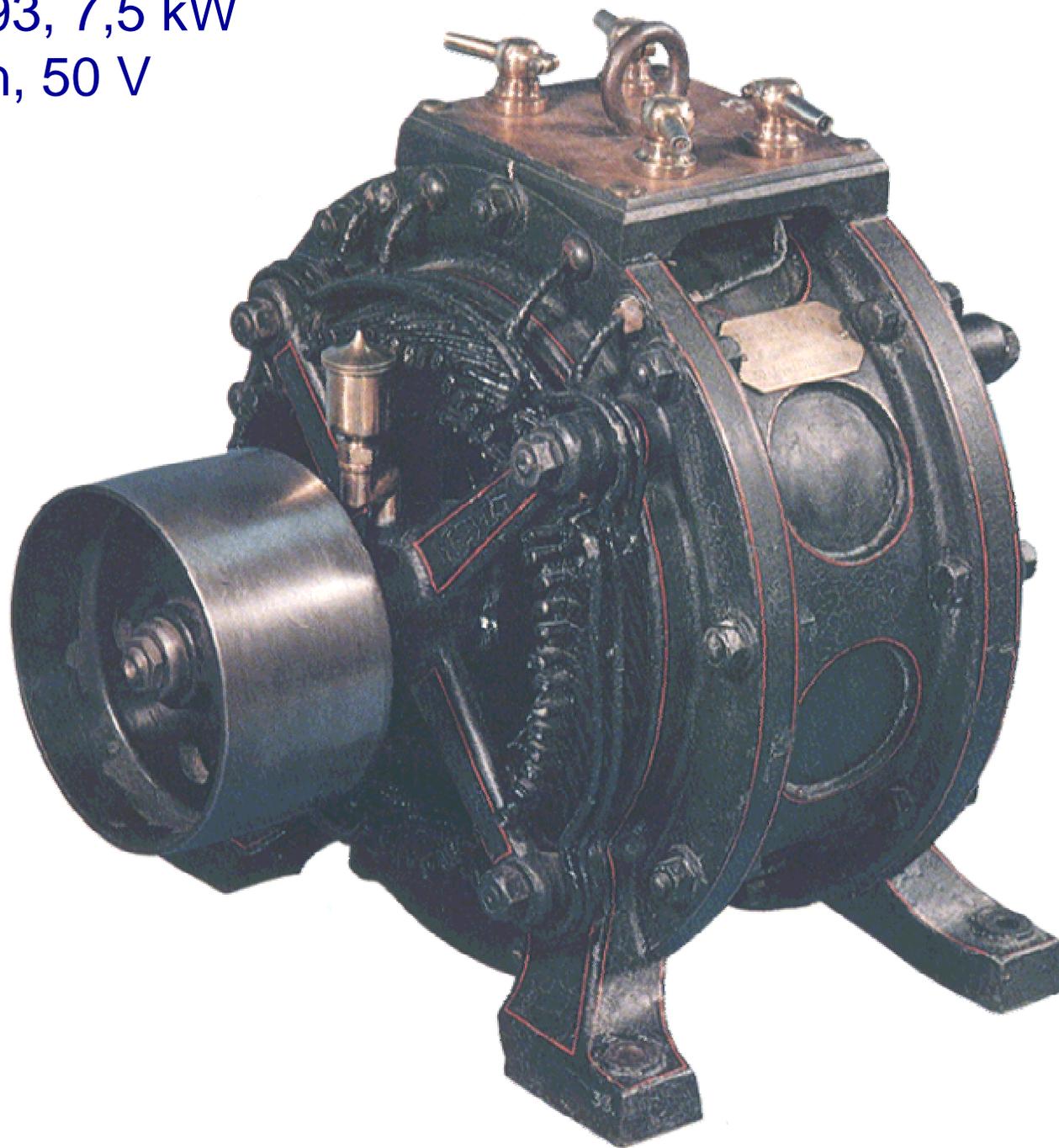


Les machines asynchrones



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



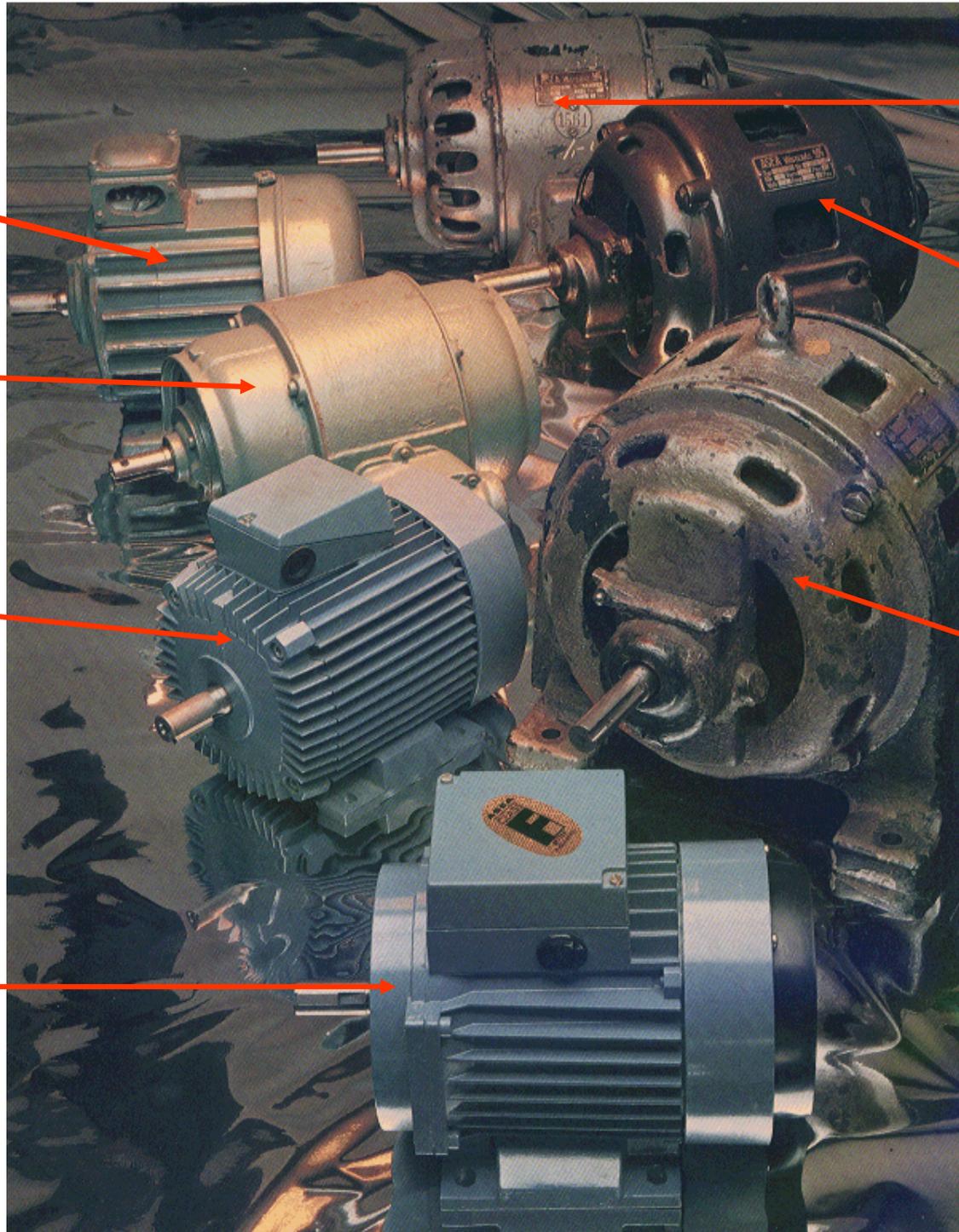
Mat 0,75 kW

1933-1946

1946-1961

1961-1970

1970-...



1922-1933

1912-1922

1905-1912

Les machines asynchrones



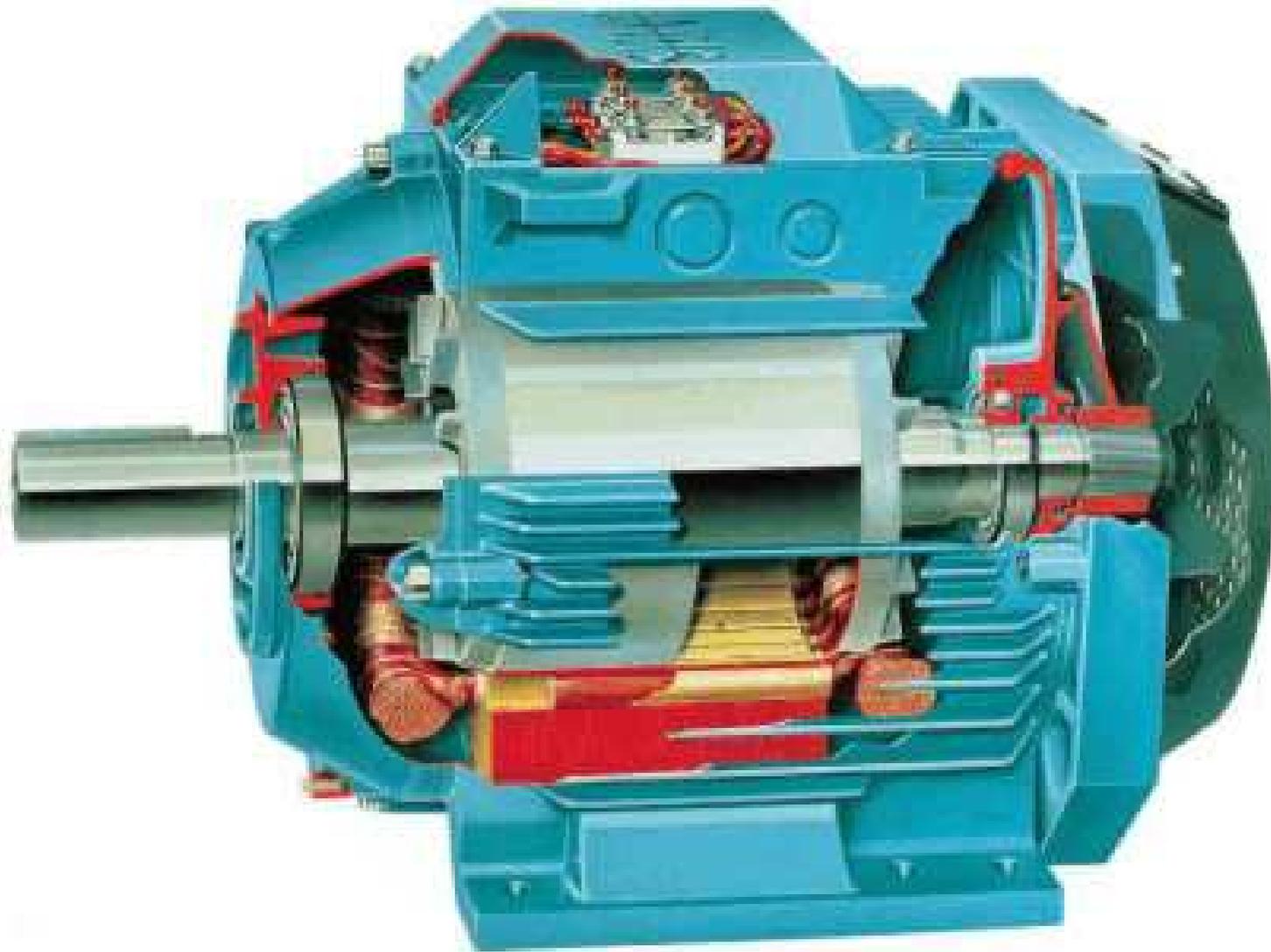
Les machines asynchrones sont surtout utilisées comme moteurs.

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.

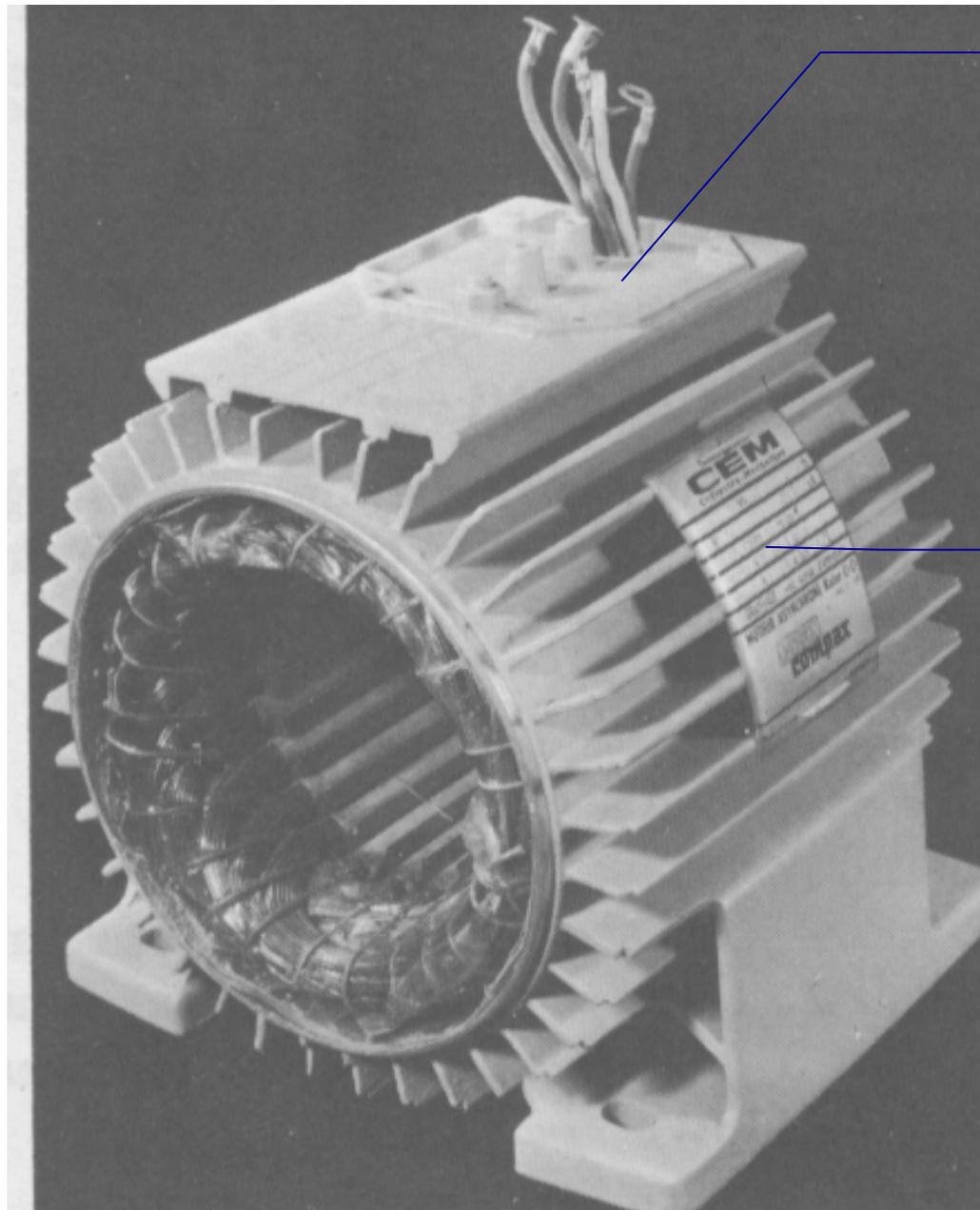
Constitution de la machine asynchrone



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

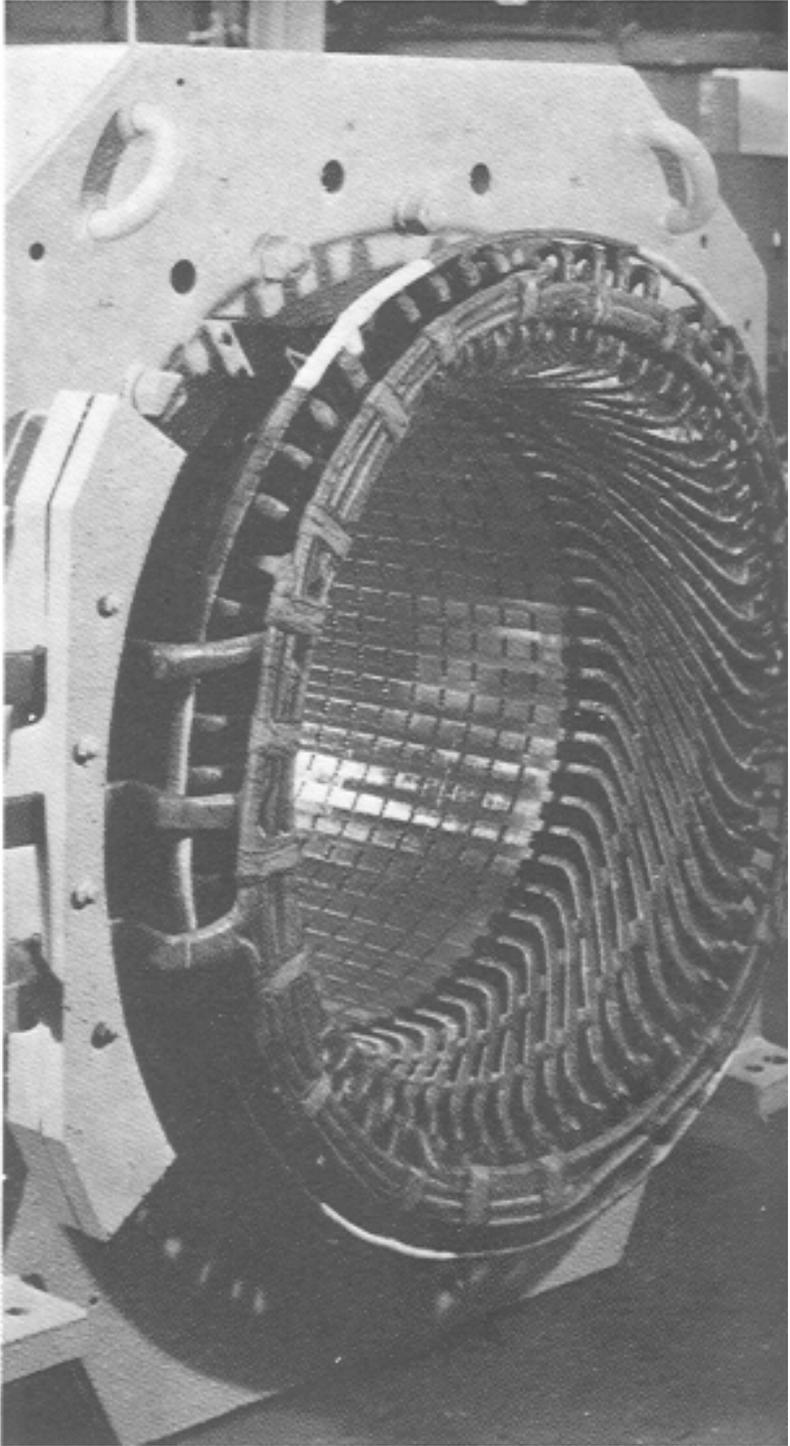
Ce stator, alimenté par des courants triphasés, produit un champ magnétique tournant (cf th de Ferraris).

