

# ASSOCIATION MOTEUR-CHARGE

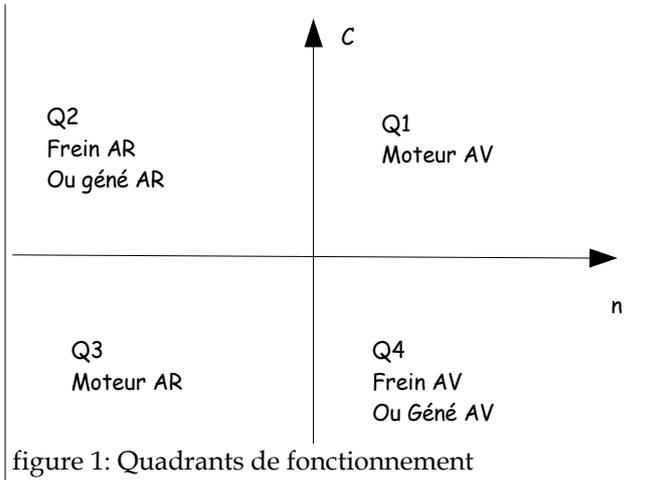
<b>1 -Caractéristique mécanique.....</b>	<b>2</b>
1.1 -Point de fonctionnement.....	2
<b>2 -Charges mécaniques.....</b>	<b>3</b>
2.1 -Analyse de la caractéristique mécanique d'une charge.....	3
2.2 -Les différentes applications.....	3
2.3 -Classification des charges mécaniques.....	3
<b>3 -Moteurs.....</b>	<b>4</b>
3.1 -Analyse de la caractéristique mécanique d'un moteur.....	4
3.2 -Point Nominal et Limites de fonctionnement.....	4
3.3 -Services de fonctionnement.....	4
<b>4 -Moteurs électriques historiques.....</b>	<b>5</b>
4.1 -Les « machines électriques ».....	5
4.2 -Moteurs à courant continu.....	5
4.2.1 -Mcc à excitation séparée.....	5
4.2.2 -Mcc à excitation série.....	6
4.3 -Moteurs à courant sinusoïdal.....	7
4.3.1 -MAS sur le réseau.....	7
4.3.2 -MS sur le réseau.....	8
<b>5 -Association moteur+variateur.....</b>	<b>9</b>
5.1 -Moteur Brushless.....	10
5.2 -Variateurs pour moteur asynchrone.....	11
<b>6 -Moteurs thermiques.....</b>	<b>12</b>
6.1 -Comparatif moteurs Essence - Diesel atmosphérique.....	12
6.2 -Comparatif moteurs thermique Diesel à rampe commune / électrique.....	12

# 1 - CARACTÉRISTIQUE MÉCANIQUE.

Les moteurs et les charges sont caractérisés par leur caractéristique mécanique donnant les variations du couple ( $C$ ) en fonction de la vitesse ( $n$ ).

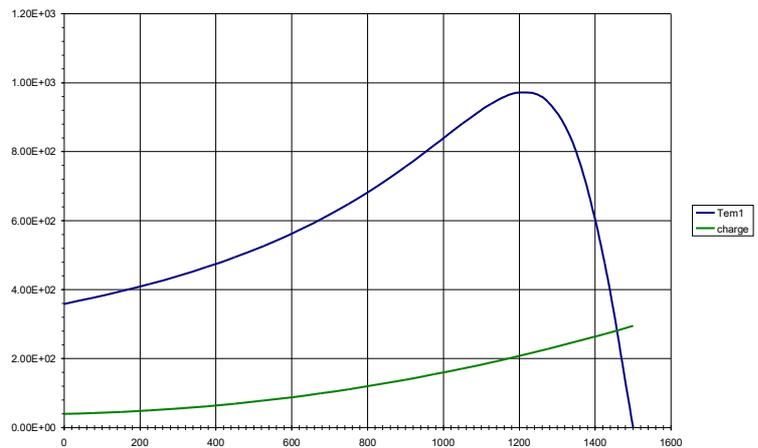
Sur la caractéristique mécanique d'un moteur, on définit les 4 quadrants de fonctionnement :

- moteur marche AV et AR
- génératrice ou frein AV et AR



## 1.1 - POINT DE FONCTIONNEMENT.

Le point de fonctionnement en régime permanent est l'intersection des caractéristiques mécaniques du moteur et de la charge.



## 2 - CHARGES MÉCANIQUES.

### 2.1 - ANALYSE DE LA CARACTÉRISTIQUE MÉCANIQUE D'UNE CHARGE.

La caractéristique d'une charge mécanique décrit le comportement du couple demandé par la charge lorsque la vitesse augmente.

