The image shows the cover of a spiral-bound notebook. The cover has a light beige or tan color with a fine, woven fabric-like texture. On the left side, there is a silver-colored metal spiral binding. The text is centered on the cover in a black, serif font.

La variation de vitesse des moteurs asynchrones

sommaire

- ✉ **Généralités**
- ✉ **Action sur le glissement**
- ✉ **Couplage des pôles**
- ✉ **Contrôle U/f (commande scalaire)**
- ✉ **Contrôle vectoriel de flux**
- ✉ **Structure interne d'un variateur MLI**

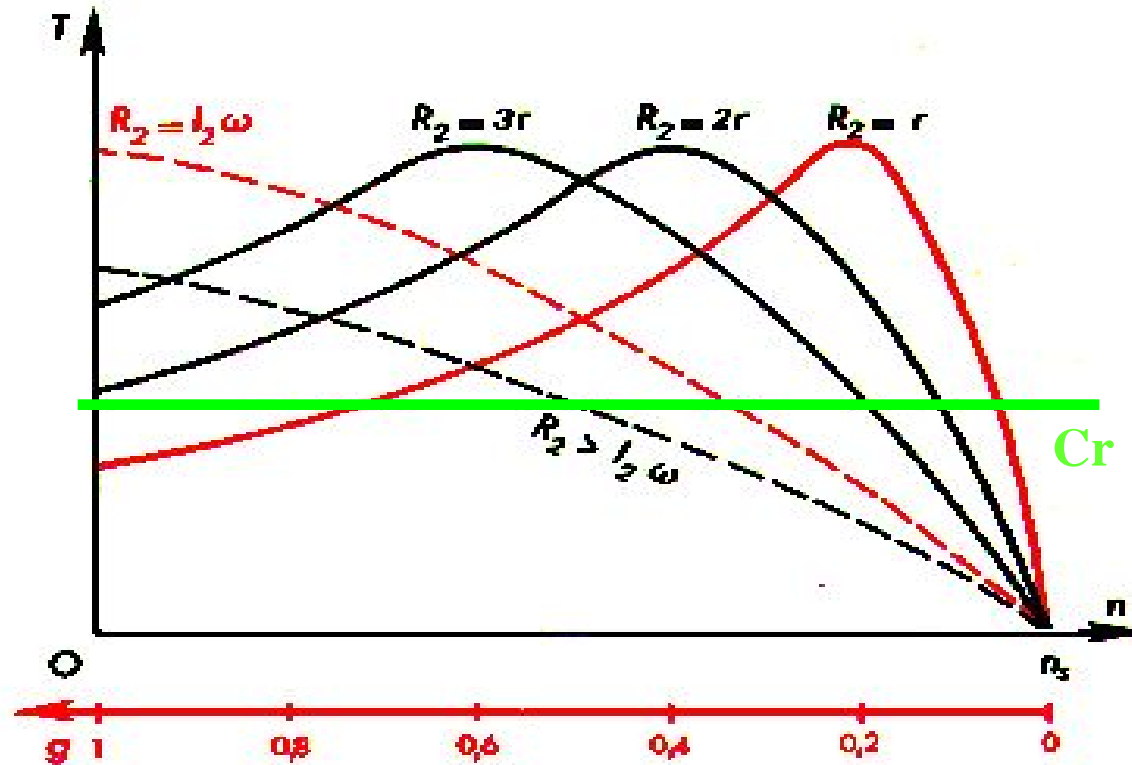
La variation de vitesse des moteurs asynchrones

The diagram illustrates the speed equation for an asynchronous motor, $n = n_s (1 - g) = \frac{f(1 - g)}{p}$. The variables are defined as follows:

- Vitesse de rotation**: Points to the variable n .
- Vitesse du champ tournant**: Points to the synchronous speed n_s .
- glissement**: Points to the slip g .
- fréquence**: Points to the supply frequency f .
- Paire de pôles**: Points to the number of pole pairs p .

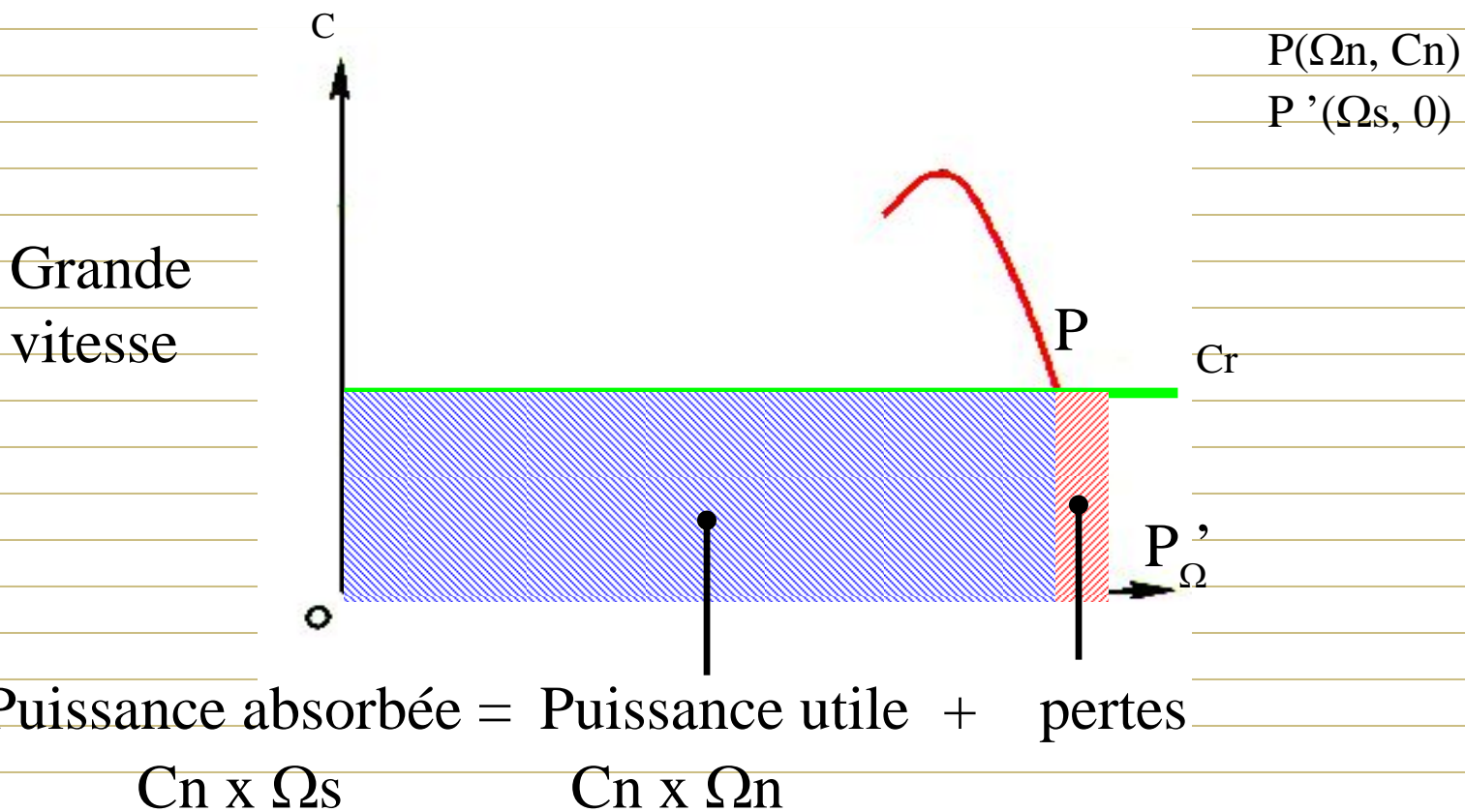
$$n = n_s (1 - g) = \frac{f(1 - g)}{p}$$

Action sur le glissement

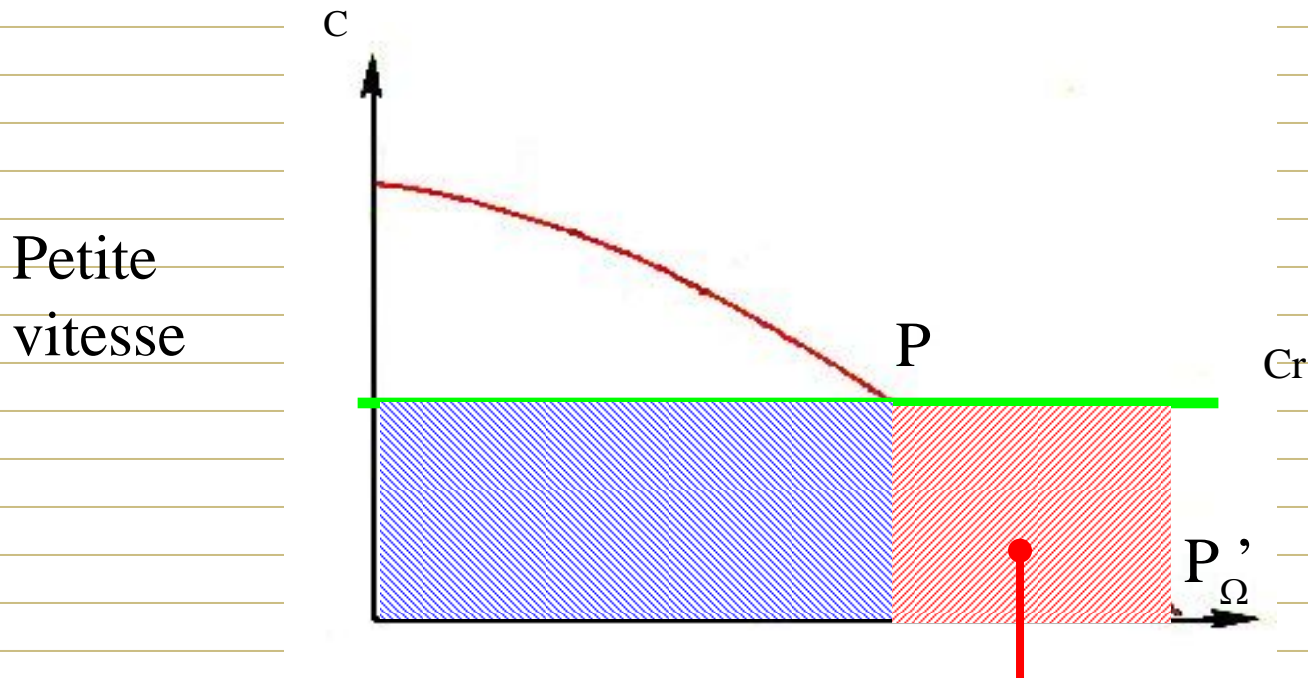


En modifiant la résistance rotorique, on agit sur le glissement tout en conservant un couple maximal constant. Cela implique d'avoir une machine à rotor bobiné

Action sur le glissement



Action sur le glissement



Augmentation des pertes

Inconvénient :

- rendement très faible
- échauffement du moteur

Action sur le glissement

Utilisable pour le démarrage des moteurs asynchrones car les pertes importantes ne sont que transitoires.

Voir chapitre démarreur MAS

On utilise d'autres méthodes :

- par action sur le nombre de paires de pôles p .
(moteur part winding ou Dalhander)
- par action sur la fréquence f .
(variateur électronique)

A spiral-bound notebook with a brown cover and white lined pages. The spiral binding is on the left side. The text "Couplage de pôles" is centered on the page.

Couplage de pôles

Action sur les pôles

P est un nombre entier.

Les différentes vitesses seront des multiples.

