court-circuit présumé (I<sub>cc</sub>).

Le schéma ci-contre montre un exemple d'installation avec les deux types de DPCC, à savoir un disjoncteur et un fusible calibrés en fonction du variateur.

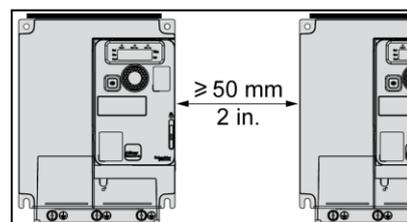
Le disjoncteur offre des avantages par rapport au fusible puisqu'il rassemble 3 fonctionnalités : isolation avec verrouillage, sectionnement (interruption complète de la charge) et protection contre les courts-circuits aval sans remplacement.



### 2.1.3 Types de montage

#### 1. Montage A

Espace libre  $\geq 50$  mm de chaque côté, avec le cache de l'orifice de ventilation en place. Le montage A convient pour un fonctionnement du variateur à une température de l'air ambiant inférieure ou égale à 50 °C.

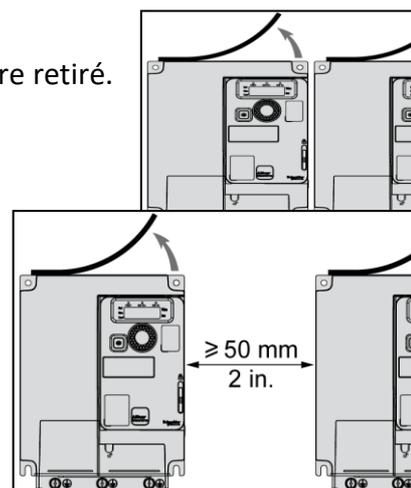


## 2. Montage B

Variateurs accolés, le cache de l'orifice de ventilation doit être retiré. Le degré de protection devient IP20.

## 3. Montage C

Espace libre  $\geq 50$  mm de chaque côté. Le cache de l'orifice de ventilation doit être retiré pour un fonctionnement avec une température de l'air ambiant supérieure à 50 °C. Le degré de protection devient IP20.

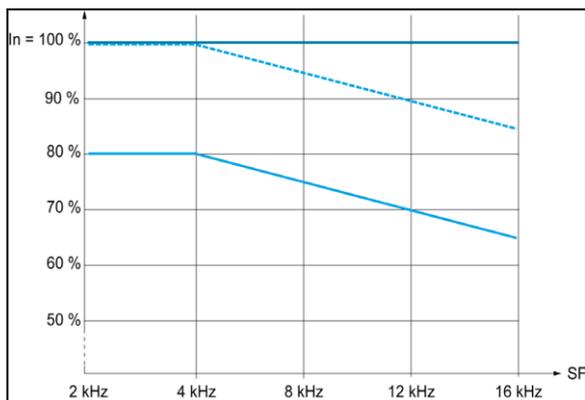


### 2.1.4 Instructions de montage générales

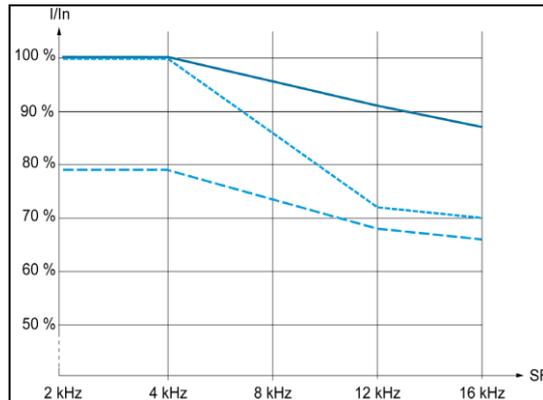
- Montage de l'appareil en position verticale à  $\pm 10^\circ$ . Nécessaire pour le refroidissement de l'appareil.
- Fixez-le sur la surface de montage conformément aux normes constructeur.
- L'utilisation des rondelles est obligatoire avec toutes les vis de montage.
- Serrez les vis de fixation.
- Ne montez pas l'appareil à l'extérieur.
- Ne procédez pas au montage de l'appareil à proximité d'une source de chaleur.
- Evitez les effets environnementaux tels qu'une température et une humidité élevée, ou la présence de poussière, de saleté et de gaz conducteurs.
- Respectez les distances minimales d'installation nécessaires au refroidissement.
- Ne montez pas l'appareil sur des matériaux inflammables.
- Installez le variateur sur un support solide, exempt de vibrations.

### 2.1.5 Courbes de déclassement

Les courbes de déclassement du courant nominal du variateur ( $I_n$ ) en fonction de la température et de la fréquence de découpage dépendent du modèle de variateur. On donne ci-dessous deux exemples d'illustration.

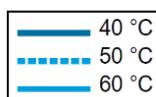


ATV320...M2B



ATV320U02M2C...ATV320U7M2C

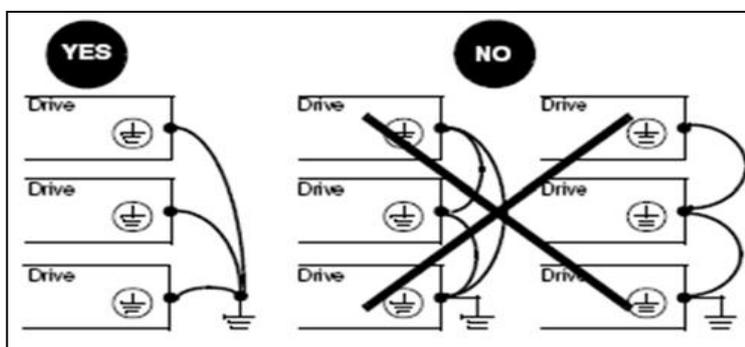
Avec :



## 2.2 Raccordement du variateur :

### 2.2.1 Instructions relatives au câblage

- Les sections des câbles et les couples de serrage doivent être conformes aux spécifications fournies dans le présent document.
- Si vous utilisez des câbles multiconducteurs flexibles pour un raccordement avec une tension supérieure à 25 Vac, vous devez utiliser des cosses annulaires ou des embouts de câbles, suivant le type de raccordement.
- L'appareil a un courant de fuite supérieur à 3,5 mA. Si la connexion de protection à la terre est interrompue, un courant de contact dangereux risque de traverser au contact de l'appareil.
- Assurez-vous que la résistance de terre est égale ou inférieure à 1 ohm.
- Si plusieurs variateurs sont mis à la terre, vous devez connecter chacun d'eux directement ainsi que l'illustre la figure ci-contre.
- Pour limiter les courants en mode commun, utilisez des filtres de sortie de mode commun (ferrite).

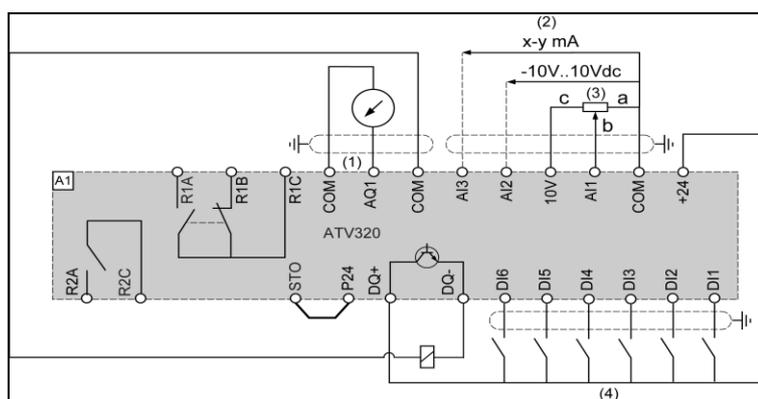


- Le variateur possède un courant de fuite élevé au moment où la puissance lui est appliquée. Utilisez un dispositif à courant résiduel (RCD / GFCI) ou un moniteur de courant résiduel (RCM) avec réaction retardée.
- Les courants hautes-fréquences doivent être filtrés.

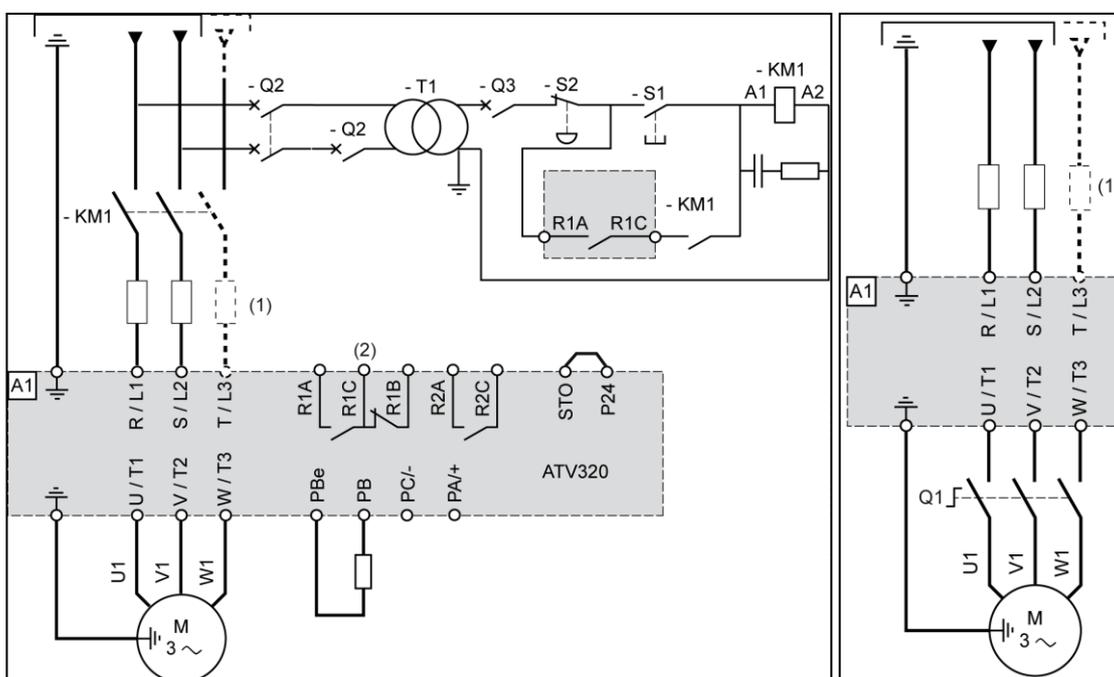
## 2.2.2 Schémas généraux de câblage

Le schéma de câblage du bloc de commande est le suivant :

- (1) Sortie analogique
- (2) Entrées analogiques
- (3) Potentiomètre SZ1RV1202 (2,2 k $\Omega$ ) ou similaire (10 k $\Omega$  maximum)
- (4) Entrées logiques

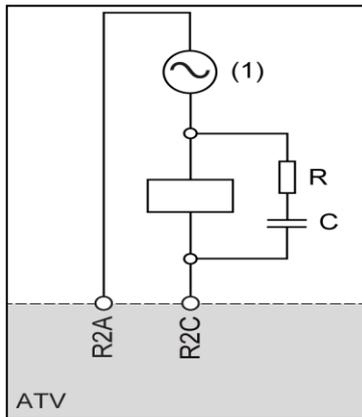


On donne aussi les schémas avec contacteur de ligne et avec contacteur en aval pour les alimentations monophasée ou triphasée.

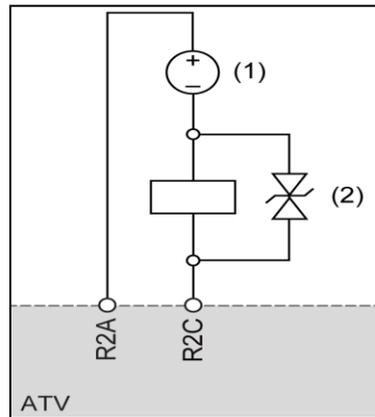


- (1) Inductance de ligne (le cas échéant).
- (2) Utilisez la sortie relais R1 réglée sur l'état de fonctionnement Par défaut pour mettre l'appareil hors tension lorsqu'une erreur est détectée.

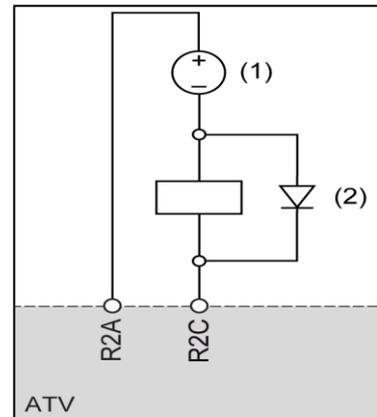
En cas de commande par relais, d'autres circuits doivent être ajoutés suivant la charge.