### 2.2 - LES DIFFÉRENTES APPLICATIONS.

Les moteurs électriques sont utilisés dans des applications :

- de pompage ou de ventilation
- de traction,
- de levage,
- de positionnement (déplacement à très basse vitesse, couple à l'arrêt).

### 2.3 - CLASSIFICATION DES CHARGES MÉCANIQUES.

La charge à entraîner par le moteur est caractérisée par sa caractéristique mécanique.

La charge impose en général un couple :

- constant : levage, positionnement
- proportionnel à la vitesse
- proportionnel au carré de la vitesse : pompage ou ventilation

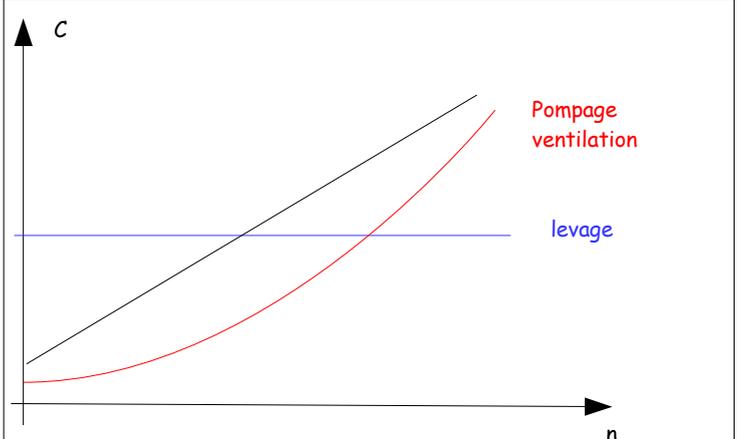


figure 2: Allure des caractéristiques mécaniques des charges rencontrées

## 3 - MOTEURS.

### 3.1 - ANALYSE DE LA CARACTÉRISTIQUE MÉCANIQUE D'UN MOTEUR.

La caractéristique mécanique d'un moteur décrit l'évolution de la vitesse lorsque, à partir du fonctionnement à vide, la charge du moteur (le couple) augmente.

### 3.2 - POINT NOMINAL ET LIMITES DE FONCTIONNEMENT.

Une machine fonctionnant dans les conditions nominales est capable de fonctionner pendant un temps infini.

En dessous des conditions nominales, il n'y a pas de précaution à prendre - le moteur fonctionnera sans souci.

Plus on dépassera les conditions nominales, plus le temps de fonctionnement devra être réduit.

La caractéristique mécanique d'un moteur est limitée par :

- la courbe de puissance nominale  $P_n$  ,
- la courbe de couple nominal  $C_n$  : au delà de cette courbe, le moteur fonctionnera en surcharge,
- la courbe de vitesse nominale  $n_n$  : au-delà de cette courbe, le moteur fonctionnera en survitesse.

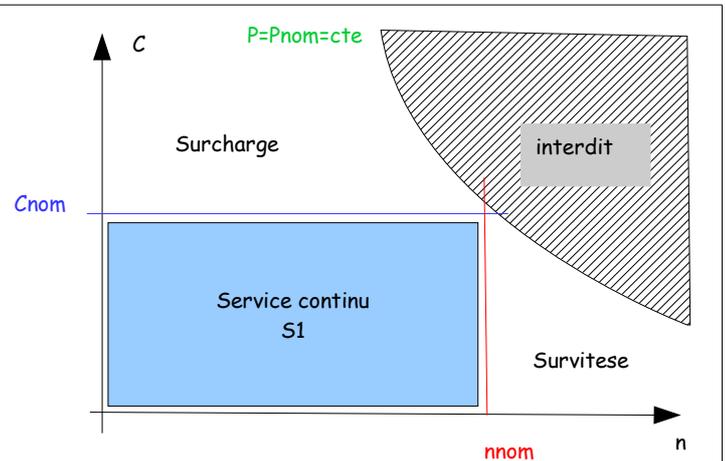


figure 3: Zones de fonctionnement d'un moteur

### 3.3 - SERVICES DE FONCTIONNEMENT.

Les profils de puissance à respecter sont classés en services de fonctionnement (notés S1 à S10 - normes EN60034 / IEC34-1).

En service S1, le moteur fonctionne tout le temps à puissance constante. Plus on s'éloigne du S1, plus le service est « intermittent » (variation de vitesse et/ou variation de charge).

Cette classification permet de prendre en compte l'échauffement du moteur dans le calcul du couple qu'il doit fournir (on parle de « couple thermique »).

Cliquer sur les liens pour plus d'informations sur les services de fonctionnement [lien 1](#) [lien 2](#)

## 4 - MOTEURS ÉLECTRIQUES « HISTORIQUES ».

### 4.1 - LES « MACHINES ÉLECTRIQUES ».

Dans toutes les machines électriques, il y a un inducteur (excitation) et un induit.

