IUT qualité, logistique industrielle et organisation

# Electrotechnique

## Chapitre 4
## Transformateur en régime sinusoïdal

© Fabrice Sincère ; version 4.0.2

http://pagesperso-orange.fr/fabrice.sincere/



WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

# Sommaire

1- Introduction
2- Le transformateur parfait
3- Transformateur réel
4- Schéma équivalent du transformateur réel
5- Chute de tension en charge
6- Bilan de puissance
7- Transformateur triphasé



WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

# Chapitre 4
# Transformateur en régime sinusoïdal

## 1- Introduction

• Constitution

Le transformateur monophasé est constitué de deux enroulements indépendants qui enlacent un circuit magnétique commun :

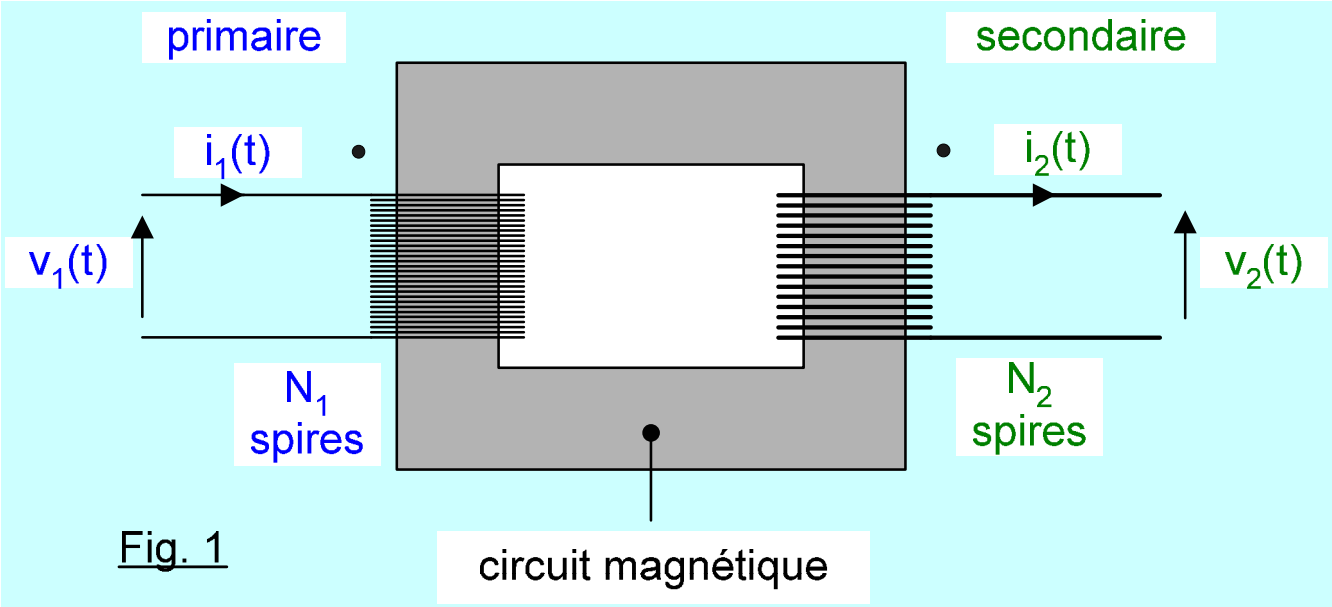


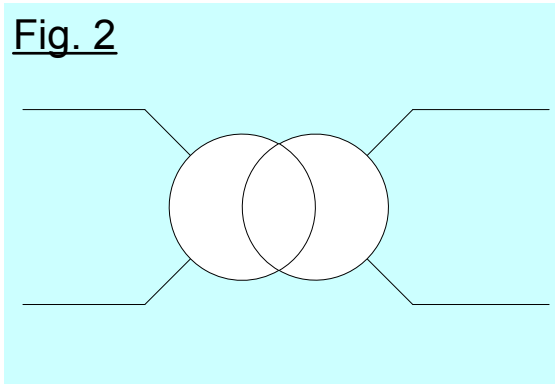

Fig. 1



Lucien GAULARD
(1850 - 1888)

• Symbole électrique

Fig. 2






• Branchement

L'enroulement ***primaire*** est branché à une source de tension sinusoïdale alternative.