Circuit RC pour charges inductives AC



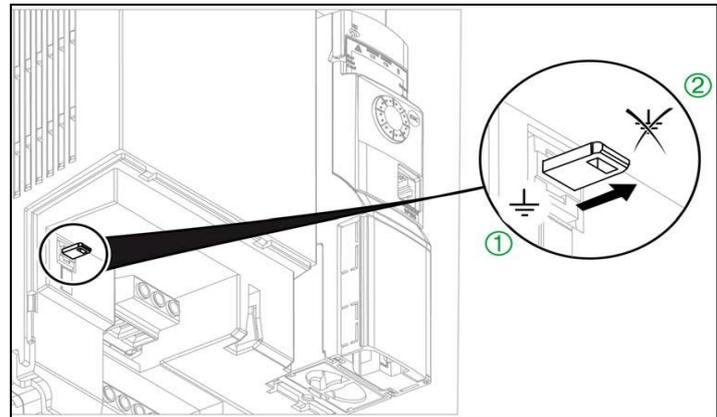
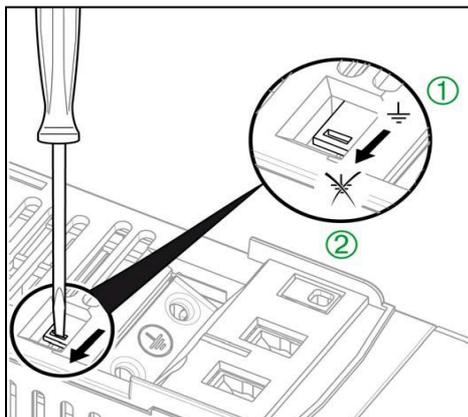
diode de suppression (TVS) pour charges inductives DC



diode flyback pour charges inductives DC

### 2.2.3 Fonctionnement sur un réseau IT

Dans le réseau IT, le neutre est isolé ou à impédance mise à la terre. Suivant le modèle du variateur une configuration (positionnement du cavalier IT) est indispensable pour le fonctionnement ou non sur un réseau IT ou un réseau à impédance mise à la terre. Ci-dessous deux exemples d'illustration.



- Le commutateur est réglé en usine à la position  indiquée sur le détail 
- Pour déconnecter le filtre CEM intégré, mettez le commutateur à la position indiquée sur le détail 

## 2.2.4 Raccordement de la partie puissance

Les fonctions des bornes de puissance sont données dans le tableau ci-dessous :

| Borne              | Fonction  | Pour Altivar 320               |
|--------------------|---|--------------------------------|
| $\equiv$           | Borne de masse                                      | Tous calibres et tailles       |
| R/L1 - S/L2/N      | Alimentation  | ATV320.....M2•                 |
| R/L1 - S/L2 - T/L3 |   | ATV320.....N4•, ATV320.....M3C |
| P0                 | Sortie vers résistance de freinage (polarité +) (1) | ATV320.....C                   |
| PB                 | Sortie vers résistance de freinage (1)              | Tous calibres et tailles       |
| PBe                | Sortie vers résistance de freinage (polarité +) (1) | ATV320.....B                   |
| PA/+               | Polarité + du bus DC                                | Tailles 1C, 2C, 3C, 4 et 5     |
| PC/-               | Polarité - du bus DC                                | Tailles 1C, 2C, 3C, 4 et 5     |
| U/T1 - V/T2 - W/T3 | Sorties vers le moteur                              | Tous calibres et tailles       |

(1) Pour plus d'informations sur l'option de résistance de freinage, visitez notre site Web [www.schneider-electric.com](http://www.schneider-electric.com).

Les résistances de freinage permettent aux variateurs de fonctionner pendant le freinage jusqu'à l'arrêt ou pendant le ralentissement, en dissipant l'énergie de freinage. Elles permettent un couple maximal de freinage.

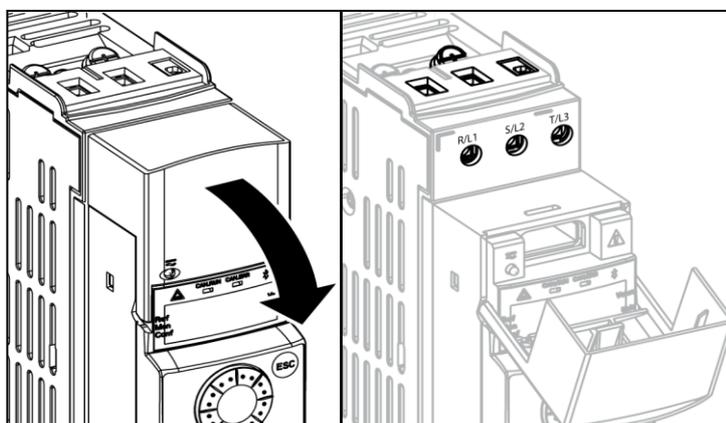
Suivant le modèle du variateur, la valeur minimale de la résistance de freinage à raccorder varie entre  $5\Omega$  et  $96\Omega$ .

L'accès aux bornes de puissance peut être non évident. Par exemple pour les tailles 1B et 2B il faut :

1. Tirez et faites basculer le cache du câblage.
2. Les bornes de moteur et de résistance de freinage figurent en bas du variateur.

L'accès aux bornes de résistance de freinage est protégé par des protections en plastique sécables.

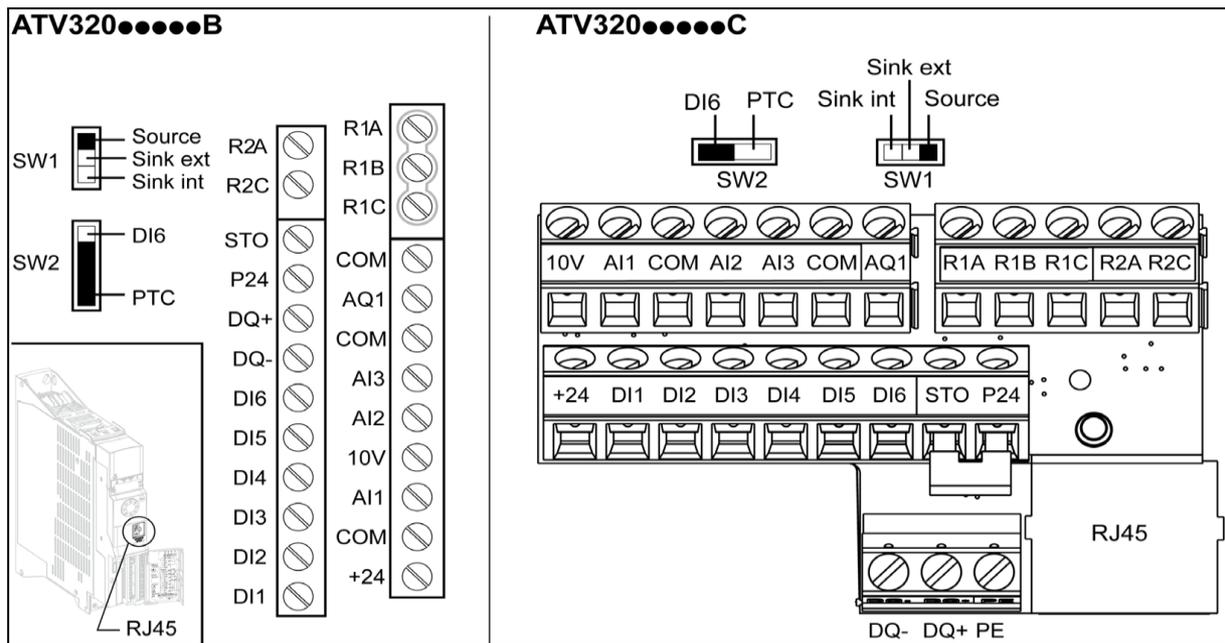
Retirez ces protections à l'aide d'un tournevis.



L'accès pour les autres modèles est disponible dans le manuel d'installation.

## 2.2.5 Raccordement du bloc de commande

La disposition et caractéristiques des bornes et des ports de communication et d'E/S du bloc de commande dépend du modèle de variateur. Ci-dessous celles des formats B et C :



Les descriptions des bornes du bloc de commande sont comme suite :

| Borne      | Description                                  | Type d'E/S |
|------------|--|------------|
| <b>R1A</b> | Contact "F" du relais R1                     | S          |
| <b>R1B</b> | Contact "O" du relais R1                     | S          |
| <b>R1C</b> | Contact à point courant du relais R1         | S          |
| <b>COM</b> | Commun des E/S analogiques                   | E/S        |
| <b>AQ1</b> | Sortie analogique                            | S          |
| <b>COM</b> | Commun des E/S analogique                    | E/S        |
| <b>AI3</b> | Entrée analogique en courant                 | E          |
| <b>AI2</b> | Entrée analogique en tension                 | E          |
| <b>10V</b> | Alimentation pour potentiomètre de référence | S          |
| <b>AI1</b> | Entrée analogique en tension                 | E          |
| <b>COM</b> | Commun des E/S analogique                    | E/S        |
| <b>+24</b> | Alimentation entrée logique                  | E/S        |

| Borne                              | Description                                 | Type d'E/S |
|------------------------------------|---|------------|
| <b>R2A<br/>R2C</b>                 | Contact "F" du relais R2                    | S          |
| <b>STO</b>                         | Entrée STO (Safe Torque Off)                | E          |
| <b>P24</b>                         | Entrée pour une alimentation externe 24 Vdc | E/S        |
| <b>DQ+<br/>DQ-</b>                 | Sortie logique                              | S          |
| <b>DI6<br/>DI5</b>                 | Entrées logiques                            | E          |
| <b>DI4<br/>DI3<br/>DI2<br/>DI1</b> | Entrées logiques                            | E          |
| <b>PE</b>                          | Terre de protection                         | -          |

### 3 Programmation

#### 3.1 Outils de dialogue et de configuration

Les outils de dialogue et de configuration de l'Altivar320 se compose de :

- **Un Interface Homme-Machine (IHM)**

**(1)** Un afficheur à 4 digits indiquant les états, les codes d'erreur et les valeurs des paramètres du variateur.

**(2)** Un bouton de navigation permettant de naviguer dans les menus, de modifier les valeurs et de modifier la vitesse du moteur en mode local.

- **Des terminaux de dialogue**

Les variateurs Altivar Machine ATV320 peuvent se raccorder à :

**(3)** un terminal graphique, à

**(4)** Un terminal graphique déportable ou à,

**(5)** un terminal déporté, disponibles en option.

Ces terminaux IHM peuvent se monter sur une porte de coffret avec un degré de protection IP 65. Ils donnent accès aux mêmes fonctions que l'interface Homme-Machine embarquée.



- **Les outils de configuration "Simple Loader" et "Multi-Loader"**

L'outil "Simple Loader" **(7)** permet de dupliquer la configuration d'un variateur sous tension vers un autre variateur sous tension.

L'outil "Multi-Loader" **(6)** permet de copier des configurations à partir d'un PC ou d'un variateur et de les dupliquer vers un autre variateur ; les variateurs peuvent être hors tension.

Un logiciel de mise en service SoMove permet de configurer, de régler, d'effectuer la mise au point avec la fonction "Oscilloscope" ainsi que la maintenance des variateurs Altivar Machine ATV320, comme pour l'ensemble des autres variateurs et démarreurs Schneider Electric.

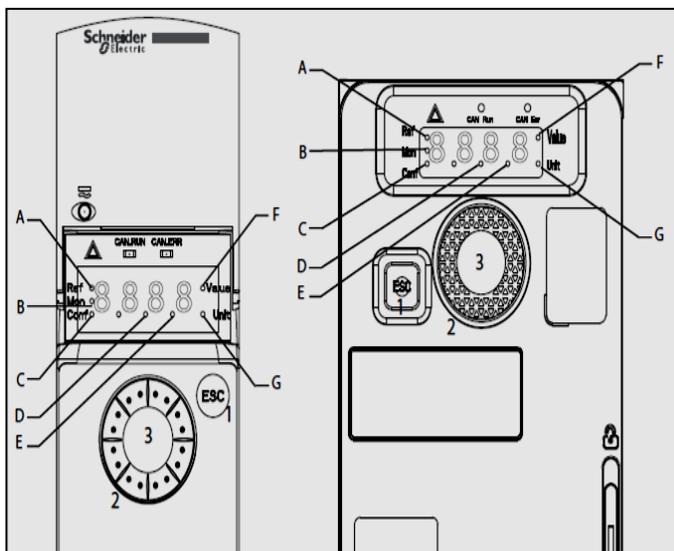
### 3.1.1 L'Interface Homme-Machine

L'interface (IHM) comporte trois touches essentielles et sept fonctions de A à G :

**(1)** La touche ESC est utilisée pour la navigation dans les menus (retour) et le réglage des paramètres (annuler).

**(2)** Le bouton de navigation est utilisé pour la navigation dans les menus (vers le haut ou le bas) et le réglage des paramètres (augmentation/diminution de la valeur ou choix d'un élément). Il peut être utilisé en tant qu'entrée analogique virtuelle 1 pour la consigne de fréquence du variateur.