L'inducteur permet de créer le champ magnétique, l'induit transforme l'énergie électrique (voir chap 7).

Il y a 3 types de machines électriques tournantes : machine à courant continu, machines synchrones et machines asynchrones.

Le transformateur est la 4ème machine électrique (mais il ne tourne pas).

Les machines électriques sont parfaitement réversibles : les machines tournantes peuvent fonctionner aussi bien en moteur qu'en génératrice. Ce sont les conditions de fonctionnement qui déterminent leur mode de fonctionnement.

Le transformateur peut transporter l'énergie électrique de la HT vers la bt aussi bien que de la bt vers la HT.

### 4.2 - MOTEURS À COURANT CONTINU.

Les moteurs à courant continu doivent être alimentés en courant continu.

Leur vitesse dépend de la tension d'alimentation (continu).

Le Mcc ne câle pas en cas de surcharge, il ralentit.

#### 4.2.1 - MCC À EXCITATION SÉPARÉE.

L'excitation de la mcc est alimentée par une source différente de son induit.

L'alimentation de l'excitation est constante : « Mcc à excitation séparée constante » « Mcc à flux constant ».

On peut modifier la tension d'induit.

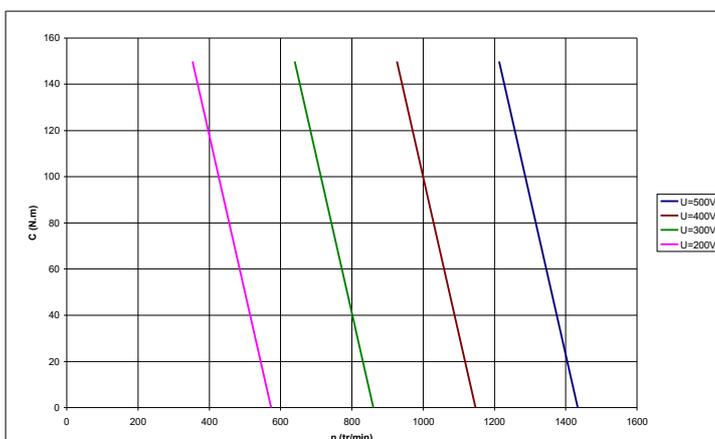


figure 4: Caractéristique mécanique Mcc à flux constant pour différentes tensions d'alimentation

Le réglage de la tension permet de contrôler la vitesse.

Le Mcc ne câle pas en cas de surcharge, il ralentit.

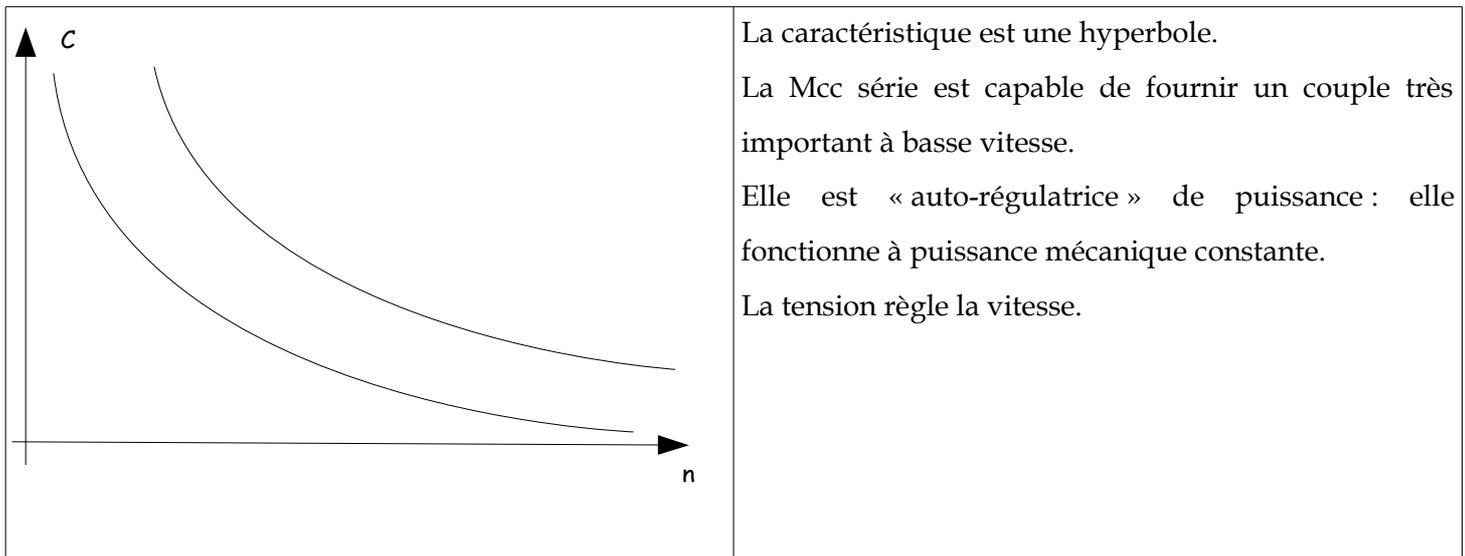
Utilisation historique : La Mcc séparée est simple à piloter, mais difficile à alimenter (alimentation en DC). Sa structure est complexe, et son système collecteur-balais diminue son rendement et limite sa vitesse de rotation.

