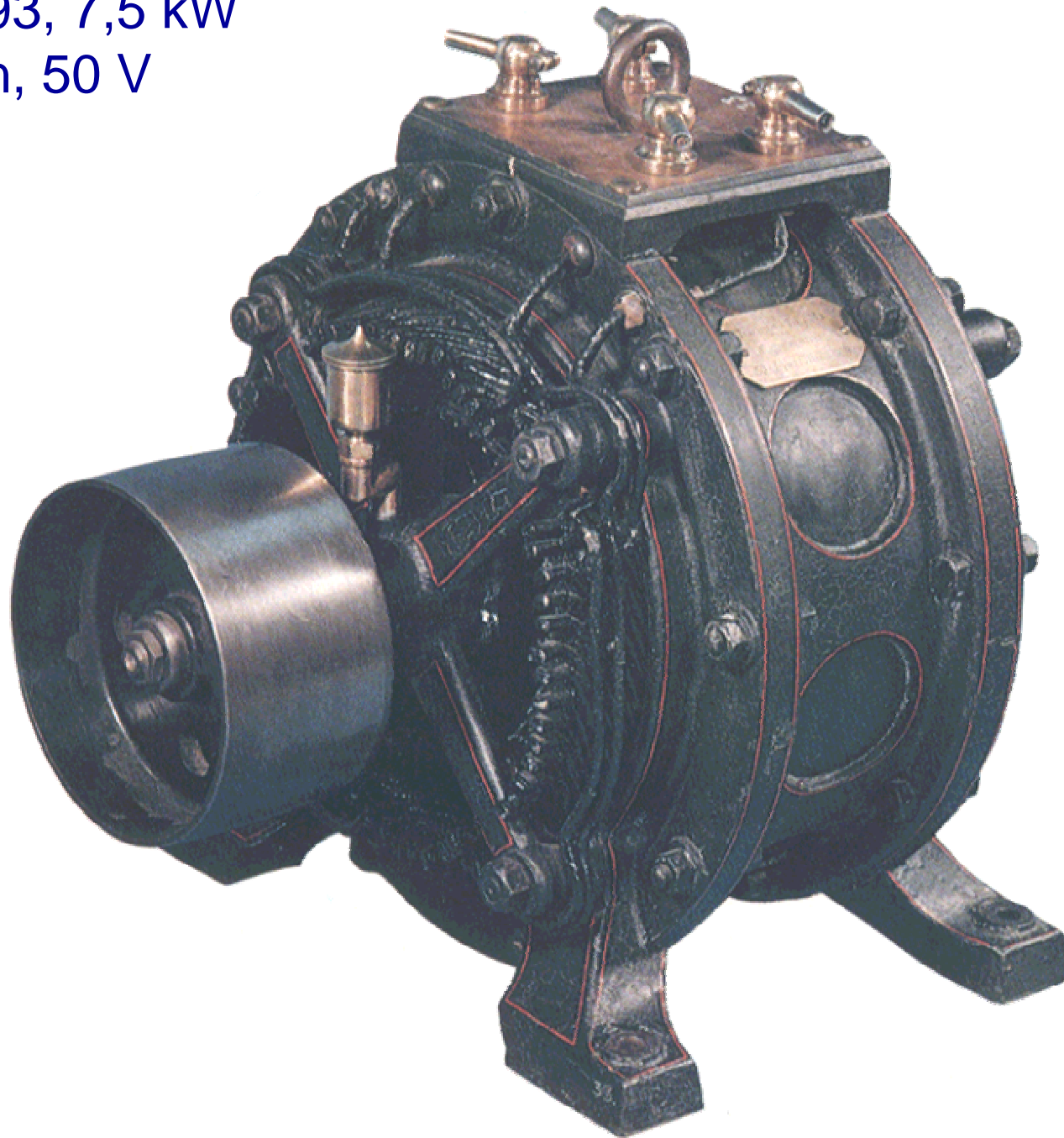


# Les machines asynchrones



Mat de 1893, 7,5 kW  
1700 tr/min, 50 V



Mat 0,75 kW

1933-1946

1946-1961

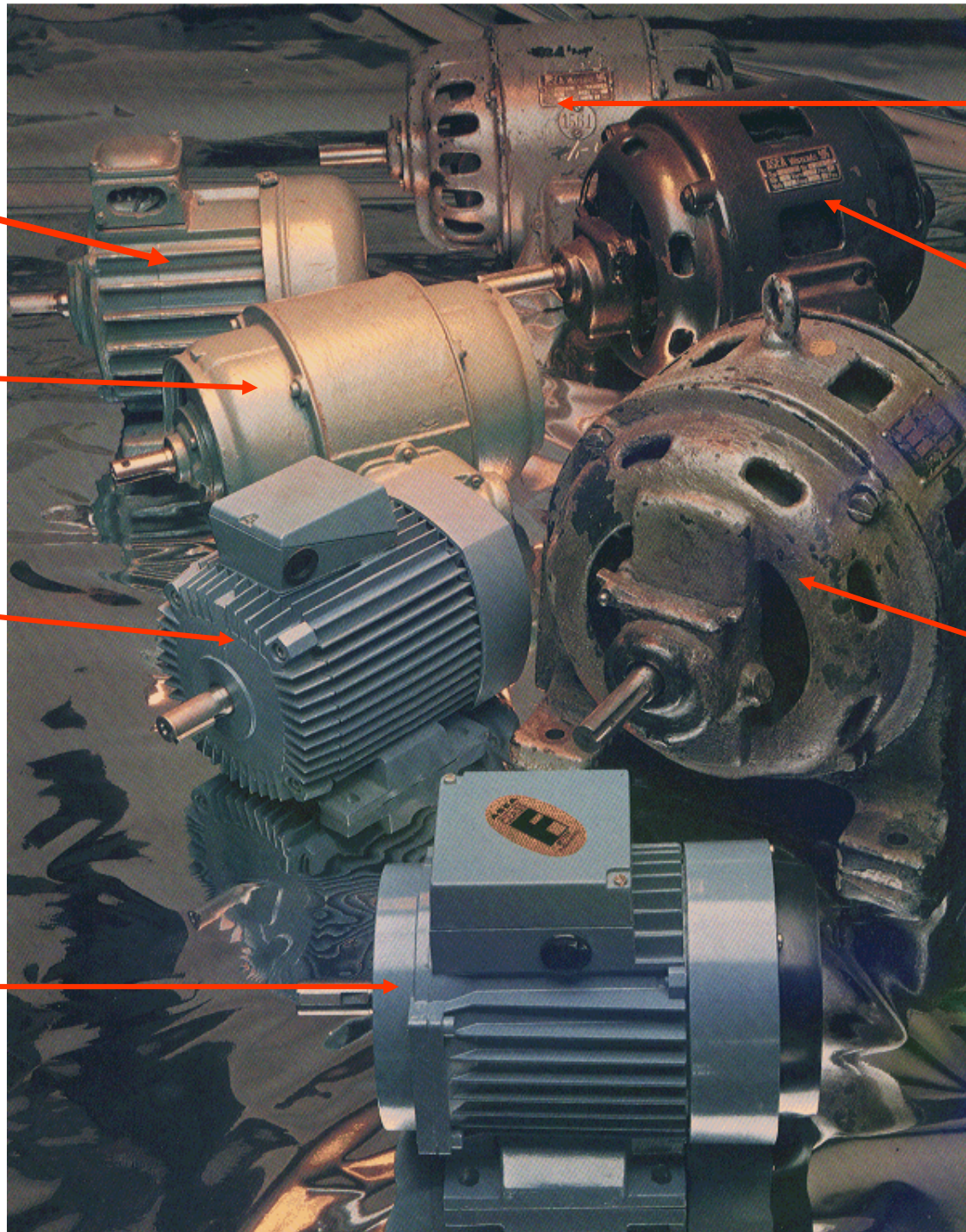
1961-1970

1970-...

1922-1933

1912-1922

1905-1912





# Les machines asynchrones



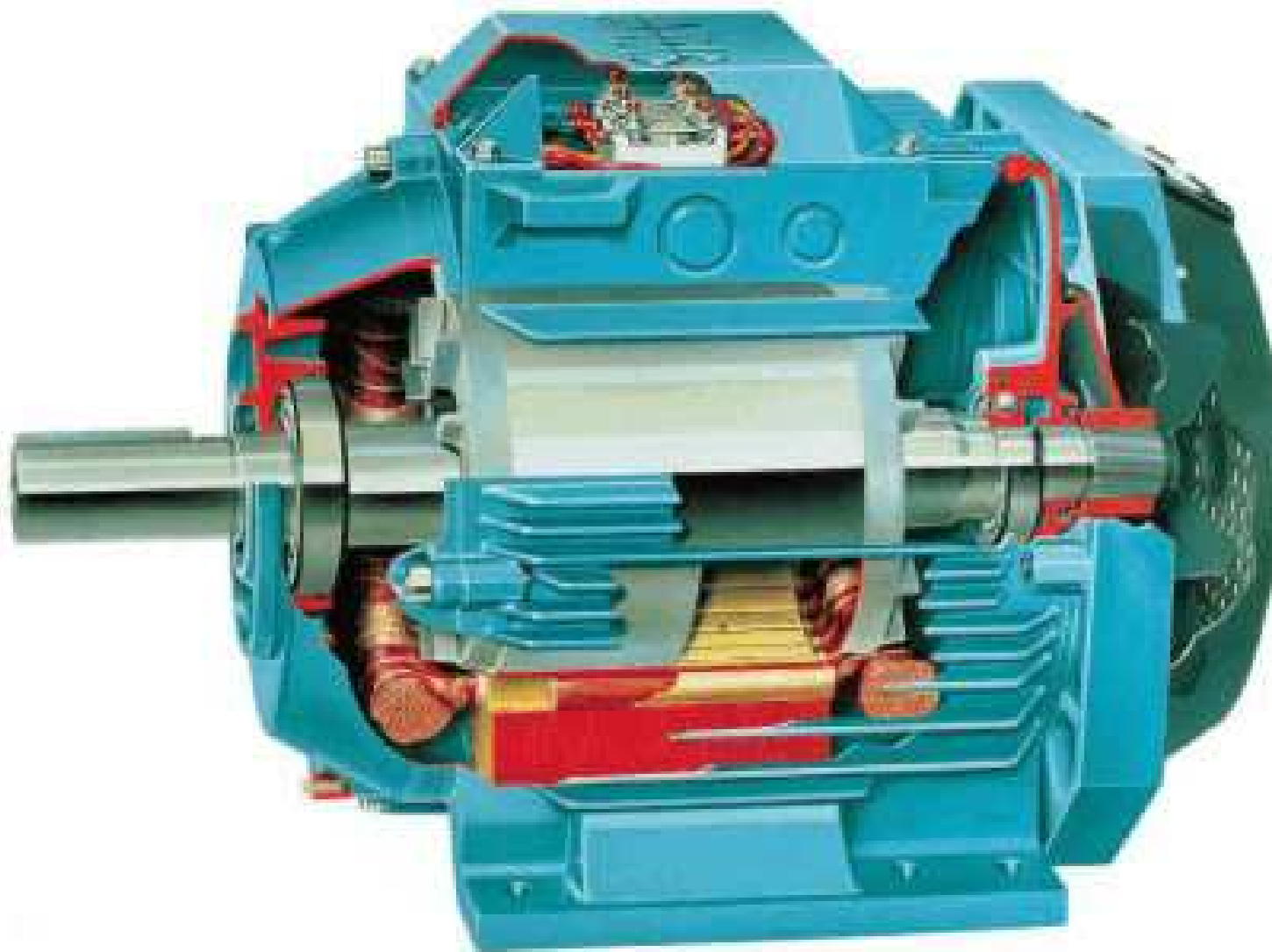
Les machines asynchrones sont surtout utilisées comme moteurs.

**80% des moteurs électriques sont des moteurs asynchrones**

Les moteurs asynchrones sont très robustes

Leur gamme de puissance s'étale de quelques watts à une dizaine de mégawatts.

# Constitution de la machine asynchrone

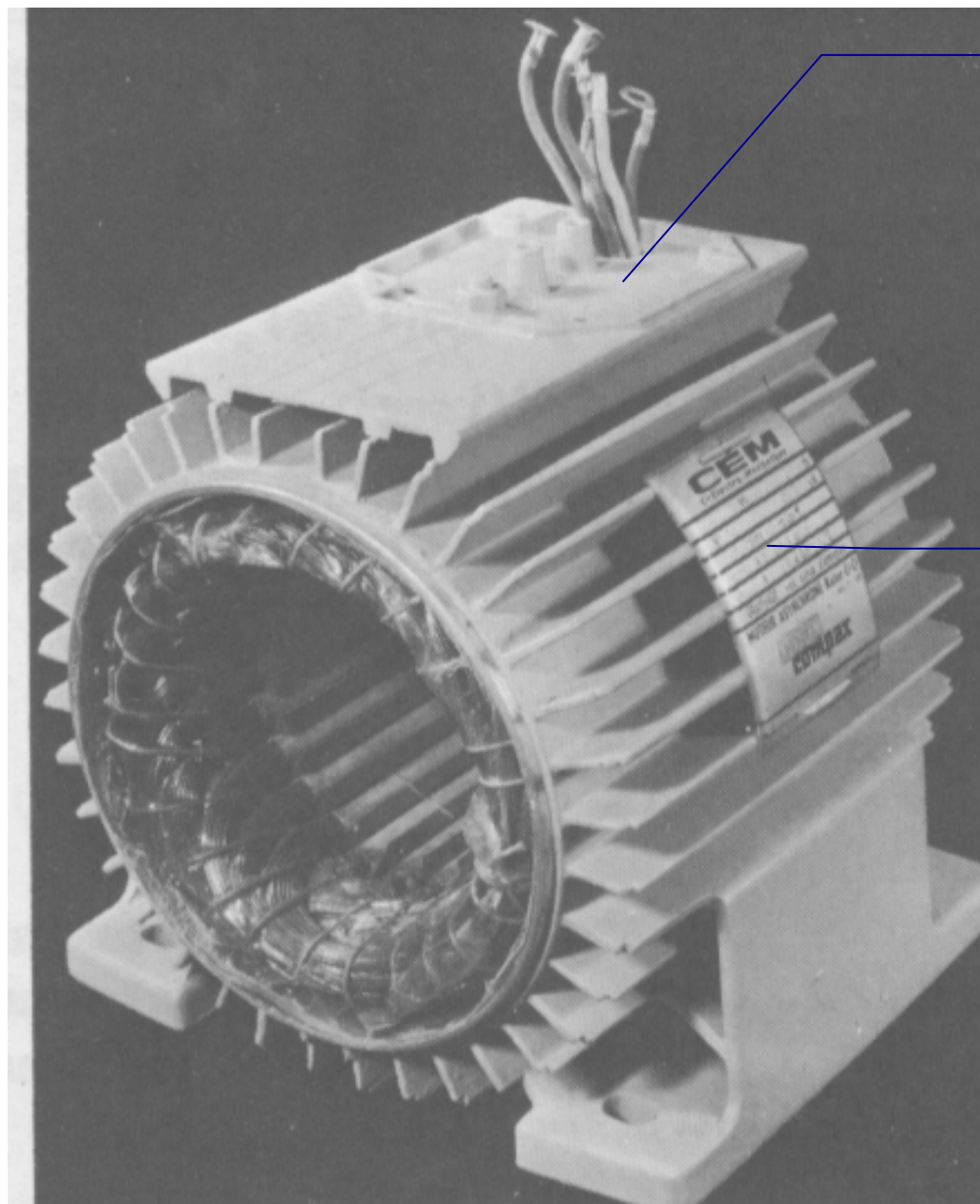


La machine asynchrone est constituée d'un stator semblable à celui d'une machine synchrone.

Ce stator, alimenté par des courants triphasés, produit un champ magnétique tournant (cf th de Ferraris).

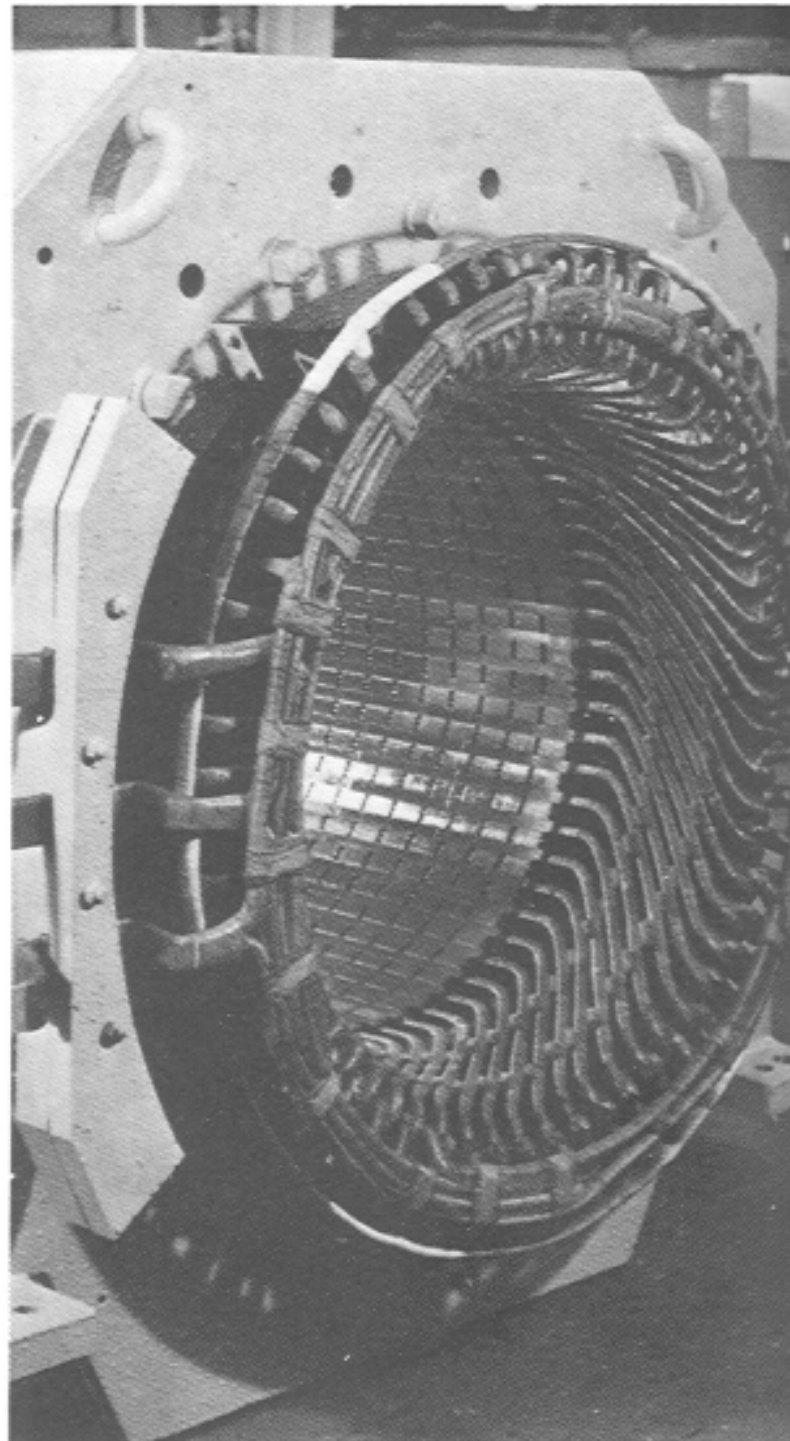
**Le stator**



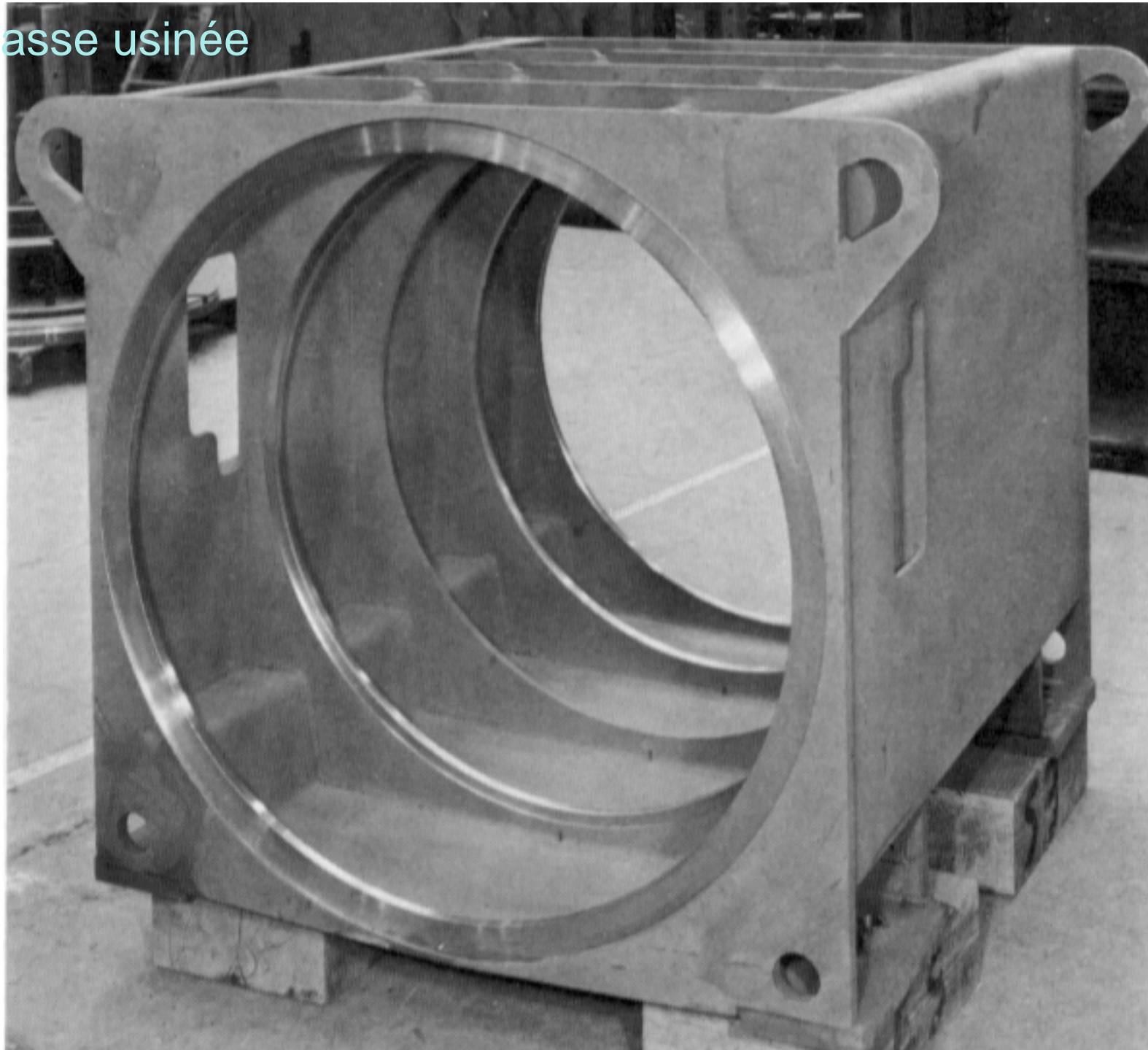


Plaque à bornes

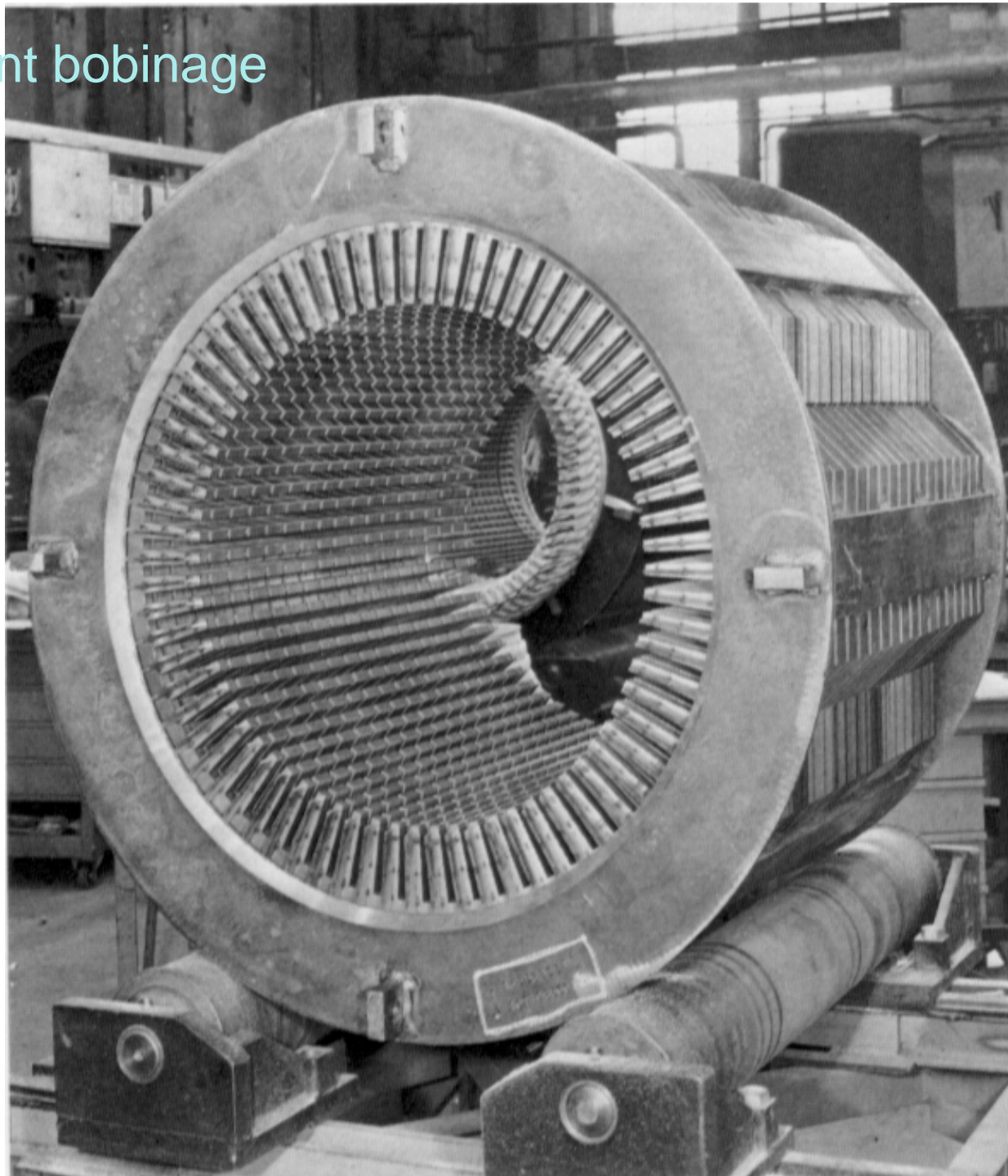
Plaque signalétique



Carcasse usinée

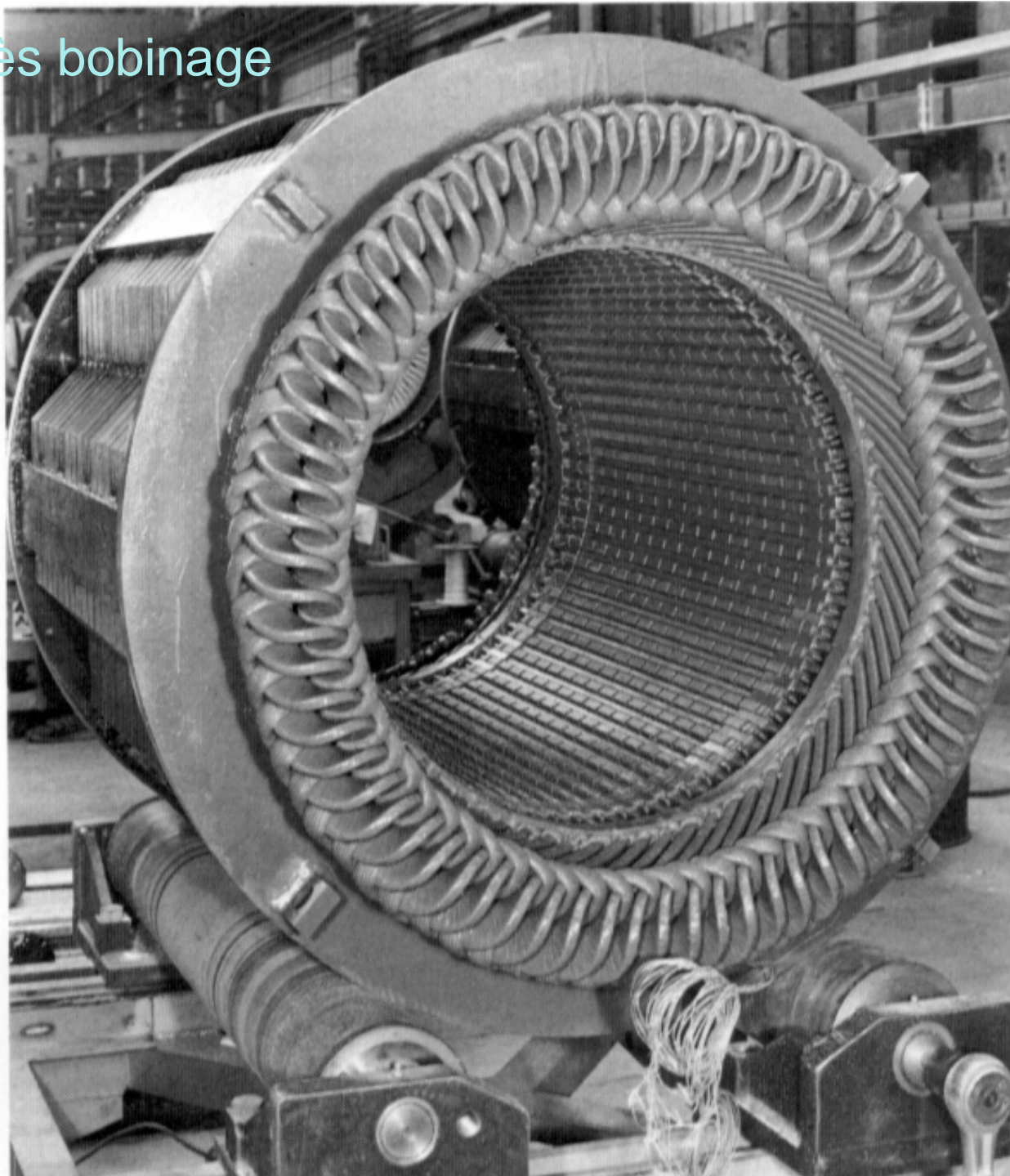


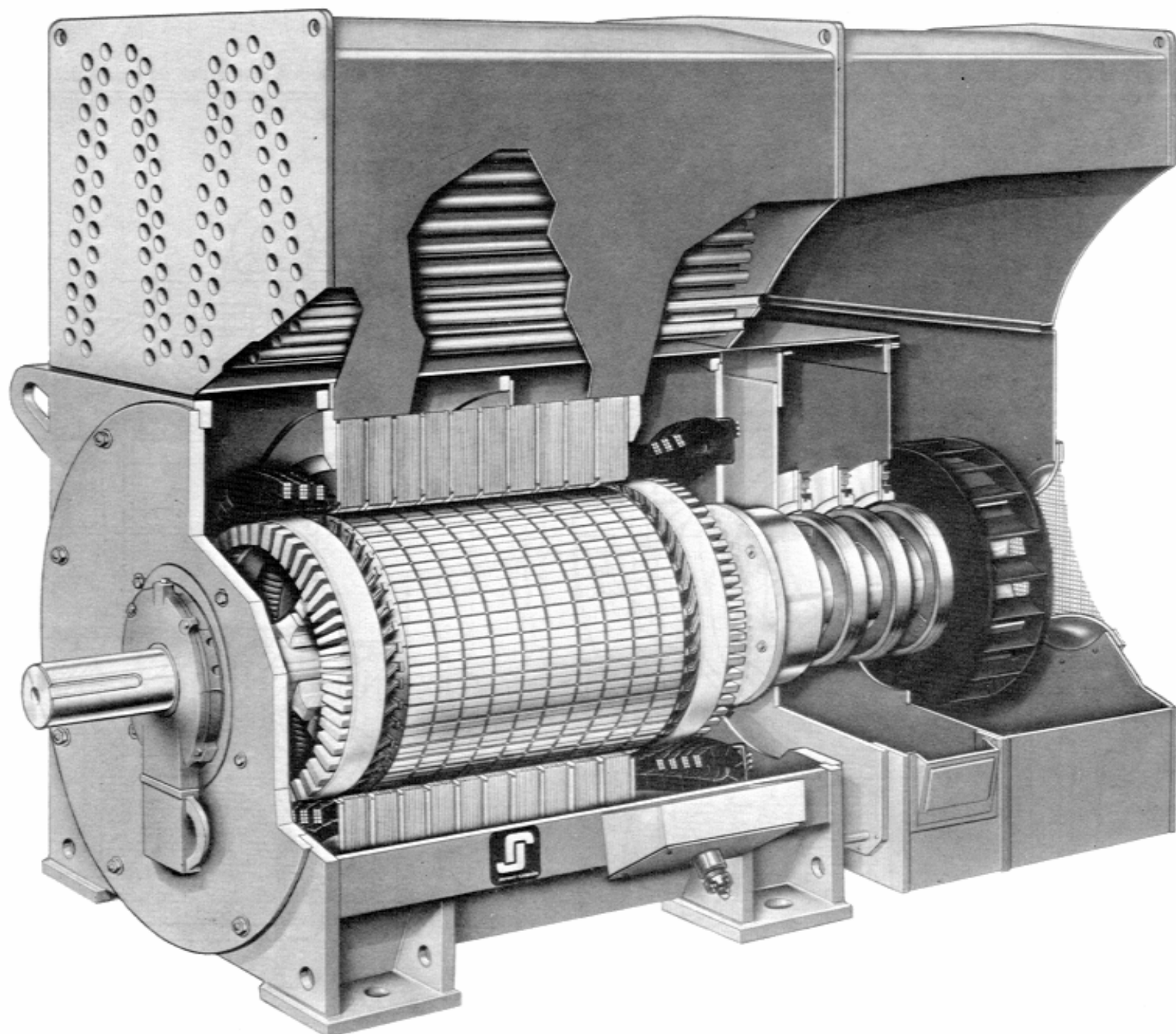
Stator avant bobinage





Stator après bobinage





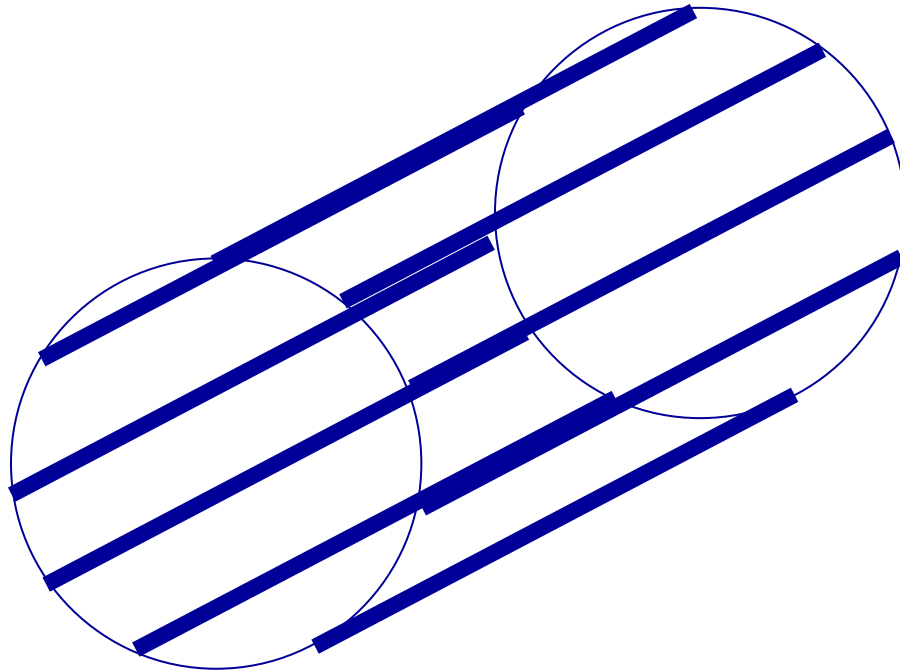




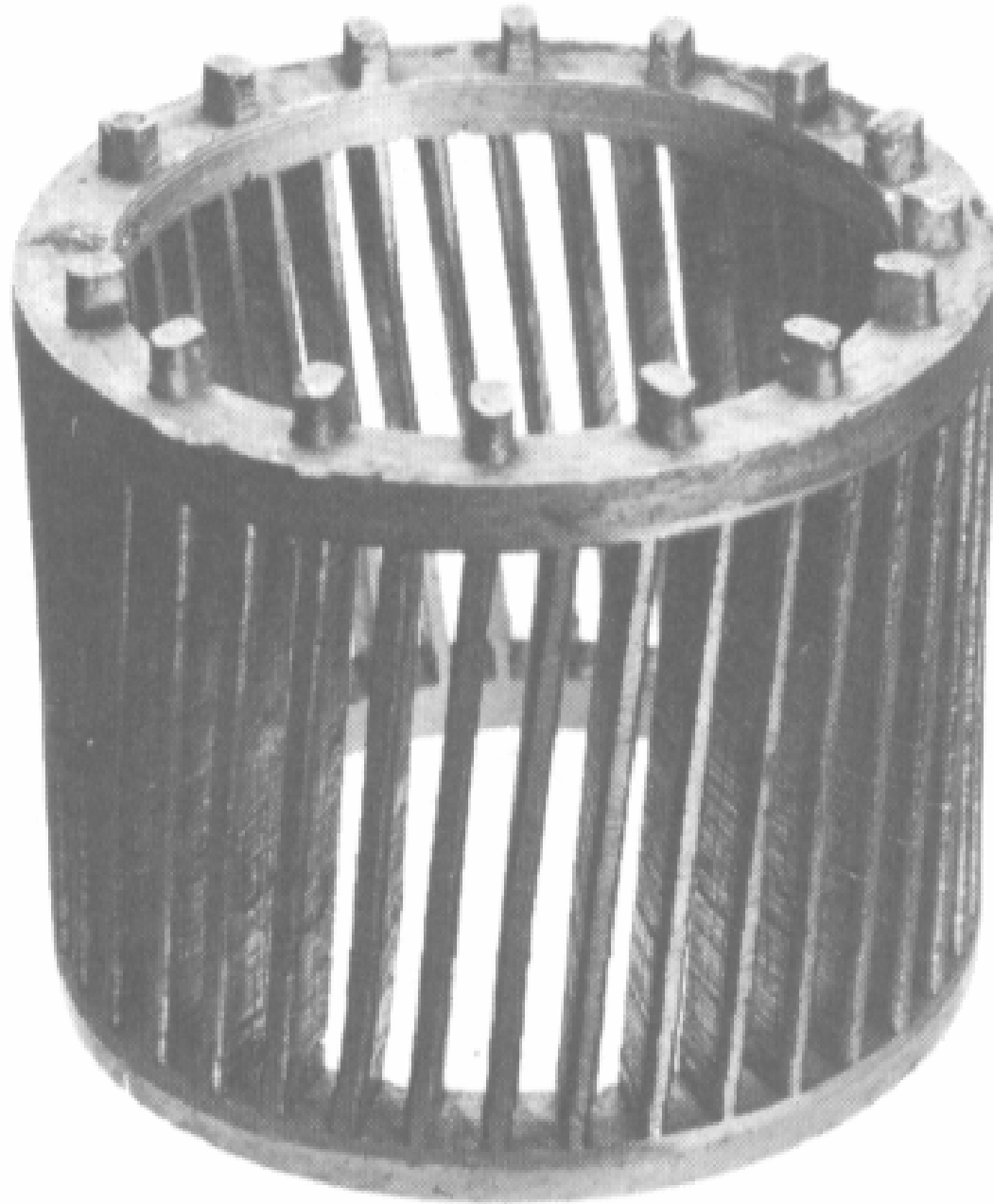
**Le rotor**

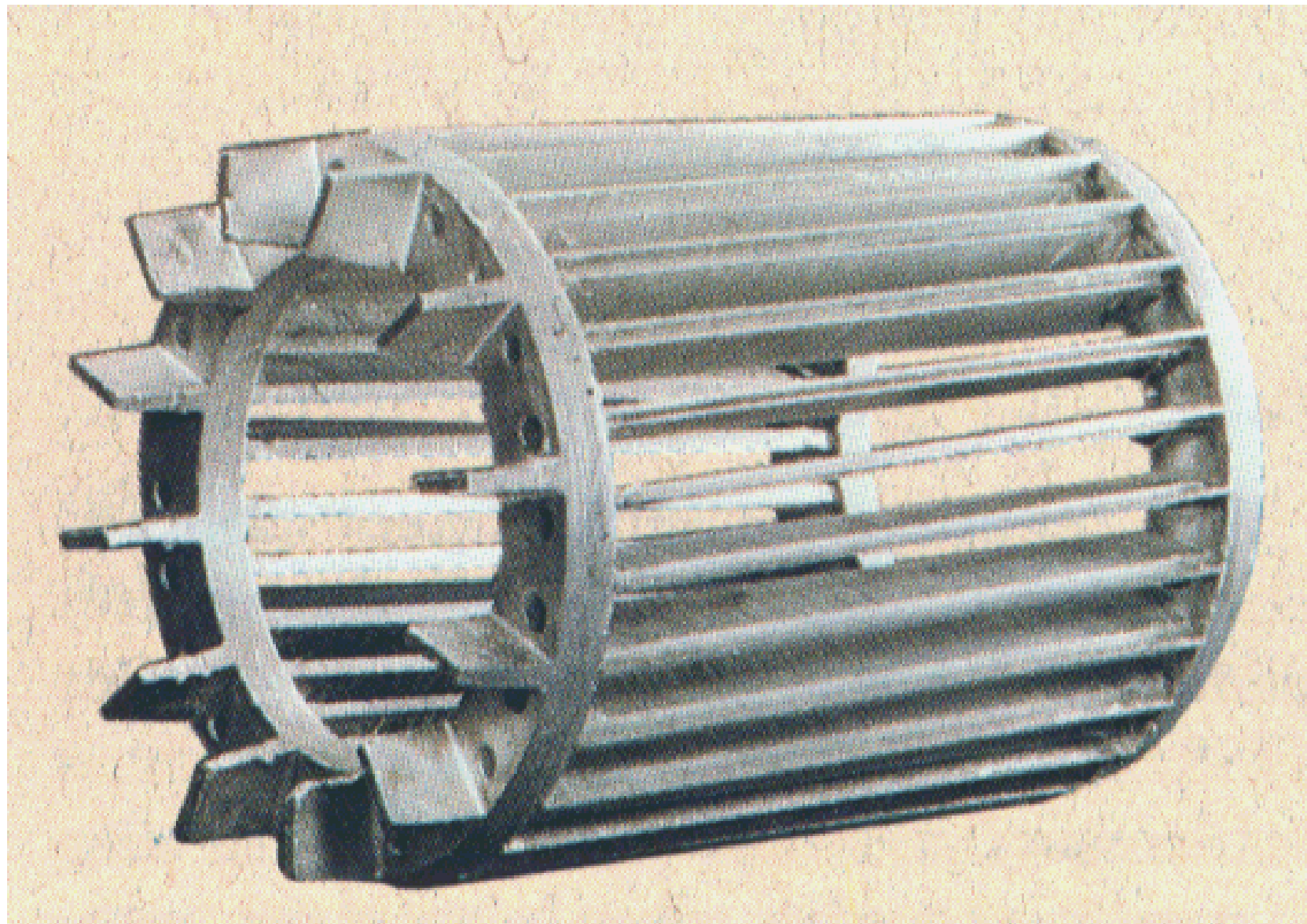
## Rotor en cage d 'écureuil

Le rotor est constitué d 'un ensemble de conducteurs en court-circuit appelé « cage d 'écureuil »