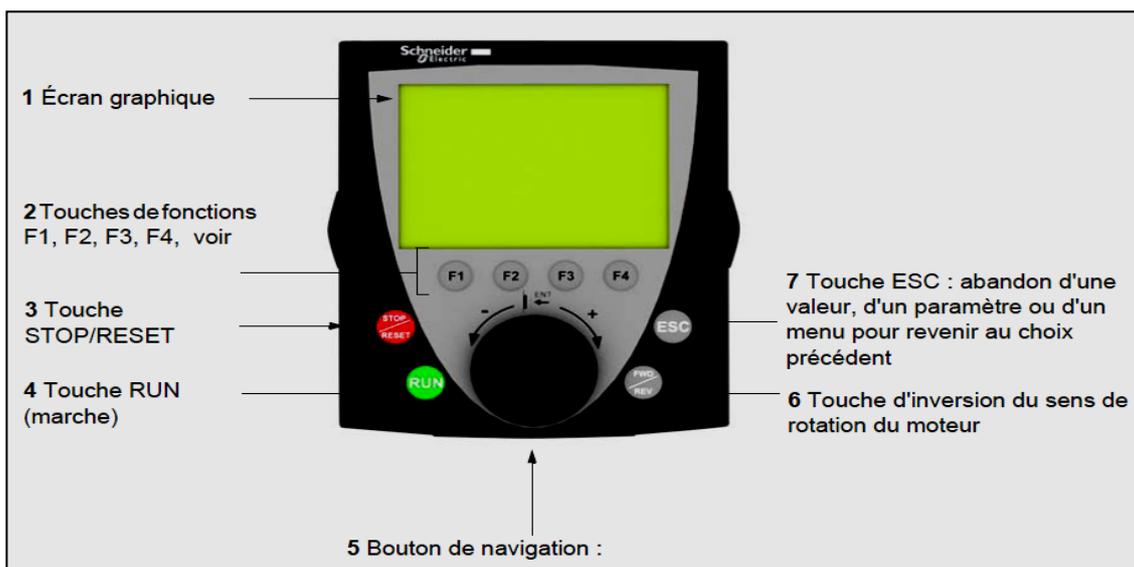
**(3)** La touche ENT (appui sur le bouton de navigation) est utilisée pour la navigation dans les menus (suivant) et le réglage des paramètres (validation).



|   |   |
|---|---|
| A | Mode référence vitesse sélectionné (REF -)  |
| B | Mode surveillance sélectionné (MON -)   |
| C | Mode configuration sélectionné (CONF)   |
| D | Point décimal utilisé pour afficher les valeurs des paramètres (unités arrondies au centième) |
| E | Point décimal utilisé pour afficher les valeurs des paramètres (unités arrondies au dixième)  |
| F | Valeur de paramètre actuellement affichée   |
| G | Unité de paramètre actuellement affichée  |

### 3.1.2 Terminal graphique

À l'aide du terminal graphique, il est possible d'afficher des informations plus détaillées que sur le terminal intégré.

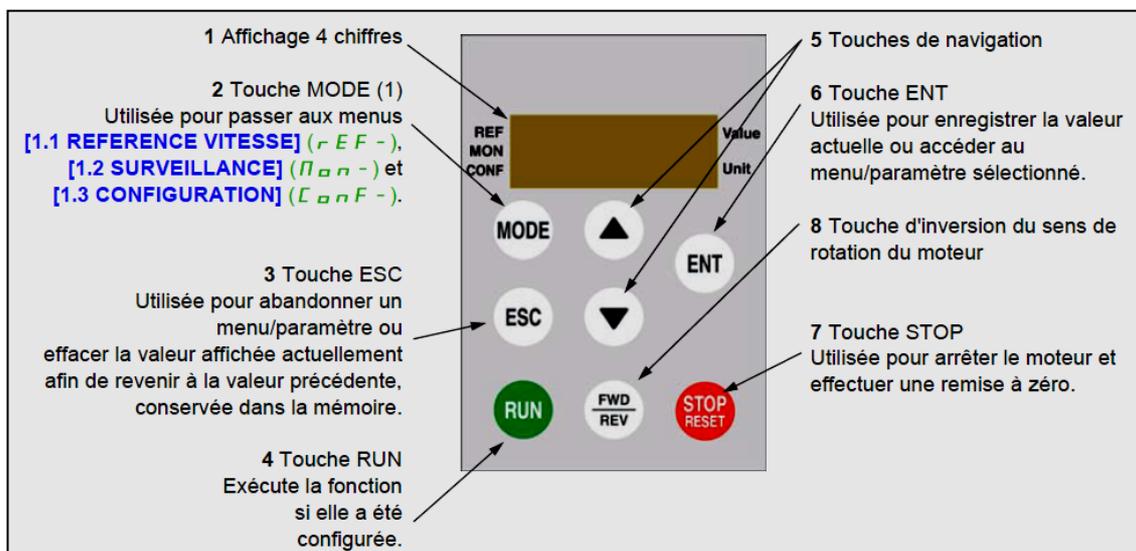


Pour le bouton de navigation (5) :

- Appuyez sur (ENT) :
  - Pour enregistrer la valeur actuelle
  - Pour accéder au menu ou au paramètre sélectionné
- Tournez +/- :
  - Pour incrémenter ou décrémenter une valeur
  - Pour passer à la ligne suivante ou précédente
  - Pour augmenter ou diminuer la consigne si la commande via le terminal graphique est activée

### 3.1.3 Terminal déporté

Le terminal déporté est une unité de commande locale qui peut être montée sur la porte d'un coffret monté sur un mur ou sur la porte d'une armoire. Il est équipé d'un câble doté de connecteurs, qui est lui-même connecté à la liaison série du variateur (voir la documentation fournie avec le terminal déporté). Les touches haut et bas de ce terminal déporté sont utilisées pour la navigation au lieu du bouton de rotatif navigation.



## 3.2 Configuration et réglage des paramètres

Le mode de configuration est en 4 parties :

1. Le menu « Mon menu » qui contient jusqu'à 25 paramètres personnalisables par l'utilisateur via le terminal graphique ou le logiciel SoMove.
2. Les fonctions « Sauvegarder/restaurer ensemble de paramètres » qui permettent d'enregistrer et de rétablir les paramètres de l'utilisateur.

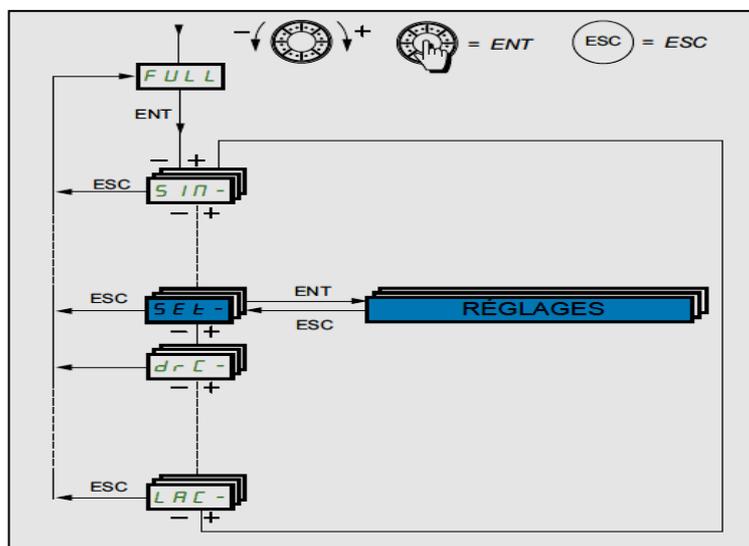
3. Le paramètre **[Macro configuration] (CFG)** qui permet de charger des valeurs prédéfinies pour des applications.

4. Le menu « FULL » qui permet d'accéder à tous les autres paramètres. Il comprend 10 sous-menus :

1. **[SIMPLY START] (SIM-)**,
2. **[REGLAGES] (SEt-)**,
3. **[CONTRÔLE MOTEUR] (drC-)**,
4. **[ENTREES / SORTIES] (I\_O-)**,
5. **[COMMANDE] (CtL-)**,
6. **[BLOCS FONCTIONS] (FbM-)**,
7. **[FONCTIONS D'APPLI.] (FUn-)**,
8. **[GESTION DEFAUTS] (FLt-)**,
9. **[COMMUNICATION] (COM-)**,
10. **[NIVEAU D'ACCES] (LAC)**,

Dans la suite on se limite à la présentation des sous-menus 1, 2, 3, 4, 5 et 7 indispensables pour la configuration du variateur.

La procédure de navigation pour atteindre un sous-menu (exemple "REGLAGE") avec le terminal intégré est comme suite :



### 3.2.1 SIMPLY START

Les fonctions essentielles du sous-menu "SIMPLY START" sont :

| Code       | Nom/Description   |
|------------|---|
| <b>bFr</b> | <p><b>[Standard fréq.mot]</b></p> <p>Ce paramètre modifie les préréglages des fonctions suivantes :</p> <p><b>[Tension nom. mot.]</b> (UnS),<br/> <b>[Courant nom. mot.]</b> (nCr),<br/> <b>[Puissance nom. mot]</b> (nPr),<br/> <b>[Fréq. nom. mot.]</b> (FrS),<br/> <b>[Fréquence maxi.]</b> (tFr).</p> |
| <b>UnS</b> | <p><b>[Tension nom. mot.]</b></p> <p>Tension nominale du moteur indiquée sur sa plaque signalétique.<br/>           ATV320***M2 : 100 à 240 V – ATV320***N4 : 200 à 480 V.</p>  |
| <b>nCr</b> | <p><b>[Courant nom. mot.]</b></p> <p>Courant nominal du moteur indiqué sur sa plaque d'identification.<br/> <b>Plage de réglages</b> : 0,25 à 1,5 In</p>  |
| <b>nPr</b> | <p><b>[Puissance nom. mot]</b></p> <p>Puissance nominale du moteur indiquée sur la plaque signalétique, en kW</p>   |
| <b>FrS</b> | <p><b>[Fréq. nom. mot.]</b></p> <p>Fréquence nominale du moteur indiquée sur sa plaque signalétique.<br/>           Le réglage usine est sur 50 Hz<br/> <b>Plage de réglages</b> : 10 à 800 Hz</p>  |
| <b>tFr</b> | <p><b>[Fréquence maxi.]</b></p> <p>La valeur maximale est limitée par les conditions suivantes :<br/>           Elle ne doit pas dépasser 10 fois la valeur de <b>[Fréq. nom. mot.]</b> (FrS).<br/> <b>Plage de réglages</b> : 10 à 599 Hz</p>  |

### 3.2.2 REGLAGES

Les fonctions essentielles du sous-menu "REGLAGES" sont :