Cette machine était utilisée dans toutes les applications de variation de vitesse et de positionnement.

#### 4.2.2 - MCC À EXCITATION SÉRIE.

L'excitation de la mcc est placée en série avec son induit.

On peut modifier la tension d'alimentation de la Mcc.



Utilisation historique : Cette machine était utilisée dans la traction ferroviaire.

Ce type de moteur est très utilisé dans l'électroménager : c'est le moteur « universel » qui est un moteur à courant continu à excitation série, mais que l'on alimente par une tension alternative (celle du réseau).

## 4.3 - MOTEURS À COURANT SINUSOÏDAL.

Les stators de la machine synchrone et de la machine asynchrone doivent être alimentés par un courant sinusoïdal.

C'est la fréquence d'alimentation et le nombre de paires de pôles qui règlent la vitesse de fonctionnement :  $60f = p n_s$  .

Sur un réseau 50Hz, on peut donc obtenir les vitesses de synchronisme de 3000tr/min, 1500tr/min, 1000tr/min, 750 etc...

### 4.3.1 - MAS SUR LE RÉSEAU

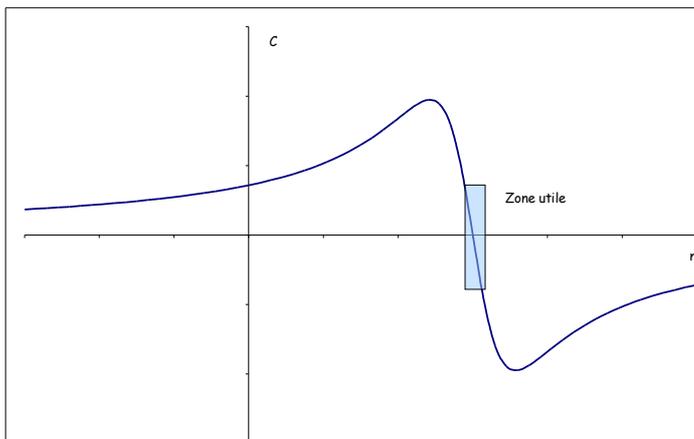


figure 5: caractéristique mécanique machine asynchrone alimenté à tension et fréquence constantes

Le moteur asynchrone triphasé peut démarrer directement sur le réseau.

Le moteur asynchrone a un couple max, il ne peut pas entraîner une charge demandant un couple supérieur à son couple max.

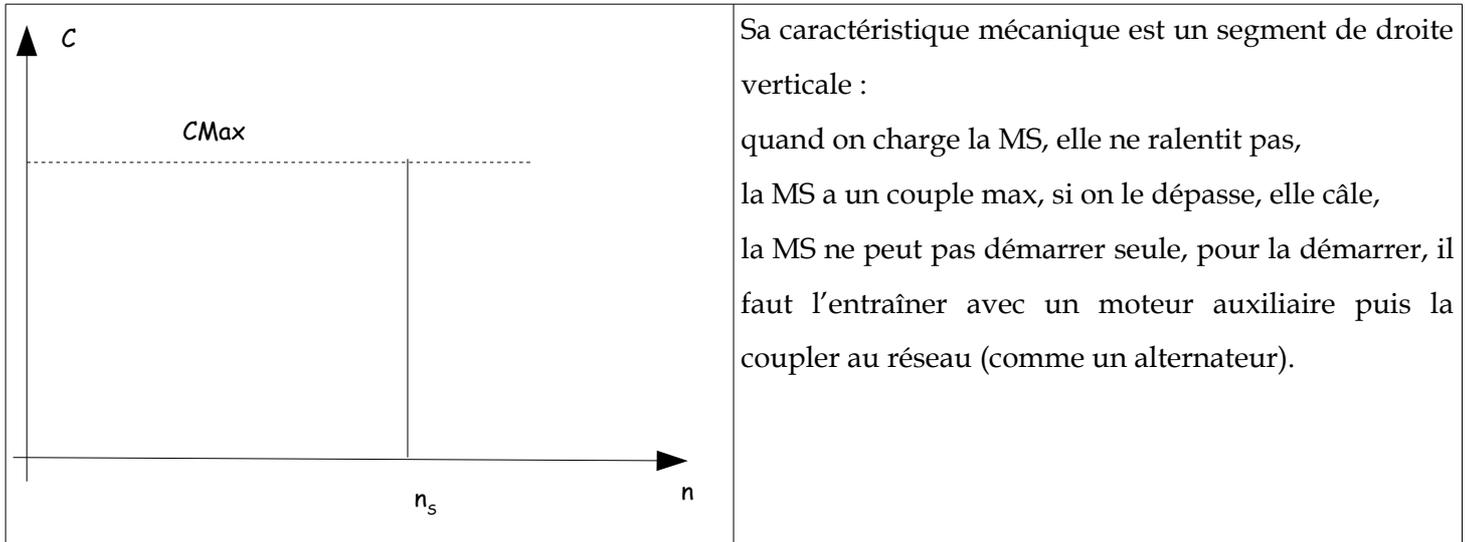
Le moteur asynchrone est utilisé dans la « zone utile » de sa caractéristique mécanique.