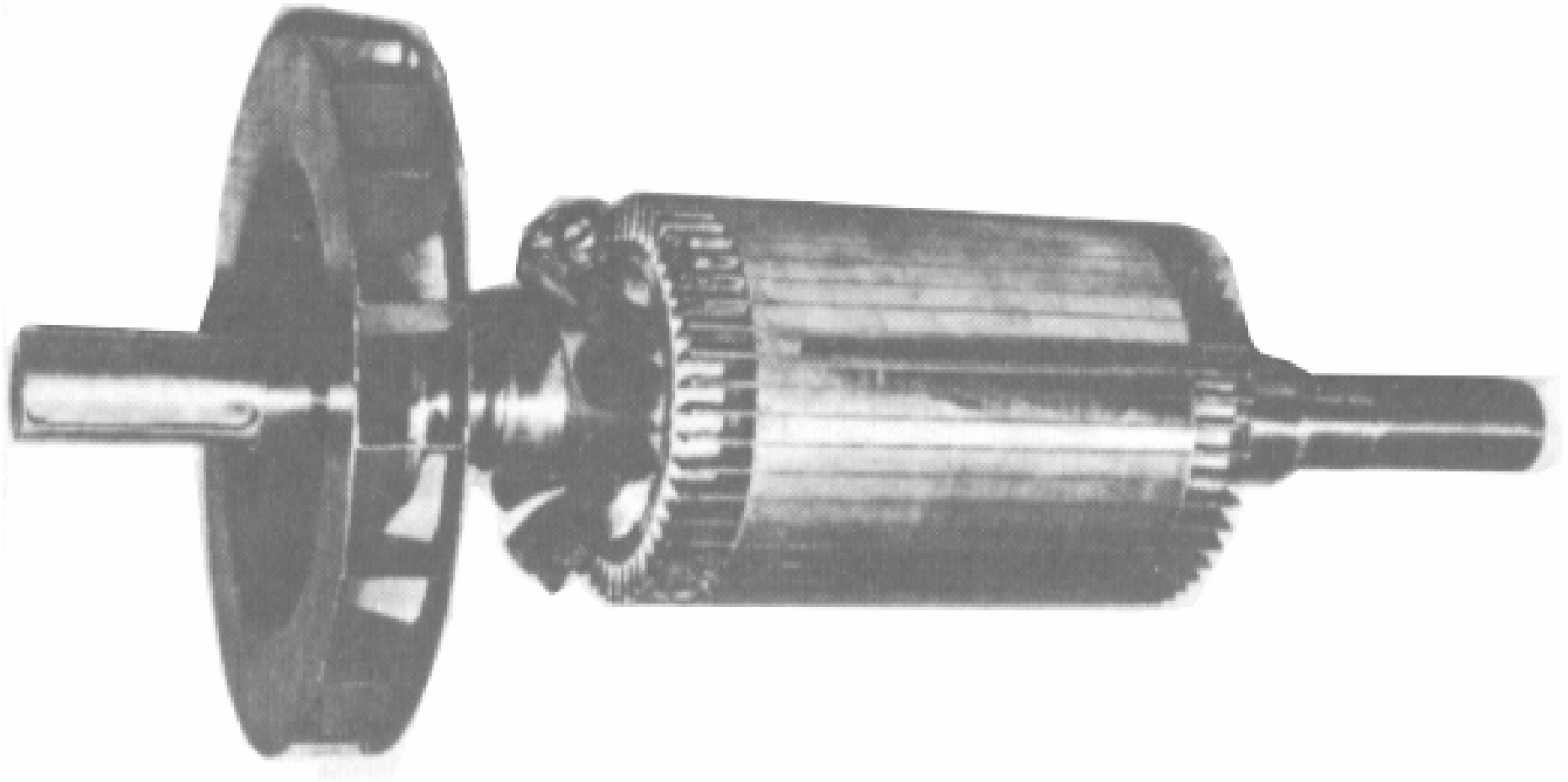


Cage d'écureuil en aluminium moulé

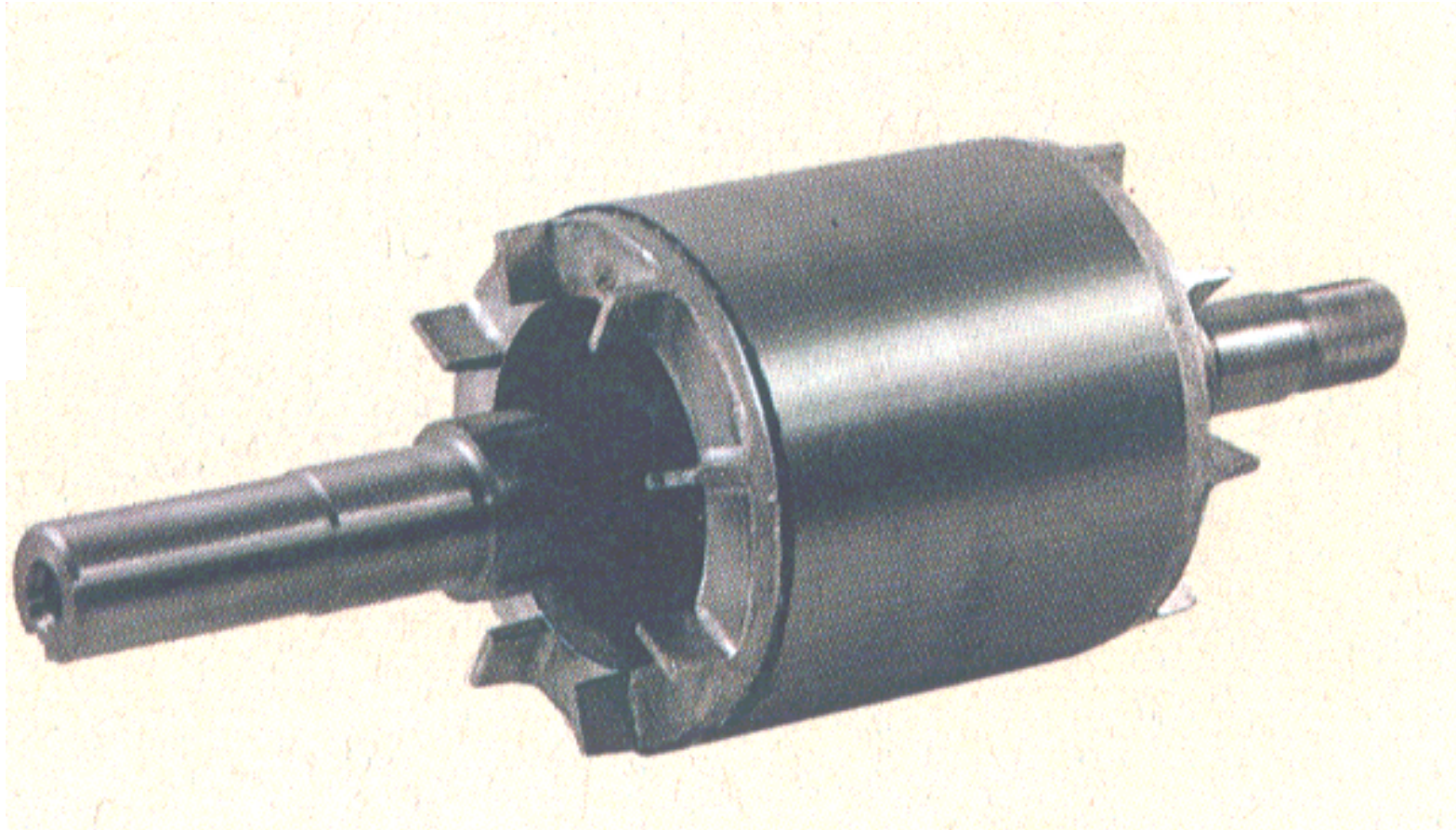


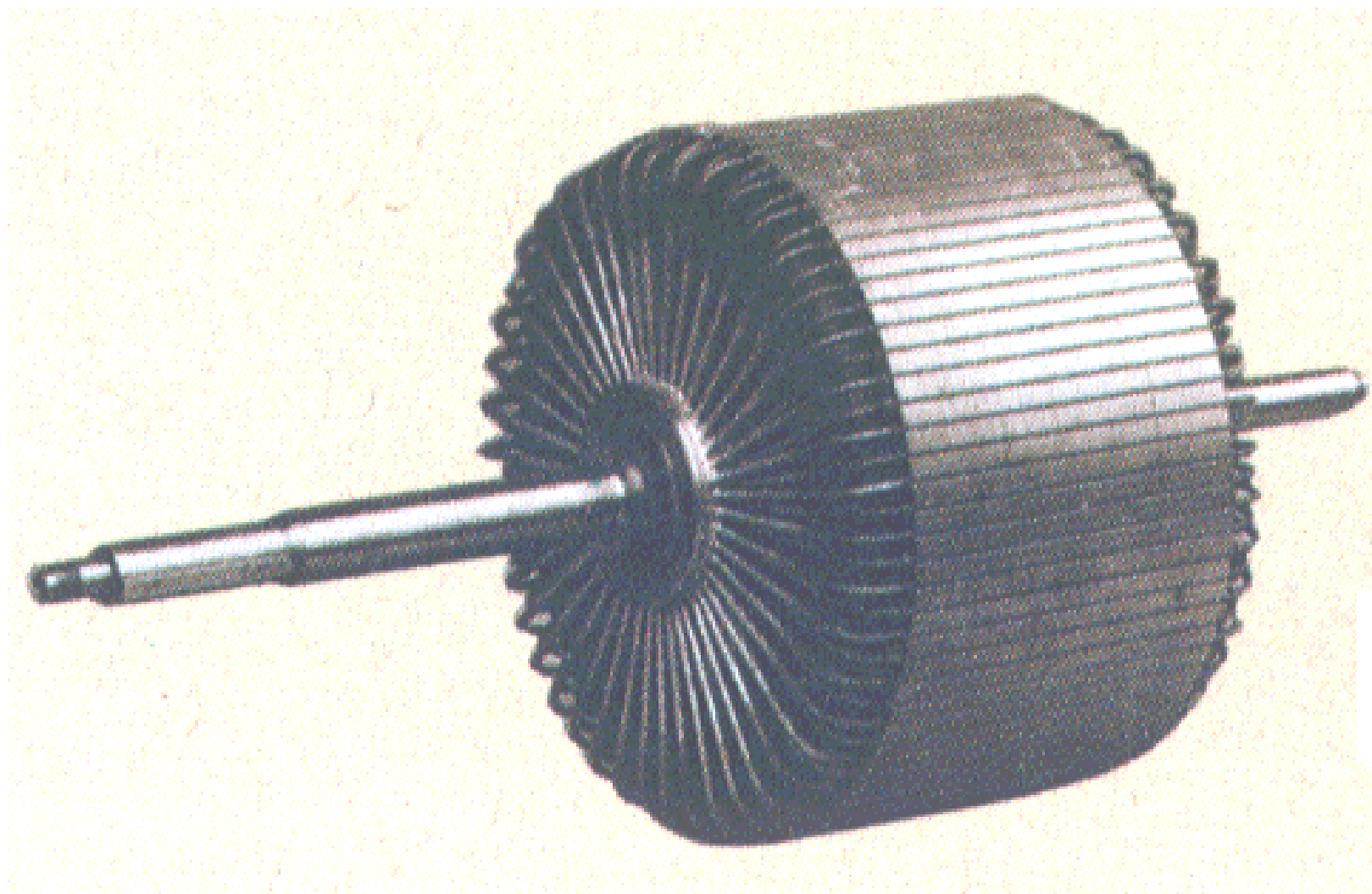


## Rotor en cage d'écureuil



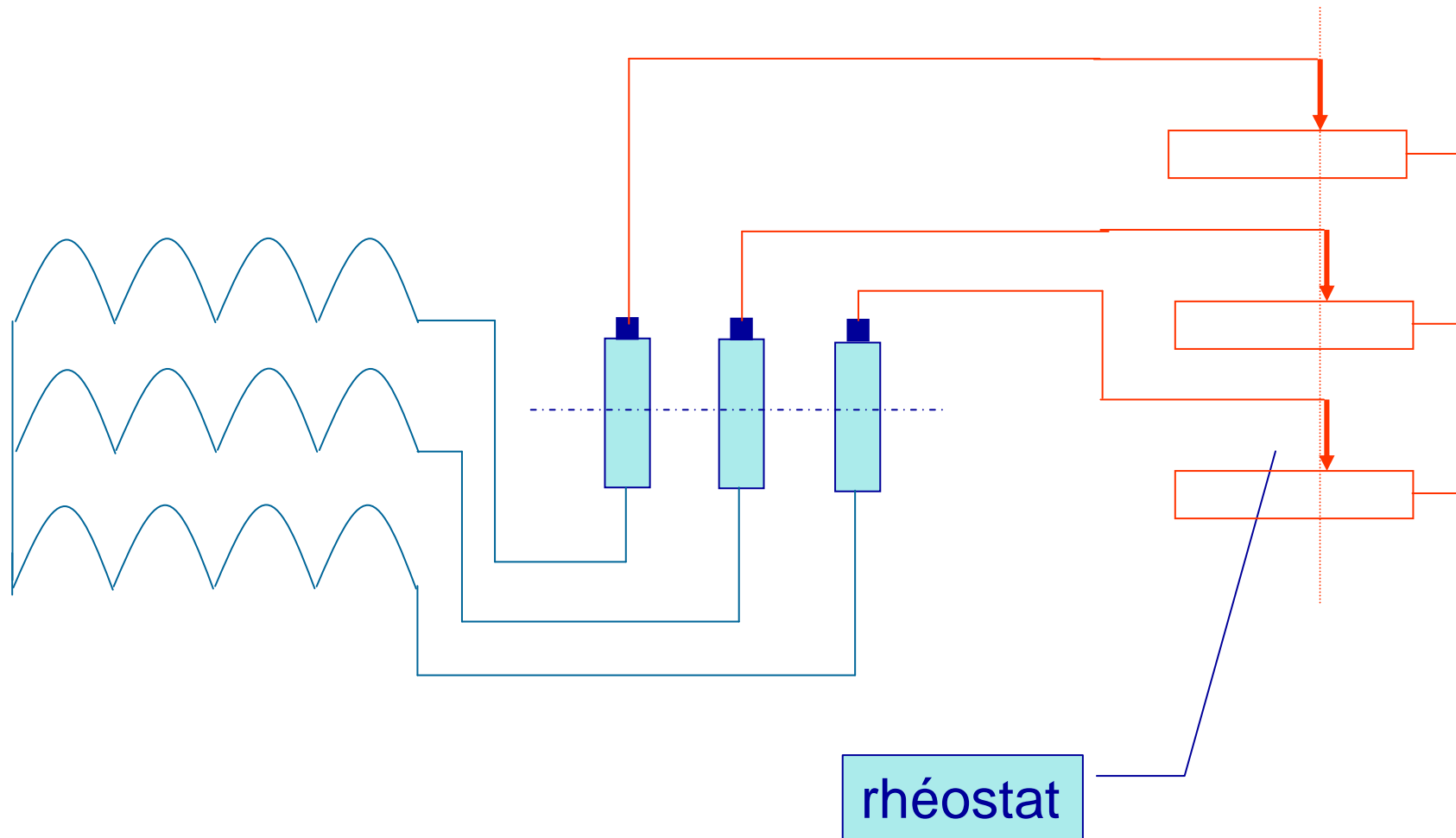








## Rotor bobiné





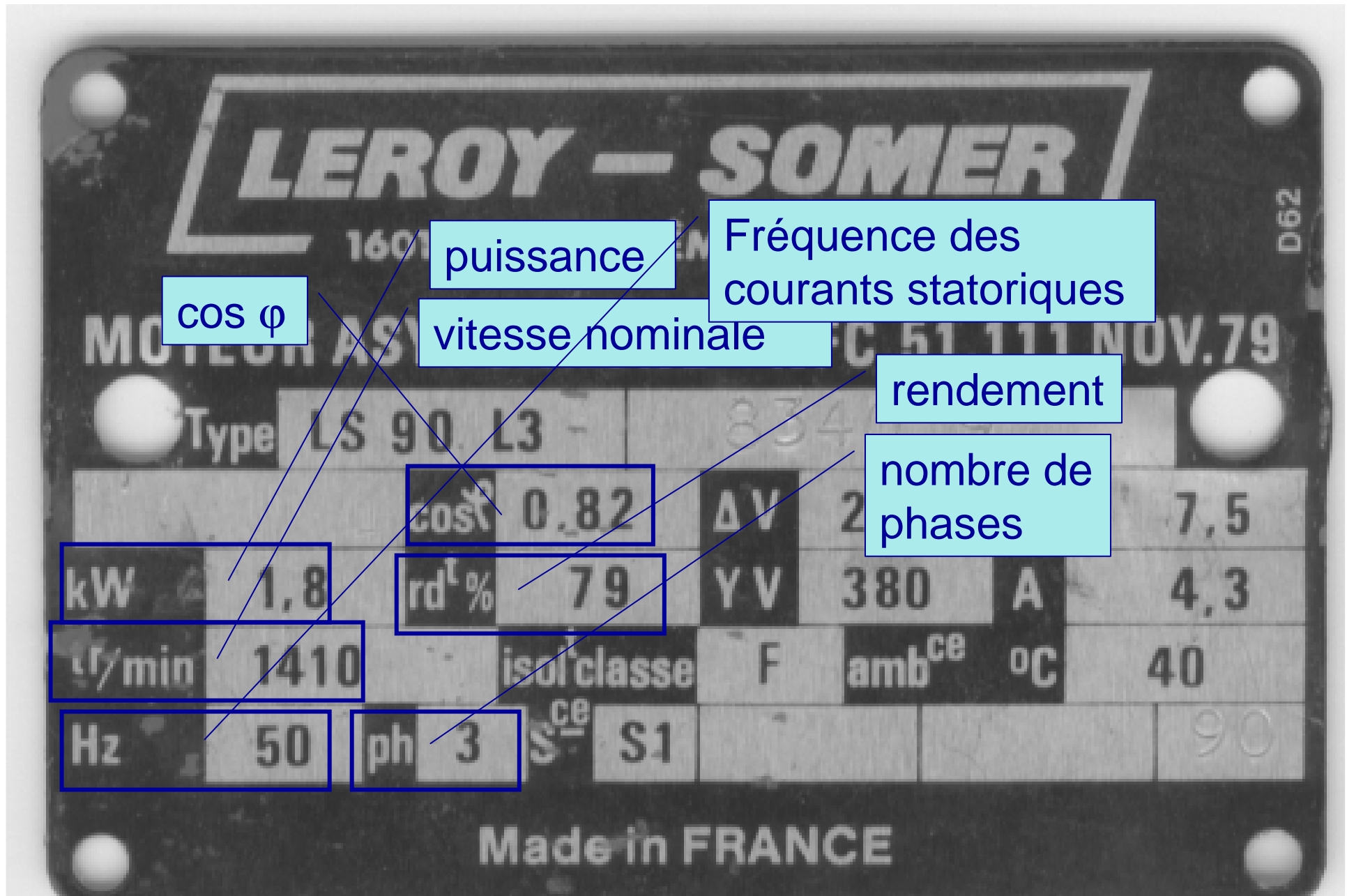
les 3 bagues  
d'un rotor bobiné





# La plaque signalétique

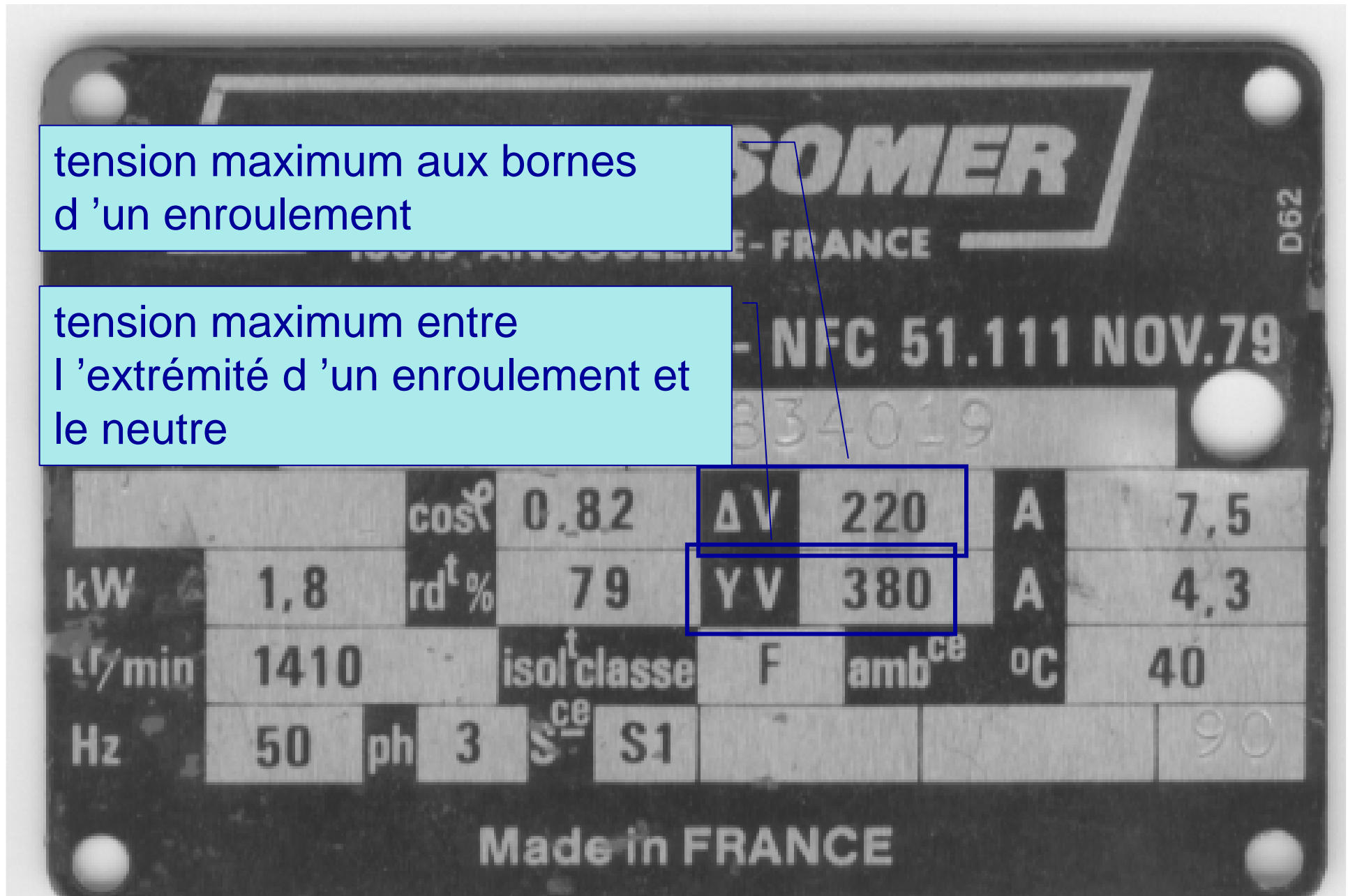
## Plaque signalétique



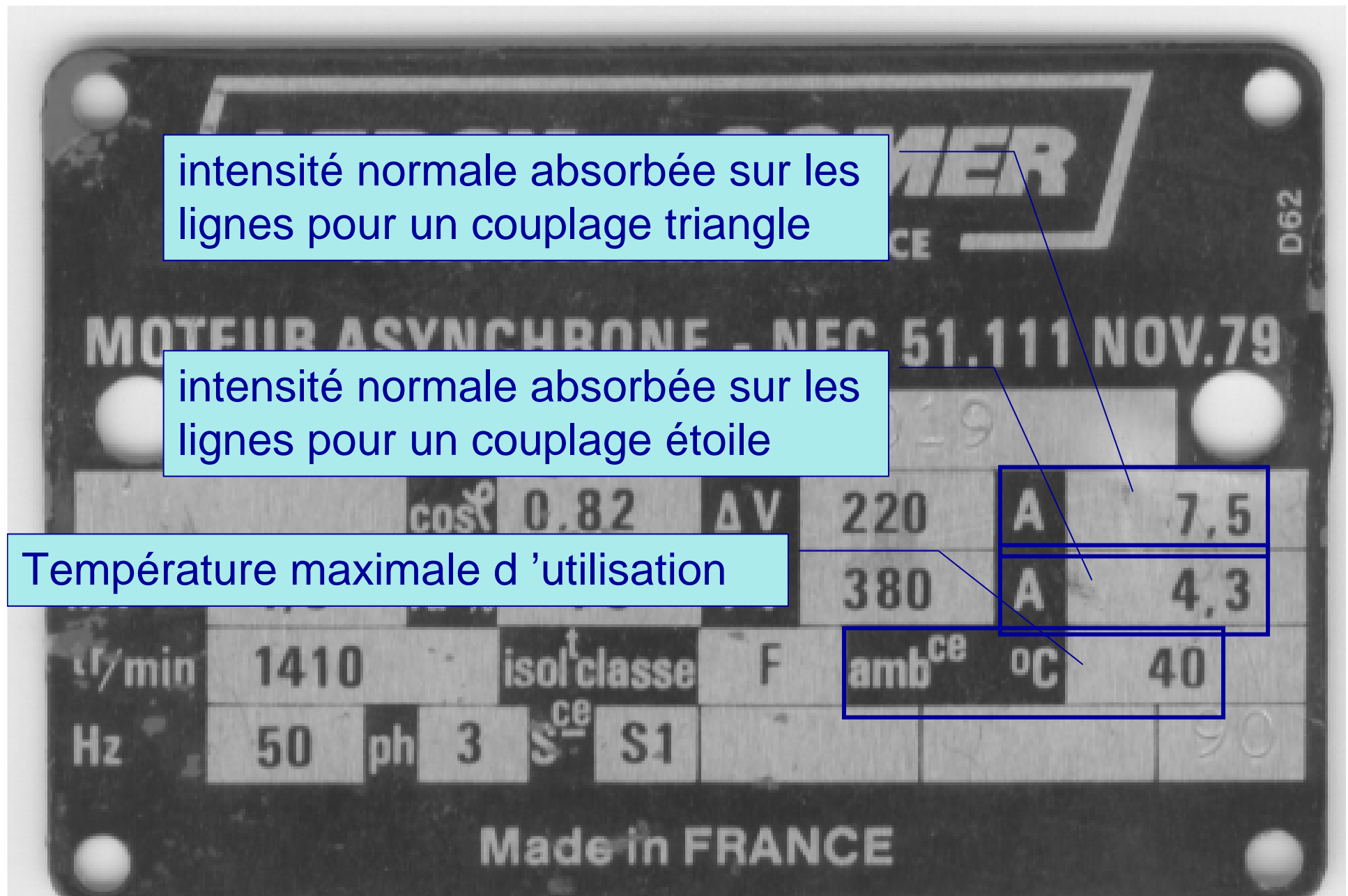
## Plaque signalétique

tension maximum aux bornes  
d'un enroulement

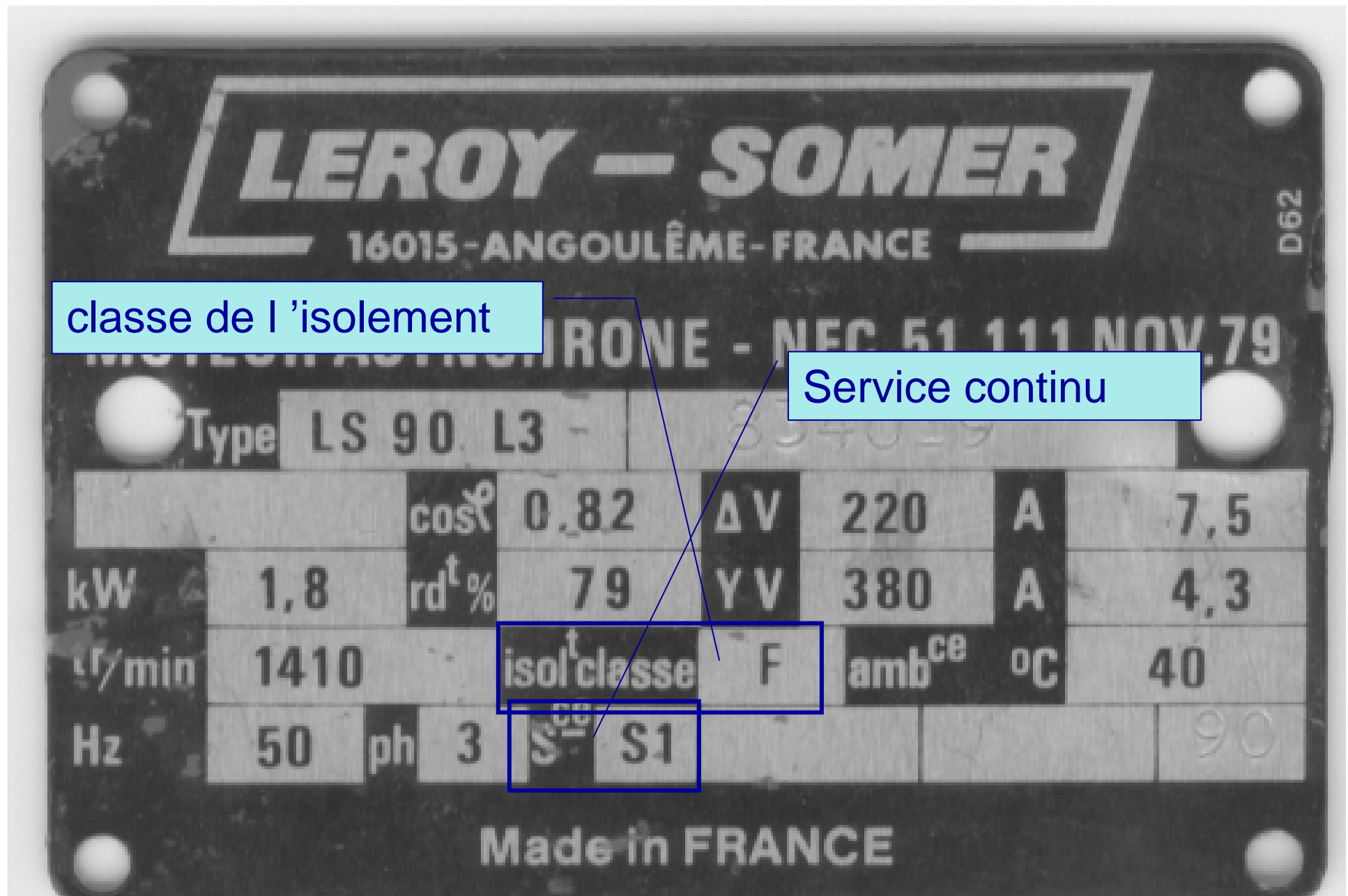
tension maximum entre  
l'extrémité d'un enroulement et  
le neutre



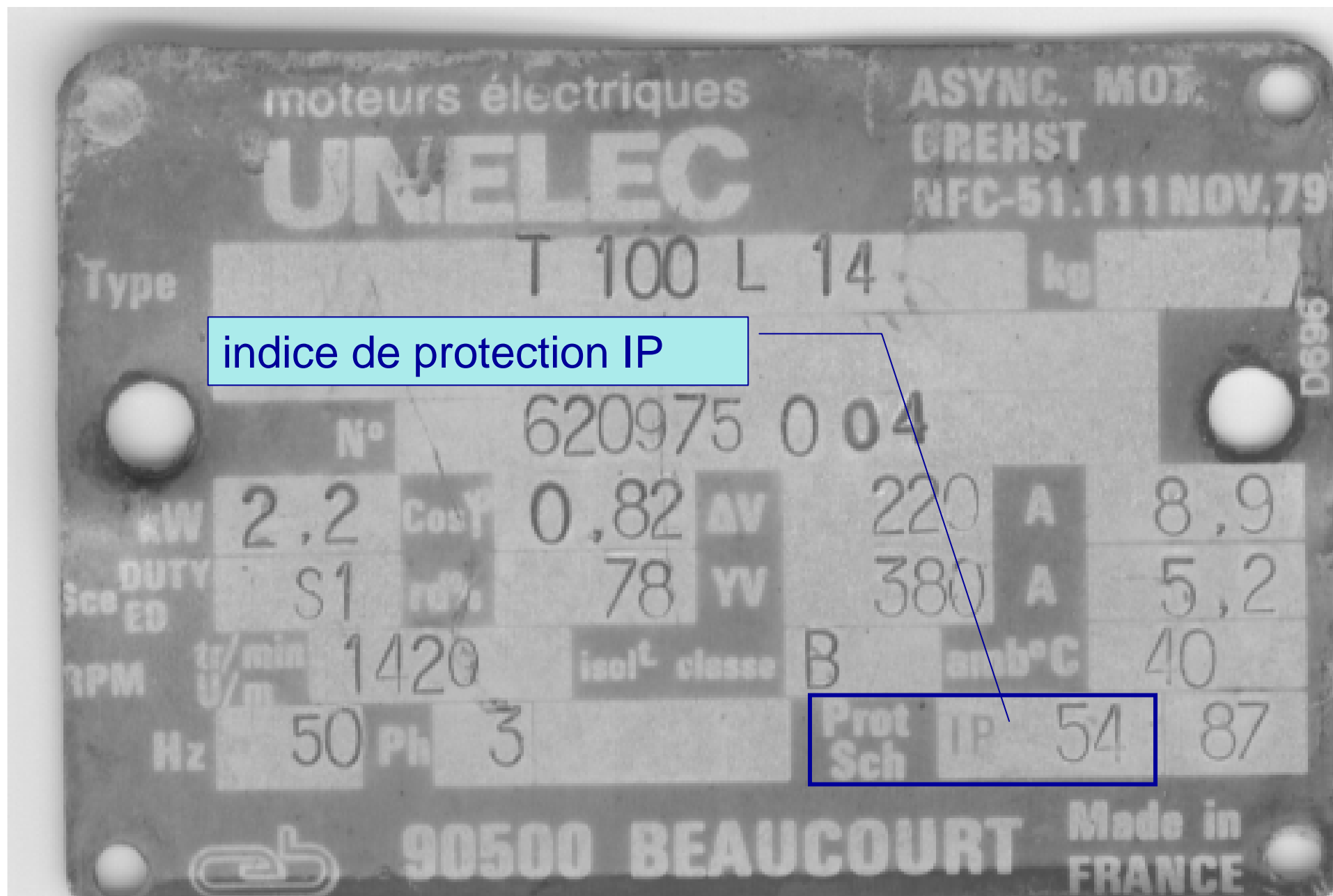
## Plaque signalétique



## Plaque signalétique



## Plaque signalétique





## Indice de protection IP

premier chiffre = degré de protection des personnes contre l'accès aux parties dangereuses et la protection des matériels contre la pénétration des corps étrangers

deuxième chiffre = degré de protection contre les effets nuisibles de la pénétration de l'eau