Le stator

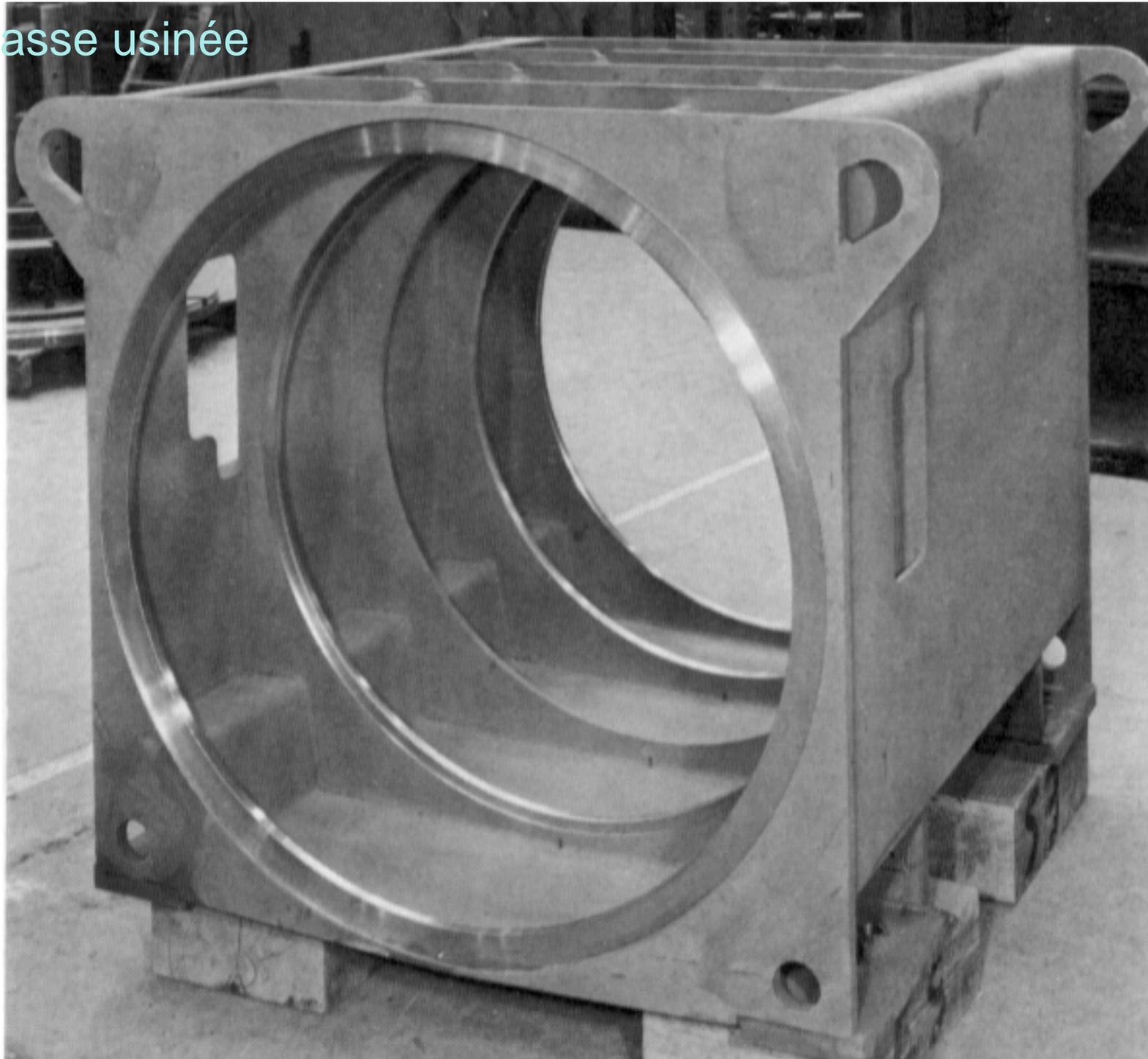


Plaque à bornes

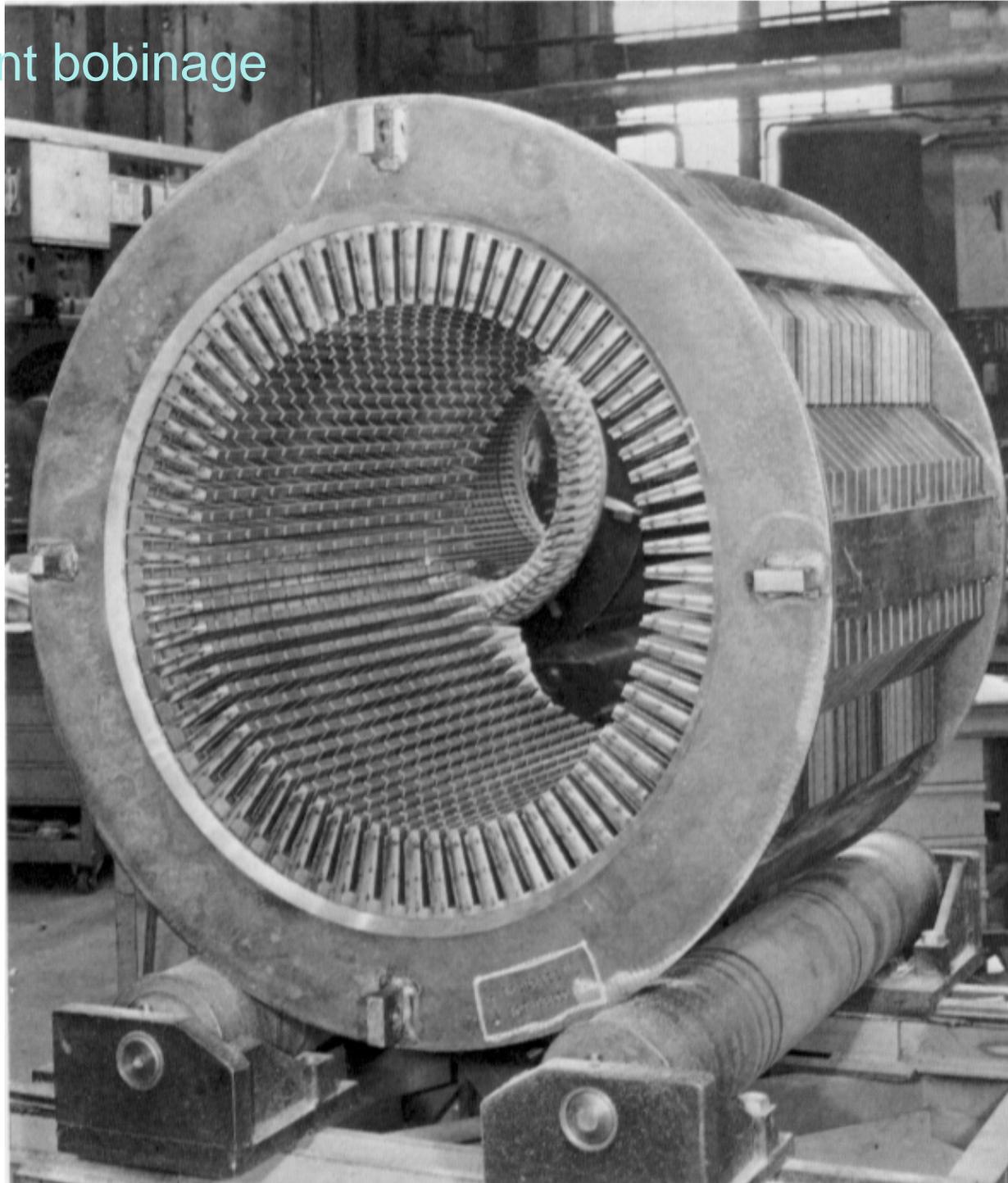
Plaque signalétique



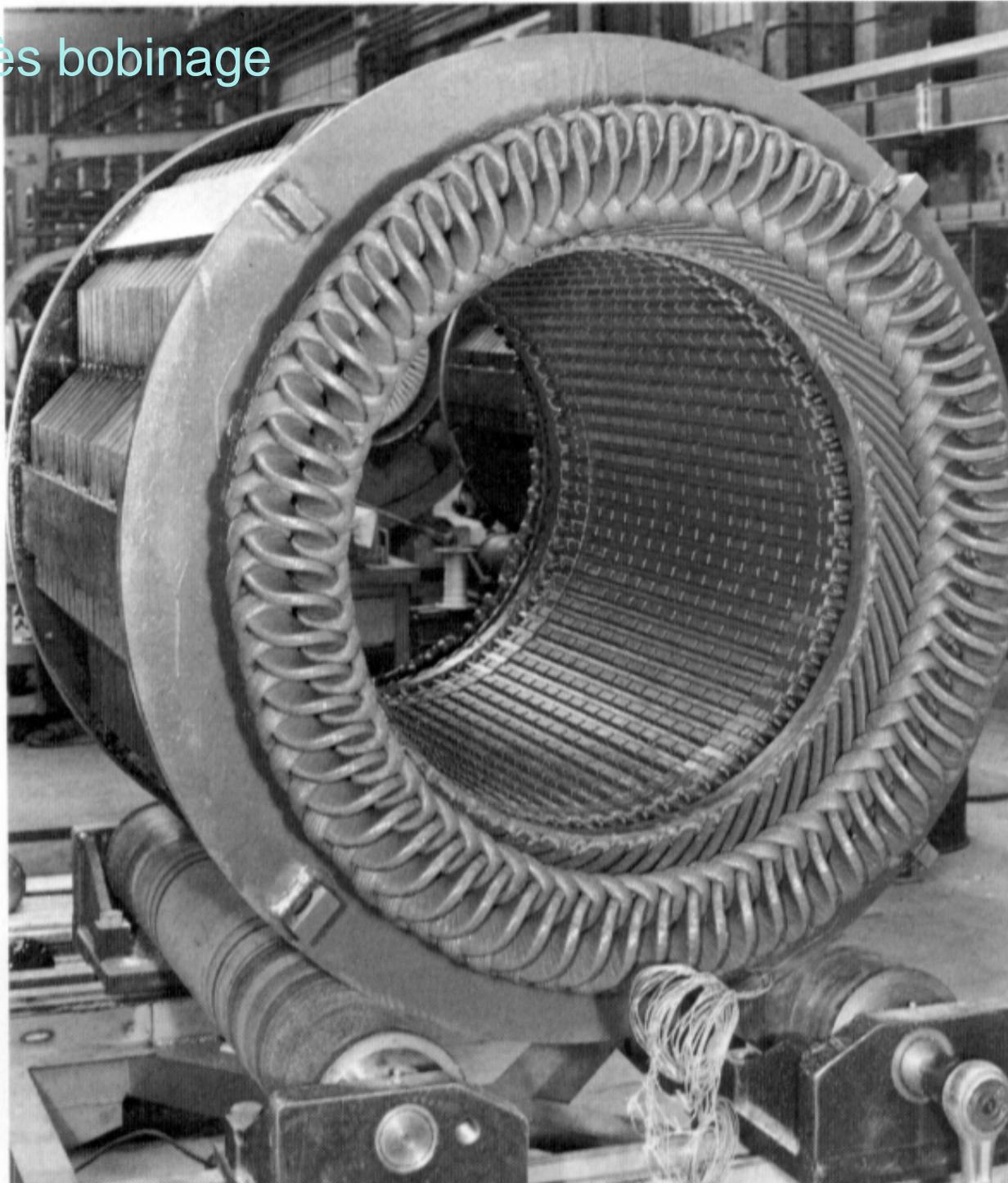
Carcasse usinée

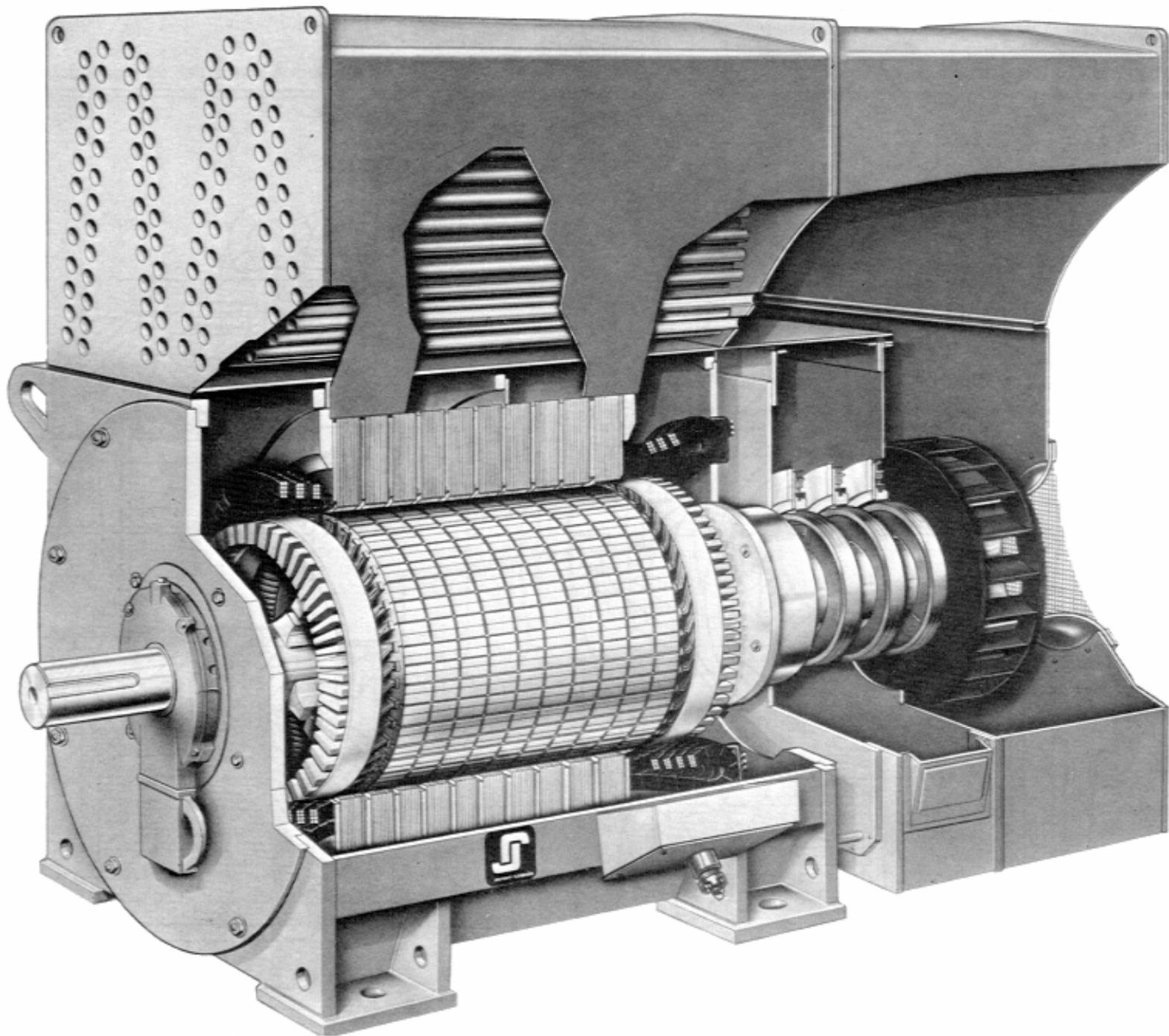


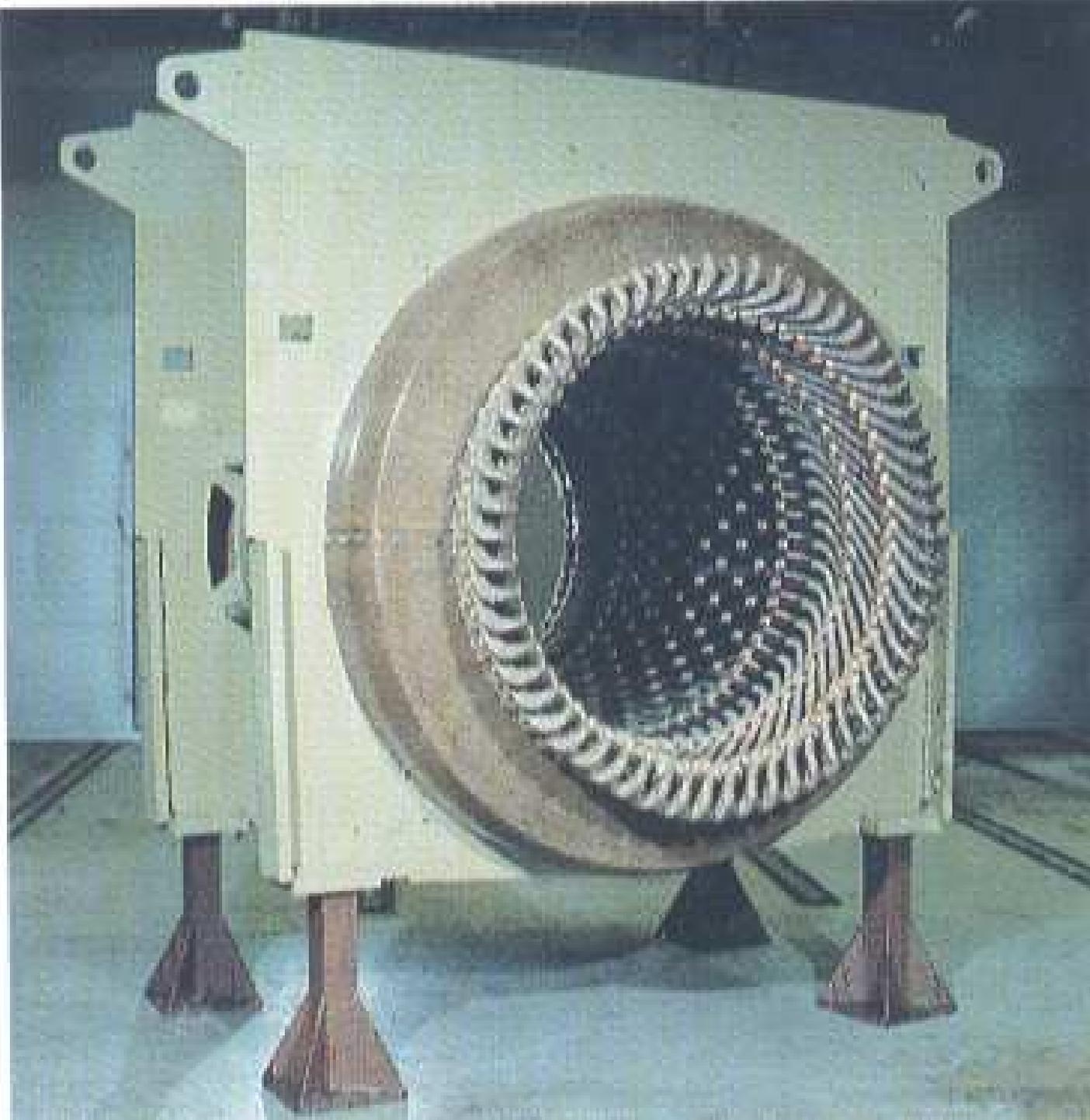
Stator avant bobinage



Stator après bobinage



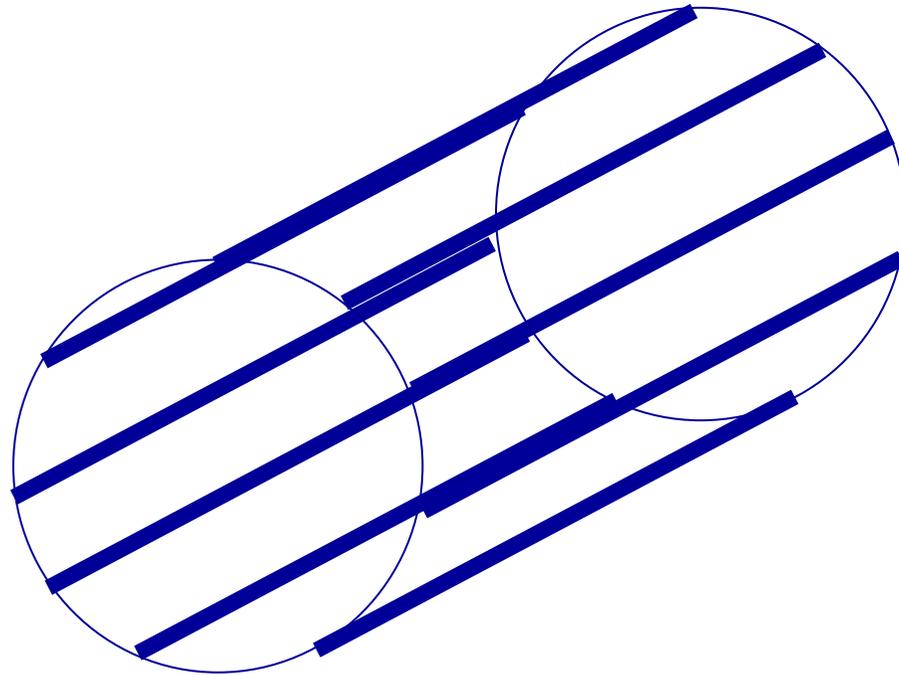




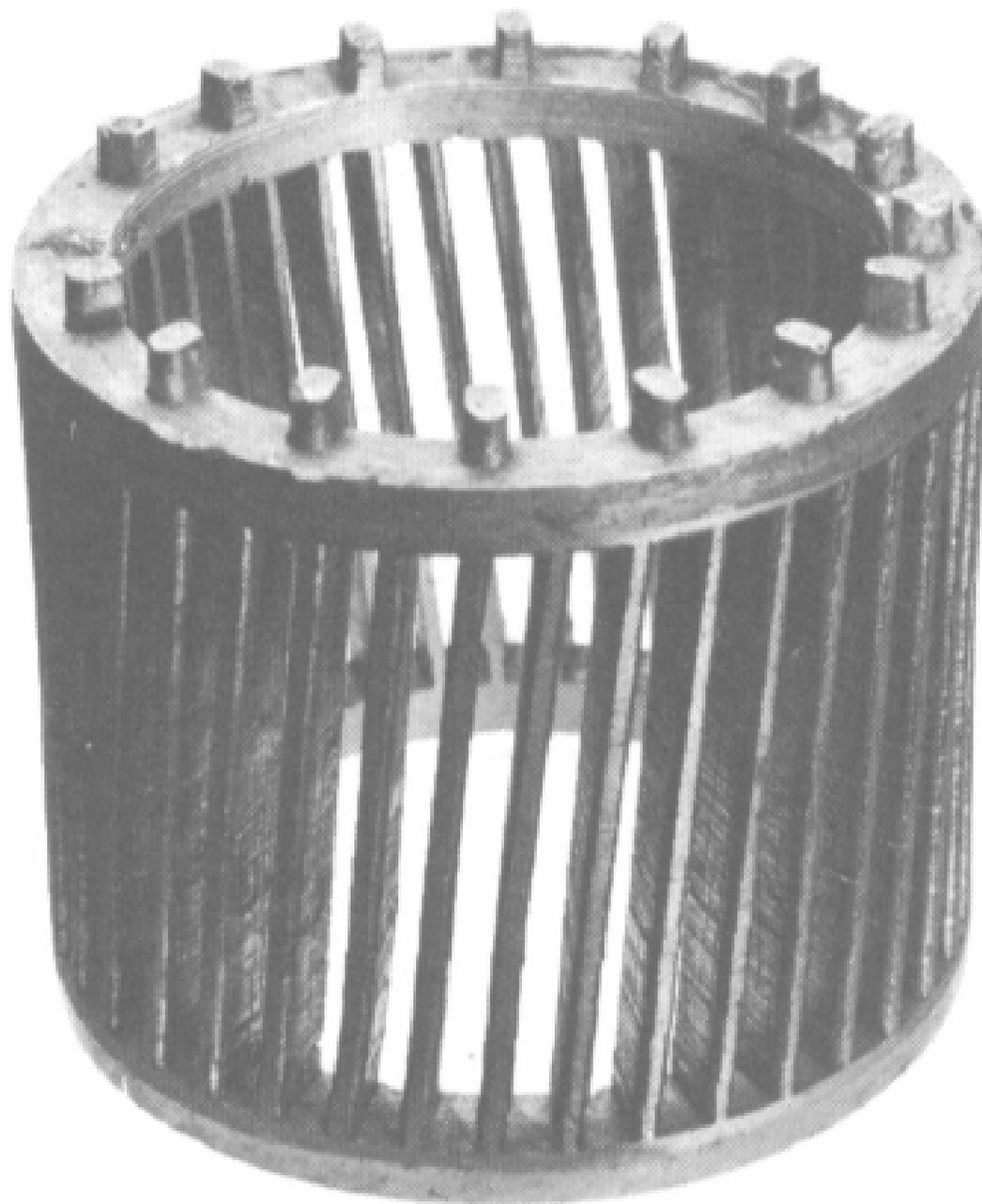
Le rotor

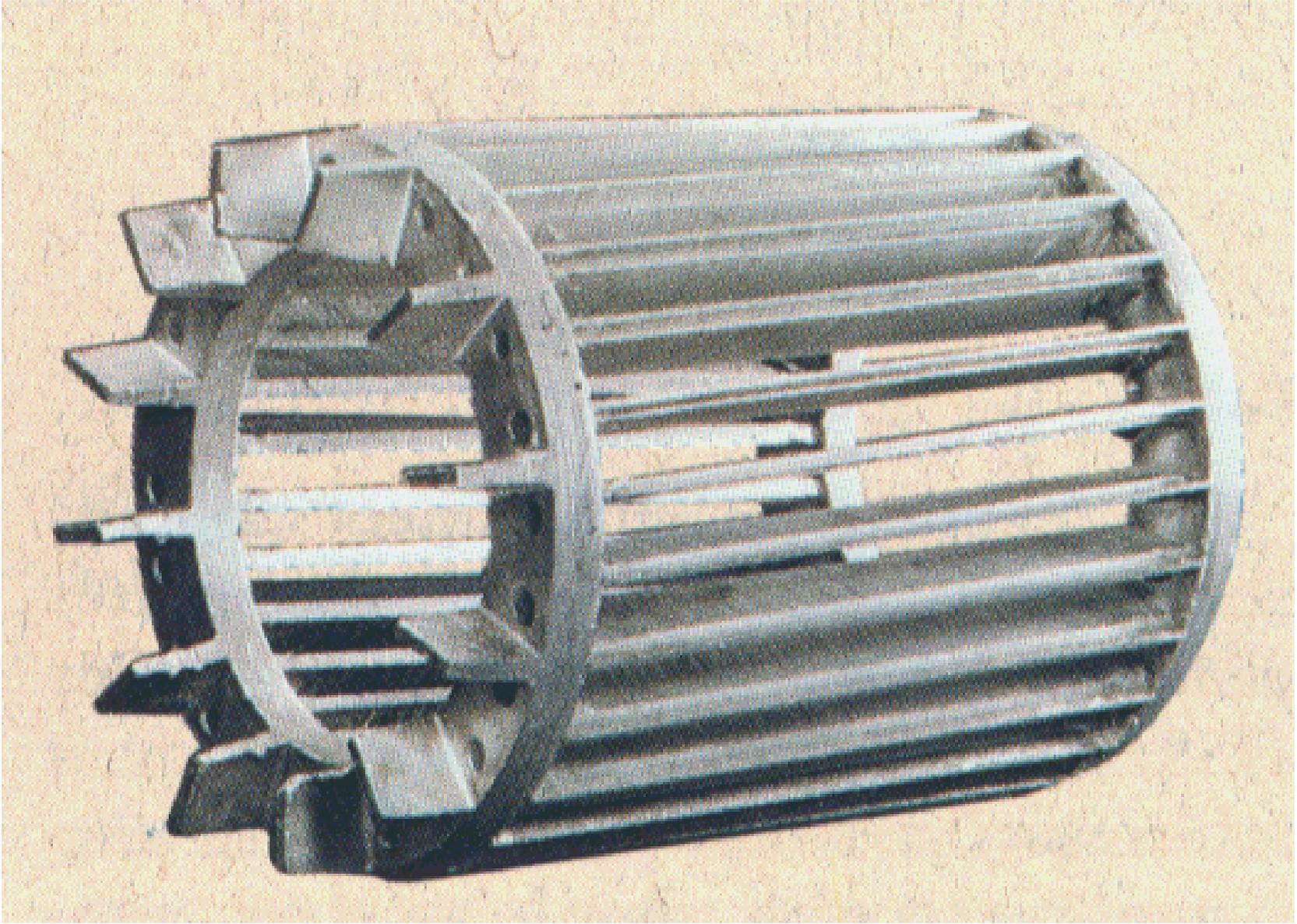
Rotor en cage d'écureuil

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

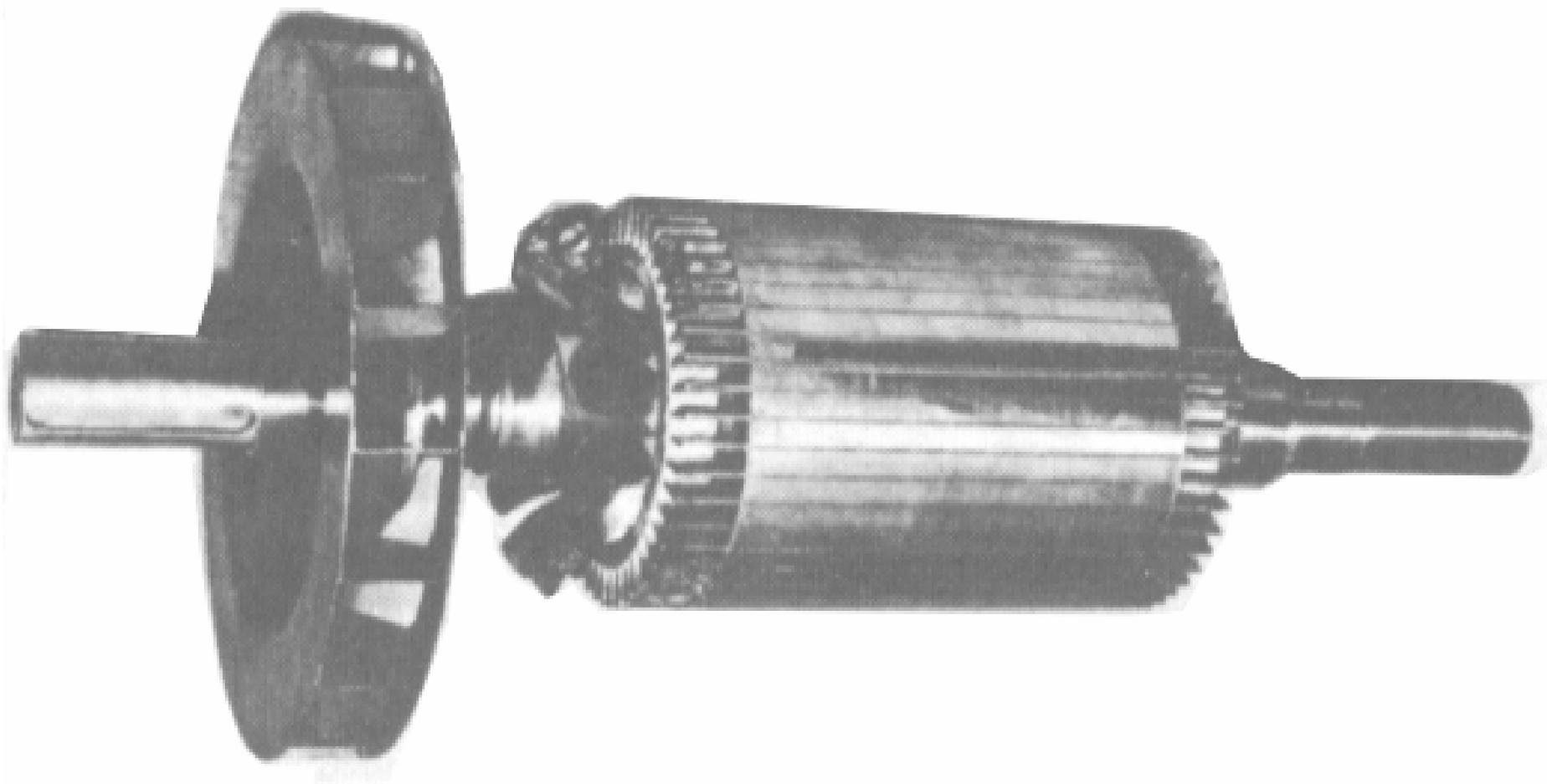


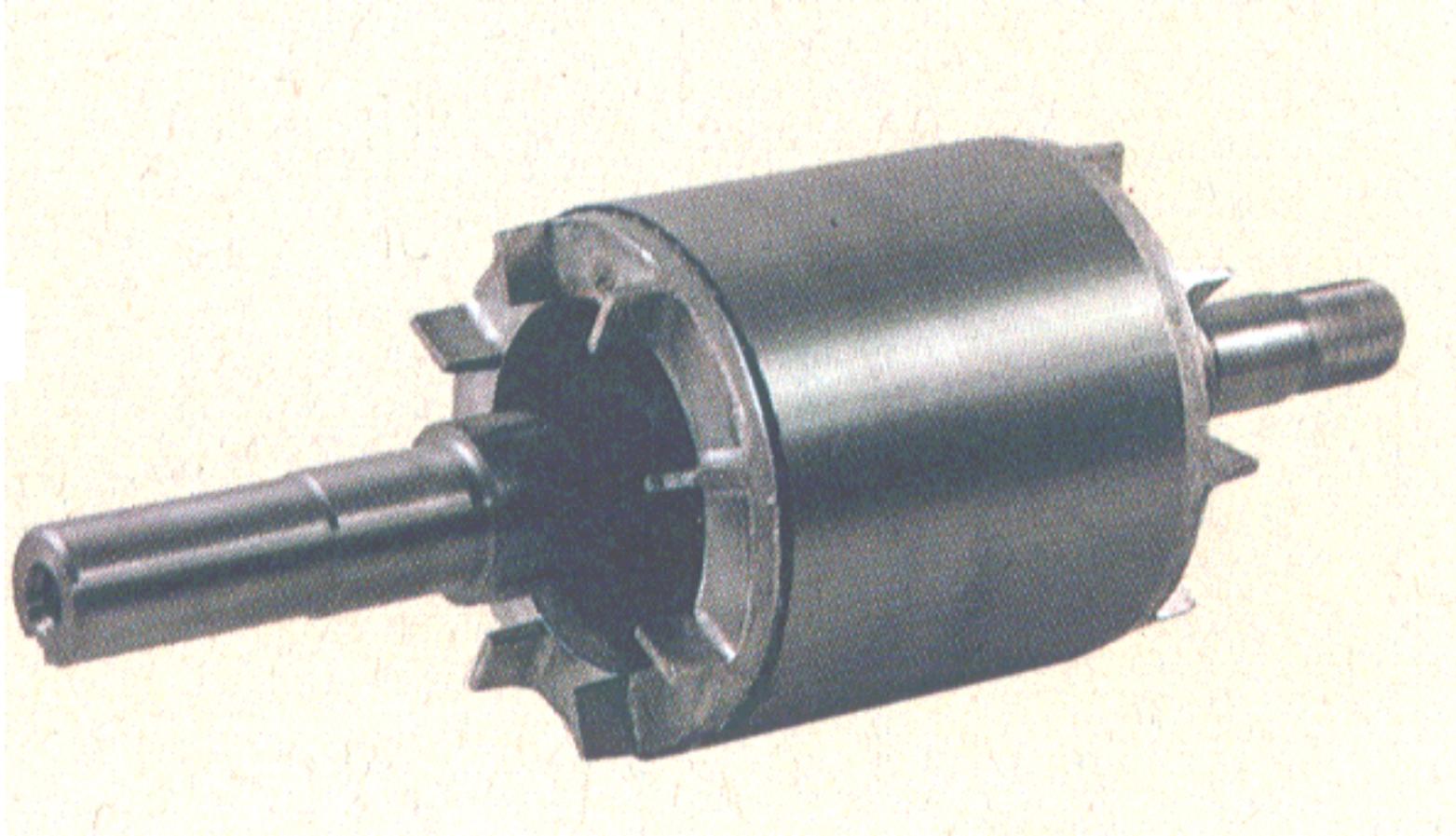
Cage d'écureuil en aluminium moulé

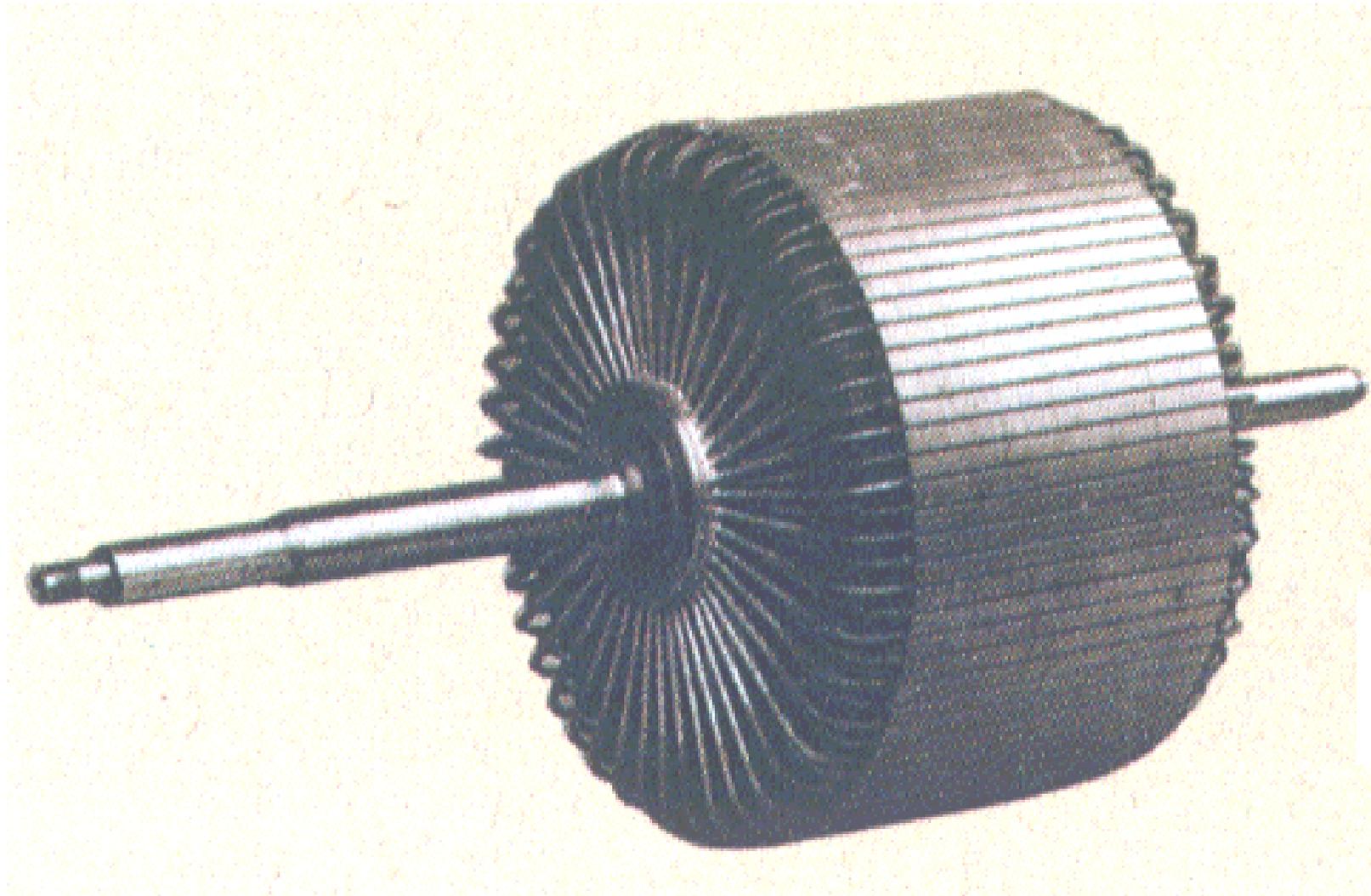




Rotor en cage d'écureuil

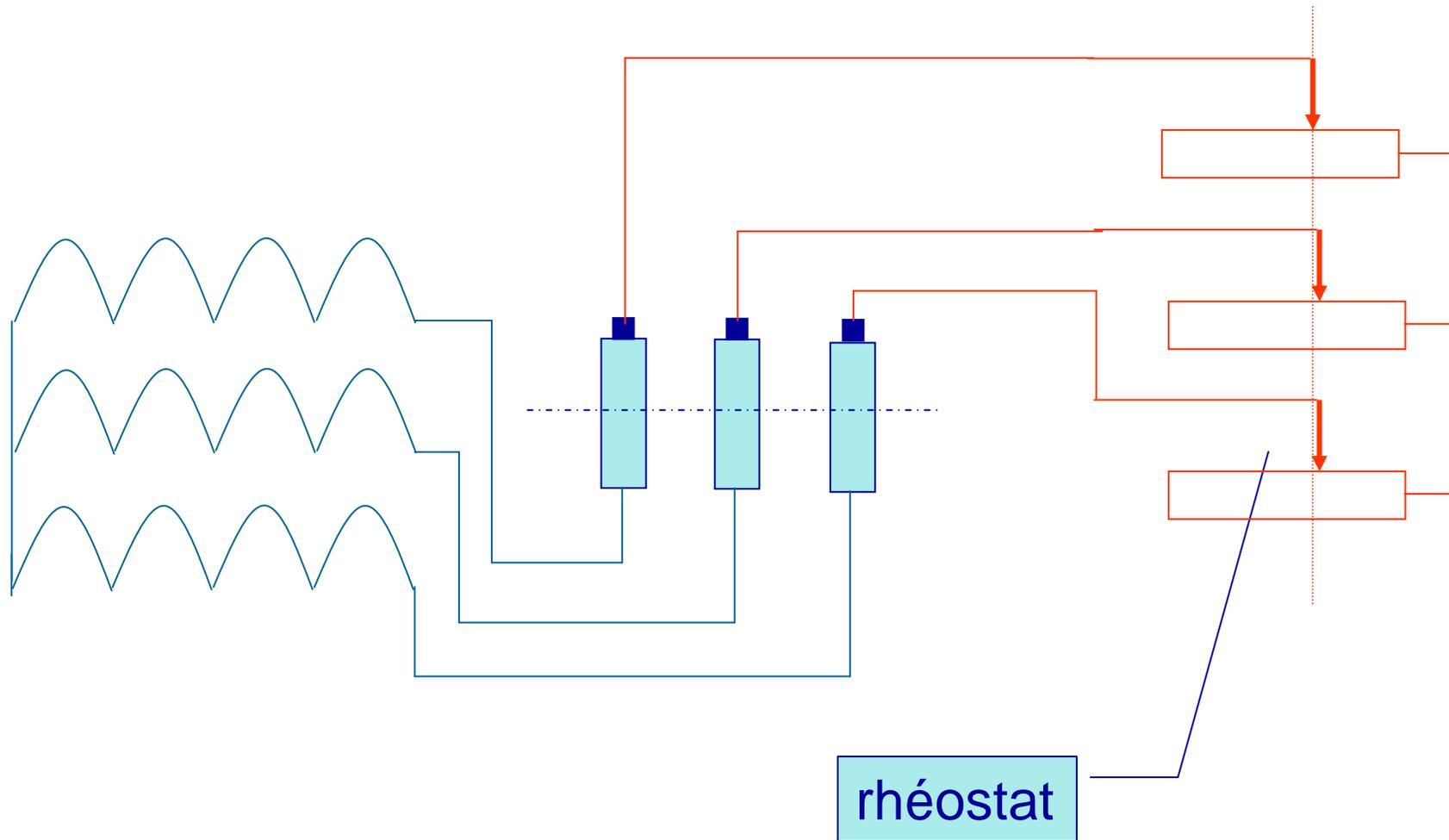


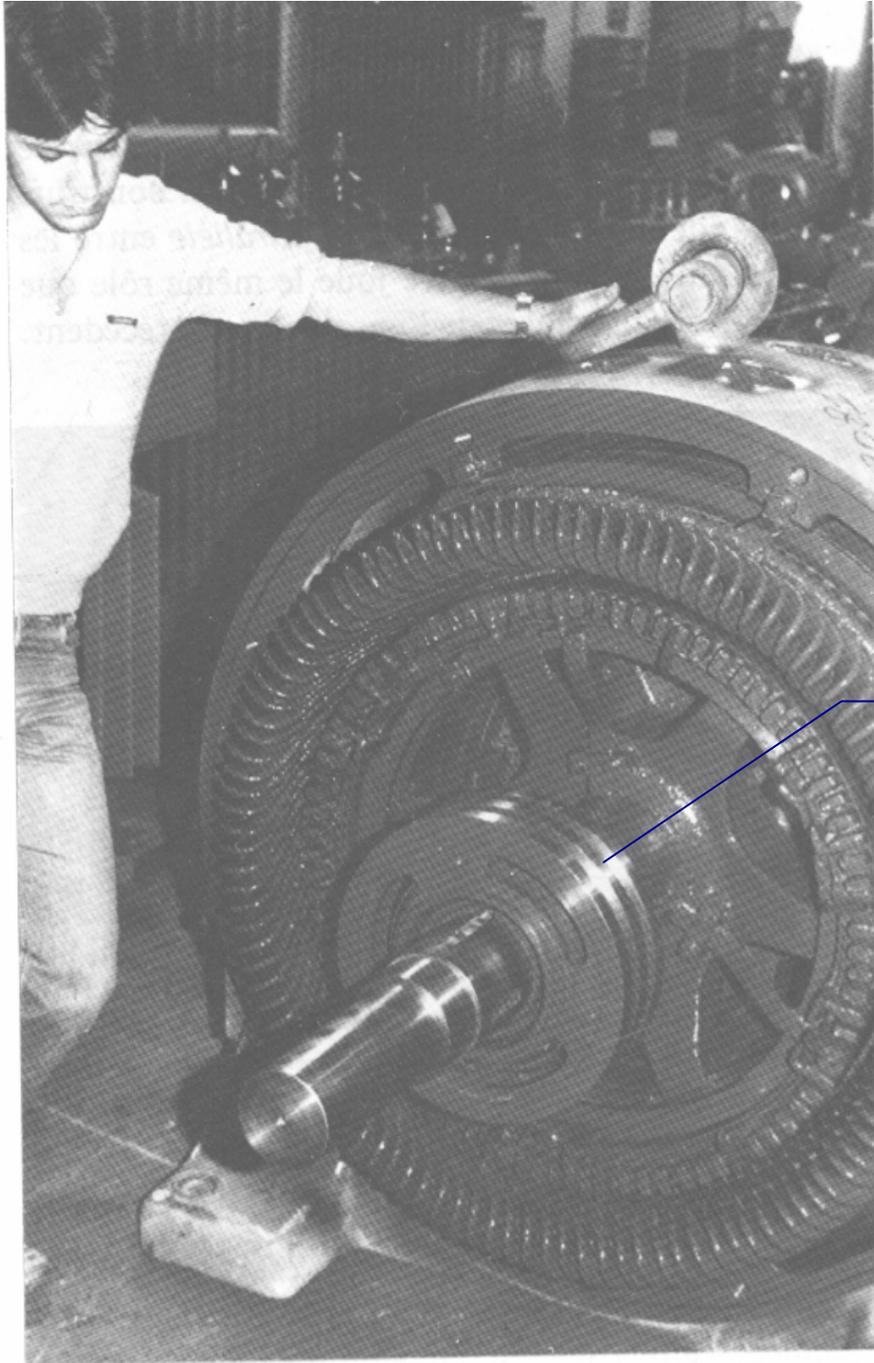






Rotor bobiné



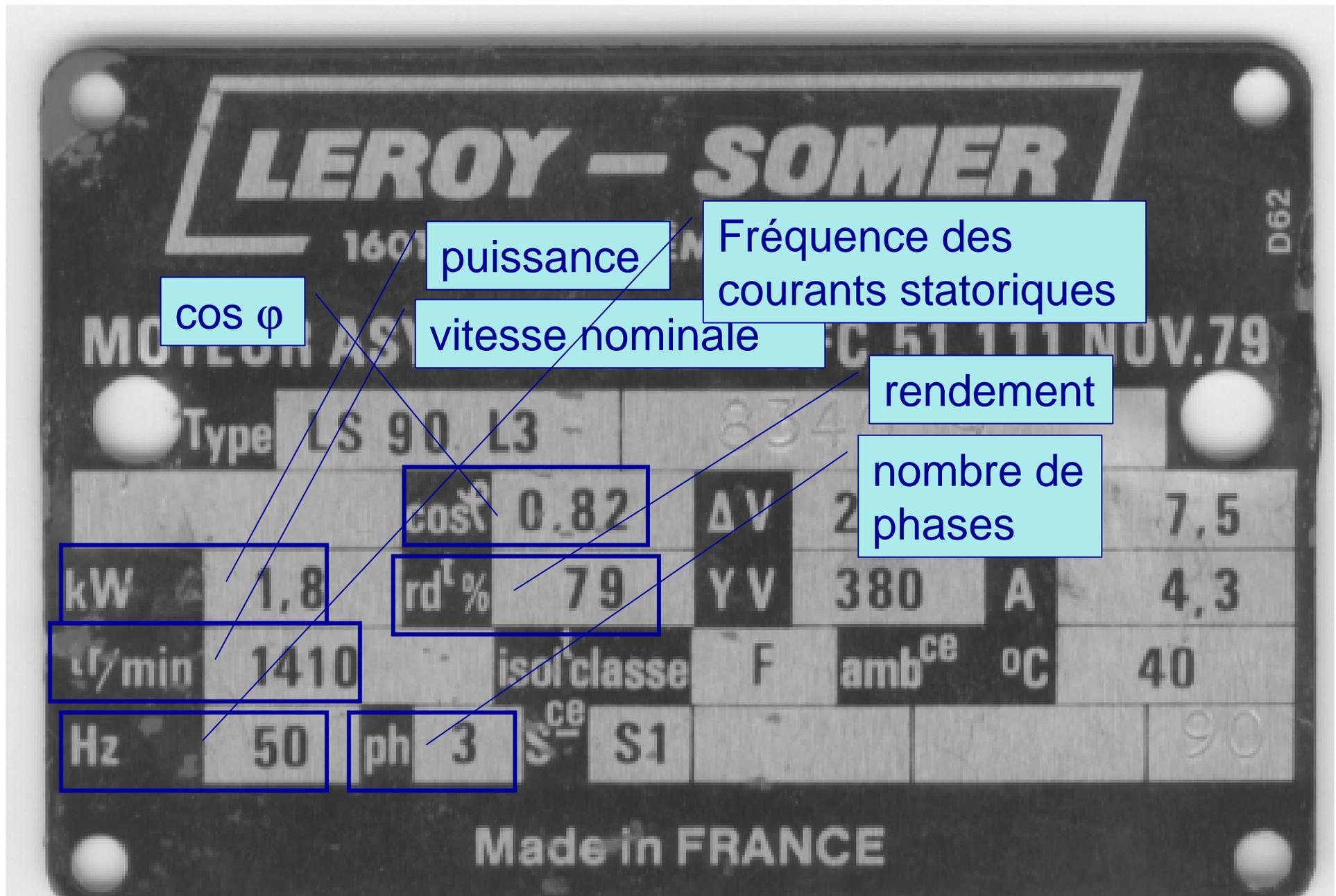


les 3 bagues
d'un rotor bobiné



La plaque signalétique

Plaque signalétique



Plaque signalétique

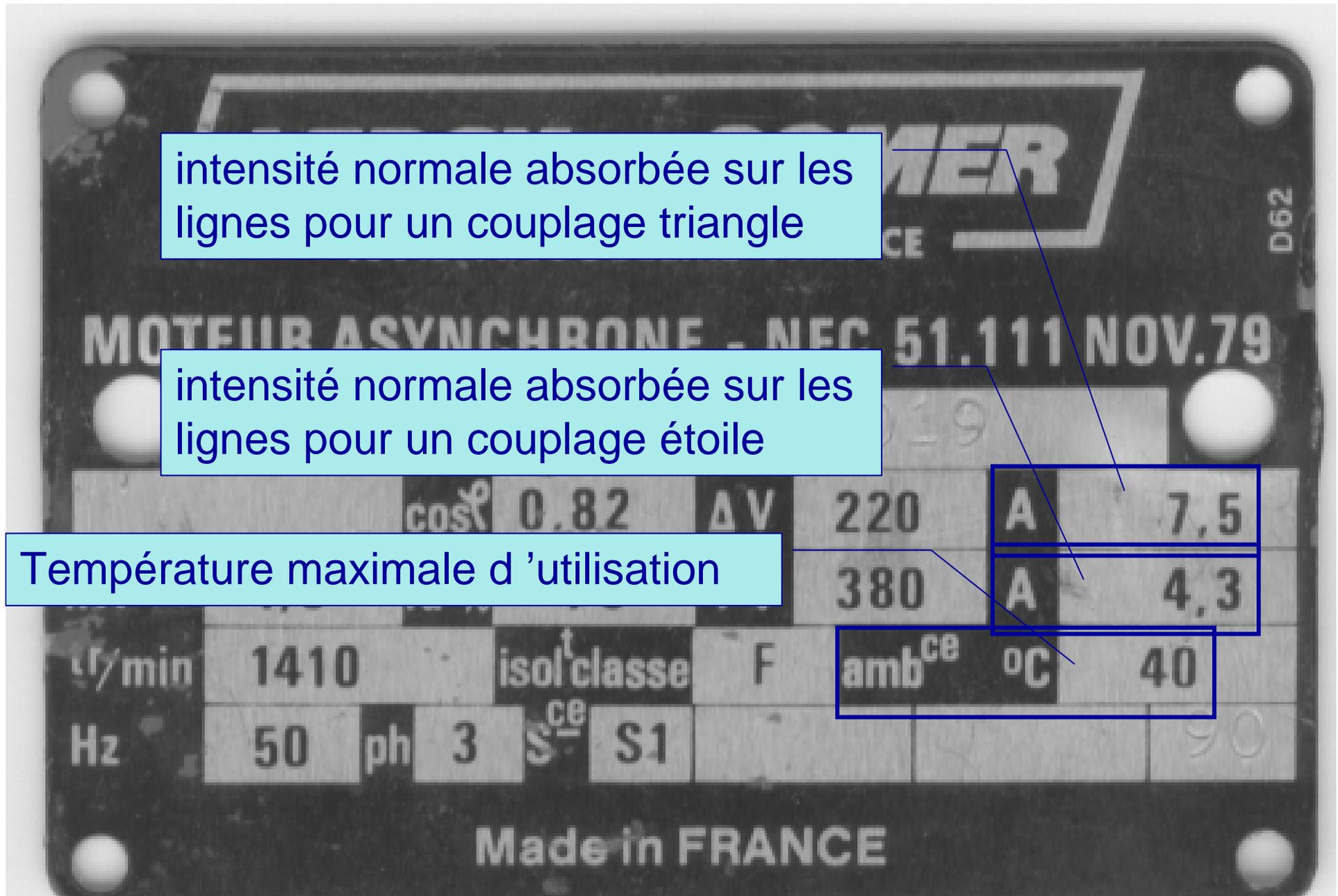
tension maximum aux bornes d'un enroulement

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

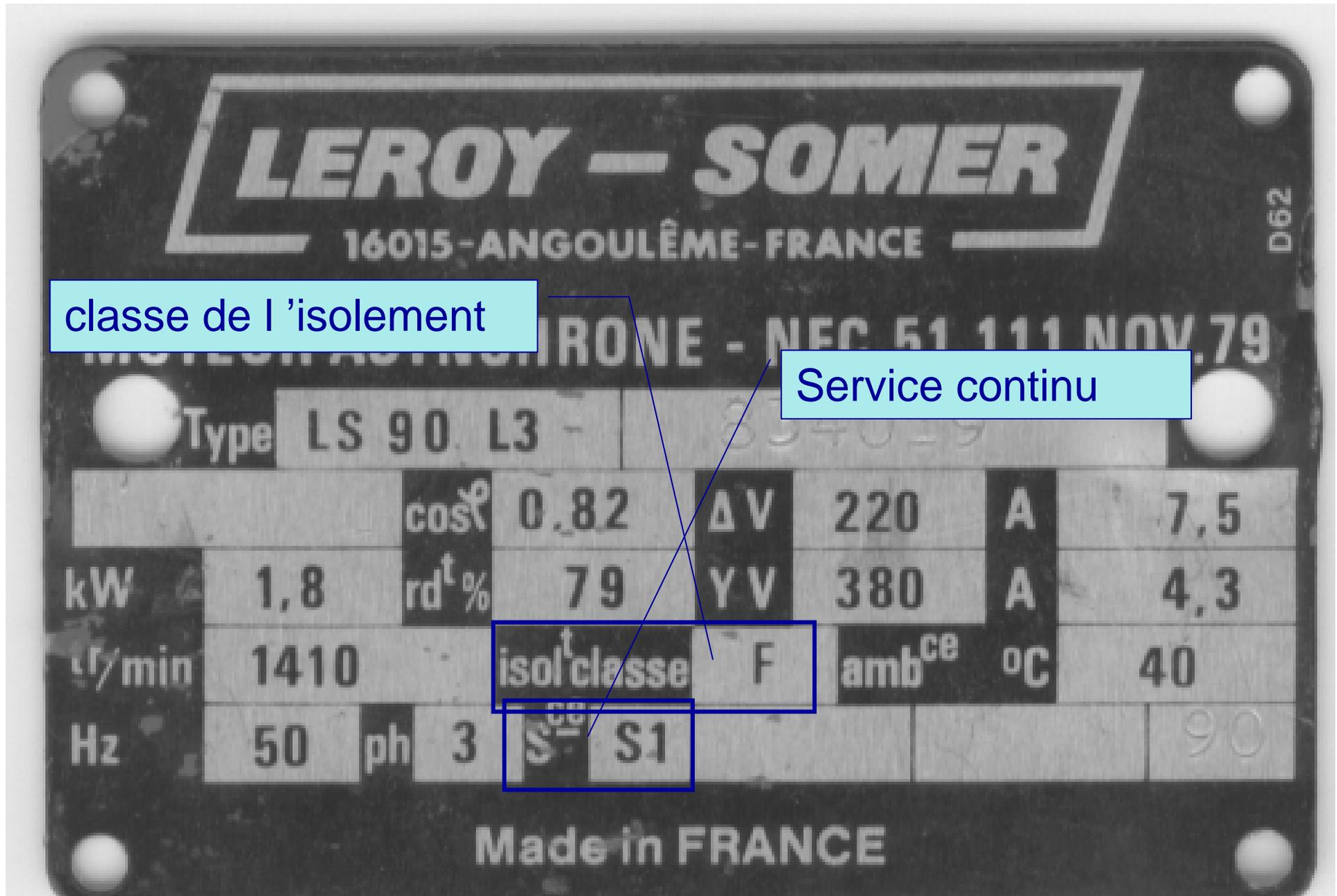
		$\cos\varphi$	0.82	ΔV	220	A	7,5
kW	1,8	$rd^t\%$	79	YV	380	A	4,3
tr/min	1410	isol ^t classe	F	amb ^{ce}	°C		40
Hz	50	ph	3	S ^{ce}	S1		90