Utilisation historique : le moteur asynchrone est un moteur « rudimentaire » (donc pas cher à fabriquer) et nécessitant peu d'entretien. Avant les variateurs de vitesse à transistors, il était très difficile de faire varier sa vitesse.

- le moteur asynchrone était utilisé dans toutes les applications à vitesse constante : pompage, ventilation
- la génératrice asynchrone est utilisée dans les centrales hydroélectriques et les éoliennes de puissance <1MW.

#### 4.3.2 – MS SUR LE RÉSEAU.

Une machine synchrone ne tourne qu'à une seule vitesse : la vitesse de synchronisme imposée par la fréquence d'alimentation stator.



La machine synchrone est la machine électrique tournante qui a le meilleur rendement et avec la puissance massique (les Watt par kg) la plus importante. Mais avant les variateurs de vitesse à transistors, il était très difficile de faire varier sa vitesse.

Utilisation historique : Le moteur synchrone était utilisé dans les applications demandant une vitesse de rotation très précise. Surtout La génératrice synchrone (« alternateur ») est utilisée dans les très grosses centrales électriques (P jusqu'à 1500MW).

## 5 - ASSOCIATION MOTEUR+VARIATEUR.

Un variateur va permettre :

- de fonctionner à différentes vitesses,
- de gérer le démarrage et l'arrêt : il permet d'imposer les temps de démarrage et d'arrêt (avec plus ou moins de réussite).

Il permet donc d'éliminer l'à-coup mécanique et l'à-coup électrique (pointe de courant) d'un démarrage direct.

Un « vrai » variateur de vitesse permet de contrôler :

- le courant moteur (protection contre les surcharges),
- la vitesse moteur (fonctionnement en régime permanent),
- le couple moteur (contrôle des phases de démarrage et d'arrêt).

Avec un variateur de vitesse, l'association {variateur+machine} est du point de vue mécanique un moteur « idéal » : dans les limites de la machine, on est capable d'obtenir n'importe quel couple à n'importe quelle vitesse. La caractéristique mécanique est une droite verticale : la vitesse ne change pas lorsqu'on charge le moteur ( figure 6).

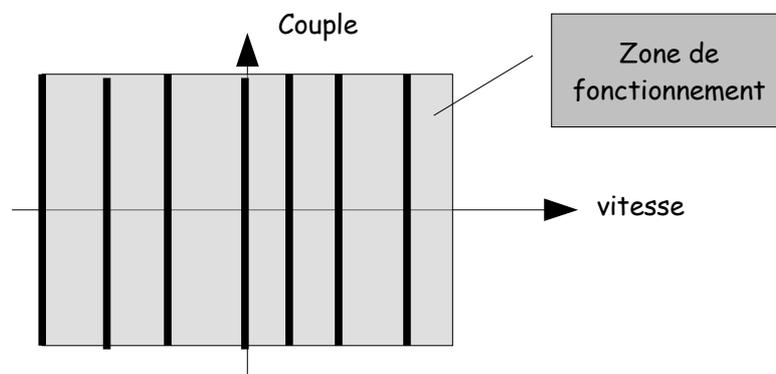


figure 6: caractéristique mécanique d'un moteur "idéal"

Le fonctionnement en génératrice n'est possible que :

- si on utilise une résistance de freinage avec le variateur
- ou si le variateur est réversible (variateur « 4Q » à double onduleur)

## 5.1 - MOTEUR BRUSHLESS.

Un moteur brushless est un moteur synchrone à aimant permanent obligatoirement alimenté par un variateur de vitesse qui utilise un capteur de position (capteur à effet Hall, codeur ou résolveur).

