

Cours de Physique appliquée

La machine synchrone triphasée

Terminale STI Génie Electrotechnique

© Fabrice Sincère ; version 1.0.5

Sommaire

1- Constitution

1-1- Rotor

1-2- Stator

2- Types de fonctionnement

2-1- Fonctionnement en moteur

2-2- Fonctionnement en génératrice : alternateur

3- Relation entre vitesse de rotation et fréquence des tensions

4- Etude de l'alternateur

4-1- Fonctionnement à vide

4-2- Fonctionnement en charge

4-3- Détermination expérimentale des éléments du modèle équivalent

5- Bilan de puissance de l'alternateur

6- Alternateur monophasé

7- Le moteur synchrone triphasé

1- Constitution

1-1- Rotor

Au rotor, nous avons l'inducteur (ou excitation).

C'est un aimant ou un électroaimant alimenté en courant continu par l'intermédiaire de balais.

L'inducteur crée un champ tournant.

Deux grandes catégories de machines synchrones :

- Machines à pôles saillants (**roue polaire**)

Fig. 1a

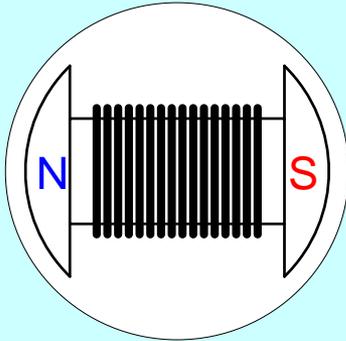
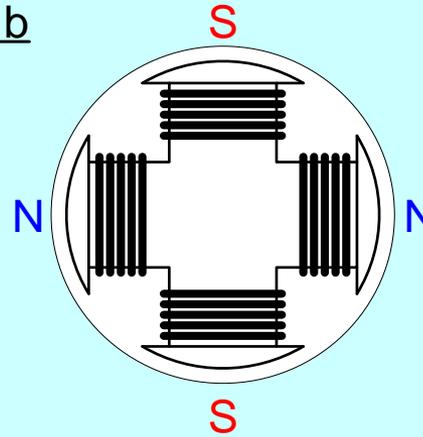
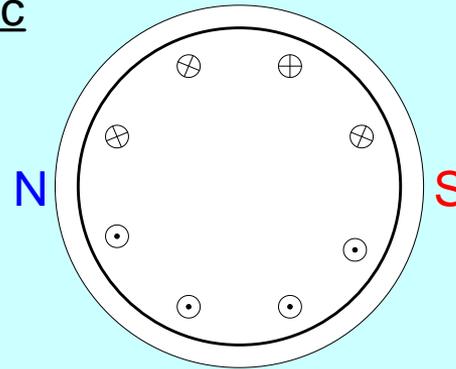


Fig. 1b



- Machines à pôles lisses

Fig. 1c



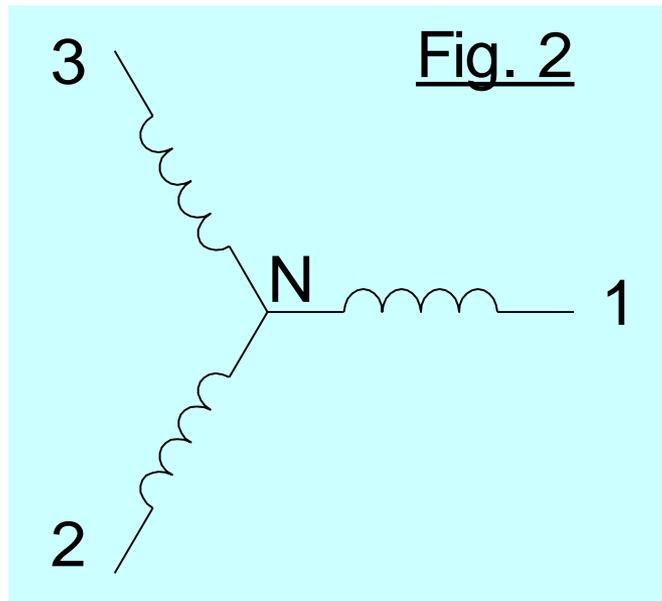
Le rotor est caractérisé par son **nombre de paires de pôles** p :

- $p = 1$ (2 pôles) : fig. 1a 1c
- $p = 2$ (4 pôles) : fig. 1b

1-2- Stator

Au stator, nous avons l'induit (circuit de puissance).