Made in FRANCE

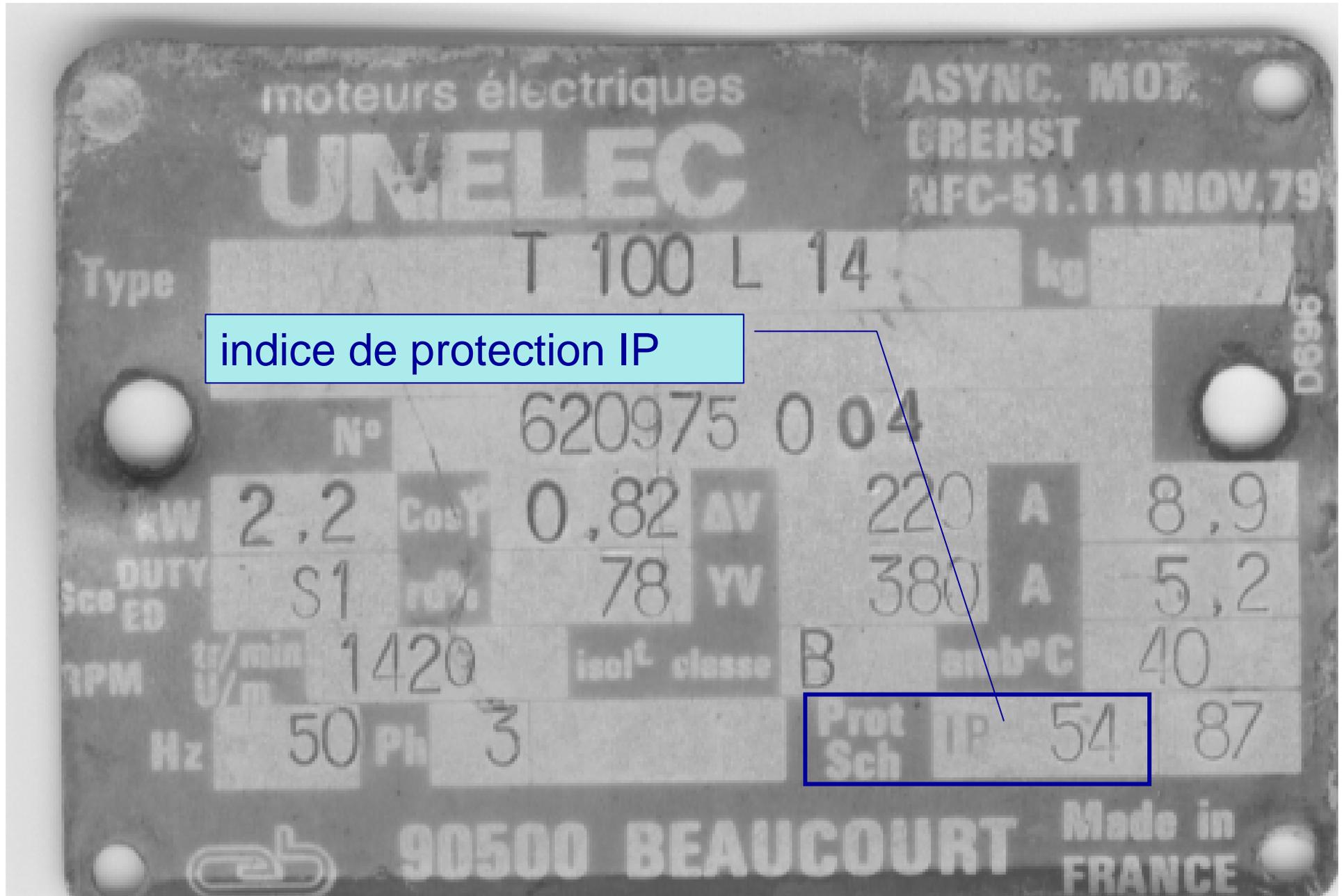
Plaque signalétique



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

CEM Ch. Electro-Mécanique		921041	
		compax	
Mot. as. MEUB 132 M4			
N° FL 9361960		~3	Cos. φ 0,83
KW 7,5		CL. E	$\Delta\theta$ 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			

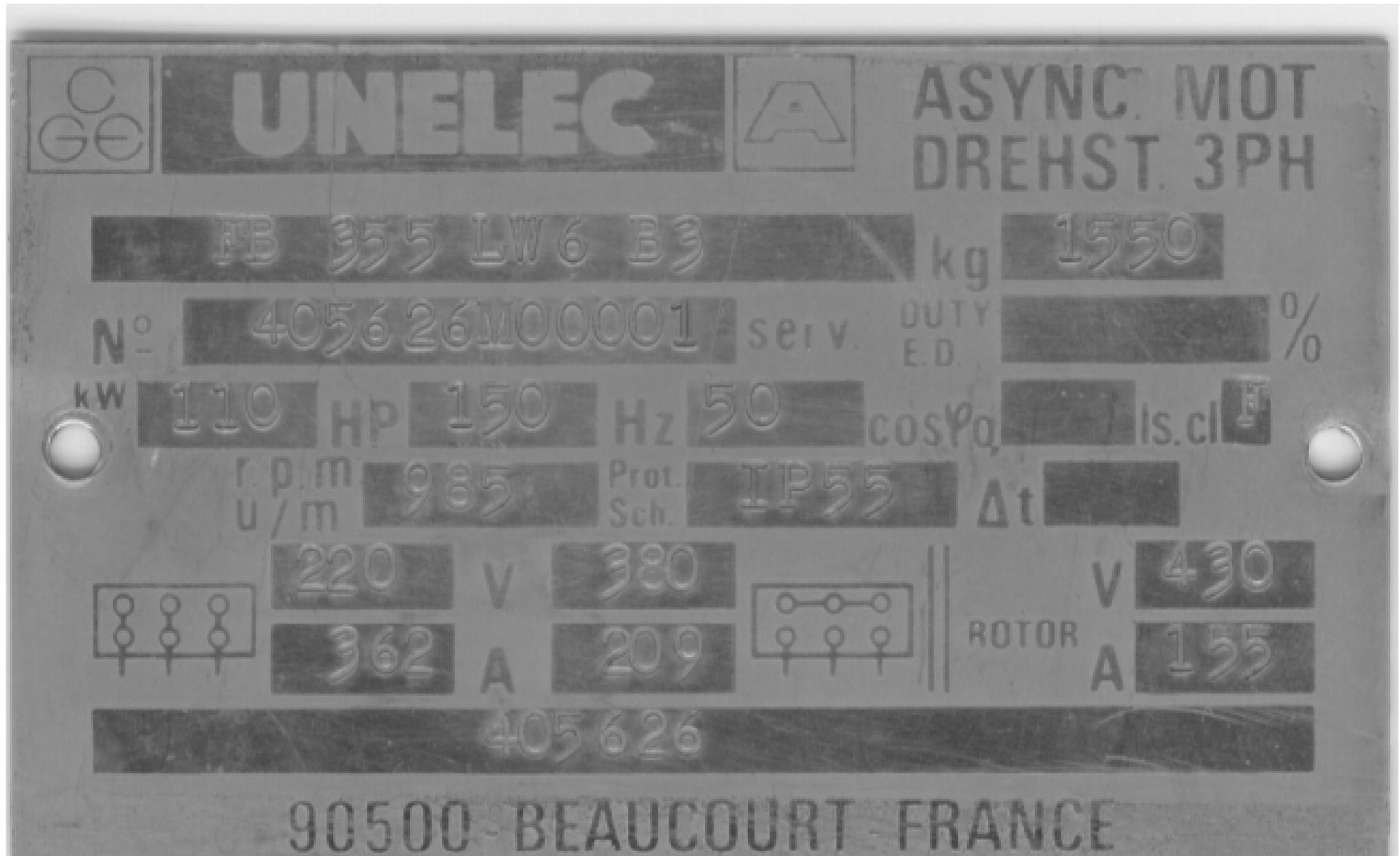
Plaque signalétique

The image shows a metal nameplate for a CEM motor. The brand name 'CEM' is prominently displayed at the top left, with 'Ch. Electro-Mécanique' underneath. To the right, the model name 'COMPA' is visible, along with the number '921041'. The nameplate is divided into several rows of technical specifications. A callout box points to the 'IP 55' rating, explaining its meaning.

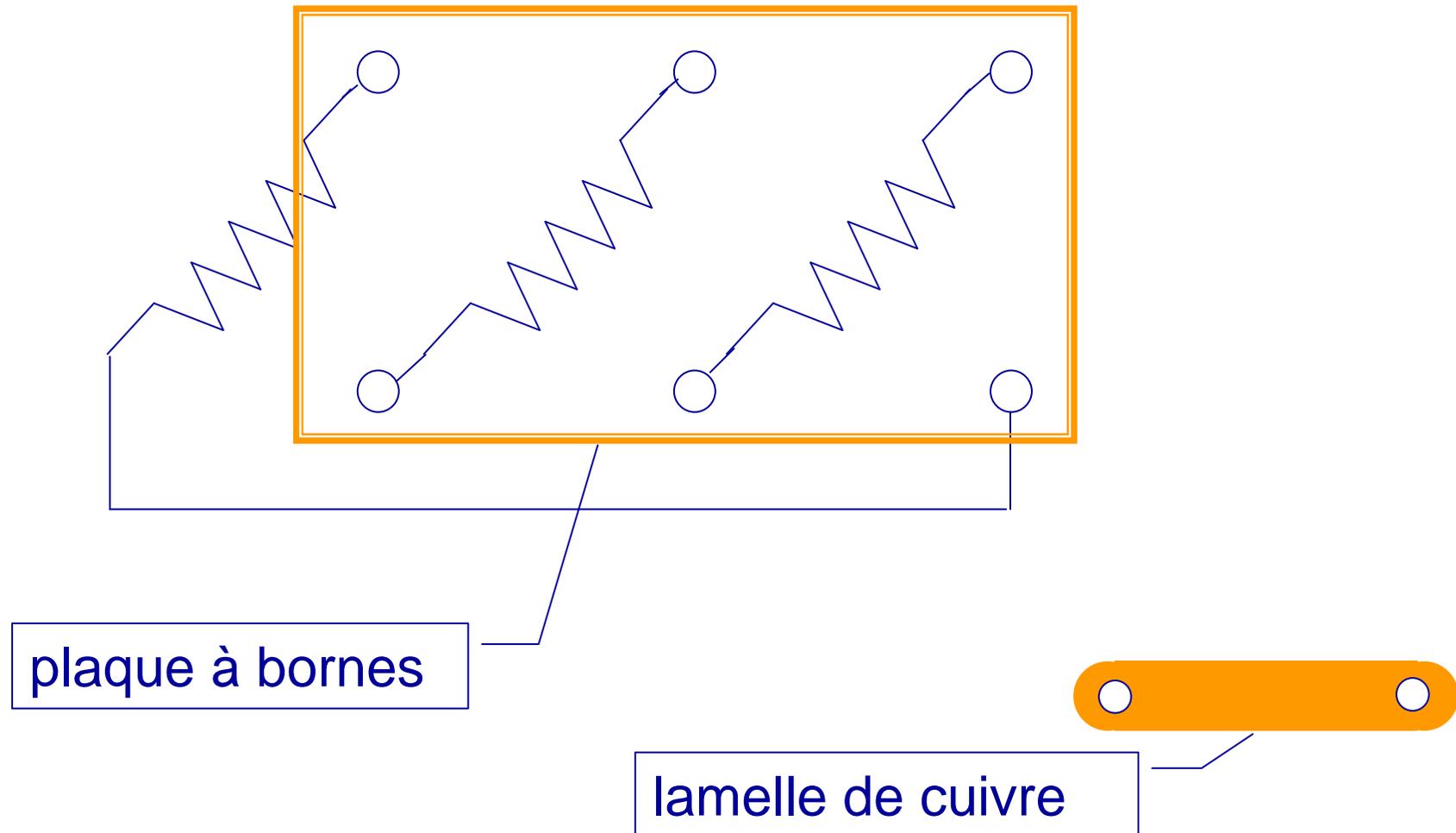
CEM		921041		COMPA	
Ch. Electro-Mécanique					
Mot. as.	MEUB 132				
N° FL	9361960	~3			
KW	7,5		CL.		
	50 Hz	IP	55		Kg
V	Δ	220		28,3	A
V	Y	380		16,33	A
/min	1430	S	1		
/min					
MADE IN FRANCE NFC 5111-75					

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

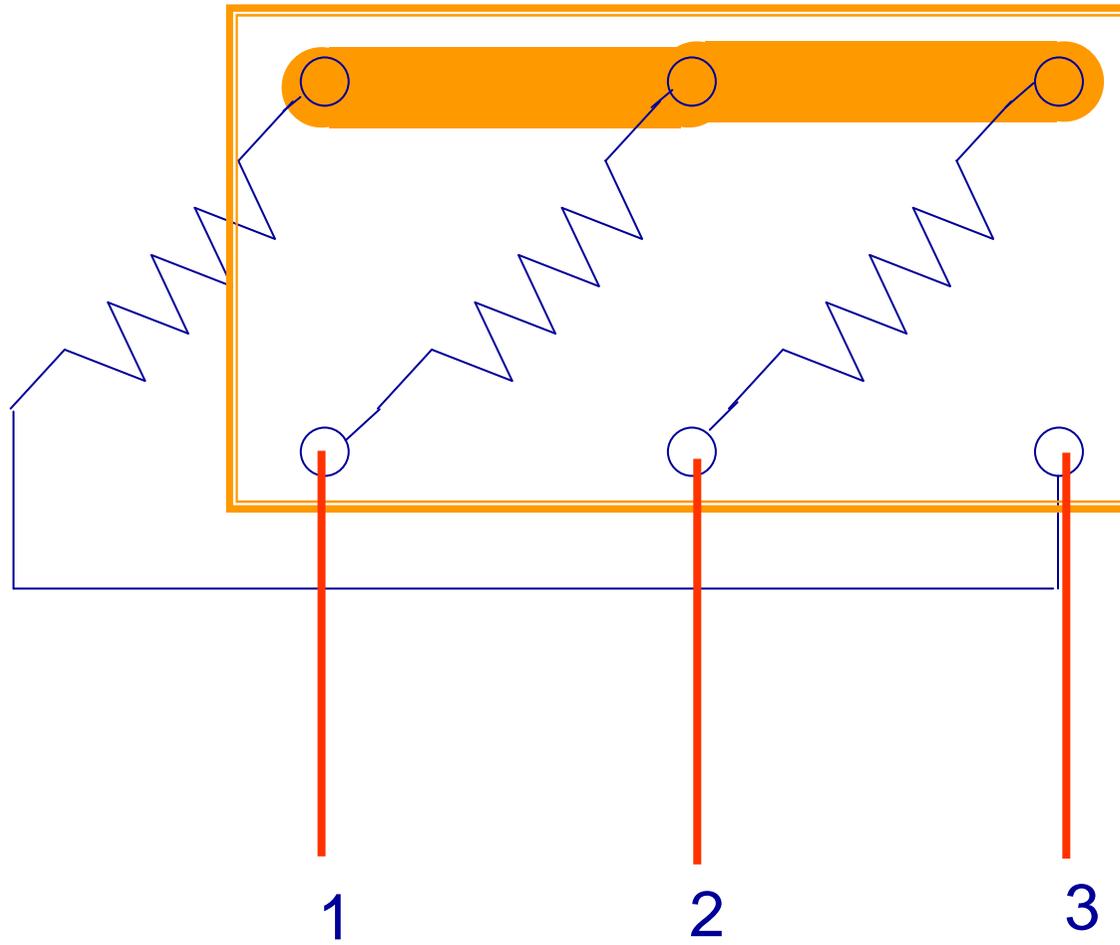
Plaque signalétique



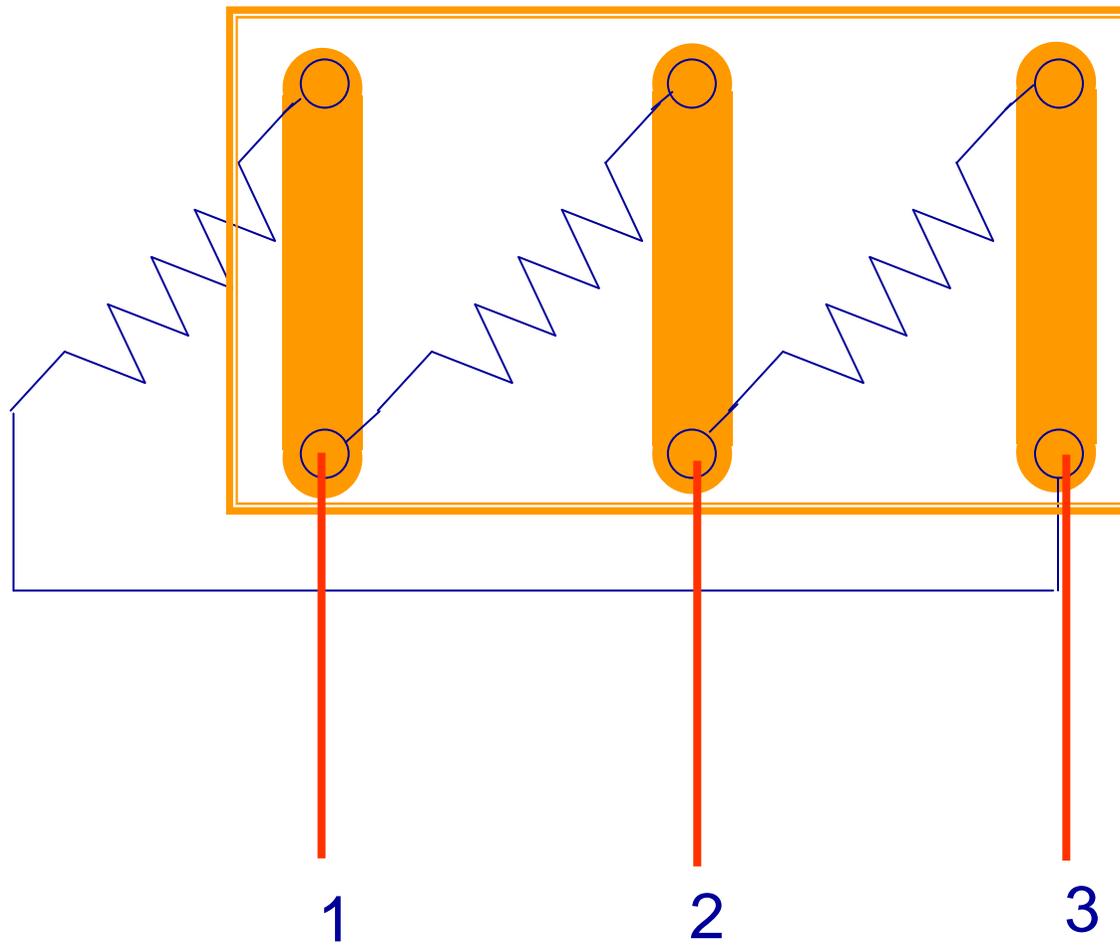
Disposition des enroulements du stator à partir de la plaque à bornes



Couplage en étoile

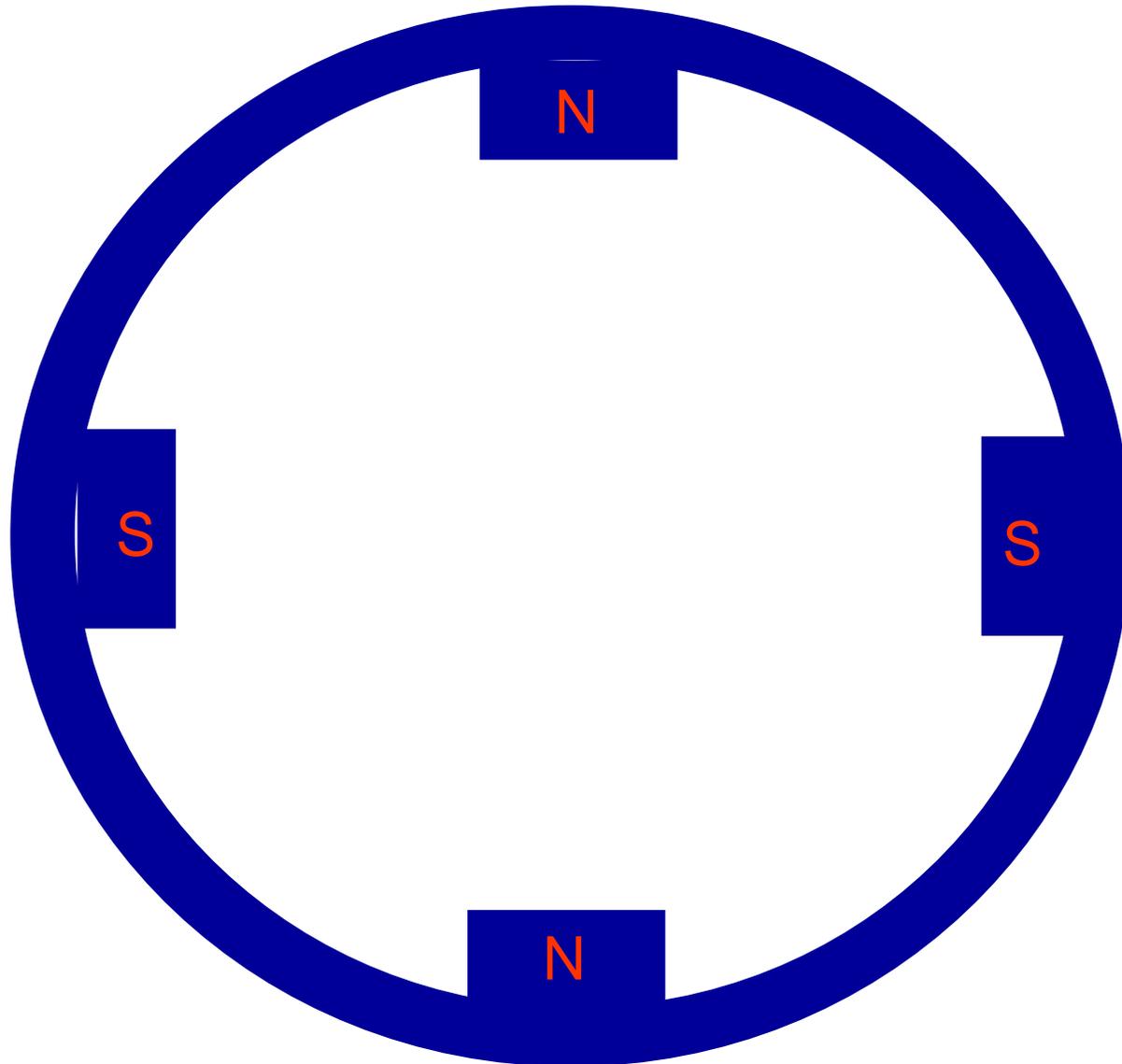


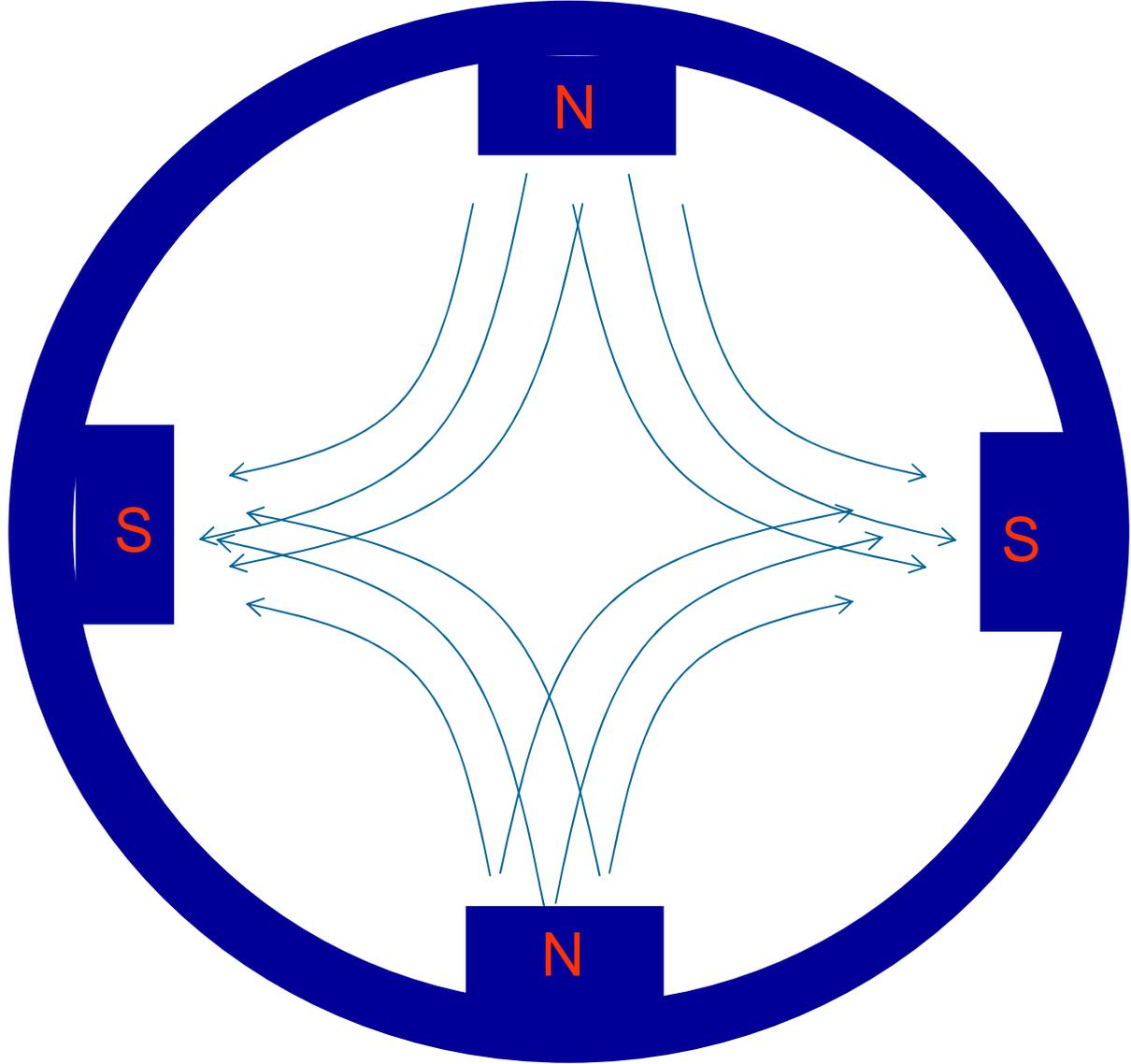
Couplage en triangle



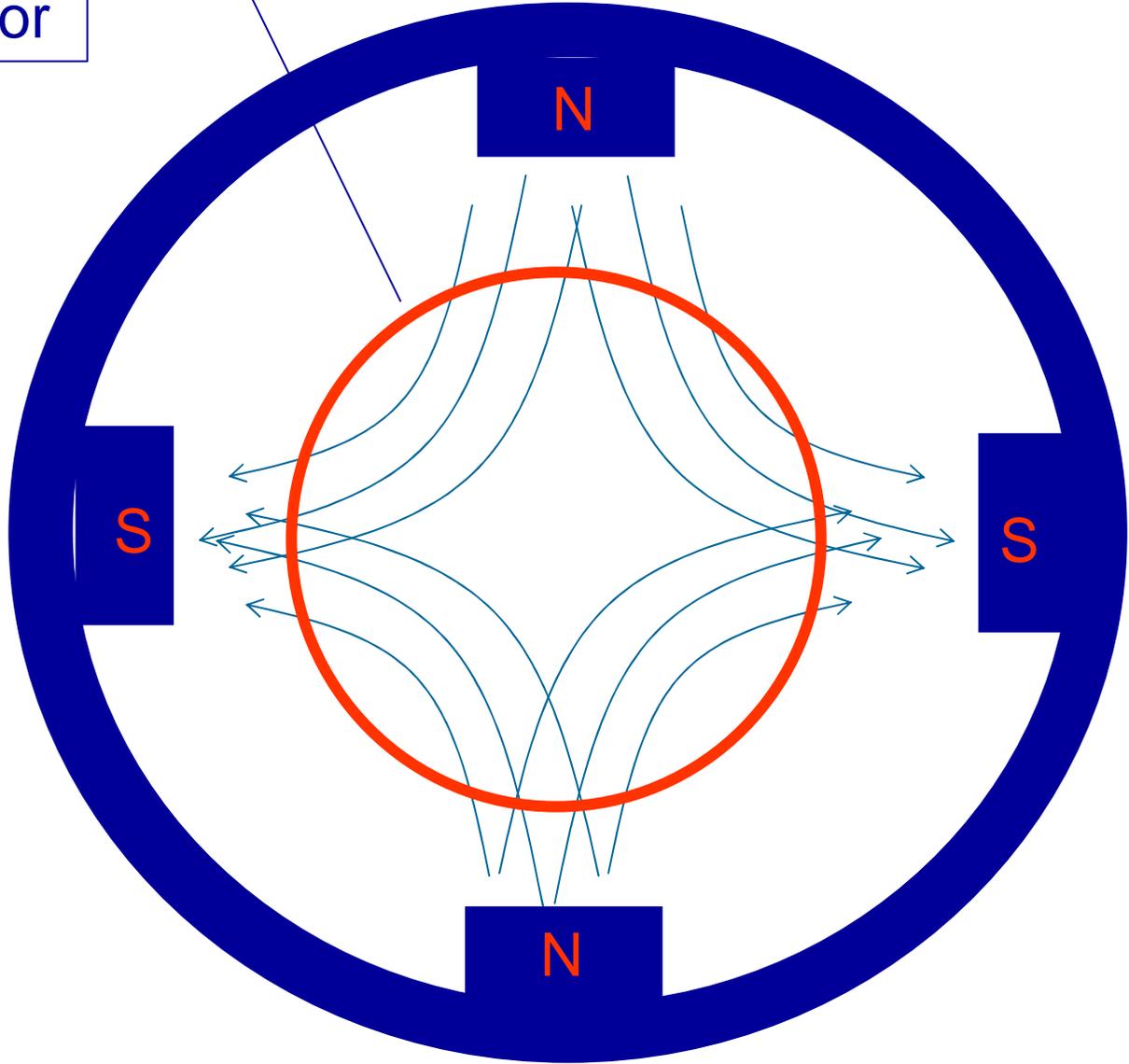
Principe de fonctionnement de la machine asynchrone