Le capteur de position permet un « auto-pilotage » de la machine : l'alimentation du stator est calculée afin de maintenir l'angle entre les champs magnétiques rotor et stator constants.

À cause de cet auto-pilotage, on retrouve une proportionnalité entre le courant stator efficace et le couple produit.

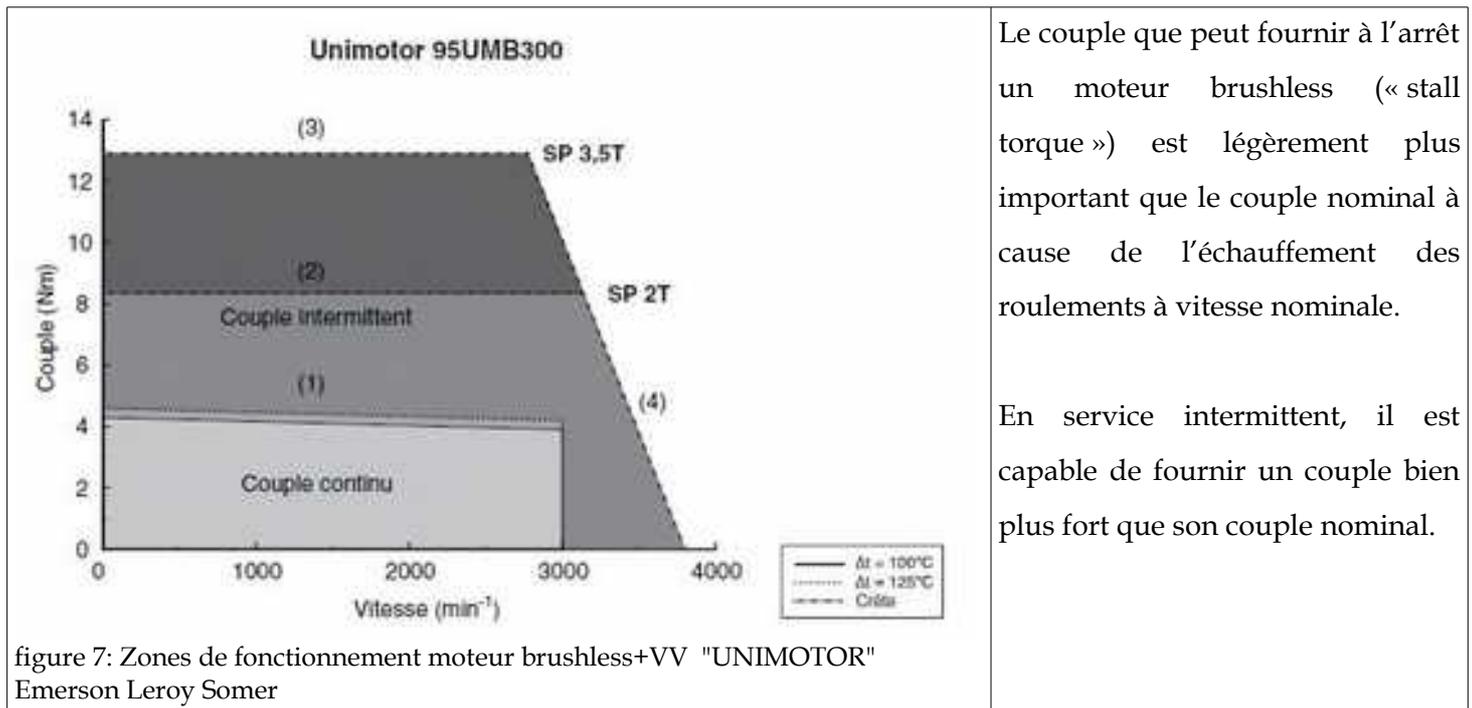


figure 7: Zones de fonctionnement moteur brushless+VV "UNIMOTOR" Emerson Leroy Somer

Le moteur brushless est un moteur à haut rendement, et de dimension réduite.

Ses dimensions réduites font que son inertie est réduite, et permet de réduire les temps d'accélération.

Le fait de ne pas avoir de balai autorise des vitesses de rotation élevées sans échauffement contraignant, souvent le refroidissement d'un brushless se fait de façon naturelle (sans ventilation).