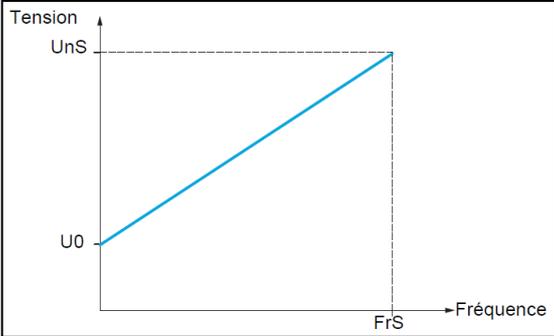
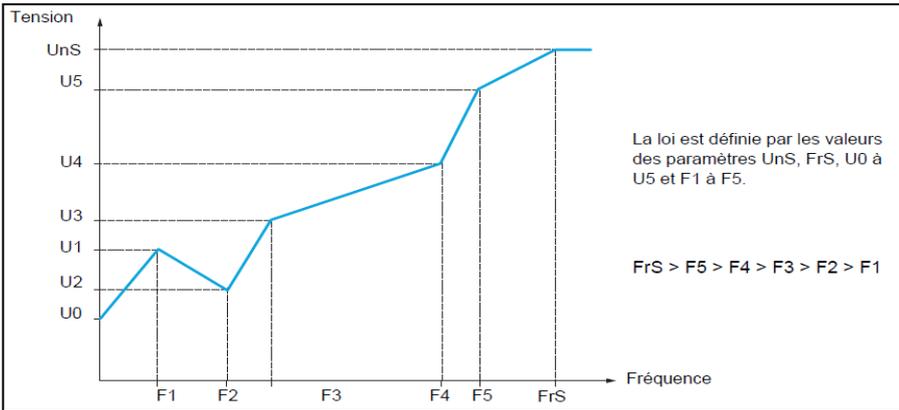
| Code        | Nom/Description  |
|-------------|--|
| <b>SEt-</b> | <p><b>[REGLAGES]</b></p> <p>Ce paramètre permet les réglages des fonctions suivantes :</p> <p><b>[Incrément rampe]</b> (Inr)<br/> <b>[Accélération]</b> (ACC),<br/> <b>[Décélération]</b> (dEC),<br/> <b>[Petite vitesse]</b> (LSP),<br/> <b>[Grande vitesse]</b> (HSP),</p> |

|            |  |   |
|------------|--|---|
|            | <b>[Courant therm. mot] (ItH),</b>   |   |
| <b>Inr</b> | <b>[Incrément rampe]</b><br>Ce paramètre est disponible avec <b>[Accélération] (ACC)</b> , <b>[Décélération] (dEC)</b> , <b>[Accélération 2] (AC2)</b> et <b>[Décélération 2] (dE2)</b> .  | Valeurs possibles :<br><b>[0,01]</b> : rampe jusqu'à 99,99 secondes<br><b>[0,1]</b> : rampe jusqu'à 999,9 secondes<br><b>[1]</b> : rampe jusqu'à 6 000 secondes |
| <b>ACC</b> | <b>[Accélération]</b><br>Temps pour accélérer de 0 à la <b>[Fréq. nom. mot.] (FrS)</b> . Pour la répétitivité des rampes, la valeur de ce paramètre doit être réglée selon la possibilité de l'application.<br><b>Plage de réglages</b> : 0,00 à 6 000 s |   |
| <b>dEC</b> | <b>[Décélération]</b><br>Temps pour décélérer de la <b>[Fréq. nom. mot.] (FrS)</b> à 0. Pour la répétitivité des rampes, la valeur de ce paramètre doit être réglée selon la possibilité de l'application.<br><b>Plage de réglages</b> : 0,00 à 6 000 s  |   |
| <b>LSP</b> | <b>[Petite vitesse]</b><br>Fréquence moteur à consigne mini, réglage de 0 à <b>[Grande vitesse] (HSP)</b> ,<br><b>Plage de réglages</b> : 0 à 599 Hz   |   |
| <b>HSP</b> | <b>[Grande vitesse]</b><br>Fréquence moteur à consigne maxi, réglage de <b>[Petite vitesse] (LSP)</b> et <b>[Fréquence maxi.] (tFr)</b> .<br><b>Plage de réglages</b> : 0 à 599 Hz   |   |
| <b>ItH</b> | <b>[Courant therm. mot]</b><br>Courant de protection thermique du moteur à régler sur l'intensité nominale indiquée sur la plaque signalétique.<br><b>Plage de réglages</b> : 0,2 à 1,5 In   |   |

### 3.2.3 CONTRÔLE MOTEUR

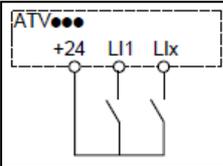
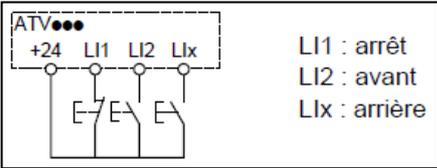
Ce paramètre permet de sélectionner une loi de commande et d'entrer la valeur des paramètres :

| Code       | Nom/Description   |
|------------|---|
| <b>Ctt</b> | <b>[Type cde moteur]</b><br><br>Ce paramètre permet de sélectionner une loi de commande parmi :<br><b>[SVC U] (UUC)</b><br><b>[Standard] (Std)</b><br><b>[U/F 5pts] (UF5)</b> |

|            |   |
|------------|---|
| <b>uuC</b> | <p><b>[SVC U]</b><br/>                 contrôle vectoriel sans capteur avec boucle de vitesse interne en fonction du calcul du retour de tension. Pour les applications exigeant de hautes performances au démarrage ou pendant la marche.</p>  |
| <b>Std</b> | <p><b>[Standard]</b><br/>                 Loi de moteur standard. Pour les applications simples qui n'exigent pas de hautes performances. Loi simple de contrôle du moteur maintenant un rapport tension/fréquence constant, avec un réglage possible du bas de la courbe. Cette loi est généralement utilisée pour des moteurs branchés en parallèle.</p>  |
| <b>uF5</b> | <p><b>[U/F 5pts]</b><br/>                 loi U/F à 5 segments : comme la loi <b>[Standard]</b> (Std), mais permet en plus d'éviter les phénomènes de résonance (saturation).</p>    |
| <b>SYn</b> | <p><b>[Mot. sync.]</b><br/>                 pour moteurs synchrones à aimant permanent et à force électromotrice FEM sinusoïdale uniquement.<br/>                 Cette option permet d'accéder aux paramètres des moteurs synchrones, mais pas à ceux des moteurs asynchrones.</p>   |
| <b>uFq</b> | <p><b>[u/F quad.]</b><br/>                 Couple variable. Pour les applications de pompage et de ventilation.</p>   |
| <b>nLd</b> | <p><b>[Ec.énergie]</b><br/>                 économie d'énergie. Pour les applications qui n'exigent pas de dynamique élevée.</p>  |

### 3.2.4 ENTREES / SORTIES

Ce paramètre permet de définir et configurer l'ensemble des variables d'Entrées/Sorties :

| Code | Nom/Description  |
|------|--|
| I_O- | <p><b>[ENTRÉES / SORTIES]</b></p> <p>Ce paramètre permet de définir les paramètres :</p> <p><b>[Cde 2 fils/3 fils]</b> (tCC)<br/> <b>[Type cde 2 fils]</b> (tCt)<br/> <b>[Affect.Marche]</b> (rUn)<br/> <b>[Sens avant]</b> (Frd)<br/> <b>[Aff. sens arrière]</b> (rrS)</p> <p>et configurer les variables : <b>LI1, Llx, LAx, LAI, AI1, AI2, AI3, CODEUR, R1, R2, LO1, DO1, AO1</b></p>   |
| tCC  | <p><b>[Cde 2 fils/3 fils]</b></p> <p>Permet de sélectionner entre la commande 2 fils et 3 fils comme suite :</p> <div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;"> <p><b>[Cde 2 fils]</b> (2C)</p> <p><b>Commande 2 fils (commandes par niveau) :</b> état (0 ou 1) ou front (0 à 1 ou 1 à 0) de l'entrée qui commande la marche ou l'arrêt.</p> </div> <div style="flex: 1; text-align: center;">  </div> <div style="flex: 0.5; padding-left: 10px;"> <p>LI1 : avant<br/>Llx : arrière</p> </div> </div><br><div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;"> <p><b>[Cde 3 fils]</b> (3C)</p> <p><b>Commande 3 fils (commandes par impulsions) :</b><br/>                     Une impulsion « avant » ou « arrière » suffit pour commander le démarrage et une impulsion « arrêt » suffit pour commander l'arrêt.</p> </div> <div style="flex: 1; text-align: center;">  </div> <div style="flex: 0.5; padding-left: 10px;"> <p>LI1 : arrêt<br/>LI2 : avant<br/>Llx : arrière</p> </div> </div> |
| tCt  | <p><b>[Type cde 2 fils]</b></p> <p>Ce paramètre peut prendre 3 valeurs :</p> <p><b>[Niveau]</b> (LEL) : l'état 0 ou 1 est pris en compte pour la marche (1) ou l'arrêt (0).<br/> <b>[Transition]</b> (trn) : un changement d'état (transition ou front) est nécessaire pour démarrer le moteur afin d'éviter des redémarrages accidentels après une coupure d'alimentation.<br/> <b>[Priorité FW]</b> (PFO) : l'état 0 ou 1 est pris en compte pour la marche ou l'arrêt, mais le sens « avant » est prioritaire sur le sens « arrière ».</p>  |

### 3.2.5 COMMANDE

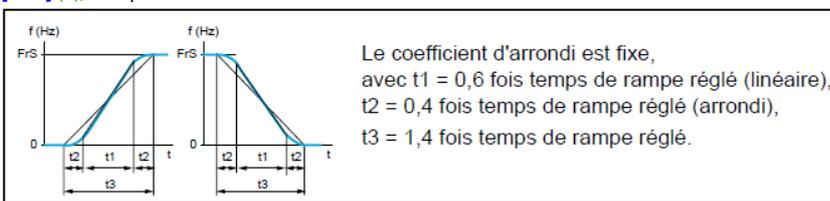
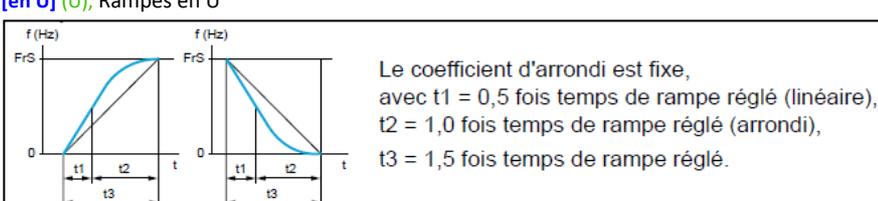
Les fonctions essentielles du sous-menu " COMMANDE" sont :

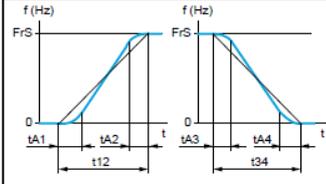
| Code | Nom/Description   |
|------|---|
| CtL- | <p><b>[COMMANDE]</b></p> <p>Ce paramètre permet les réglages des fonctions suivantes :</p> <p><b>[Canal réf. 1]</b></p> <p><b>[Inhibition sens RV]</b></p> <p><b>[Priorité STOP]</b></p> <p><b>[Profil]</b></p> <p><b>[Commutation cmd]</b></p>   |
| Fr1  | <p><b>[Canal réf. 1]</b></p> <p>Ce paramètre peut prendre les valeurs :</p> <p><b>[AI1] (A11)</b> : entrée analogique A1</p> <p><b>[AI2] (A12)</b> : entrée analogique A3</p> <p><b>[AI3] (A13)</b> : entrée analogique A3</p> <p><b>[HMI] (LCC)</b> : terminal graphique ou terminal déporté</p> <p><b>[RP] (PI)</b> : entrée Pulse input</p> <p><b>[OA01] (OA01)</b> : blocs fonctions : sortie analogique 01</p> <p>...</p> <p><b>[OA10] (OA10)</b> : blocs fonctions : sortie analogique 10</p>   |
| rIn  | <p><b>[Inhibition sens RV]</b></p> <p>L'inhibition du mouvement en sens inverse ne s'applique pas aux requêtes de sens envoyées par les entrées logiques.</p> <p>Les requêtes de sens inverse envoyées par les entrées logiques sont prises en compte.</p> <p>Ce paramètre peut prendre les valeurs :</p> <p><b>[Non] (nO)</b></p> <p><b>[Oui] (YES)</b></p>  |
| PSt  | <p><b>[Priorité STOP]</b></p> <p>Cette fonction désactive les touches Stop sur le terminal graphique déporté si le paramètre <b>[Canal cmd.] (CMdC)</b> n'est pas réglé sur <b>[HMI] (HMI)</b>.</p> <p>Régalez ce paramètre sur <b>[Non] (nO)</b> uniquement si vous avez mis en œuvre d'autres fonctions d'arrêt appropriées.</p> <p>Cet arrêt est un arrêt en roue libre. Si le canal de commande actif est le terminal graphique, cet arrêt se fait suivant le <b>[Type d'arrêt] (Stt)</b>, quelle que soit la configuration du paramètre <b>[Priorité STOP] (PSt)</b>.</p> <p>Ce paramètre peut prendre les valeurs :</p> <p><b>[Non] (nO)</b></p> <p><b>[Oui] (YES)</b> : donne la priorité à la touche Stop (Arrêt) du terminal graphique lorsque le canal de commande actif n'est pas le terminal graphique.</p> |

|             |  |
|-------------|--|
|             |  |
| <b>CHCF</b> | <p><b>[Profil]</b></p> <p>La désactivation de <b>[Profil I/O] (IO)</b> rétablit les réglages usine du variateur.<br/>Vérifiez que la restauration des réglages usine est compatible avec le type de câblage utilisé.</p> <p>Ce paramètre peut prendre les valeurs :</p> <p><b>[Non séparé] (SIM)</b> : Consigne et commande, non séparées</p> <p><b>[Séparés] (SEP)</b> : Consigne et commande séparées</p> <p><b>[Profil I/O] (IO)</b> : profil I/O</p> |