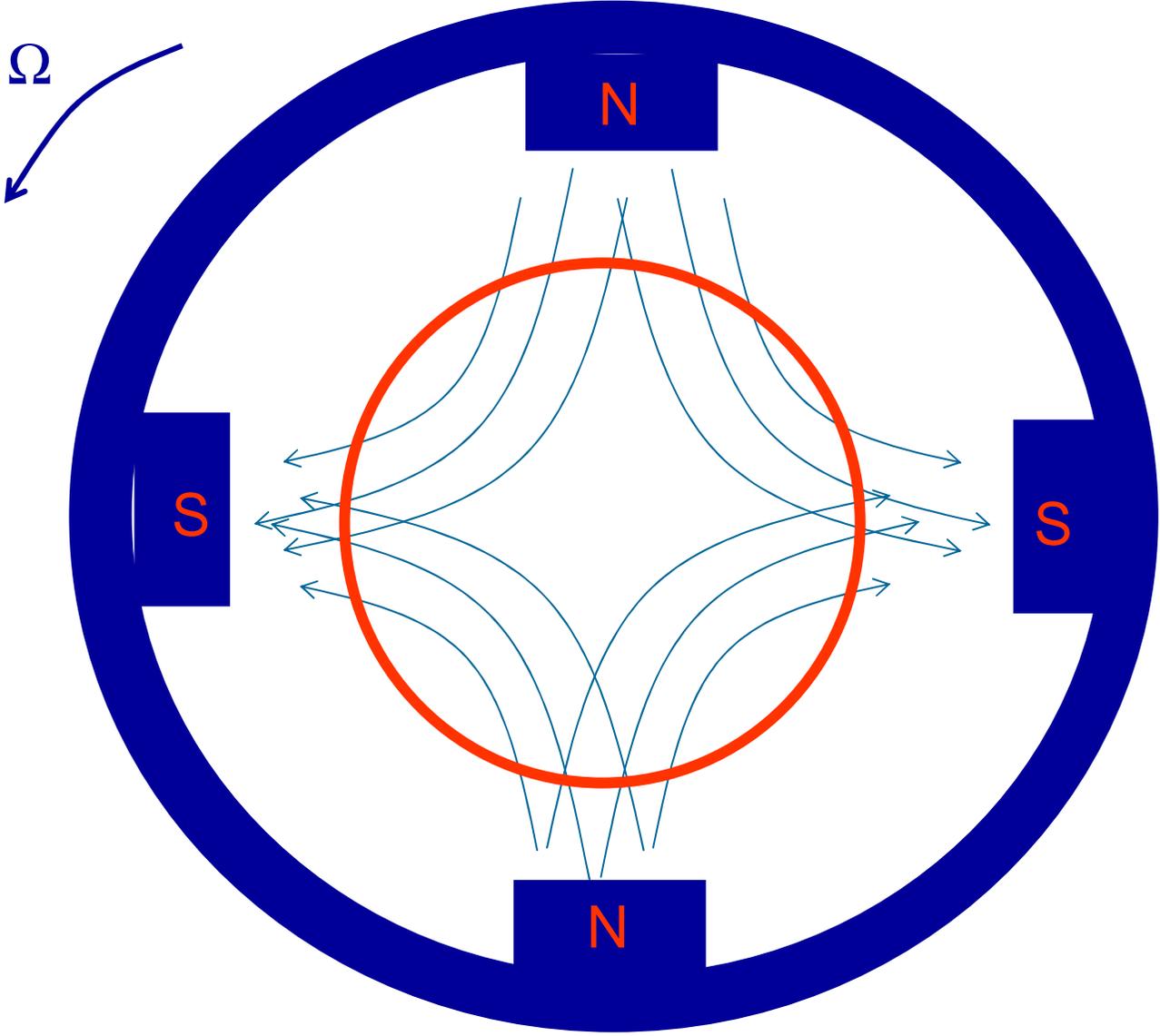
Stator tétrapolaire par exemple

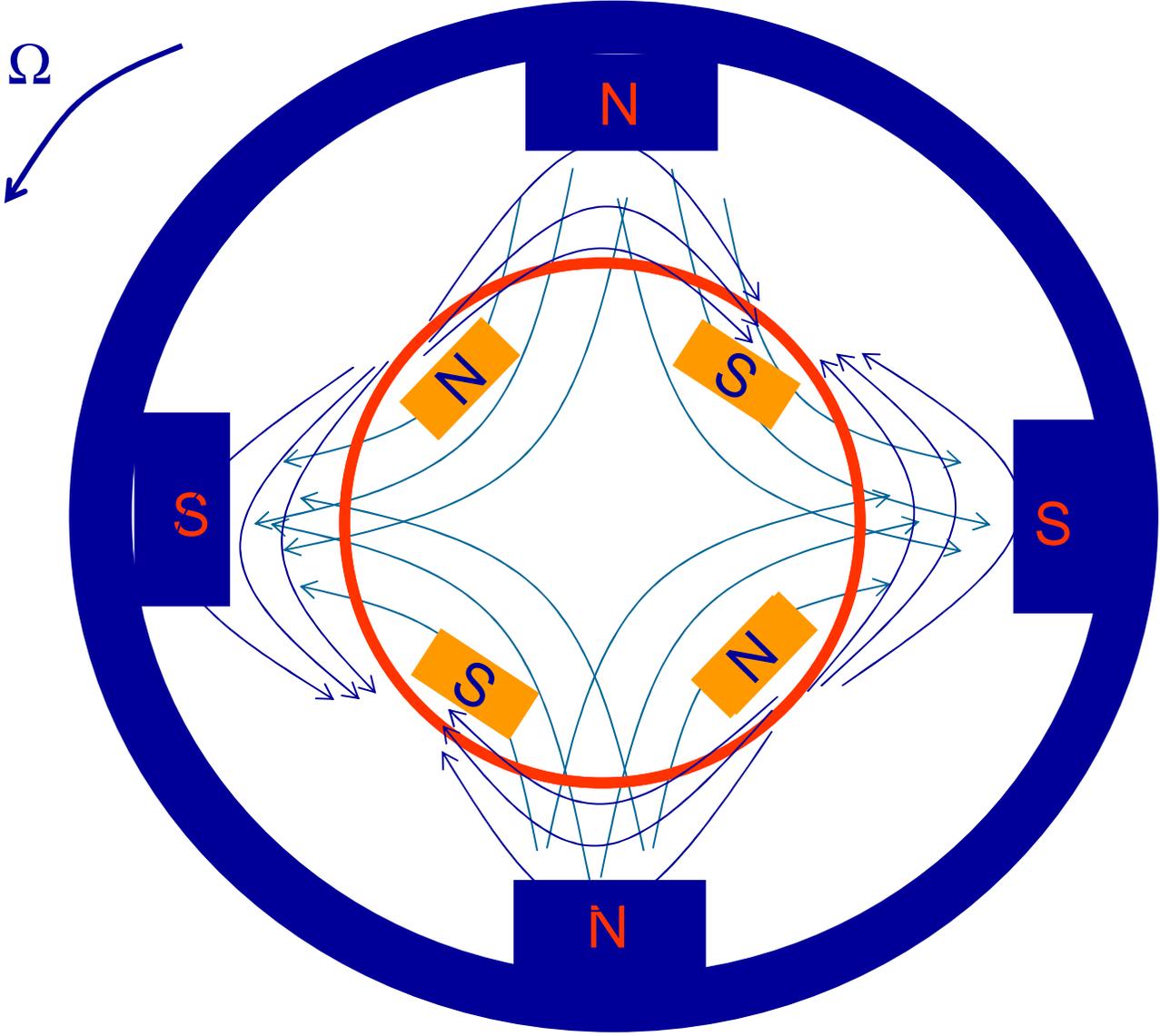


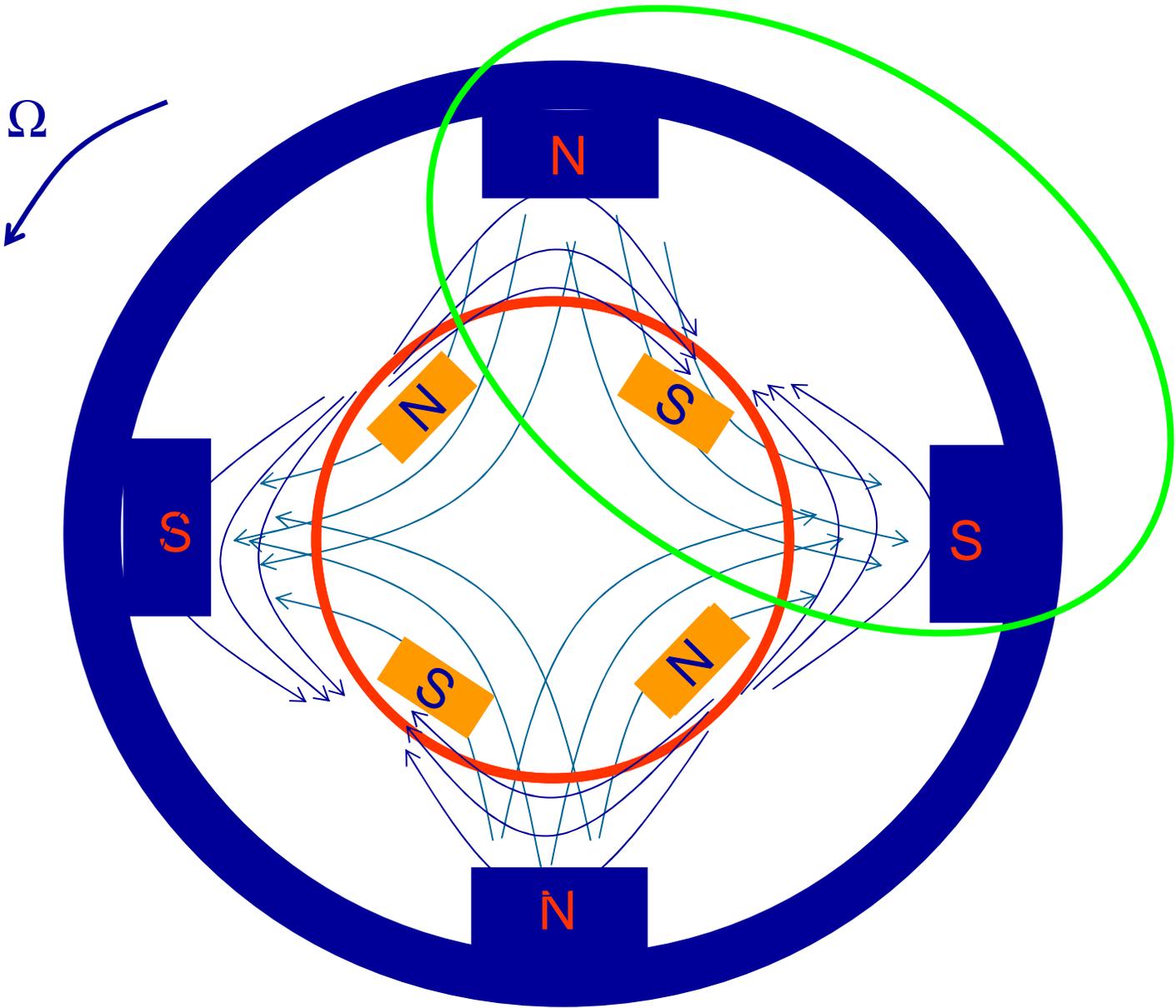


rotor

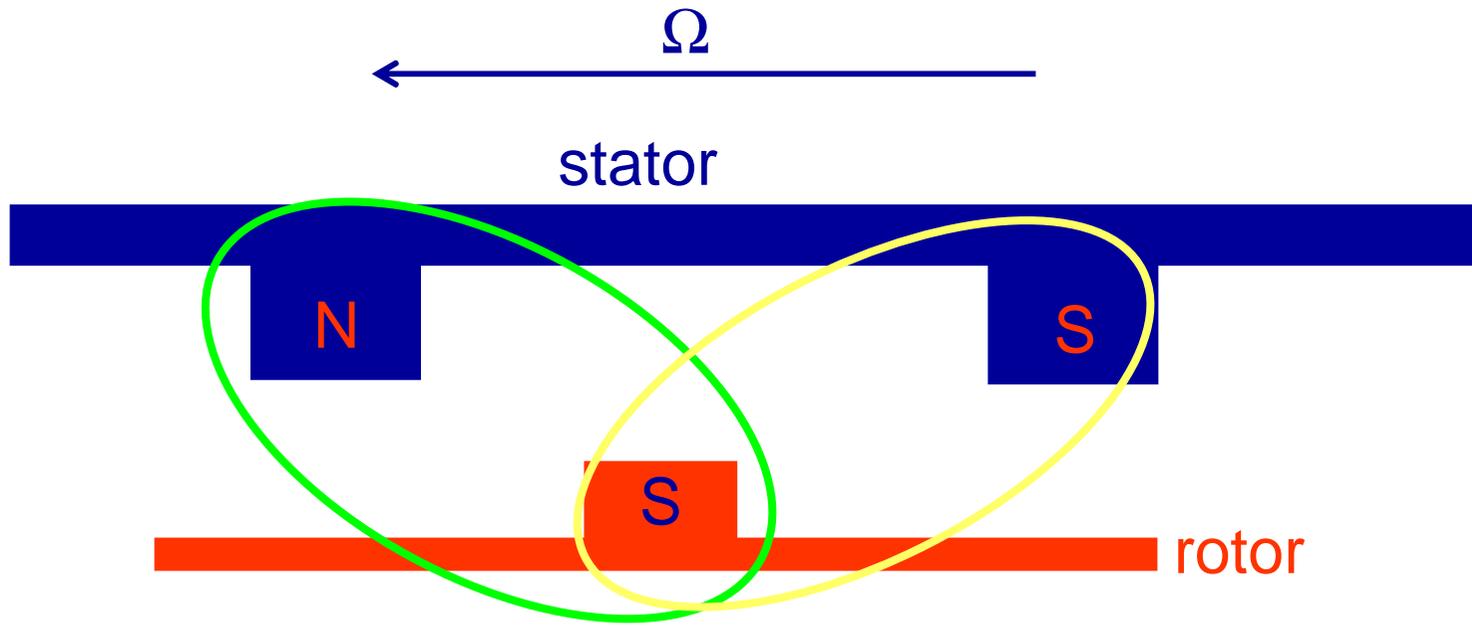








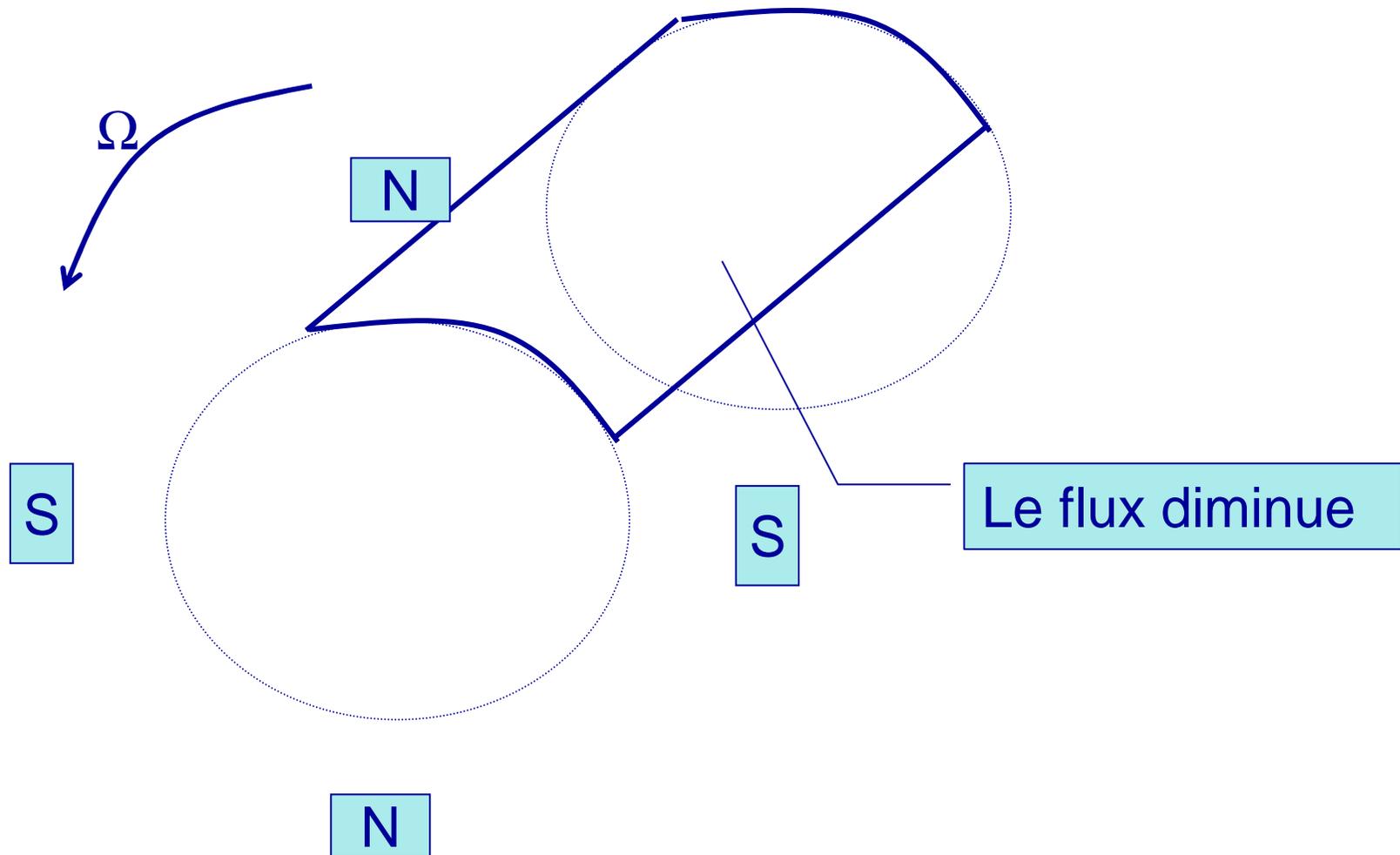
Mise en rotation du rotor



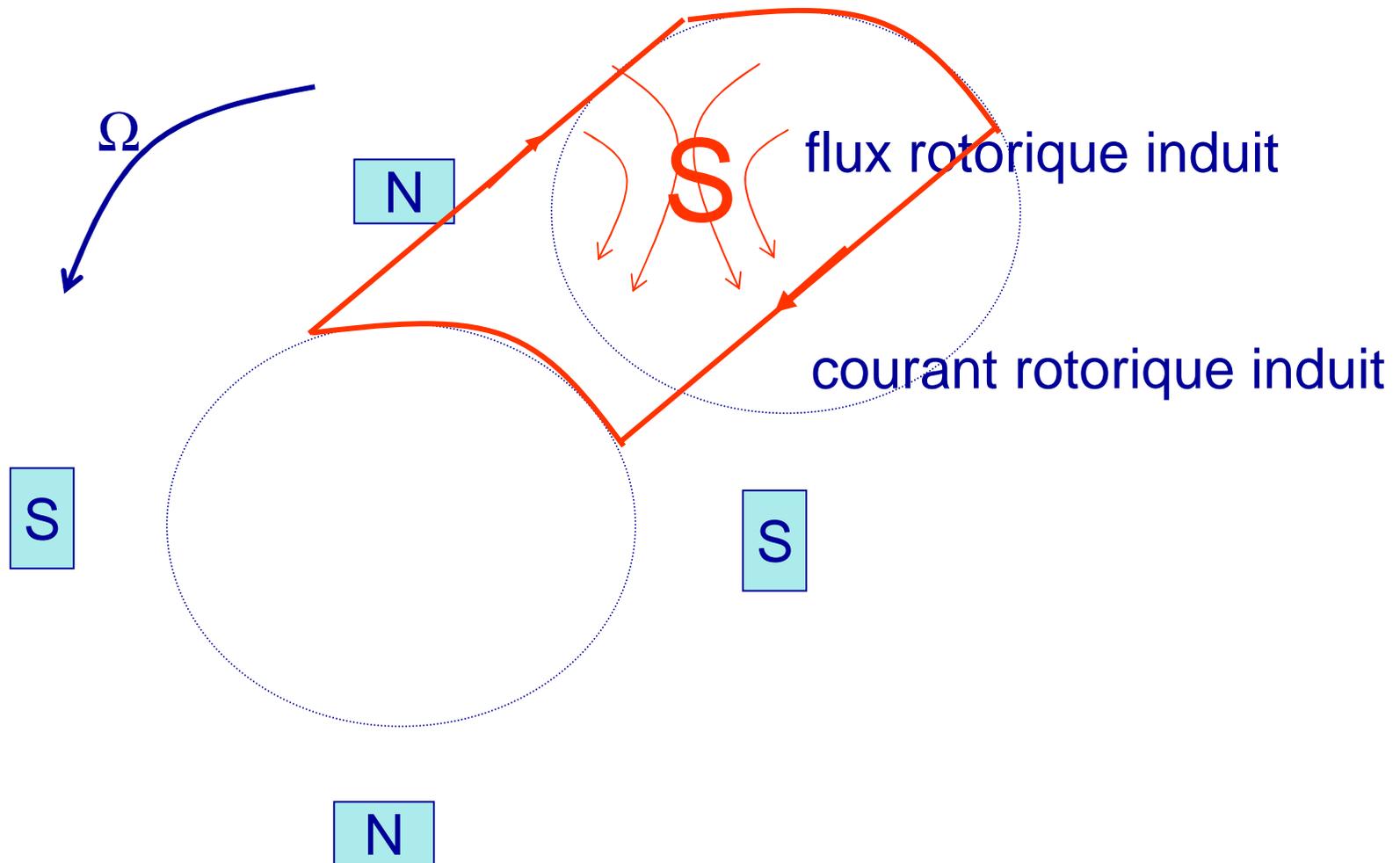
Le pôle nord stator tire
le pôle sud rotor

Le pôle sud stator repousse
le pôle sud rotor

Apparition des pôles 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.

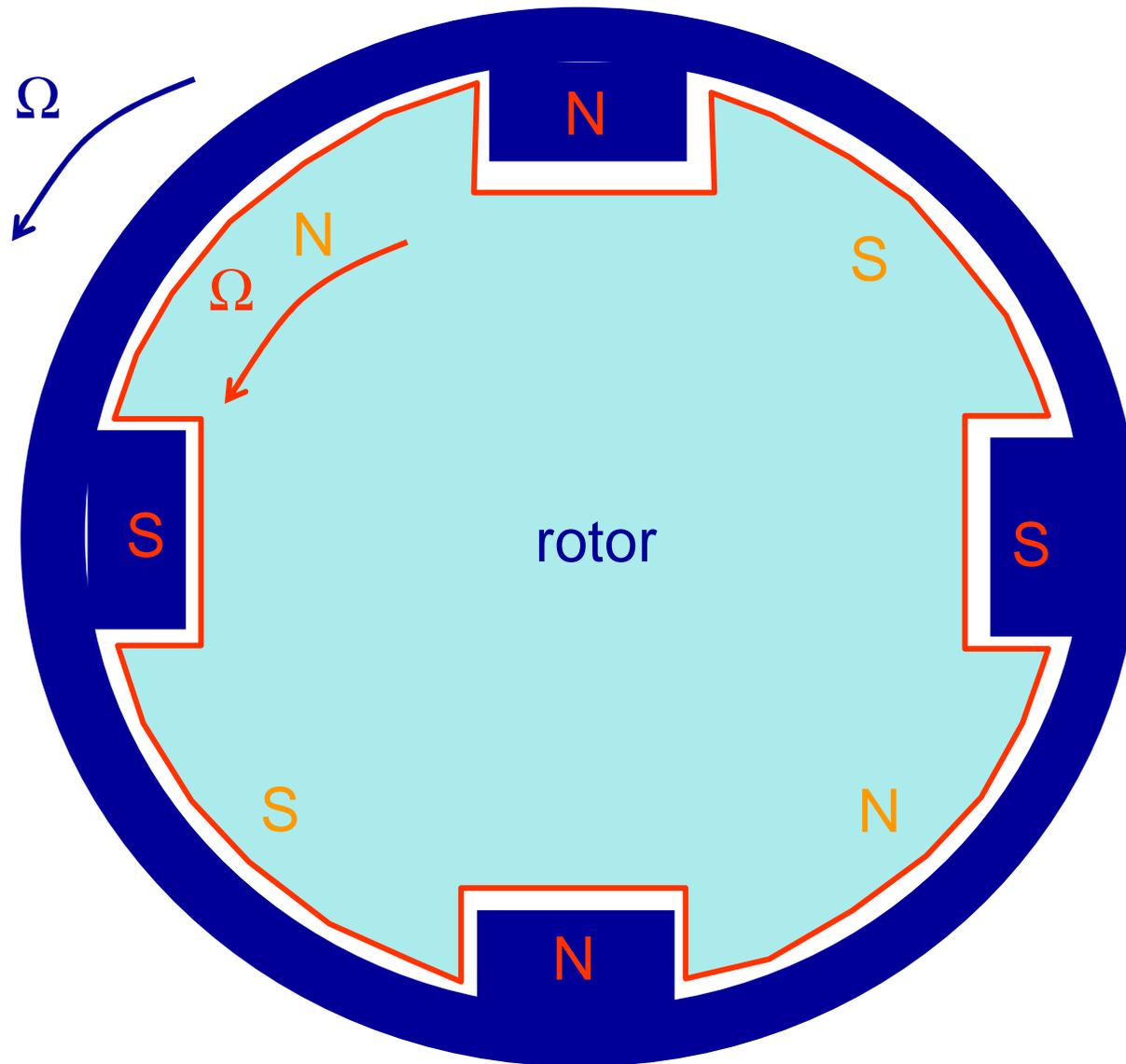
Si le rotor tourne à la même vitesse que le stator, il n'y a plus de variation de flux.

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

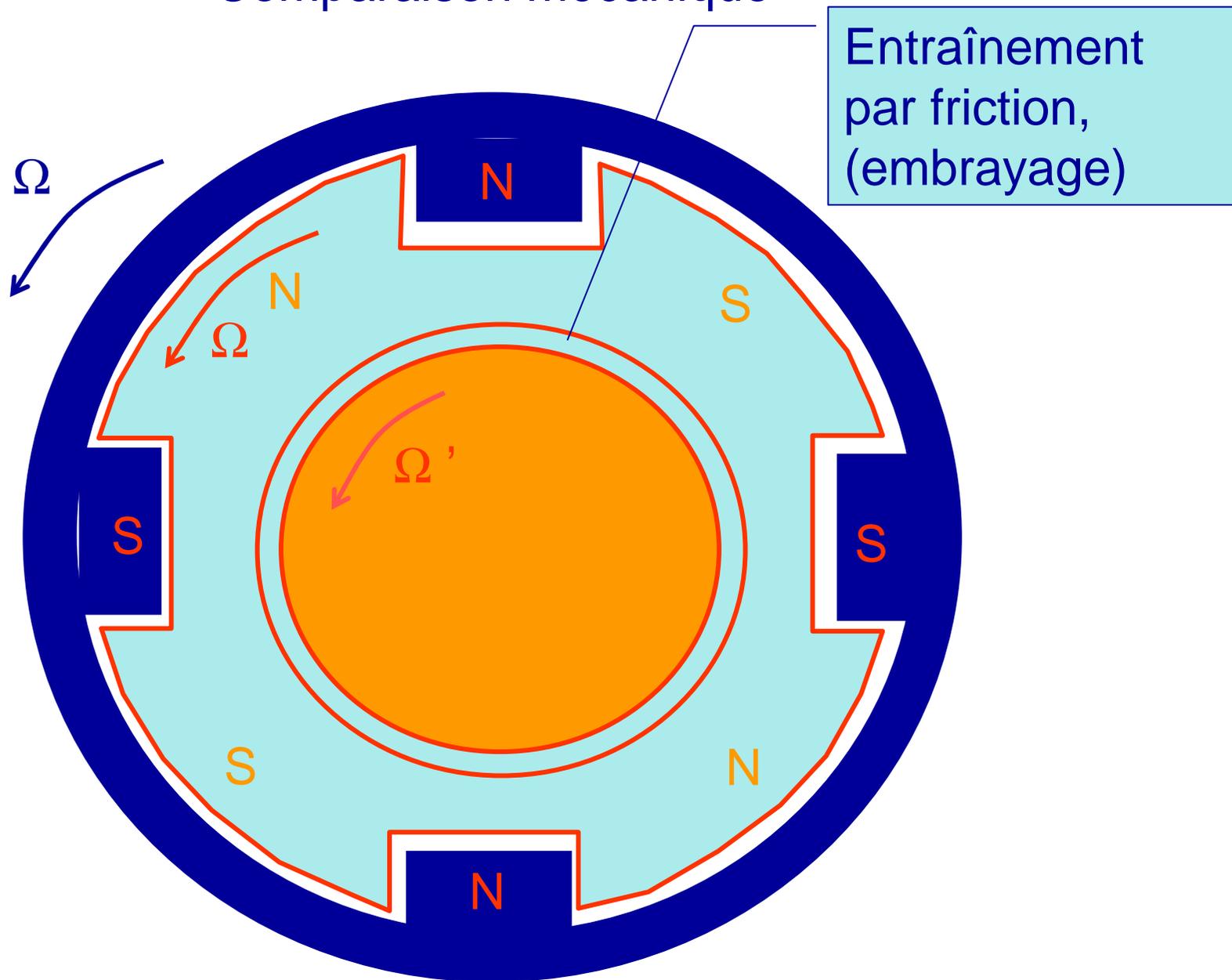
La vitesse de synchronisme ne peut en aucun cas être atteinte (en fonctionnement moteur). D'où le nom de machine **a**synchrone.

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
 $P_e = C_e \cdot (2\pi \cdot N_s)$

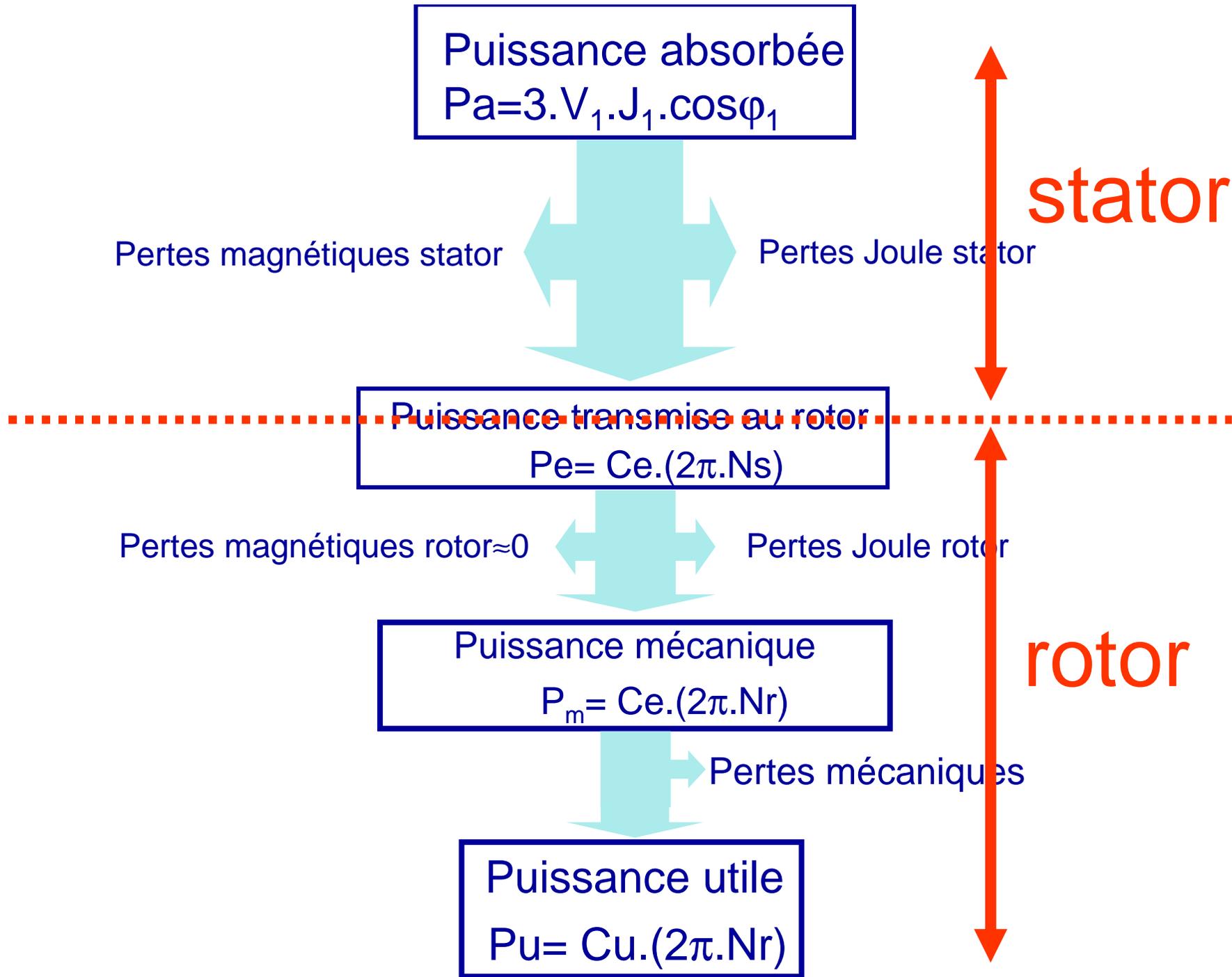
Pertes magnétiques rotor ≈ 0

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
 $P_a = 3 \cdot V_1 \cdot J_1 \cdot \cos \phi_1$

Pertes magnétiques stator

Pertes Joule stator

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

Pertes magnétiques rotor ≈ 0

Pertes Joule rotor

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

Pertes mécaniques

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

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

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

Pertes magnétiques rotor ≈ 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 :

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

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

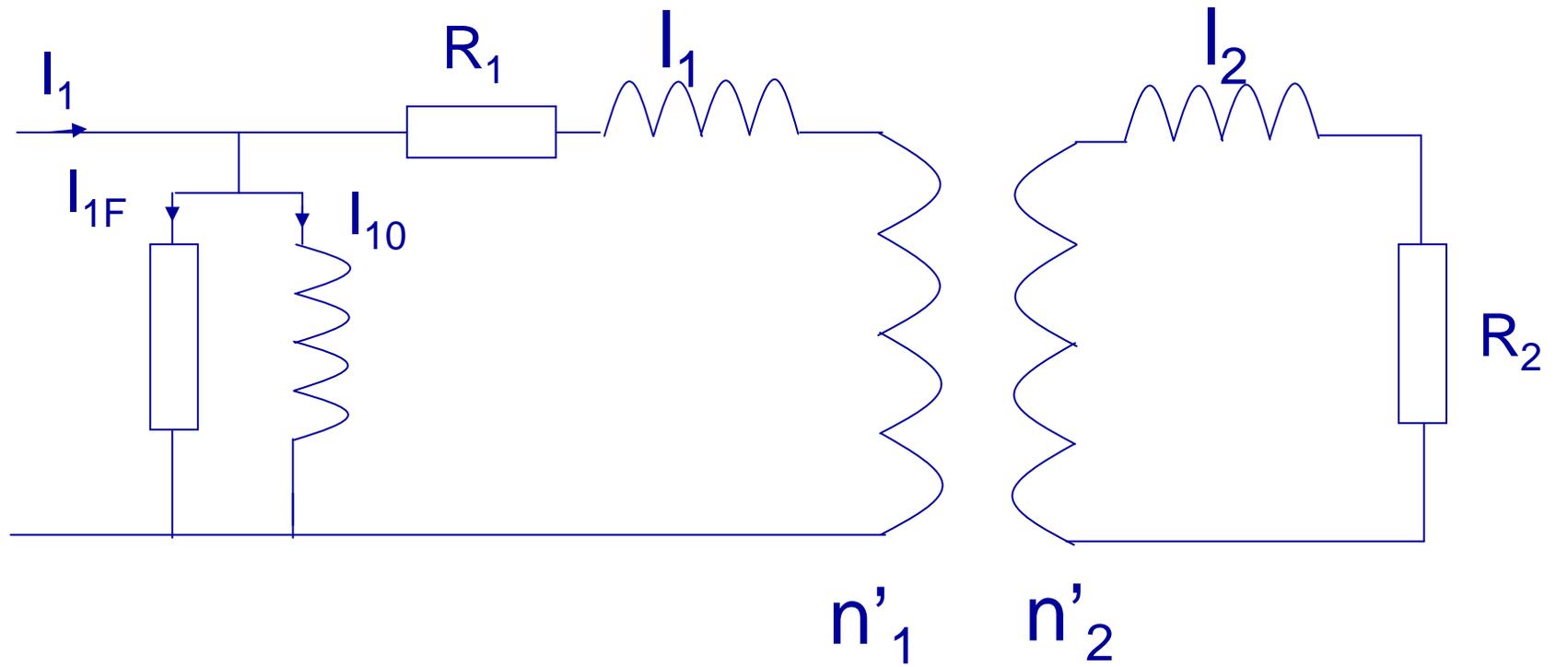
Modélisation de la machine asynchrone

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 :

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

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

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

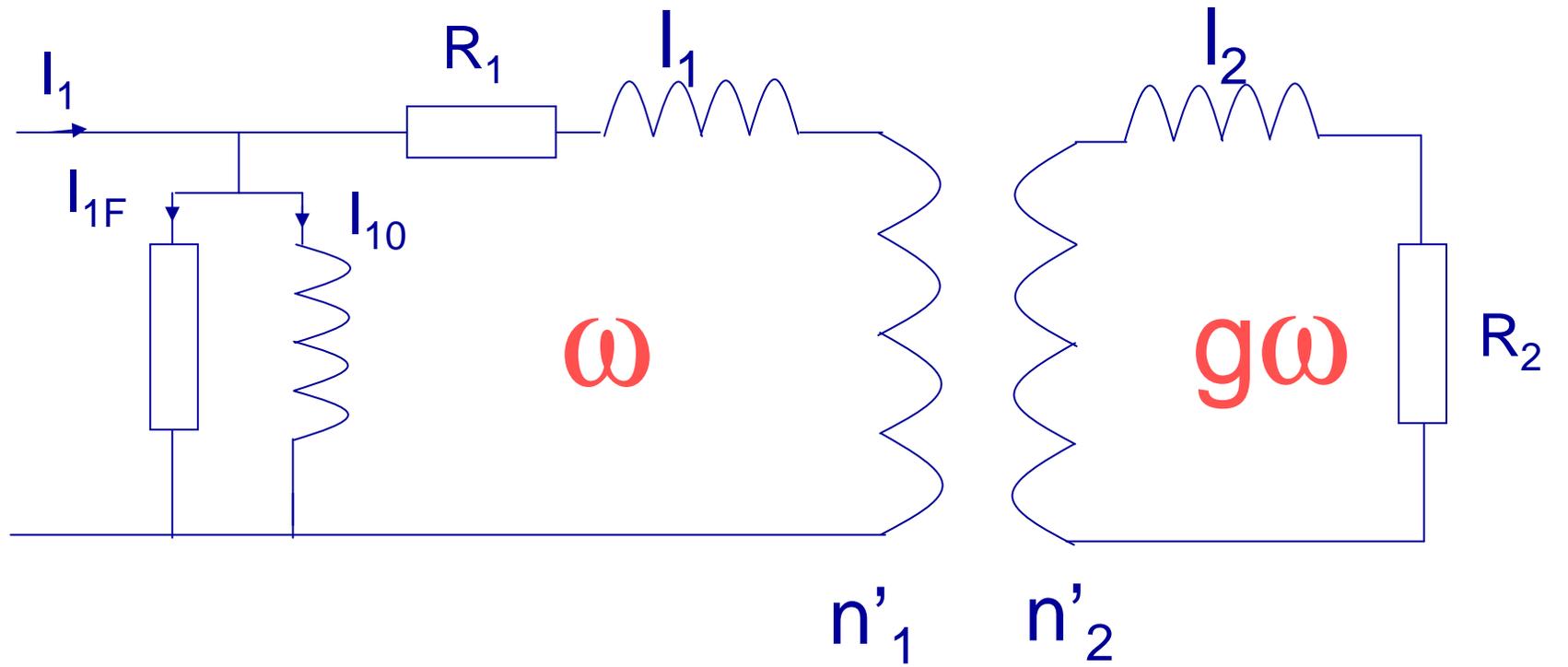
Pour une phase du stator :

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

Pour une phase du rotor :

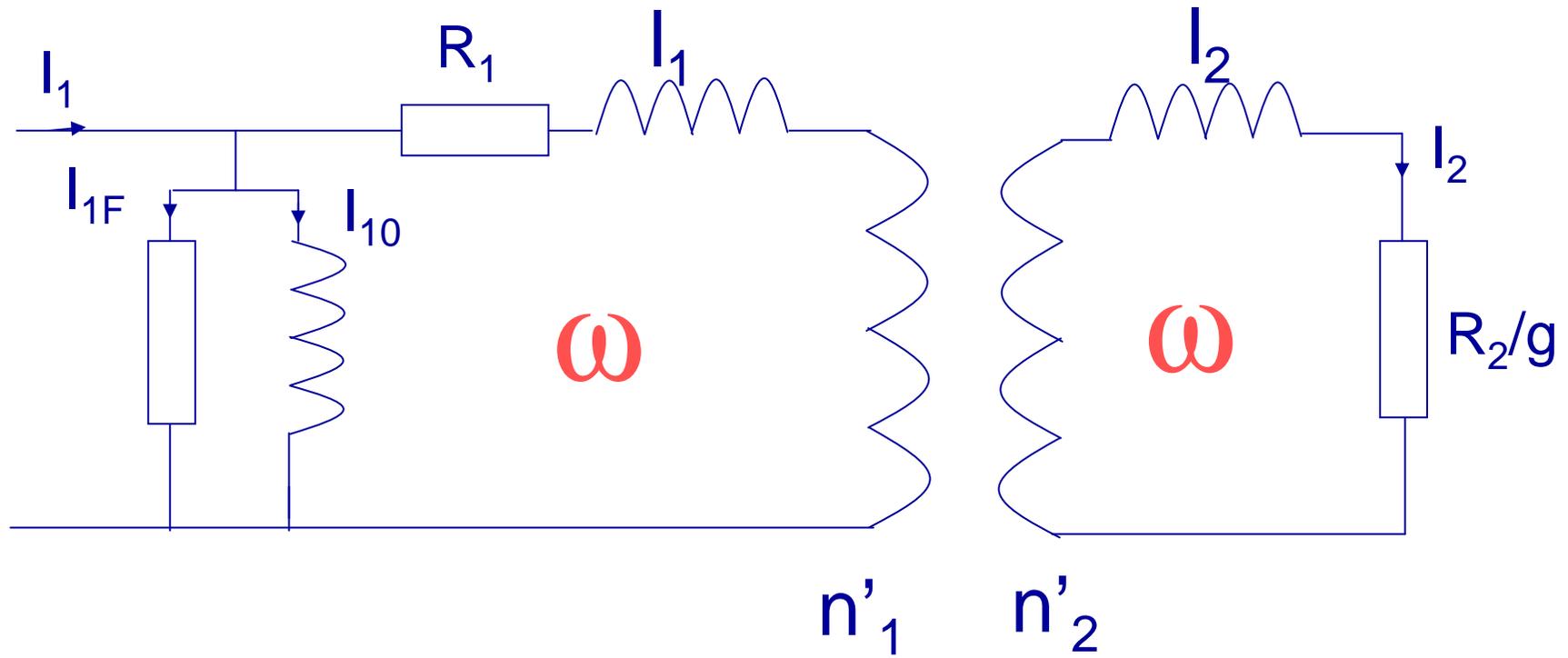
$$\underline{V}_2 = 0 = j n'_2 (g\omega) \underline{\phi} - j (g\omega) l_2 \underline{I}_2 - R_2 \underline{I}_2$$