Ce sont trois enroulements décalés de 120° , par exemple couplés en étoile :



2- Types de fonctionnement

2-1- Fonctionnement en moteur

Le moteur alimenté en triphasé tourne :

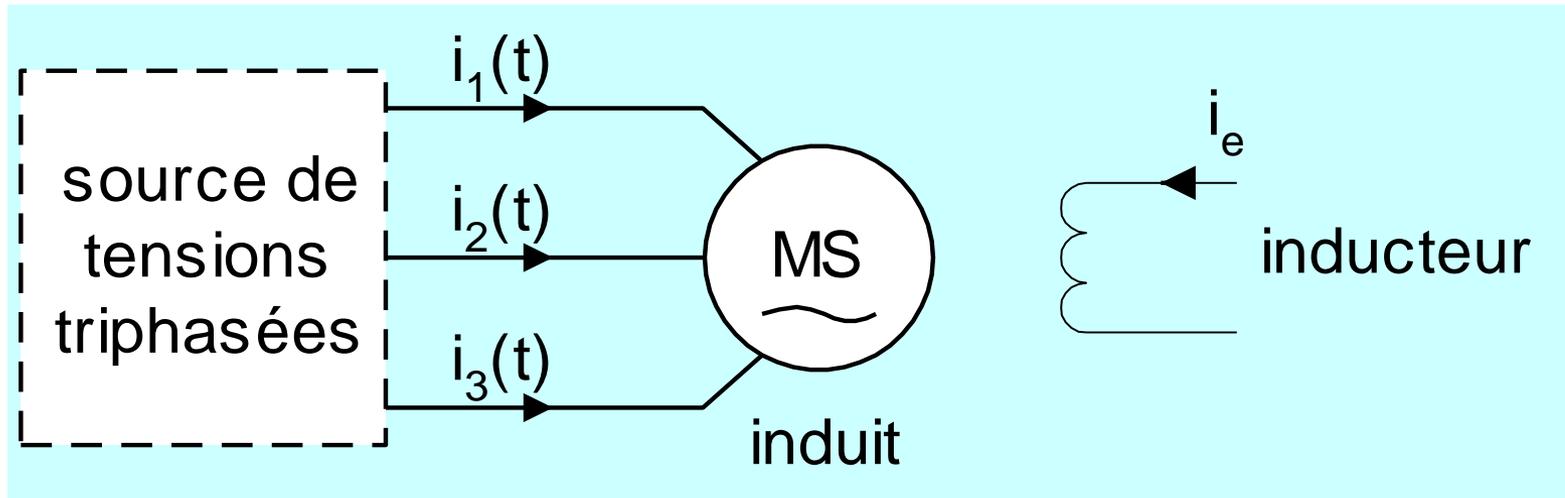


Fig. 3

Ex. moteurs synchrones des TGV.

2-2- Fonctionnement en génératrice : alternateur

La *génératrice synchrone* est plus connue sous le nom d'*alternateur*.

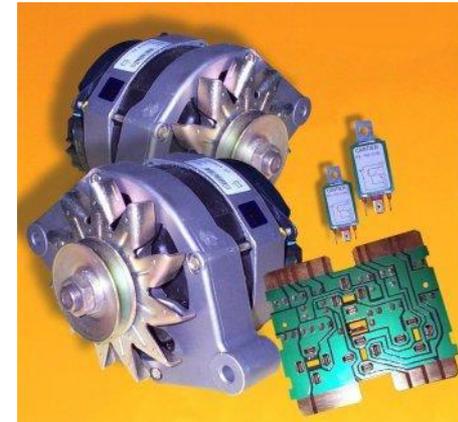
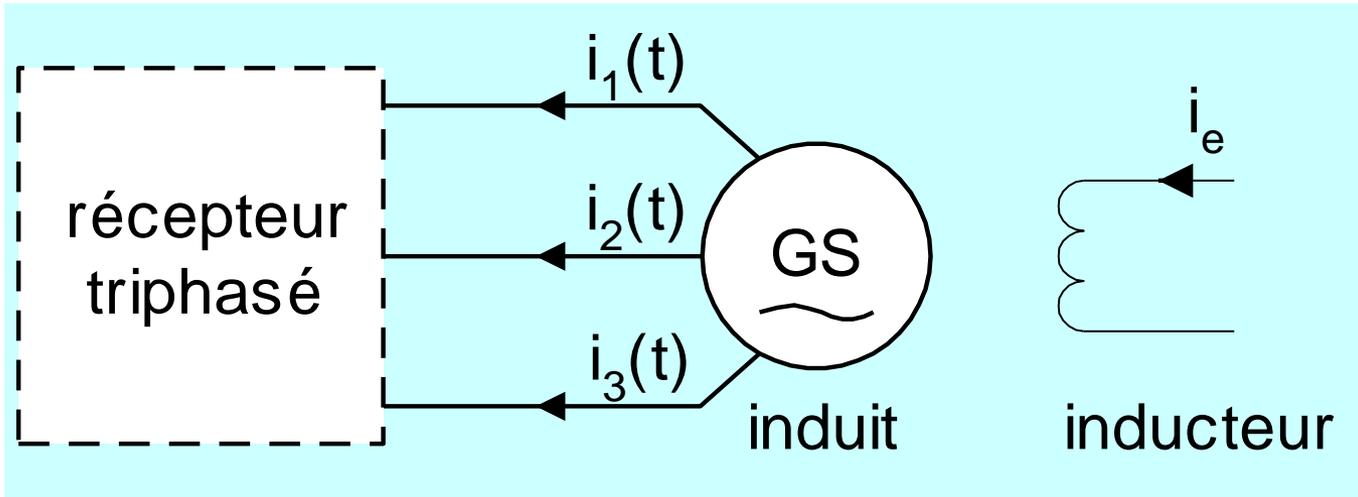