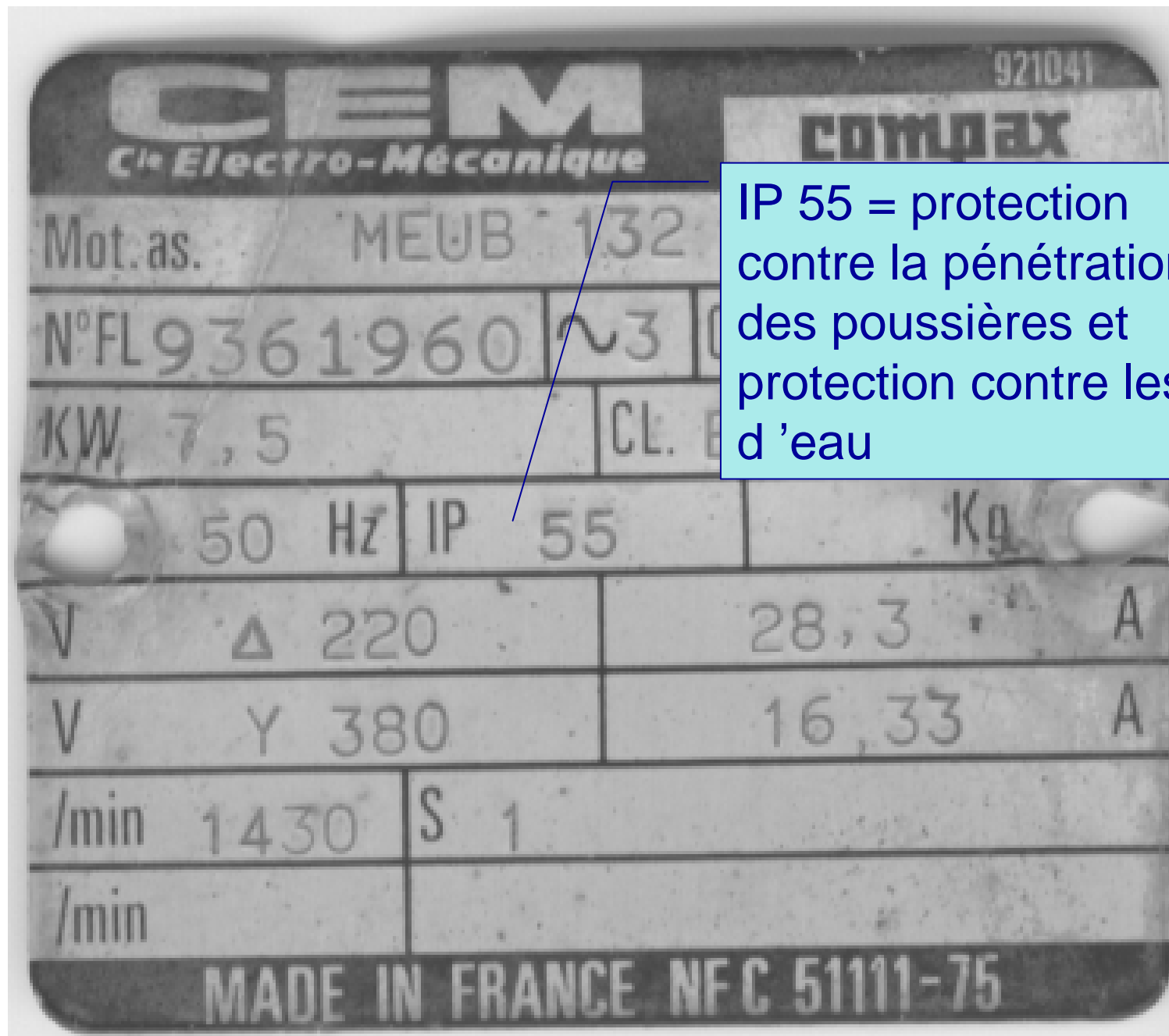
protection maximum = IP 66

IP 54 = protection contre la pénétration des poussières et protection contre les projections d'eau

## Plaque signalétique

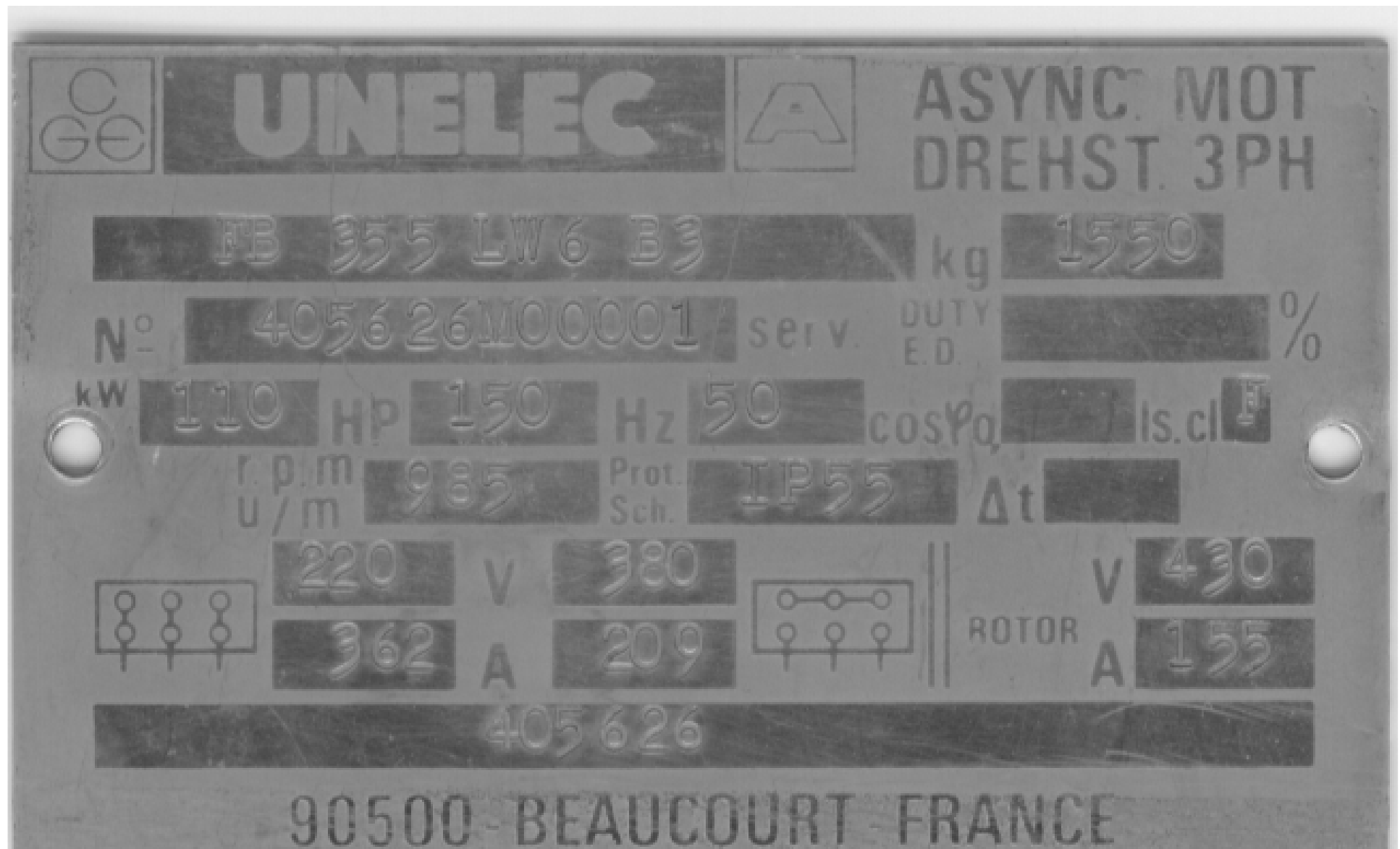
<b>CEM</b> Ch. Electro-Mécanique			921041		
<b>compax</b>					
Mot.as. MEUB 132 M4					
N°FL 9361960			~3	Cos.φ 0,83	
KW 7,5			CL. E	Δθ 75	K
50	Hz	IP 55	Kg		
V Δ	220	28,3			A
V Y	380	16,33			A
/min	1430	S 1			
/min					
MADE IN FRANCE NFC 5111-75					

## Plaque signalétique

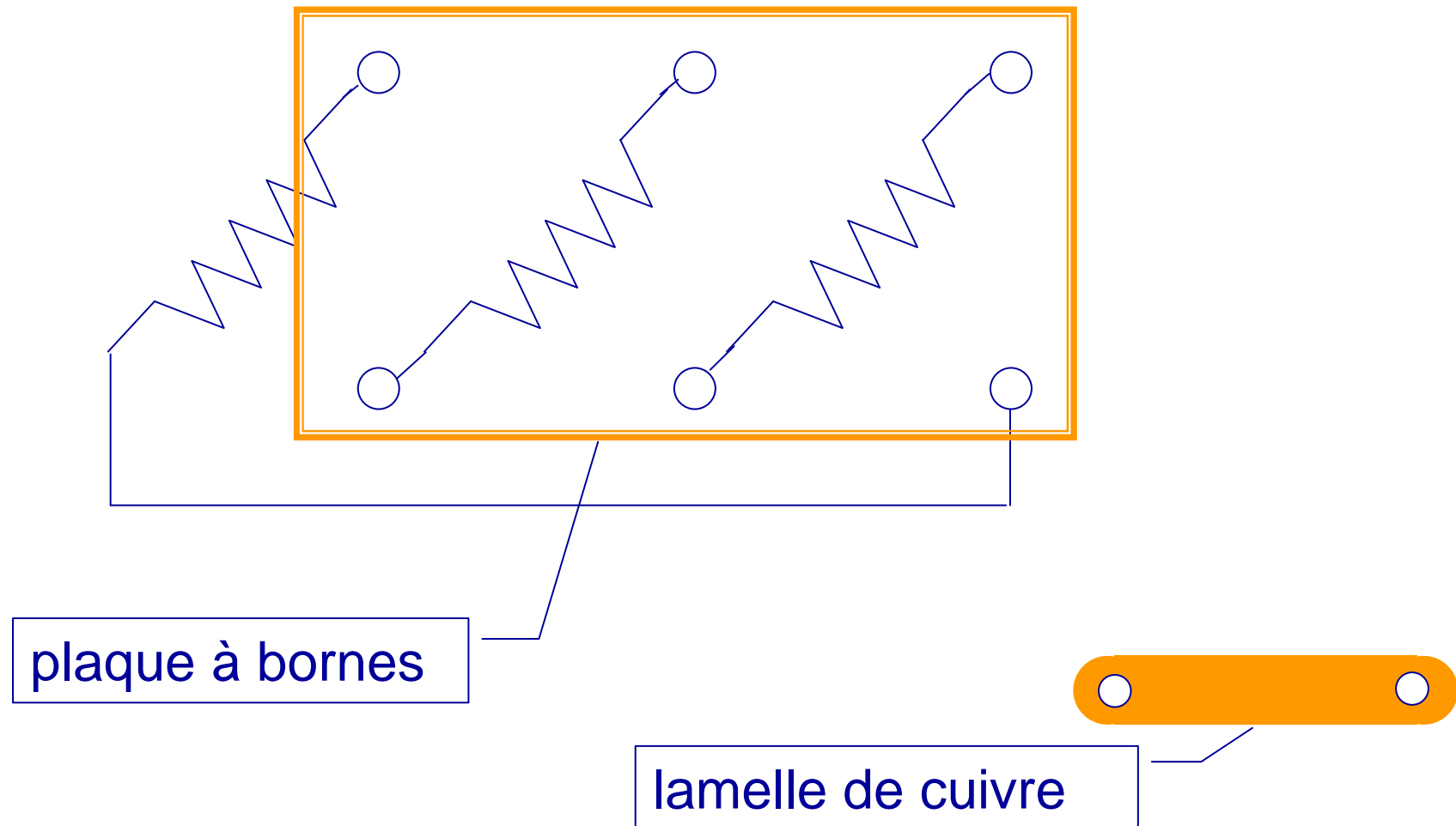


IP 55 = protection  
contre la pénétration  
des poussières et  
protection contre les jets  
d'eau

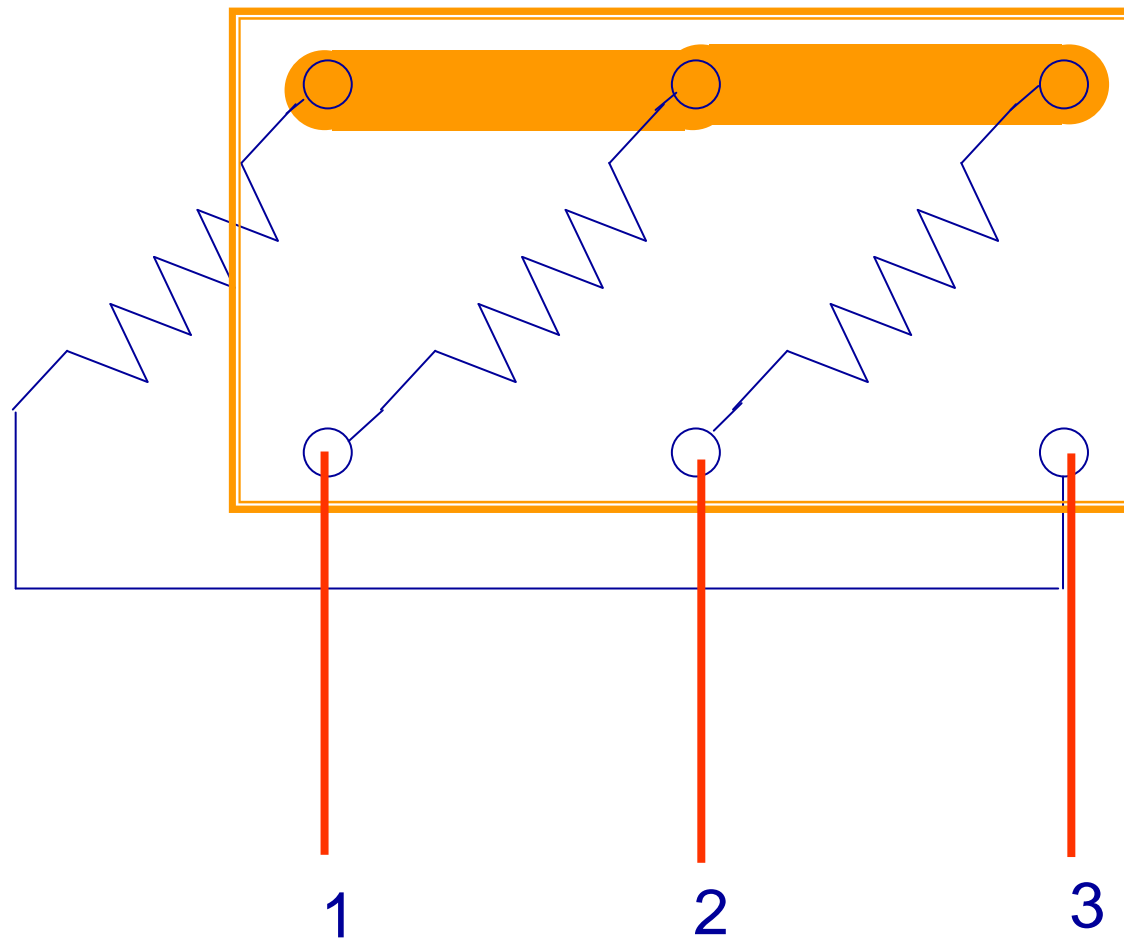
# Plaque signalétique



## Disposition des enroulements du stator à partir de la plaque à bornes

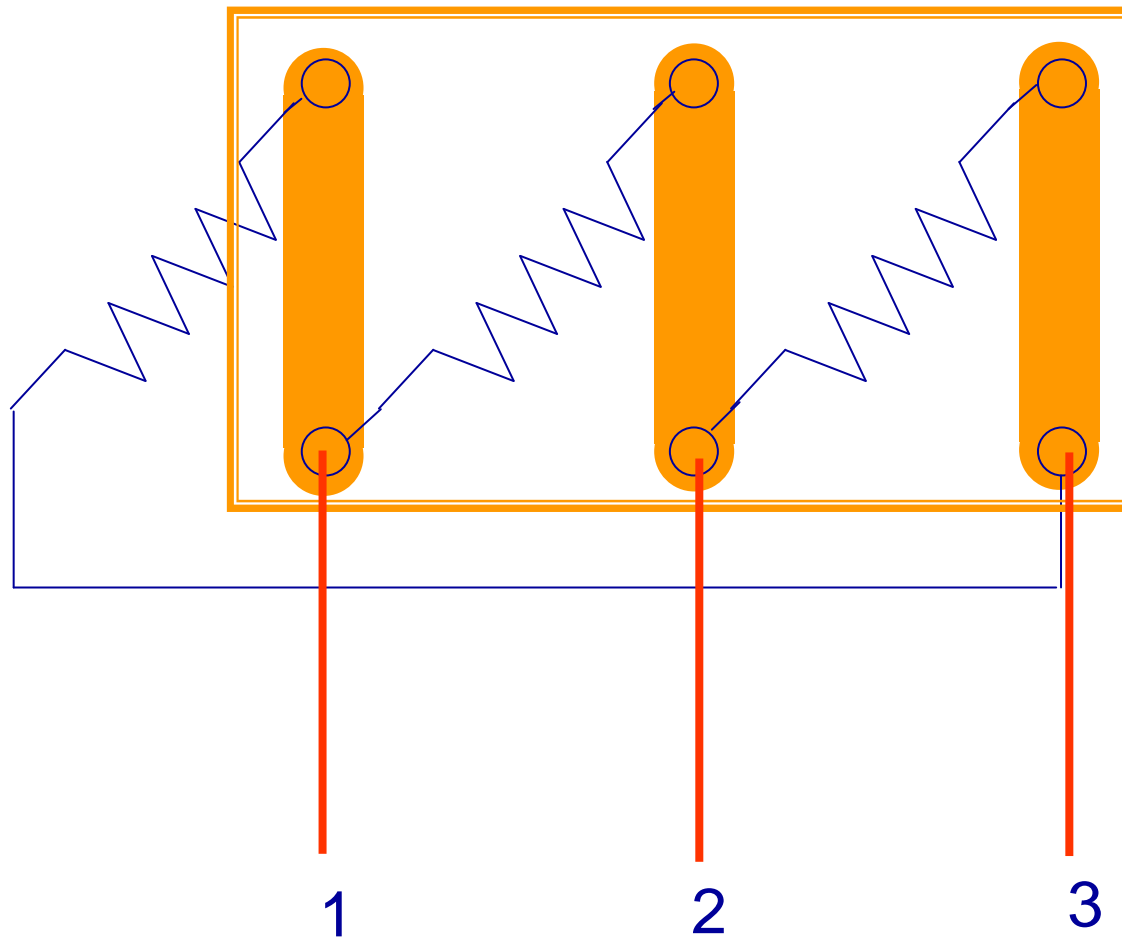


## Couplage en étoile



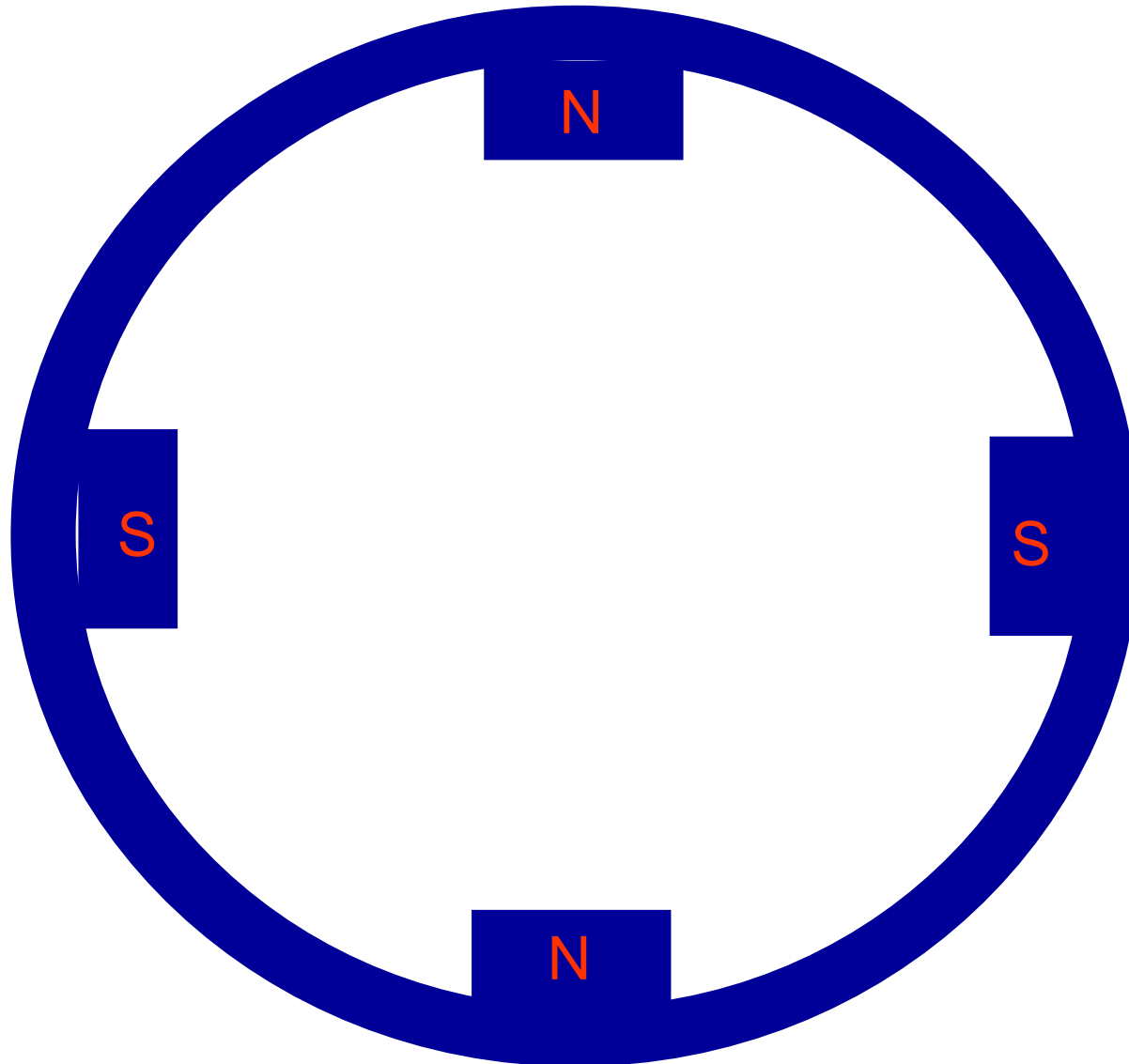


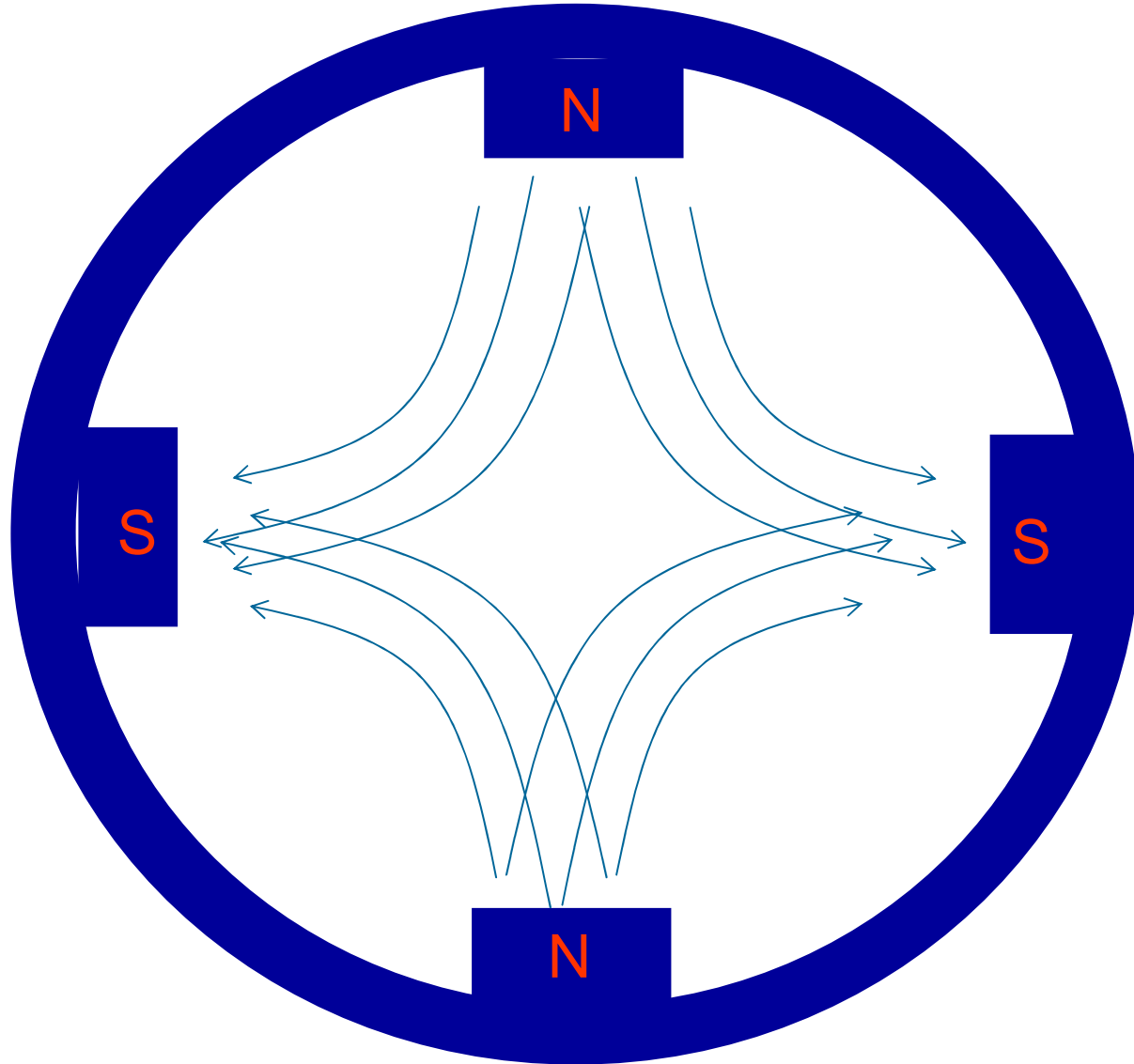
## Couplage en triangle

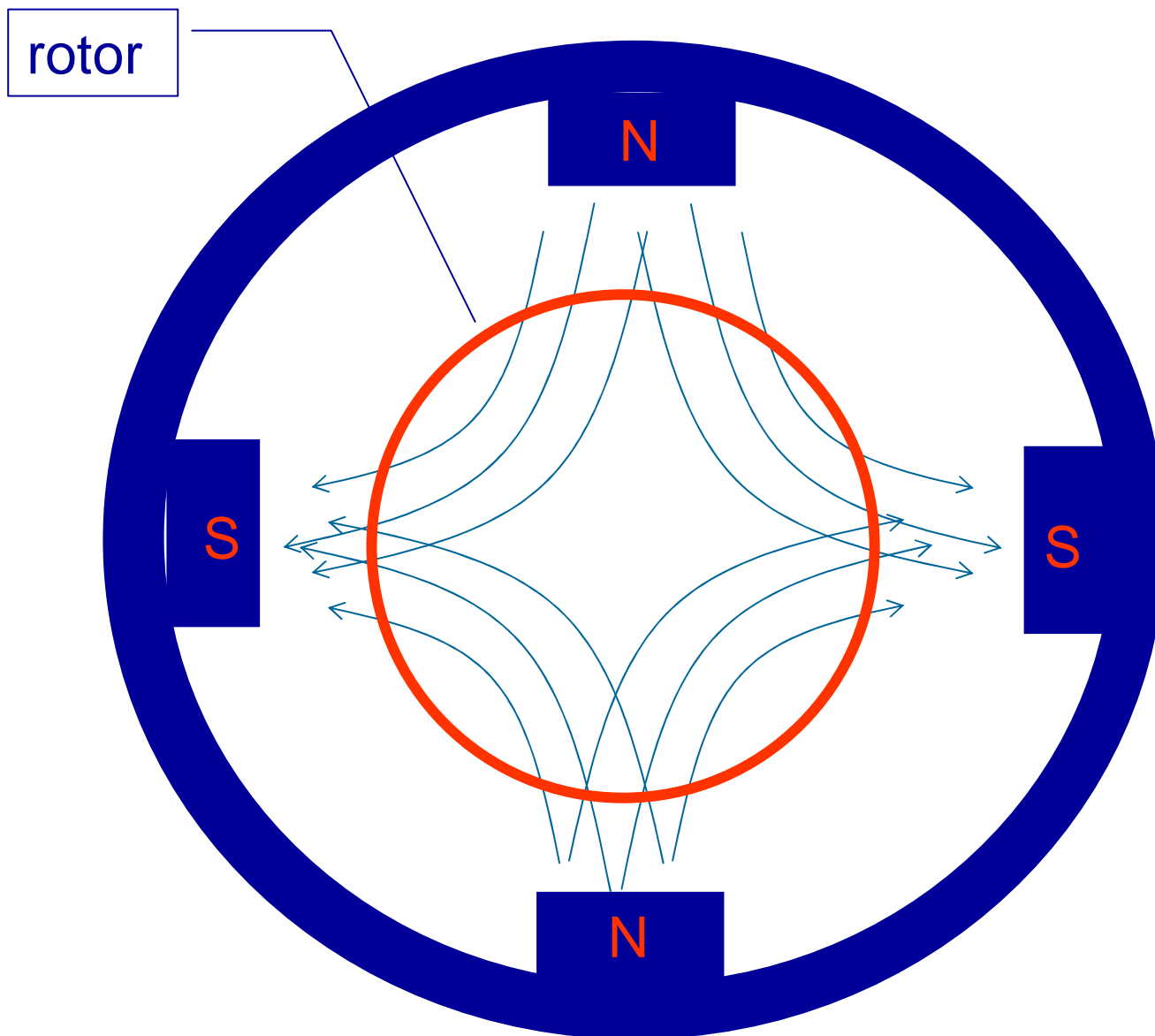


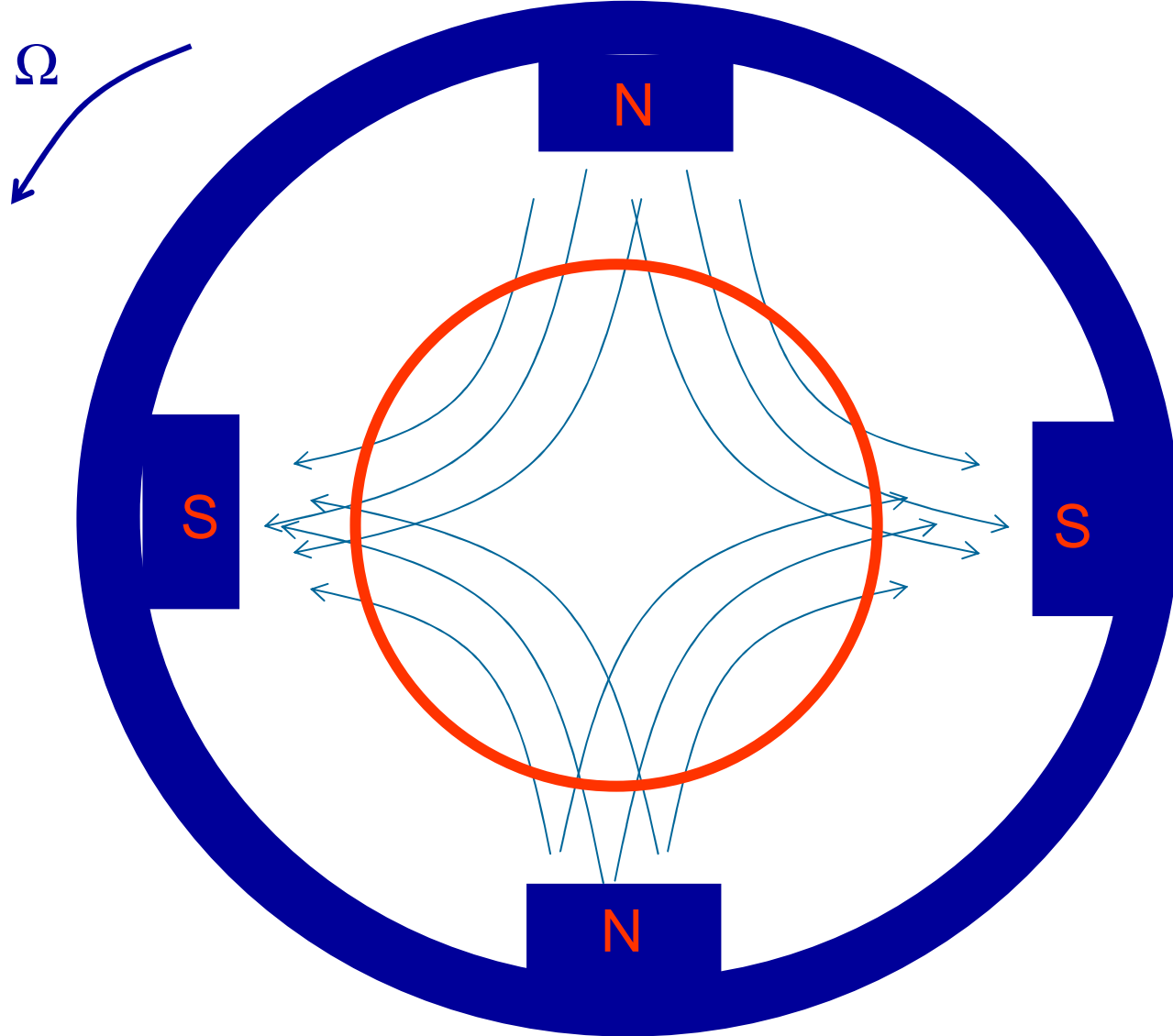
# Principe de fonctionnement de la machine asynchrone