### 3.2.6 FONCTIONS D'APPLI.

Les fonctions essentielles du sous-menu " FONCTIONS D'APPLI." sont :

| Code        | Nom/Description   |
|-------------|---|
| <b>FUn-</b> | <p><b>[FONCTIONS D'APPLI.]</b></p> <p>Ce paramètre permet les réglages des fonctions suivantes :</p> <p><b>[Forme rampe]</b><br/> <b>[Type d'arrêt]</b><br/> <b>[Seuil arrêt roue lib.]</b><br/> <b>[Affect. roue libre]</b><br/> <b>[REGULATEUR PID]</b><br/> <b>[LIMITATION DE COUPLE]</b></p>  |
| <b>rPt</b>  | <p><b>[Forme rampe]</b></p> <p>Ce paramètre peut prendre les valeurs :</p> <p><b>[Linéaire] (Lin)</b><br/> <b>[en S] (S)</b>, Rampes en S</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;">  </div> <p><b>[en U] (U)</b>, Rampes en U</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;">  </div> <p><b>[Perso.] (CUS)</b>, Rampes personnalisées</p> |

|            |   |  |
|------------|---|--|
|            |  <p> <math>tA1</math> : réglable de 0 à 100 %<br/> <math>tA2</math> : réglable de 0 à (100 % - <math>tA1</math>)<br/> <math>tA3</math> : réglable de 0 à 100 %<br/> <math>tA4</math> : réglable de 0 à (100 % - <math>tA3</math>)                 </p>   |  |
| <b>Stt</b> | <p><b>[Type d'arrêt]</b></p> <p>Mode d'arrêt à la disparition de l'ordre de marche ou à l'apparition d'un ordre d'arrêt.</p> <p><b>Remarque :</b> Si la fonction « logique de frein » est activée, ou si <b>[Temps petite vit.] (tLS)</b> est différent de 0, seul l'arrêt sur rampe est configurable.</p> <p>Ce paramètre peut prendre les valeurs :</p> <p><b>[arrêt rampe] (rMP)</b> : arrêt sur rampe<br/> <b>[arrêt rapide] (FSt)</b> : arrêt rapide<br/> <b>[Roue libre] (nSt)</b> : arrêt en roue libre<br/> <b>[Inject. DC] (dCI)</b> : arrêt par injection DC Accessible uniquement si <b>[Type cde moteur] (Ctt)</b> n'est pas réglé sur <b>[Mot. sync.] (SYn)</b>.</p> |  |
| <b>FFt</b> | <p><b>[Seuil arrêt roue lib.]</b></p> <p>Seuil de vitesse sous lequel le moteur passe en arrêt roue libre.</p> <p>Ce paramètre permet de passer d'un arrêt sur rampe ou d'un arrêt rapide à un arrêt roue libre sous un seuil de vitesse basse.</p>   |  |
| <b>nSt</b> | <p><b>[Affect. roue libre]</b></p> <p>L'arrêt est activé lorsque l'entrée ou le bit passe à l'état 0. Si l'entrée repasse à l'état 1 et que la commande de marche est toujours activée, le moteur ne redémarre que si <b>[Cde 2 fils/3 fils] (tCC)</b> est réglé sur <b>[Cde 2 fils] (2C)</b> et si <b>[Type cde 2 fils] (tCt)</b> est réglé sur <b>[Niveau] (LEL)</b> ou <b>[Priorité FW] (PFO)</b>. Sinon, un nouvel ordre de marche doit être envoyé.</p> <p>Ce paramètre peut prendre les valeurs :</p> <p><b>[Non] (nO)</b> : non affecté<br/> <b>[LI1] (LI1)</b> : entrée logique LI1<br/> <b>[...] (...)</b> : autres affectations,</p>                                    |  |

## 4 Fonctions de sécurité

Les fonctions de sécurité intégrées à l'ATV320 sont destinées à maintenir l'installation en condition de sécurité et à empêcher l'apparition de conditions dangereuses. Dans certains cas, des systèmes de sécurité supplémentaires externes au variateur (par exemple, un frein mécanique) peuvent être nécessaires afin de maintenir des conditions de sécurité optimales lorsque l'alimentation électrique est coupée.

Les fonctions de sécurité sont configurées avec le logiciel SoMove.

Les fonctions de sécurité intégrées offrent les avantages suivants :

- Fonctions de sécurité supplémentaires conformes aux normes
- Pas besoin d'équipements de sécurité externes
- Câblage et encombrement réduits
- Coûts réduits

### 4.1 Fonctions de sécurité conformes à la norme IEC 61800-5-2

#### 4.1.1 STO, Suppression sûre du couple

Cette fonction place la machine dans des conditions de sécurité en supprimant tout couple moteur et/ou en empêchant celle-ci de démarrer accidentellement. Aucune alimentation pouvant être la source d'un couple ou d'une force n'est fournie au moteur.

La fonction de sécurité STO (Suppression sûre du couple) ne coupe pas l'alimentation du bus DC. La fonction de sécurité STO coupe l'alimentation du moteur uniquement. La tension du bus DC et la tension réseau du variateur sont toujours présentes.

La fonction de sécurité STO (Suppression sûre du couple) peut être utilisée pour mettre en œuvre efficacement une fonctionnalité de prévention de démarrage intempestif, permettant ainsi d'opérer des arrêts sûrs en supprimant uniquement l'alimentation électrique du moteur, tout en conservant celle-ci dans les circuits de commande du variateur principal.

L'entrée logique STO est affectée à cette fonction de sécurité et elle ne peut pas être modifiée.

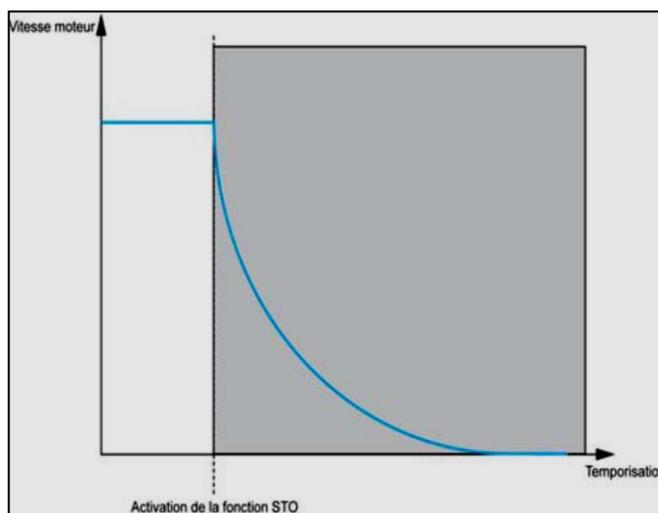
Si une ligne terminale appairée dans deux canaux est requise pour déclencher la fonction de sécurité STO, la fonction peut également être activée par les entrées logiques liées à la sécurité.

La fonction de sécurité STO est configurée à l'aide du logiciel de mise en service.

#### 4.1.2 SLS (Limitation sûre de la vitesse)

La fonction SLS permet d'éviter que le moteur ne dépasse la limite de vitesse

spécifiée. Si la vitesse du moteur dépasse la vitesse limite spécifiée, la fonction de sécurité STO est déclenchée.

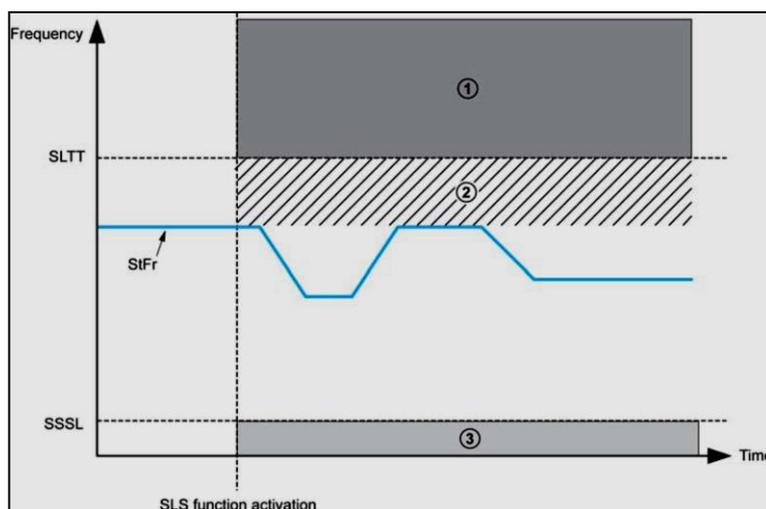


Il existe 6 types de fonction SLS :

- SLS type 1 : limite la vitesse du moteur à la vitesse actuelle.
- SLS type 2 : limite la vitesse du moteur à une valeur définie à l'aide d'un paramètre.
- SLS type 3 : identique au type 2 avec un comportement spécifique si la vitesse du moteur est supérieure à une valeur seuil définie à l'aide d'un paramètre.
- SLS type 4 : limite la vitesse du moteur à une valeur définie à l'aide d'un paramètre. Le sens de rotation peut être modifié pendant que la fonction de sécurité est active.
- SLS type 5 : identique au type 4 avec un comportement spécifique si la vitesse du moteur est supérieure à une valeur seuil définie à l'aide d'un paramètre.
- SLS type 6 : identique au type 4 avec un comportement spécifique si la vitesse du moteur est supérieure à une valeur seuil définie à l'aide d'un paramètre.

Exemple de Comportement lors de l'activation de la fonction de sécurité SLS type 1.

- ①-Erreur et fonction STO déclenchée,
- ②-Limite supérieure de référence,
- ③-Fonction STO déclenchée



Lorsque la fonction de sécurité est activée :

- Si la [Fréquence Stator] StFr est supérieure au [Seuil de tolérance SLS] SLtt, la fonction de sécurité STO est déclenchée et une erreur est détectée avec le code [Erreur Fonction Sécurité] SAFF.
- Si la [Fréquence Stator] StFr est inférieure au [Seuil de tolérance SLS] SLtt, la fréquence du stator est limitée à la fréquence actuelle du stator. La fréquence de référence varie uniquement entre cette valeur et le seuil d'arrêt SSSL.
- Si la [Fréquence Stator] StFr diminue et atteint la fréquence du [Seuil d'arrêt] SSSL, la fonction de sécurité STO est déclenchée.
- Si la [Fréquence Stator] StFr augmente et atteint le [Seuil de tolérance SLS] SLtt, la fonction de sécurité STO est déclenchée et une erreur est détectée avec le code [Erreur Fonction Sécurité] SAFF.

#### 4.1.3 SS1 (Arrêt sur 1)

La fonction SS1 permet d' :

- initie et surveille le taux de décélération du moteur dans des limites définies pour arrêter le moteur.
- initie la fonction Maintien sûr à l'arrêt lorsque la vitesse du moteur est inférieure à la limite spécifiée.

La fonction SS1 surveille la décélération en fonction de la rampe de décélération et stoppe le couple de manière sécurisée une fois que le seuil d'arrêt est atteint.

Lorsque la fonction de sécurité SS1 est déclenchée, elle prévaut sur toutes les autres fonctions (à l'exception de la fonction STO prioritaire) et opérations dans tous les modes.

La rampe de décélération SS1 est exprimée en Hz/s ; vous devez configurer la rampe à l'aide de deux paramètres :

- **[Unité rampe SS1] SSrU** (Hz/s) pour obtenir l'unité de la rampe en 1 Hz/s, 10 Hz/s et 100 Hz/s
- **[Valeur rampe SS1] SSrt** (0,1) pour définir la valeur de la rampe

Calcul de la rampe : **Rampe = SSrU\*SSrt**

Exemple : si SSrU = 10 Hz/s et SSrt = 5,0, la rampe de décélération est de 50 Hz/s.