Fig. 4

Un système mécanique entraîne le rotor.

Il y a création d'un système de tensions triphasées dans les enroulements du stator.

3- Relation entre vitesse de rotation et fréquence des tensions et courants

$$f = pn$$

avec :

f : fréquence (en Hz)

n : vitesse de rotation (en tr/s)

p : nombre de paires de pôles

Pour avoir $f = 50$ Hz :

Tableau 1

p	n (tr/s)	n (tr/min)	Ω (rad/s)
1	50	3000	314
2	25	1500	157
3	16,7	1000	105
4	12,5	750	79
25	2	120	12,6
50	1	60	6,3

- Remarques

La production de l'énergie électrique se fait avec des alternateurs de grandes puissances (jusqu'à 1450 MW) :

- turboalternateurs de centrales thermiques
(à pôles lisses : $p = 2$ ou 1)
- hydroalternateurs de barrages hydrauliques
(à pôles saillants : $p \gg 1$)

Ex. pour avoir $f = 50$ Hz :

- turboalternateur ($p = 2$) à 1500 tr/min
- hydroalternateur ($p = 40$) à 75 tr/min

4- Etude de l'alternateur

4-1- Fonctionnement à vide

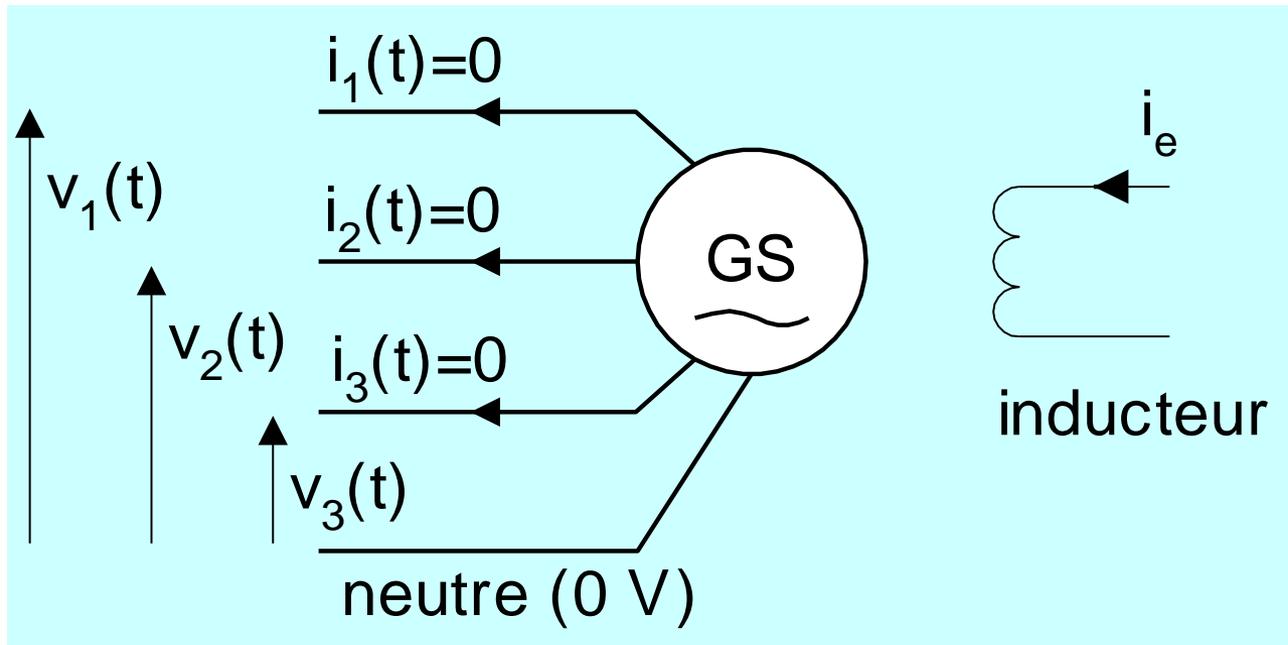


Fig. 5

A vide, les tensions générées correspondent aux fem induites dans les bobinages du stator par le champ tournant du rotor :

$$v_i(t) = e_i(t)$$

- Valeur efficace des fem induites

$$E = K N f \Phi$$

E : fem en volts (aux bornes d'un enroulement statorique)

Φ : flux produit par un pôle de l'inducteur (en Wb)

N : nombre de conducteurs d'un enroulement statorique

K : coefficient de Kapp (environ 2,22)

- Quand le circuit magnétique n'est pas saturé, Φ est proportionnel au courant inducteur i_e .