## Stator tétrapolaire par exemple

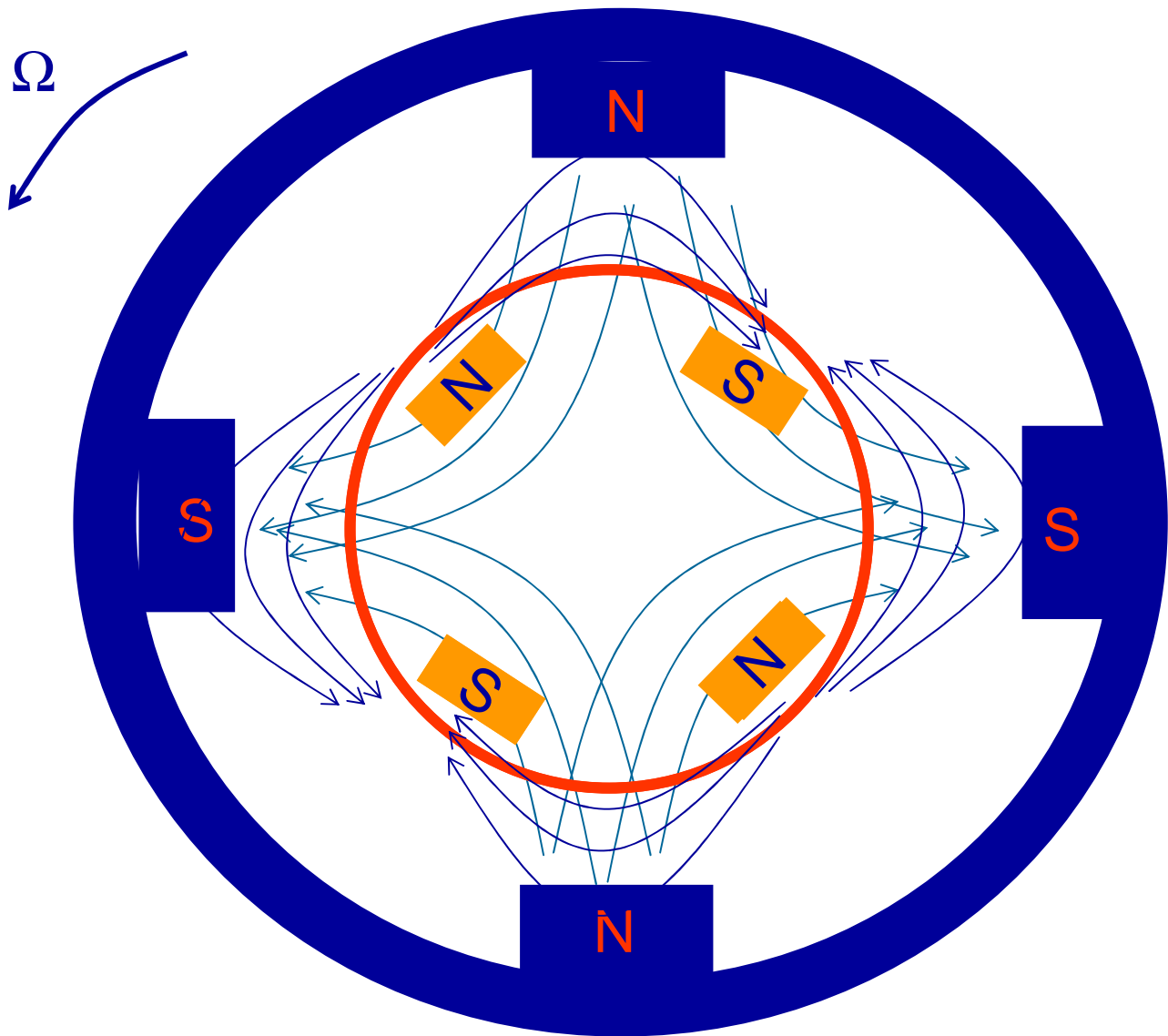


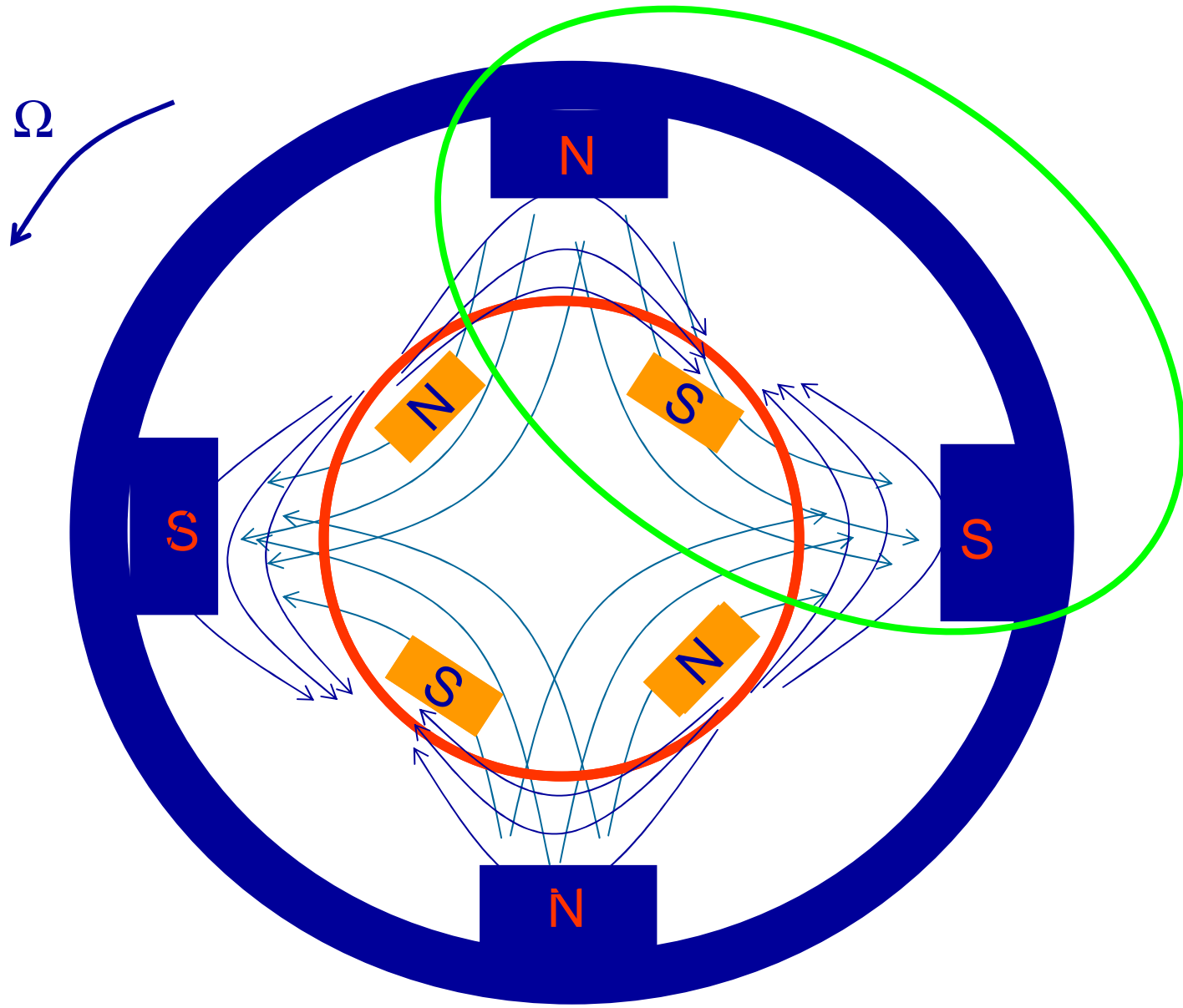




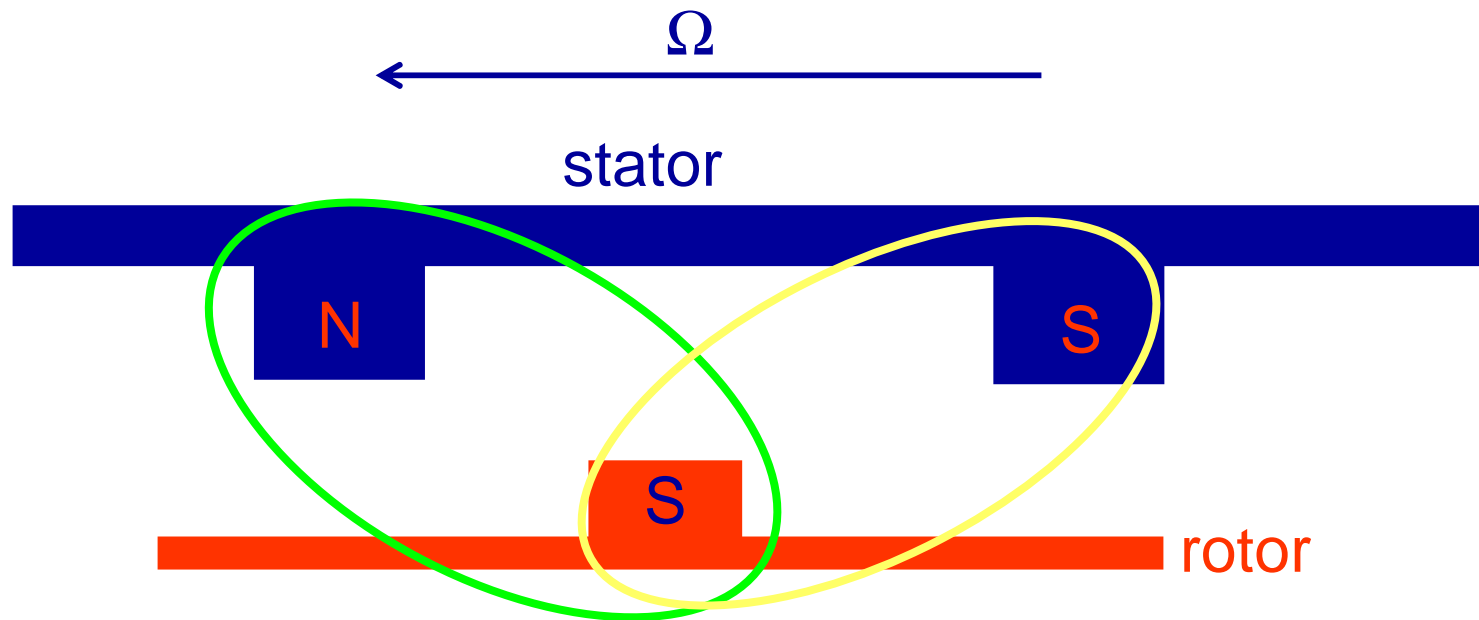








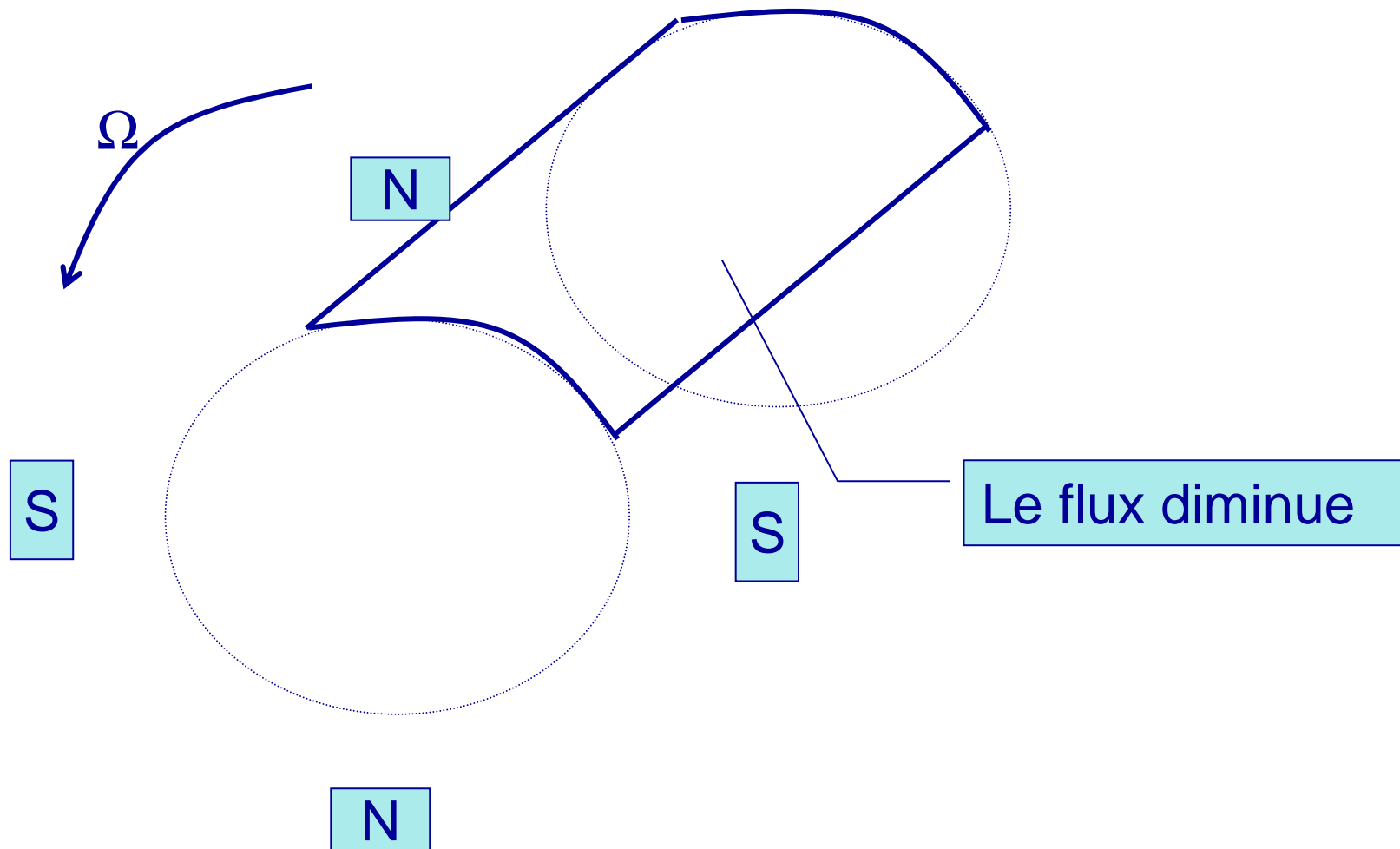
## Mise en rotation du rotor



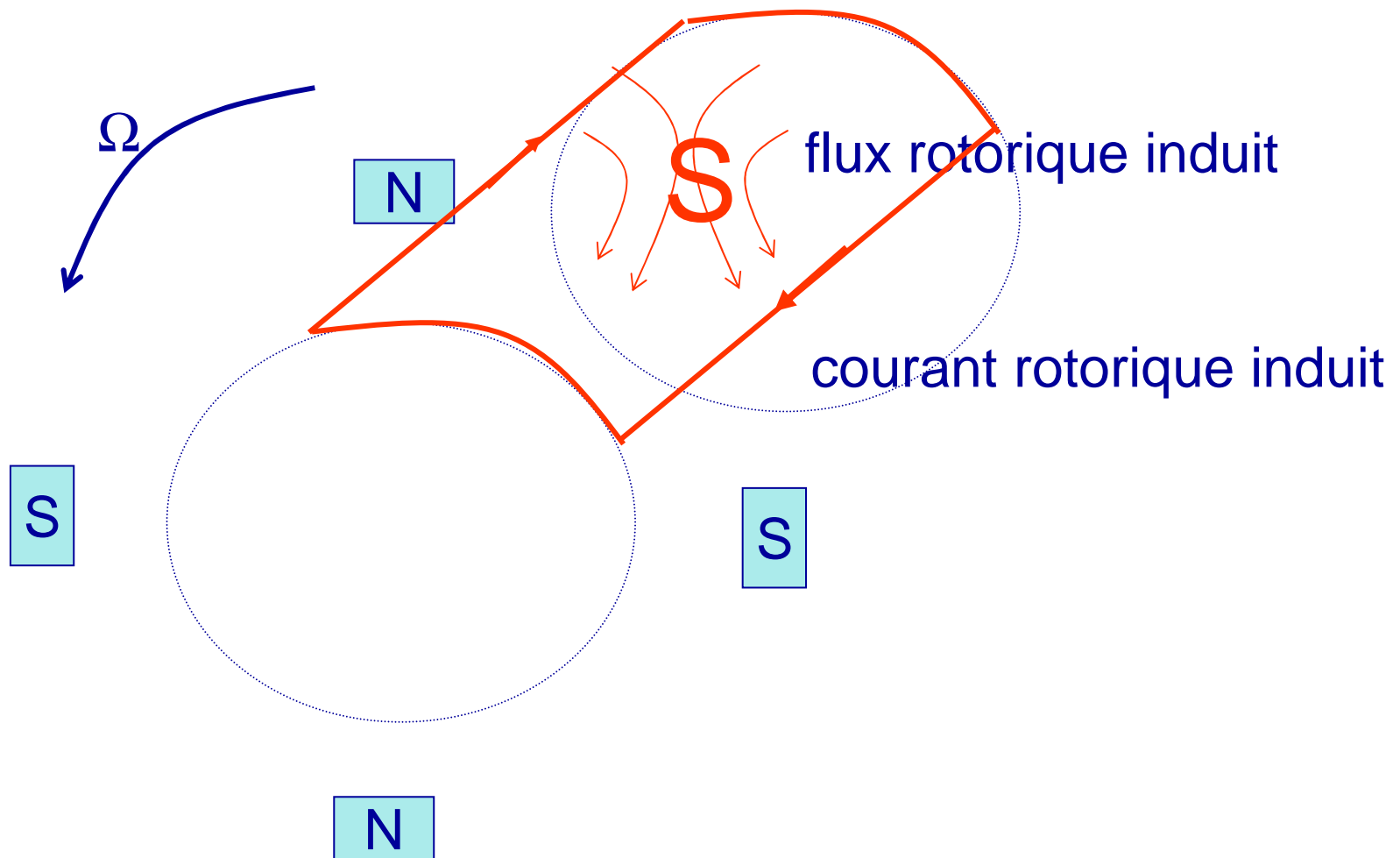
Le pôle nord stator tire  
le pôle sud rotor

Le pôle sud stator repousse  
le pôle sud rotor

## Apparition des pôle dans le rotor



## Apparition des pôles dans le rotor



Sur la périphérie du rotor, il y a nécessairement autant de pôles que sur le stator; cela résulte de leur nature :  
ce sont des pôles induits

Ces pôles tournent à la même vitesse de rotation que ceux du stator

L'attraction/répulsion mutuelle entre pôles statoriques et rotoriques développe le couple moteur; ce couple est le couple électromagnétique

Le couple électromagnétique résulte des courants induits, et donc des variations de flux.

Si le rotor tourne à la même vitesse que le stator, il n'y a plus de variation de flux.

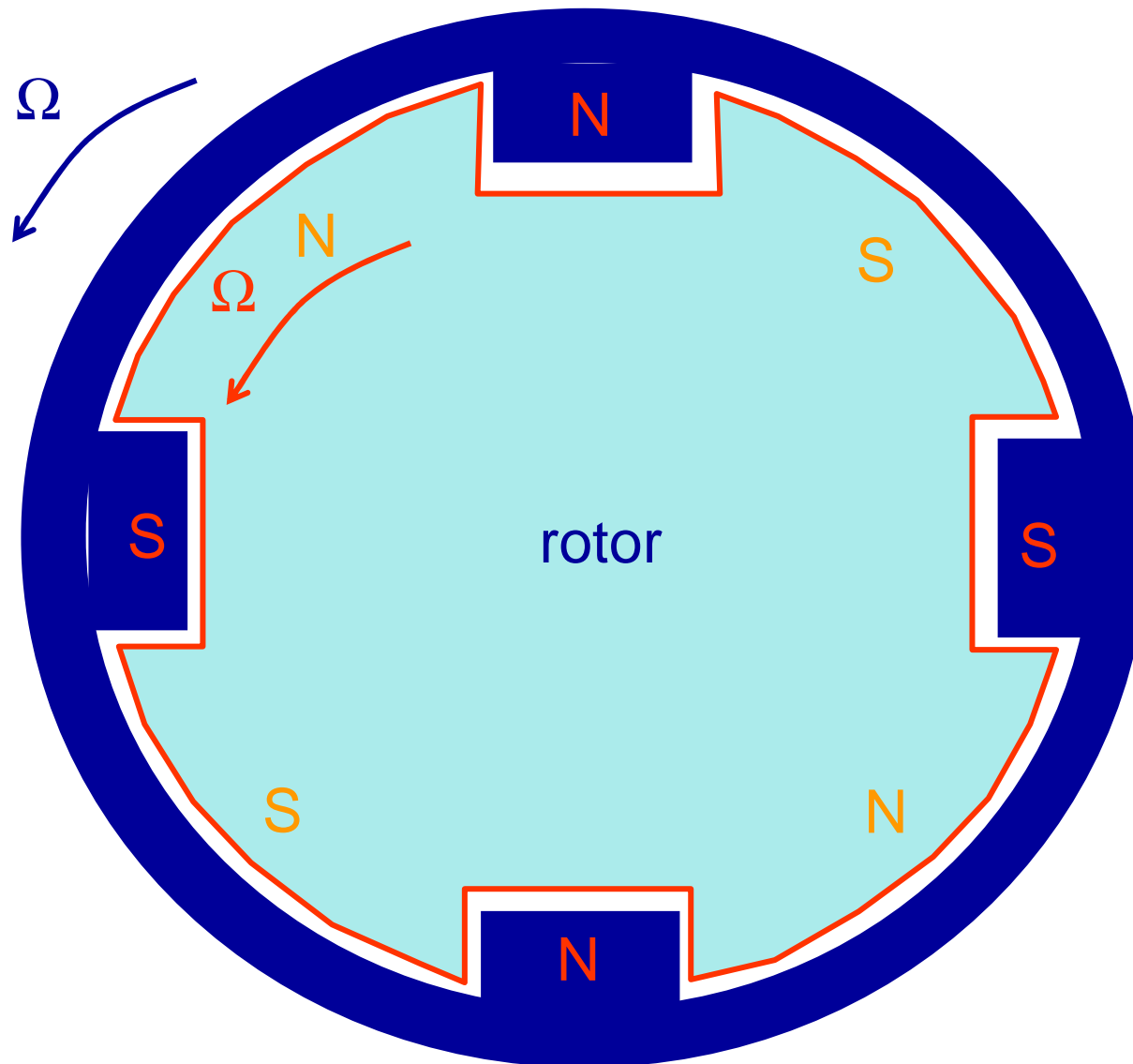
Donc le rotor ne peut tourner qu'à une vitesse inférieure à celle du champ statorique.

La vitesse de synchronisme ne peut en aucun cas être atteinte (en fonctionnement moteur). D'où le nom de machine **a**synchrone.

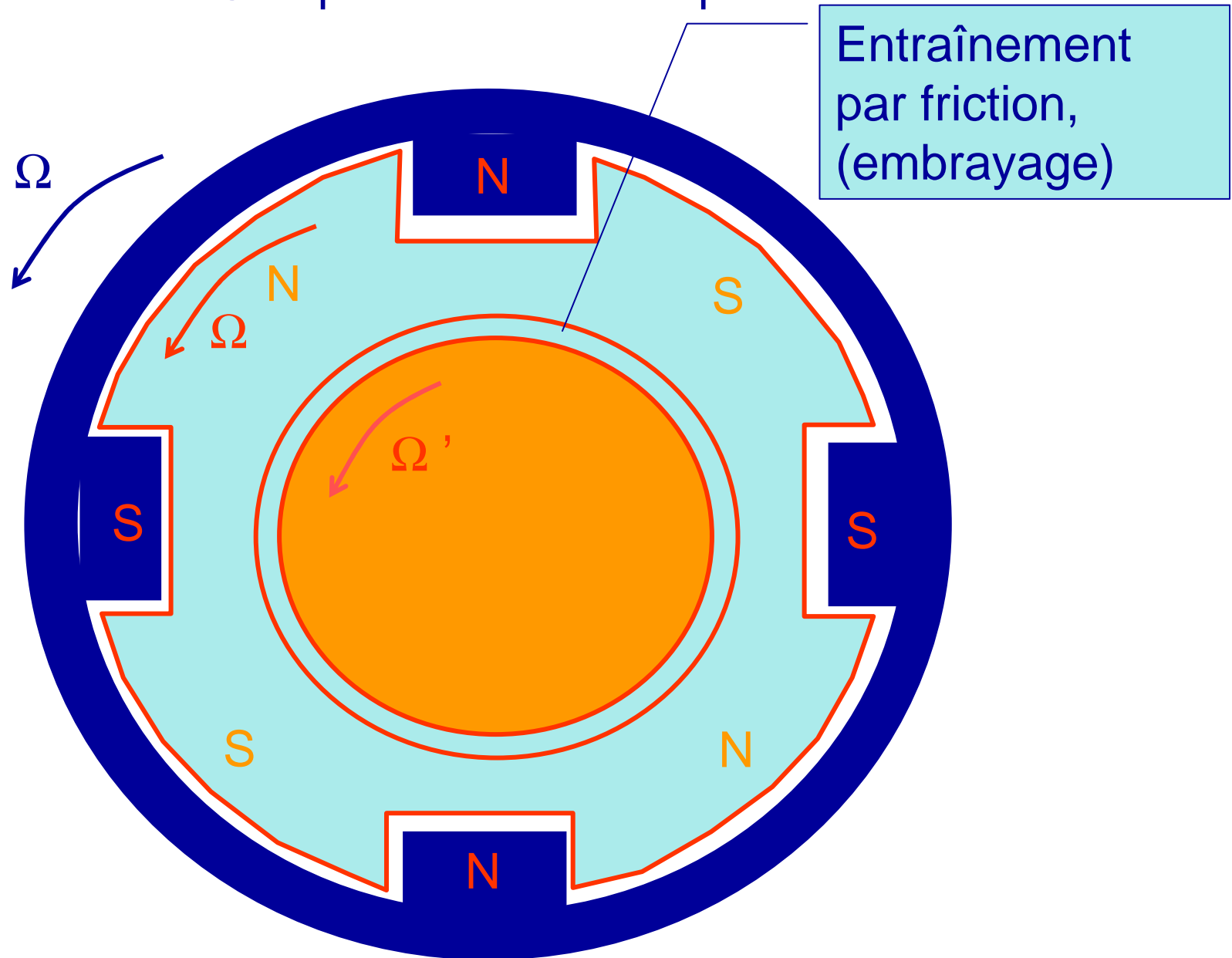


Le rotor tourne à une vitesse  $N_r < N_s$  inférieure à celle du champ statorique. Le rotor **glisse** donc par rapport à ses propres pôles. Ce **glissement** provoque une perte d'énergie qui lui est proportionnelle.

## Comparaison mécanique



## Comparaison mécanique



# Bilan de puissance du moteur asynchrone

Puissance absorbée  
 $P_a = 3 \cdot V_1 \cdot J_1 \cdot \cos \varphi_1$

Pertes magnétiques stator

Pertes Joule stator

Puissance transmise au rotor  
 $P_e = C_e \cdot (2\pi \cdot N_s)$

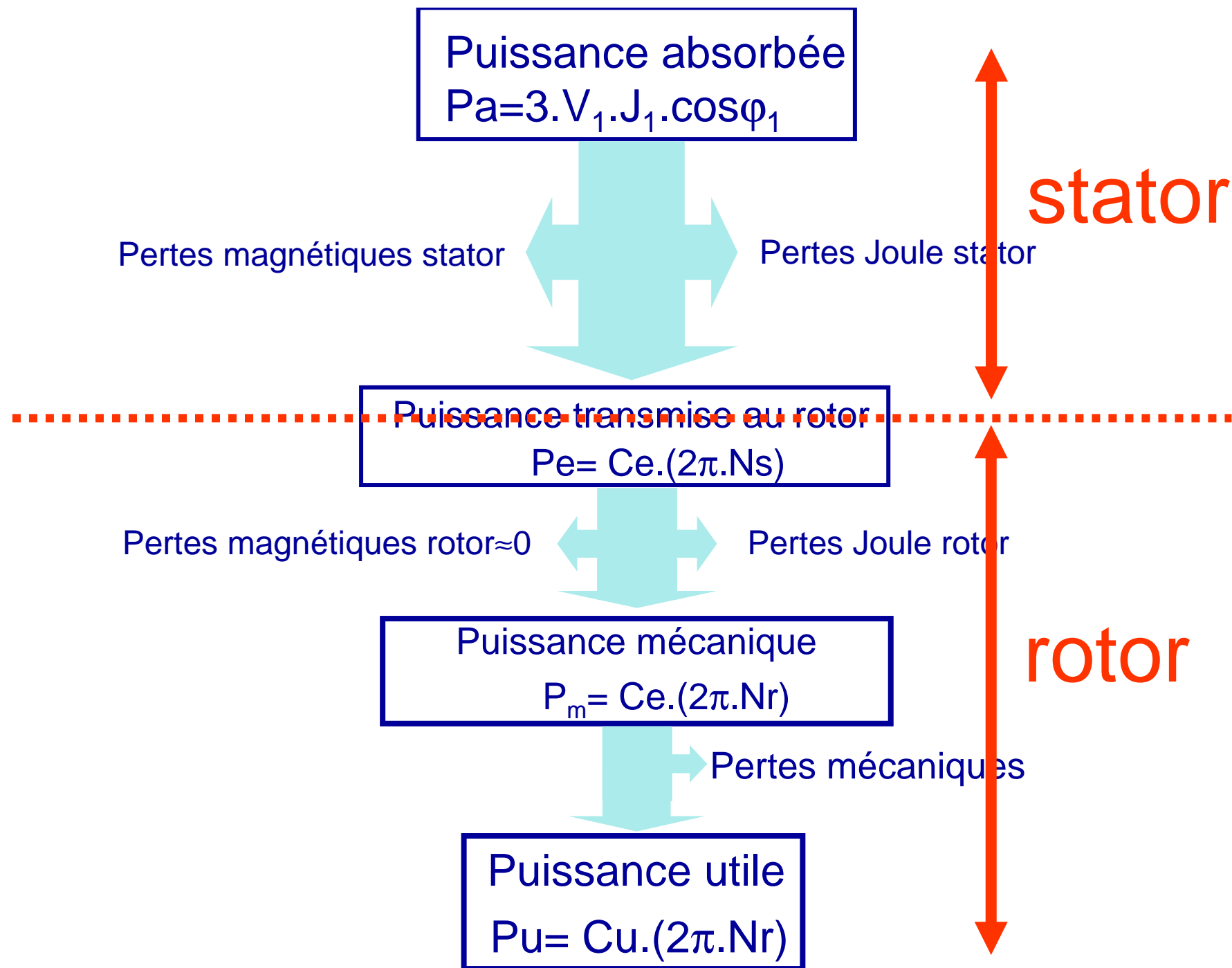
Pertes magnétiques rotor  $\approx 0$

Pertes Joule rotor

Puissance mécanique  
 $P_m = C_e \cdot (2\pi \cdot N_r)$

Pertes mécaniques

Puissance utile  
 $P_u = C_u \cdot (2\pi \cdot N_r)$



Puissance absorbée  
 $P_a = 3.V_1.J_1.\cos\varphi_1$

Pertes magnétiques stator

Pertes Joule stator

Puissance transmise au rotor  
 $P_e = C_e.(2\pi.N_s)$

Pertes magnétiques rotor  $\approx 0$

Pertes Joule rotor

Puissance mécanique

$P_m = C_e.(2\pi.N_r)$

Pertes mécaniques

La transmission de  
puissance au rotor se fait  
avec perte de vitesse  
mais à couple constant

Puissance utile

$P_u = C_u.(2\pi.N_r)$



Puissance transmise au rotor  
 $P_e = C_e \cdot (2\pi \cdot N_s)$

Pertes magnétiques rotor  $\approx 0$

Pertes Joule rotor

Puissance mécanique  
 $P_m = C_e \cdot (2\pi \cdot N_r)$

La différence de puissance  
est perdue par effet Joule dans  
le rotor

$$P_{jr} = C_e \cdot 2\pi \cdot N_s - C_e \cdot 2\pi \cdot N_r = C_e \cdot 2\pi \cdot (N_s - N_r)$$

Introduisons le glissement :  $g = \frac{N_s - N_r}{N_s}$

$$p_{jr} = g \cdot 2\pi \cdot C_e \cdot N_s = g \cdot P_e$$

Rendement :

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{P_u}{P_m} \cdot \frac{P_m}{P_e} \cdot \frac{P_e}{P_a} < \frac{P_m}{P_e}$$

$$\frac{P_m}{P_e} = \frac{N}{N_s} = 1 - g \Rightarrow \eta < \frac{N}{N_s} = 1 - g$$

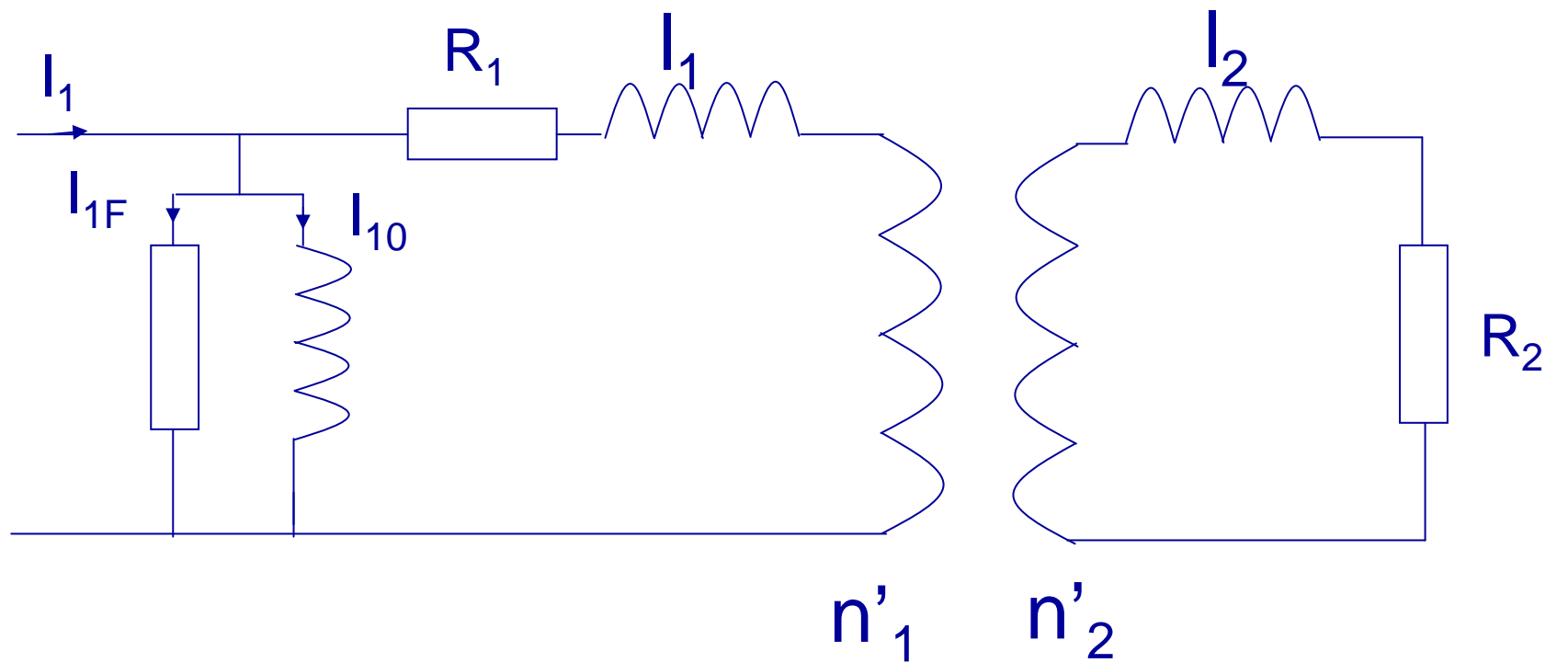
# Modélisation de la machine asynchrone

Etablissement du modèle électrique  
d'une phase de la machine  
asynchrone

La machine asynchrone est un transformateur à champ tournant.

Soit  $I_1$  le courant d'une phase statorique,  
soit  $I_2$  le courant d'une phase rotorique.

Ces courants engendrent des  
forces magnétomotrices tournantes de  
vitesse  $N_s$  :  $n'_1 I_1$  et  $n'_2 I_2$ ,  $n'_1$  et  $n'_2$  étant les  
nombres de spires de chaque enroulement  
corrigés par les coefficients de Kapp.



stator = primaire

rotor = secondaire

Quelle est la fréquence des courants rotorique ?

La vitesse relative de l'induction statorique / au rotor est :

$$N_s - N_r = g \cdot N_s$$

Le rotor ayant  $p$  paires de pôles, la fréquence des f.é.m. rotoriques est donc :

$$\Omega = (2\pi \cdot f)/p \Rightarrow f_r = p \cdot (g \cdot N_s)$$

$$\text{Or } N_s = f/p$$

$$\text{Donc } f_r = g \cdot f$$

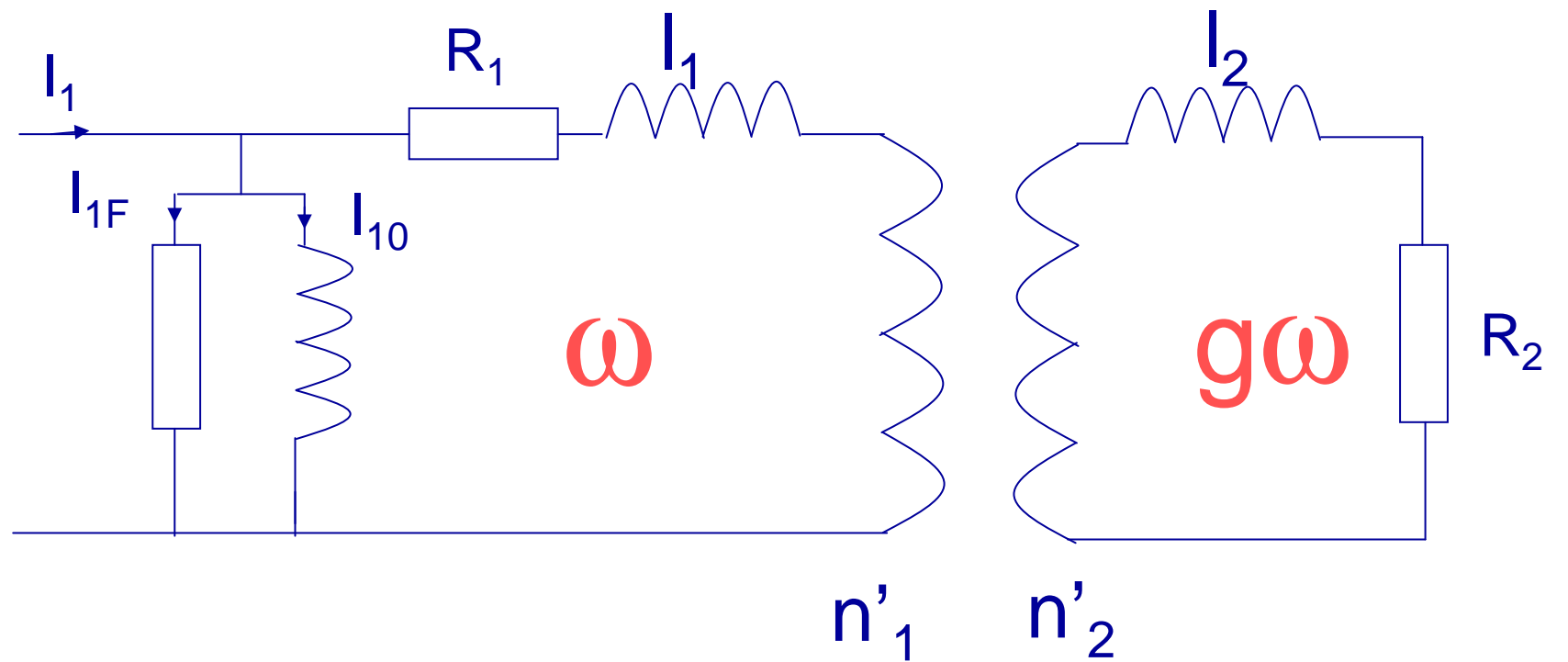
Pour une phase du stator :

$$\underline{V}_1 = j n'_1 \omega \underline{\phi} + j \omega l_1 \underline{I}_1 + R_1 \underline{I}_1$$

Pour une phase du rotor :

$$\underline{V}_2 = 0 = j n'_2 (g\omega) \underline{\phi} - j (g\omega) l_2 \underline{I}_2 - R_2 \underline{I}_2$$