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



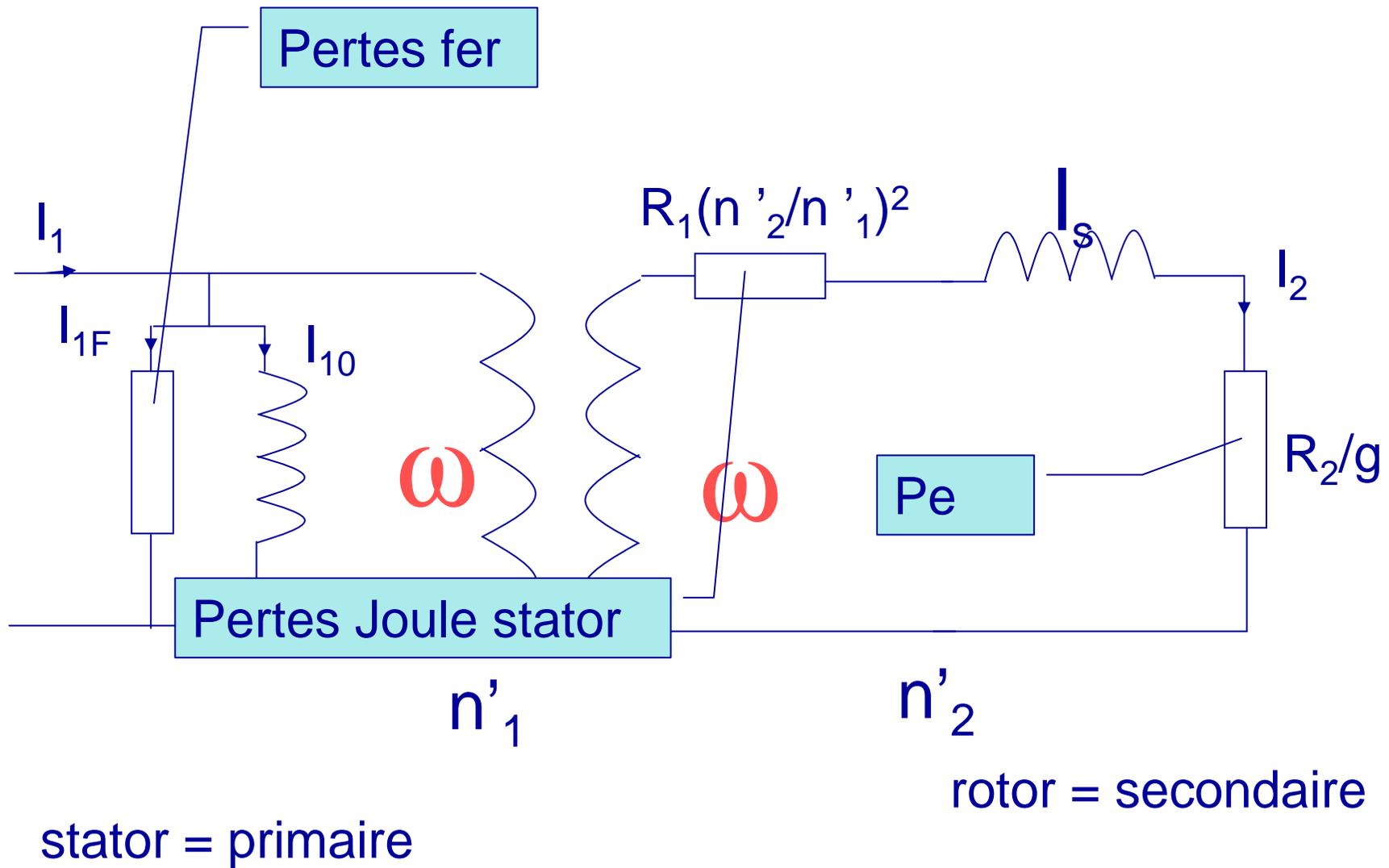
stator = primaire

rotor = secondaire



stator = primaire

rotor = secondaire

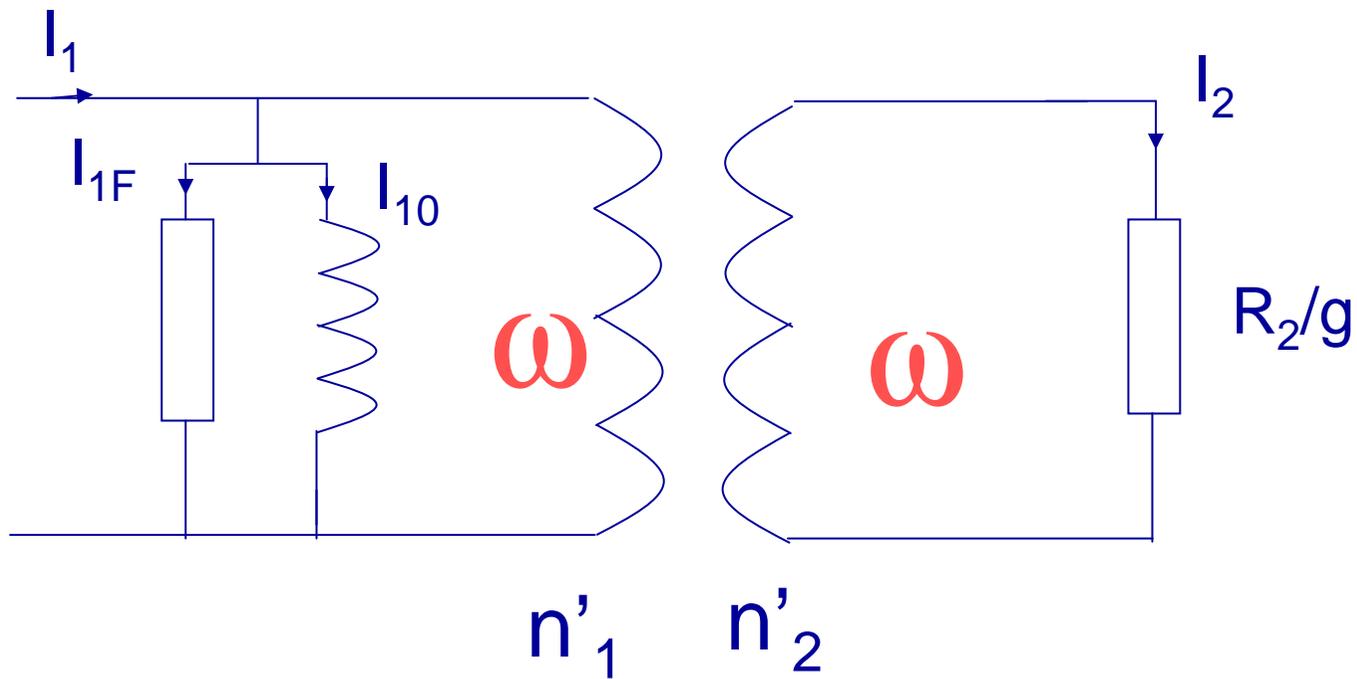


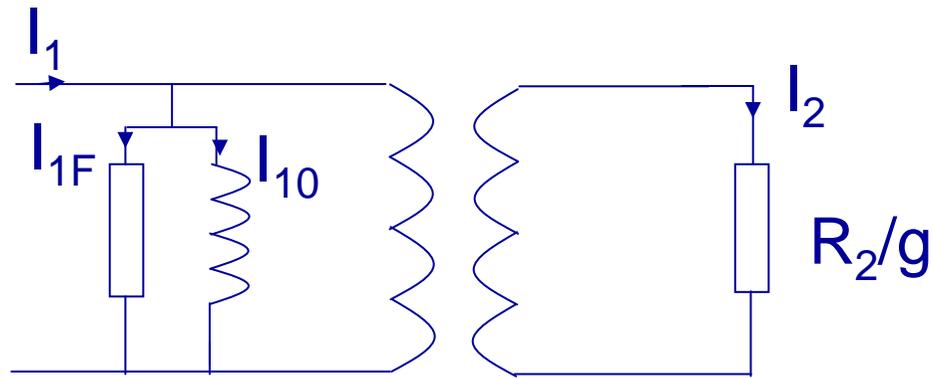
**Couple et courant à
glissement faible**

On suppose :

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

Le schéma équivalent devient :

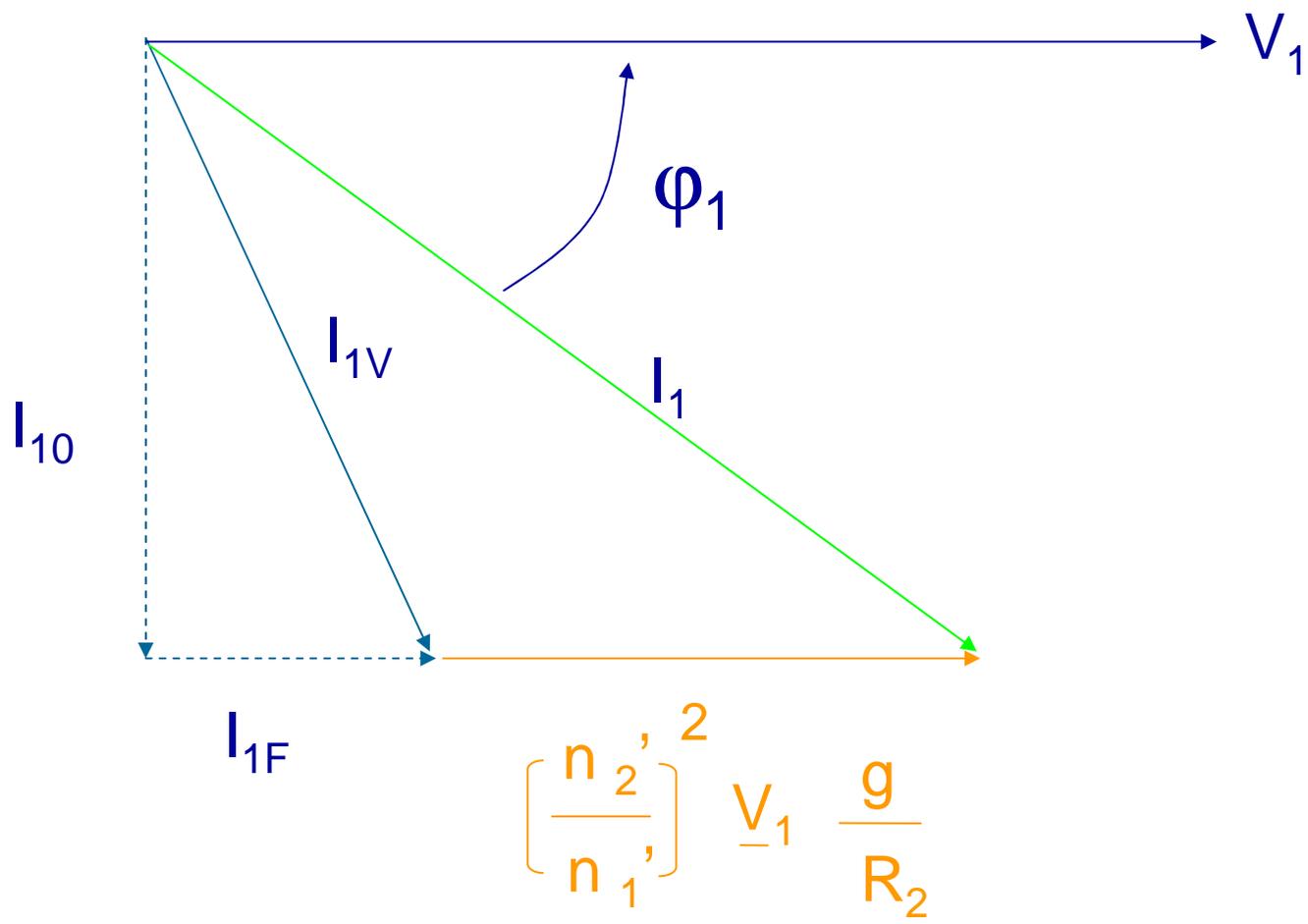




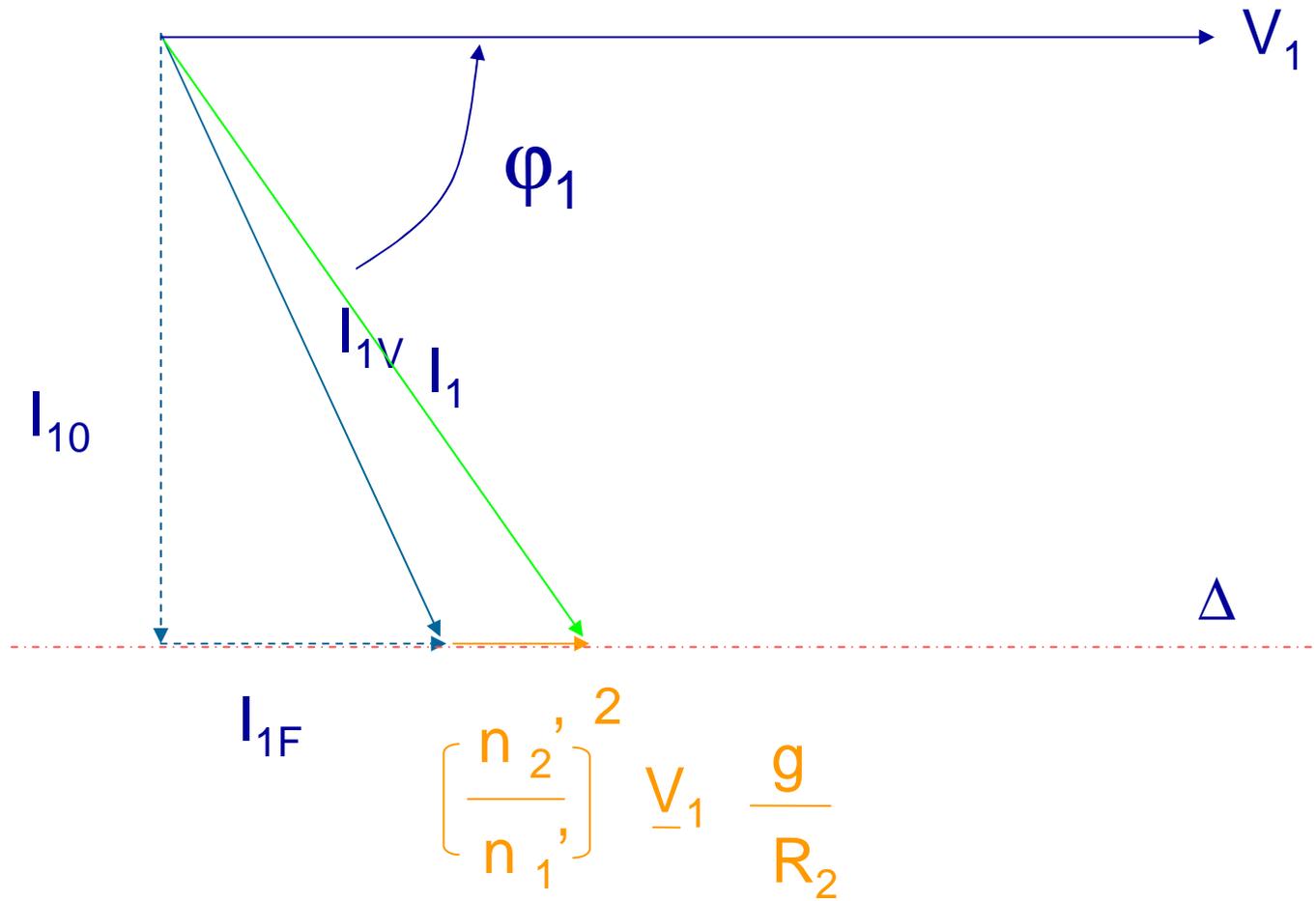
$$\underline{I_2} = \frac{n_{2'}}{n_{1'}} \underline{V_1} \frac{g}{R_2}$$

Soit :

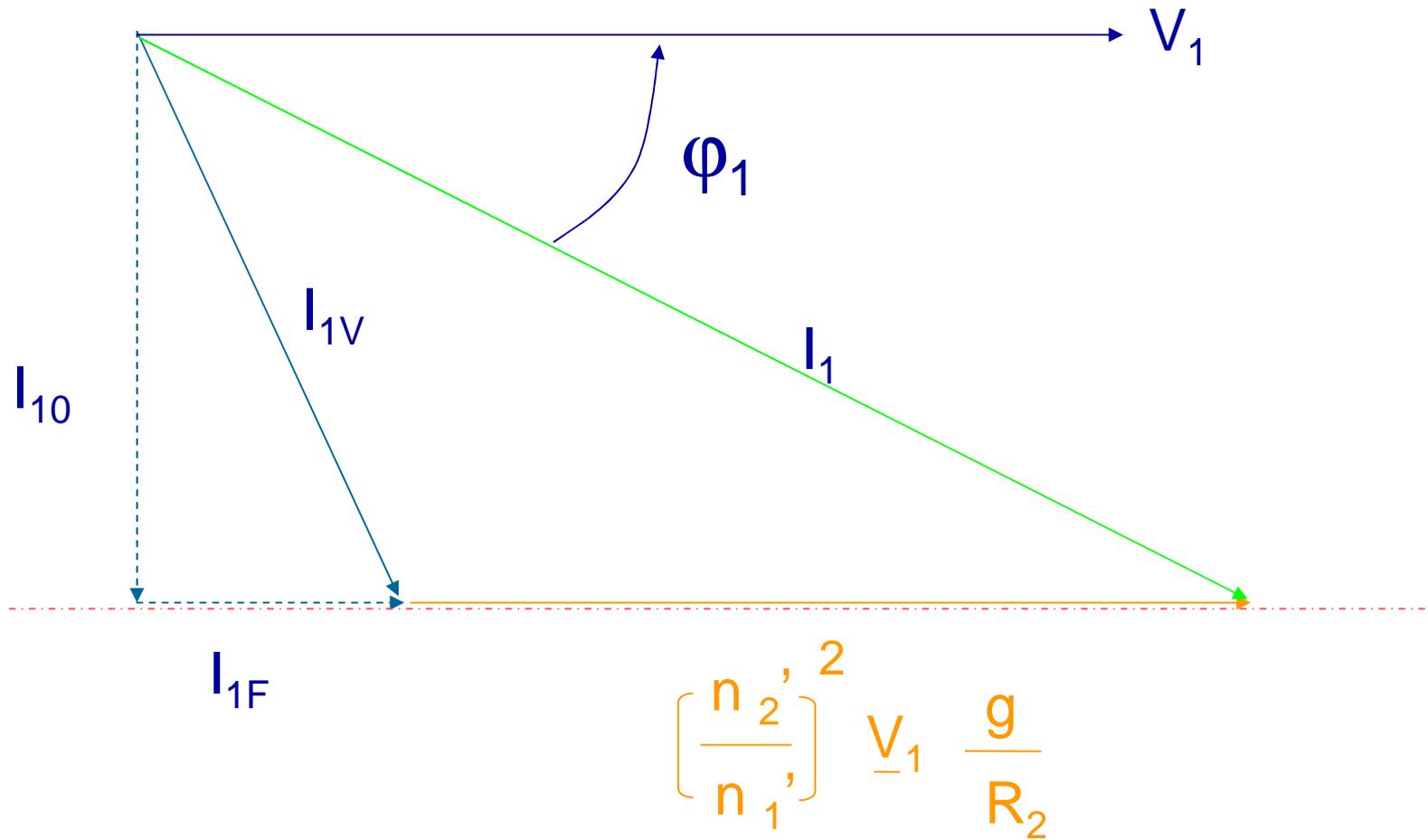
$$\underline{I_1} = \underline{I_{1v}} + \left[\frac{n_{2'}}{n_{1'}} \right]^2 \underline{V_1} \frac{g}{R_2}$$



Si N augmente : g diminue



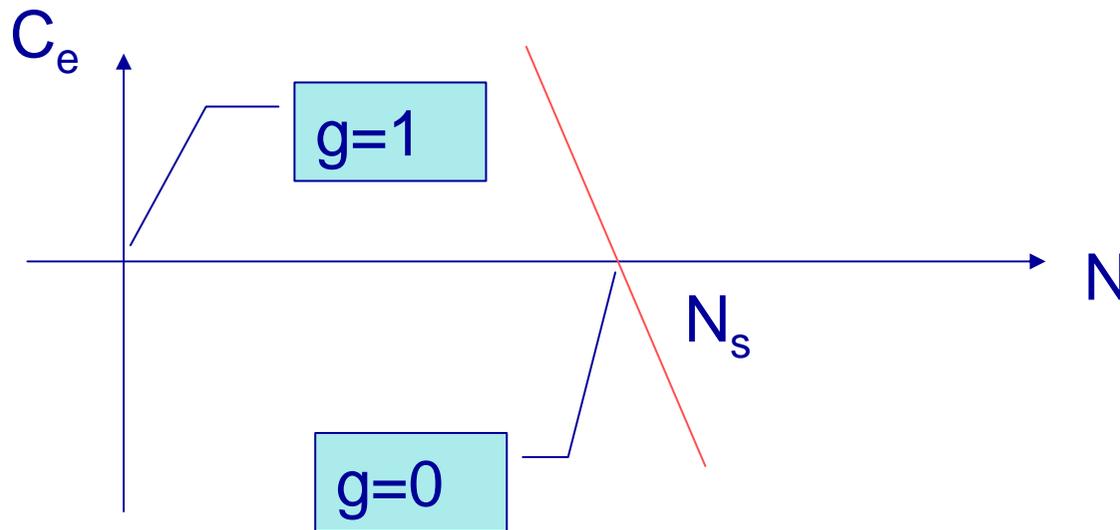
Si N diminue, g augmente

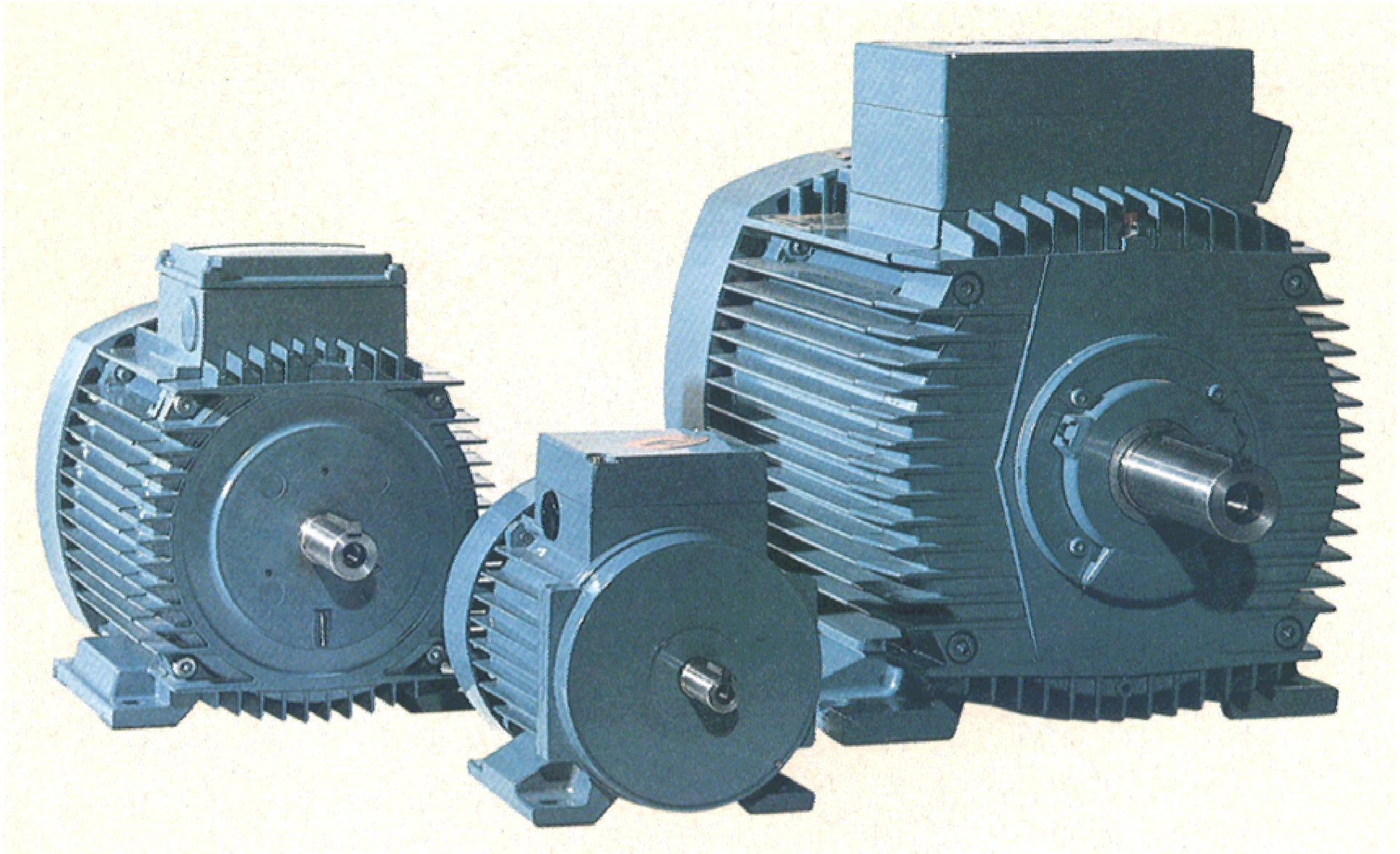


$$P_e = 3 \frac{R_2}{g} I_2^2 = 3 \frac{R_2}{g} \left[\frac{n_2'}{n_1'} \right]^2 V_1^2 \frac{g^2}{R_2^2} = C_e \Omega$$

Soit :

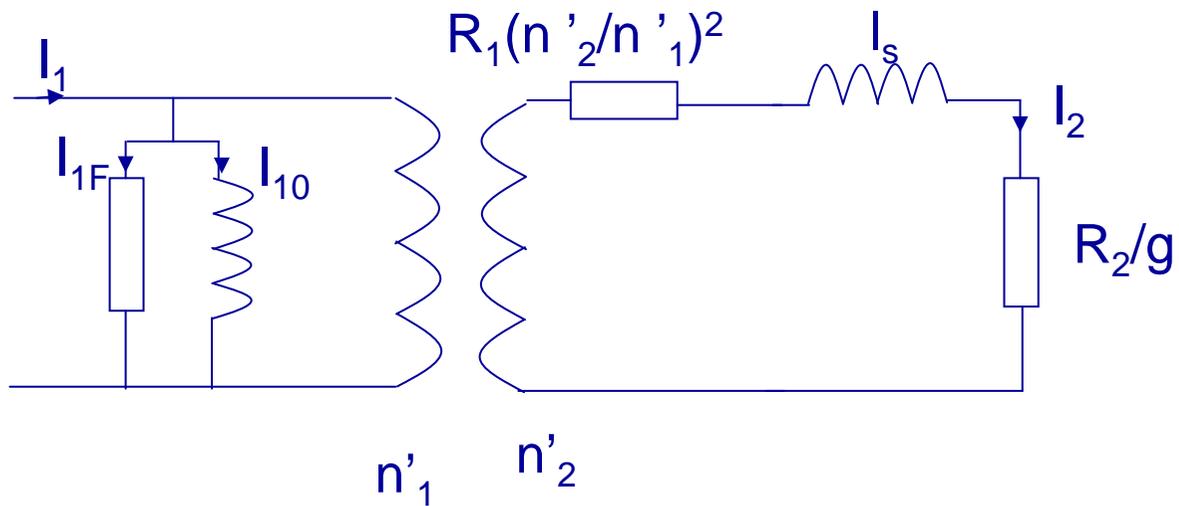
$$C_e = \frac{3}{\Omega_s} \left[\frac{n_2'}{n_1'} \right]^2 V_1^2 \frac{g}{R_2} = k V_1^2 \frac{g}{R_2}$$





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 $R_1 \left[\frac{n_2'}{n_1'} \right]^2 \ll j\omega l_s$

$$\underline{I_2} = \frac{n_2'}{n_1'} \underline{V_1} \frac{1}{\frac{R_2}{g} + j\omega l_s}$$

$$C_e = \frac{3}{\Omega_s} \frac{R_2}{g} \left[\frac{n_2'}{n_1'} \right]^2 V_1^2 \frac{1}{\left[\frac{R_2}{g} \right]^2 + \omega^2 l_s^2}$$

$$C_e = \frac{3}{\Omega_s} \left[\frac{n_2'}{n_1'} \right]^2 V_1^2 \frac{1}{\omega l_s} \frac{1}{\frac{R_2}{g \omega l_s} + \frac{g \omega l_s}{R_2}}$$

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

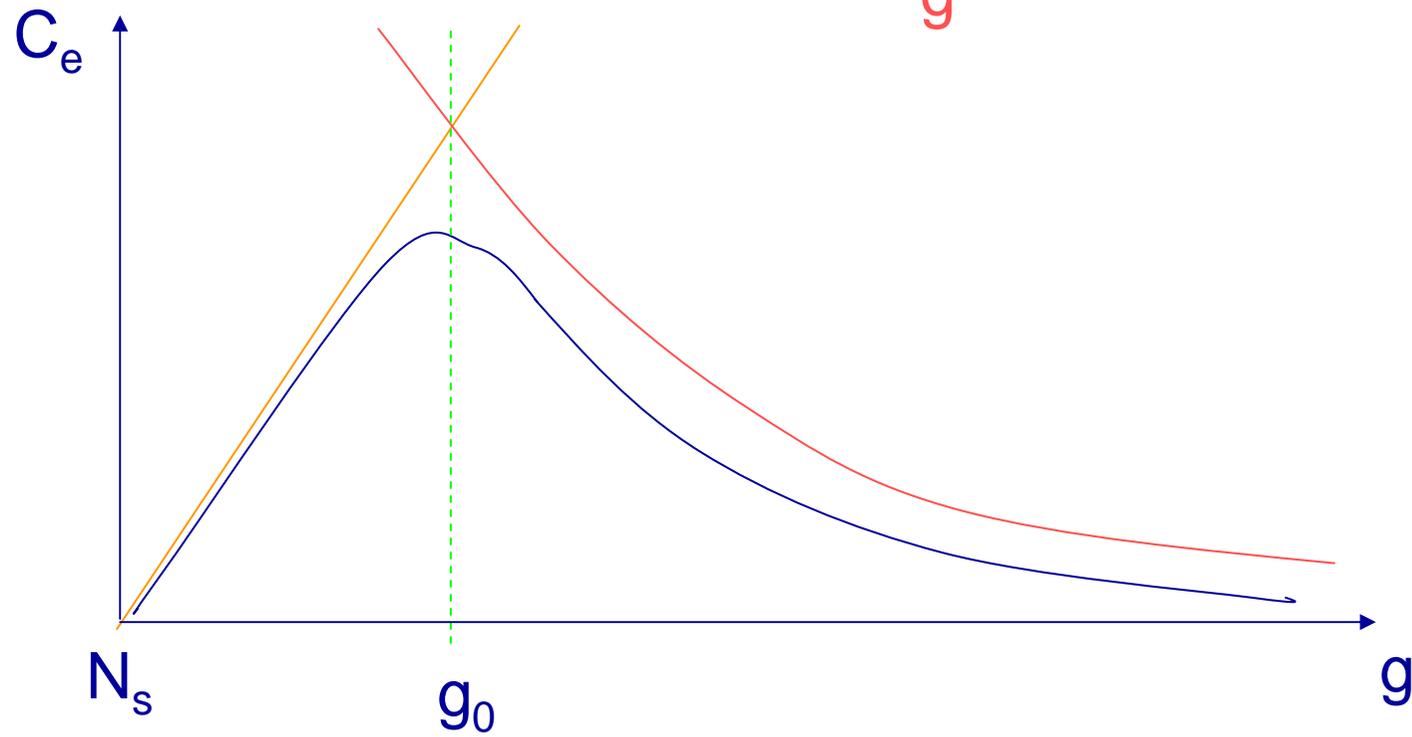
$$C_e = K \cdot V_1^2 \cdot \frac{1}{\frac{g_0}{g} + \frac{g}{g_0}}$$

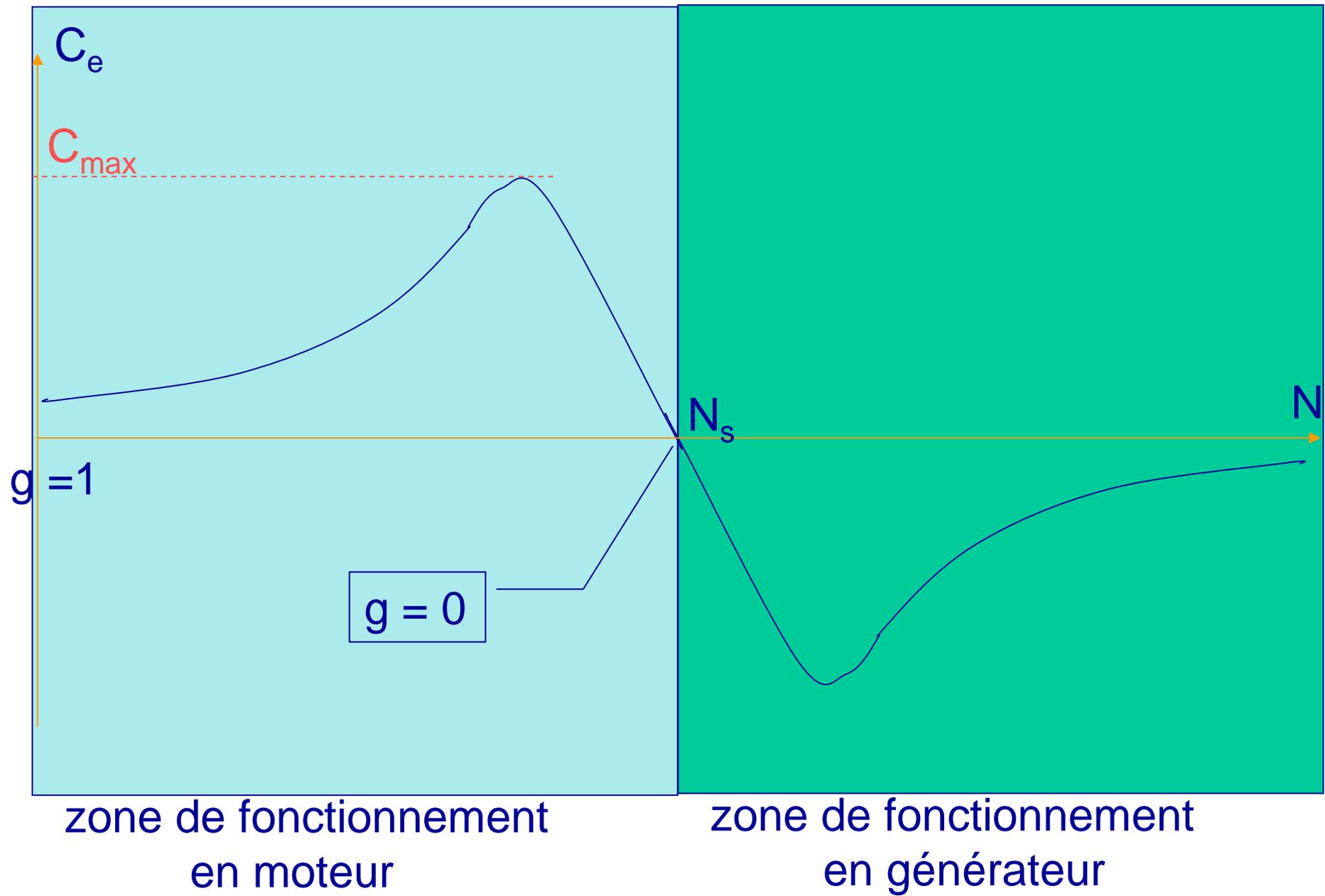
C_e est max pour $g = g_0$ soit

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

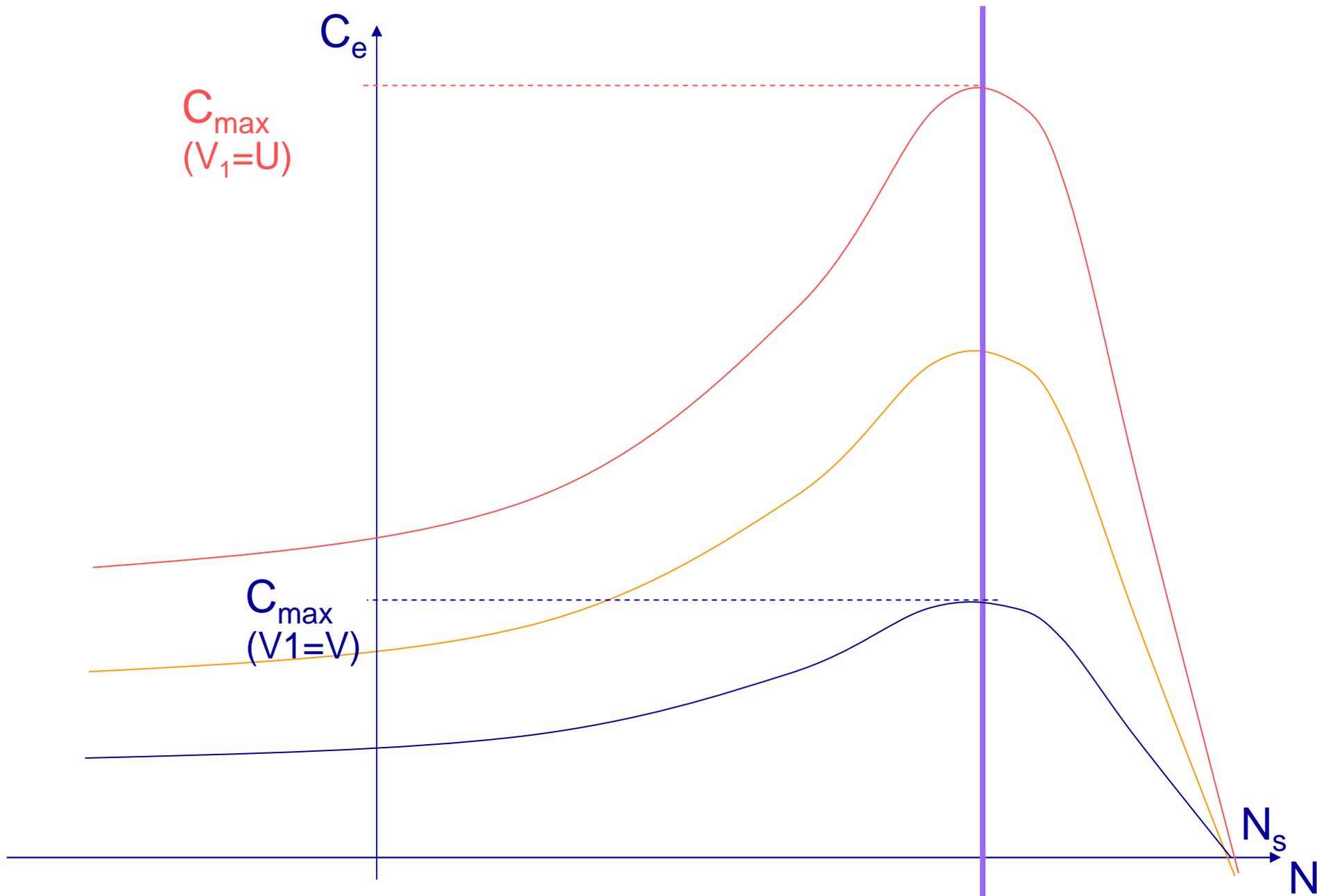
$$g \ll g_0 \quad C_e = K V_1^2 \frac{g}{g_0}$$