4-2- Fonctionnement en charge

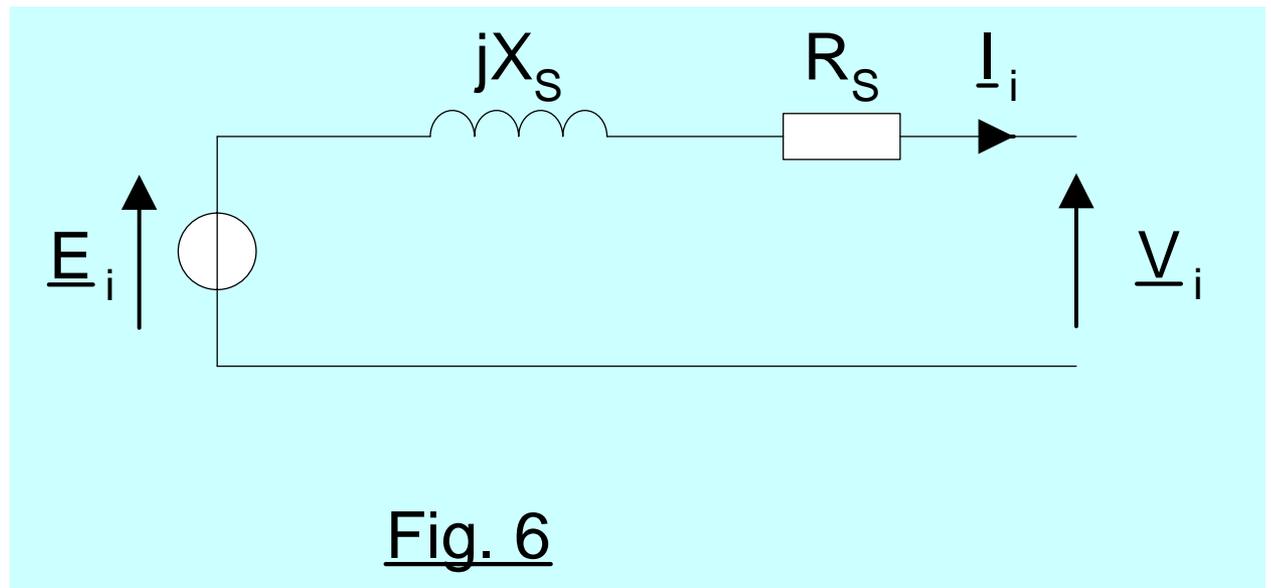
- Modèle électrique équivalent

Hypothèse : circuit magnétique non saturé.

Au stator, le régime est sinusoïdal.

On utilise la notation complexe ou les vecteurs de Fresnel.

Pour la phase i :



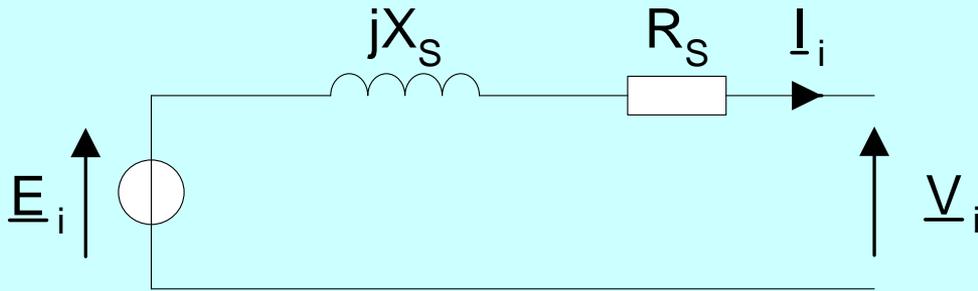


Fig. 6

E : fem induite (ou **fem synchrone**)

I : courant de ligne

V : tension simple

R_s : résistance d'un enroulement statorique (couplage Y)