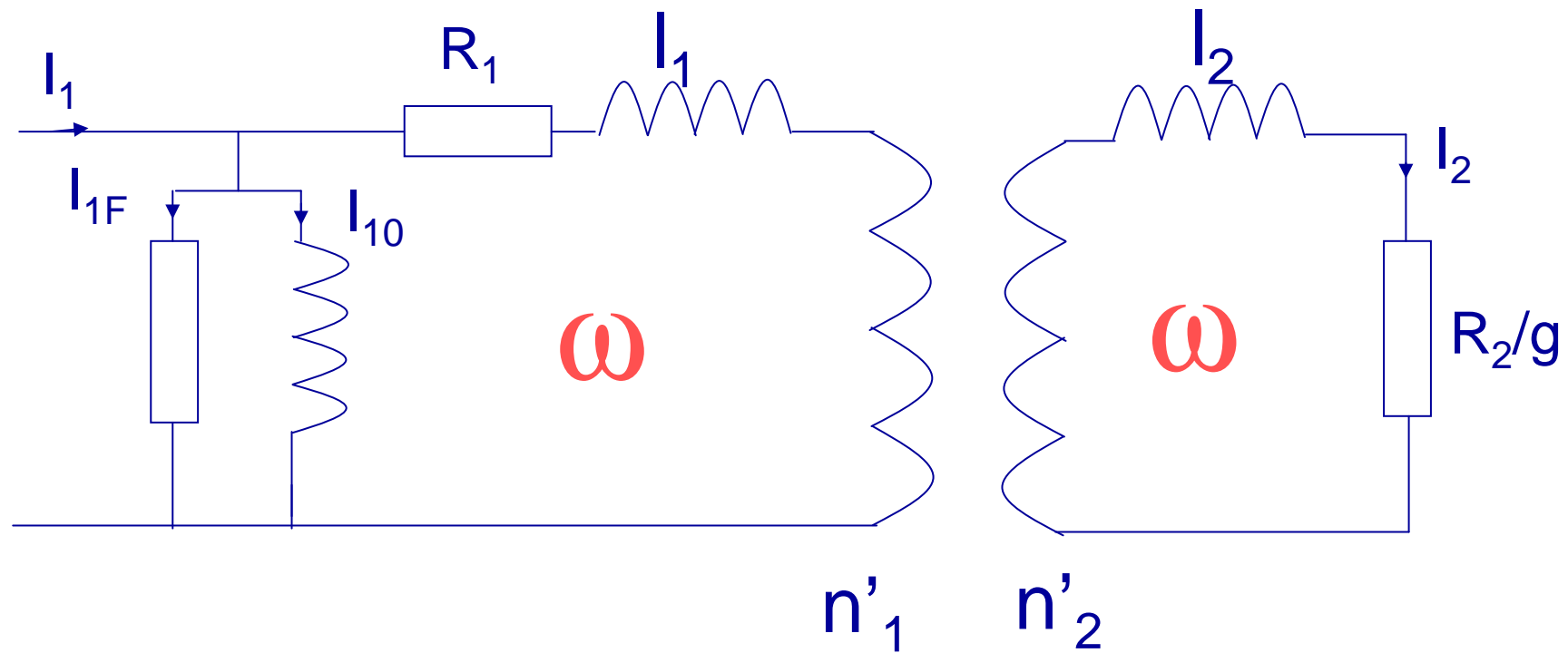
$$0 = j n'_2 \omega \underline{\phi} - j \omega l_2 \underline{I}_2 - \frac{R_2}{g} \underline{I}_2$$



stator = primaire

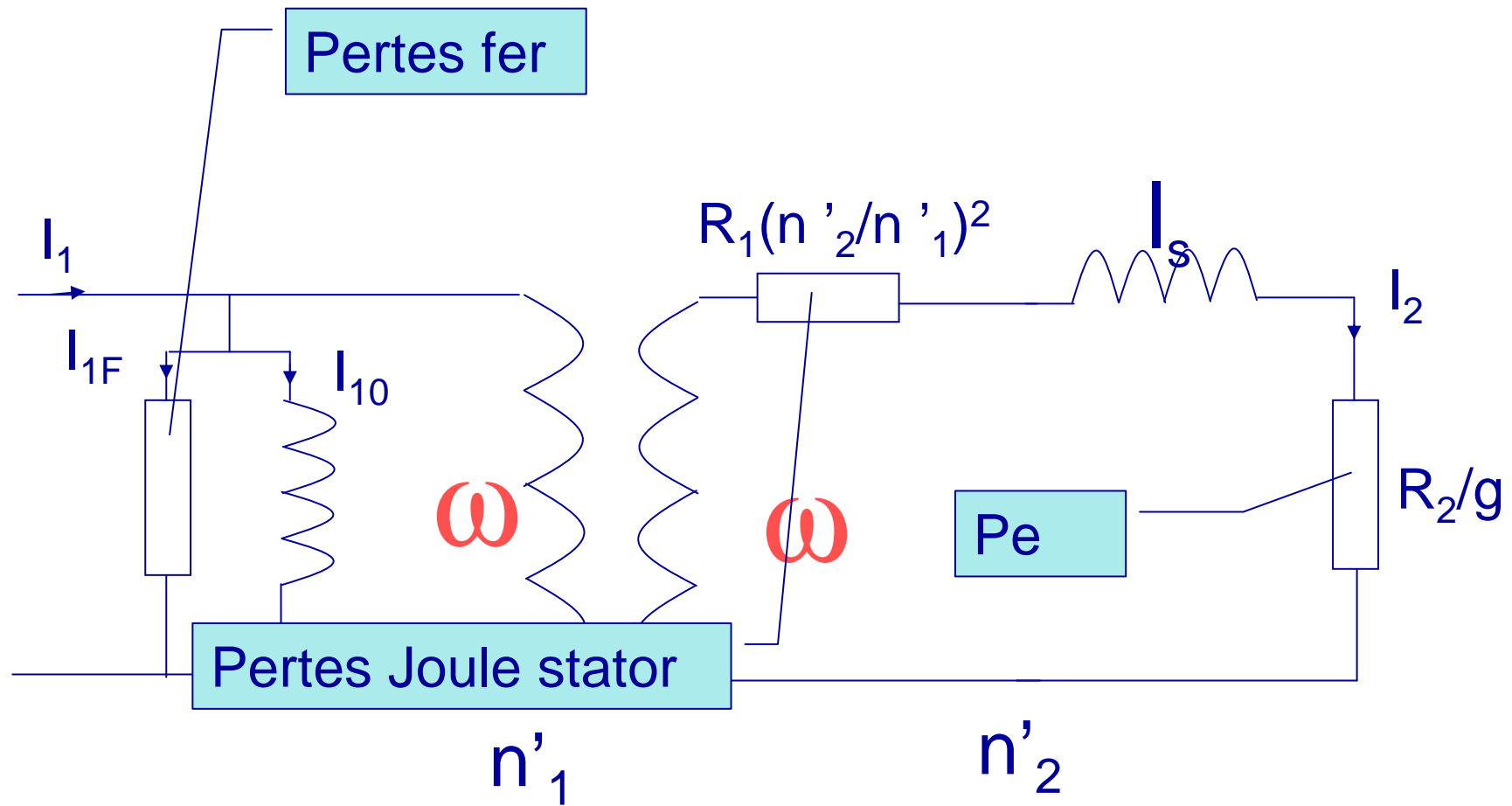
rotor = secondaire





stator = primaire

rotor = secondaire



stator = primaire

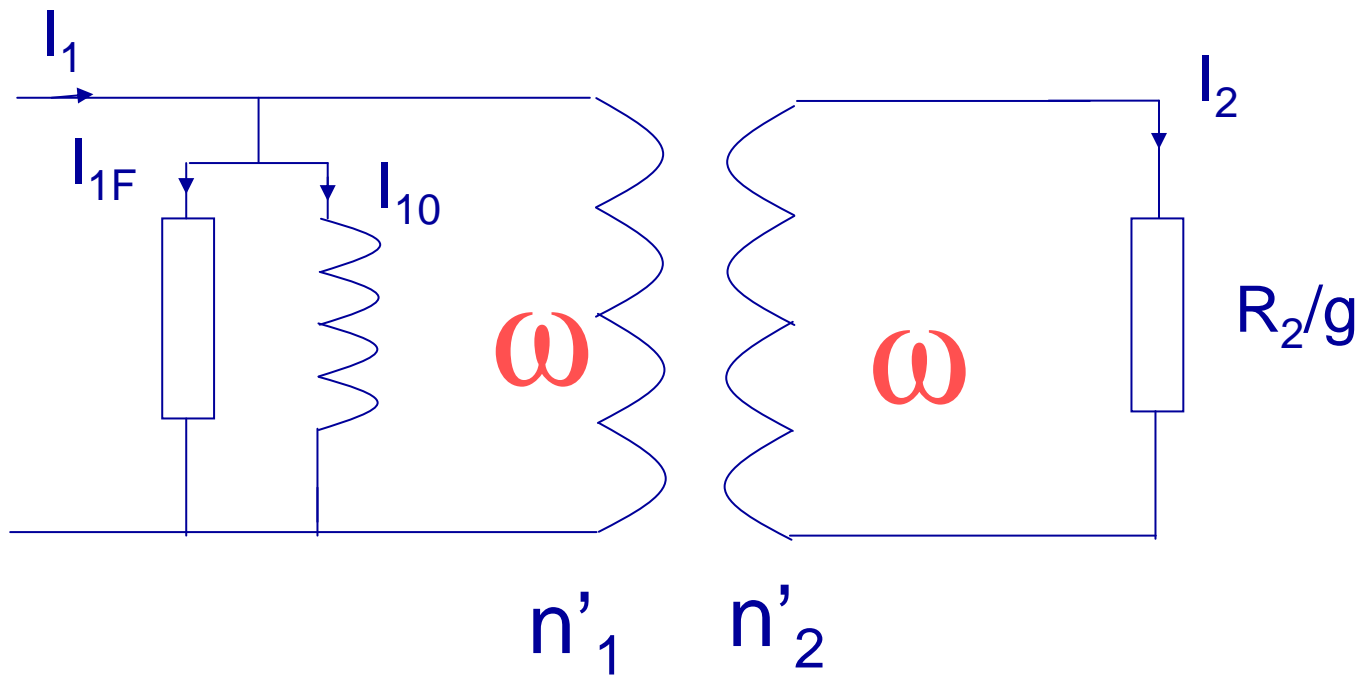
rotor = secondaire

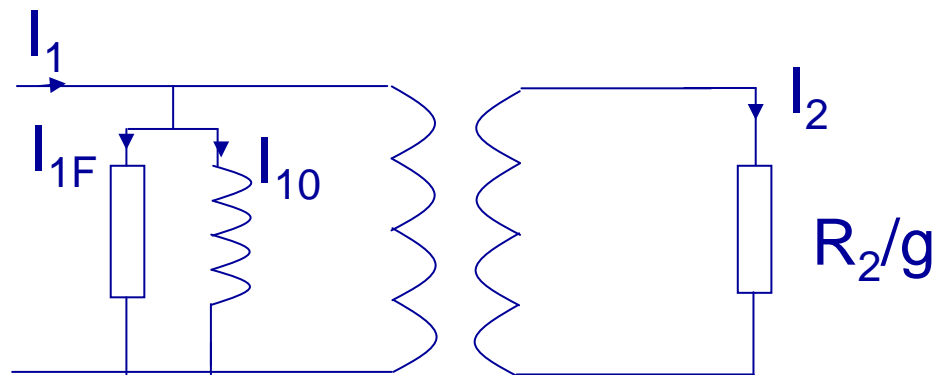
Couple et courant à  
glissement faible

On suppose :

$R_2/g \gg I_s \omega$  et on néglige  $R_1(n'_2/n'_1)^2$

Le schéma équivalent devient :

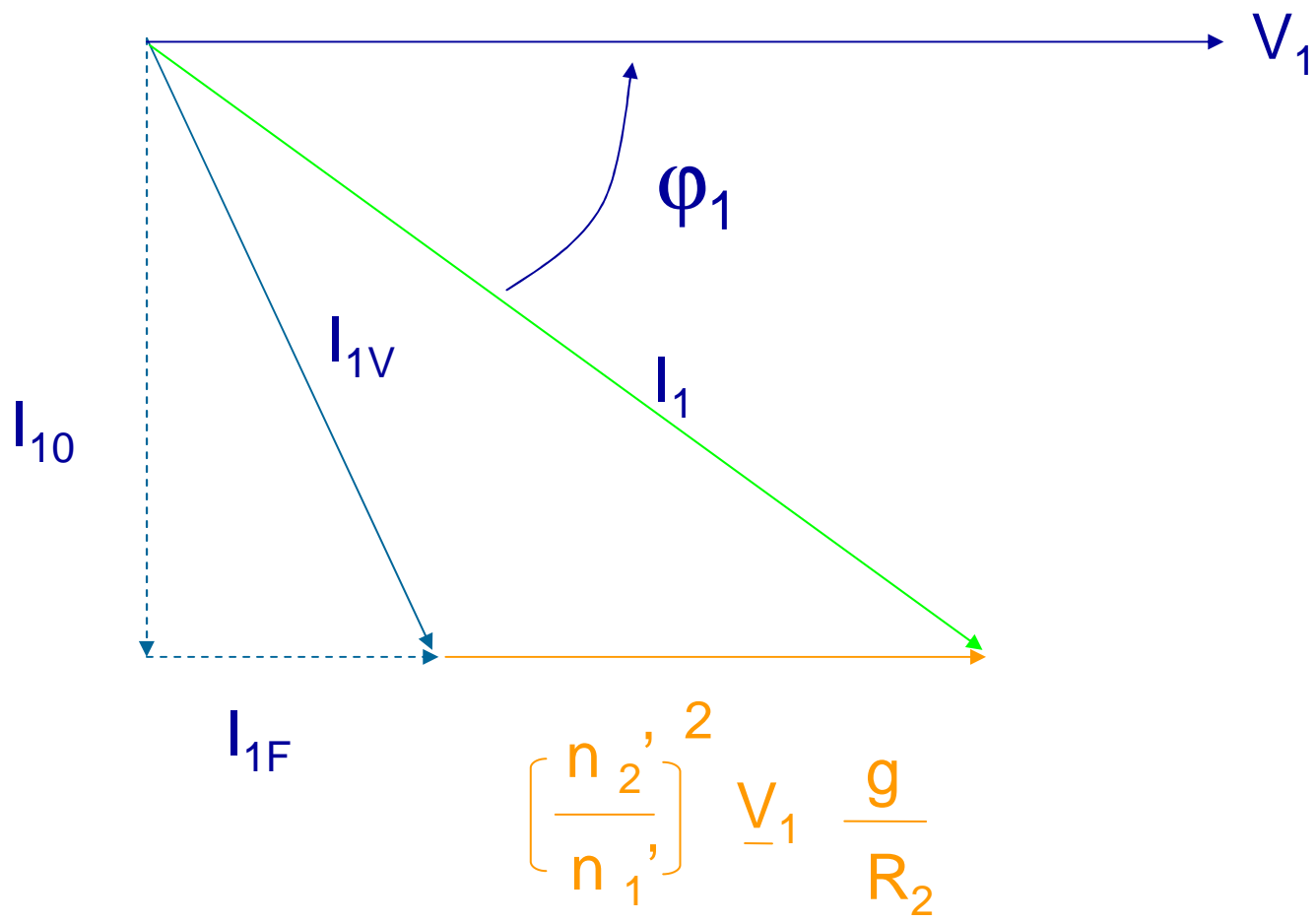




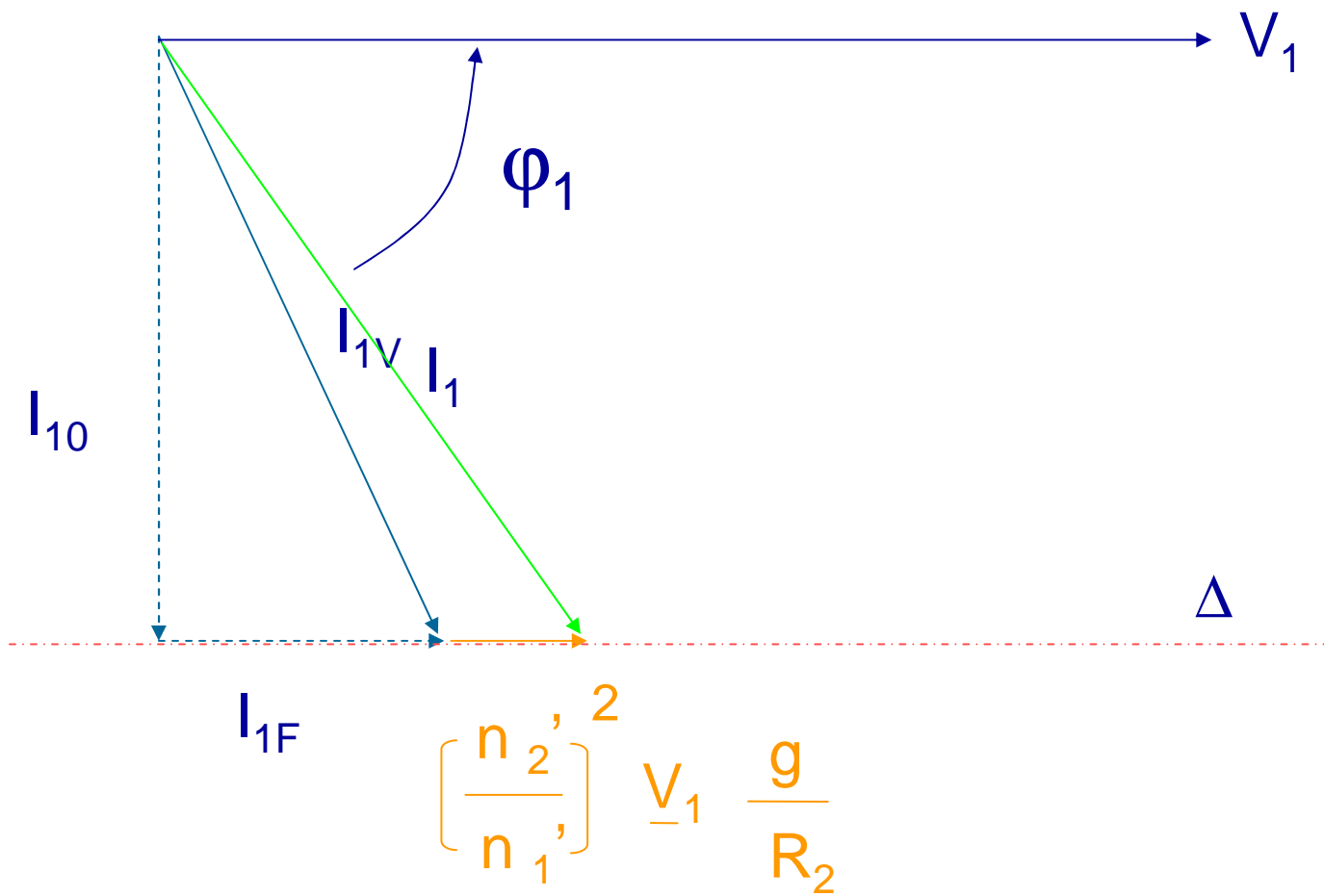
$$\underline{I_2} = \frac{n_{2'}}{n_{1'}} \underline{V_1} \frac{g}{R_2}$$

Soit :

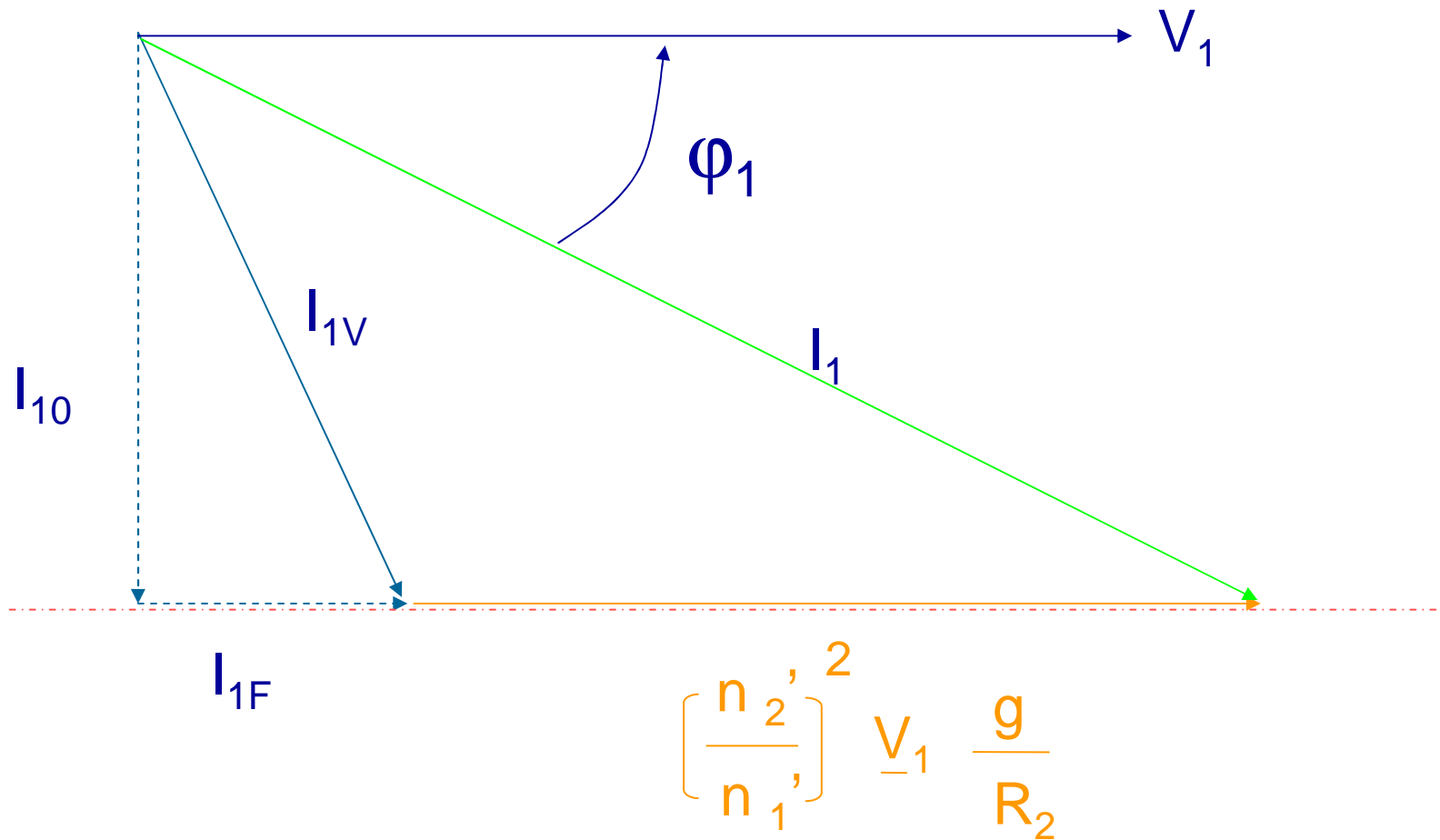
$$\underline{I_1} = \underline{I_{1v}} + \left[ \frac{n_{2'}}{n_{1'}} \right]^2 \underline{V_1} \frac{g}{R_2}$$



Si N augmente : g diminue



Si N diminue, g augmente

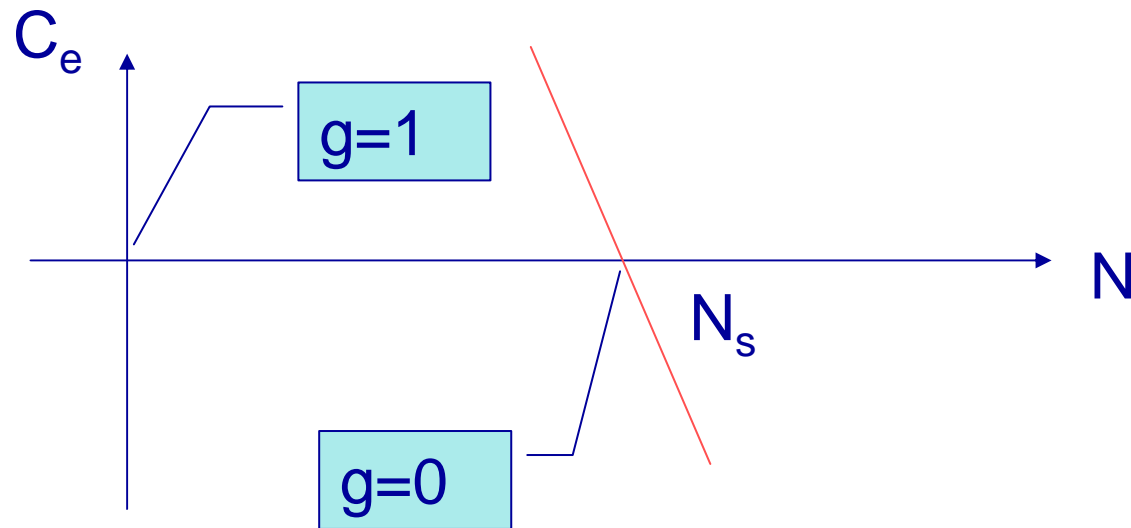


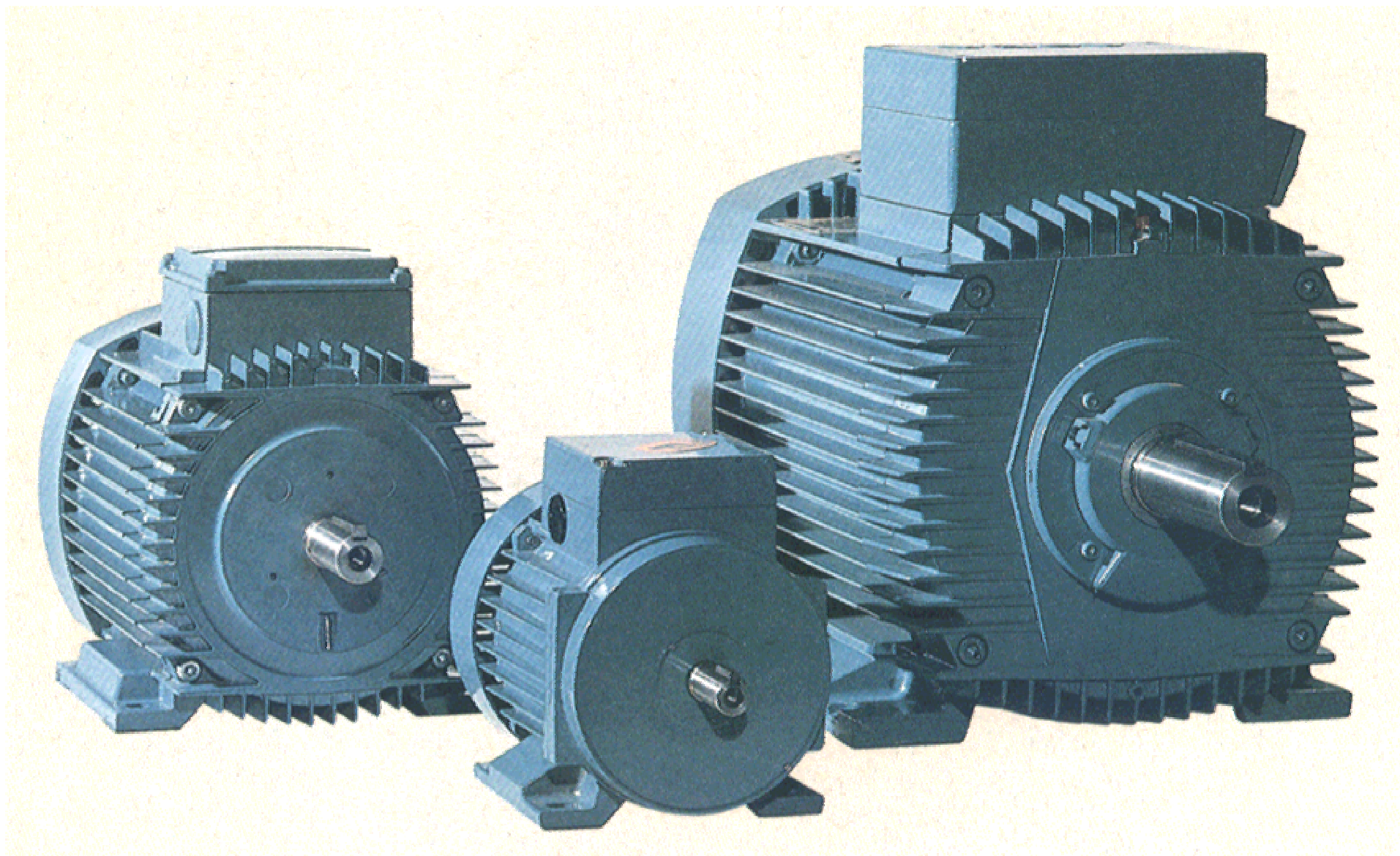


$$P_e = 3 \frac{R_2}{g} I_2^2 = 3 \frac{R_2}{g} \left[ \frac{n_2'}{n_1'} \right]^2 V_1^2 \frac{g^2}{R_2^2} = C_e \Omega$$

Soit :

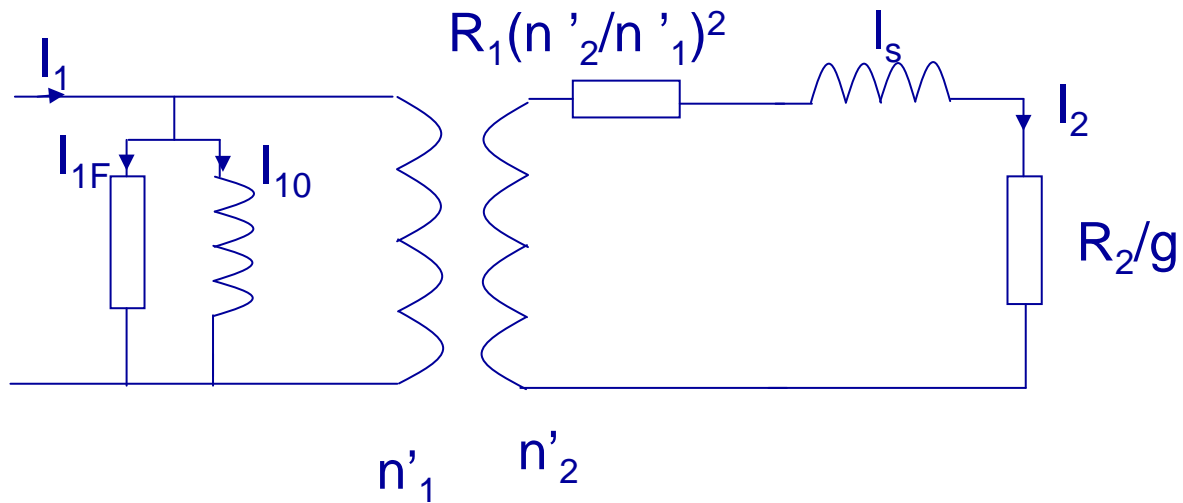
$$C_e = \frac{3}{\Omega_s} \left[ \frac{n_2'}{n_1'} \right]^2 V_1^2 \frac{g}{R_2} = k V_1^2 \frac{g}{R_2}$$





3 MAT de 0,18 kW à 45 kW

Couple et courant à  
fort glissement



$$\underline{I_2} = \frac{n'_2}{n'_1} \underline{V_1} \frac{1}{R_1 \left[ \frac{n'_2}{n'_1} \right]^2 + \frac{R_2}{g} + j\omega L_s}$$

Considérant que  $R_1 \left[ \frac{n'_2}{n'_1} \right]^2 \ll j\omega L_s$

$$\underline{I_2} = \frac{n'_2}{n'_1} \underline{V_1} \frac{1}{\frac{R_2}{g} + j\omega L_s}$$

$$C_e = \frac{3}{\Omega_s} \frac{R_2}{g} \left[ \frac{n_{2'}}{n_{1'}} \right]^2 V_1^2 \frac{1}{\left[ \frac{R_2}{g} \right]^2 + \omega^2 l_s^2}$$

$$C_e = \frac{3}{\Omega_s} \left[ \frac{n_{2'}}{n_{1'}} \right]^2 V_1^2 \frac{1}{\omega l_s} \frac{1}{\frac{R_2}{g \omega l_s} + \frac{g \omega l_s}{R_2}}$$

$$g_0 = \frac{R_2}{\omega L_s}$$

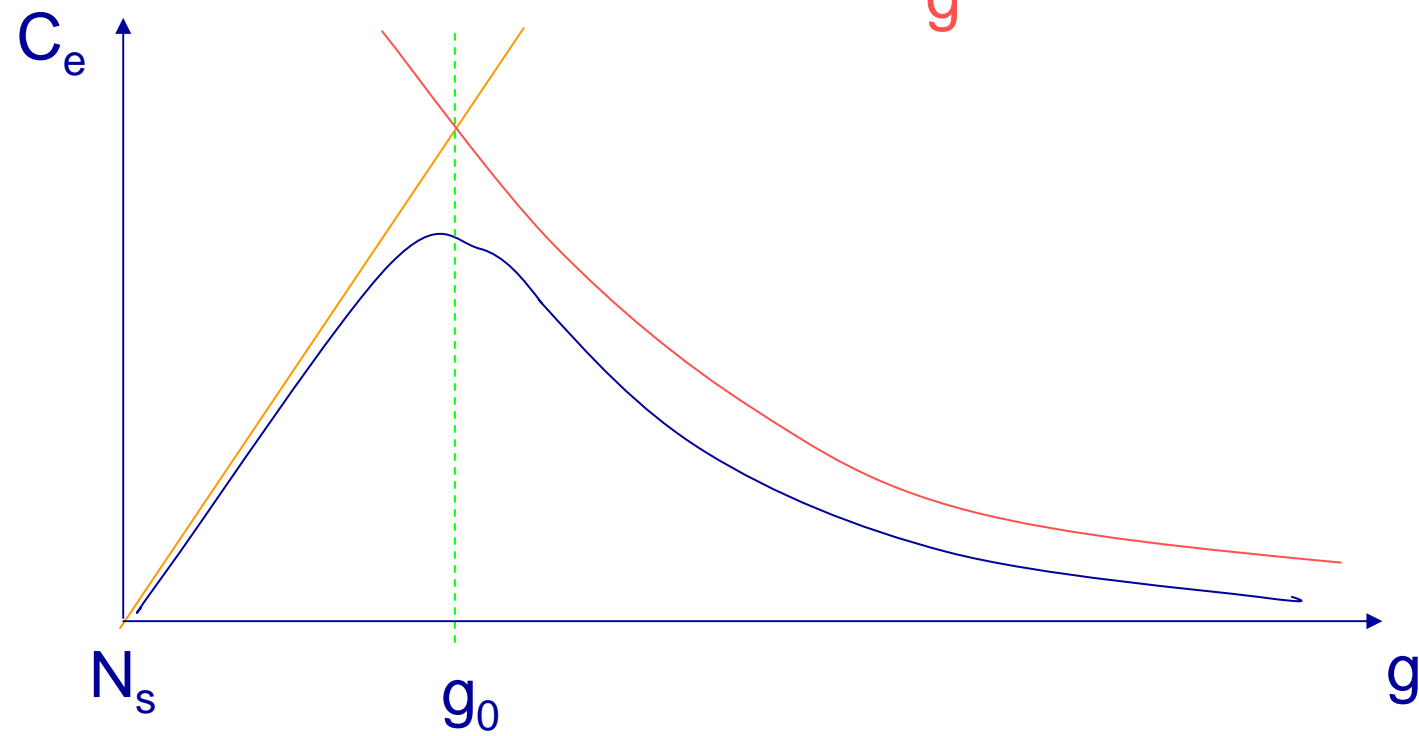
$$C_e = K \cdot V_1^2 \cdot \frac{1}{\frac{g_0}{g} + \frac{g}{g_0}}$$

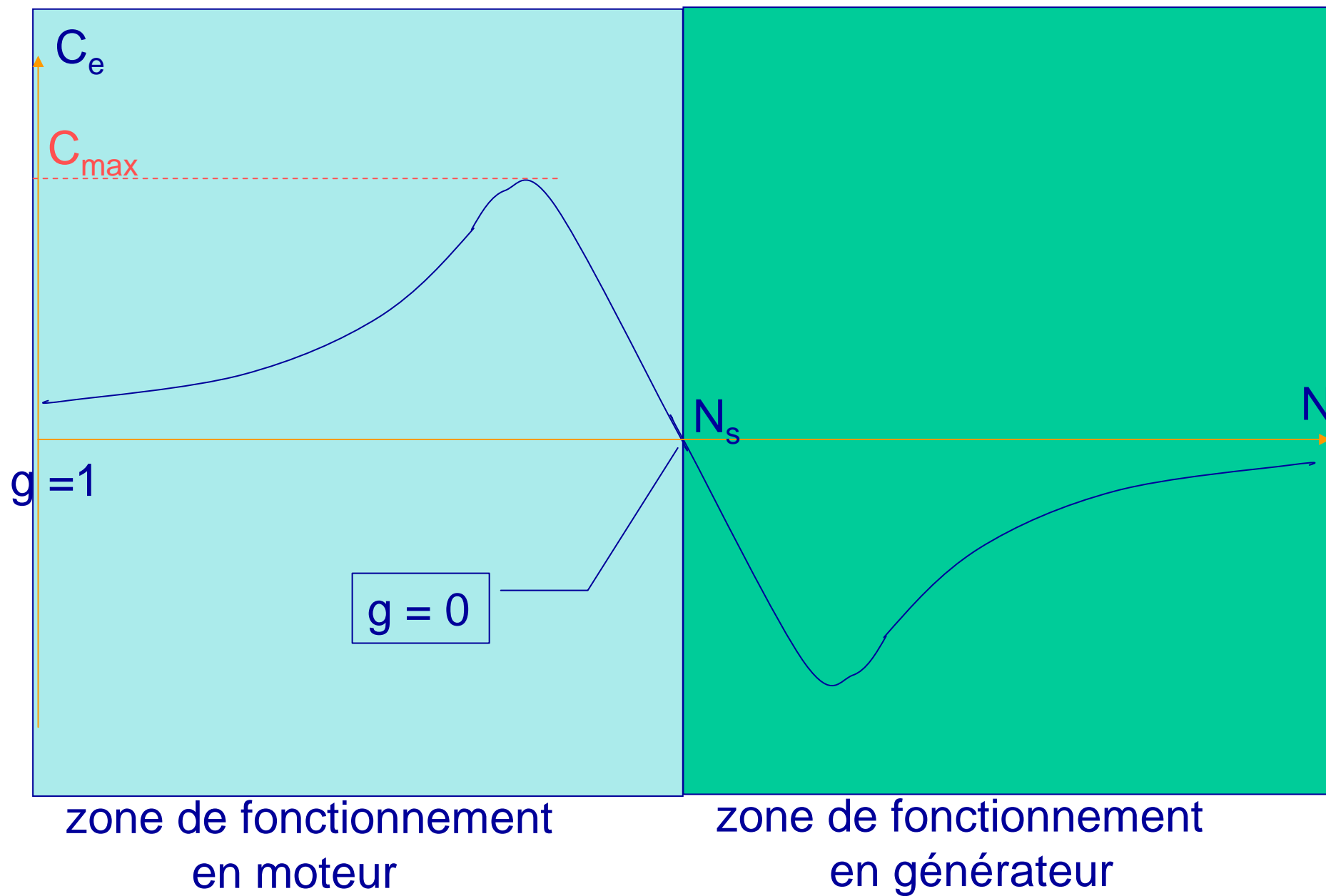
$C_e$  est max pour  $g = g_0$  soit

$$C_{e \max} = \frac{K V_1^2}{2} = \frac{k V_1^2}{f^2 \cdot 2} = k' \cdot \frac{V_1^2}{f^2}$$

$$g \ll g_0 \quad C_e = K V_1^2 \frac{g}{g_0}$$

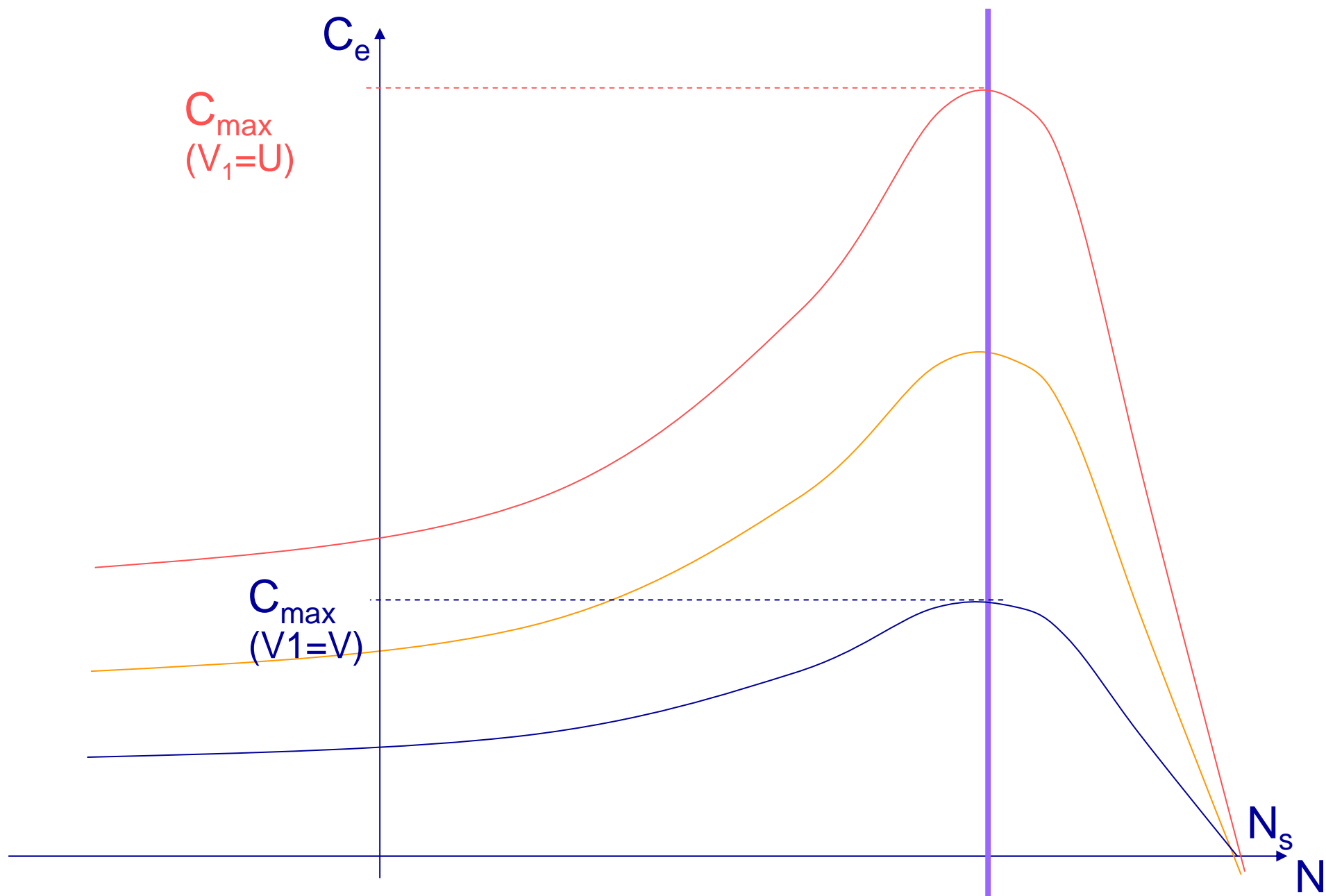
$$g \gg g_0 \quad C_e = K V_1^2 \frac{g_0}{g}$$