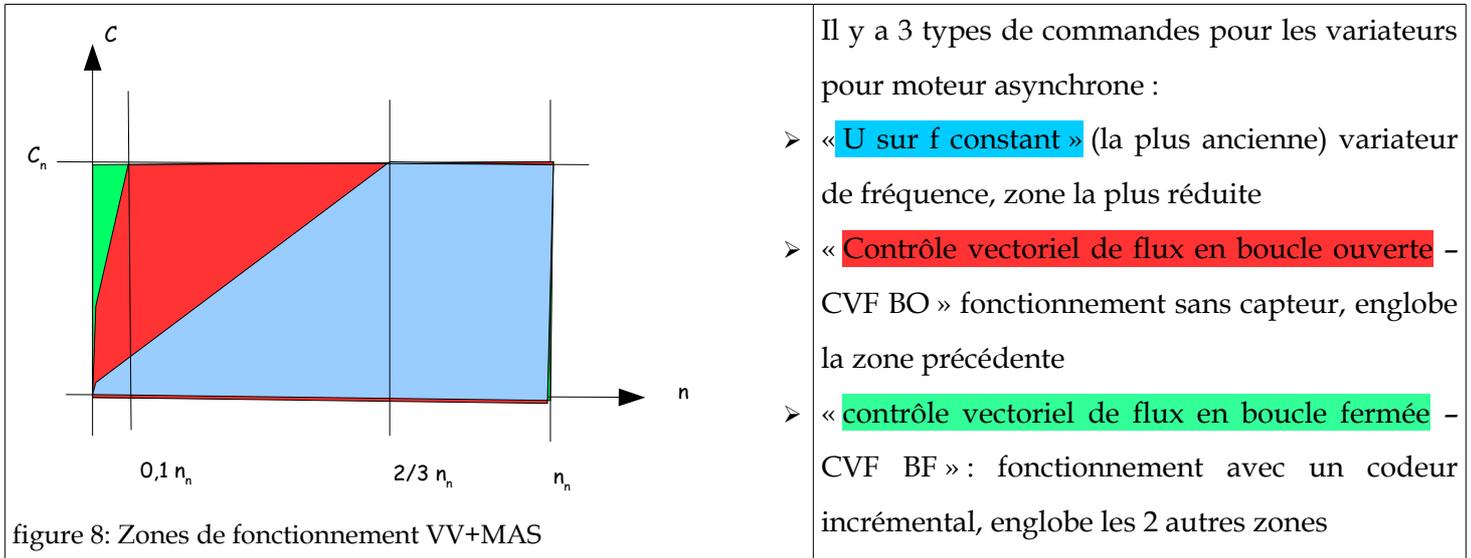
Dans sa gamme de puissance (<100kW) il est choisi pour des questions de rendement énergétique (voiture électrique par exemple) ou de performances dynamiques (robotique).

Il remplace le moteur à courant continu.

## 5.2 - VARIATEURS POUR MOTEUR ASYNCHRONE.

Le moteur asynchrone est un moteur peu coûteux et robuste.

Le fonctionnement à vitesse variable nous oblige à utiliser un motoventilateur avec le moteur asynchrone.



Le fonctionnement à  $U/f=cte$  permet un fonctionnement à pleine charge entre 66 % et 100 % de la vitesse nominale. En dessous des 66 %, plus on baisse la vitesse, plus le couple produit par le moteur diminue. On ne peut pas gérer le démarrage avec ce type de variateur.

Le fonctionnement CVF-B0 permet un fonctionnement à pleine charge entre 10 % et 100 %. C'est suffisant pour faire de la variation de vitesse, mais on ne contrôle pas vraiment le démarrage. On peut l'utiliser pour du levage, mais pas du positionnement.

Le fonctionnement CVF-BF est le plus performant : il autorise le fonctionnement à pleine charge de 0 (maintient à l'arrêt) à 100 %. On contrôle le démarrage, on peut utiliser cette solution pour du positionnement.

## 6 - MOTEURS THERMIQUES.

### 6.1 - COMPARATIF MOTEURS ESSENCE – DIESEL ATMOSPHÉRIQUE

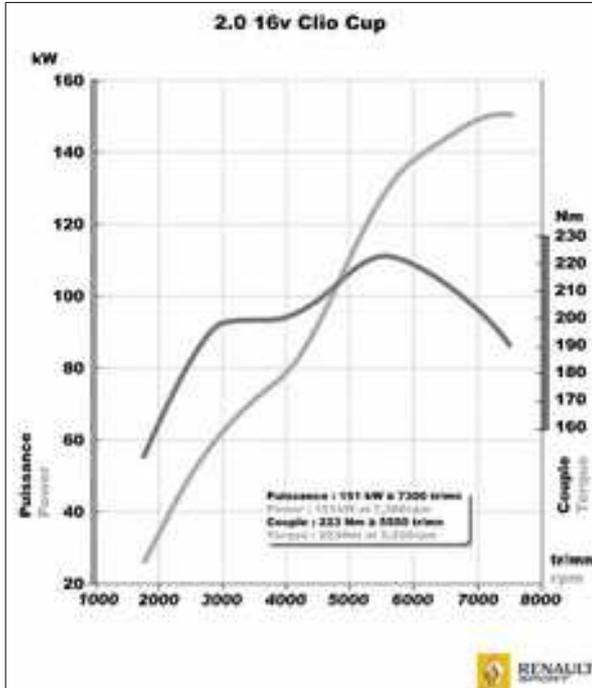


figure 9: Moteur Essence - Clio 2.0L RS 16V

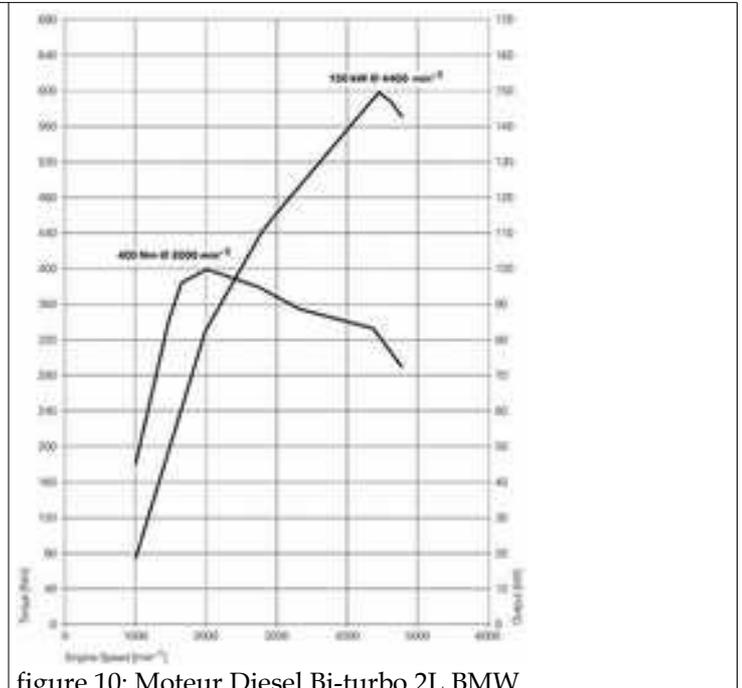


figure 10: Moteur Diesel Bi-turbo 2L BMW 123D

### 6.2 - COMPARATIF MOTEURS THERMIQUE DIESEL À RAMPE COMMUNE / ÉLECTRIQUE.



figure 11: Courbes moteur PSA 2L HDi 138cv

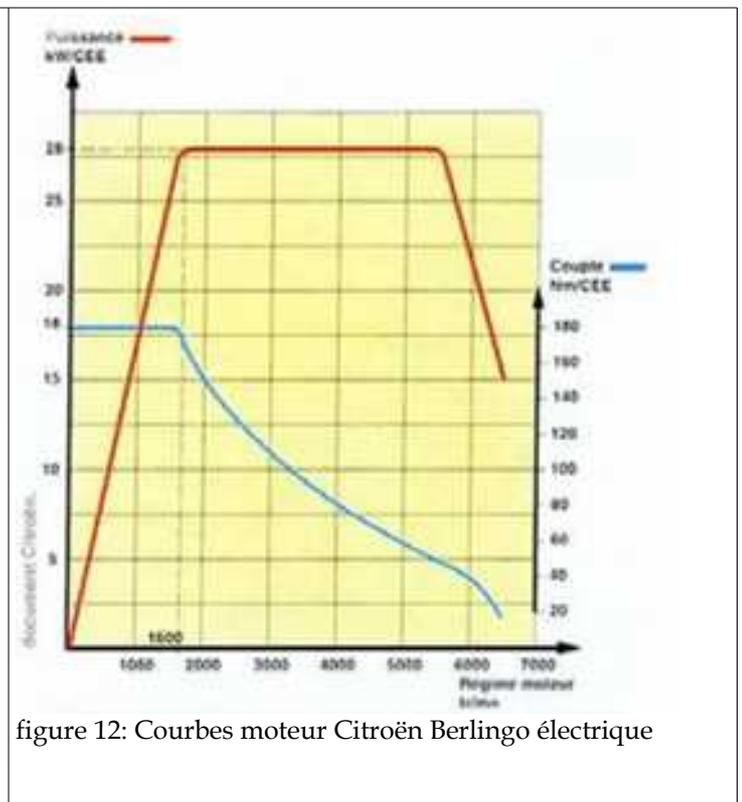


figure 12: Courbes moteur Citroën Berlingo électrique