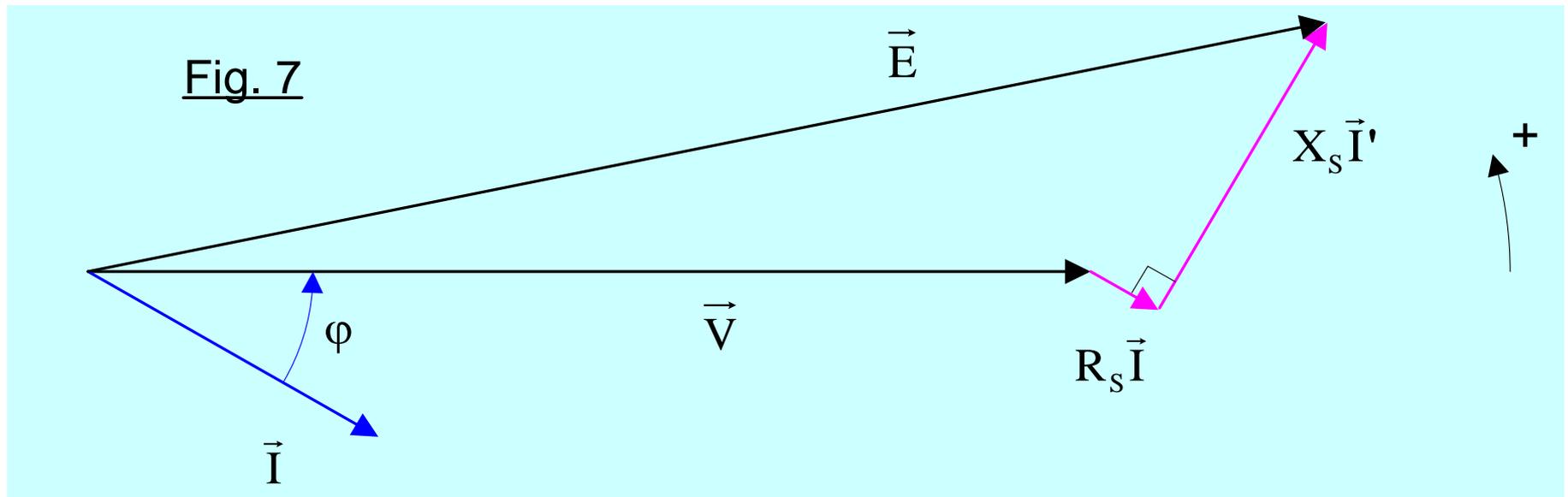
$X_s = L_s \omega$: réactance **synchrone** d'un enroulement statorique

- Remarques

X_s est proportionnelle à la vitesse de rotation.

En pratique, on peut négliger R_s devant X_s .

- Représentation vectorielle : diagramme synchrone

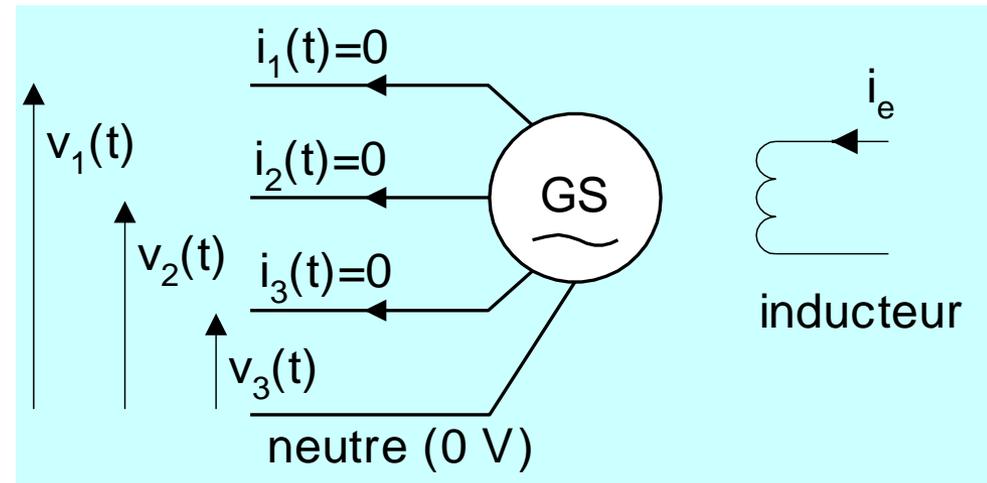
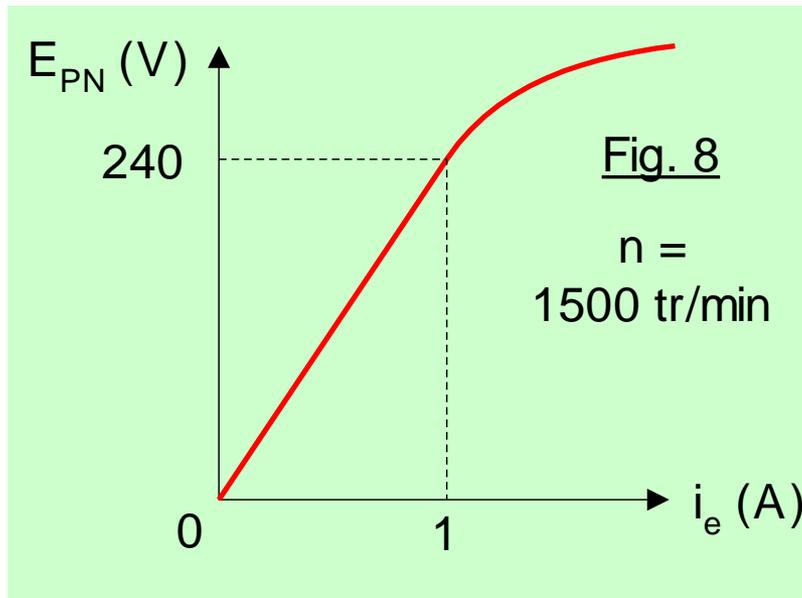