Dans la pratique on limite la variation à deux vitesses (PV et GV)

$$n = \frac{f(1-g)}{p}$$

On parle de variation par couplage de pôles

2 technologies sont utilisées suivant le rapport $\frac{GV}{PV}$

- rapport quelconque : stator à enroulements séparés
- rapport = 2 : stator composé de 6 demi-bobines

Action sur les pôles

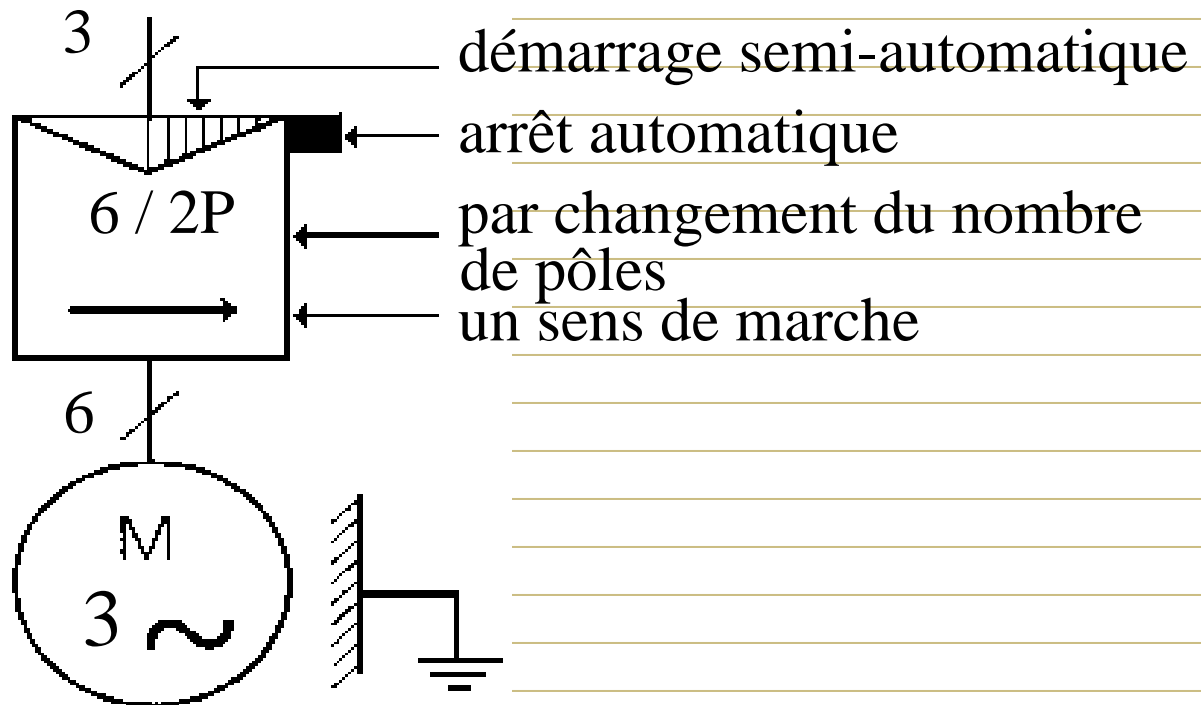
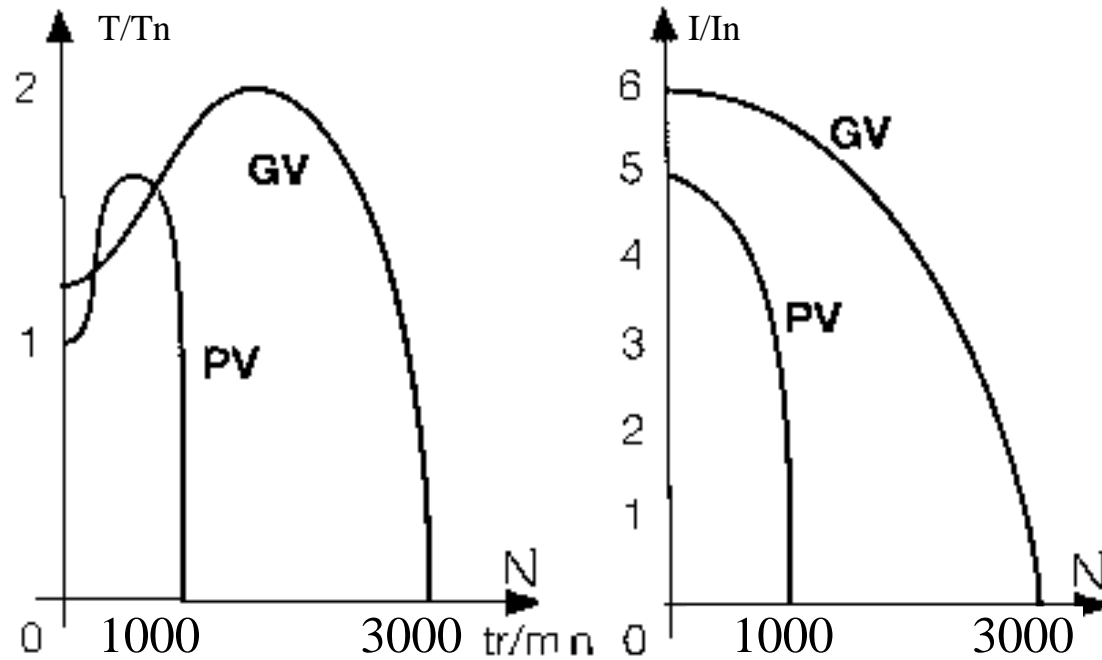


Schéma fonctionnel d'un démarreur
deux vitesses 1000 / 3000 trs/mn.

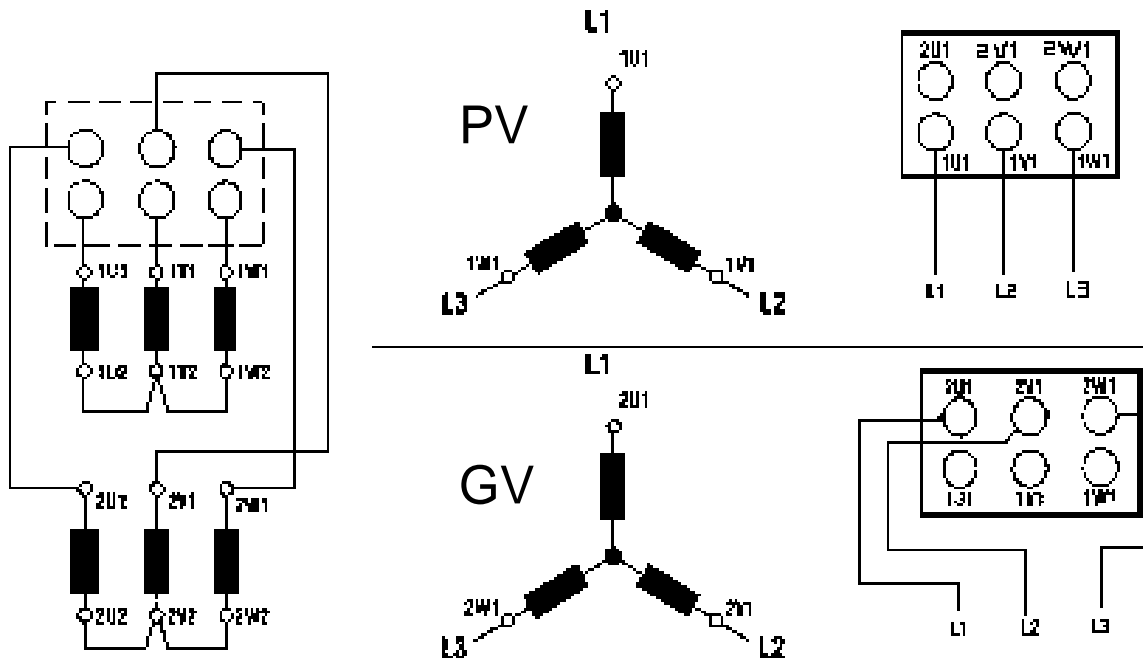
Action sur les pôles



caractéristiques du couple et du courant
en fonction de la vitesse

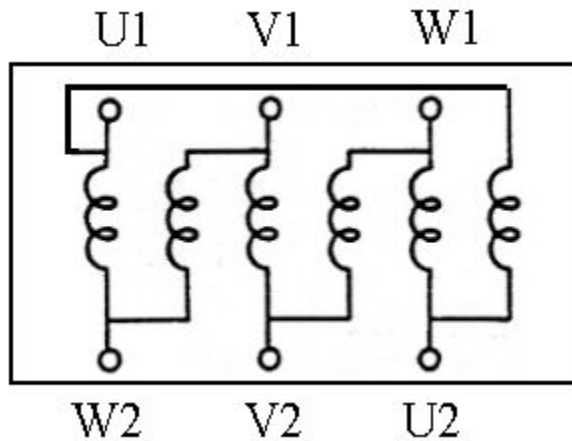
Action sur les pôles

Rapport GV/PV quelconque

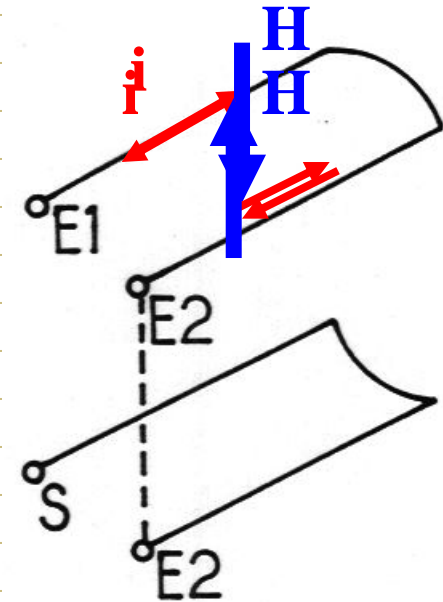


En grande vitesse les enroulements PV supportent des contraintes mécaniques et électriques importantes qui sont prises en compte dans la conception du moteur. Les puissances absorbées en GV et PV sont souvent très différentes ce qui nécessite un relais de protection thermique par vitesse.