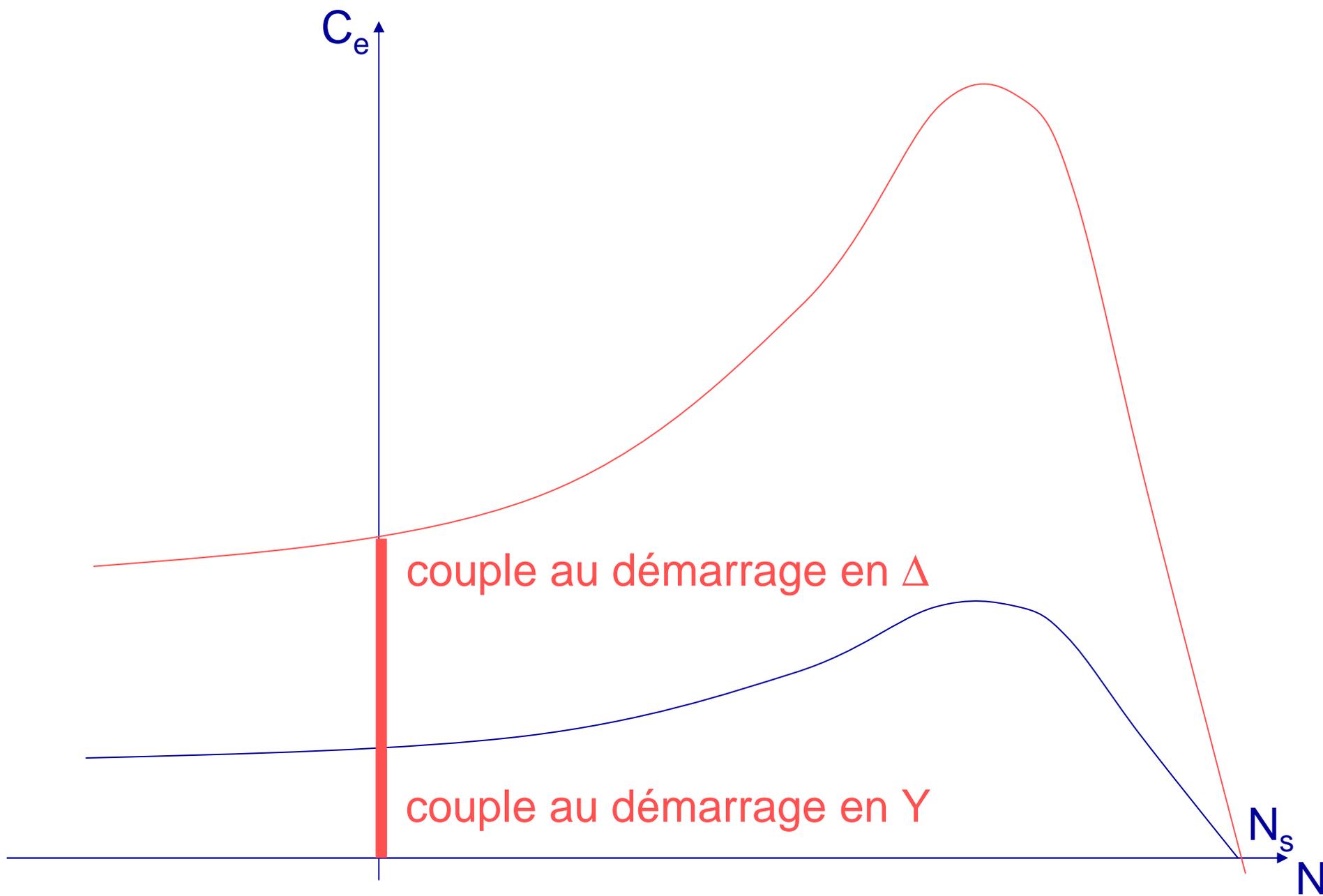
$$g \gg g_0 \quad C_e = K V_1^2 \frac{g_0}{g}$$



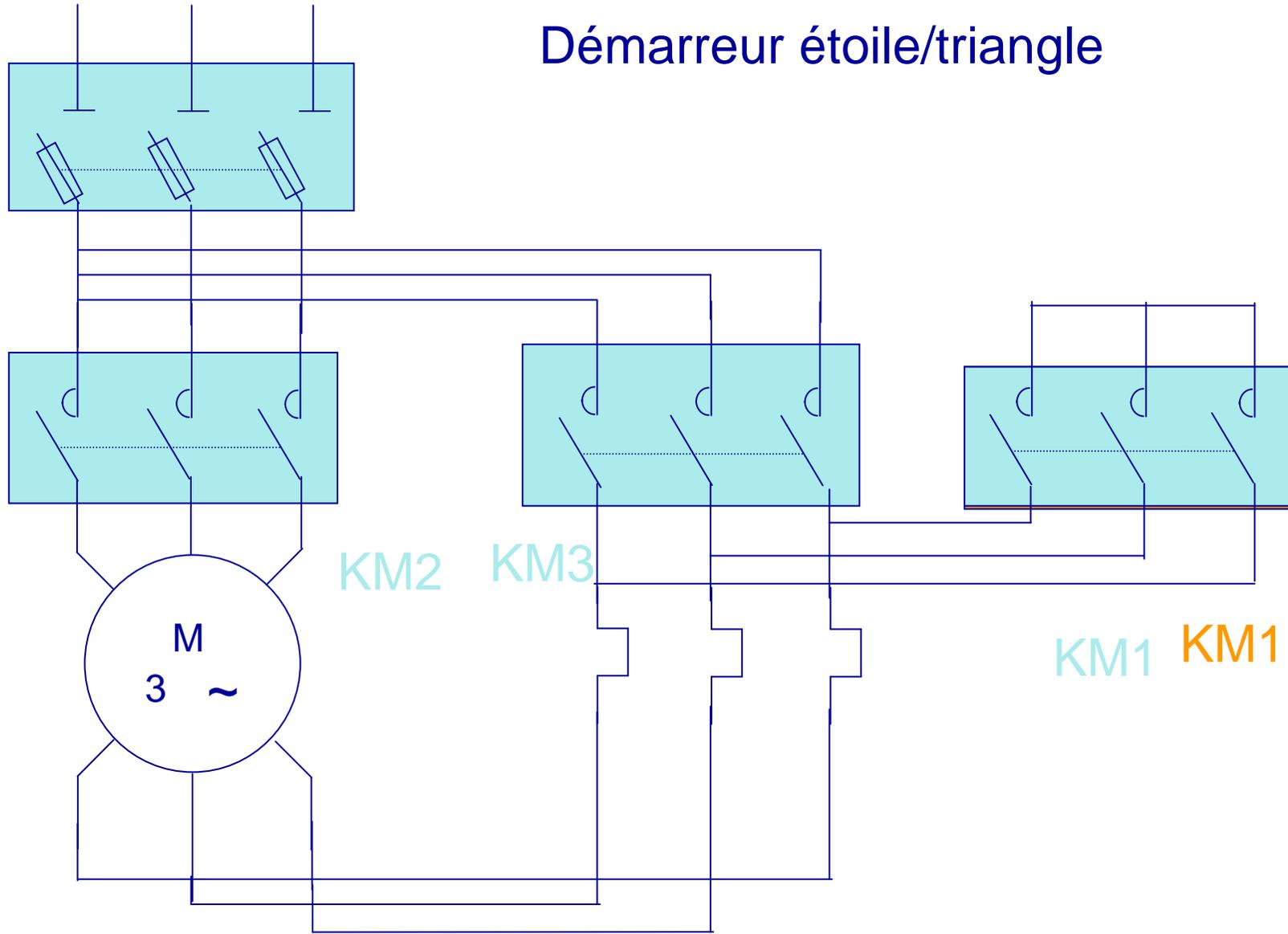


**Influence d'une variation de
la tension d'alimentation
statorique sur la
caractéristique mécanique**

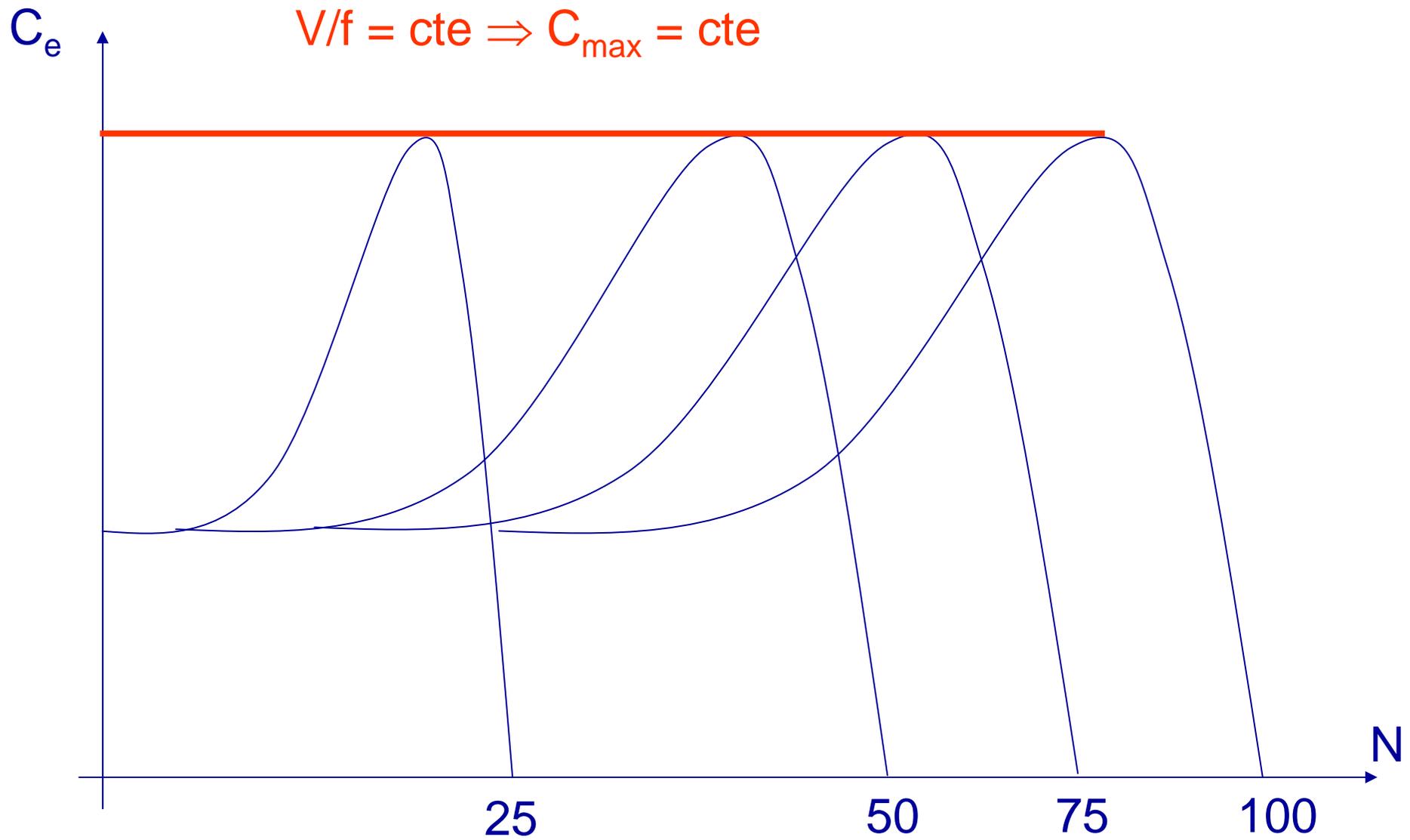




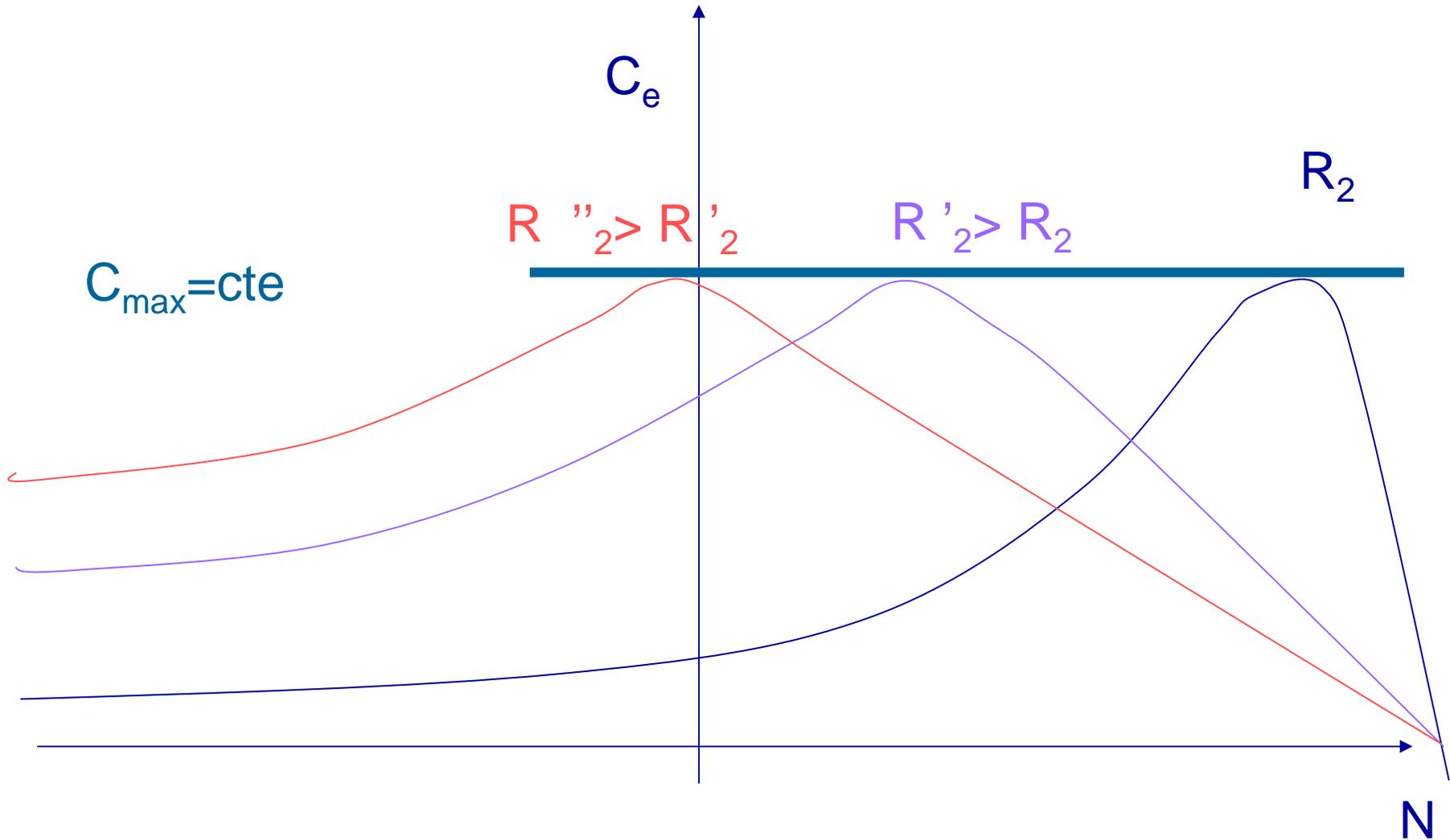
Démarreur étoile/triangle

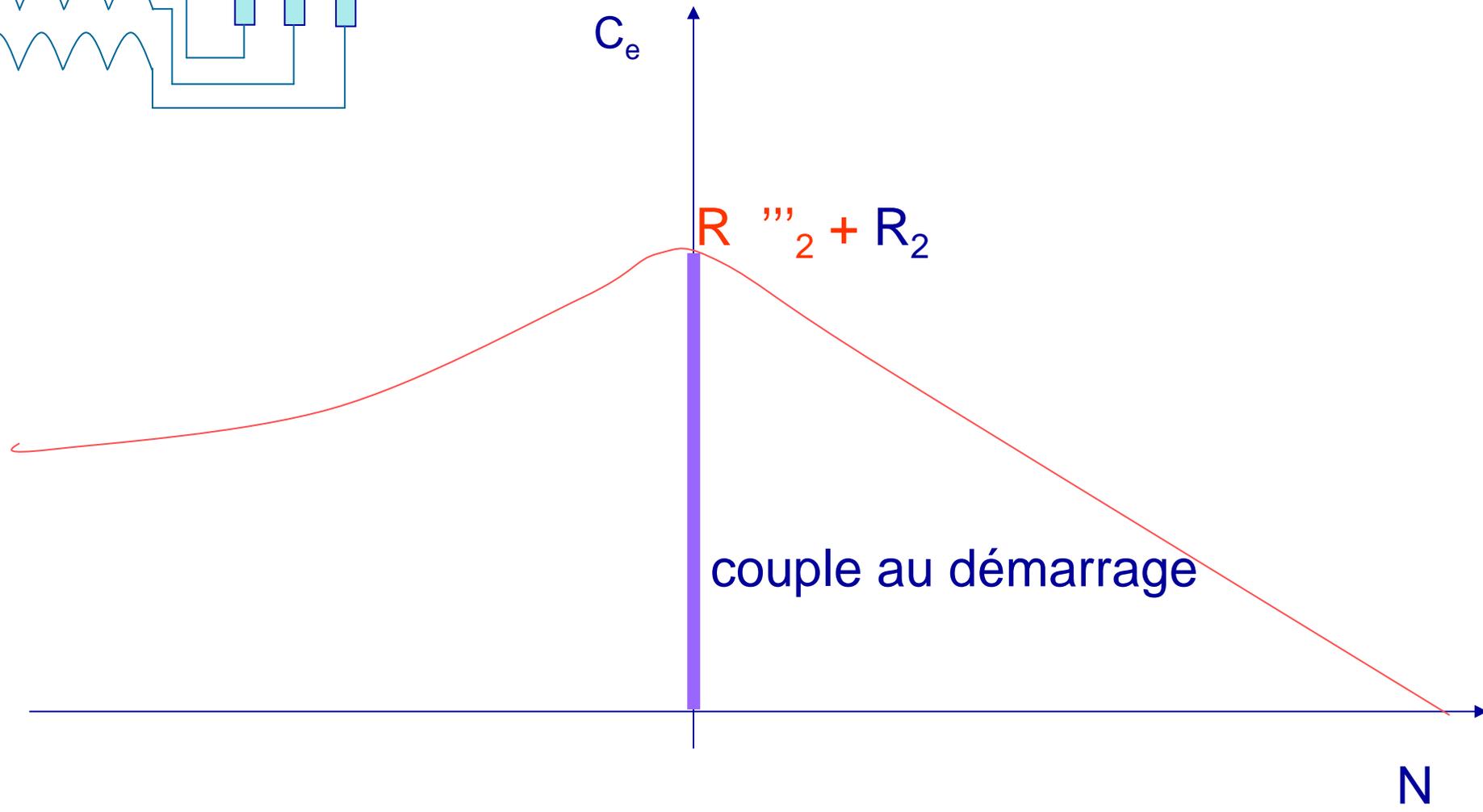
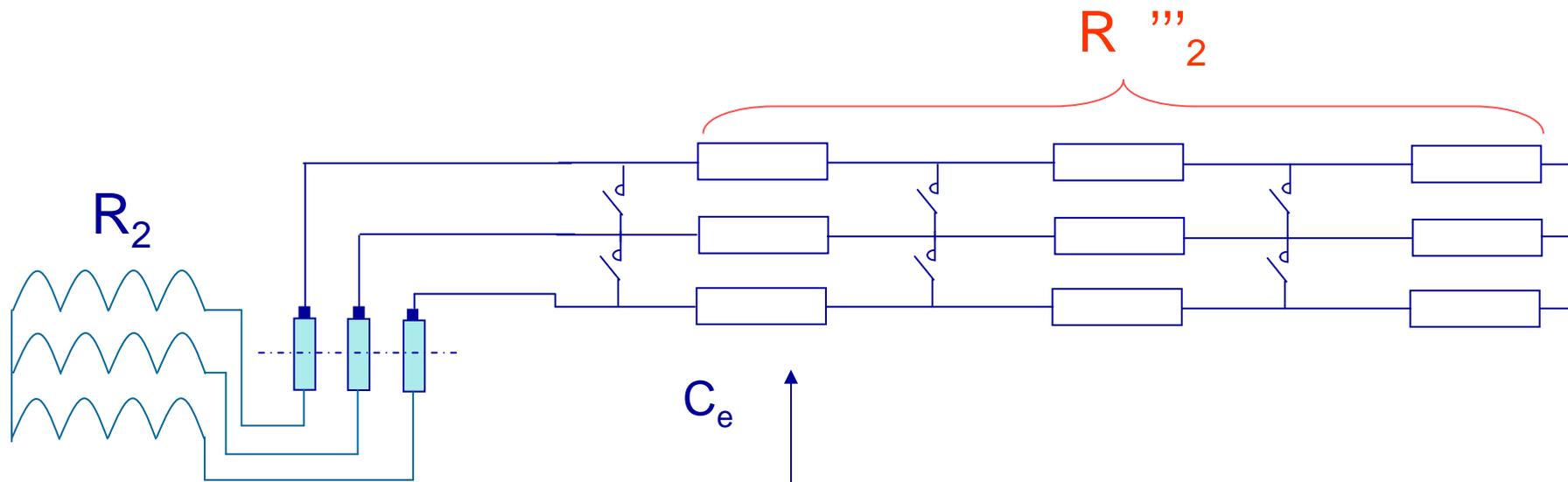


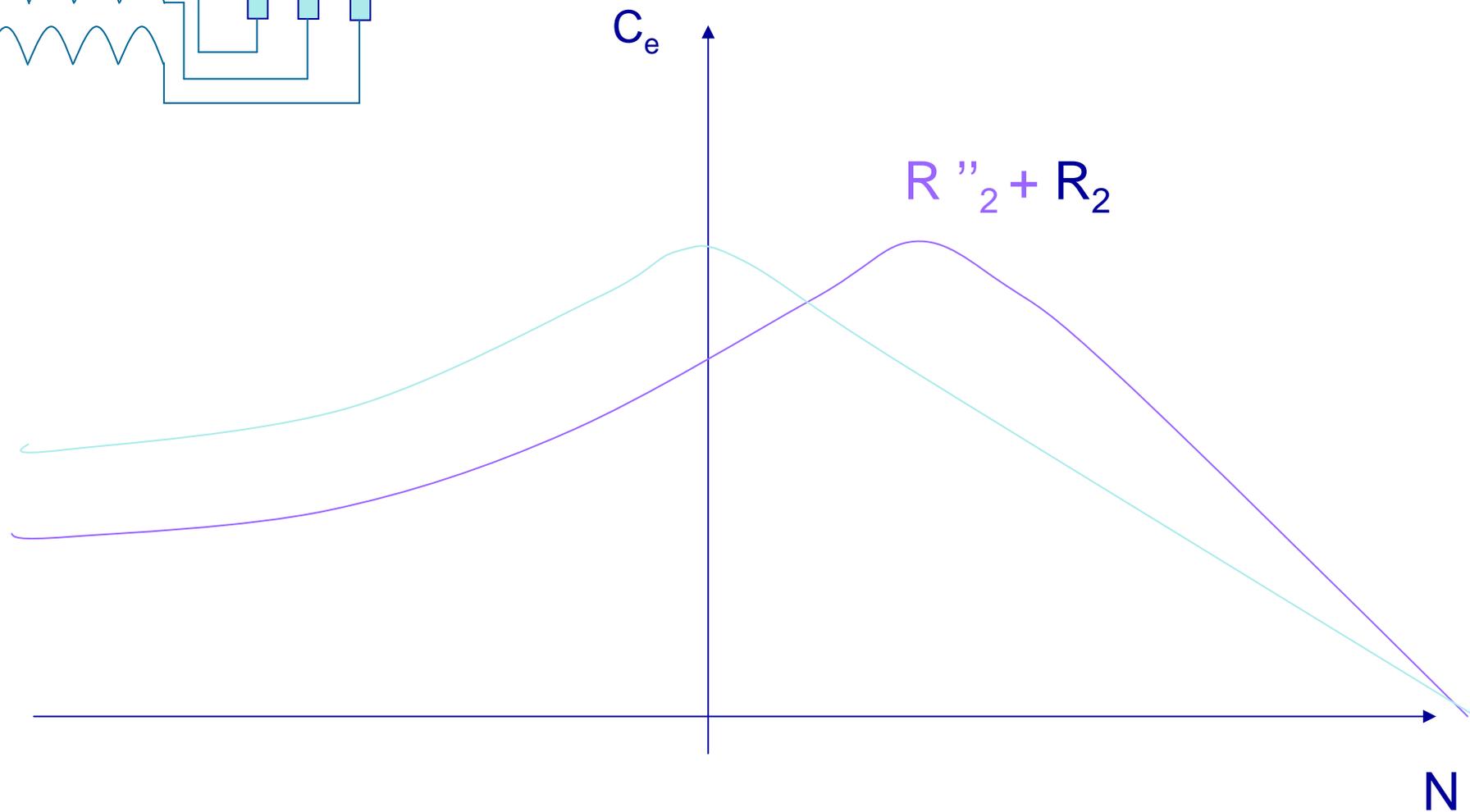
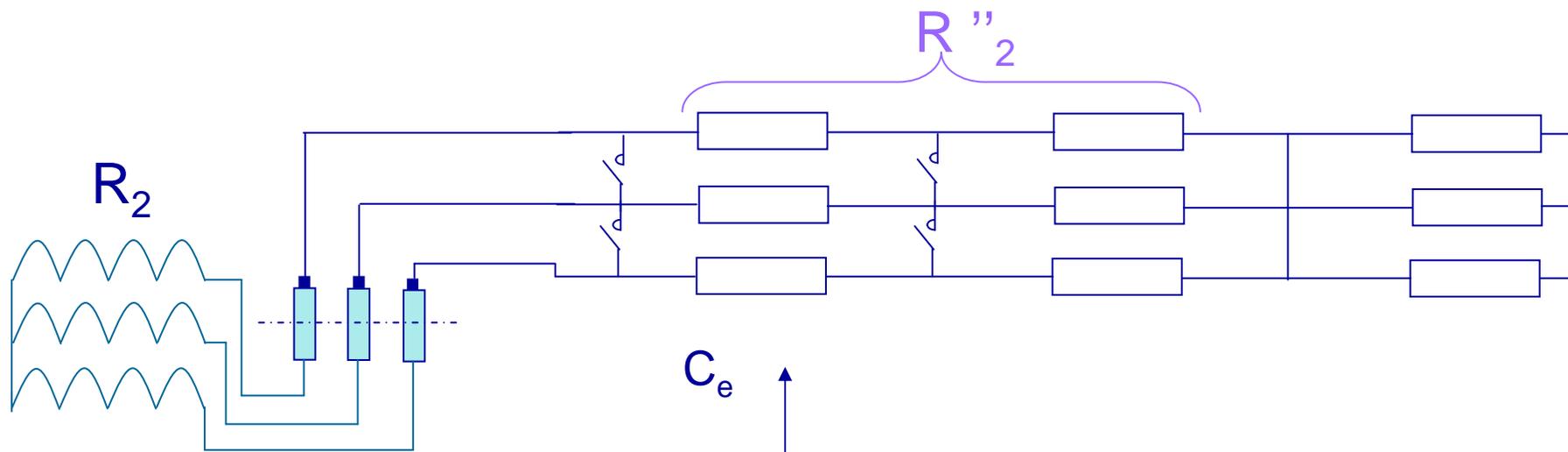
**Influence d'une
variation de la
fréquence des
tensions statoriques**

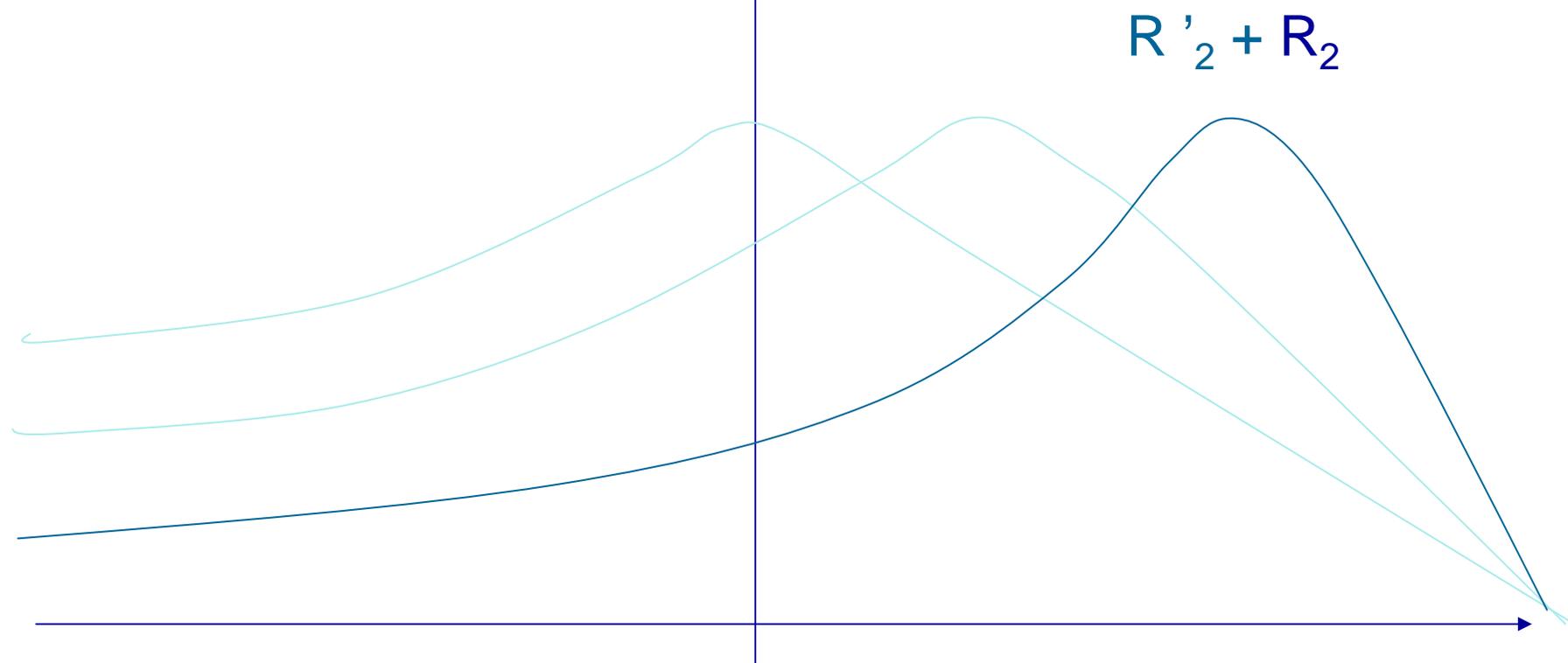
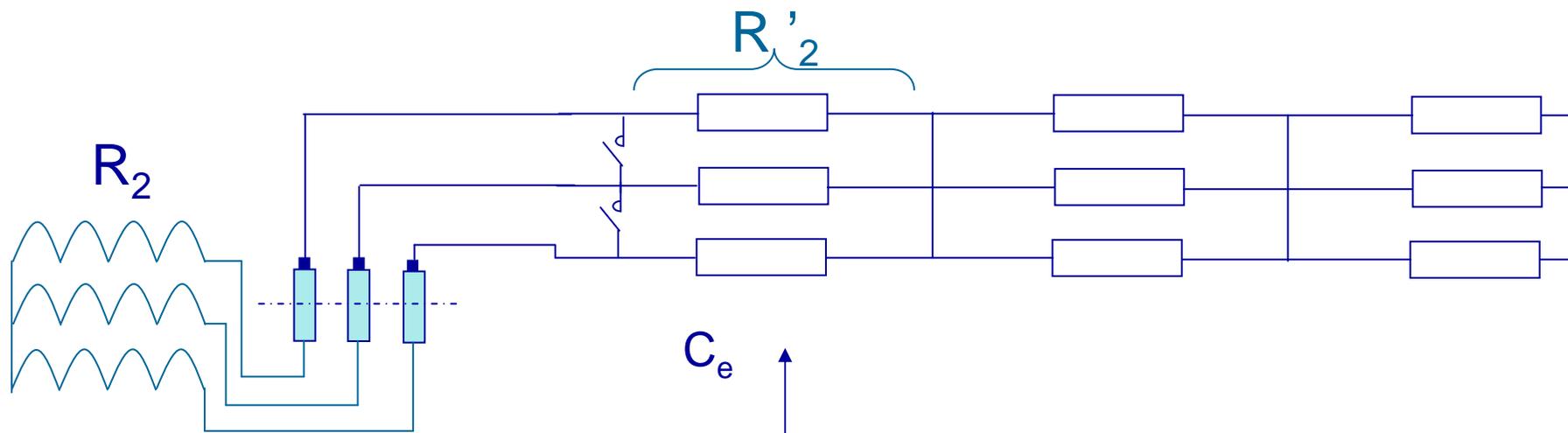


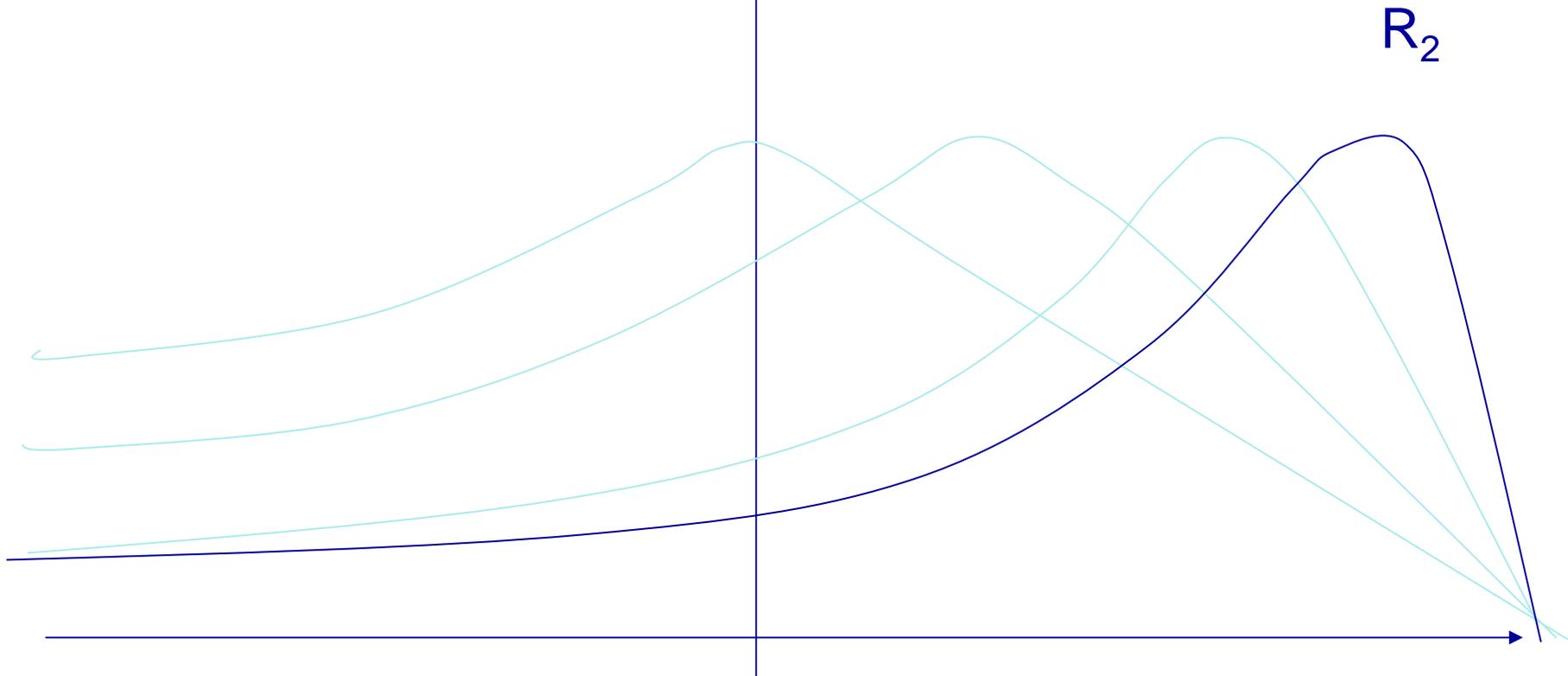
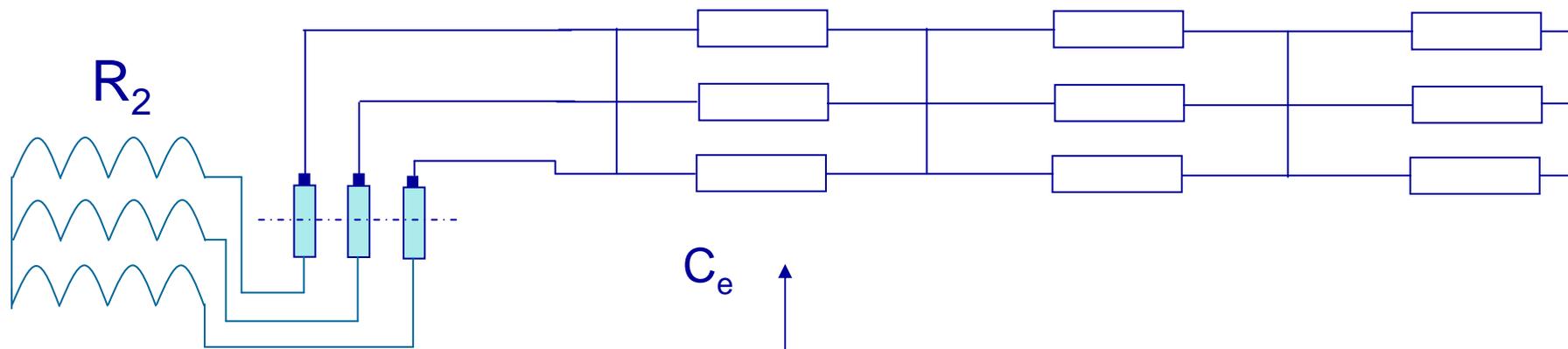
**Influence d 'une variation de
la résistance rotorique sur la
caractéristique mécanique**