$$\vec{V} = \vec{E} - (R_s \vec{I} + X_s \vec{I}')$$

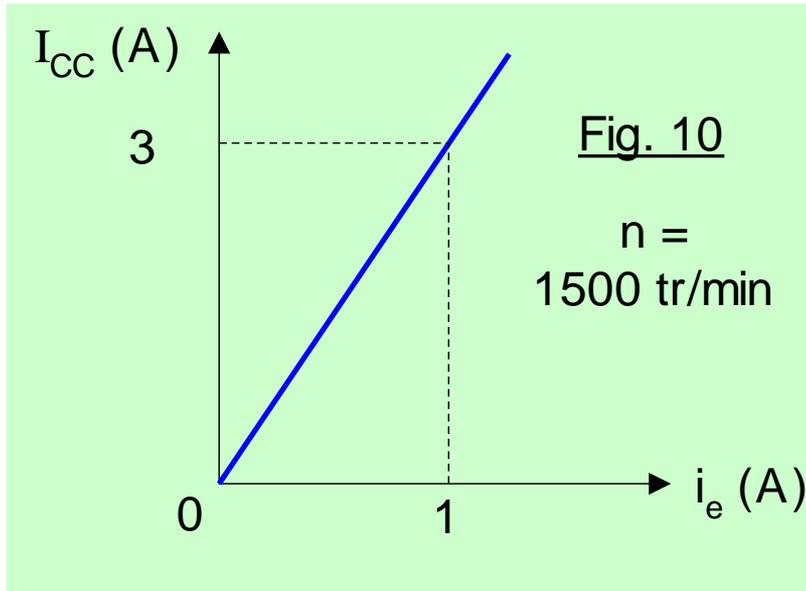
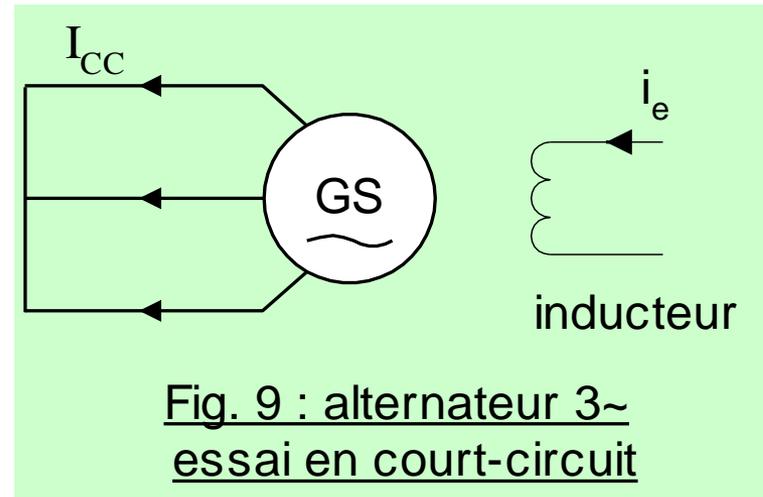
- Chute de tension en charge : $\Delta V = E - V$

4-3- Détermination expérimentale des éléments du modèle équivalent

- R_S se mesure avec la méthode voltampèremétrique en courant continu
- Essai à vide