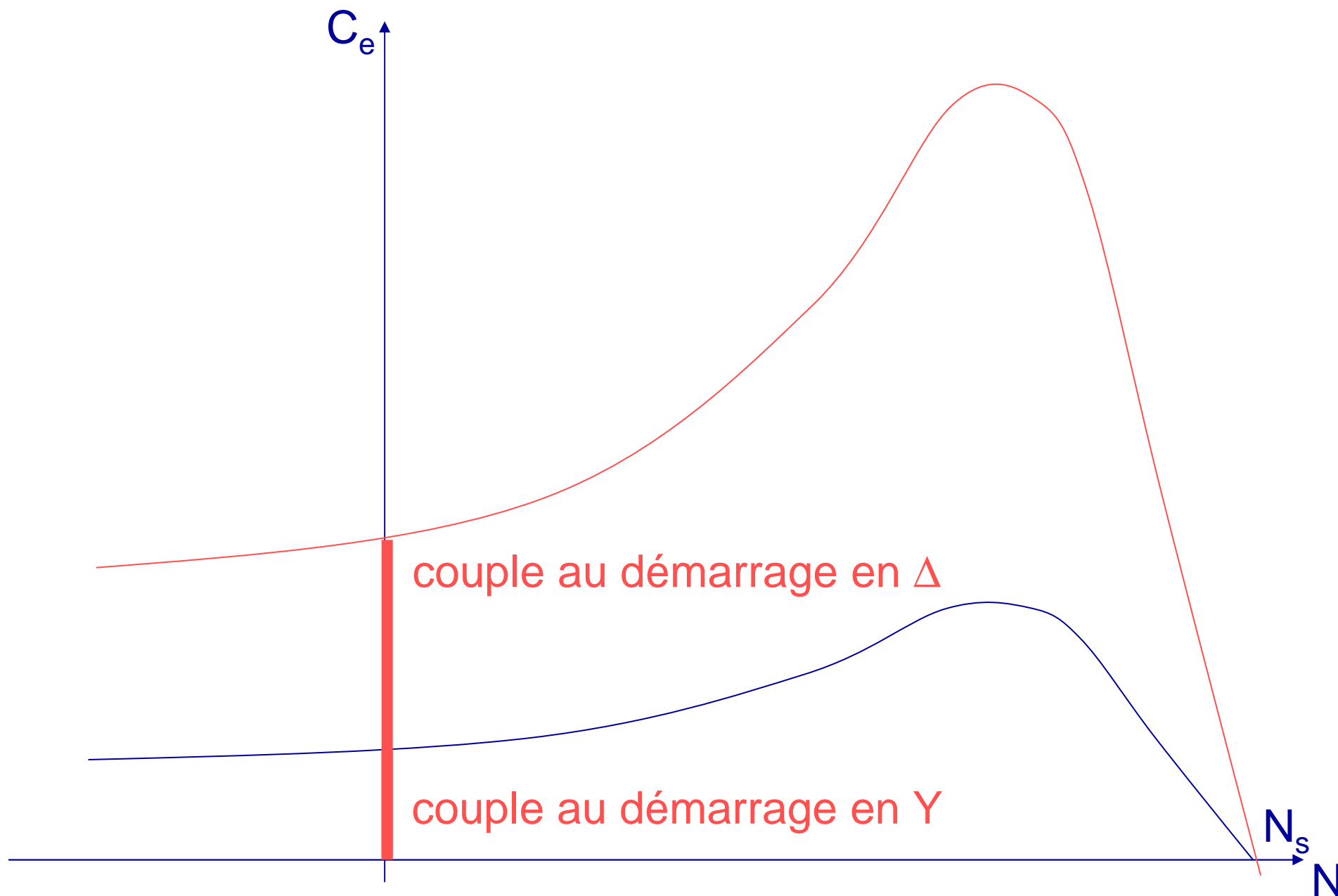




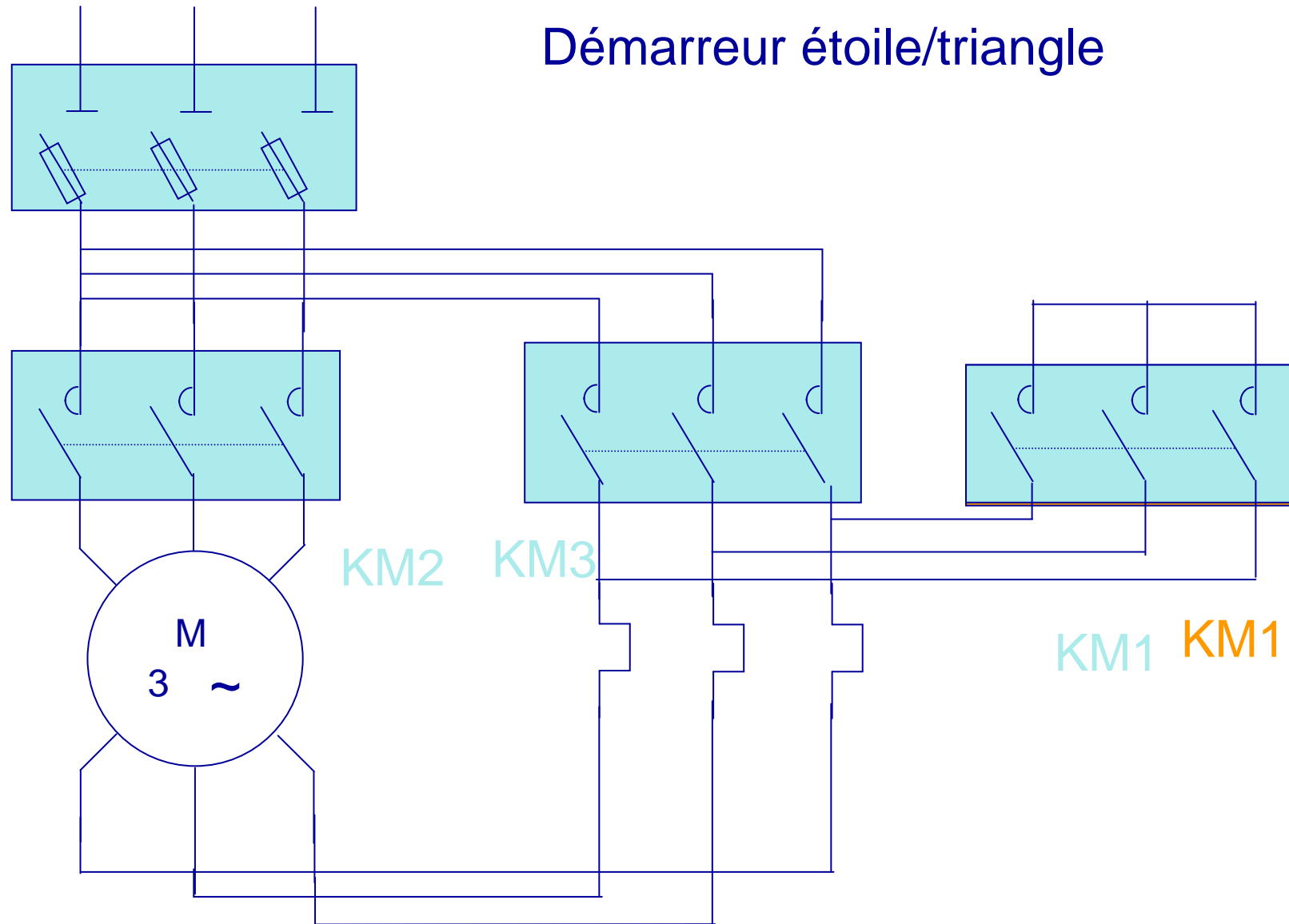


# Influence d'une variation de la tension d'alimentation statorique sur la caractéristique mécanique

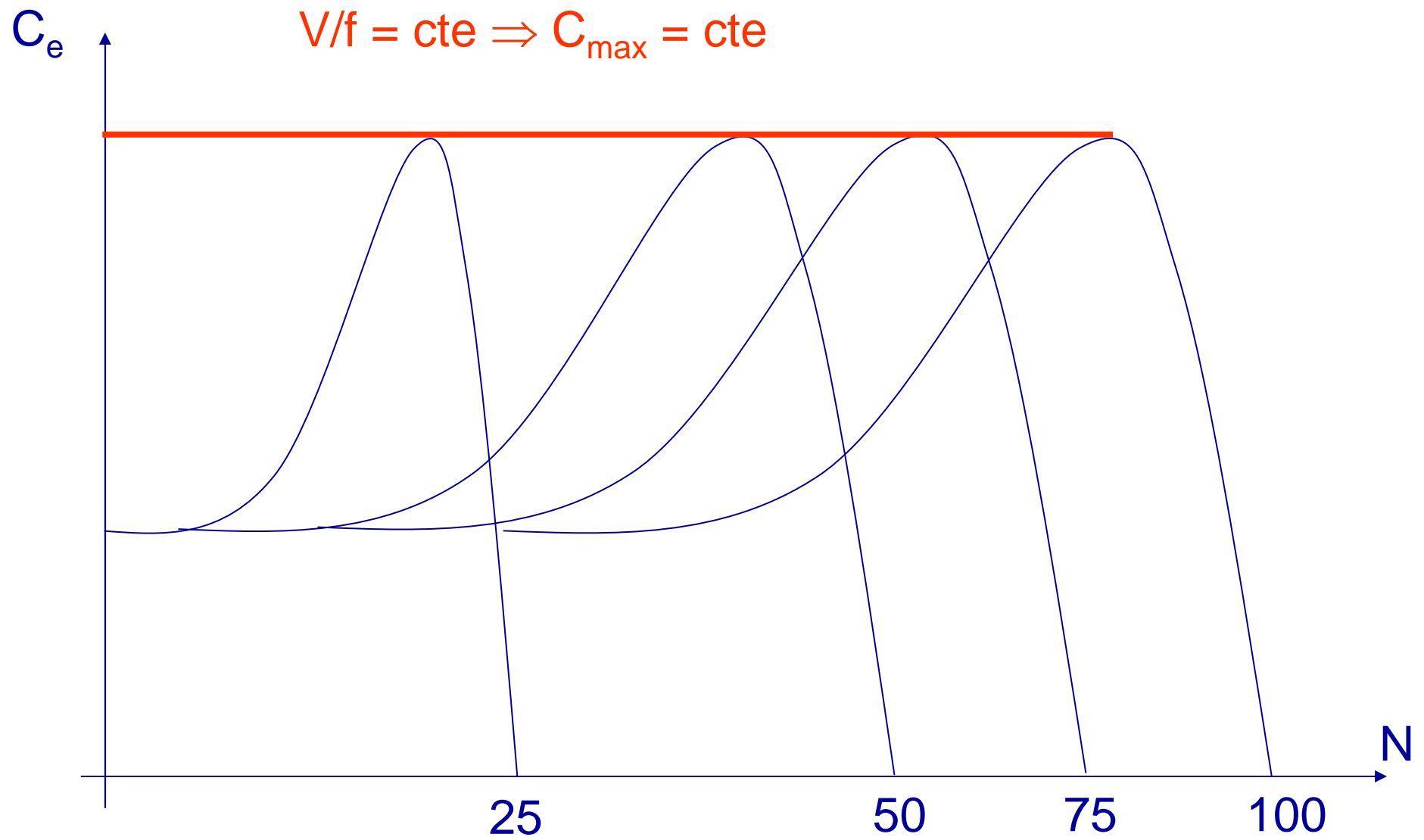




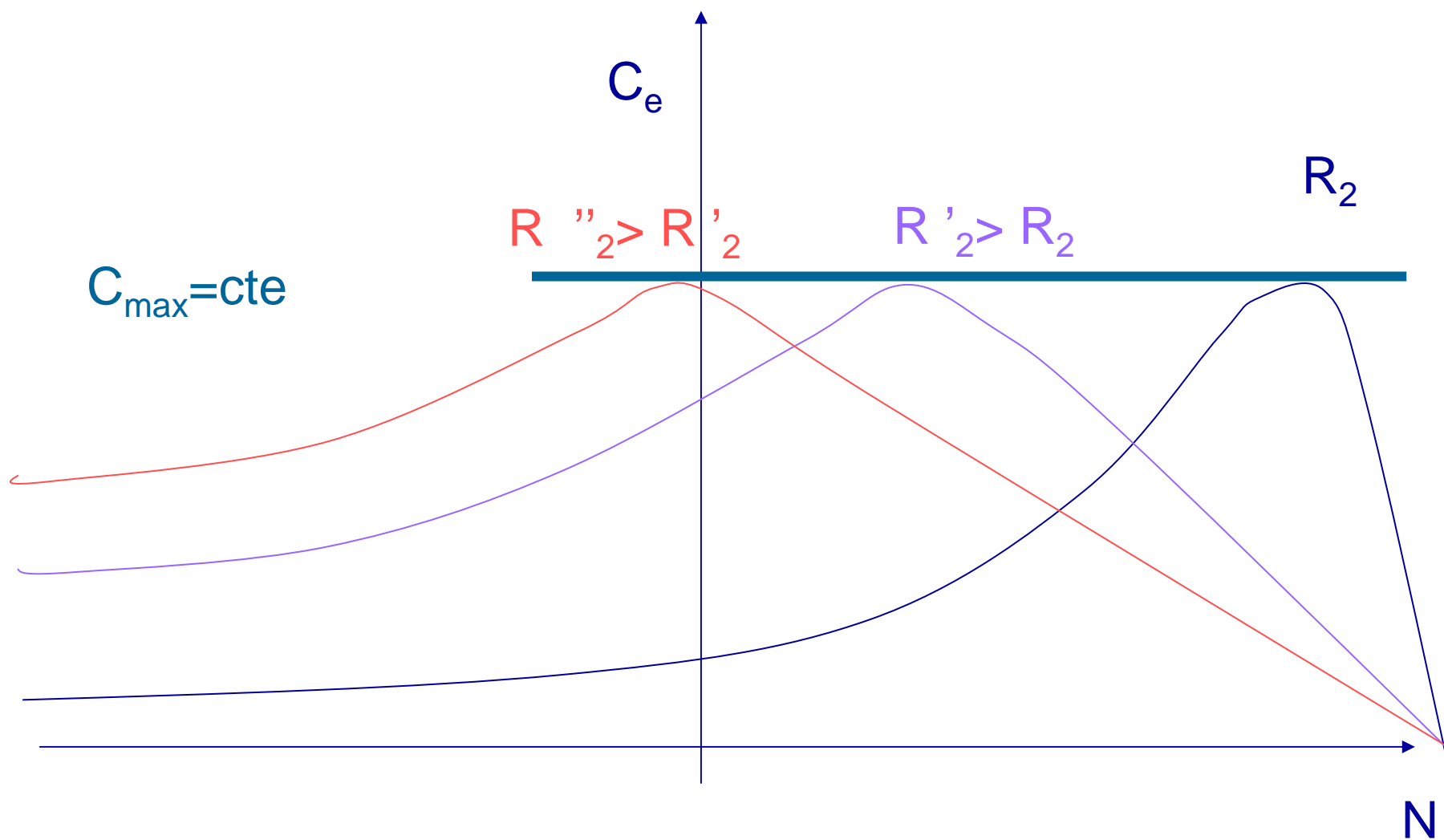
# Démarreur étoile/triangle



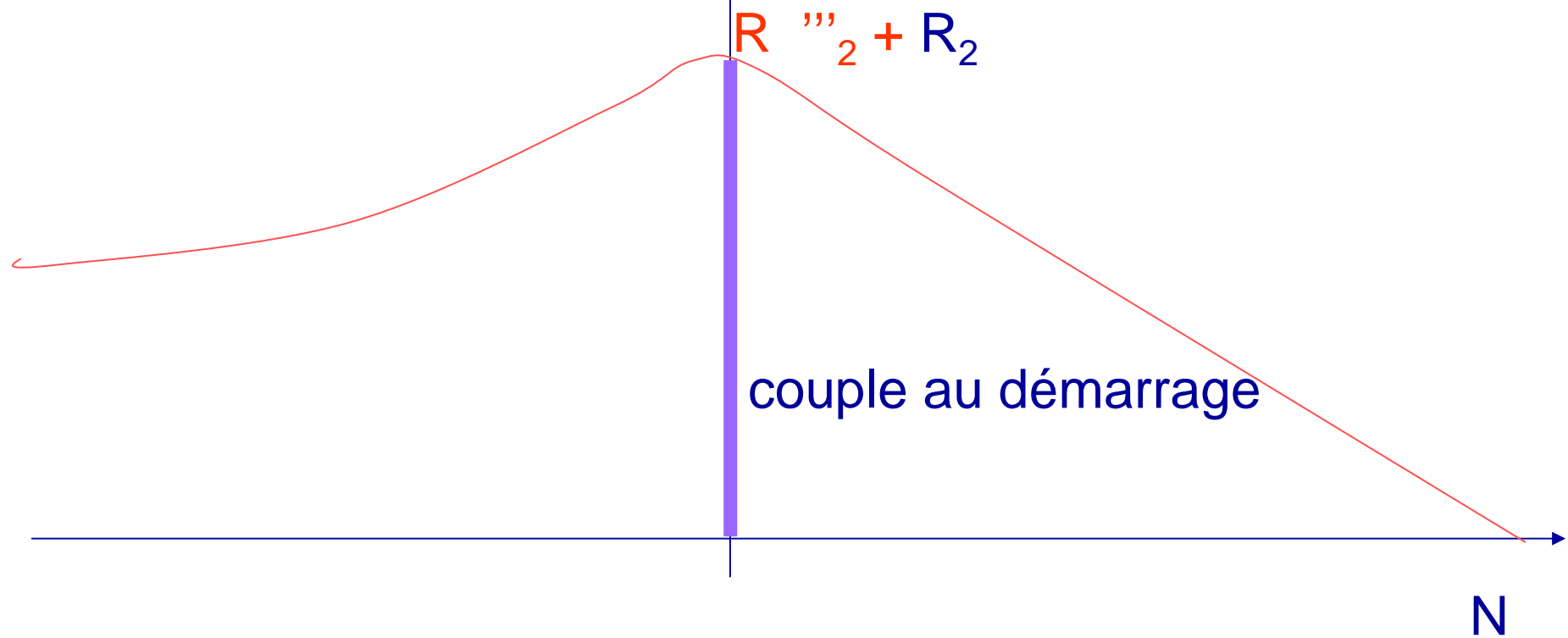
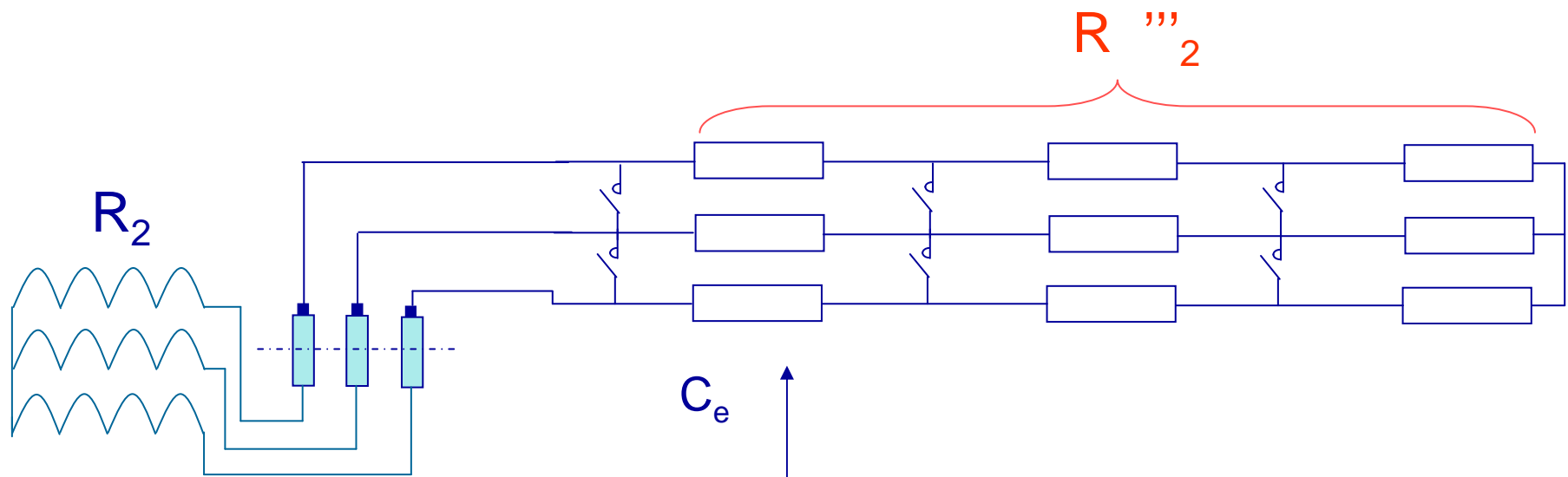
Influence d'une  
variation de la  
fréquence des  
tensions statoriques

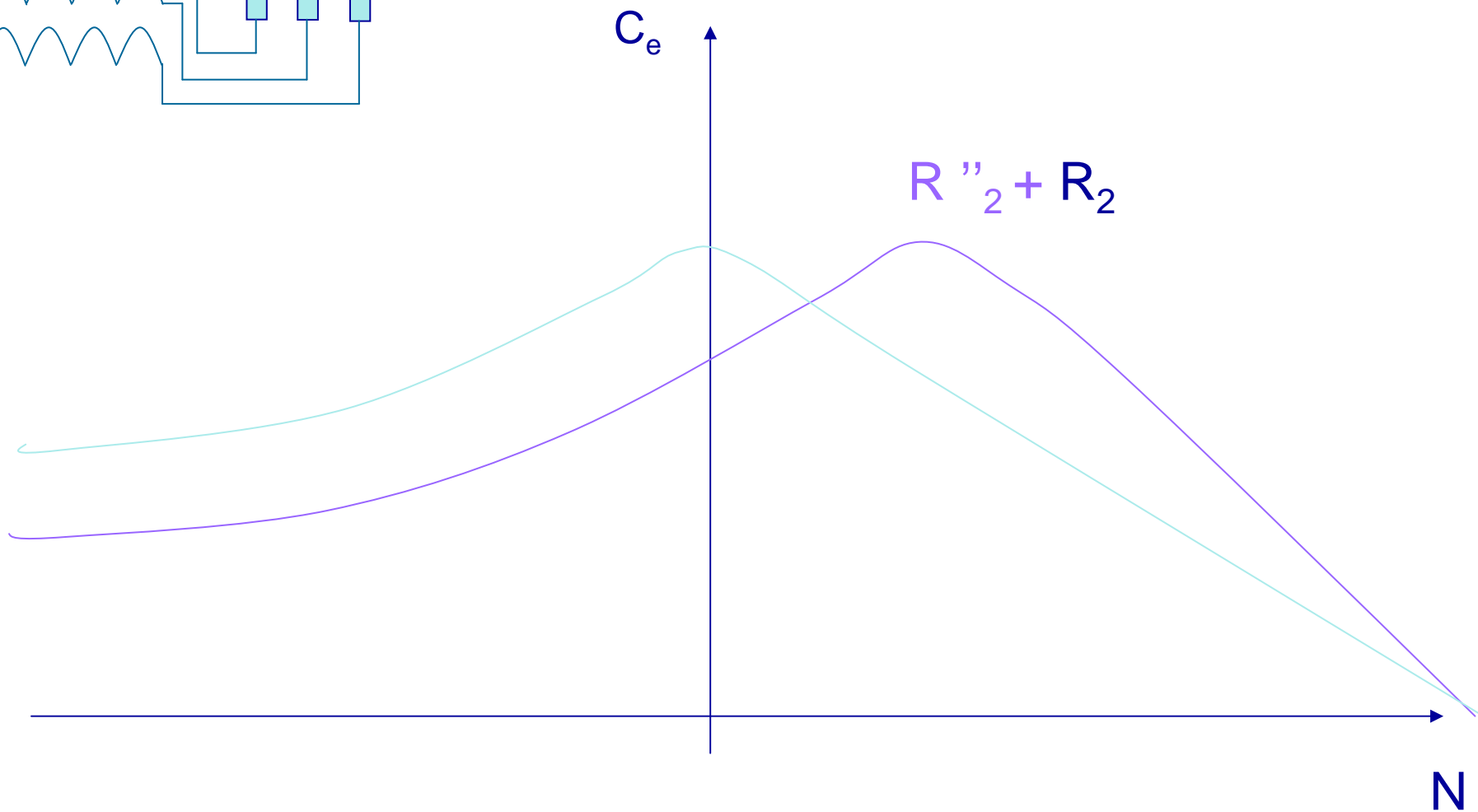
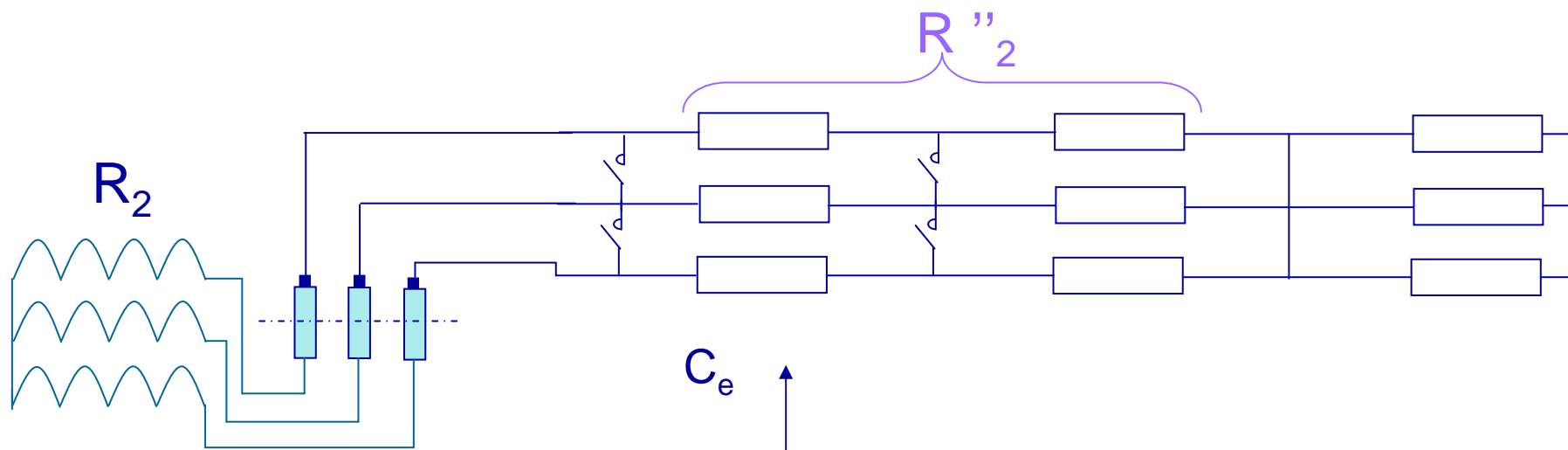


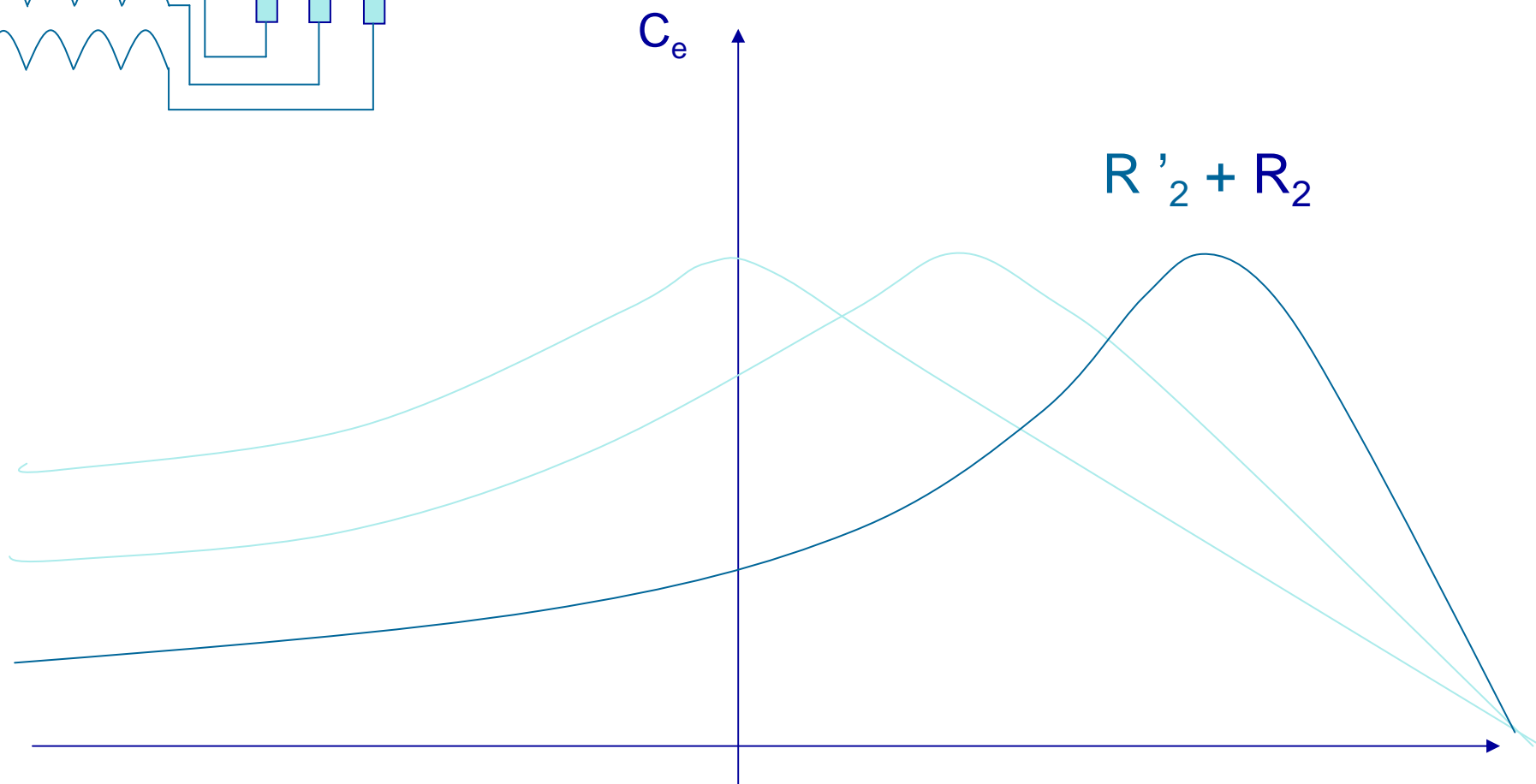
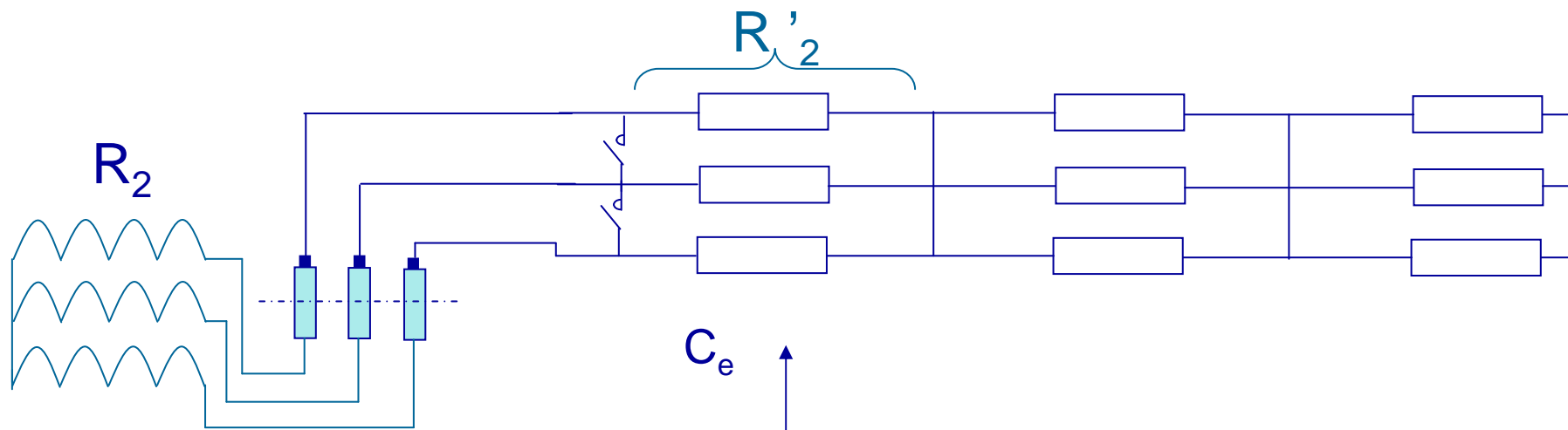
Influence d 'une variation de  
la résistance rotorique sur la  
caractéristique mécanique

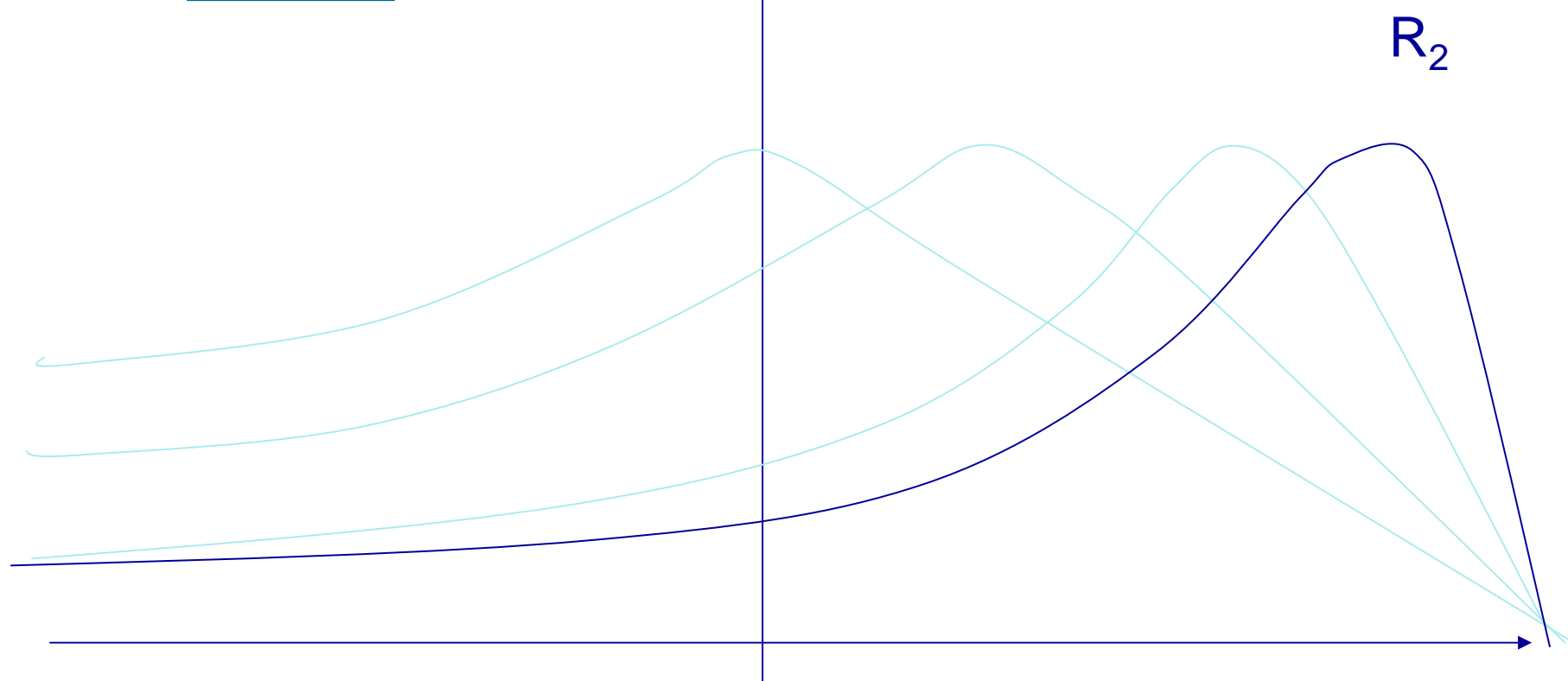
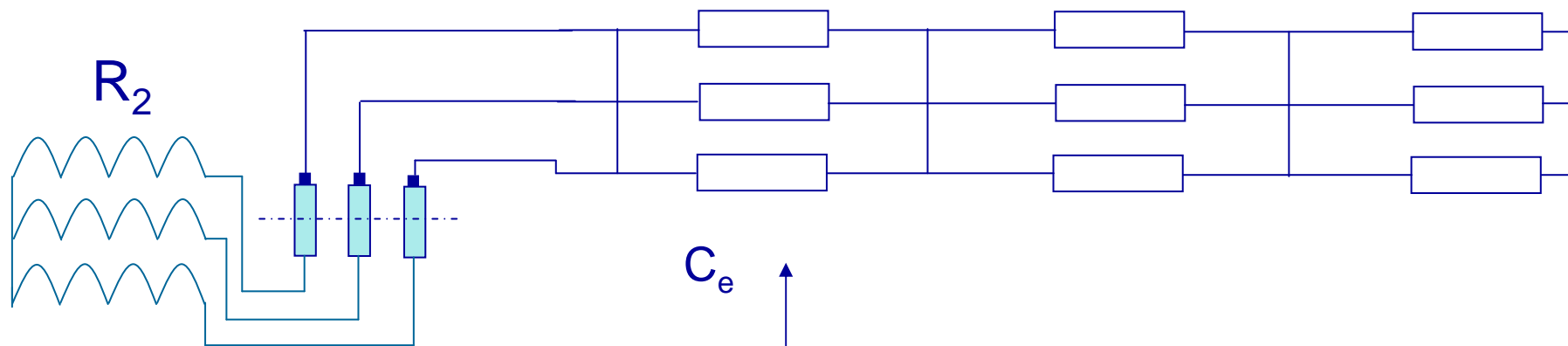