Action sur les pôles

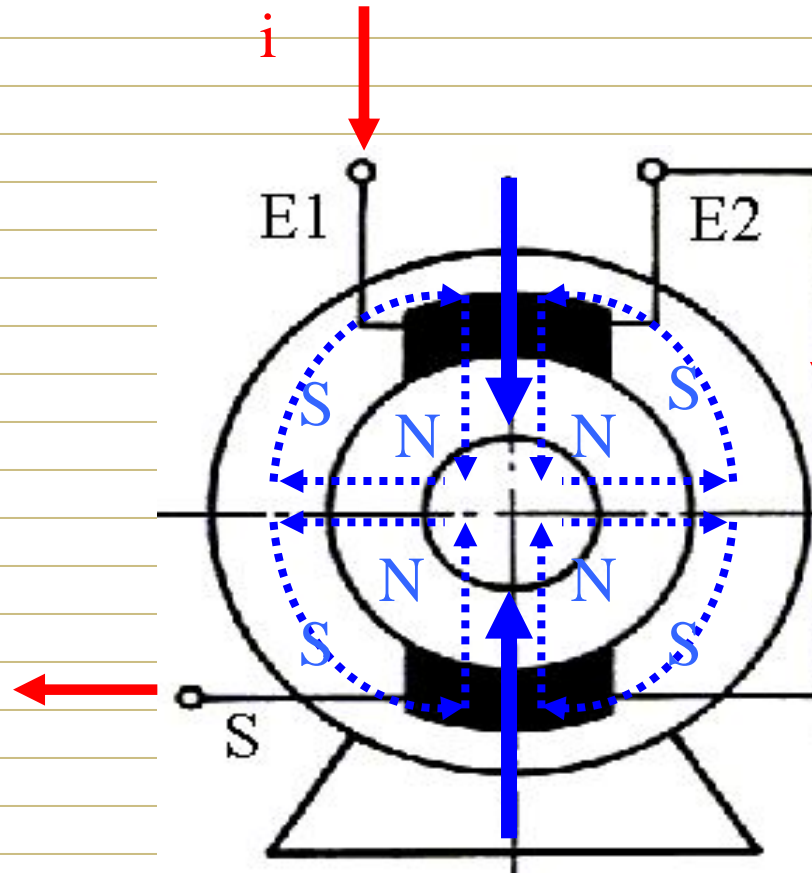


Le moteur Dahlander est
constitué de 6 demi enroulements



Suivant le sens du courant dans les
demi enroulements on aura un champ orienté
vers l'intérieur ou l'extérieur des enroulements

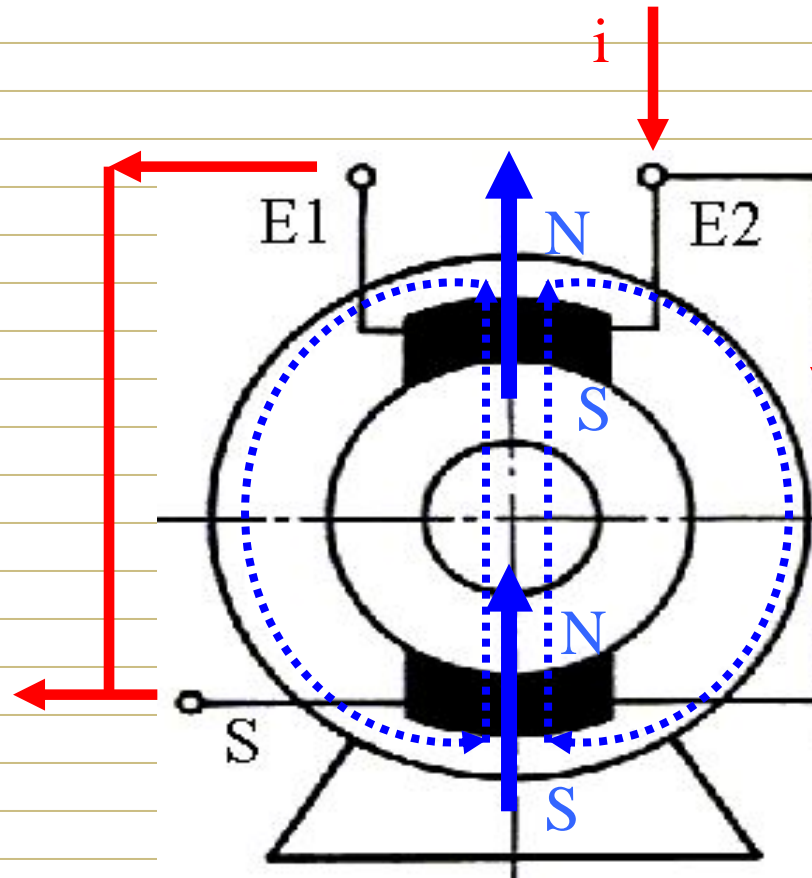
Action sur les pôles



On a un couplage série

On obtient 4 pôles

Action sur les pôles



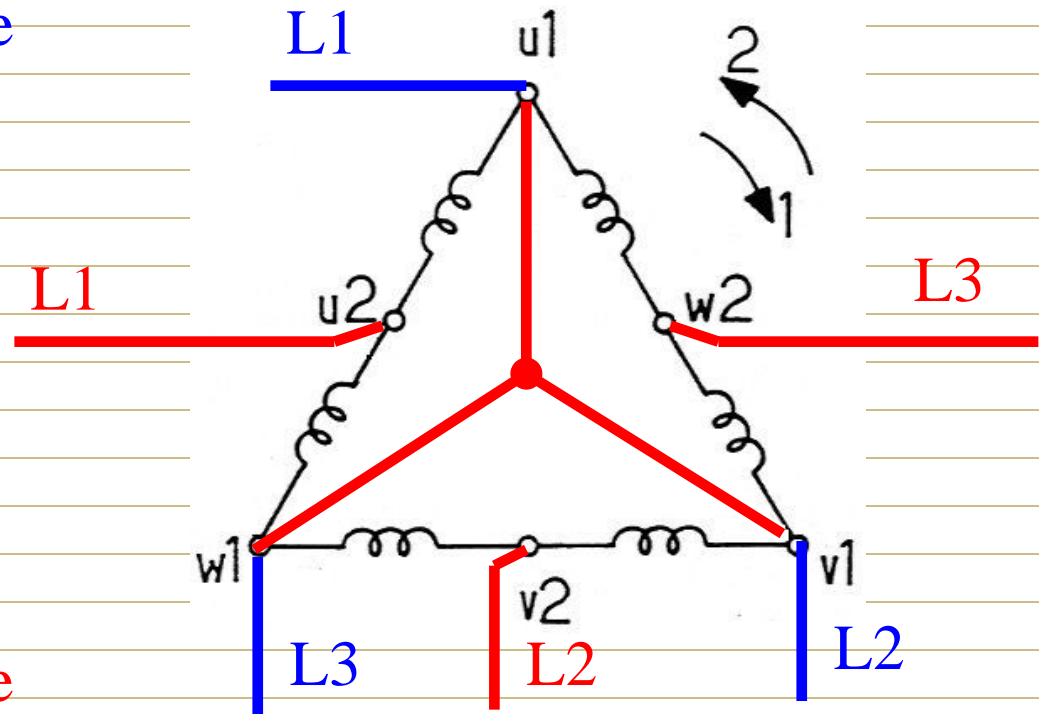
On a un couplage parallèle

On obtient 2 pôles

Action sur les pôles

On a 4 pôles \longrightarrow PV

On a le couplage
triangle série



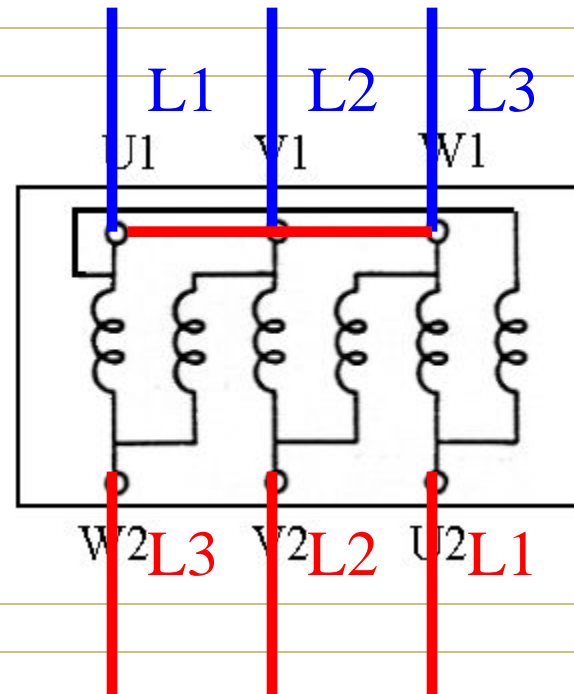
On a le couplage
étoile parallèle

On a 2 pôles \longrightarrow GV

Action sur les pôles

Câblage de la plaque à bornes

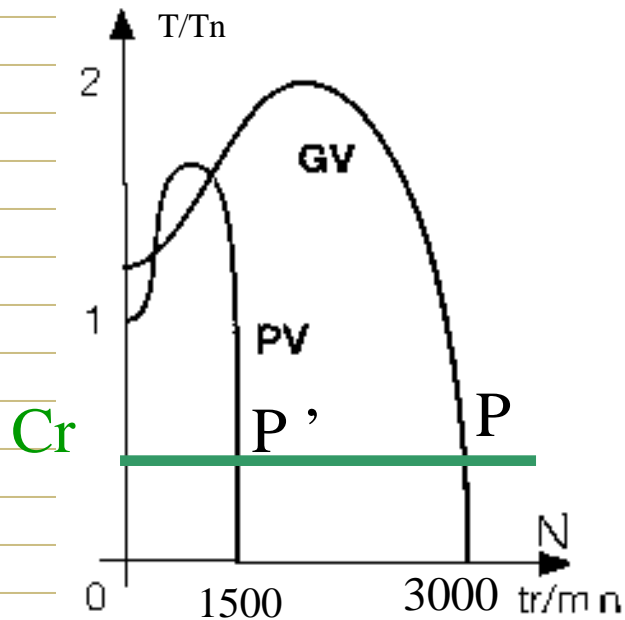
PV
triangle série



GV
étoile parallèle

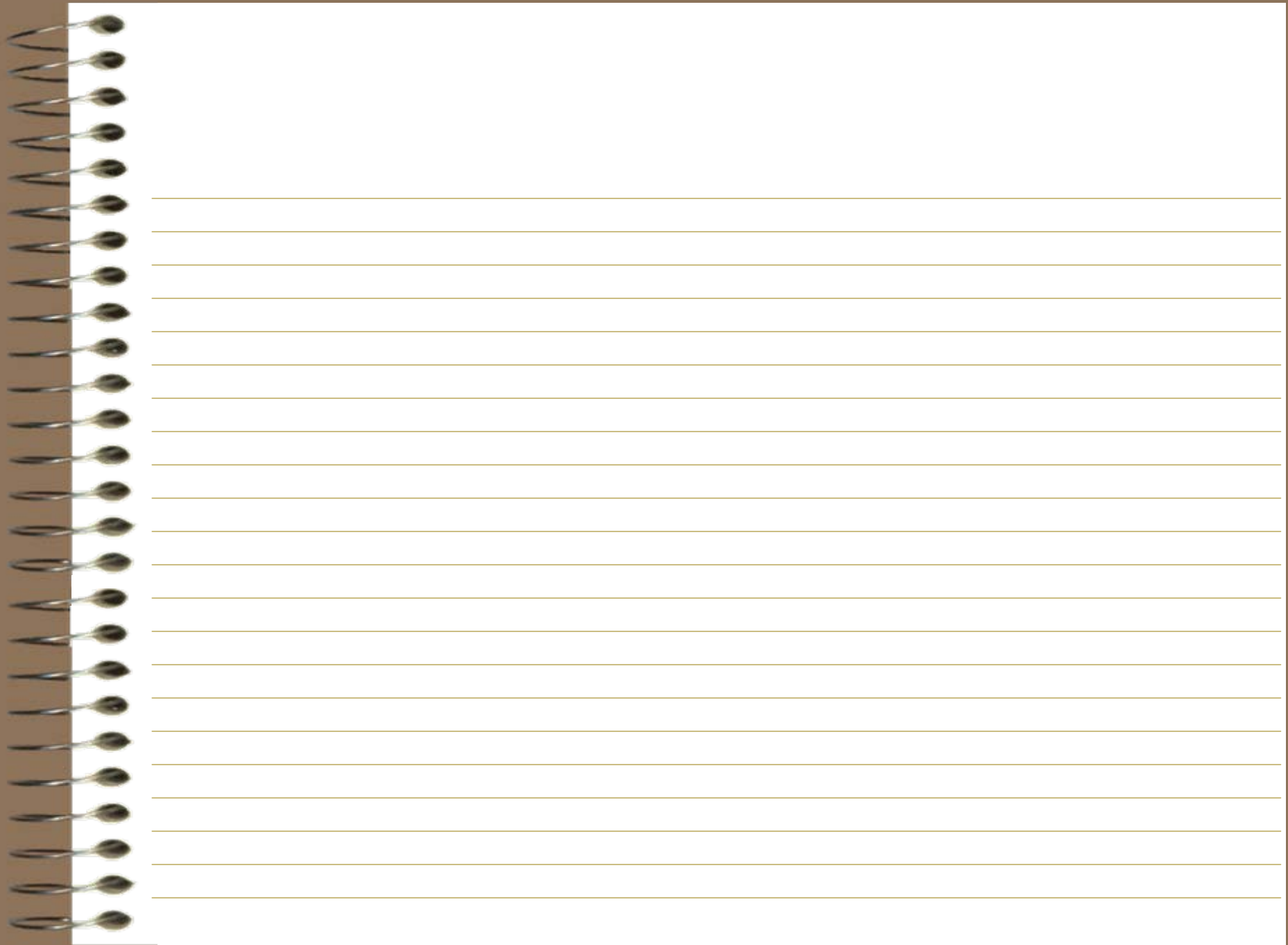
Action sur les pôles

La protection de moteur à couplage Dahlander



Les courants absorbés
en PV et GV
sont très différents.