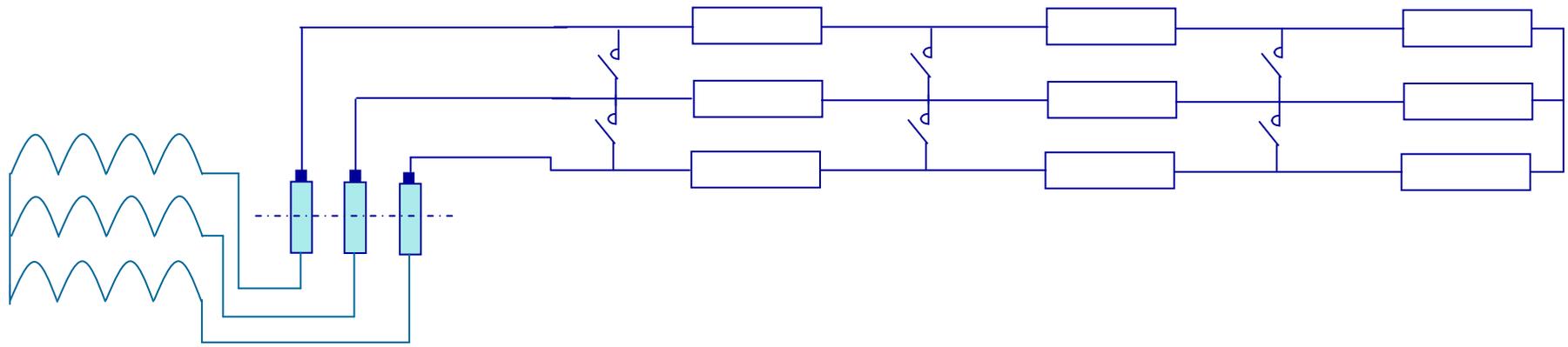


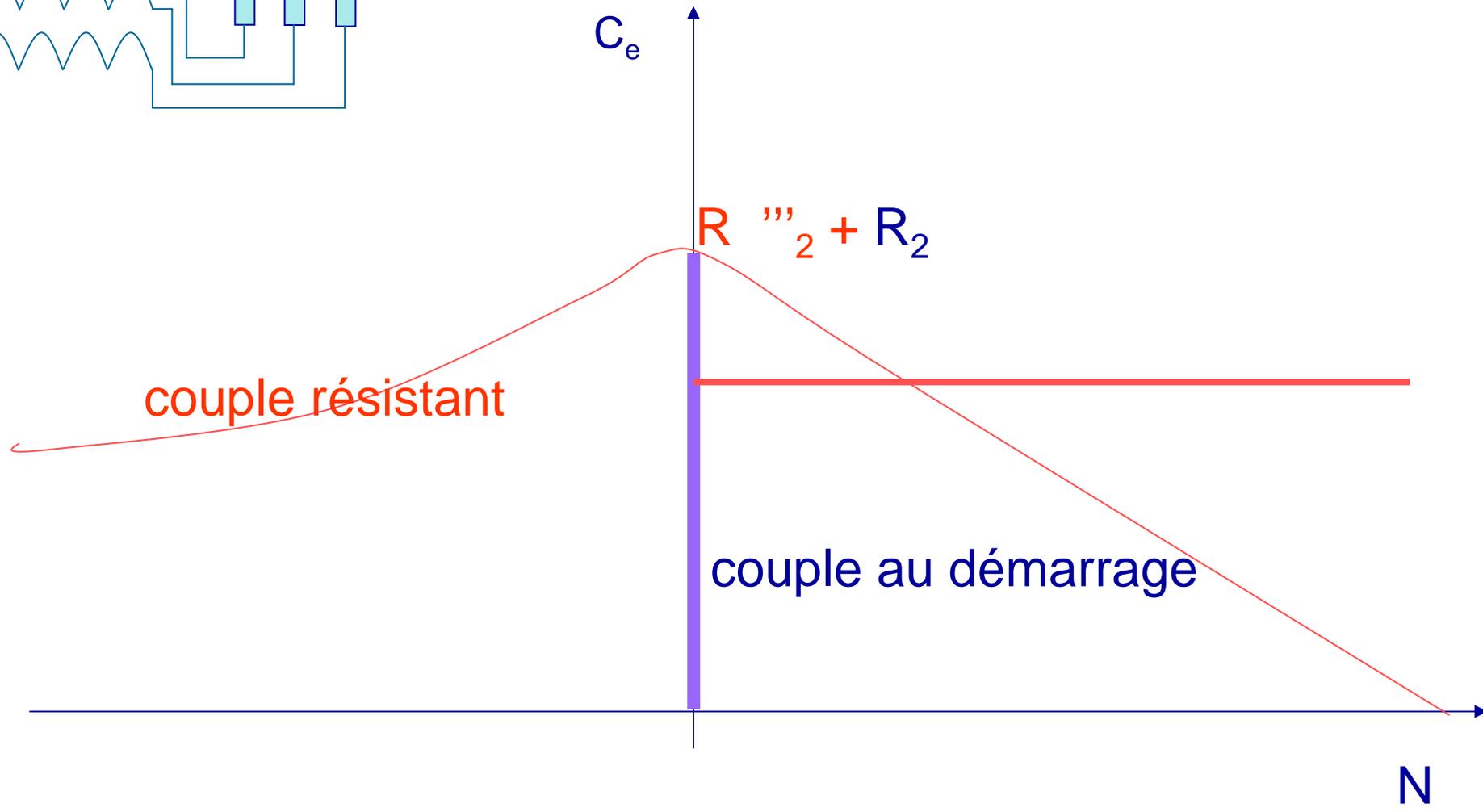
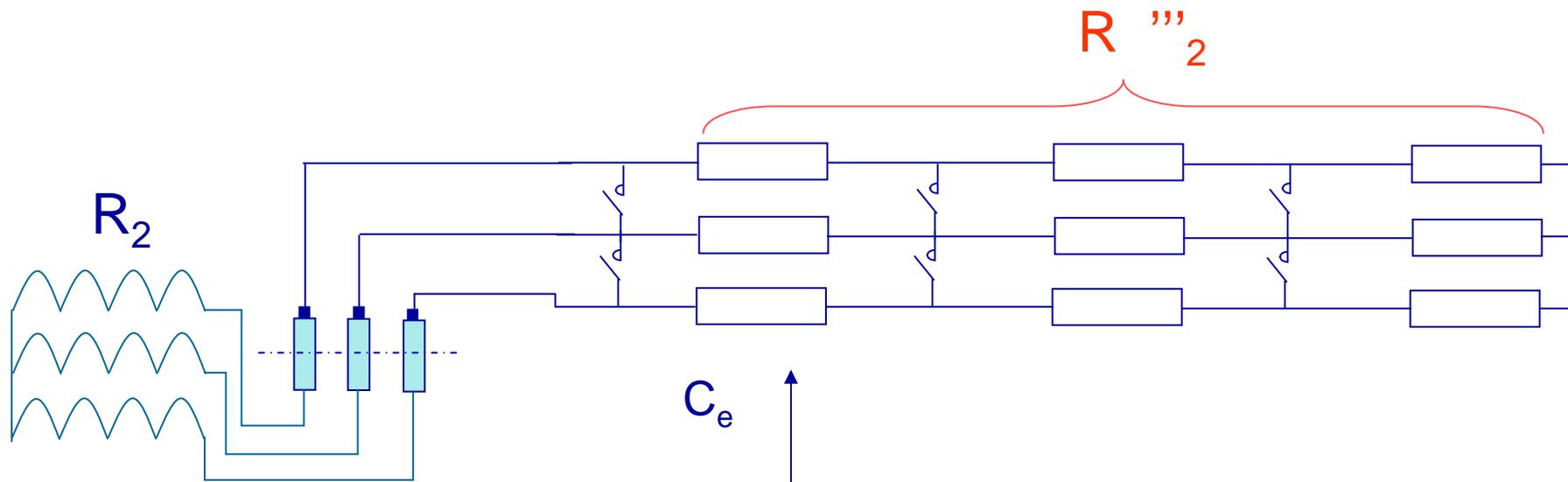




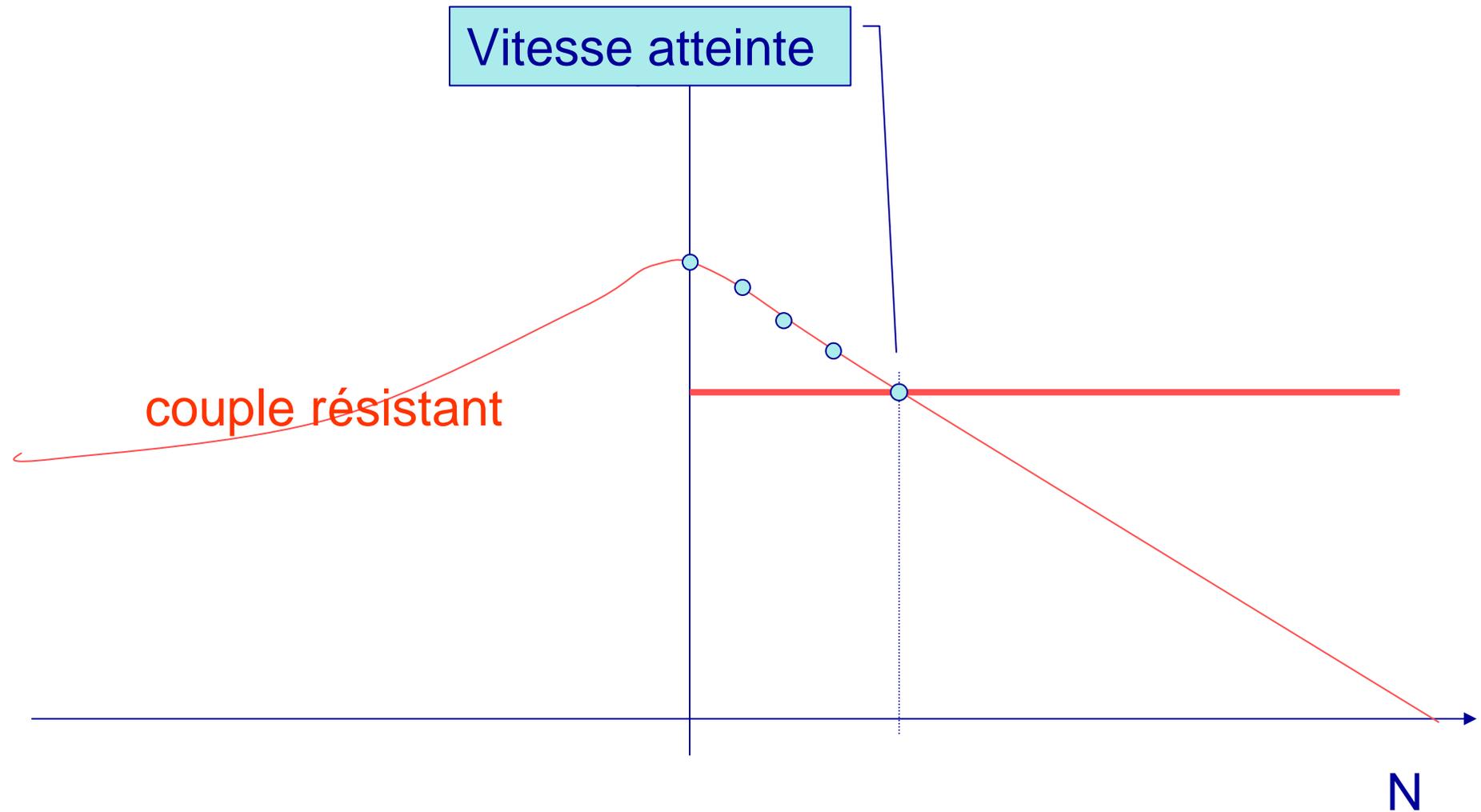


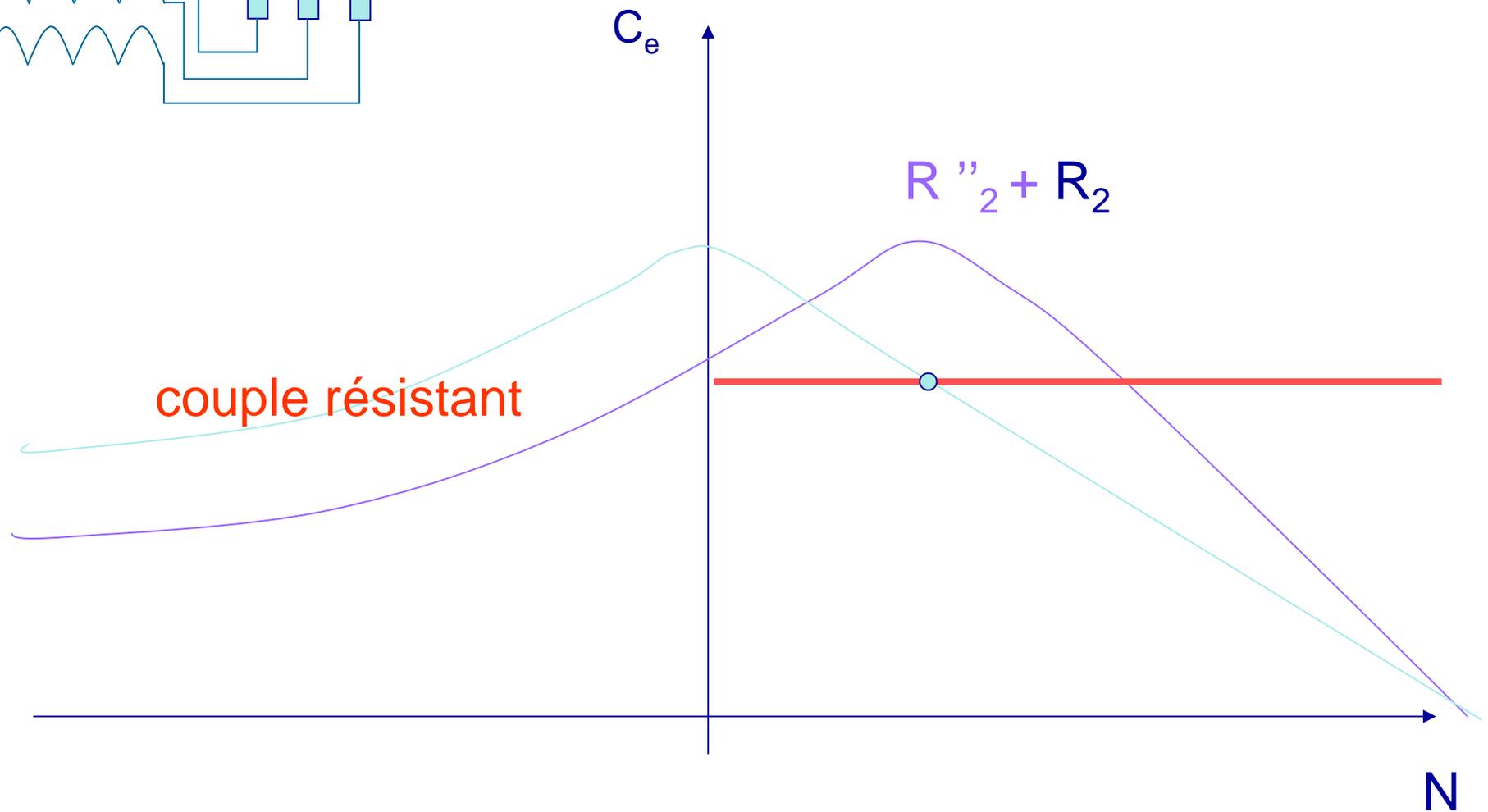
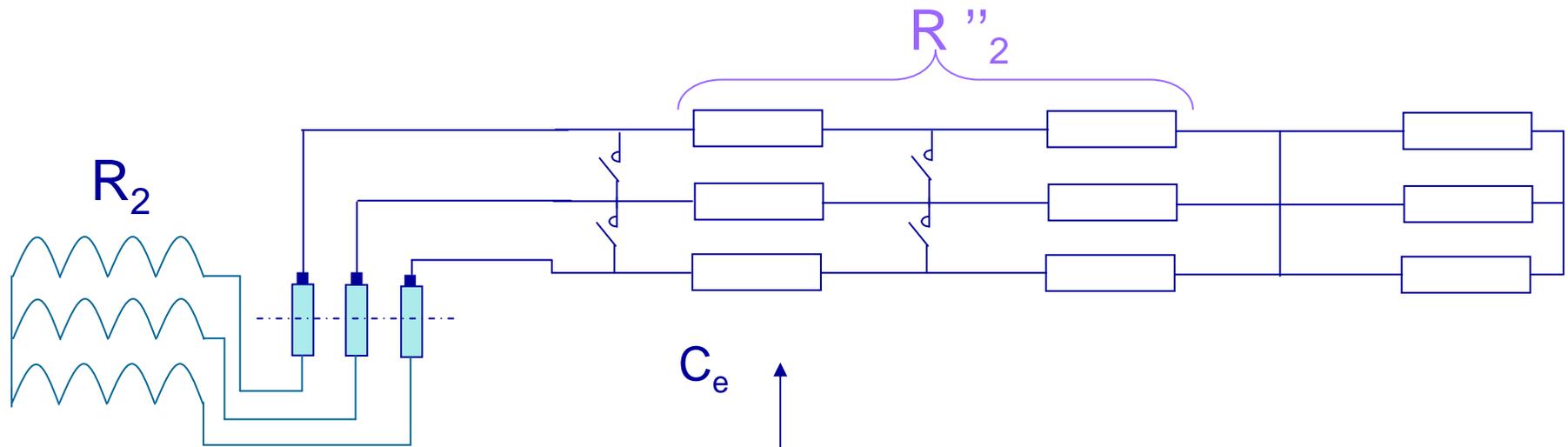




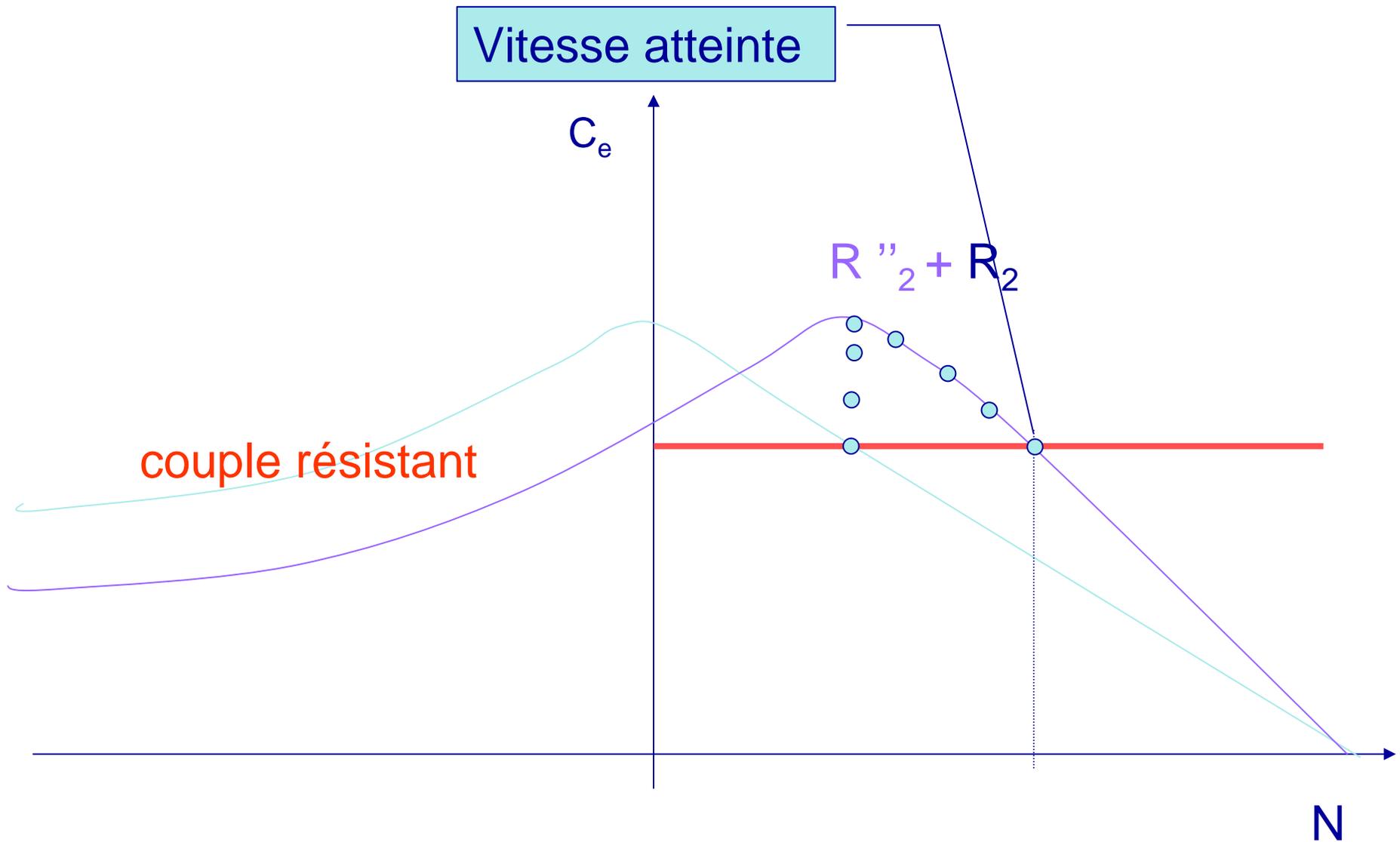


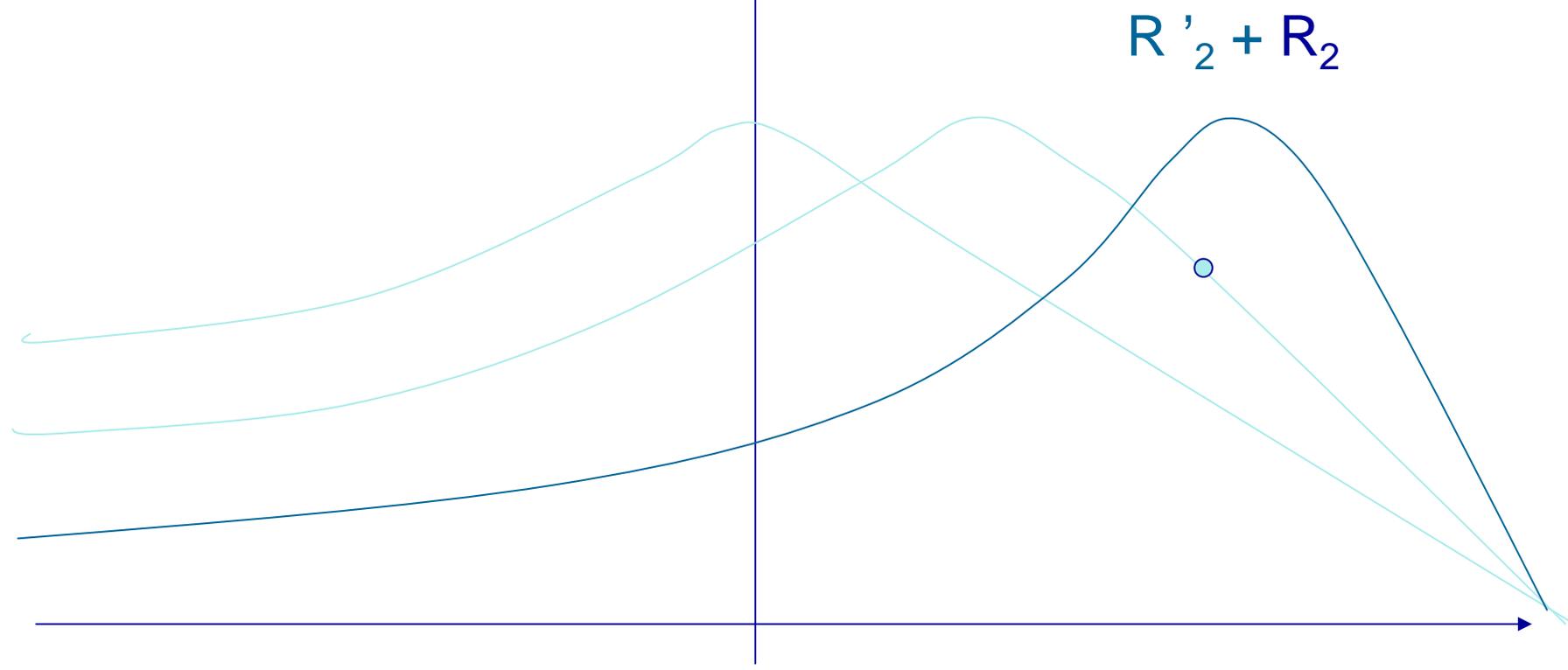
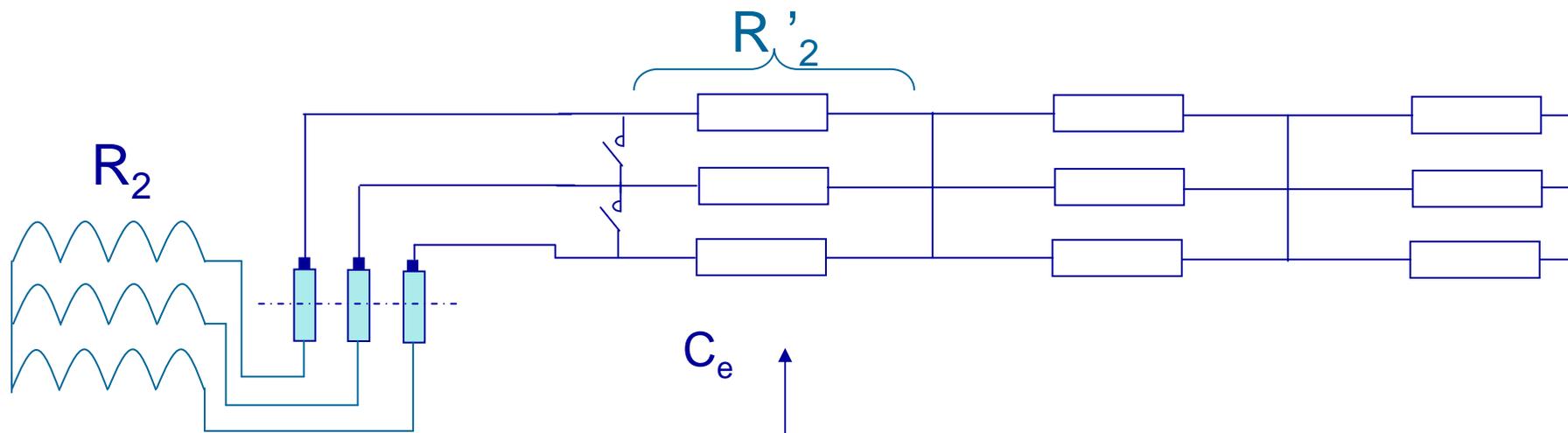
$$C_{\text{mot}} - C_{\text{résist}} = \Sigma J \frac{d\Omega}{dt} = 0$$





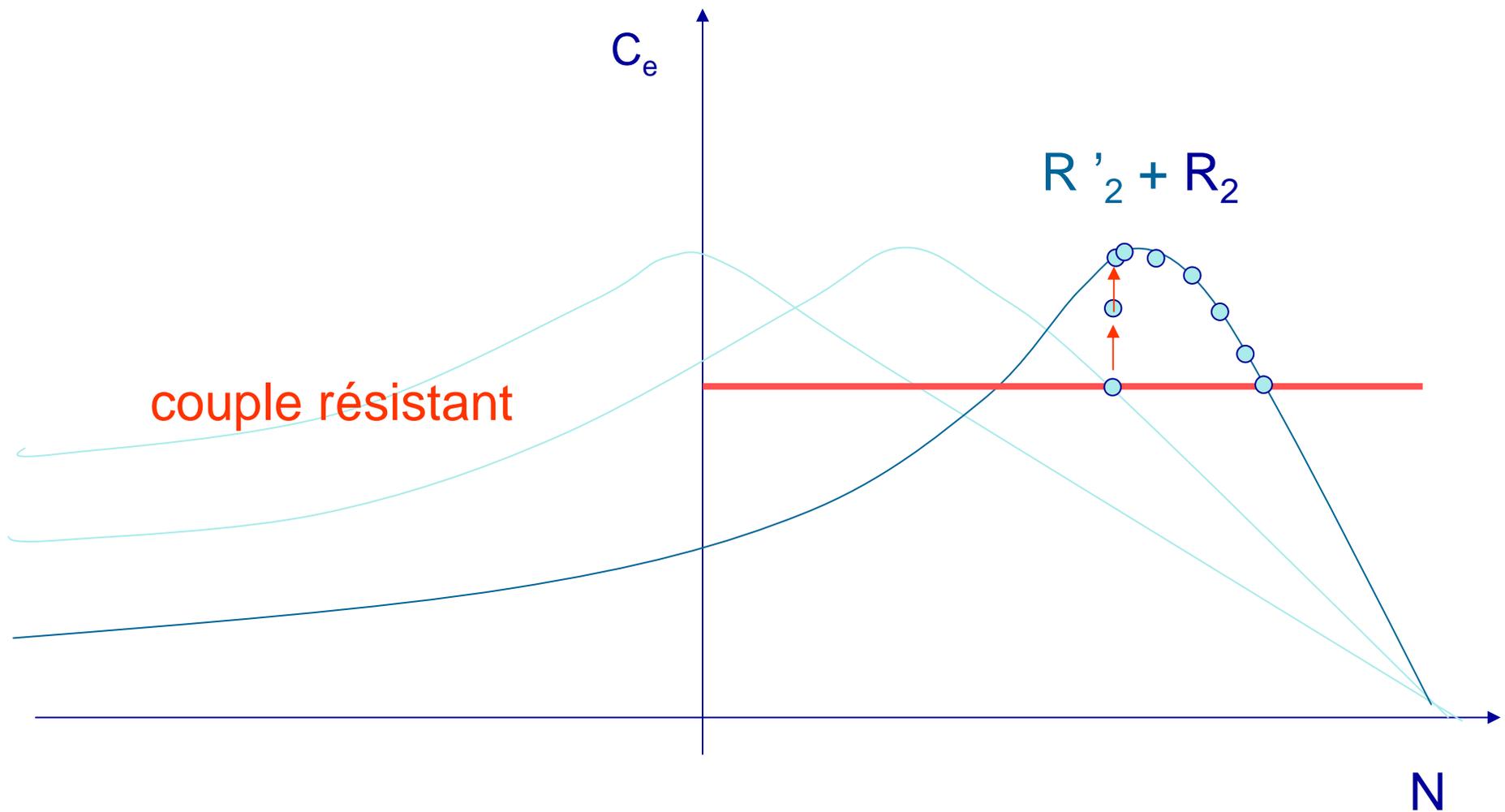
$$C_{\text{mot}} - C_{\text{résist}} = \Sigma J \frac{d\Omega}{dt} = 0$$

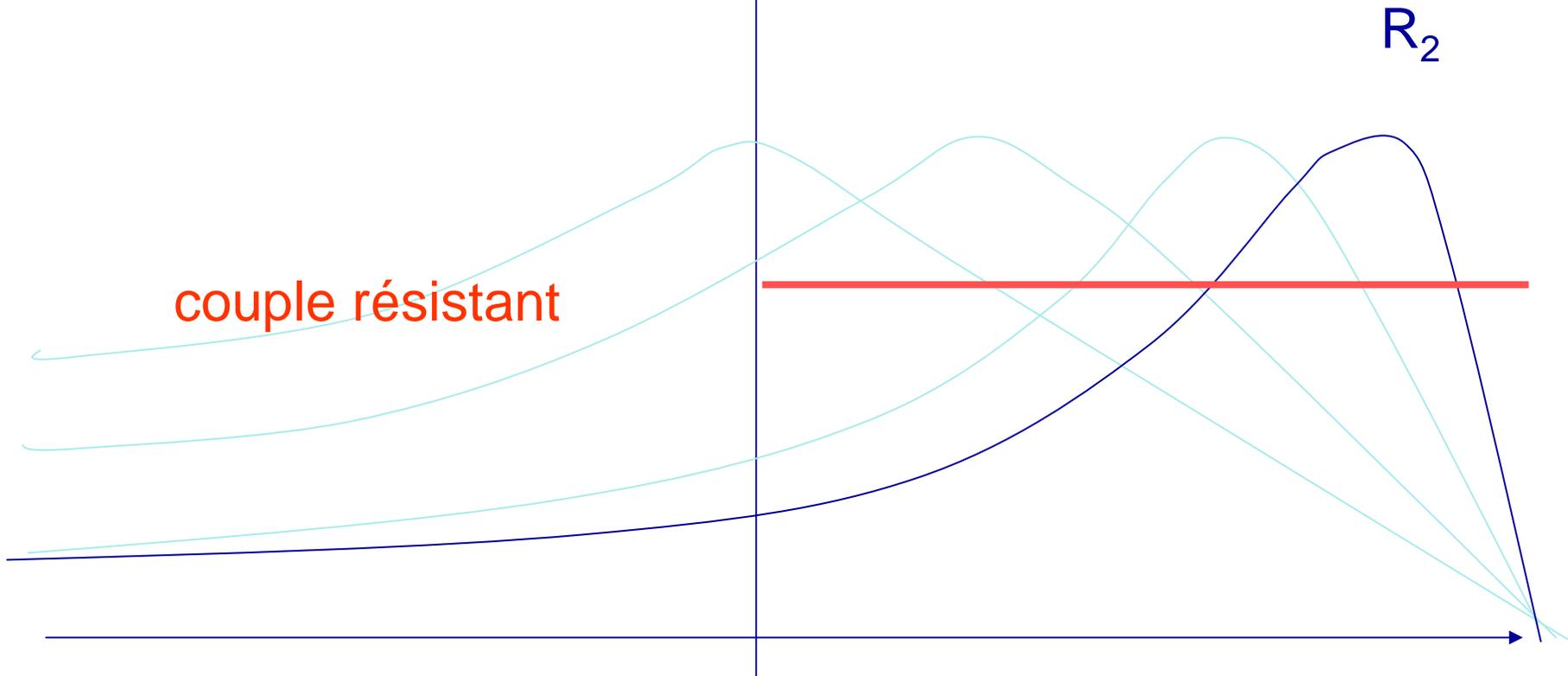
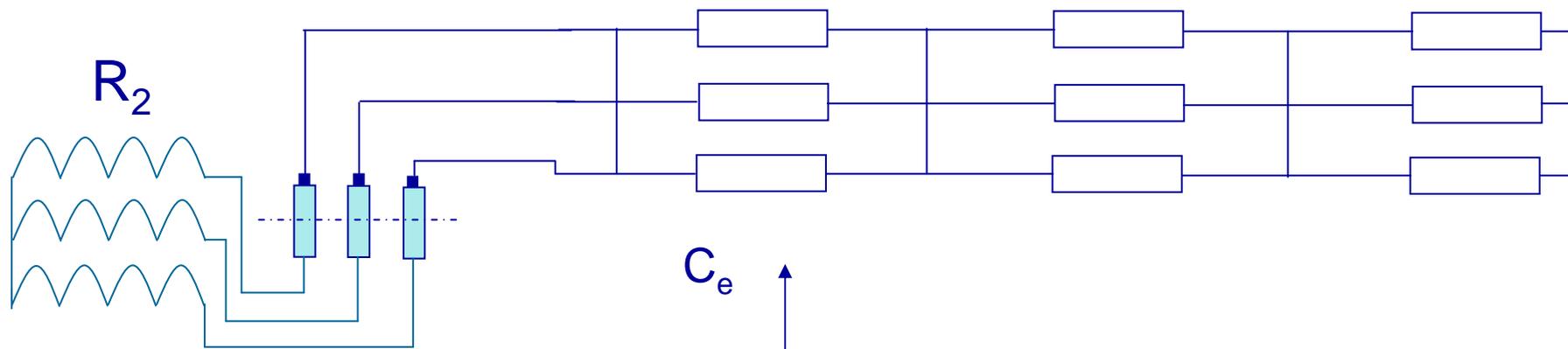




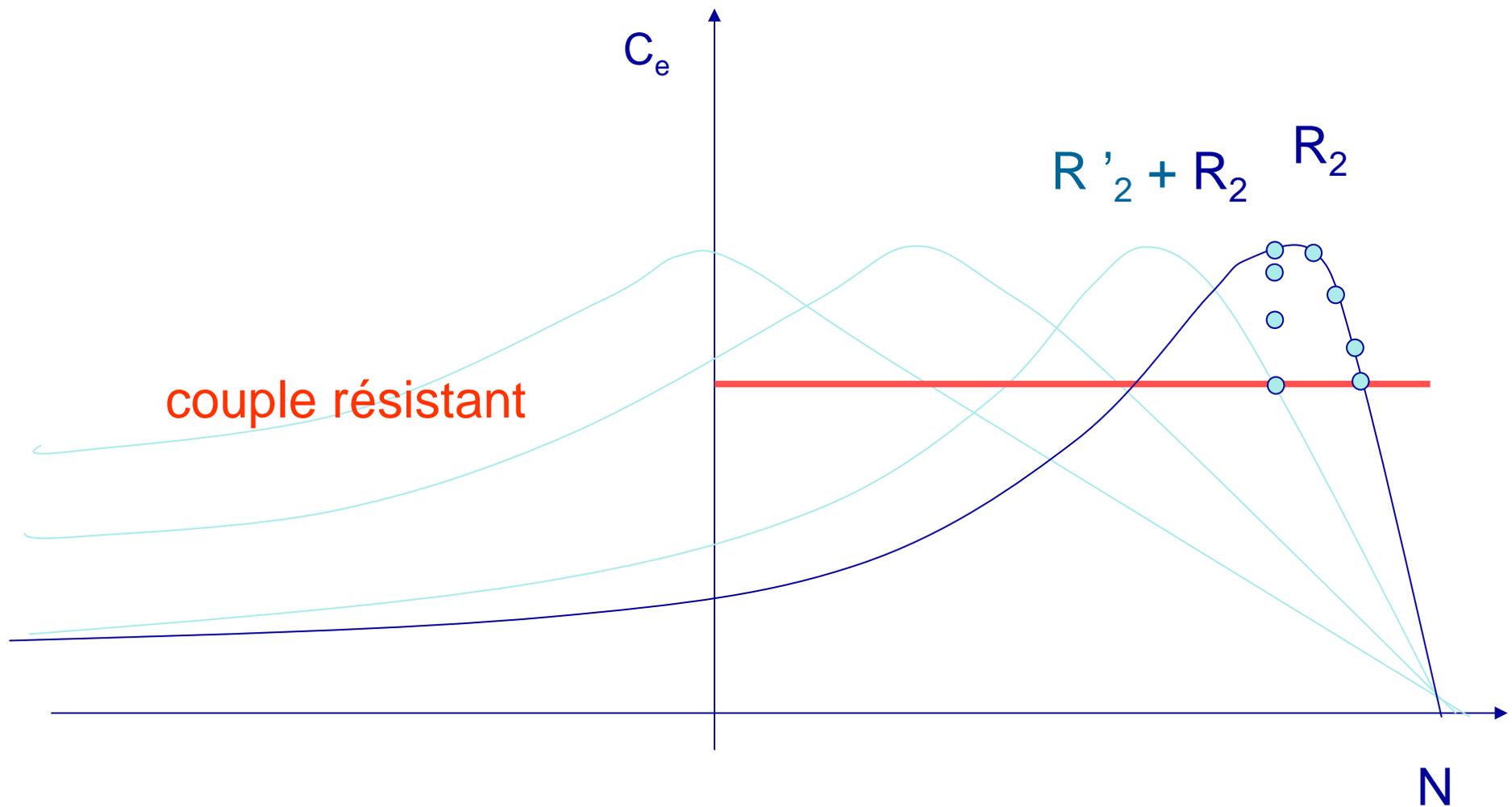
$$C_{\text{mot}} - C_{\text{résist}} = \Sigma J \frac{d\Omega}{dt} > 0$$

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





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



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.