- Essai en court-circuit



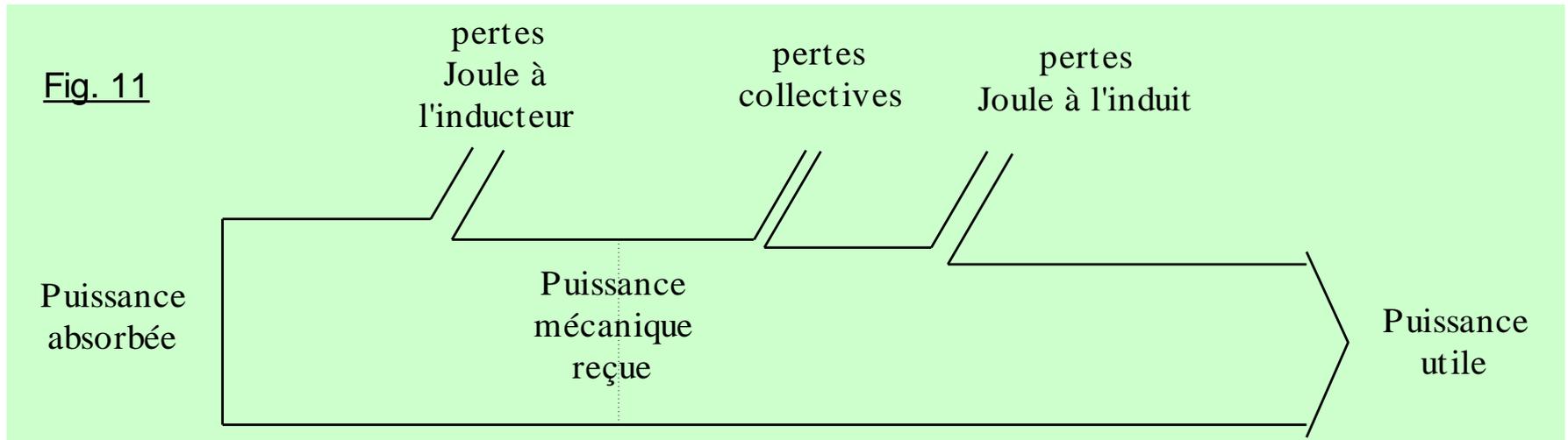
$$X_S = \frac{E_{PN}}{I_{CC}}$$

A.N. Pour $n = 1500 \text{ tr/min}$ et $i_e = 0,5 \text{ A}$, calculer la réactance synchrone X_S .

$$i_e = 0,5 \text{ A} \Rightarrow E_{PN} = 120 \text{ V} \text{ et } I_{CC} = 1,5 \text{ A}$$

$$X_S = 120 / 1,5 = 80 \Omega$$

5- Bilan de puissance de l'alternateur



- Puissance absorbée =
 puissance mécanique reçue
 + puissance électrique consommée par l'inducteur
- Puissance utile = puissance électrique fournie à la charge triphasée

- Pertes Joule

- dans l'induit : $3R_S I^2$ (couplage Y)

- dans l'inducteur : $r i_e^2$ (r : résistance de l'inducteur)

- Rendement

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{\sqrt{3} \cdot UI \cos \varphi}{\sqrt{3} \cdot UI \cos \varphi + \sum \text{pertes}}$$

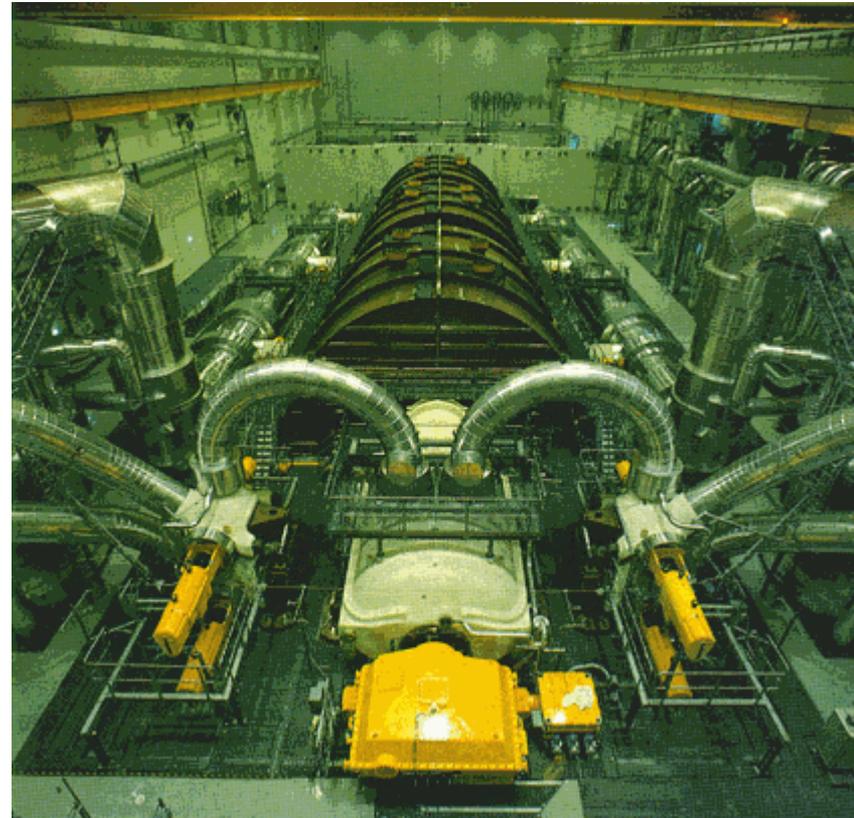
A.N. turboalternateur :