Il est nécessaire de prévoir
une protection thermique
séparées pour chaque
fonctionnement .



Action sur la fréquence

Pour une bonne maîtrise de l'équipement, on cherche à conserver un couple moteur maximal constant.

A l'aide du modèle équivalent, on obtient l'expression :

$$C_{\max} = \frac{3p}{8Lr^2\pi^2} \left(\frac{V1}{f} \right)^2 \quad (1)$$

p et Lr sont liés à la construction de la machine

$\left(\frac{V1}{f} \right)$ est représentatif du flux magnétisant

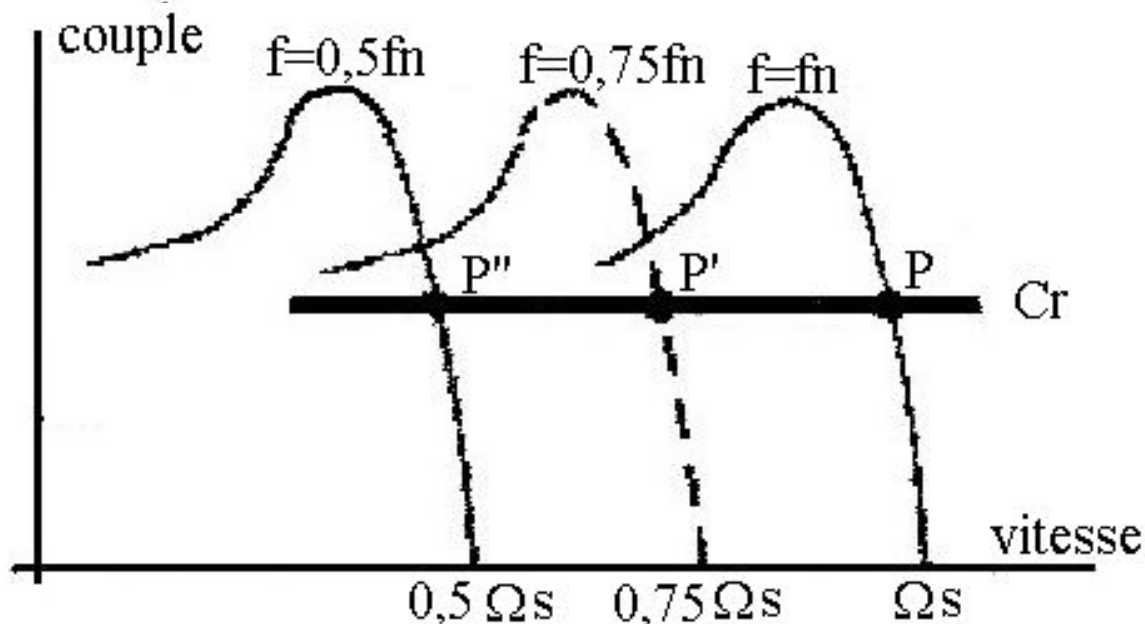
Action sur la fréquence

f varie

on veut C_{max}

Il faut que V_1 varie pour que $\frac{V_1}{f} = \text{constant}$

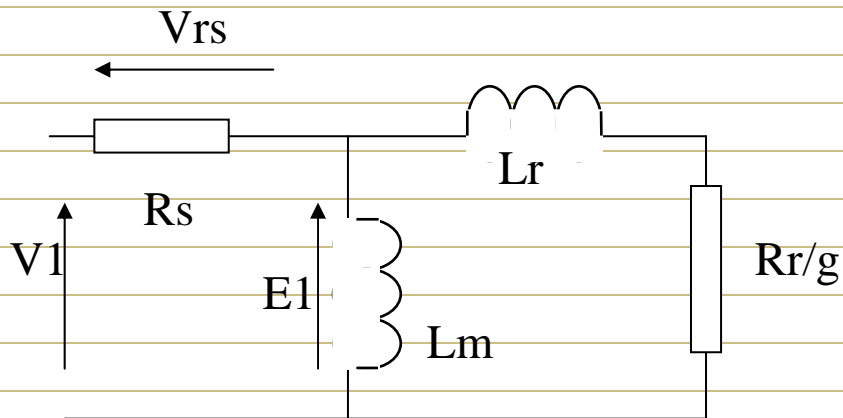
(Voir expression précédente)



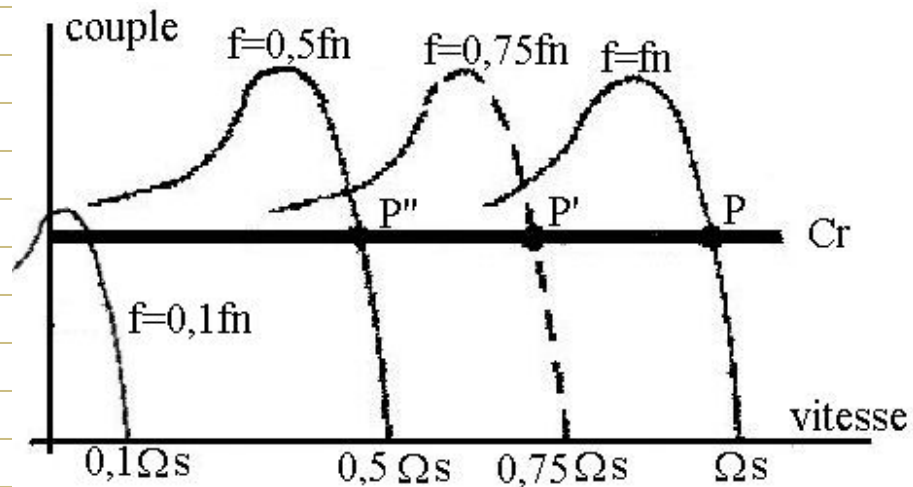
On travaille à flux constant

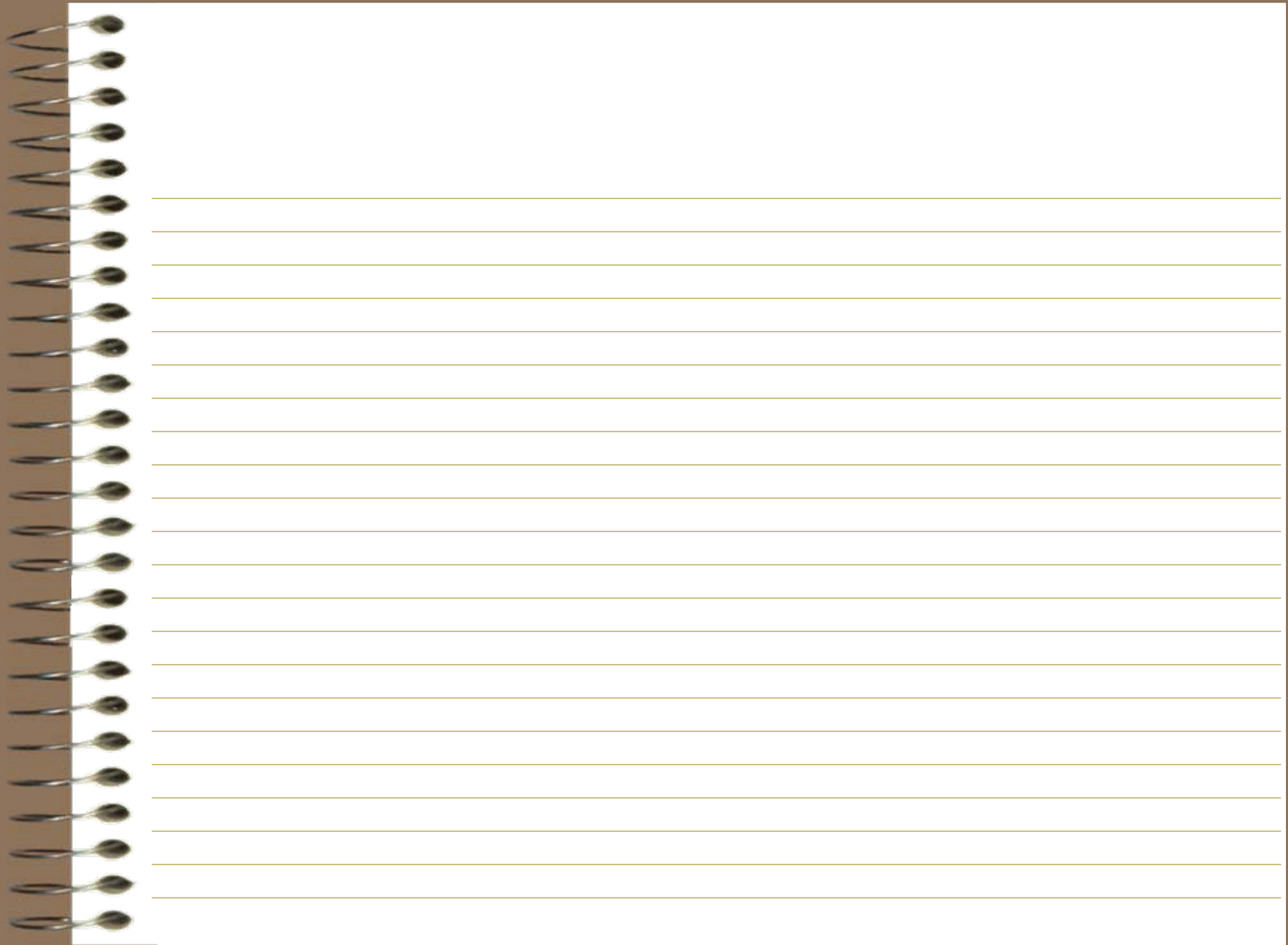
Action sur la fréquence

Limite du
modèle utilisé



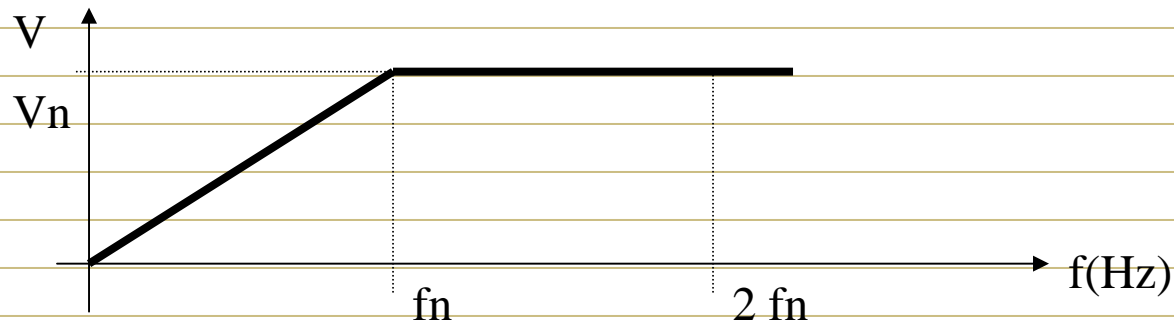
Conséquence sur la
caractéristique $C_m = f(\Omega)$
à basse vitesse