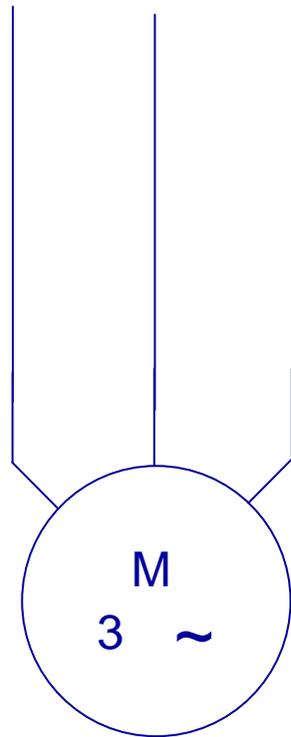
Le freinage électrique offre l'avantage de ne mettre en œuvre **aucune pièce d'usure**.

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

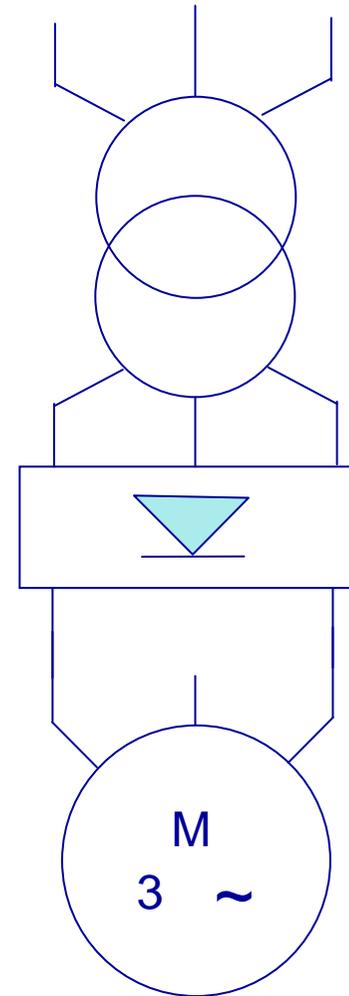
Freinage du moteur asynchrone

Freinage par injection de courant
continu

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

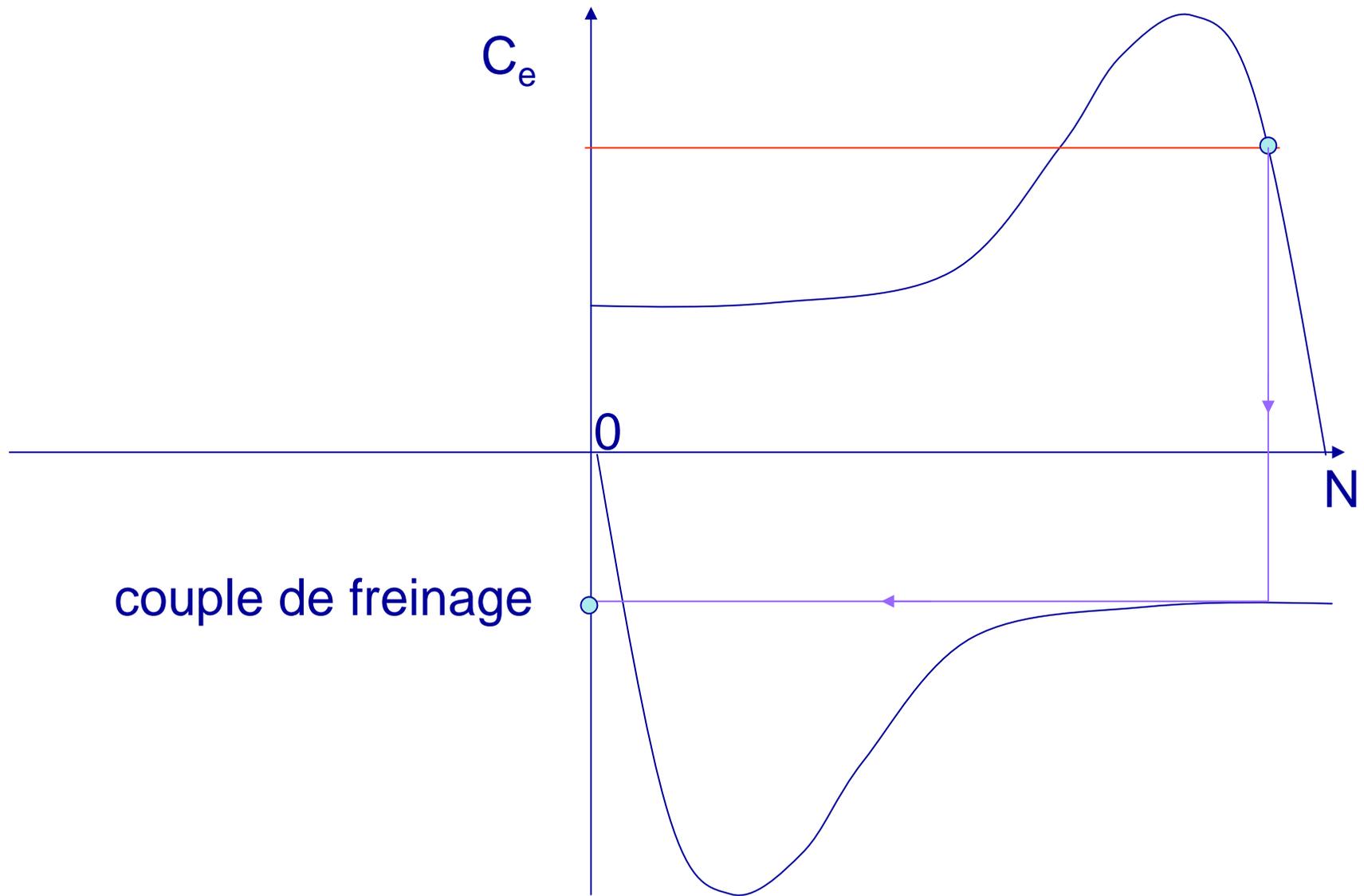


fonctionnement

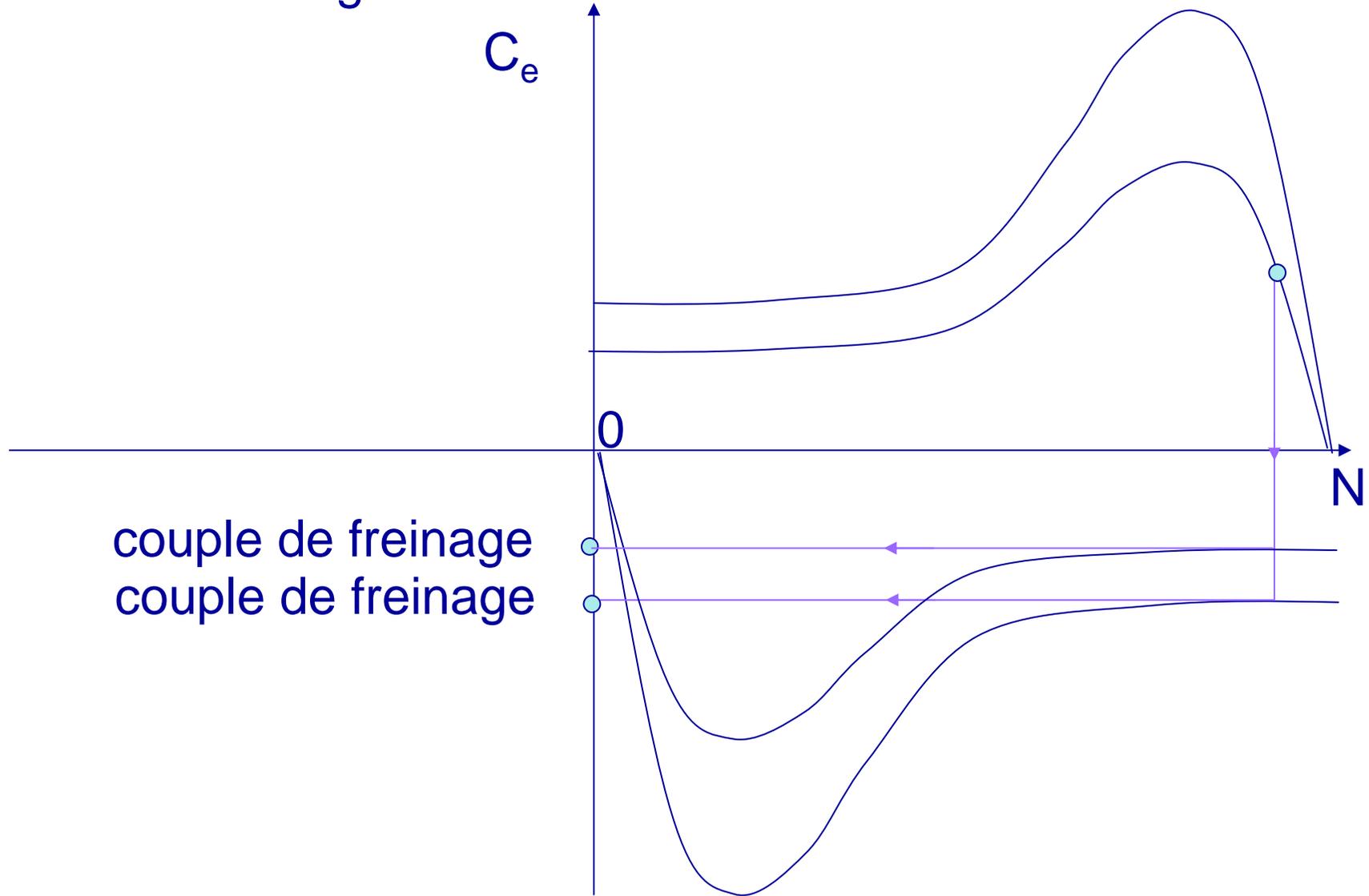


freinage

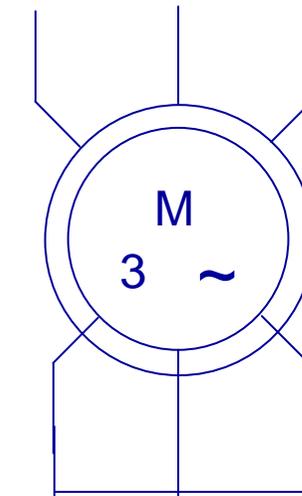
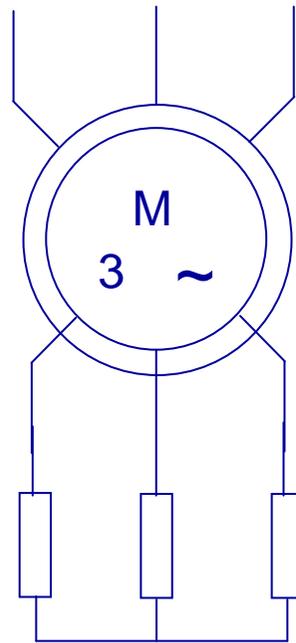
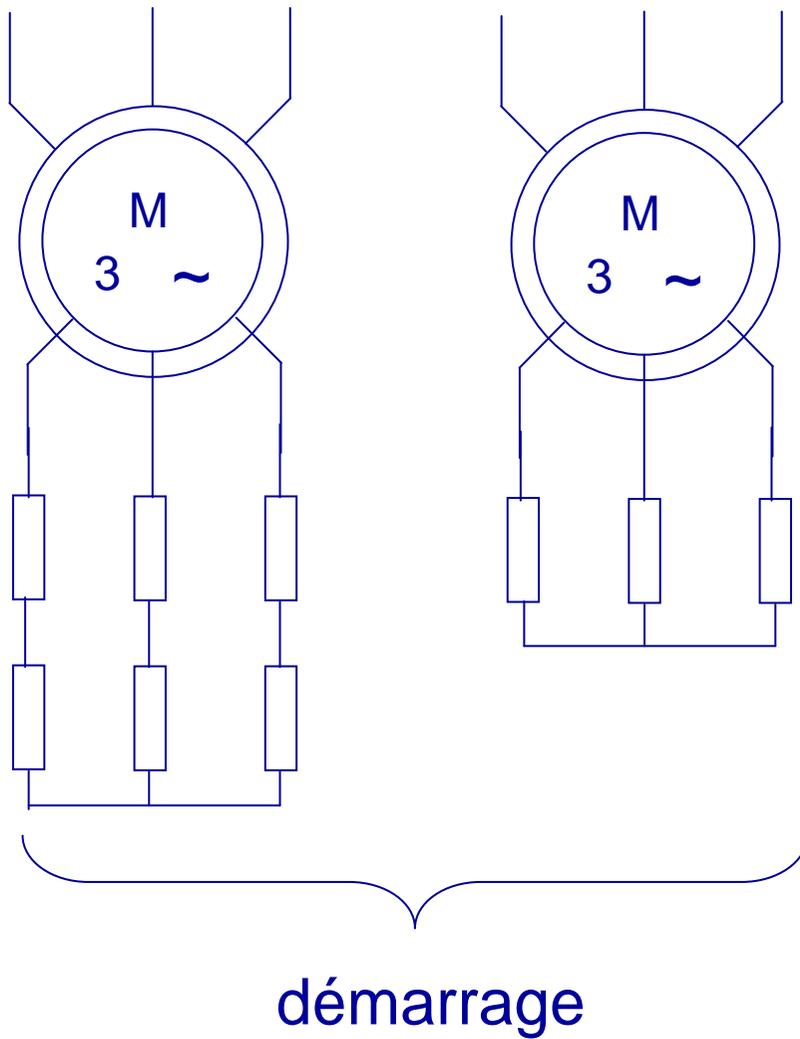
Freinage par injection de courant continu



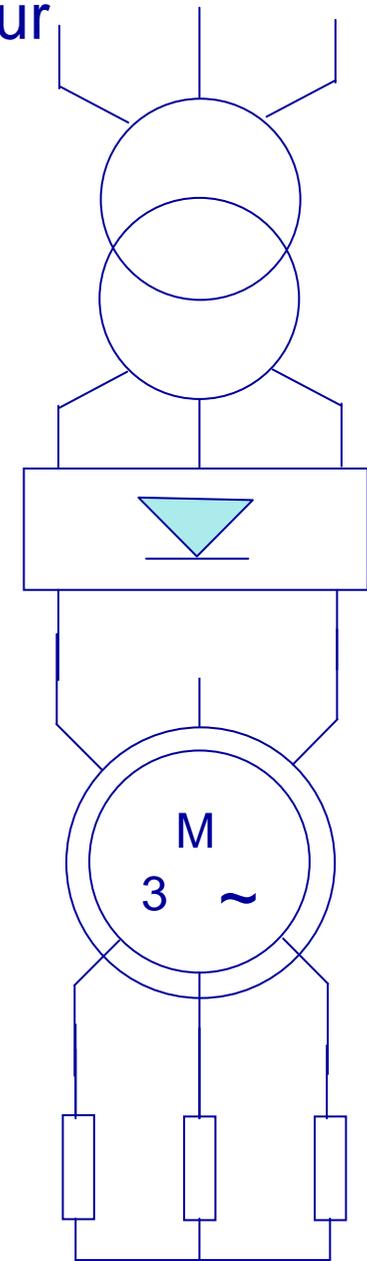
Réglage du freinage par injection de courant continu d'un moteur à cage d'écureuil :



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

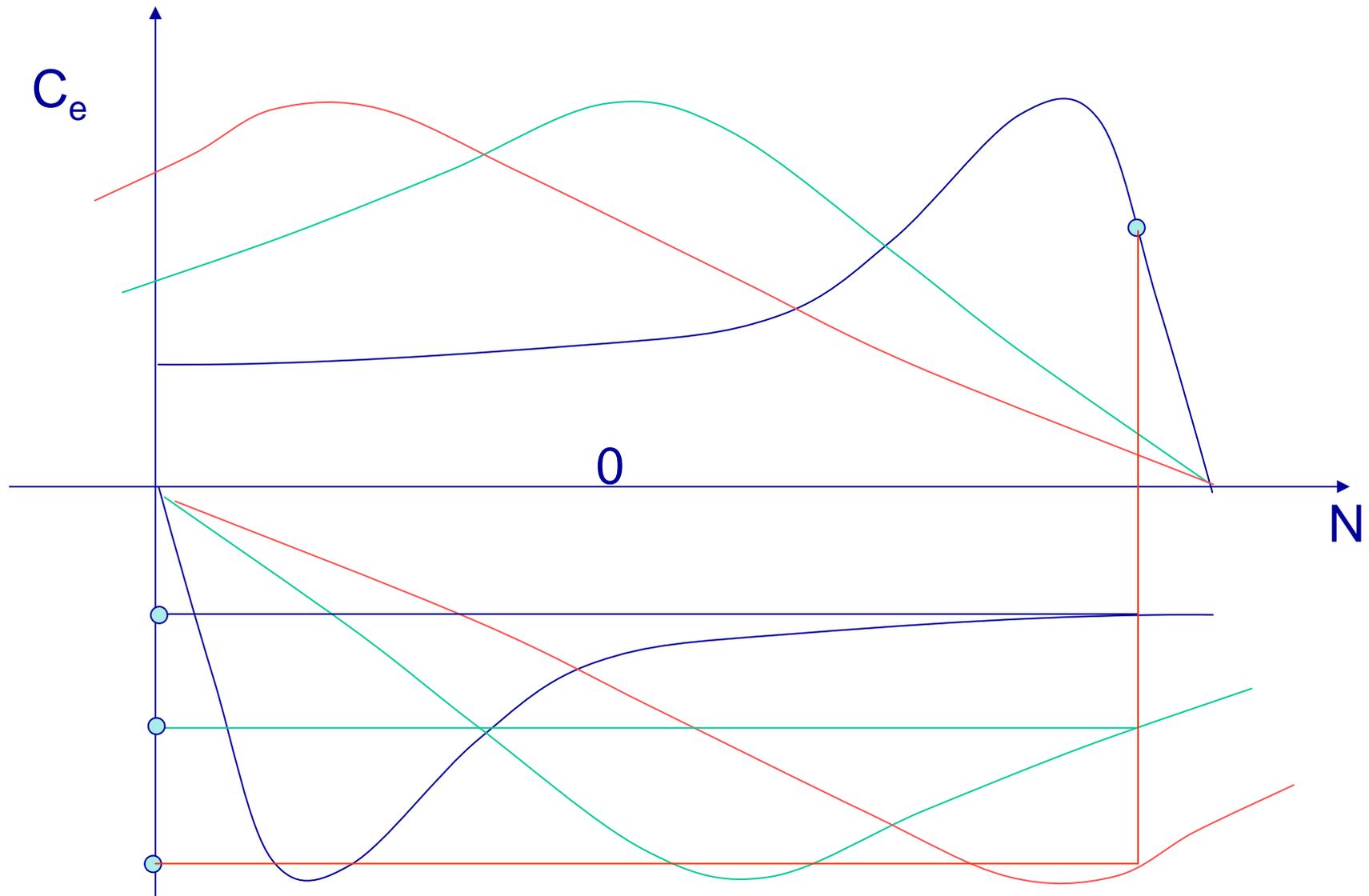


fonctionnement



freinage

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

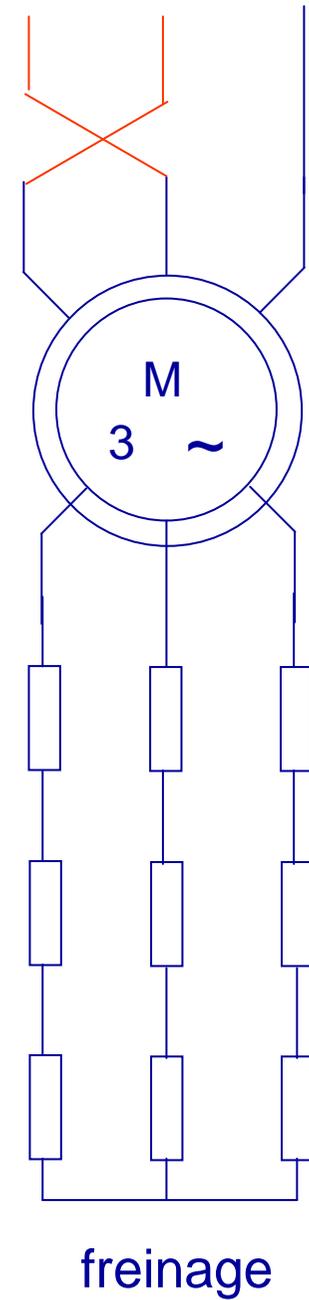
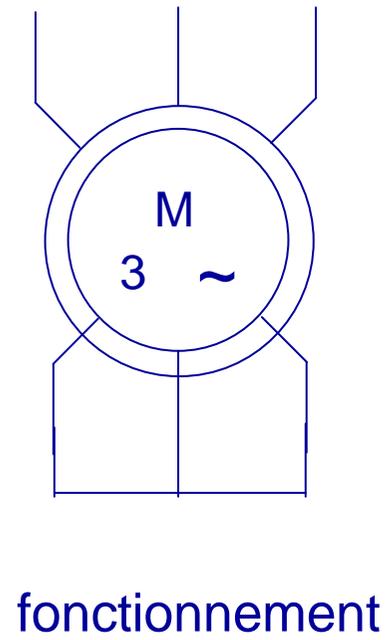
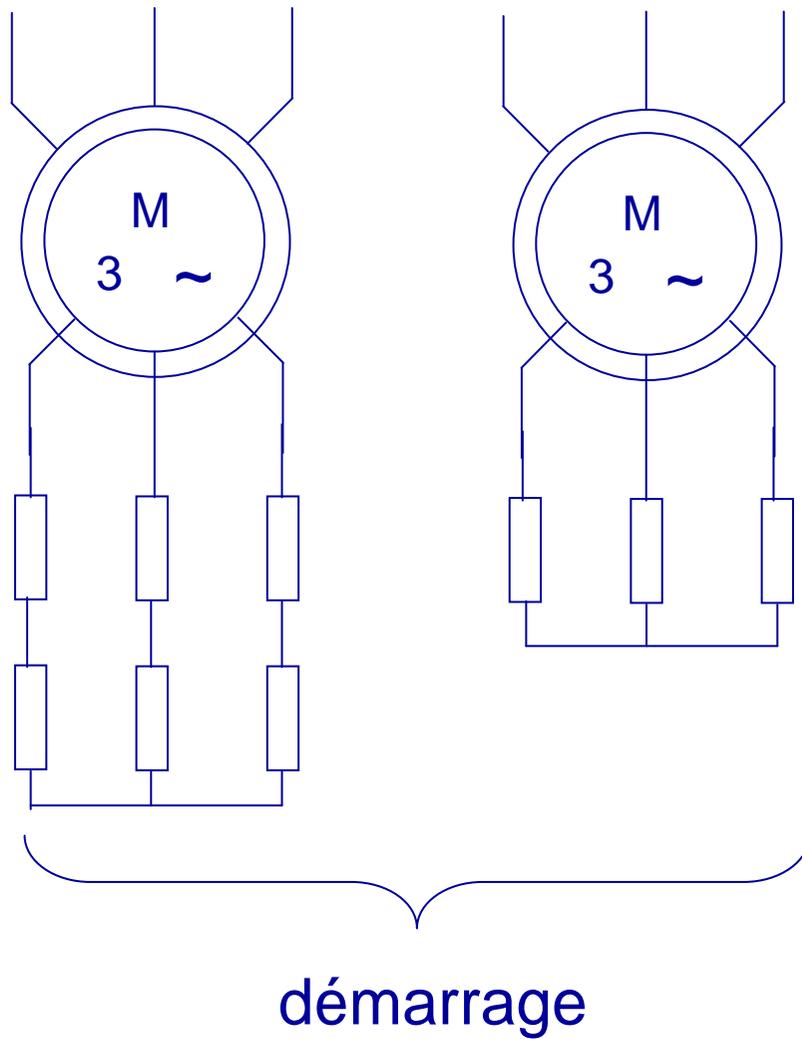


couple de freinage

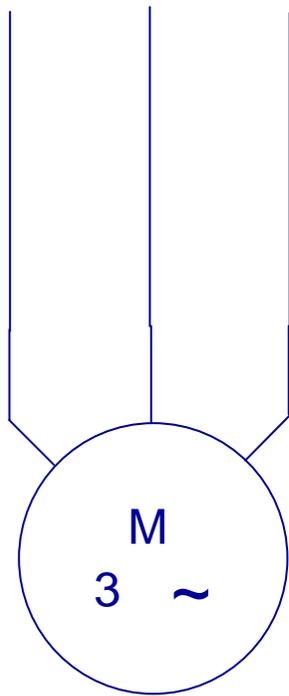
Freinage du moteur asynchrone

Freinage par contre courant

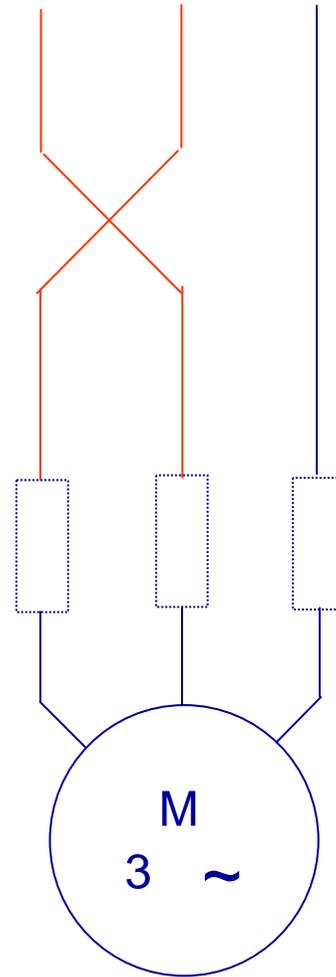
Freinage par contre-courant d'un moteur à rotor bobiné



Freinage en contre courant d'un moteur à cage

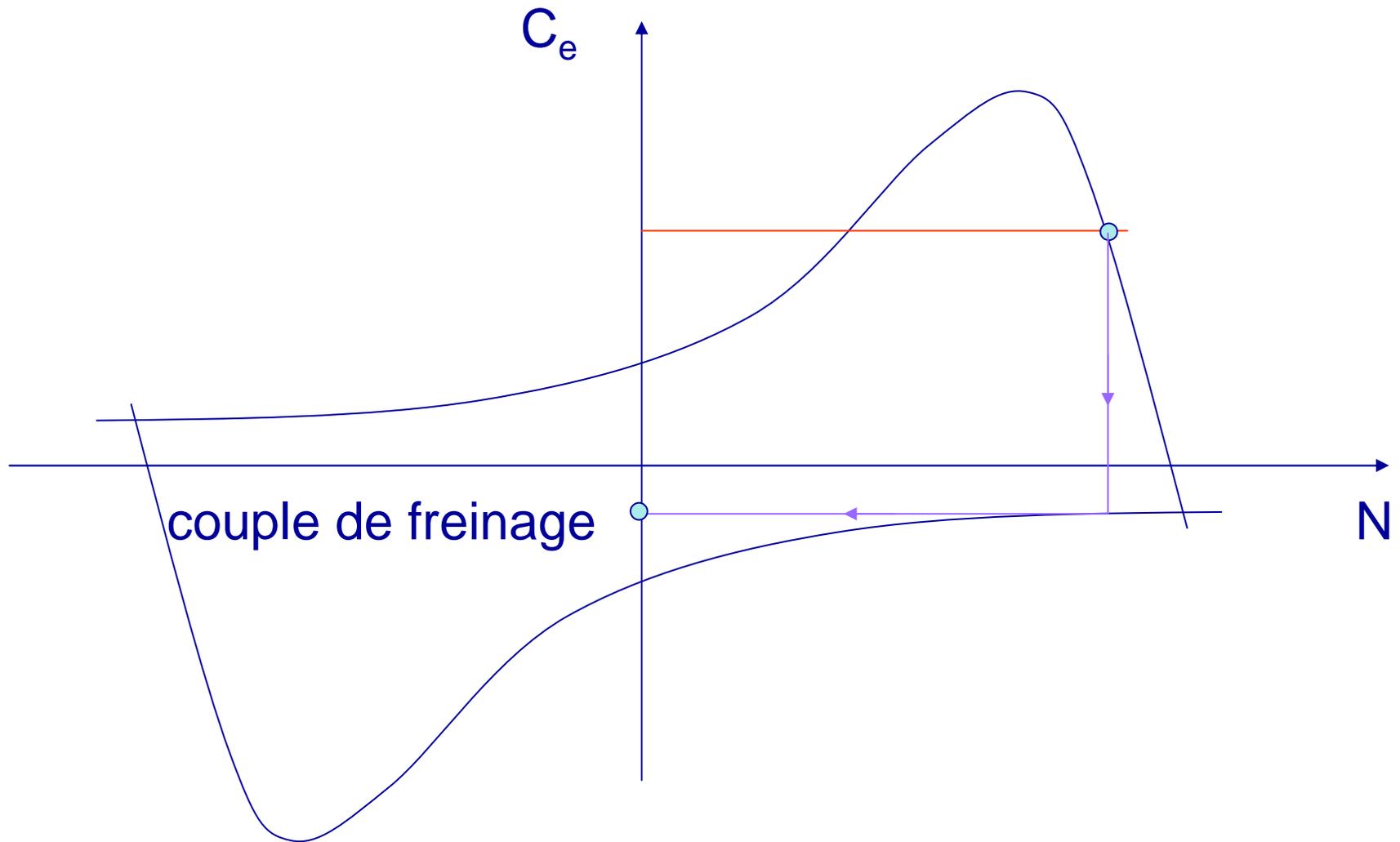


fonctionnement



freinage

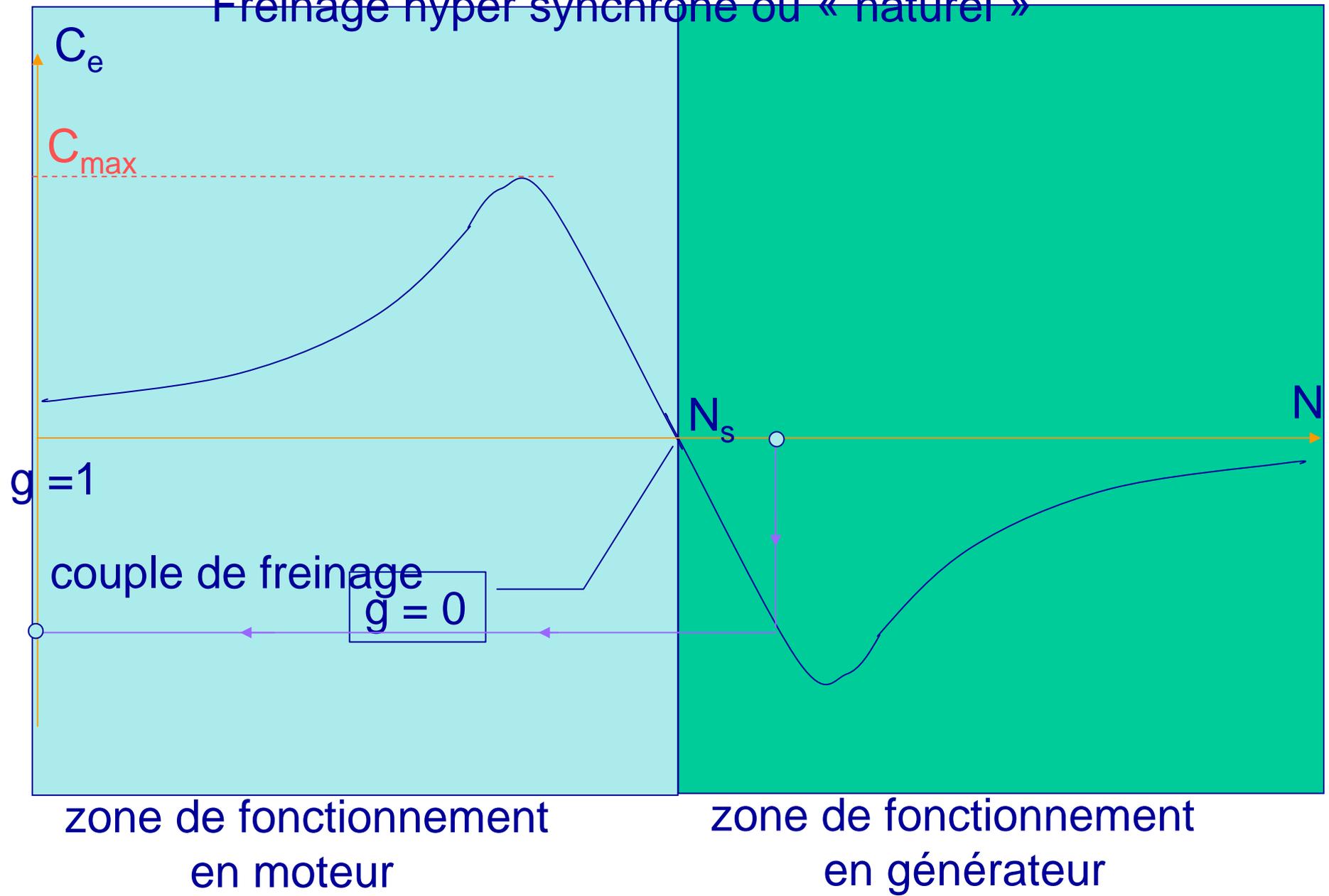
Freinage par contre-courant



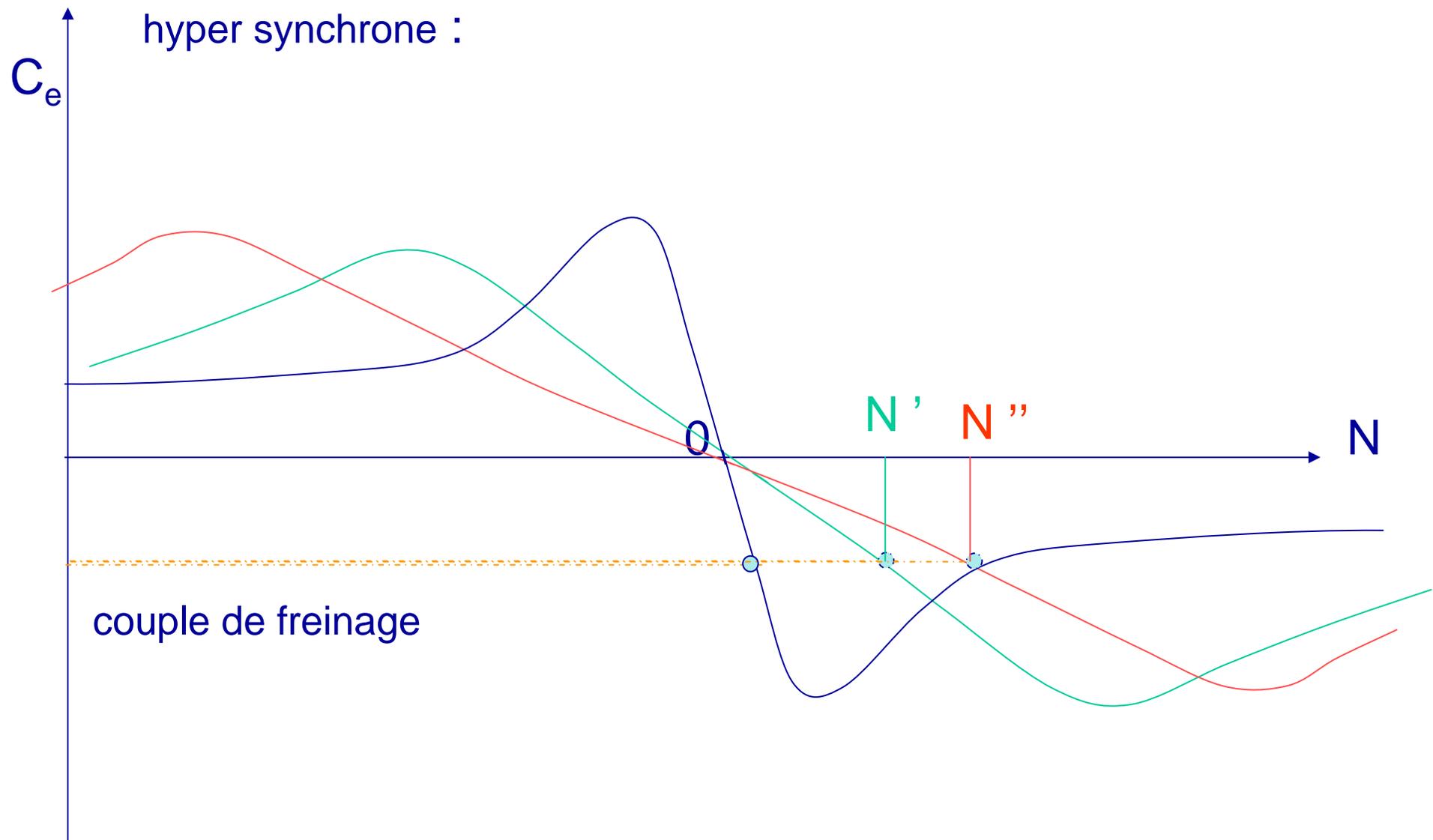
Freinage du moteur asynchrone

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 !