L'enroulement ***secondaire*** alimente une charge électrique :

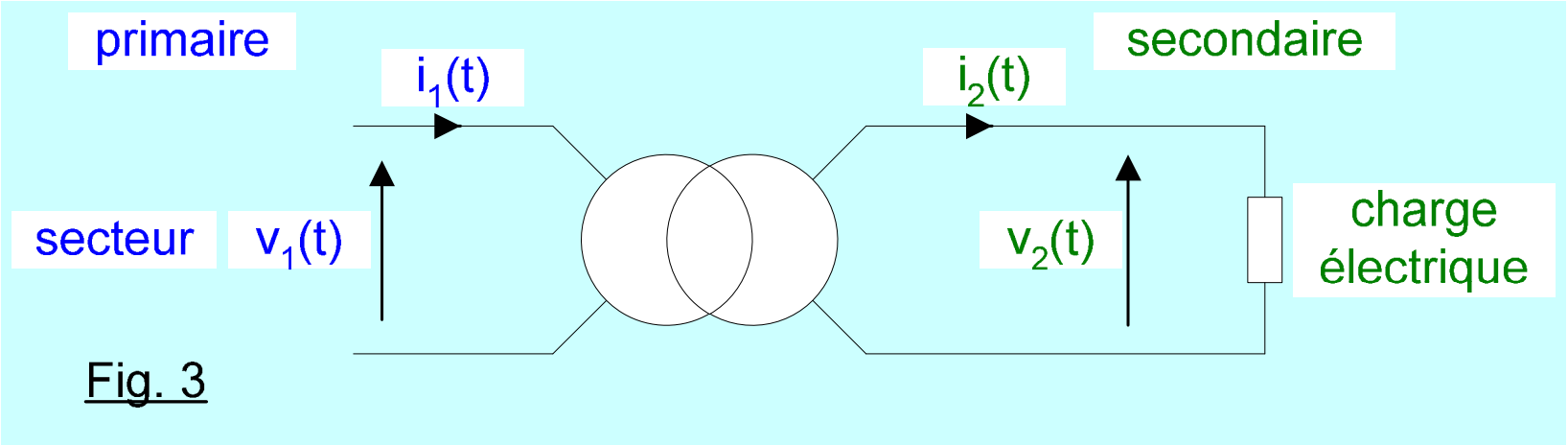



Fig. 3



WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

## 2- Le transformateur parfait

• Le transformateur utilise le phénomène d'induction électromagnétique.

Loi de Faraday :

$$v_1(t) = -e_1(t) = +N_1 \frac{d\Phi}{dt}$$

$\Phi(t)$ est le flux magnétique canalisé par le circuit magnétique.

Au secondaire :

$$v_2(t) = e_2(t) = +N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

D'où : $v_2(t) = \frac{N_2}{N_1} v_1(t)$

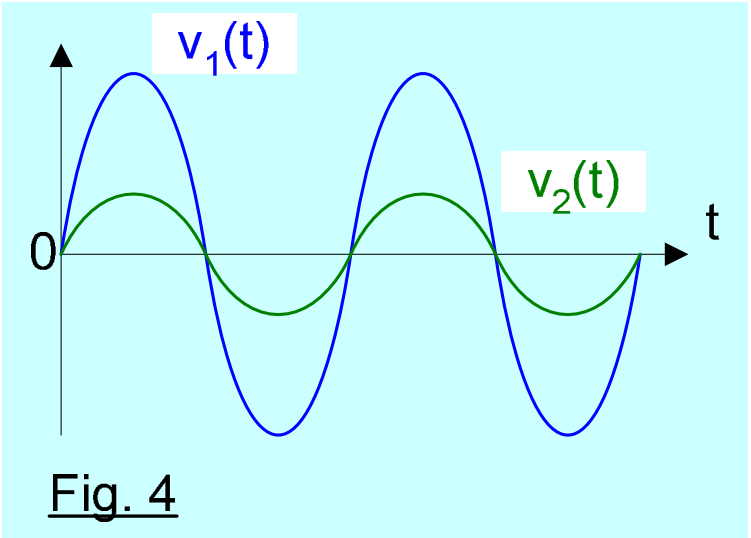


Fig. 4

• Relation entre les valeurs efficaces : $\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}$



WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

• Bilan de puissance du transformateur parfait

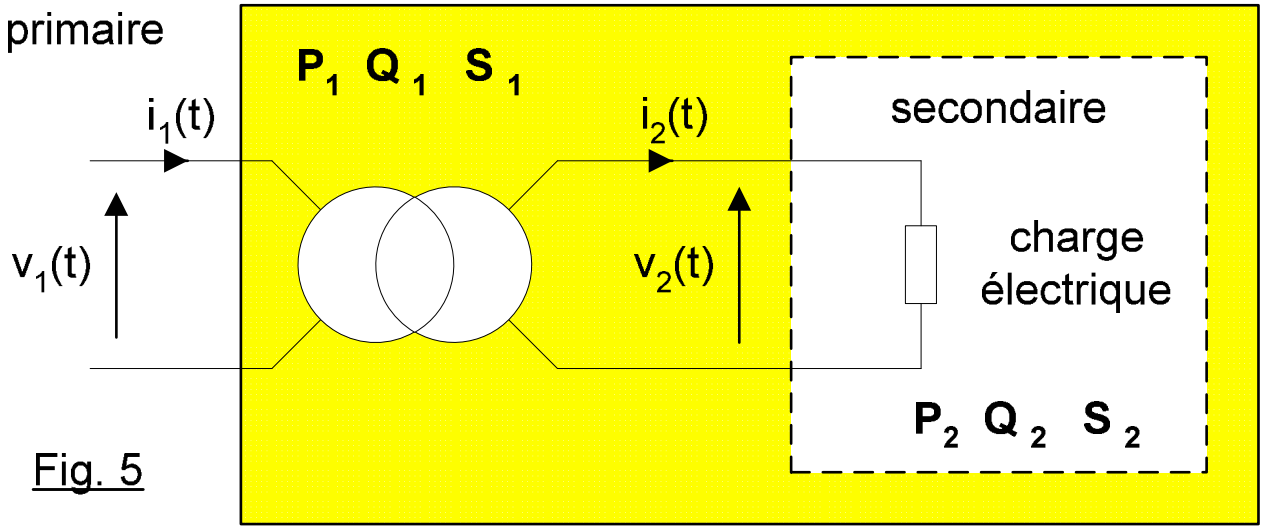



Fig. 5

- pas de pertes : $P_2 = P_1$ (rendement de 100 %)
- circuit magnétique parfait : $Q_2 = Q_1$

Par conséquent :

$S_2 = S_1$

$V_2 I_2 = V_1 I_1$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

Facteur de puissance : $\cos \varphi_2 = \cos \varphi_1$

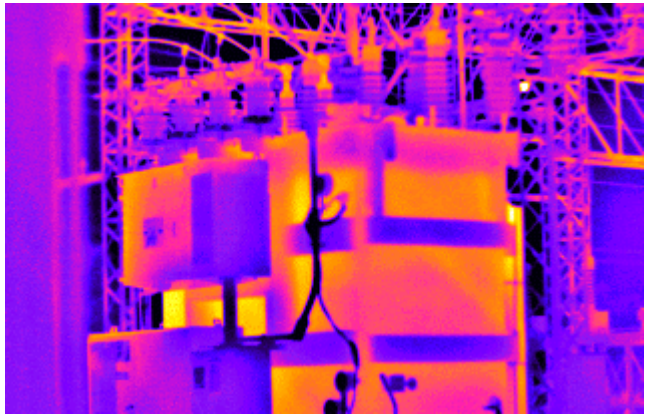
C'est la charge du secondaire qui impose le facteur de puissance.

Ex. : $\cos \varphi_2 = 1$ pour une charge résistive.



WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

## 3- Transformateur réel



En réalité :

• $P_2 < P_1$ : rendement < 1 car :

– pertes Joule dans les enroulements
– pertes fer dans le circuit magnétique
– vibrations

• La magnétisation du circuit magnétique demande un peu de puissance réactive : $Q_2 < Q_1$

• A vide (pas de charge au secondaire : $I_2 = 0$) : $I_{1v} \neq 0$

• $V_2$ dépend du courant $I_2$ débité dans la charge.



WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

• Définition

Rapport de transformation à vide : $$m_v = \frac{V_{2\,vide}}{V_1}$$

En pratique : $$m_v = \frac{V_{2\,vide}}{V_1} \approx \frac{N_2}{N_1}$$

Par la suite, on suppose que : $$m_v = \frac{N_2}{N_1}$$



WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

• Deux grands types de transformateurs :

- élévateur de tension (abaisseur de courant) : $m_v > 1$ $N_2 > N_1$
- abaisseur de tension (élévateur de courant) : $m_v < 1$ $N_2 < N_1$




L’enroulement de petite section est relié à la haute tension.

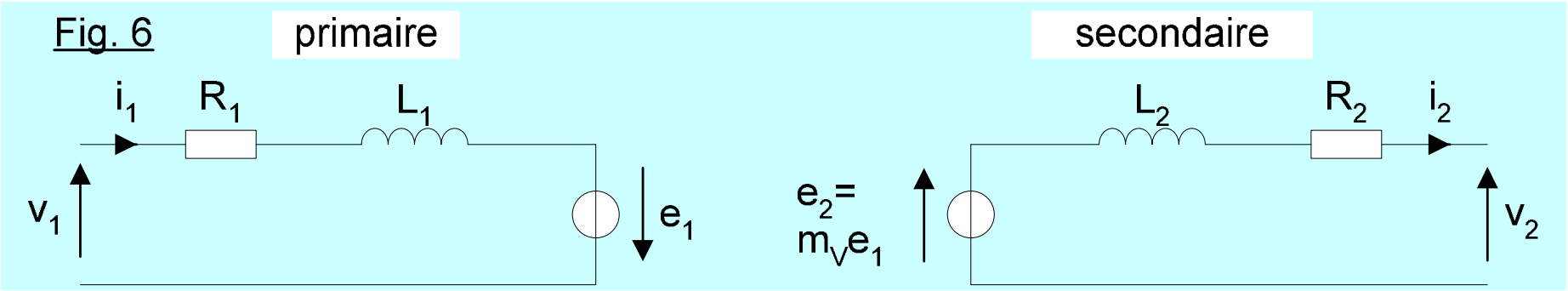


WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

## 4- Schéma équivalent du transformateur réel

On utilise l'hypothèse de Kapp, c'est à dire :

- transformateur parfait pour les courants : $\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$
- pas de pertes fer




$R_1$ : résistance de l'enroulement primaire
$R_2$ : " " " secondaire
$L_1$ : inductance des fuites magnétiques au primaire
$L_2$ : " " " " " secondaire

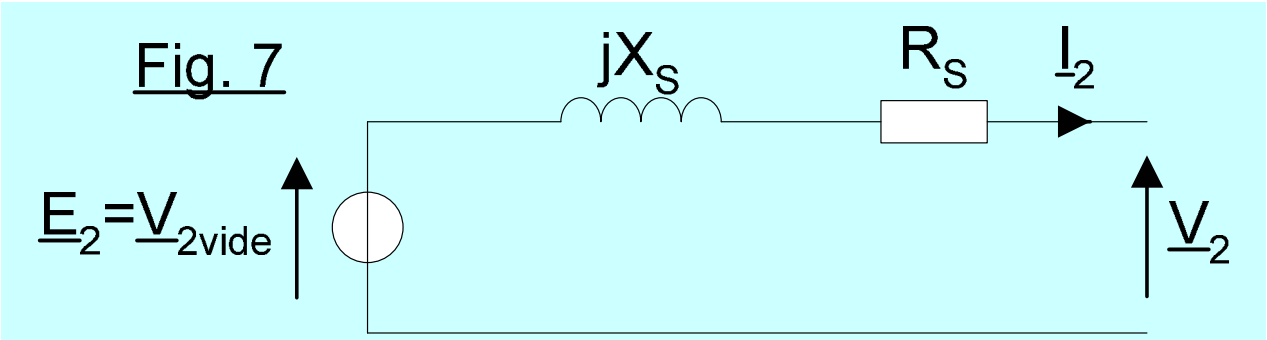


WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

• Schéma équivalent vu du secondaire

On peut résumer les deux schémas précédents en un seul.