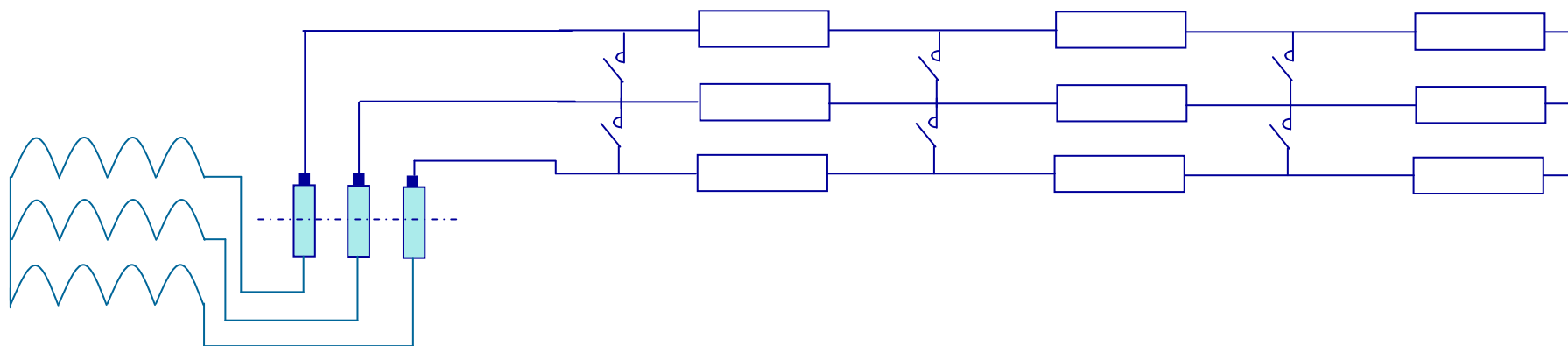


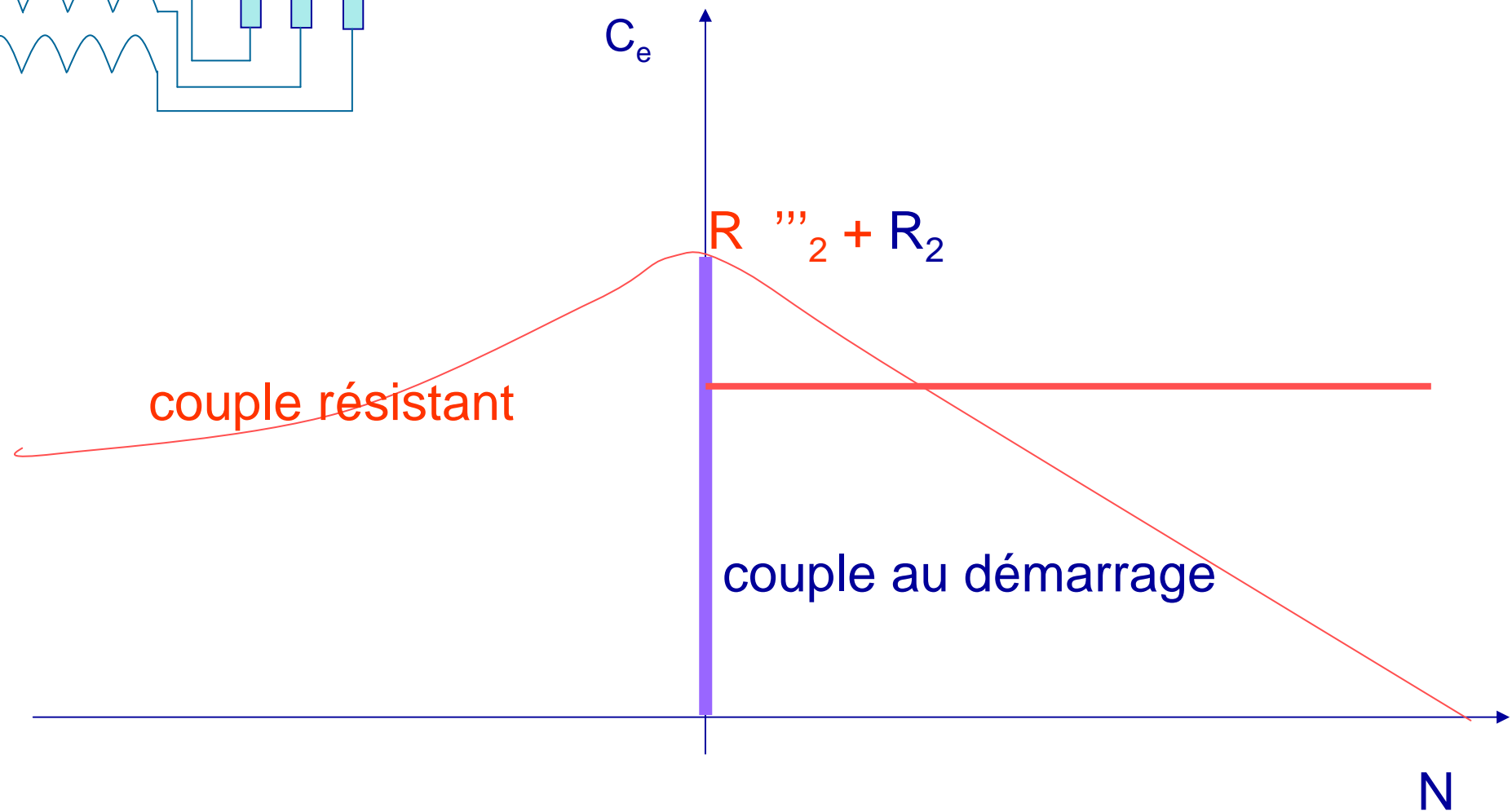
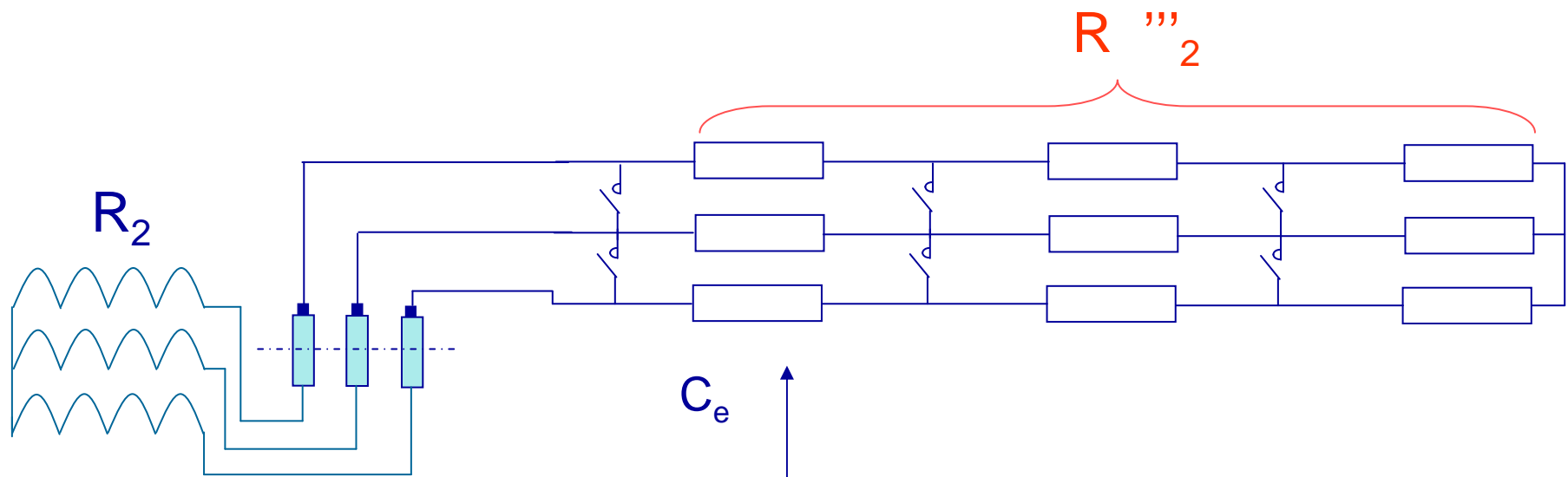




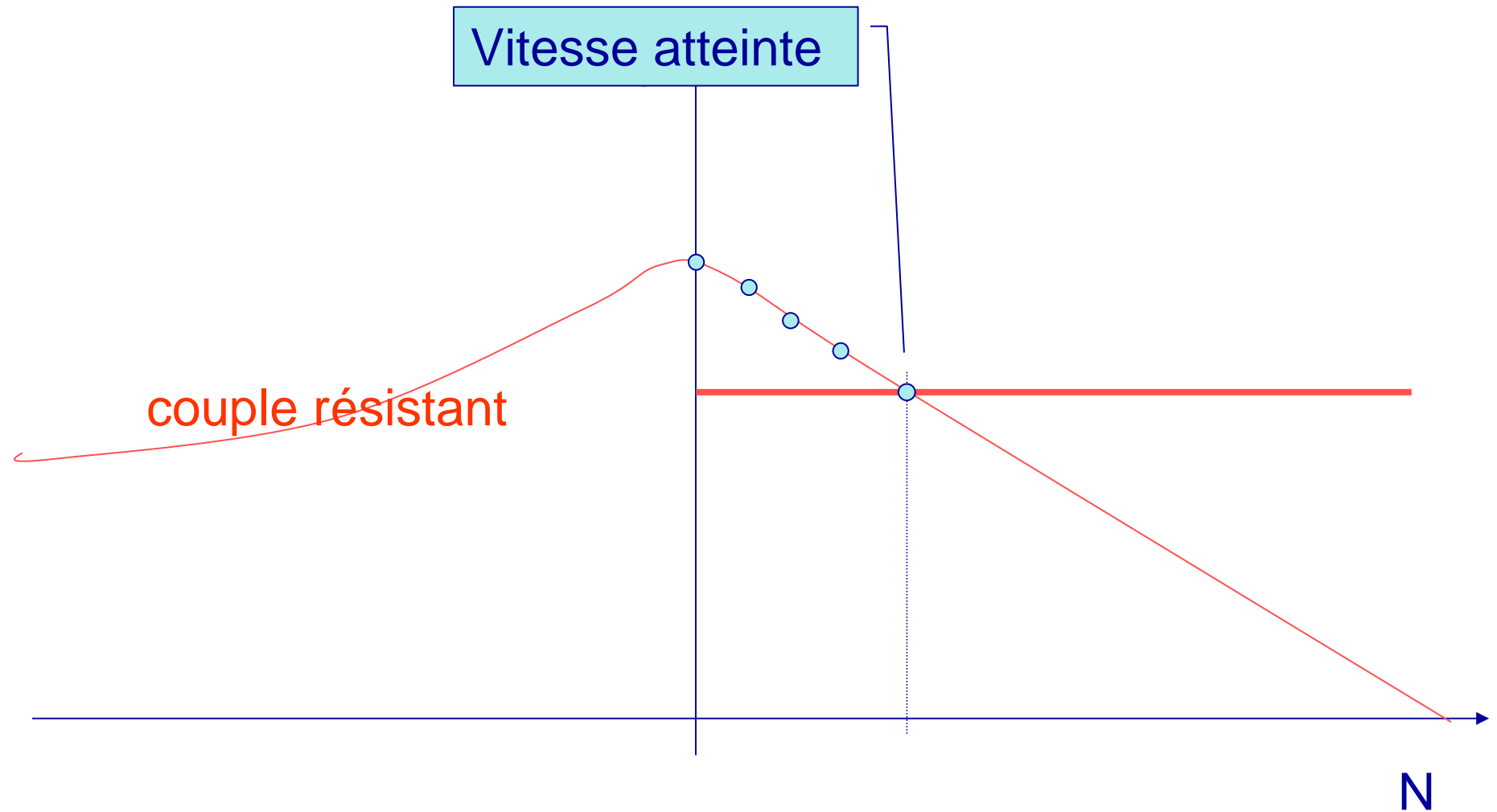


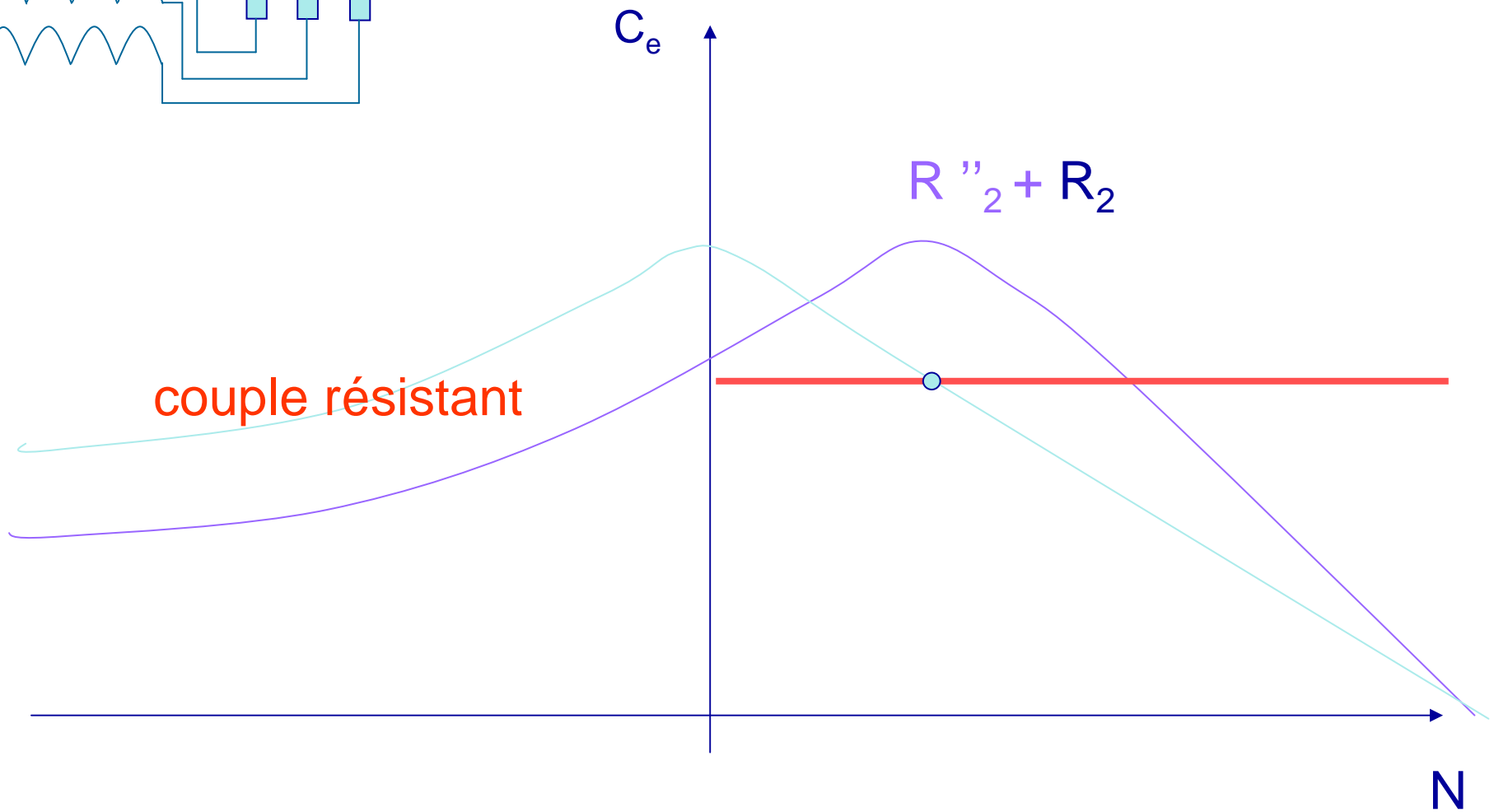
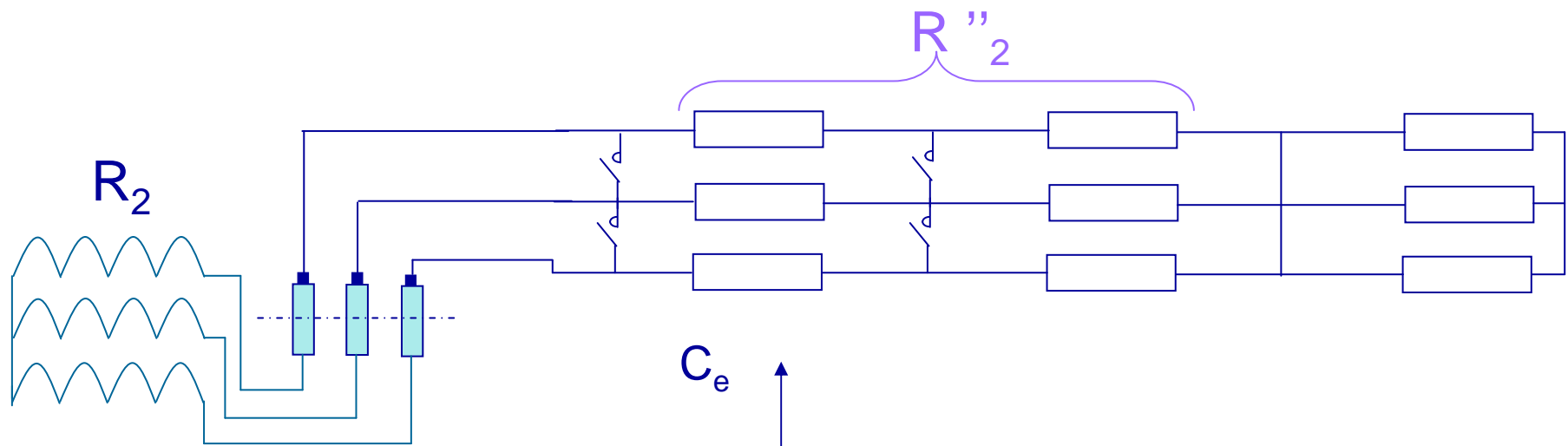






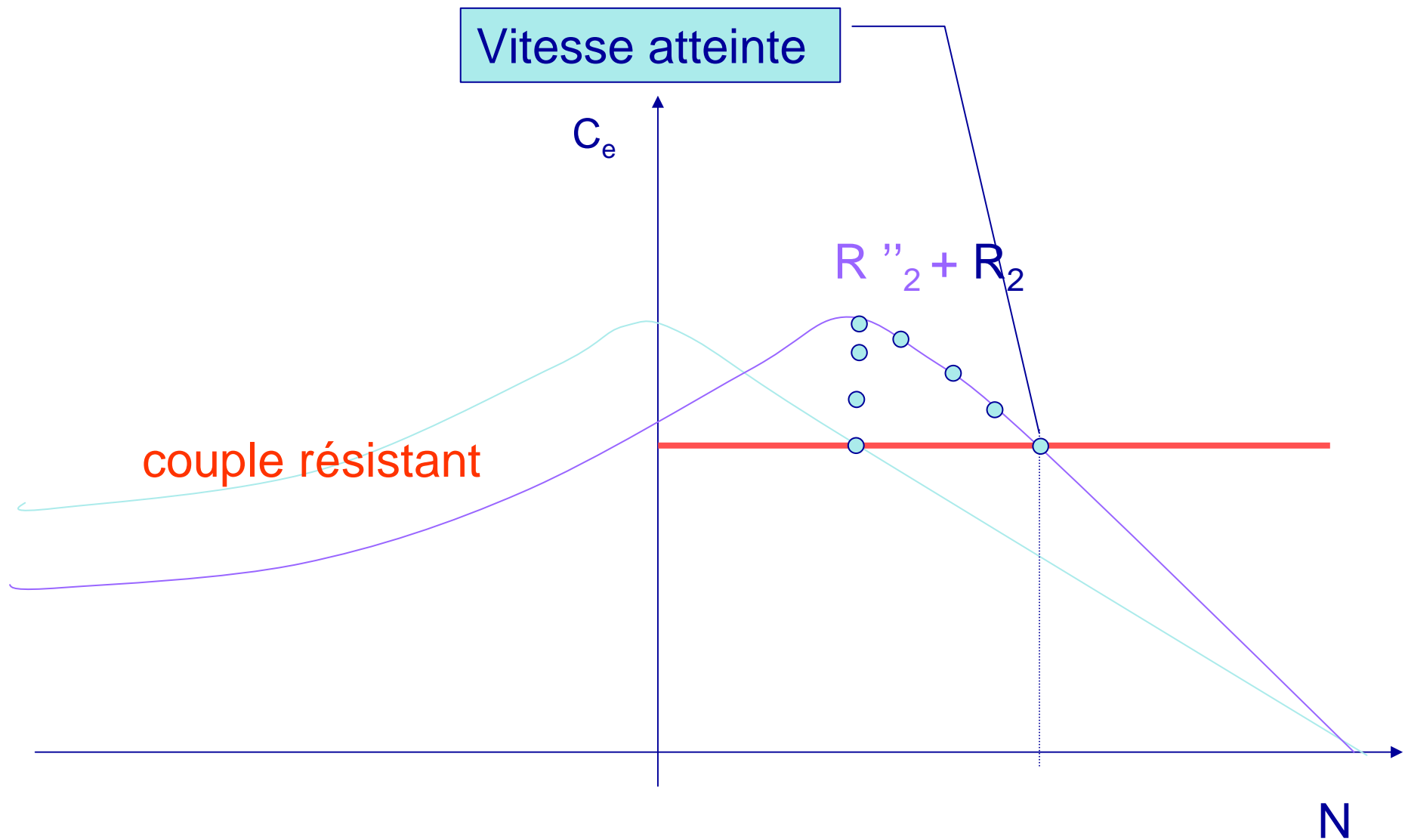
$$C_{\text{mot}} - C_{\text{résist}} = \Sigma J \frac{d\Omega}{dt} = 0$$

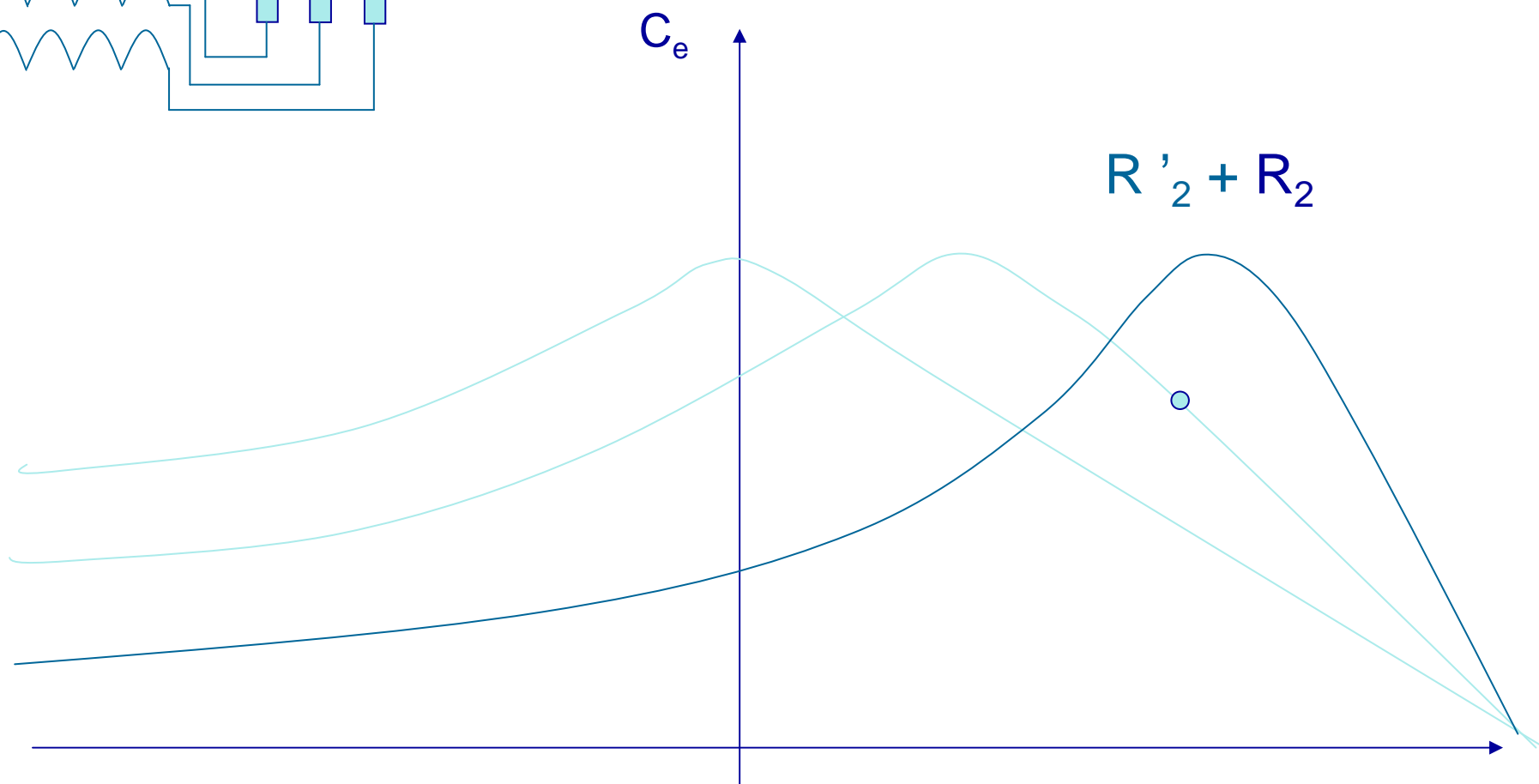
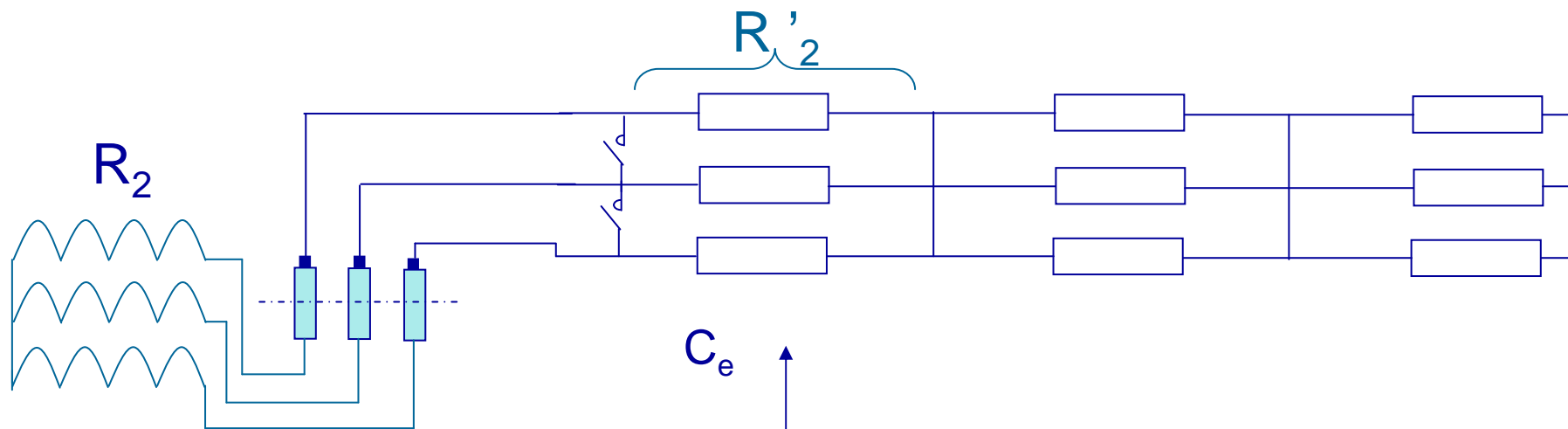






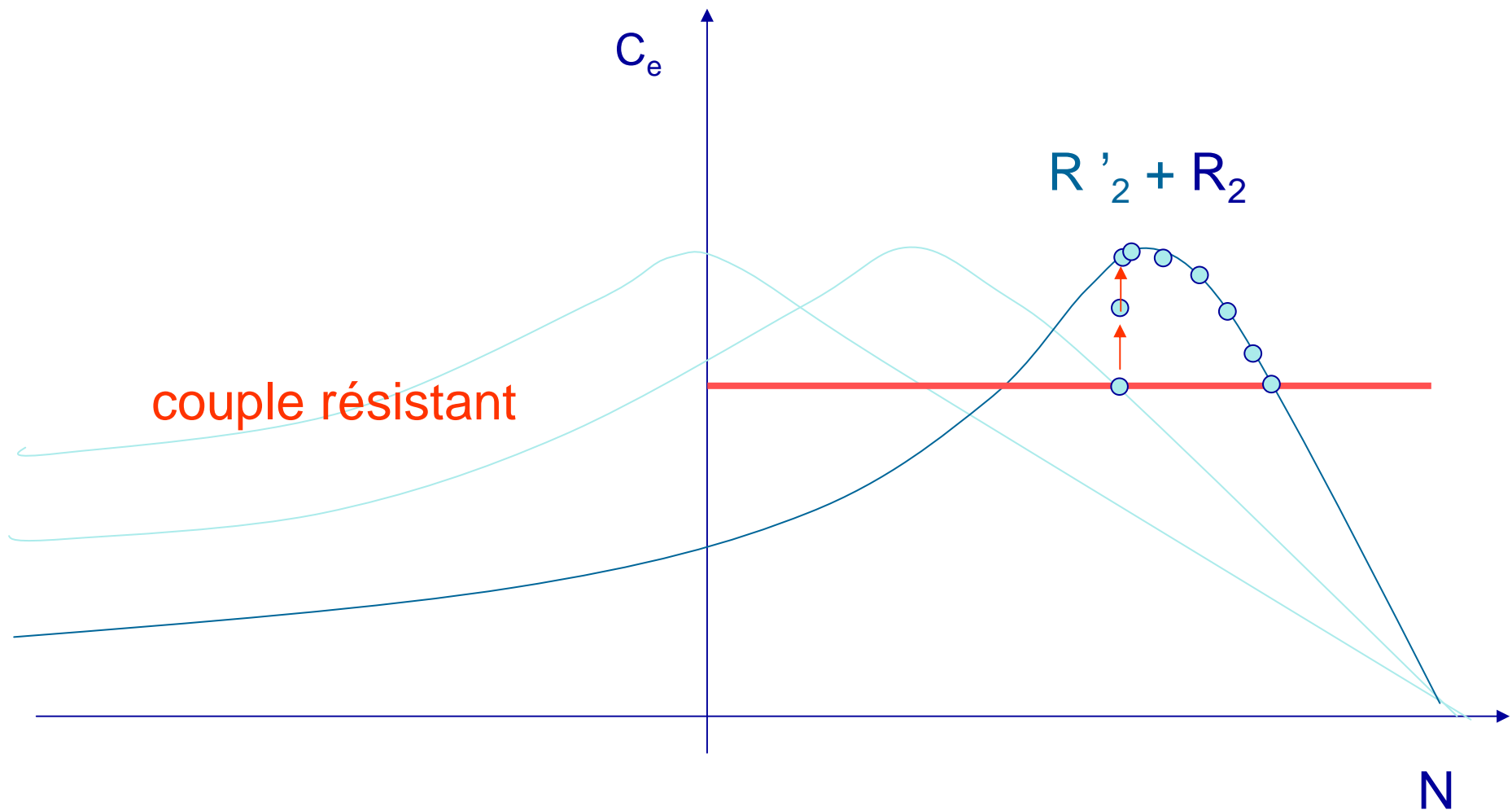
$$C_{\text{mot}} - C_{\text{résist}} = \Sigma J \frac{d\Omega}{dt} = 0$$

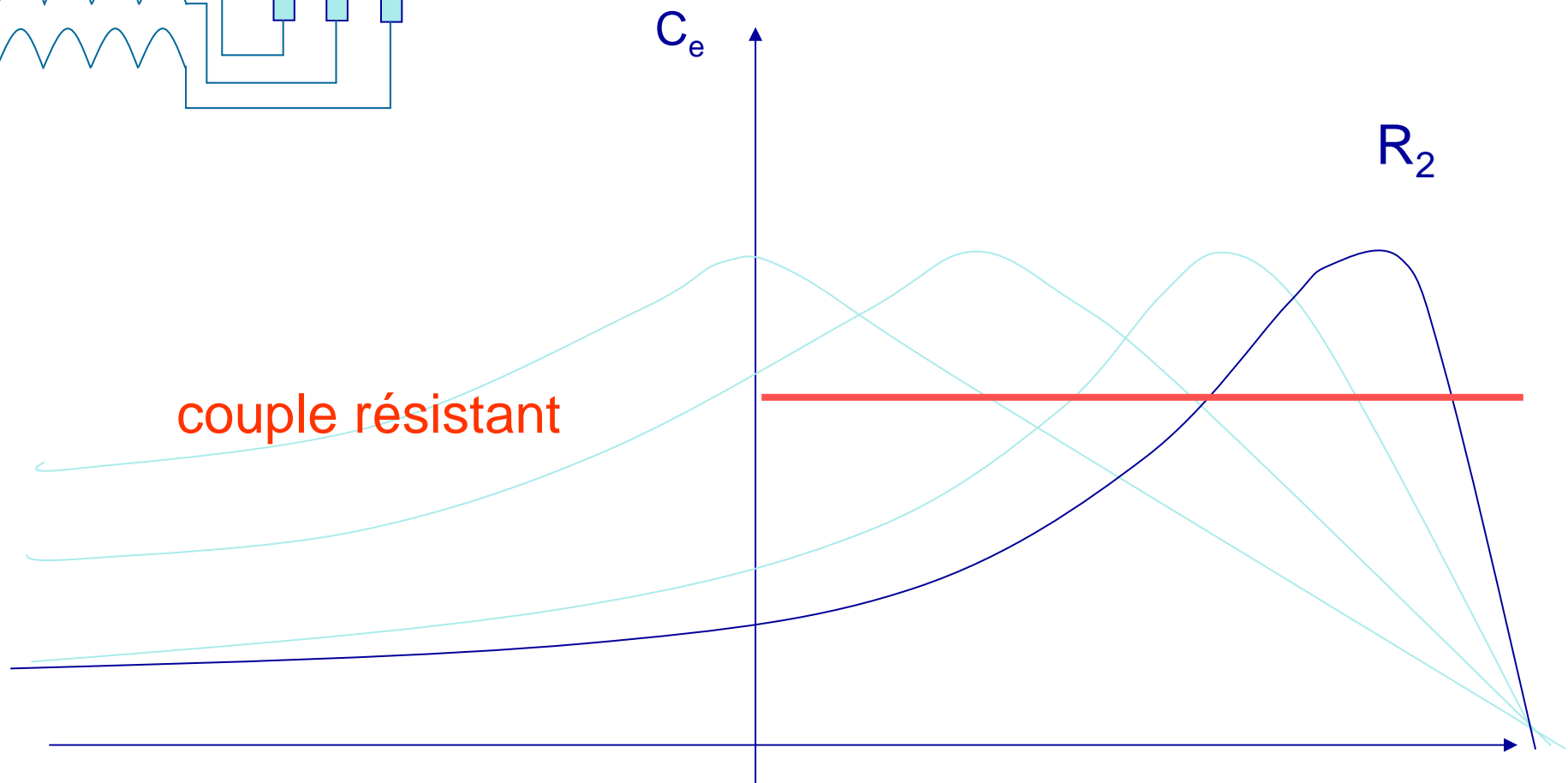
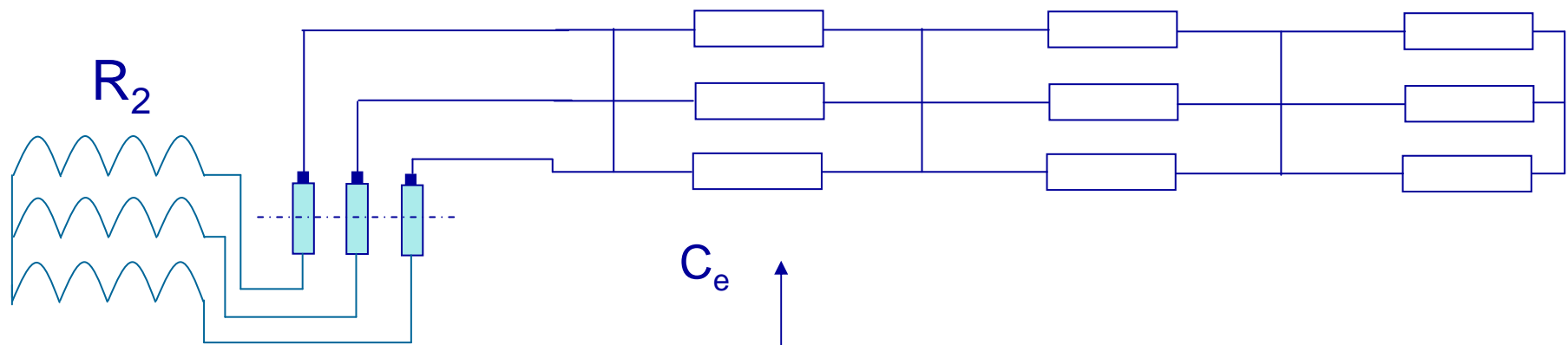




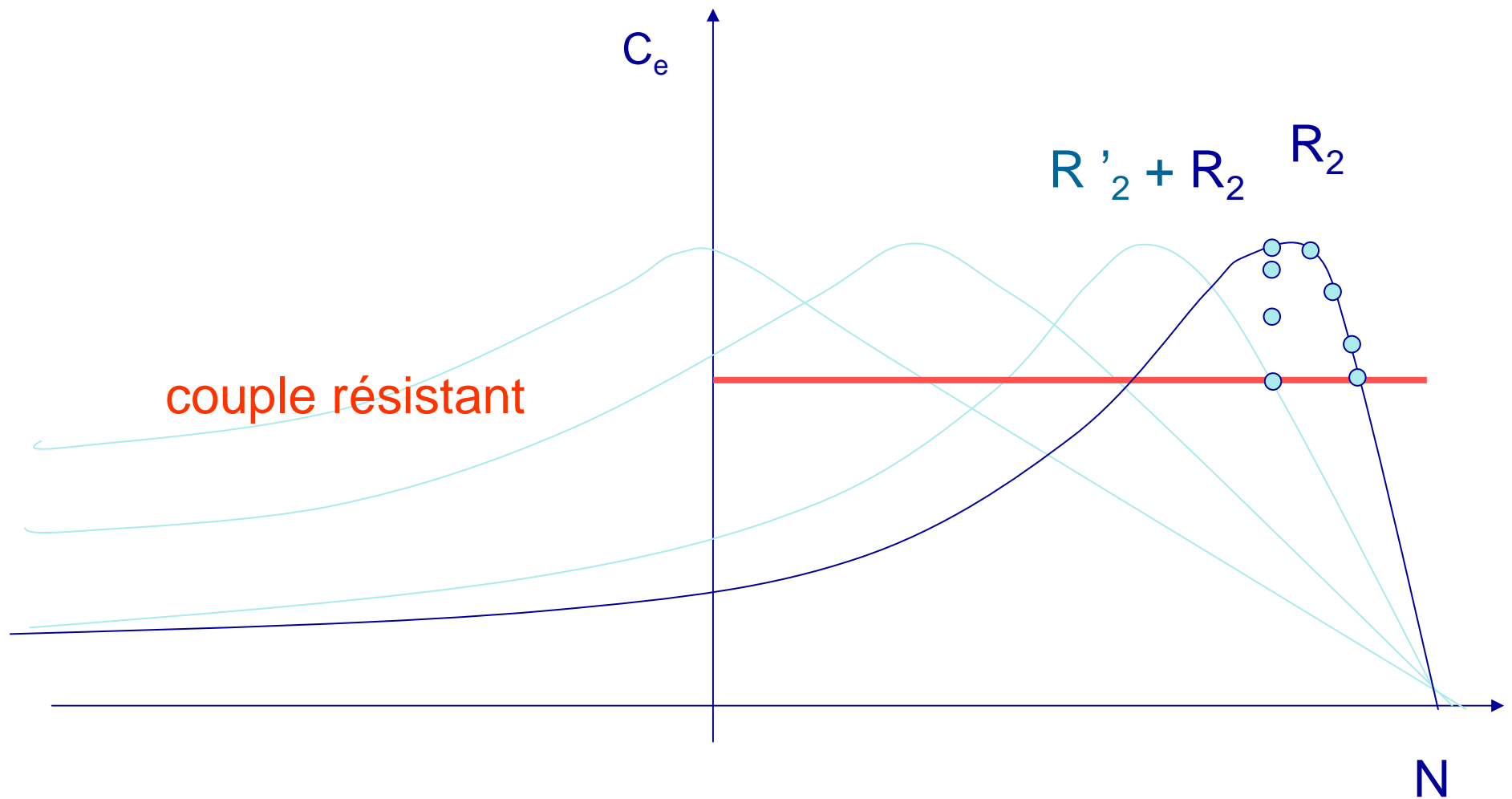
$$C_{\text{mot}} - C_{\text{résist}} = \Sigma J \frac{d\Omega}{dt} > 0$$

$$C_{\text{mot}} - C_{\text{résist}} = \Sigma J = 0$$





$$C_{\text{mot}} - C_{\text{résist}} = \Sigma J \frac{d\Omega}{dt} = 0$$



# Freinage du moteur asynchrone

Lors de l'arrêt d'une machine, il est souvent nécessaire de réduire le temps de décélération dû à la seule inertie des parties tournantes.