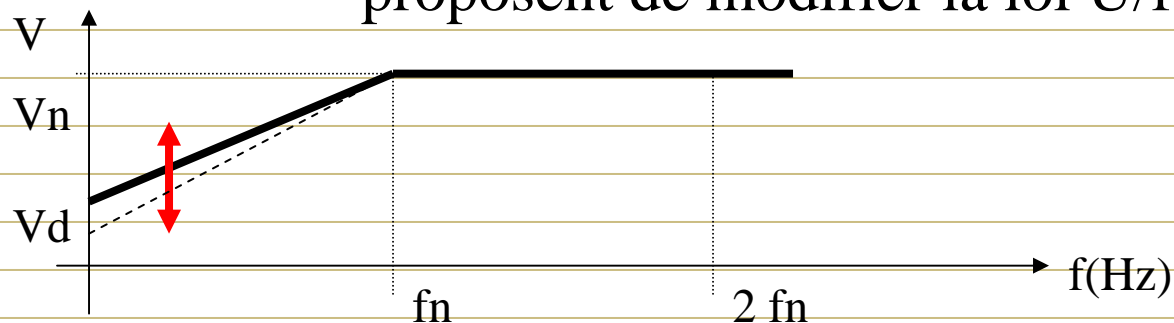


Loi U/f

Pour obtenir les caractéristiques précédentes la loi U/f a l'allure suivante



Pour compenser les imperfections du modèle adopté ou l'adapter à une charge particulière, les constructeurs proposent de modifier la loi U/f



Au démarrage il y a renforcement du flux magnétique
 \Rightarrow augmentation du couple aux basses vitesses

Loi U/f

Ajustement manuel (ou boost manuel)

La tension appliquée n'est pas fonction de sa charge.

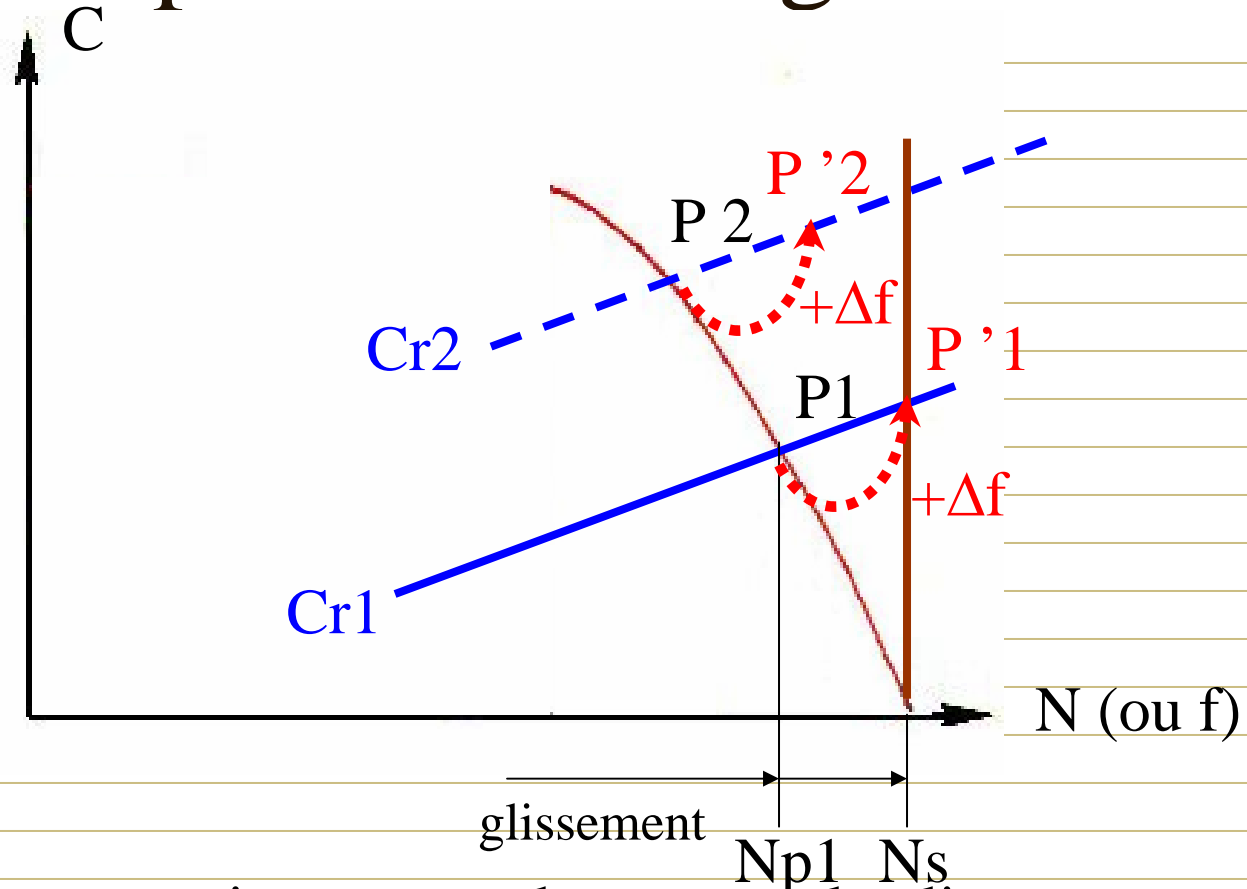
On obtient un couple élevé à basse vitesse mais on maintient un courant magnétisant élevé dans le moteur à vide avec risque de saturation magnétique (échauffement)

Ajustement automatique (boost automatique)

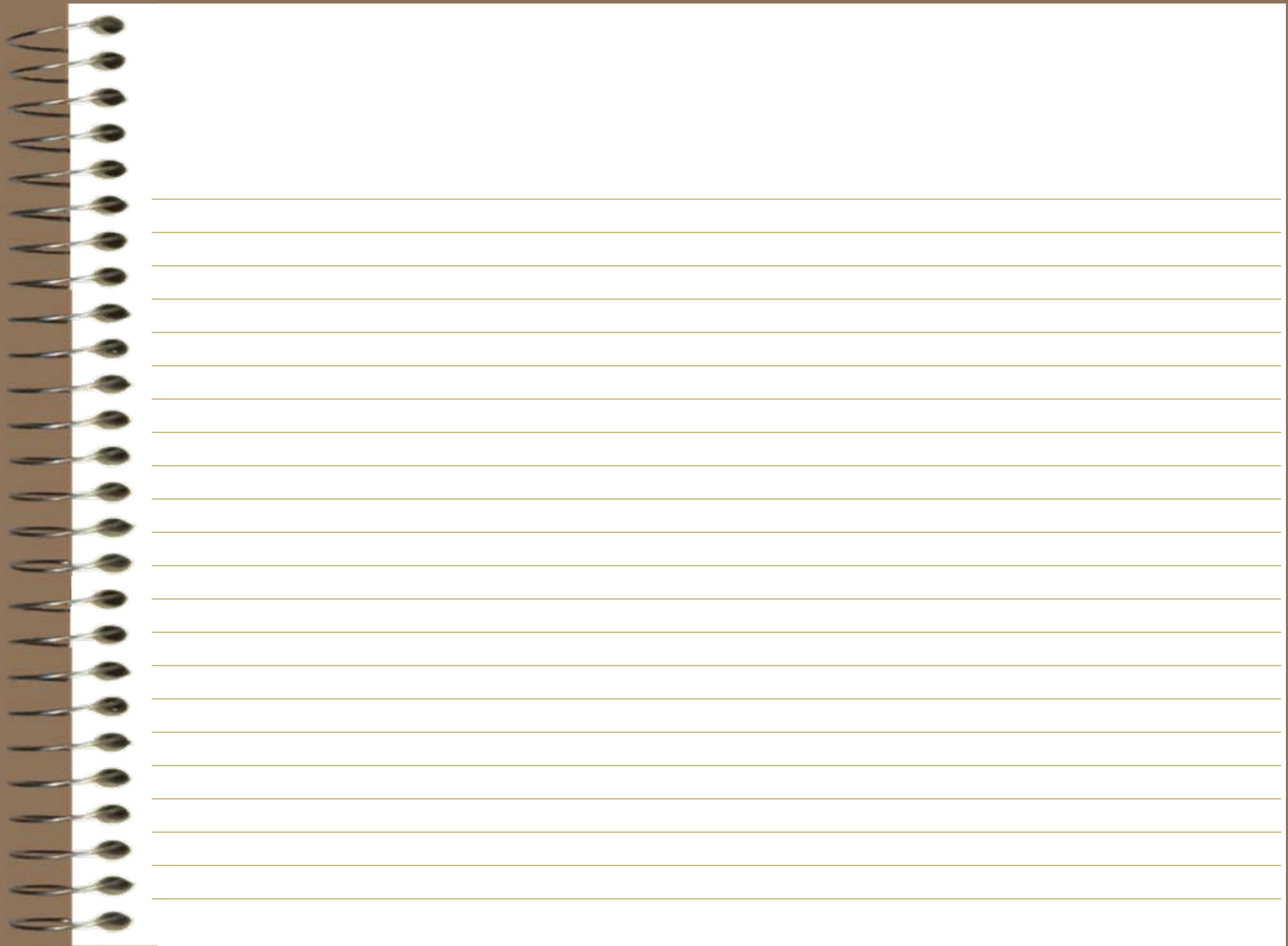
La tension délivrée au moteur permet une compensation de la chute de tension $R_s I$ suivant la charge.

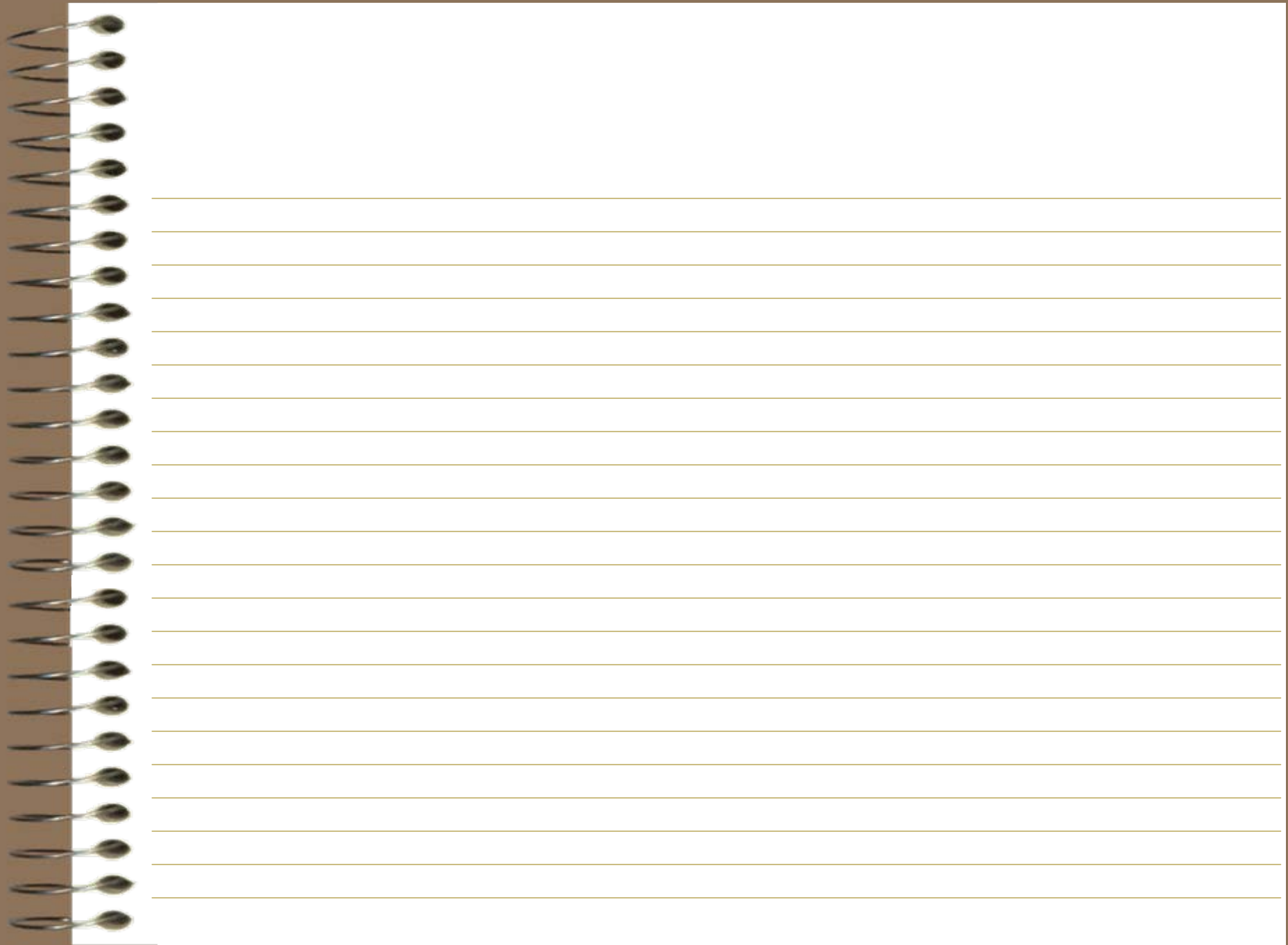
On obtient un couple élevé à basse vitesse tout en maintenant un courant magnétisant faible dans le moteur à vide. il a un temps de réponse plus lent que l'ajustement manuel.

Compensation du glissement

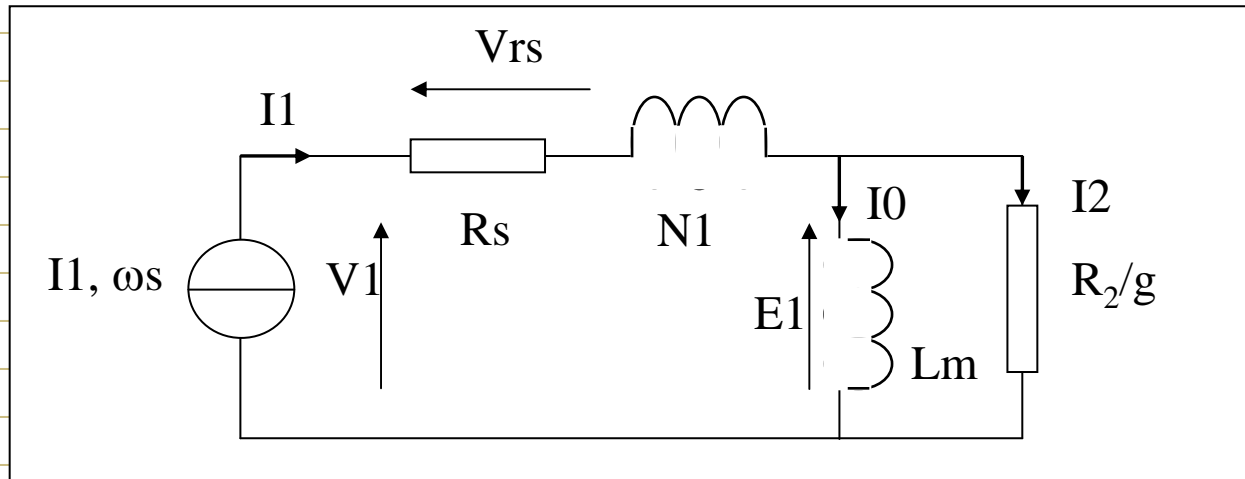


La compensation permet de rattraper le glissement en fournissant un supplément de fréquence (valable pour un point de fonctionnement ou de petites variations)





Contrôle vectoriel de flux



MAS alimenté en tension et contrôlé en courant

- V_1 : tension d'un enroulement
- I_1 : courant dans un enroulement
- R_s : résistance statorique
- N_1 : inductance de fuite (stator et rotor)
- L_m : inductance magnétisante
- R_2 : résistance rotorique
- g : glissement

Contrôle vectoriel de flux

Couple électromagnétique

$$C = 3R_2 I_1^2 Lm^2 \frac{\omega_R}{R_2^2 + (Lm\omega_R)^2}$$

Pour imposer ou contrôler le couple il faut :

- maîtriser I_1 et ω_R ← Mesurés par des capteurs
- connaître R_2 et Lm ←

Fournies par les constructeurs ou par identification au démarrage du moteur

Contrôle vectoriel de flux

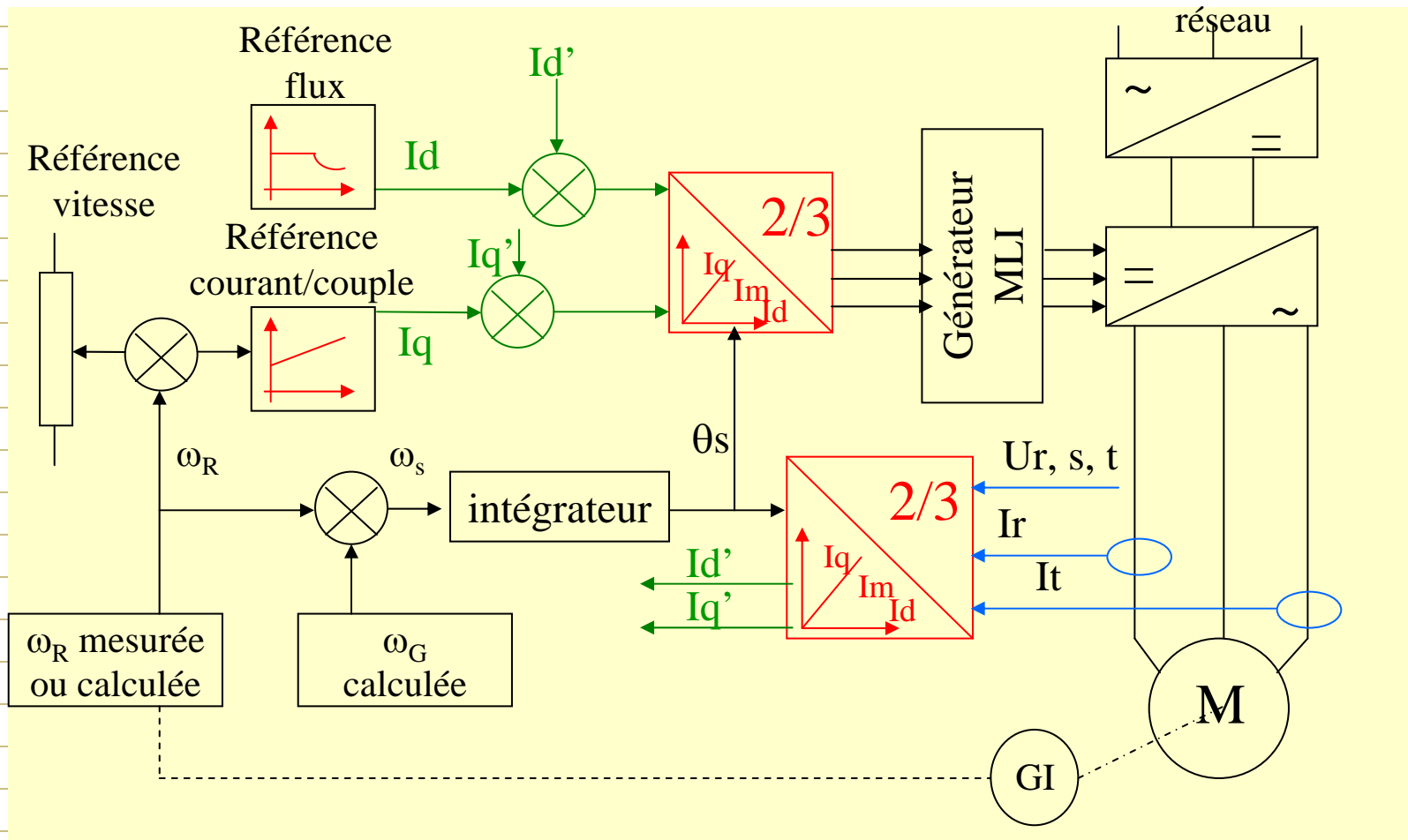
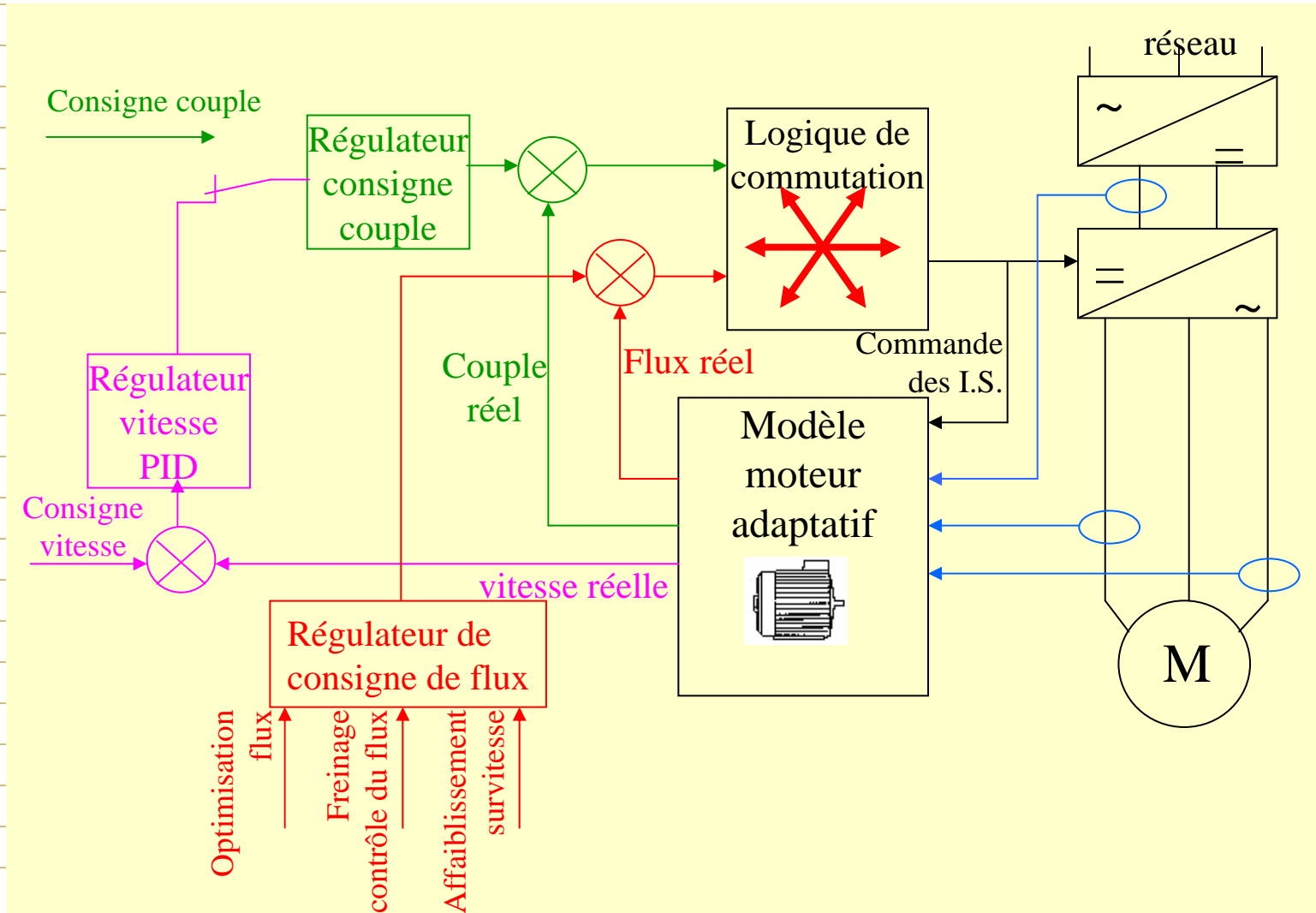


Schéma fonctionnel (très simplifié)

Contrôle vectoriel de flux

(sans capteur de vitesse ou position)



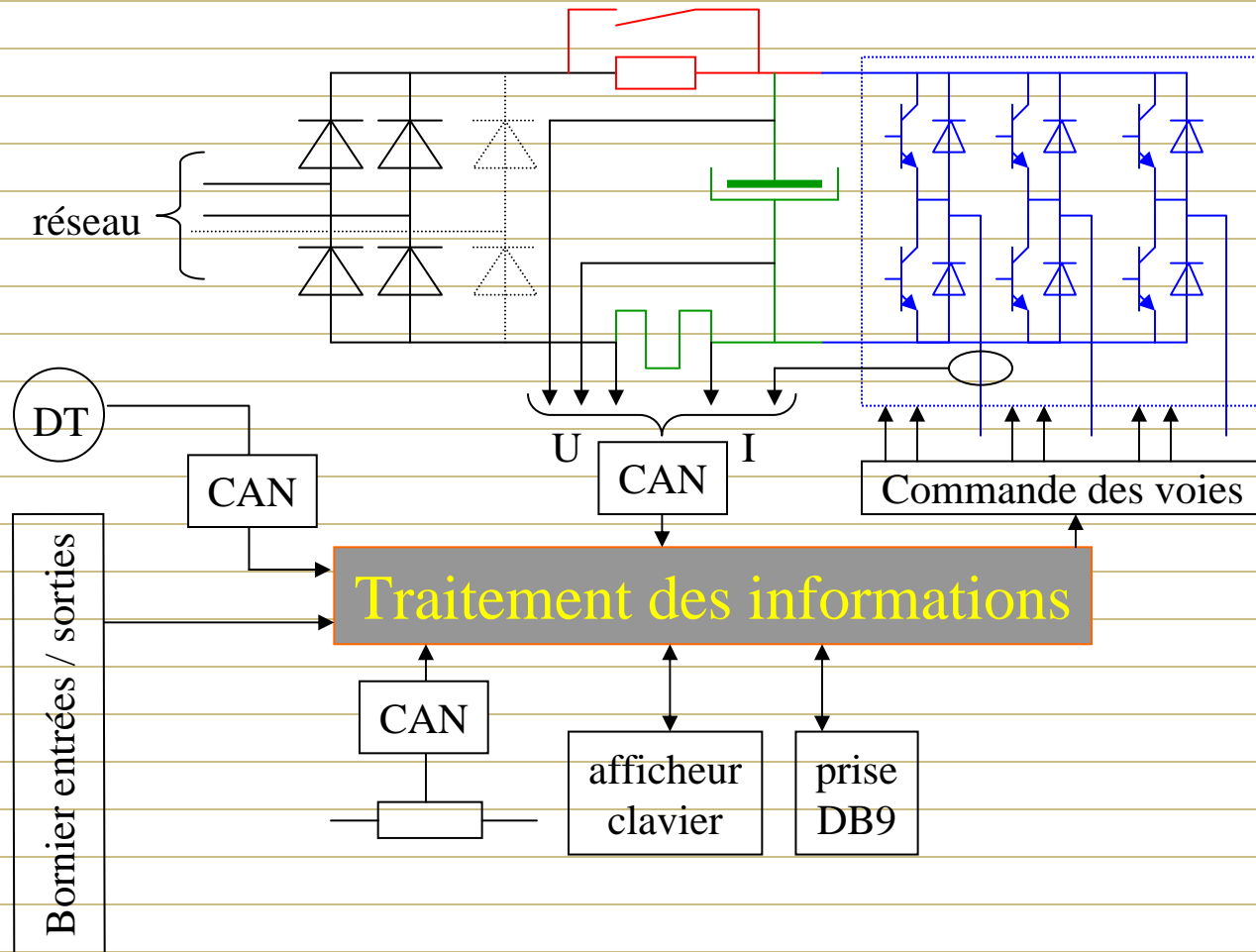
COMPARATIF DES TECHNIQUES

technologie	dynamique	précision de vitesse		type de contrôle possible	temps de réponse en couple	précision de positionnement	gamme de prix
	de vitesse	dynamique	statique				
contrôle scalaire	1 à 10	2%	1%	vitesse	300 ms		base 1
contrôle scalaire amélioré	1 à 100	0,40%	0,30%	vitesse + couple	30 ms		1
contrôle vectoriel de flux en boucle fermée	1 à 1000	0,10%	0,05%	vitesse + couple + positionnement	30 ms	1/500 ième de tour	1 + codeur
contrôle vectoriel de flux en direct (sans capteur)	1 à 10000	0,01%	0,01%	vitesse + couple + positionnement	1 ms	1/500 ième de tour	1,3 à 1,5

A spiral-bound notebook with a brown cover and white lined pages. The spiral binding is on the left side. The text is centered on the page.

**Structure
Interne
d'un Variateur
MLI**

Structure interne d'un variateur MLI



Toutes les grandeurs rentrantes ou sortantes du μP sont opto couplées

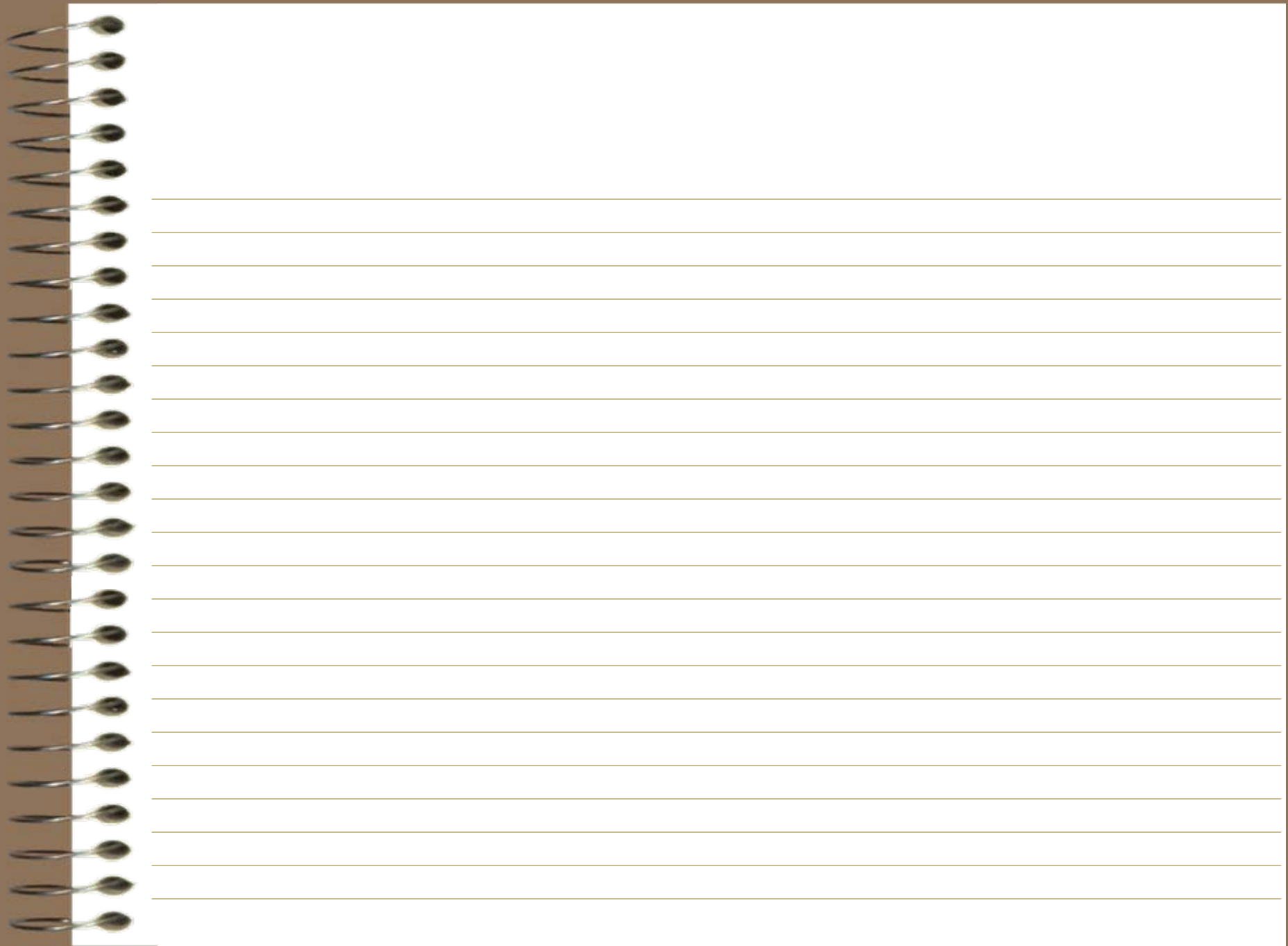
Structure interne d'un variateur MLI

Les variateurs intègrent :

- ✓ un microprocesseur
- ✓ de la mémoire
- ✓ un calculateur
- ✓

Cela permet :

- ✓ d'adapter le variateur à l'application (rampes, etc....)
- ✓ de réguler ou d'asservir
- ✓ de programmer différents cycles
- ✓ de protéger l'ensemble moteur - variateur



Principe de la MLI

Variateur numérique : ancienne génération

**Par les angles calculés
on supprime les harmoniques de rangs faibles**

**Par la surmodulation à rapport cyclique variable
on règle l'amplitude de U**

La surmodulation fait apparaître des harmoniques
de même rang de la fréquence de hachage

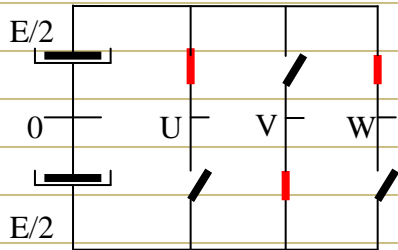
Principe de la MLI

Variateur numérique :génération actuelle

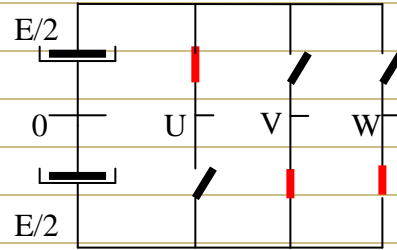
La MLI Vectorielle.

L'intérêt de ce type de modulation est d'être facile à implanter dans un microprocesseur et d'avoir une fréquence élevée de modulation

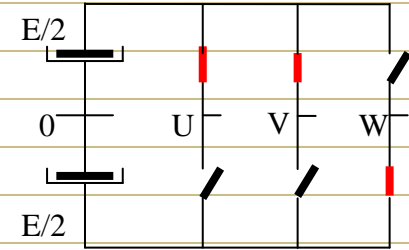
Principe de la MLI Vectorielle



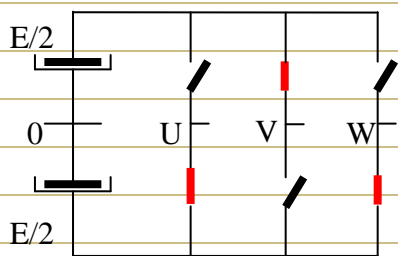
a



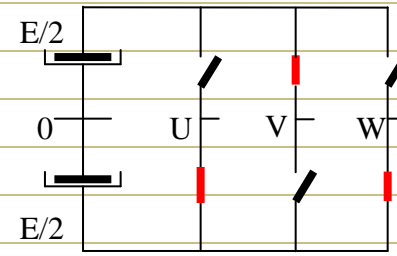
b



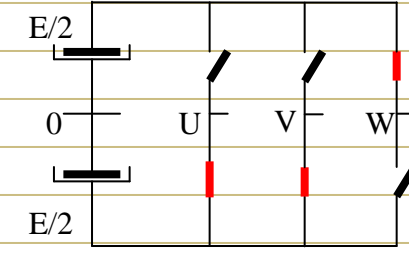
c



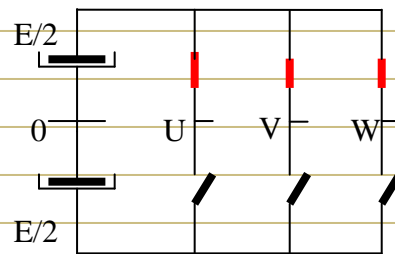
d



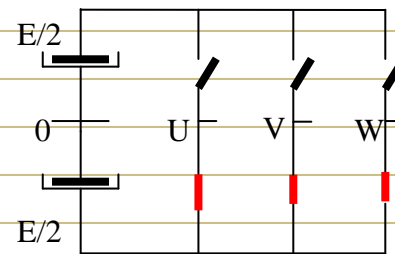
e



f



g

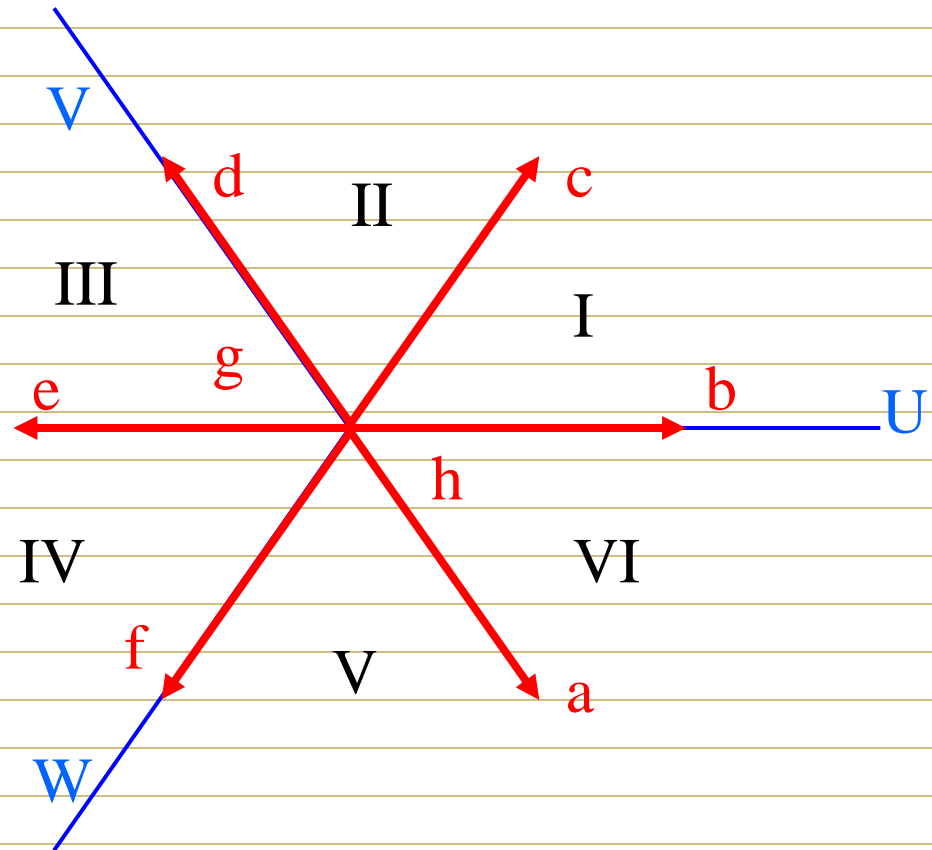


h

Principe de la MLI Vectorielle

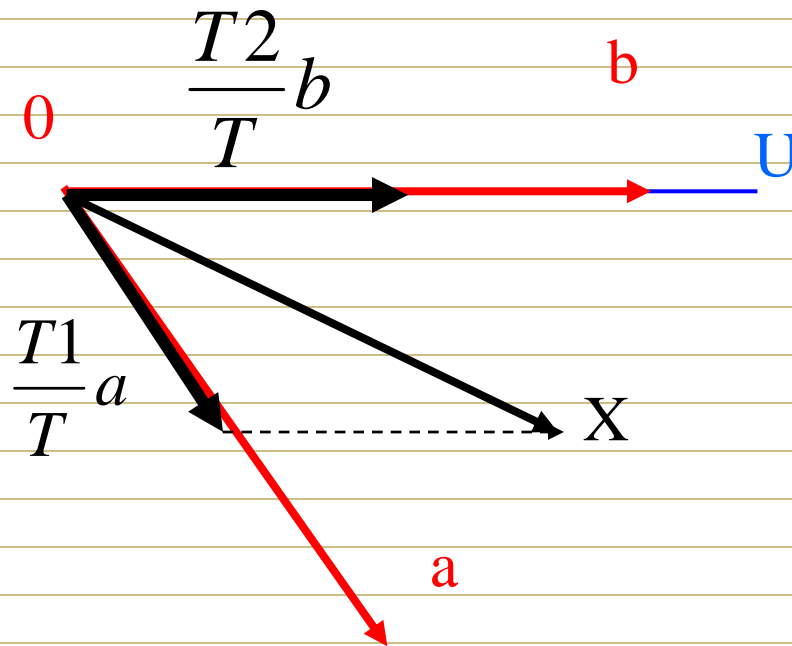
À partir des 8 combinaisons des interrupteurs
on peut avoir 8 positions du vecteur tension

g et h sont 2
vecteurs nuls



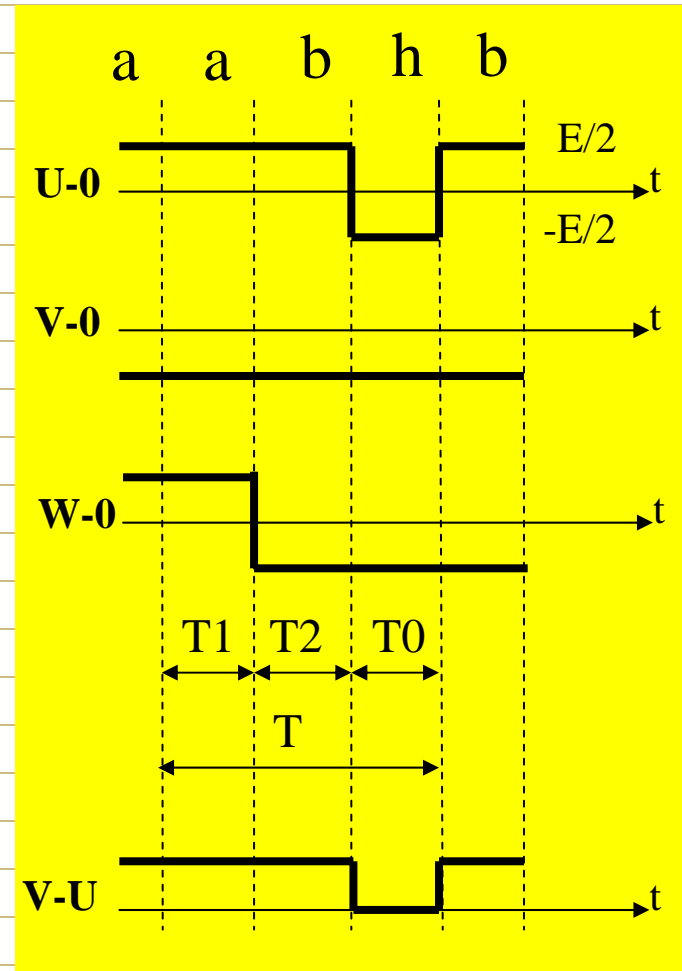
Principe de la MLI Vectorielle

À partir de la représentation vectorielle précédente, une tension X , dans un secteur (I,II,III, ...), est la combinaison des 2 vecteurs adjacents et d'un vecteur nul pendant les intervalles de temps T_1 , T_2 et T_0

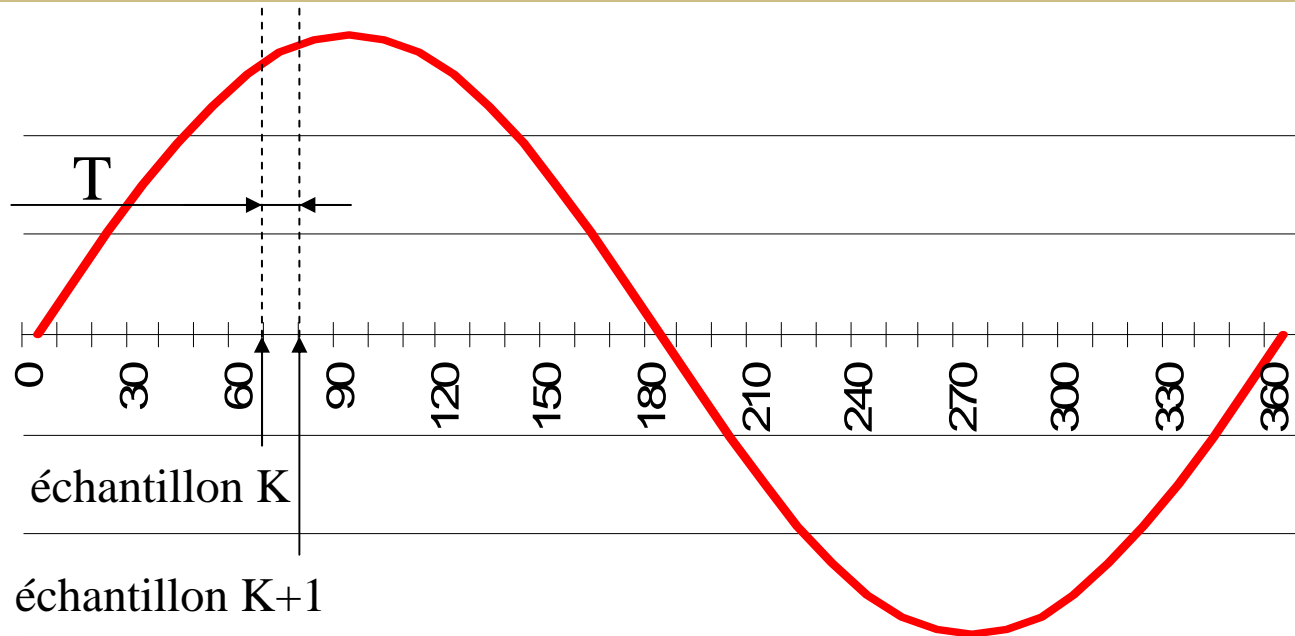


Principe de la MLI Vectorielle

L'impulsion sur la période T donne une tension moyenne équivalente à la tension X



Principe de la MLI Vectorielle



Les temps **T1**, **T2** et **T0** sont calculés par un algorithme à partir de la **valeur instantanée** de la tension référence et de la **position** du vecteur tension **X**.

L' **échantillonnage** se fait à période régulière **T** sur la tension de référence (MLI fixe).