Avec la notation complexe :




$R_s$ : résistance des enroulements ramenée au secondaire

$L_s$ : inductance de fuite ramenée au secondaire

$X_s = L_s\omega$ : réactance de fuite " "

On montre que : $R_s = R_2 + m_v^2 R_1$ ; $L_s = L_2 + m_v^2 L_1$

Loi des branches : $\underline{V}_2 = \underline{V}_{2vide} - (R_s + jX_s)\underline{I}_2$

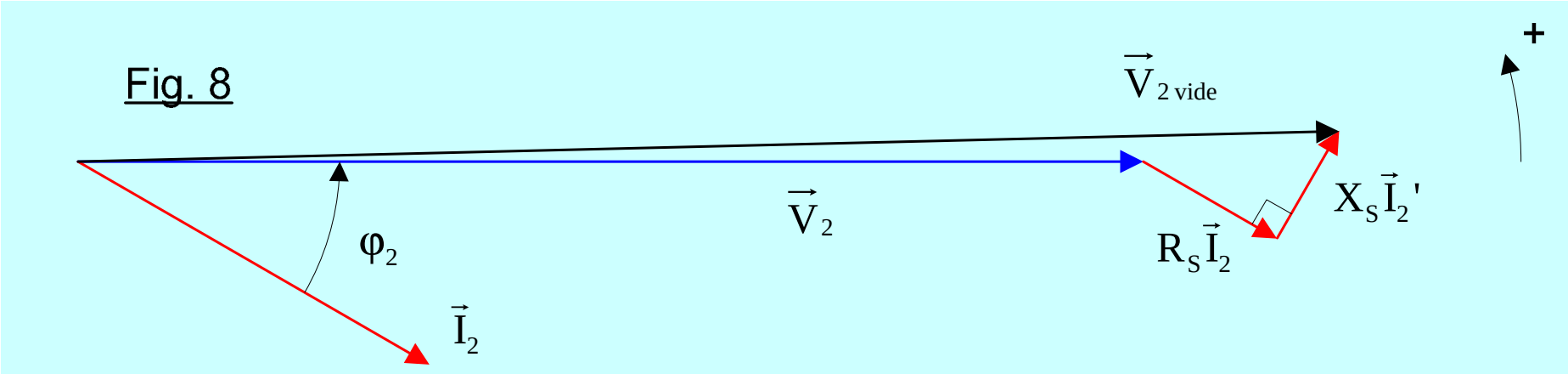


WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

• Diagramme de Kapp

C’est la représentation de Fresnel du schéma équivalent vu du secondaire :

Fig. 8




$$\vec{V}_2 = \vec{V}_{2\,vide} - (R_s\vec{I}_2 + X_s\vec{I}_2')$$



WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

## 5- Chute de tension en charge

Par définition, la chute de tension en charge au secondaire est :

$$\Delta V_2 = V_{2vide} - V_2$$

En pratique : $R_s I_2$ et $X_s I_2$ << $V_2$.
On peut faire l'approximation suivante :

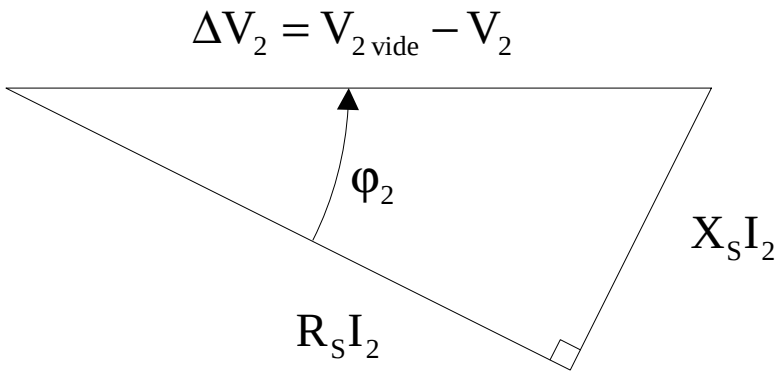



Fig. 9

$$\Delta V_2 \approx (R_s \cos \varphi_2 + X_s \sin \varphi_2) I_2$$

La chute de tension :