Le freinage électrique offre l'avantage de ne mettre en œuvre aucune pièce d'usure.

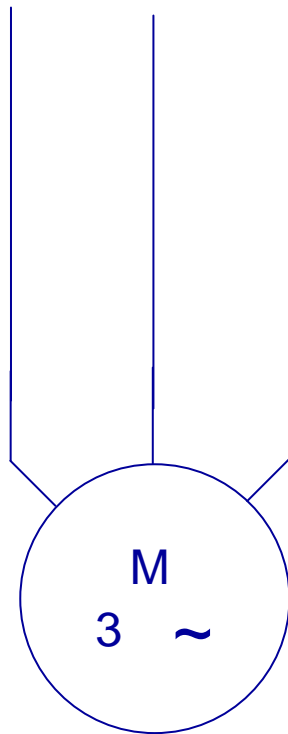
Dans certains cas, l'énergie mécanique récupérée peut être réinjectée sur le réseau électrique.

# Freinage du moteur asynchrone

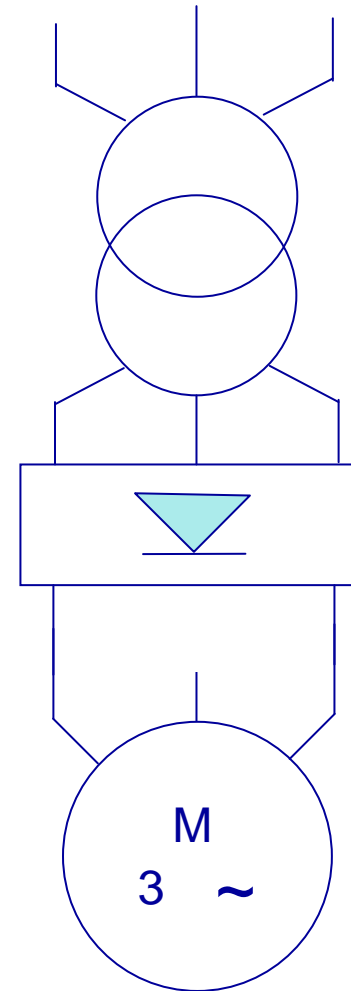
Freinage par injection de courant  
continu



# Freinage par injection de courant continu d'un moteur à cage d'écureuil :

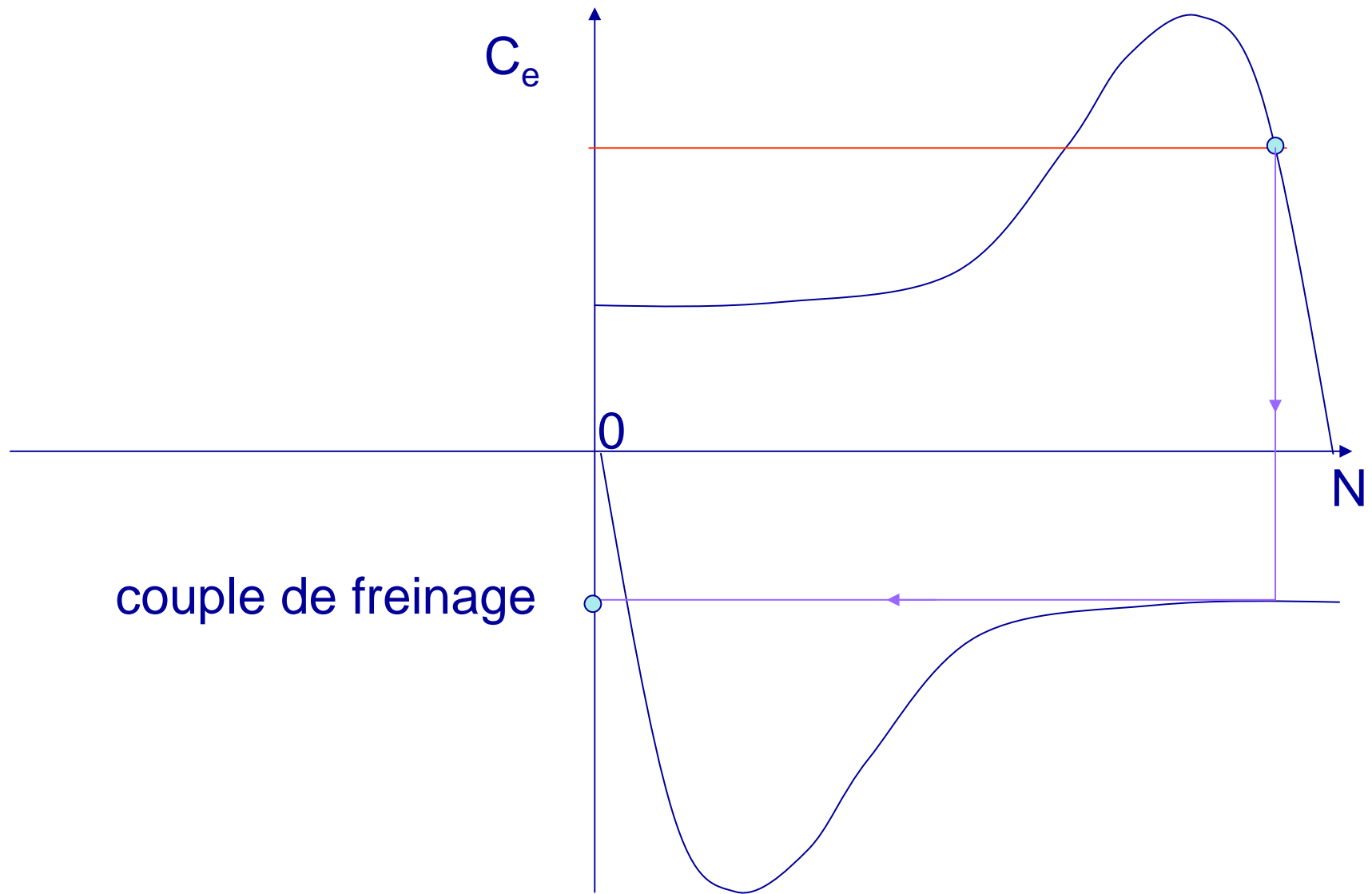


fonctionnement

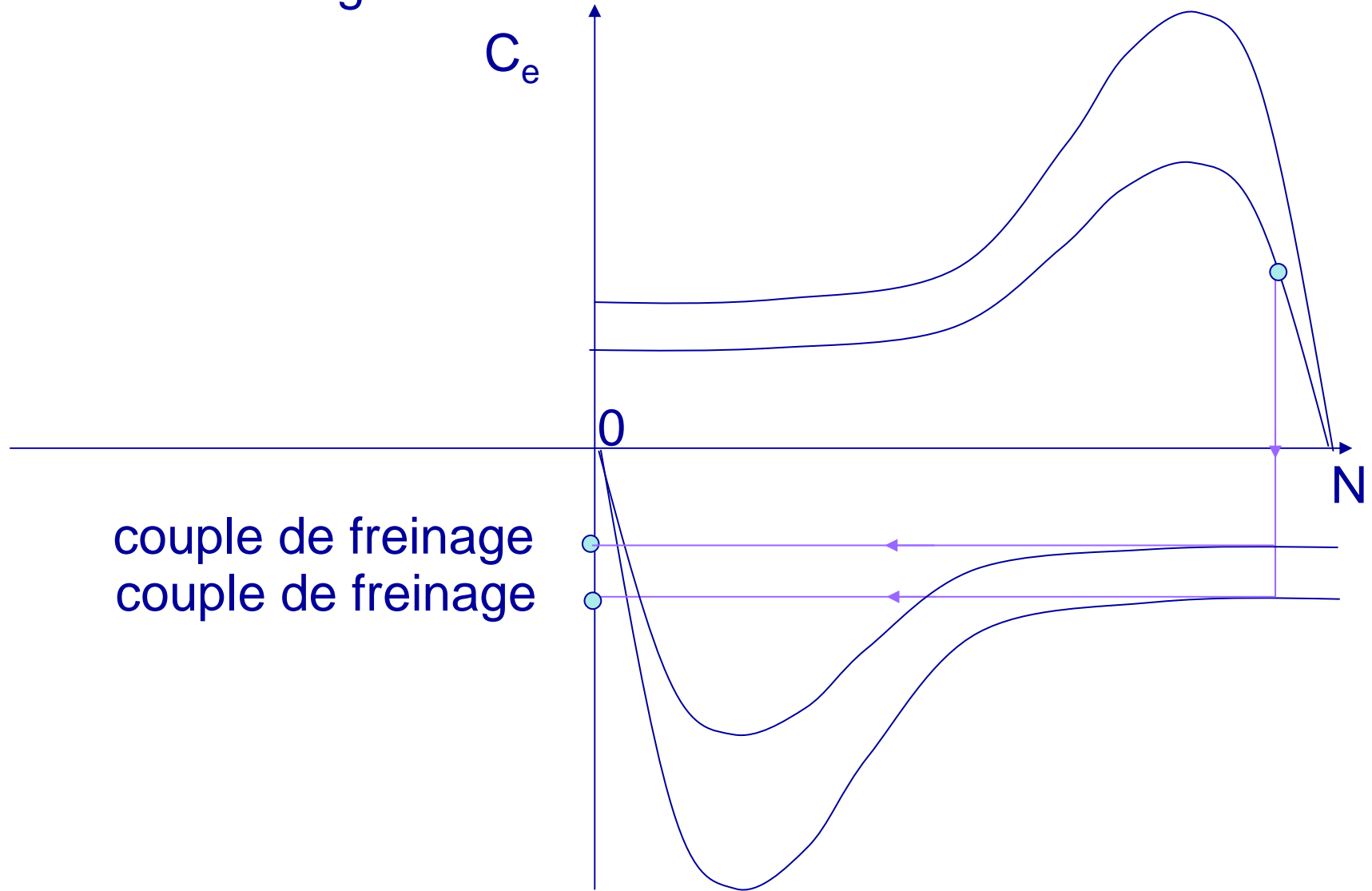


freinage

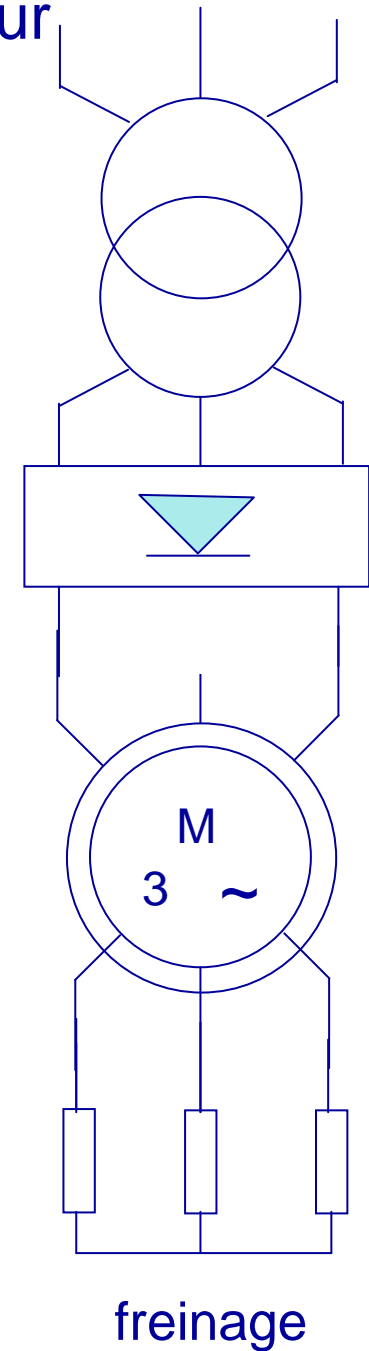
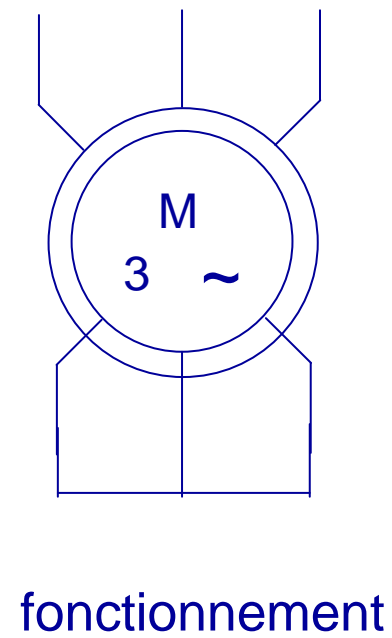
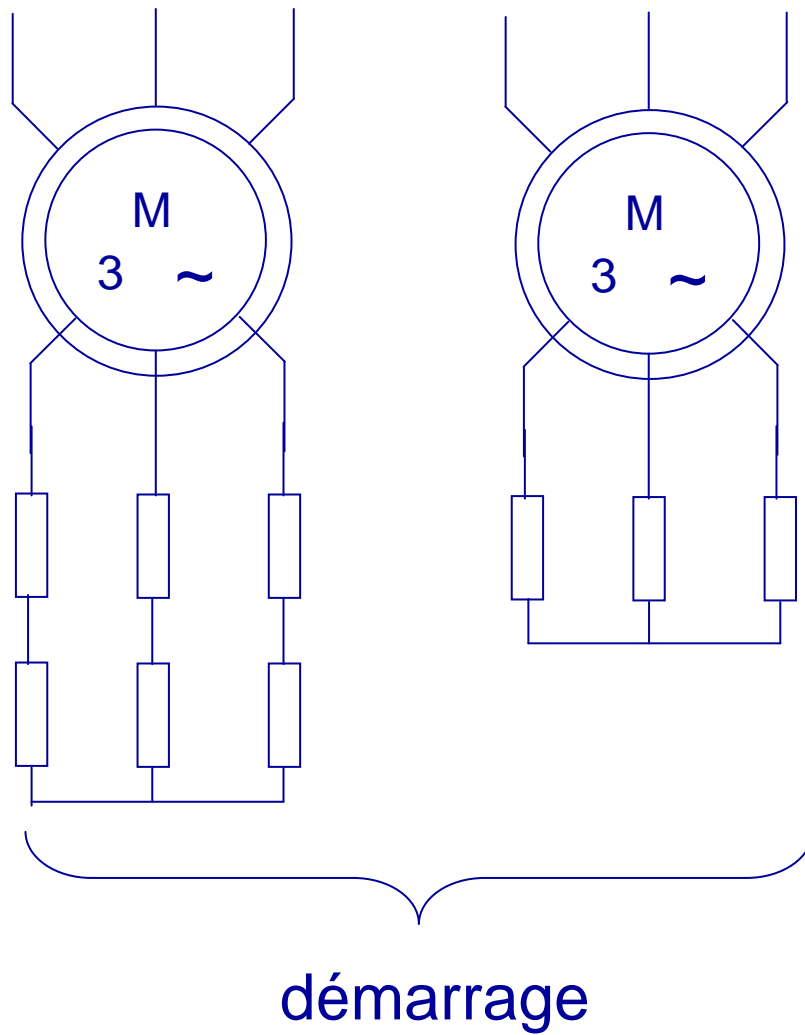
## Freinage par injection de courant continu



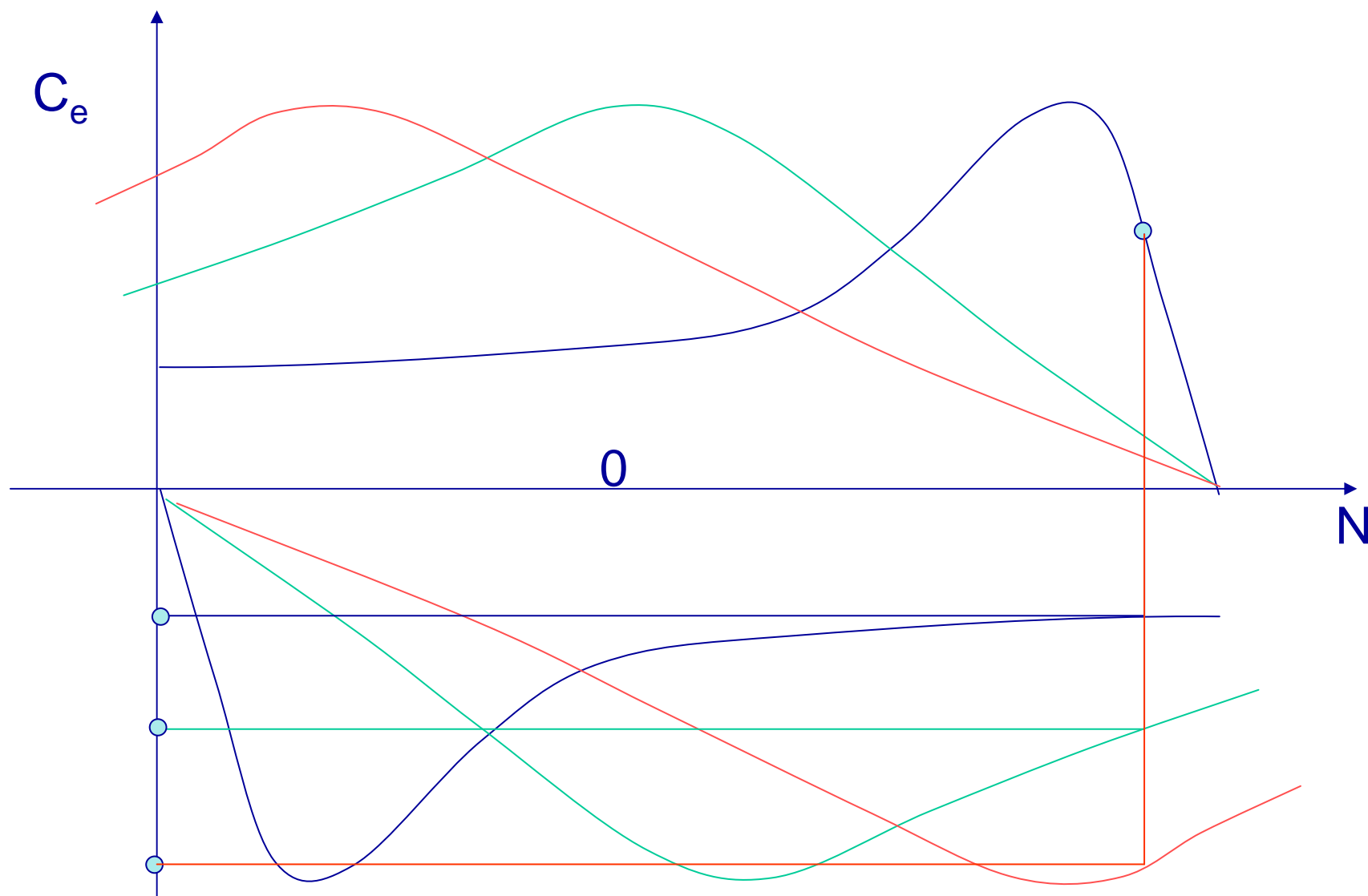
# Réglage du freinage par injection de courant continu d'un moteur à cage d'écureuil :



# Freinage par injection de courant continu d'un moteur à rotor bobiné



# Réglage du freinage par injection de courant continu d'un moteur à rotor bobiné

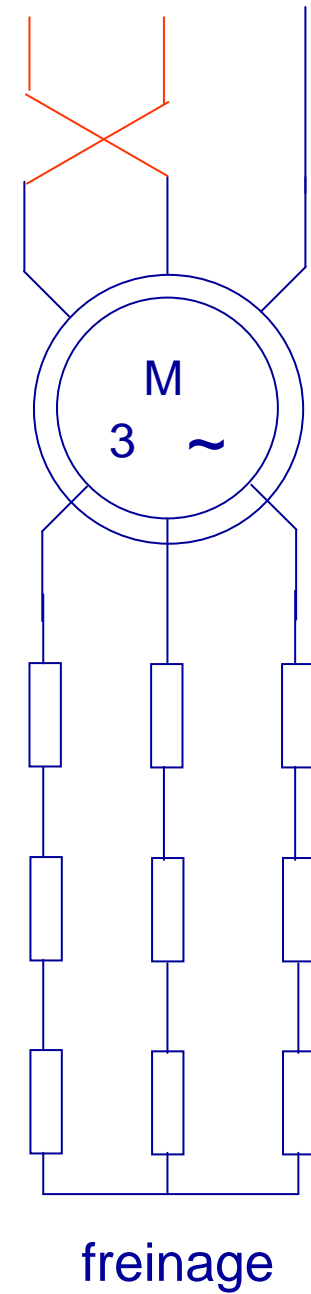
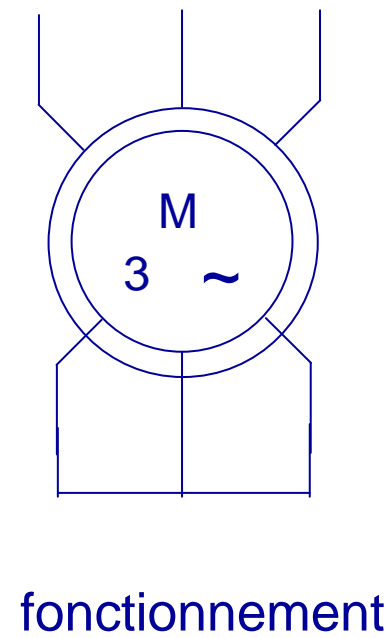
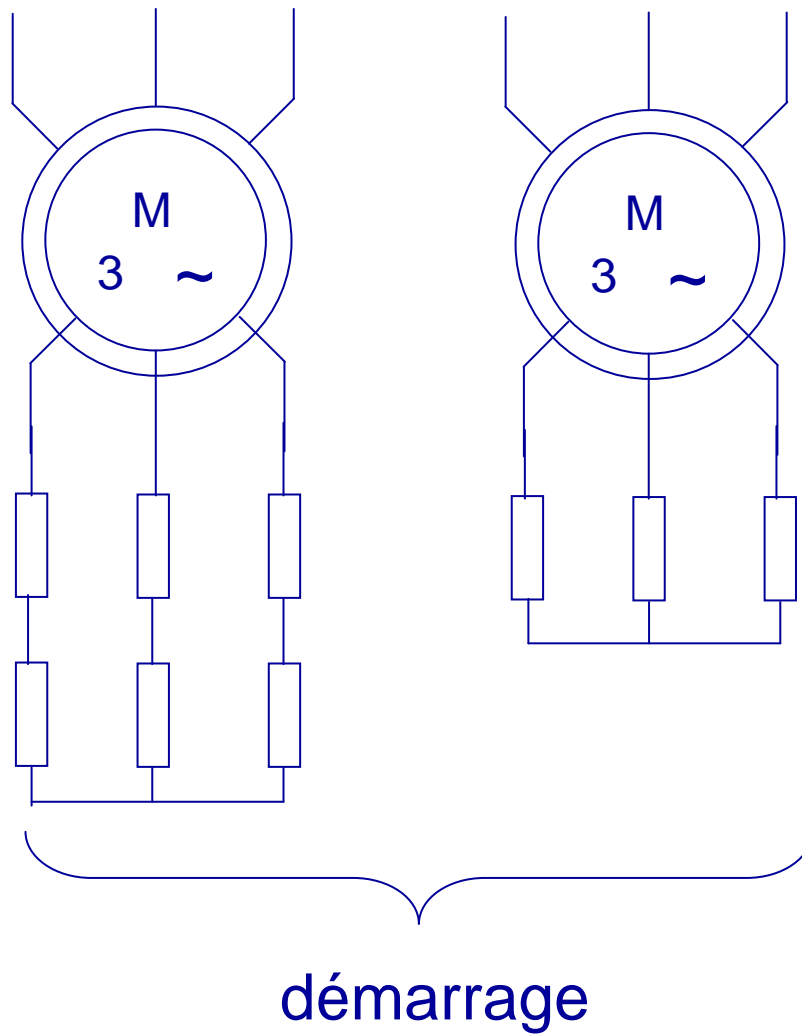


couple de freinage

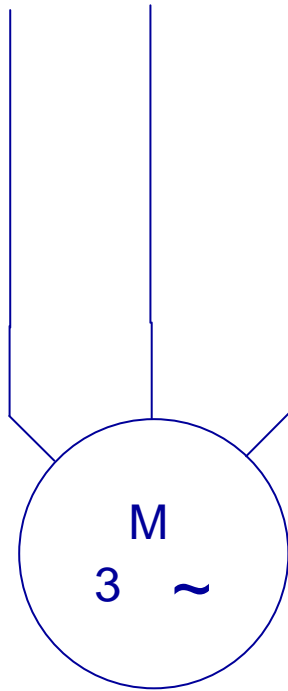
# Freinage du moteur asynchrone

Freinage par contre courant

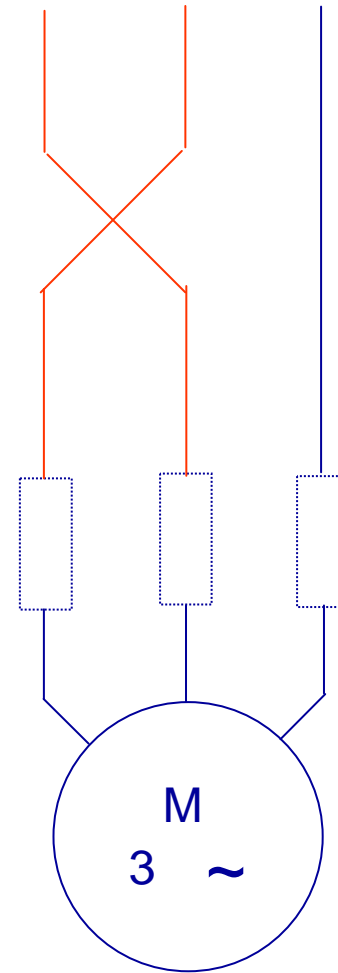
# Freinage par contre-courant d'un moteur à rotor bobiné



## Freinage en contre courant d'un moteur à cage



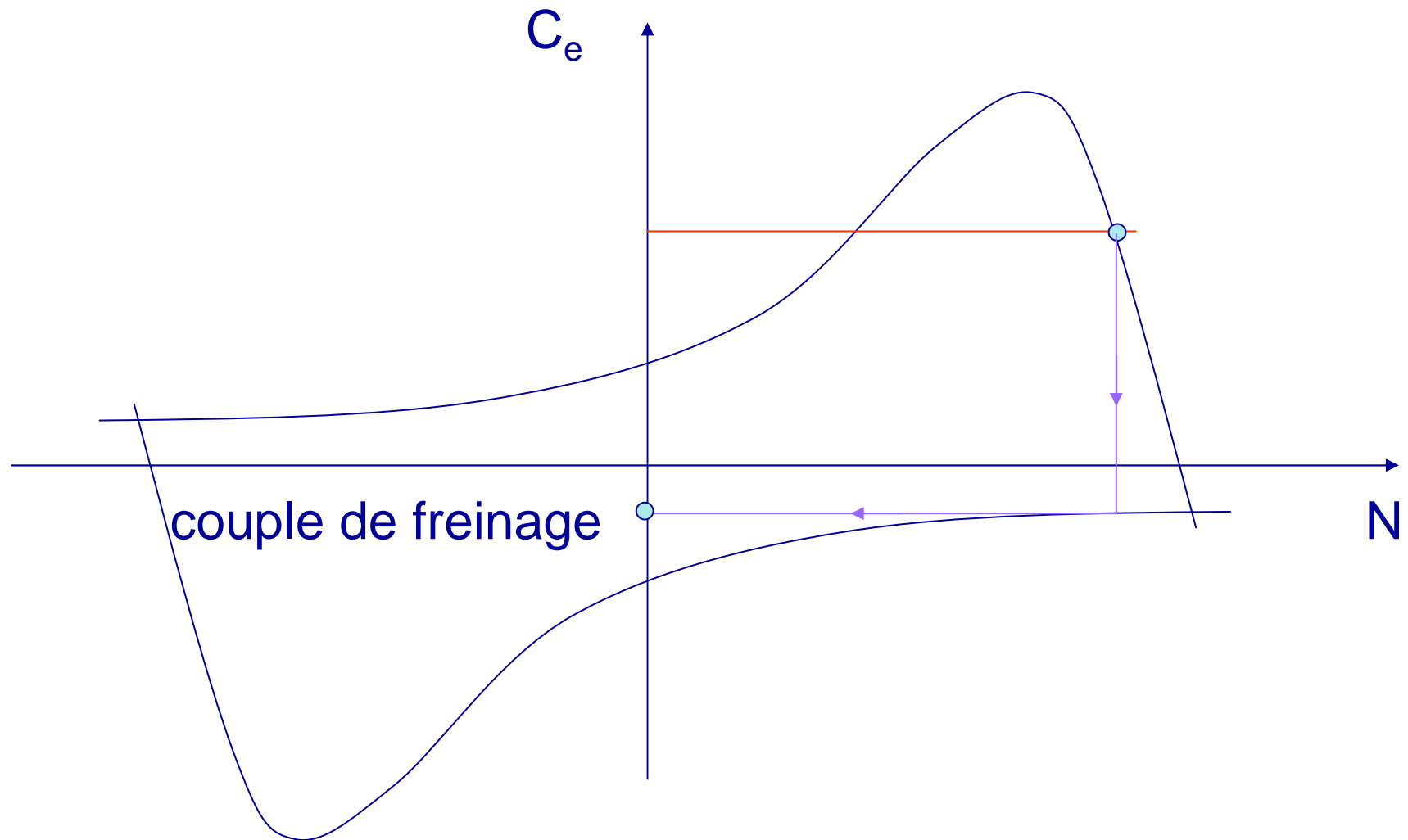
fonctionnement



freinage



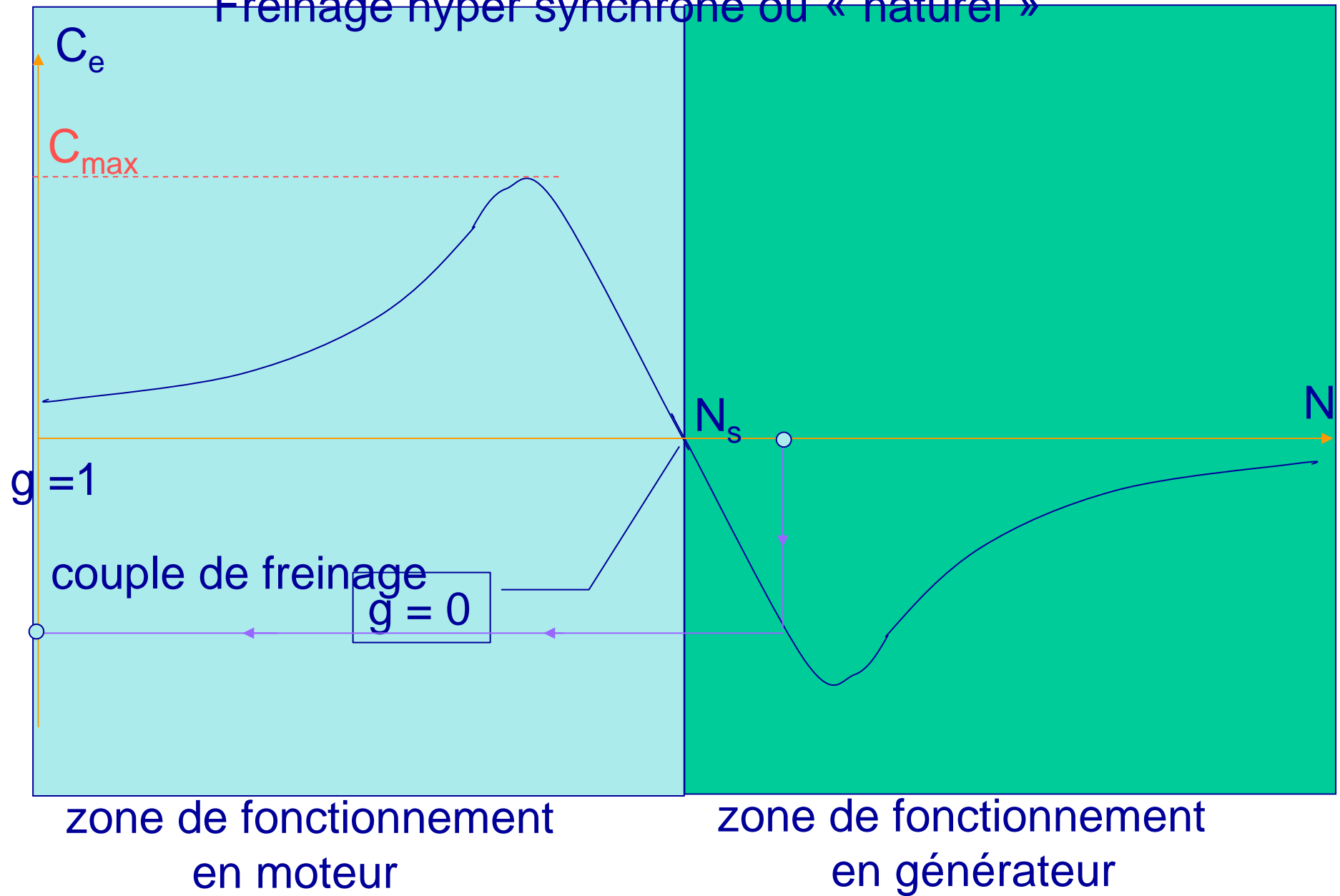
## Freinage par contre-courant



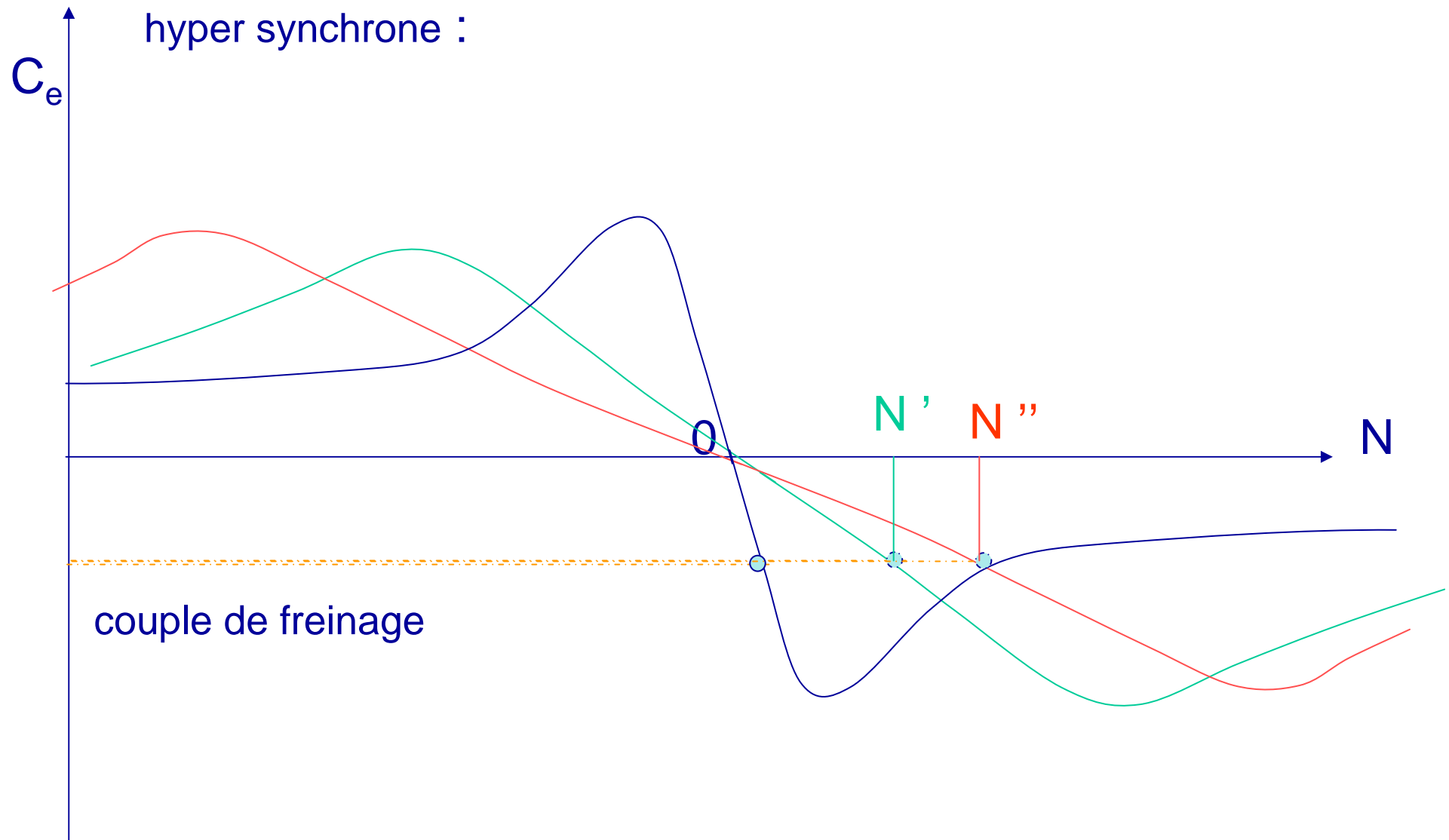
# Freinage du moteur asynchrone

Freinage hyper synchrone

## Freinage hyper synchrone ou « naturel »



De l'utilité de réduire la résistance insérée au rotor lors du freinage hyper synchrone :



**That's all Folks !**