Le comportement lors de l'activation de la fonction SS1 est comme suite :

Lorsque la fonction SS1 est déclenchée, elle surveille la décélération en fonction de la rampe de décélération spécifiée jusqu'à ce que le seuil d'arrêt soit atteint. Elle vérifie également que la vitesse du moteur est inférieure à une valeur limite contrôlée en fonction de la rampe de contrôle spécifiée et du paramètre **[Seuil défaut SS1] SSSt**.

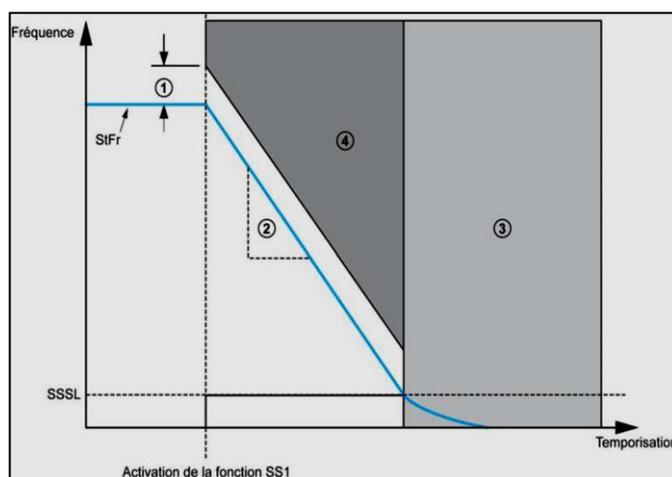
Si la valeur limite surveillée est dépassée :

- Une erreur est déclenchée et le code d'erreur **[Erreur Fonction Sécurité] SAFF** s'affiche.
- La fonction de sécurité STO est déclenchée.

Une fois le **[Seuil d'arrêt] SSSL** atteint, la fonction de sécurité STO est déclenchée.

La fonction SS1 reste active si la requête est supprimée avant que le seuil d'arrêt ne soit atteint.

- ①- Seuil défaut SS1,
- ②- Rampe de décélération SS1 (dv/dt),
- ③- Fonction STO déclenchée,
- ④- Erreur et fonction STO déclenchée



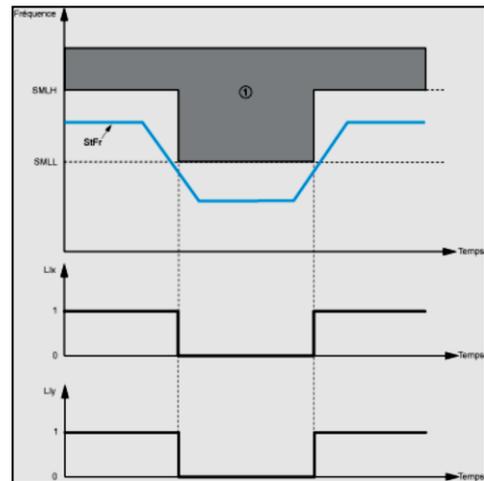
## 4.2 Fonction de sécurité non définie dans la norme IEC 61800-5-2

### 4.2.1 SMS (Vitesse maximale sûre)

La fonction SMS permet d'éviter que la vitesse du moteur ne dépasse la vitesse limite spécifiée. Si la vitesse du moteur dépasse la vitesse limite spécifiée, la fonction de sécurité

STO est déclenchée. Seul le logiciel de mise en service permet d'activer ou de désactiver la fonction SMS. Lorsque cette fonction est activée, la fréquence du stator est constamment surveillée, quel que soit le mode de fonctionnement, comme suite :

- Si les entrées logiques (Dlx et Dly) sont à l'état bas (0) et si **[Fréquence Stator] StFR** augmente et atteint la **[Limite basse SMS] SMLL**, la fonction de sécurité STO est déclenchée et une erreur est détectée avec le code **[Erreur Fonction Sécurité] SAFF**.
- Si les entrées logiques (Dlx et Dly) sont à l'état haut (1) et si **[Fréquence Stator] StFR** augmente et atteint la **[Limite haute SMS] SMLH**, la fonction de sécurité STO est déclenchée et une erreur est détectée avec le code **[Erreur Fonction Sécurité] SAFF**.
- Si les entrées logiques (Dlx et Dly) ne sont pas affectées et si **[Fréquence Stator] StFR** augmente et atteint la **[Limite basse SMS] SMLL**, la fonction de sécurité STO est déclenchée et une erreur est détectée avec le code **[Erreur Fonction Sécurité] SAFF**.



①- Erreur et fonction STO déclenchée

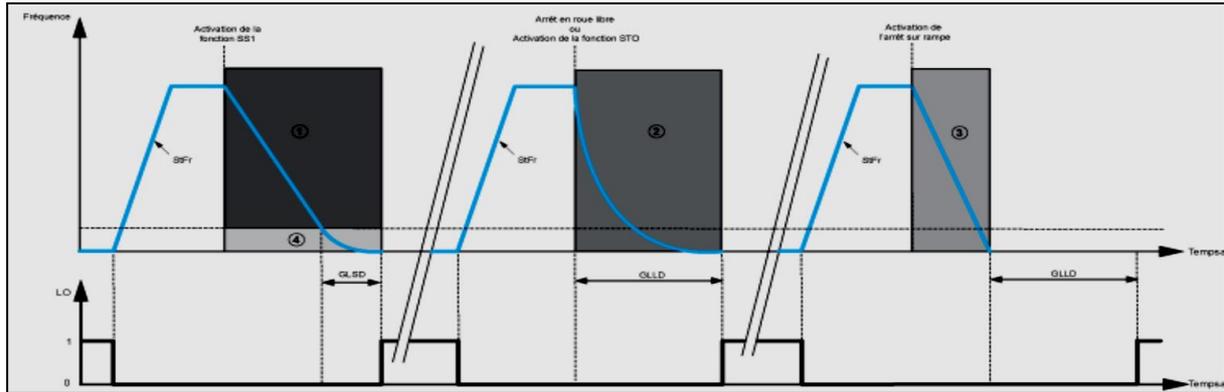
#### 4.2.2 GDL (Verrouillage de porte)

Cette fonction vous permet de débloquent le verrou de porte après un délai spécifié lorsque le moteur est arrêté. La porte avant de la machine ne peut s'ouvrir qu'après l'arrêt du moteur, cette fonction contribue à assurer la sécurité de l'opérateur de la machine.

Le paramètre **[Affectation GDL] GDLA** est utilisé pour activer ou désactiver la fonction GDL.

Deux délais peuvent être configurés à l'aide des paramètres suivants.

- **[Verrouillage de porte délai long] GLLD** : délai long après toute commande d'arrêt (comme STO, arrêt sur rampe, injection DC, etc.) autre qu'un arrêt SS1 pour s'assurer que la machine est arrêtée.
- **[Verrouillage de porte délai court] GLSD** : délai court après une rampe SS1 pour s'assurer que la machine est arrêtée.



①-Arrêt SS1, ②-Arrêt en roue libre, ③-Arrêt sur rampe, ④-Fonction STO déclenchée

## 5 Maintenance du variateur

### 5.1 Maintenance préventive

Le respect des conditions environnementales doit être assuré pendant le fonctionnement du variateur. En outre, pendant la maintenance, vérifiez et corrigez si nécessaire tous les facteurs susceptibles d'avoir un impact sur les conditions ambiantes.

Les vérifications ci-dessous doivent se faire périodiquement.

| Vérification    | Partie concernée  | Activité                                      | Intervalle               |
|-----------------|---|---|--------------------------|
| Etat général    | Toutes les pièces comme le boîtier, l'IHM, le bloc de commande, les raccordements, etc. | Effectuez une inspection visuelle             | Au moins une fois par an |
| Corrosion       | Bornes, connecteurs, vis, plaque CEM  | Inspectez-les et nettoyez-les si nécessaire.  |                          |
| Poussières      | Bornes, ventilateurs, entrées et sorties d'air d'armoire, filtres à air d'armoire       | Inspectez-les et nettoyez-les si nécessaire.  |                          |
| Refroidissement | Ventilateur   | Vérifiez le bon fonctionnement du ventilateur |                          |
| Fixation        | Toutes les vis pour raccordements électriques et mécaniques                             | Vérifiez les couples de serrage               |                          |

**Remarque :** Le fonctionnement du ventilateur dépend de l'état thermique du variateur. Les ventilateurs peuvent continuer à fonctionner pendant un certain temps même après que l'alimentation de l'appareil a été débranchée.

### 5.2 Diagnostics et dépannage

#### 5.2.1 Vérifications préliminaires

- Si l'écran ne s'allume pas, vérifiez l'alimentation du variateur.
- L'affectation des fonctions Arrêt rapide ou Roue libre permet d'empêcher le démarrage du variateur si les entrées logiques correspondantes ne sont pas alimentées. Le variateur ATV320 affiche alors **[Roue libre]** (nSt) en arrêt roue libre et **[Arrêt rapide]** (FSt) en arrêt rapide. C'est un comportement normal car ces fonctions sont activées à zéro, de sorte que le variateur sera arrêté s'il y a une coupure de fil.
- Vérifiez que l'entrée d'ordre de marche est activée conformément au mode de commande sélectionné (paramètres **[Cde 2 fils/3 fils]** (tCC) et **[Type cde 2 fils]** (tCt).

- Si une entrée est affectée à la fonction de fin de course et que cette entrée est à zéro, le variateur ne peut démarrer que sur une commande de sens opposé.
- Si le canal de consigne ou le canal de commande est affecté à un bus de communication, lorsque l'alimentation est connectée, le variateur affiche [Roue libre] (nSt) et reste en mode arrêt jusqu'à ce que le bus de communication envoie une commande.

Sous-menu diagnostic :

| Code | Nom/Description   |
|------|---|
| dGt- | [DIAGNOSTIC]<br>Ce menu n'est accessible qu'avec le terminal graphique. Il affiche les défauts détectés ainsi que leurs causes en texte brut et peut être utilisé pour effectuer des tests, |

## 5.2.2 Signification des codes de détection des défauts

### 1. Défauts nécessitant une coupure et une restauration

| Défaut détecté | Nom                 | Cause probable   | Solution  |
|----------------|---------------------|--|---|
| R n F          | [Dévirage charge]   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La différence entre la fréquence de sortie et le retour vitesse n'est pas correcte.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérifiez les paramètres du moteur, de gain et de stabilité.</li> <li>• Ajoutez une résistance de freinage.</li> <li>• Vérifiez la taille du moteur/du variateur/de la charge.</li> <li>• Vérifiez l'accouplement mécanique du codeur et son câblage.</li> <li>• Vérifiez le réglage des paramètres.</li> </ul> |
| R S F          | [Erreur angle]      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ce problème se produit lors de la mesure de l'angle de déphasage, si la phase du moteur est déconnectée ou si l'inductance du moteur est trop élevée.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérifiez les paramètres de la boucle de vitesse.</li> <li>• Vérifiez les phases du moteur et le courant maximum permis par le variateur.</li> </ul>  |
| b r F          | [Frein mécanique]   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le contact de retour de frein ne correspond pas à la commande logique de frein.</li> <li>• Le frein n'arrête pas le moteur assez rapidement (défaut détecté en mesurant la vitesse au niveau de l'entrée Pulse input).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérifiez le circuit de retour et le circuit de commande logique de frein.</li> <li>• Vérifiez l'état mécanique du frein.</li> <li>• Vérifiez les garnitures de frein.</li> </ul>   |
| C r F I        | [Bus DC précharge]  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Défaut de contrôle du relais de chargement détecté ou résistance de chargement endommagée.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mettez le variateur hors puis sous tension.</li> <li>• Vérifiez les connexions internes.</li> <li>• Contactez le support Schneider Electric.</li> </ul>  |
| E E F I        | [Eeprom contrôle]   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Défaut de la mémoire interne détecté, bloc de commande.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérifiez l'environnement (compatibilité électromagnétique).</li> <li>• Mettez le variateur hors tension, réinitialisez et rétablissez les réglages usine.</li> <li>• Contactez le support Schneider Electric.</li> </ul>   |
| E E F 2        | [Eeprom puissance]  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Défaut de la mémoire interne détecté, carte de puissance.</li> </ul>  |   |
| F C F I        | [Cont. aval collé]  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le contacteur aval reste fermé même si les conditions d'ouverture sont remplies.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérifiez le contacteur et son câblage.</li> <li>• Vérifiez le circuit de retour.</li> </ul>  |
| H d F          | [Désaturation IGBT] | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Court-circuit ou mise à la terre au niveau de la sortie du variateur.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérifiez les câbles raccordant le variateur au moteur et l'isolation du moteur.</li> </ul>   |

|             |                         |  |   |
|-------------|-------------------------|--|---|
| <b>1LF</b>  | [com.interne]           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interruption de la communication entre la carte optionnelle et le variateur.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérifiez l'environnement (compatibilité électromagnétique).</li> <li>• Vérifiez les connexions.</li> <li>• Remplacez la carte optionnelle.</li> <li>• Contactez le support Schneider Electric.</li> </ul>  |
| <b>1nF1</b> | [Erreur calibre]        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La carte de puissance n'est pas la même que la carte stockée.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérifiez la référence de la carte de puissance.</li> </ul>   |
| <b>1nF2</b> | [Puiss. incompatible]   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La carte de puissance est incompatible avec le bloc de commande.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérifiez la référence de la carte de puissance et sa compatibilité.</li> </ul>   |
| <b>1nF3</b> | [Liaison série interne] | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interruption de la communication entre les cartes internes.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérifiez les connexions internes.</li> <li>• Contactez le support Schneider Electric.</li> </ul>   |
| <b>1nF4</b> | [Interne-zone fab.]     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Données internes incohérentes.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Recalibrez le variateur (opération effectuée par le support Schneider Electric).</li> </ul>  |
| <b>1nF6</b> | [Interne-option]        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'option installée dans le variateur est inconnue.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérifiez la référence et la compatibilité de l'option.</li> </ul>  |
| <b>1nF9</b> | [Interne- mesure I]     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les mesures de courant sont incorrectes.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Remplacez les capteurs de courant et la carte de puissance.</li> <li>• Contactez le support Schneider Electric.</li> </ul>   |
| <b>1nFR</b> | [Interne-circ. réseau]  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'étage d'entrée ne fonctionne pas correctement.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Contactez le support Schneider Electric.</li> </ul>  |
| <b>1nFb</b> | [Interne- capt. temp.]  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le capteur de température du variateur ne fonctionne pas correctement.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Remplacez le capteur de température du variateur.</li> <li>• Contactez le support Schneider Electric.</li> </ul>   |
| <b>1nFE</b> | [Interne - CPU]         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Défaut du microprocesseur interne détecté.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mettez le variateur hors tension et réinitialisez-le.</li> <li>• Contactez le support Schneider Electric.</li> </ul>   |
| <b>5CF</b>  | [Surintensité]          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les paramètres des menus [REGLAGES] (SEt-) et [CONTRÔLE MOTEUR] (drE-) sont incorrects.</li> <li>• Inertie ou charge trop élevée.</li> <li>• Verrouillage mécanique.</li> </ul>                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérifiez les paramètres.</li> <li>• Vérifiez la taille du moteur/du variateur/de la charge.</li> <li>• Vérifiez l'état du mécanisme.</li> <li>• Diminuez la valeur du paramètre [Limitation courant] (CLi).</li> <li>• Augmentez la fréquence de découpage.</li> </ul>   |
| <b>5RFF</b> | [Sécurité]              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Temps anti-rebond dépassé.</li> <li>• Seuil de déclenchement de la fonction SS1 dépassé.</li> <li>• Mauvaise configuration.</li> <li>• Survitesse de déclenchement de type SLS détectée.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérifiez la configuration des fonctions de sécurité.</li> <li>• Vérifiez le Manuel des fonctions de sécurité intégrées du variateur ATV320</li> <li>• Contactez le support Schneider Electric.</li> </ul>  |
| <b>5CF1</b> | [Court-circuit mot.]    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Court-circuit ou mise à la terre au niveau de la sortie du variateur.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérifiez les câbles raccordant le variateur au moteur et l'isolation du moteur.</li> <li>• Réduisez la fréquence de découpage.</li> <li>• Raccordez les inductances en série au moteur.</li> <li>• Vérifiez les réglages de la boucle de vitesse et du frein.</li> <li>• Augmentez la valeur du paramètre [Temps redémar.] (tEr), page 103.</li> <li>• Augmentez la fréquence de découpage.</li> </ul> |
| <b>5CF3</b> | [Court-circuit terre]   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Important courant de fuite à la terre au niveau de la sortie du variateur si plusieurs moteurs sont connectés en parallèle.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérifiez les câbles raccordant le variateur au moteur et l'isolation du moteur.</li> <li>• Réduisez la fréquence de découpage.</li> <li>• Raccordez les inductances en série au moteur.</li> <li>• Vérifiez les réglages de la boucle de vitesse et du frein.</li> <li>• Augmentez la valeur du paramètre [Temps redémar.] (tEr), page 103.</li> <li>• Réduisez la fréquence de découpage.</li> </ul>  |
| <b>5oF</b>  | [Survitesse]            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instabilité ou charge entraînant trop forte.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérifiez les paramètres du moteur, de gain et de stabilité.</li> <li>• Ajoutez une résistance de freinage.</li> <li>• Vérifiez la taille du moteur/du variateur/de la charge.</li> <li>• Vérifiez le paramétrage de la fonction [FREQUENCE METRE] (F9F-) page 273, si elle est configurée.</li> </ul>  |
| <b>5PF</b>  | [Coupure ret. vit.]     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Absence de signal sur l'entrée Pulse input si elle est utilisée pour mesurer la vitesse.</li> <li>• Signal de retour du codeur manquant</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérifiez les paramètres de configuration du codeur.</li> <li>• Vérifiez le câblage entre le codeur et le variateur.</li> <li>• Vérifiez le codeur.</li> <li>• Vérifiez le câblage de l'entrée et le détecteur utilisé.</li> </ul>  |
| <b>EnF</b>  | [autoréglage]           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Moteur spécial ou moteur dont la puissance n'est pas adaptée au variateur.</li> <li>• Le moteur n'est pas connecté au variateur.</li> <li>• Le moteur n'est pas arrêté.</li> </ul>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérifiez que le moteur et le variateur sont compatibles.</li> <li>• Vérifiez la présence du moteur lors de l'auto-réglage.</li> <li>• Si un contacteur aval est utilisé, fermez-le lors de l'auto-réglage.</li> <li>• Vérifiez que le moteur est arrêté au cours de l'opération d'auto-réglage.</li> </ul>   |

## 2. Défaits nécessitant simplement le redémarrage automatique

| Défaut détecté | Nom                  | Cause probable  | Solution  |
|----------------|----------------------|---|---|
| <b>B L F</b>   | [Commande frein]     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Courant d'ouverture de frein non atteint.</li> <li>Seuil de fréquence de fermeture du frein [Fréq. ferm. frein] (b E n) réglé uniquement lorsque la commande logique de frein est affectée.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vérifiez les connexions entre le variateur et le moteur.</li> <li>Vérifiez les enroulements du moteur.</li> <li>Vérifiez le réglage des paramètres [I ouv. frein montée] (i b r) et [I ouv. frein desc.] (i r d), page 197.</li> <li>Effectuez les réglages préconisés pour le paramètre [Fréq. ferm. frein] (b E n).</li> </ul> |
| <b>C n F</b>   | [Réseau com.]        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Interruption de la communication sur la carte de communication.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vérifiez l'environnement (compatibilité électromagnétique).</li> <li>Vérifiez le câblage.</li> <li>Vérifiez le time-out.</li> <li>Remplacez la carte optionnelle.</li> <li>Contactez le support Schneider Electric.</li> </ul>   |
| <b>C o F</b>   | [Com. CANopen]       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Interruption de la communication sur le bus CANopen®.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vérifiez le bus de communication.</li> <li>Vérifiez le time-out.</li> <li>Consultez le guide d'exploitation de CANopen®.</li> </ul>  |
| <b>E P F 1</b> | [Externe par LI/Bit] | <ul style="list-style-type: none"> <li>Événement déclenché par un dispositif externe, selon utilisateur.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vérifiez le dispositif qui a causé le déclenchement et réinitialisez le variateur.</li> </ul>  |
| <b>E P F 2</b> | [Externe via Com.]   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Événement déclenché par un réseau de communication.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vérifiez la cause du déclenchement et réinitialisez le variateur.</li> </ul>   |
| <b>F b E S</b> | [Err. stop FB]       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Les blocs fonctions ont été arrêtés tandis que le moteur était en fonctionnement.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vérifiez la configuration du paramètre [Arrêt FB arrêt mot.] (F b S n).</li> </ul>   |
| <b>F C F 2</b> | [Cont. aval ouvert]  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Le contacteur aval reste ouvert même si les conditions de fermeture sont remplies.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vérifiez le contacteur et son câblage.</li> <li>Vérifiez le circuit de retour.</li> </ul>  |
| <b>L C F</b>   | [Contacteur ligne]   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Le variateur n'est pas sous tension alors que le [Time out U ligne] (L C t) est écoulé.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vérifiez le contacteur et son câblage.</li> <li>Vérifiez le time-out.</li> <li>Vérifiez les connexions entre le variateur, le contacteur et le réseau.</li> </ul>  |
| <b>L F F 3</b> | [Perte 4-20mA AI3]   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Perte de la consigne 4-20 mA sur l'entrée analogique AI3.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vérifiez la connexion sur les entrées analogiques.</li> </ul>  |
| <b>o b F</b>   | [Freinage excessif]  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Freinage trop brutal ou charge entraînant.</li> <li>Tension du réseau trop élevée.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Augmentez le temps de décélération.</li> <li>Installez une résistance de freinage si nécessaire.</li> <li>Activez la fonction [Adapt. rampe déc.] (b r n), page 174, si elle est compatible avec l'application.</li> <li>Vérifiez la tension réseau d'alimentation.</li> </ul>   |
| <b>o C F</b>   | [Surintensité]       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Les paramètres du menu [REGLAGES] (S E t -) et [CONTRÔLE MOTEUR] (d r C -) ne sont pas corrects</li> <li>Inertie ou charge trop élevée</li> <li>Verrouillage mécanique</li> </ul>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vérifiez les paramètres.</li> <li>Vérifiez la taille du moteur / du variateur / la charge.</li> <li>Vérifiez l'état du mécanisme.</li> <li>Réduisez la [Limitation courant] (C L i) page 96.</li> <li>Vérifiez la connexion à la terre du variateur.</li> </ul>  |
| <b>o H F</b>   | [Surchauffe var.]    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Température du variateur trop élevée.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vérifiez la charge du moteur, la ventilation du variateur et la température ambiante. Laissez le temps au variateur de refroidir avant de le redémarrer.</li> </ul>  |
| <b>o L C</b>   | [Surcharge Process]  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Surcharge du process.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vérifiez et supprimez la cause de la surcharge.</li> <li>Vérifiez les paramètres de la fonction [SURCHARGE PROCESS] (o L d -), page 279.</li> </ul>  |
| <b>o L F</b>   | [Surcharge moteur]   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Déclenchement par un courant moteur excessif.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vérifiez la protection thermique du moteur et la charge du moteur. Laissez le temps au moteur de refroidir avant de le redémarrer.</li> </ul>  |
| <b>S L F 2</b> | [Com. PC]            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Interruption de la communication avec le logiciel PC.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vérifiez le câble de connexion du logiciel PC.</li> <li>Vérifiez le time-out.</li> </ul>   |
| <b>S L F 3</b> | [Com. HMI]           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Interruption de la communication avec le terminal graphique ou le terminal déporté.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vérifiez la connexion du terminal concerné.</li> <li>Vérifiez le time-out.</li> </ul>  |
| <b>S S F</b>   | [Lim. Couple / I]    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Passage à la limitation de couple ou de courant.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vérifiez la présence éventuelle d'un problème mécanique.</li> <li>Vérifiez les paramètres du menu [LIMITATION DE COUPLE] (t o L -) page 220 et ceux du menu [DET. LIM. couple/courant] (t i d -), page 271.</li> </ul>   |