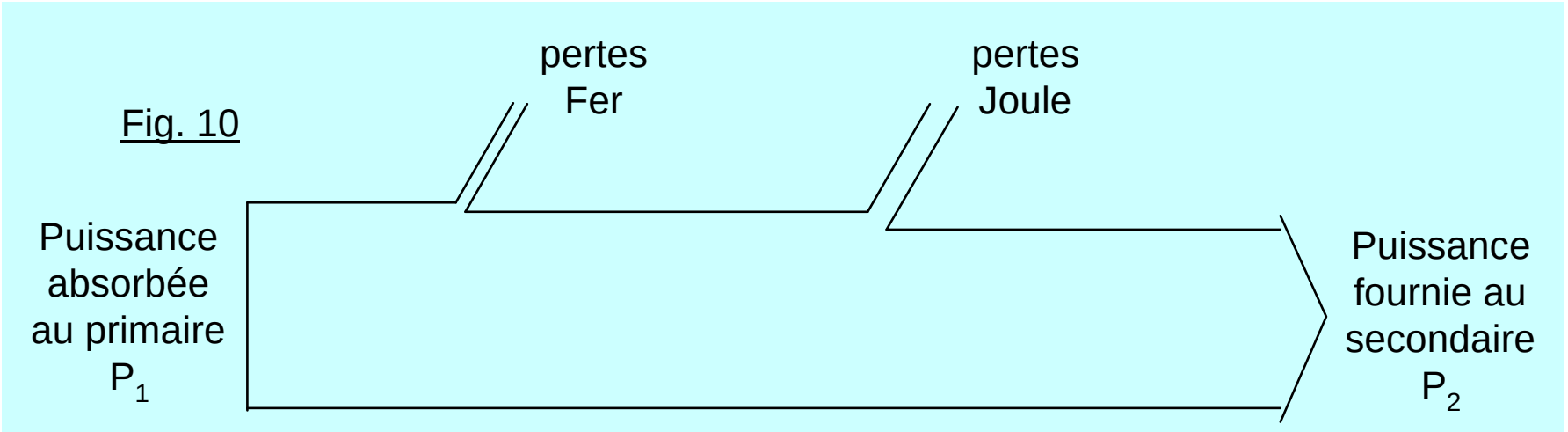
- est proportionnelle au courant débité
- dépend de la nature de la charge (facteur de puissance)



WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

# 6- Bilan de puissance

Fig. 10



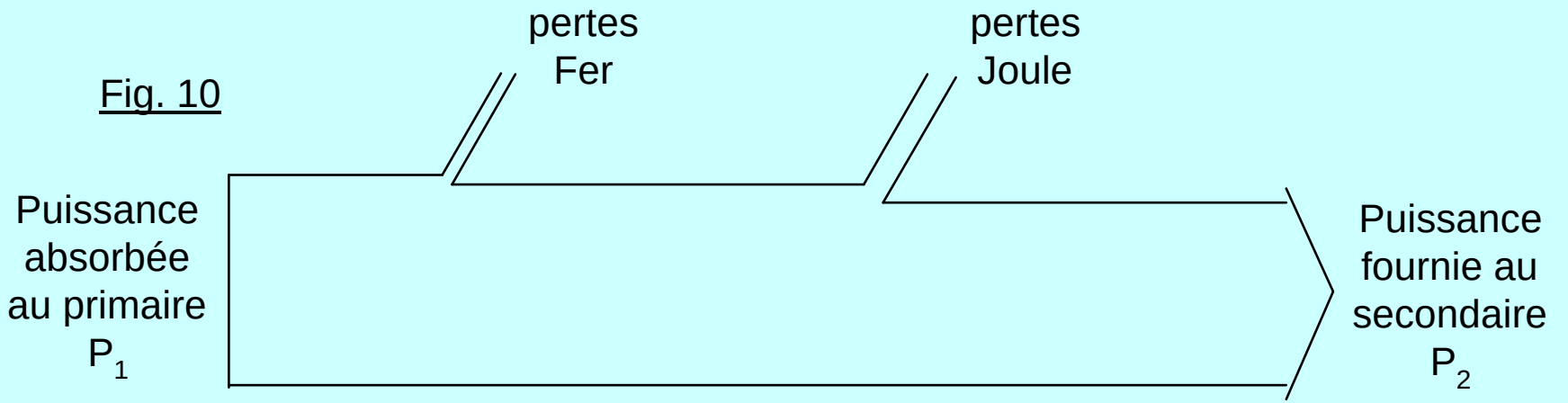

$P_1$ et $P_2$ sont des puissances électriques :