$P_N = 1300 \text{ MW}$

$\eta_N = 95 \%$ 😊

5 % de pertes

65 MW transformés en
chaleur !



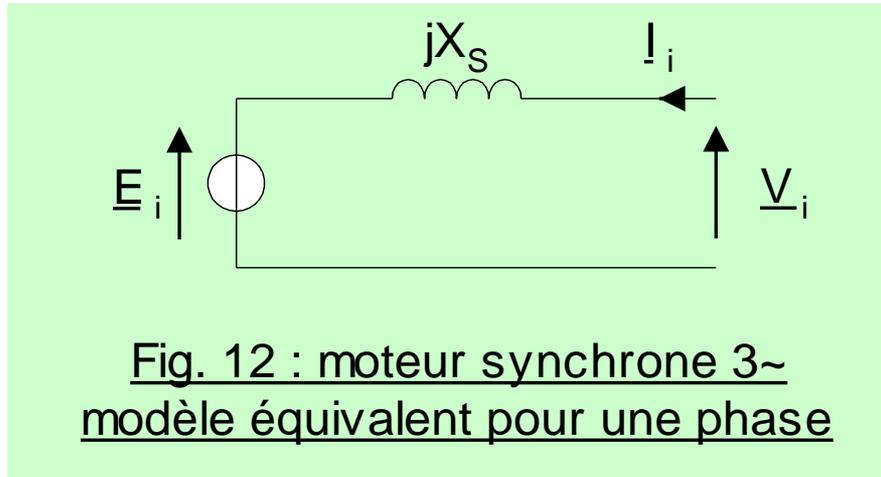
6- Alternateur 1~



7- Moteur synchrone triphasé

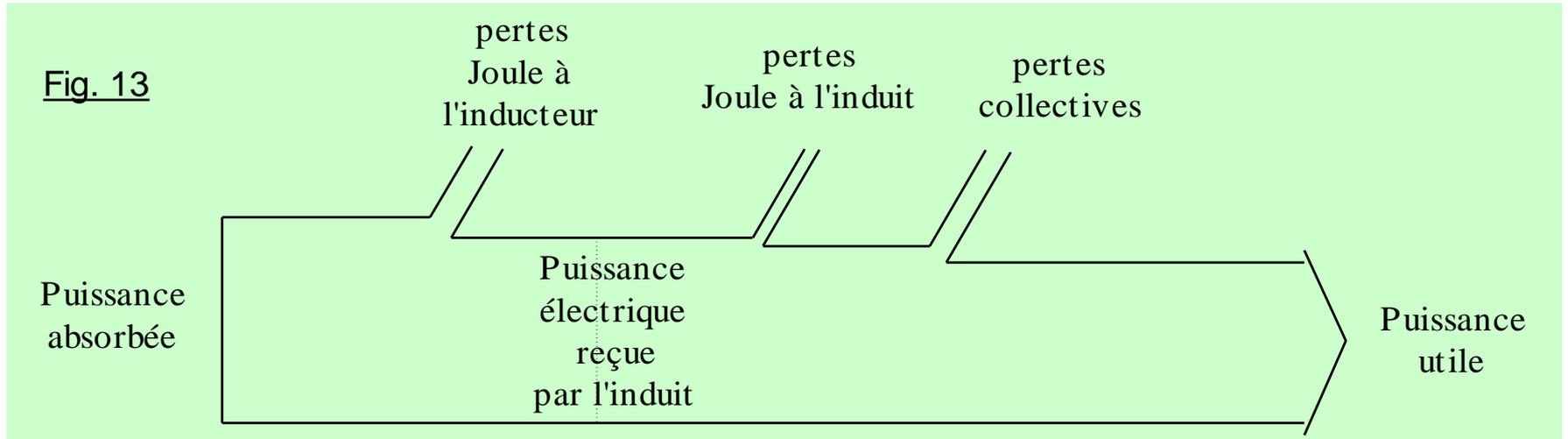
La machine synchrone est réversible.

- Modèle équivalent (en négligeant R_S)



$$\vec{V} = \vec{E} + X_S \vec{I}'$$

- Bilan de puissance du moteur synchrone triphasé



$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{T_u \cdot \Omega \text{ (puissance mécanique)}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi + \text{pertes Joule inducteur}}$$