| Défaut détecté | Nom                    | Cause probable   | Solution   |
|----------------|------------------------|--|--|
| $\square PFI$  | [Perte 1 phase mot.]   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Perte d'une phase à la sortie du variateur.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vérifiez les connexions entre le variateur et le moteur.</li> </ul>   |
| $\square PFE$  | [Perte 3 phases mot.]  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Moteur non connecté ou puissance moteur trop faible.</li> <li>Contacteur aval ouvert.</li> <li>Instabilité instantanée du courant du moteur.</li> </ul>                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vérifiez les connexions entre le variateur et le moteur.</li> <li>Si un contacteur de sortie est utilisé, réglez le paramètre [Perte phase moteur] (<math>\square PL</math>) sur [Coup. aval] (<math>\square FC</math>), page 263.</li> <li>Essai sur un moteur à faible puissance ou sans moteur : en mode réglages d'usine, la détection de perte de phase du moteur est activée [Perte phase moteur] (<math>\square PL</math>) = [Oui] (<math>YES</math>). Pour contrôler le variateur dans un environnement de test ou de maintenance, sans avoir à utiliser un moteur de même puissance que le variateur (en particulier pour les variateurs de puissance élevée), désactivez la détection de perte de phase du moteur [Perte phase moteur] (<math>\square PL</math>) = [Non] (<math>NO</math>), voir les instructions données à la page 263.</li> <li>Vérifiez et optimisez les paramètres suivants : [Compensation RI] (<math>\mu Fr</math>) page 92, [Tension nom. mot.] (<math>\mu n5</math>) et [Courant nom. mot.] (<math>nCr</math>) page 88, puis effectuez un [Auto-réglage] (<math>tun</math>) page 89.</li> </ul> |
| $\square SF$   | [Surtension réseau]    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Tension réseau trop élevée.</li> <li>Alimentation principale perturbée.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vérifiez la tension réseau.</li> </ul>  |
| $\square tFL$  | [Surchauffe LI6=PTC]   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Surchauffe des sondes PTC au niveau de l'entrée LI6.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vérifiez la charge et la taille du moteur.</li> <li>Vérifiez la ventilation du moteur.</li> <li>Laissez le moteur refroidir avant de le redémarrer.</li> <li>Contrôlez le type et l'état des sondes PTC.</li> </ul>   |
| $PtFL$         | [Sonde LI6=PTC]        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ouverture ou court-circuit des sondes PTC sur l'entrée LI6.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vérifiez les sondes PTC et leur câblage au moteur ou au variateur.</li> </ul>   |
| $SCFI$         | [Court-circuit mot.]   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Court-circuit ou mise à la terre au niveau de la sortie du variateur.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vérifiez les câbles connectant le variateur au moteur et l'isolation du moteur</li> <li>Réduire la fréquence de découpage.</li> <li>Ajouter des inductances en série avec le moteur.</li> <li>Vérifiez les paramètres de la boucle devitesse (gain et stabilité)</li> <li>Augmentez [Temps redémarr.] (<math>ttr</math>), page 199.</li> <li>Augmentez la fréquence de découpage.</li> </ul>  |
| $SCFE$         | [Court-circuit terre]  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Important courant de fuite à la terre si plusieurs moteurs sont connectés en parallèle</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vérifiez les câbles connectant le variateur au moteur et l'isolation du moteur</li> <li>Réduire la fréquence de découpage.</li> <li>Ajouter des inductances en série avec le moteur.</li> <li>Vérifiez les paramètres de la boucle devitesse (gain et stabilité)</li> <li>Augmentez [Temps redémarr.] (<math>ttr</math>), page 199.</li> <li>Réduire la fréquence de découpage.</li> </ul>  |
| $SCF4$         | [Court-circuit IGBT]   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Défaut d'un composant de puissance détecté.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Contactez le support Schneider Electric.</li> </ul>   |
| $SCF5$         | [court-circuit charge] | <ul style="list-style-type: none"> <li>Court-circuit au niveau de la sortie du variateur.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vérifiez les câbles entre le variateur et le moteur ainsi que l'isolation du moteur.</li> <li>Contactez le support Schneider Electric.</li> </ul>   |
| $SLFI$         | [Com. Modbus]          | <ul style="list-style-type: none"> <li>Interruption de la communication sur le bus Modbus.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vérifiez le bus de communication.</li> <li>Vérifiez le time-out.</li> <li>Consultez le guide d'exploitation de Modbus.</li> </ul>   |
| $tJF$          | [Surchauffe IGBT]      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Surchauffe du variateur.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vérifiez la taille de la charge/du moteur/du variateur.</li> <li>Réduisez la fréquence de découpage.</li> <li>Laissez le moteur refroidir avant de le redémarrer.</li> </ul>  |
| $tnF$          | [Autoréglage]          | <ul style="list-style-type: none"> <li>Moteur spécial ou moteur de puissance non adaptée au variateur.</li> <li>Moteur non raccordé au variateur.</li> <li>Le moteur tourne (entraîné par la charge, par exemple)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vérifiez que le moteur et le variateur sont compatibles.</li> <li>Vérifiez que le moteur est présent pendant l'autoréglage</li> <li>Si un contacteur de sortie est utilisé, fermez-le pendant l'autoréglage.</li> <li>Vérifiez que le moteur est complètement arrêté.</li> </ul>  |
| $\mu LF$       | [Souscharge Process]   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Sous-charge du process.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vérifiez et supprimez la cause de la sous-charge.</li> <li>Vérifiez les paramètres du menu [SOUS CHARGE PROCESS] (<math>\mu Ld-</math>), page 277.</li> </ul>   |

### 3. Défaits supprimés dès la disparition de la cause

| Défaut détecté            | Nom                          | Cause probable  | Solution   |
|---------------------------|------------------------------|---|--|
| <b>CFE</b>                | <b>[Config. Incorrecte]</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Carte optionnelle remplacée ou retirée.</li> <li>• Bloc de commande remplacé par un bloc de commande configuré sur un variateur ayant une puissance nominale différente.</li> <li>• La configuration en cours n'est pas cohérente.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérifiez qu'il n'y a pas d'erreur de carte.</li> <li>• En cas de remplacement/retrait délibéré de la carte optionnelle, voir les remarques ci-dessous.</li> <li>• Vérifiez qu'il n'y a pas d'erreur de carte.</li> <li>• En cas de remplacement délibéré du bloc de commande, voir les remarques ci-dessous.</li> <li>• Rétablissez les réglages usine ou récupérez la configuration sauvegardée, si elle est valide (voir page 83).</li> </ul> |
| <b>CFI</b><br><b>CFI2</b> | <b>[Config. Invalide]</b>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Configuration invalide. La configuration chargée sur le variateur à l'aide du bus ou du réseau de communication est incohérente.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérifiez la configuration chargée précédemment.</li> <li>• Chargez une configuration compatible.</li> </ul>   |
| <b>CSF</b>                | <b>[Canal indisponible]</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Passage à des canaux invalides.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérifiez les paramètres des fonctions.</li> </ul>   |
| <b>DLF</b>                | <b>[Déf. variat. charge]</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Variation de charge anormale.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérifiez que la charge n'est pas bloquée par un obstacle.</li> <li>• La réinitialisation se fait par suppression d'un ordre de marche.</li> </ul>   |
| <b>FBE</b>                | <b>[Erreur FB]</b>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erreur au niveau des blocs fonctions.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pour plus d'informations, reportez-vous à <b>[Défaut FB (FBE)]</b>.</li> </ul>  |
| <b>HCF</b>                | <b>[Appairage cartes]</b>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La fonction <b>[APPAIRAGE DES CARTES (PPI-)]</b>, page 276, a été configurée et une carte du variateur a été remplacée.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Remettez la carte d'origine en cas d'erreur de carte.</li> <li>• Validez la configuration en entrant le <b>[Code appairage (PPI)]</b> si la carte a été remplacée délibérément.</li> </ul>  |
| <b>PHF</b>                | <b>[Perte Ph. réseau]</b>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le variateur est mal alimenté ou un fusible a sauté.</li> <li>• Il manque une phase.</li> <li>• Le variateur ATV320 triphasé est utilisé sur une alimentation secteur monophasée.</li> <li>• Charge déséquilibrée.</li> </ul> <p>Cette protection ne fonctionne que si le variateur est en charge.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérifiez le raccordement de puissance et les fusibles.</li> <li>• Utilisez une alimentation secteur triphasée.</li> <li>• Désactivez le défaut détecté par le paramètre <b>[Perte phase réseau (PL)] = [Non] (no)</b>, page 88.</li> </ul>  |
| <b>USF</b>                | <b>[Sous-tension]</b>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alimentation secteur insuffisante.</li> <li>• Baisse de tension passagère.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérifiez la tension et les paramètres du menu <b>[GESTION SOUS-TENSION (USB-)]</b>, page 266.</li> </ul>  |

#### 5.2.3 Effacement du défaut détecté

En cas de défaut détecté non réinitialisable :

- Débranchez toutes les sources d'alimentation, y compris l'alimentation contrôle externe.
- Verrouillez tous les organes de coupure de puissance en position ouverte.
- Attendez 15 minutes pour permettre aux condensateurs du bus DC de se décharger (les voyants du variateur ne sont pas des indicateurs d'absence de tension du bus DC).
- Mesurez la tension du bus DC entre les bornes PA/+ et PC/- pour vérifier que la tension est inférieure à 42 Vdc.
- Si les condensateurs de bus DC ne se déchargent pas complètement, contactez votre représentant local Schneider Electric. Ne réparez pas et ne faites pas fonctionner le variateur.

- Trouvez et corrigez le défaut détecté.
- Rétablissez l'alimentation du variateur pour vérifier que le défaut détecté a été corrigé.

En cas de défaut détecté réinitialisable, une fois la cause supprimée, le variateur peut être réinitialisé :

- En mettant le variateur hors tension jusqu'à ce que l'affichage disparaisse complètement, puis en le remettant sous tension.
- Automatiquement dans les scénarios décrits pour le menu **[REDEMARRAGE AUTO]** (Atr-),
- Au moyen d'une entrée logique ou d'un bit de commande affecté au menu **[RESET DEFAUTS]** (rSt-).
- En appuyant sur la touche STOP/RESET (arrêt/réinitialisation) du clavier graphique si le canal de commande actif est l'IHM (voir le paramètre **[Canal Cde 1]** (Cd1).

## Bibliographie

- *La commande électronique des machines*, Michel Pinard, Dunod, Paris, 2013
- *Electric Motors and Control Systems*, FRANK D. PETRUZZELLA, McGraw-Hill, New York, NY, 10020. Copyright © 2010
- *Variation De Vitesse*, Peers Yvon, HERMES
- *Ingénierie mécanique Transmission de puissance, Tome 3. Du moteur au récepteur*, Francis Esnault, DONOD 2019
- *Les moteurs électriques expliqués aux électroniciens, réalisations, démarrage, variation de vitesse, freinage*, Gérard Guihéneuf, Elektor 2012
- *Électronique de puissance - Principes*, Claude CHEVASSU, support de cours 2013
- *Motorisation et Commande des Machines*, Bernard Schneider, Copyright © Bernard Schneider, 2009-2011
- *Altivar Machine ATV320 Variateurs de vitesse pour moteurs asynchrones et synchrones - Guide d'installation*, Schneider Electric.
- *Altivar Machine ATV320 Variateurs de vitesse pour moteurs asynchrones et synchrones - Guide de programmation*, Schneider Electric.
- *Altivar Machine ATV320 Variateurs de vitesse - Manuel des fonctions de sécurité*, Schneider Electric.
- *Altivar Machine ATV320 Variateurs de vitesse pour moteurs asynchrones et synchrones - Manuel ATV Logic*, Schneider Electric.
- *Démarrateurs et variateurs de vitesse électroniques, Cahier technique n° 208*, Schneider Electric
- *D'électronique de puissance Les convertisseurs AC-DC et AC-AC*, Hidri.Imed, Support de cours, l'ISET de Nabeul
- *D'électronique de puissance Les convertisseurs DC-DC et DC-AC*, Hidri.Imed, Support de cours, l'ISET de Nabeul
- *Power Electronics Devices, Circuits and Industrial Applications*, V. R. MOORTHY, Oxford University Press, Copyright 2010
- *The Control Techniques Drives and Controls Handbook*, Bill Drury, The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom, 2001

### Sites internet

- Convertisseurs Statiques \_ Cours Complet 2022
- Convertisseur statique \_ principe de fonctionnement – Gootrio
- Redressement Monophasé non commandé \_ PD2 [ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE ]
- Electronique\_ VARIATEURS DE VITESSE POUR MACHINE A CA.
- Electronique\_ ONDULEUR MONOPHASÉ NON ISOLÉ EN PONT
- Electronique\_ ONDULEUR MONOPHASÉ NON ISOLÉ EN DEMI PONT
- Electronique\_ ONDULEUR AUTONOME A SOURCE DE TENSION
- Electronique\_ HACHEURS DEVOLTEURS
- Electronique\_ HACHEURS SURVOLTEURS