- $P_1 = V_1 I_1 \cos \varphi_1$
- $P_2 = V_2 I_2 \cos \varphi_2$



WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Fig. 10




Les pertes ont deux origines :

• électrique

Les pertes Joule (ou pertes ***cuivre***) dans les enroulements :

$$p_{Joule} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 = R_s I_2^2$$

• magnétique

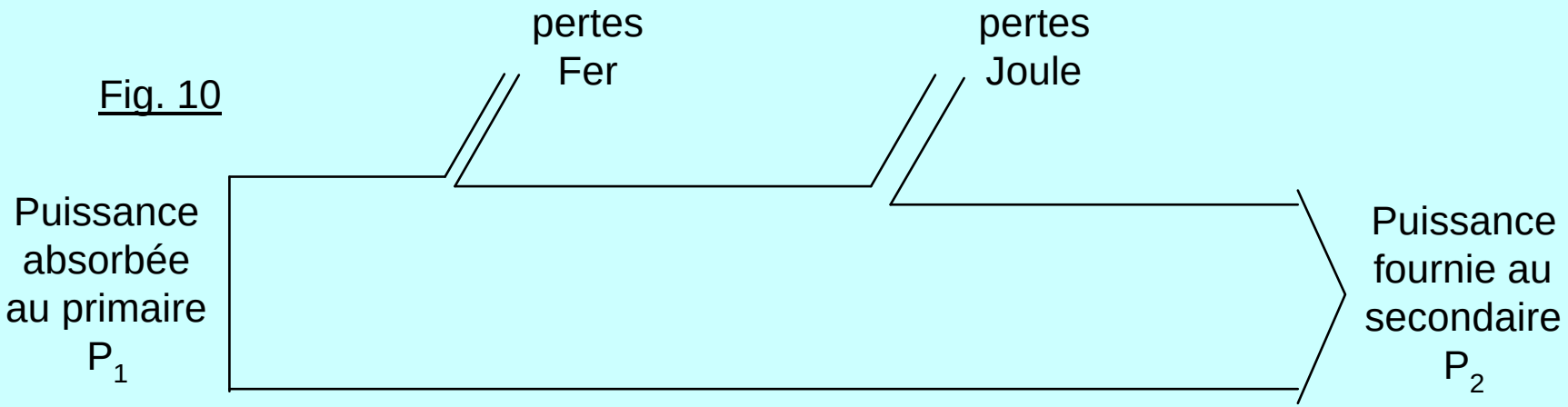
Les pertes fer dans le circuit magnétique dépendent de la tension d'alimentation :

$$p_{fer} \ \alpha \ V_1^2$$



WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

Fig. 10




- Rendement

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{V_2 I_2 \cos\varphi_2}{V_2 I_2 \cos\varphi_2 + R_s I_2^{\,2} + p_{fer}}$$



WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

## 7- Transformateur triphasé

Trois enroulements au primaire (un par phase).

« « secondaire «

- Rendement

$$\eta = \frac{\sqrt{3} U_2 I_2 \cos\varphi_2}{\sqrt{3} U_2 I_2 \cos\varphi_2 + 3 R_s I_2^{\,2} + p_{fer}}$$



WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

- Application : transport et distribution de l'énergie électrique

a) Production : 20 kV (50 Hz)

b) Transport :

20 kV / 400 kV (transfo. élévateur)

400 kV / 225 kV / 90 kV / 63 kV (transfos. abaisseurs)

c) Distribution :

63 kV / 20 kV / 400 V

- Tableau 1

UTE C18-150 :

| | |
|---|---|
| HTB | > 50 kV |
| HTA | 1 à 50 kV |
| BTB | 500 à 1000 V |
| BTA | 50 à 500 V |



WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر