

Chapitre III Circuits et Puissances Electriques en triphasés

III.1 Introduction

Le réseau électrique est distribué en triphasé, qui est un choix technologique découlant de plusieurs faits:

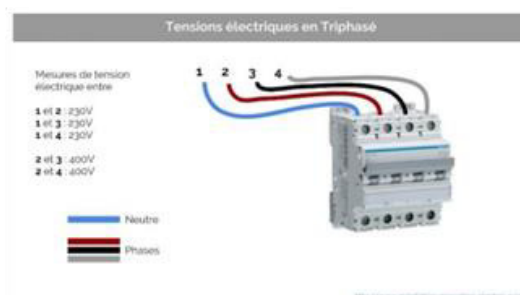
- Le courant est produit à l'aide de machines appelées "alternateurs", qui produisent un courant triphasé.
- La distribution se fait ensuite en triphasé et sous très haute tension pour des raisons d'économies et d'efficacité.
- La distribution électrique arrive au plus proche de l'usagé sous forme triphasée.
- La création du monophasée se fait à partir du triphasé depuis les transformateurs de tension.



Distribution électriques en triphasée



Moteurs électriques industriels alimentés en triphasée



Tensions aux bornes d'un disjoncteur tétrapolaire

Figure 1 Systèmes triphasés

III.2 Caractéristiques du réseau de distribution électrique

La production et le transport de l'énergie électrique se font sous forme triphasée, en régime sinusoïdal. Ce sont les contraintes liées au transport de l'énergie électrique qui explique ce choix.

Exemple illustratif:

Considérons le transport d'une puissance P à la distance d respectivement en monophasé et en triphasé. On fixe une même tension efficace U en monophasé et entre les lignes du triphasé

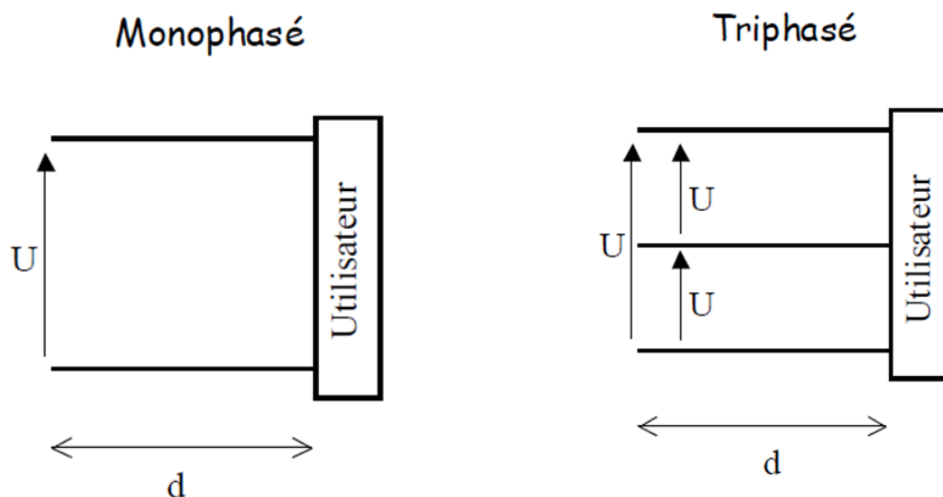


Figure 2. Exemple Illustratif

Pour fournir une même puissance P à un utilisateur, une ligne triphasée subit 50% moins de pertes par effet Joule qu'une ligne monophasée (de même section).

Un deuxième critère de choix concerne le volume de cuivre utilisé pour réaliser les lignes à pertes égales. Le choix d'une ligne triphasée permet une économie de cuivre.

Ces deux avantages expliquent le choix des lignes triphasées pour la distribution d'énergie.

III.3 Les principes de base des systèmes triphasés

III.3.1 Système de tension triphasé équilibré direct

De façon tout à fait théorique, un système de tensions triphasées équilibré direct (TED) est un ensemble de trois tensions sinusoïdales de même amplitude et déphasées entre

elles d'angles valant toujours $\frac{2\pi}{3}$. On retiendra la formulation suivante, V étant la tension efficace des trois tensions:

$$\begin{cases} v_1(t) = V \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t) \\ v_2(t) = V \cdot \sqrt{2} \cdot \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \\ v_3(t) = V \cdot \sqrt{2} \cdot \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \end{cases}$$

La représentation temporelle de ces trois tensions n'est pas pratique à représenter, aussi il est toujours préférable d'utiliser la représentation complexe qui est caractéristique des systèmes triphasés. Ces deux représentations sont présentées sur la figure suivante:

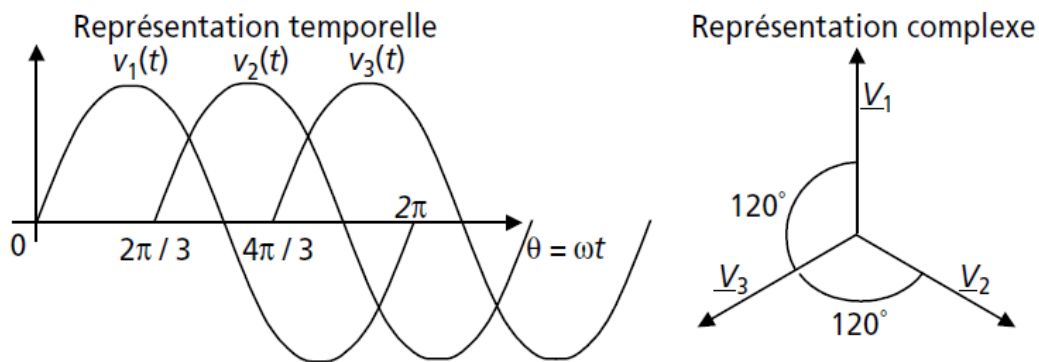


Figure 3. Représentations d'un système de tensions triphasées équilibrées direct

III.3.2 Construction des systèmes triphasés: couplage des phases côté générateur

En pratique, les trois tensions d'un système triphasé sont produites à partir d'alternateurs triphasés (3 transformateurs triphasés). L'association de ces bobinages entre eux est appelé couplage de phases. Il existe deux types de couplage: étoile (Y) et triangle (Δ). Ces deux couplages représentent les deux façons de concevoir un générateur de tensions triphasées.

III.3.3 Construction des systèmes triphasés: couplage des phases côté charges

Une fois le générateur couplé, il existe encore deux moyens d'y raccorder des charges (c'est à dire des impédances représentant les différents récepteurs). On distinguera ainsi les charges étoile et les charges triangle .

La figure 4, représente les différents couplages des générateurs et des charges triphasés, avec leurs différentes caractéristiques.

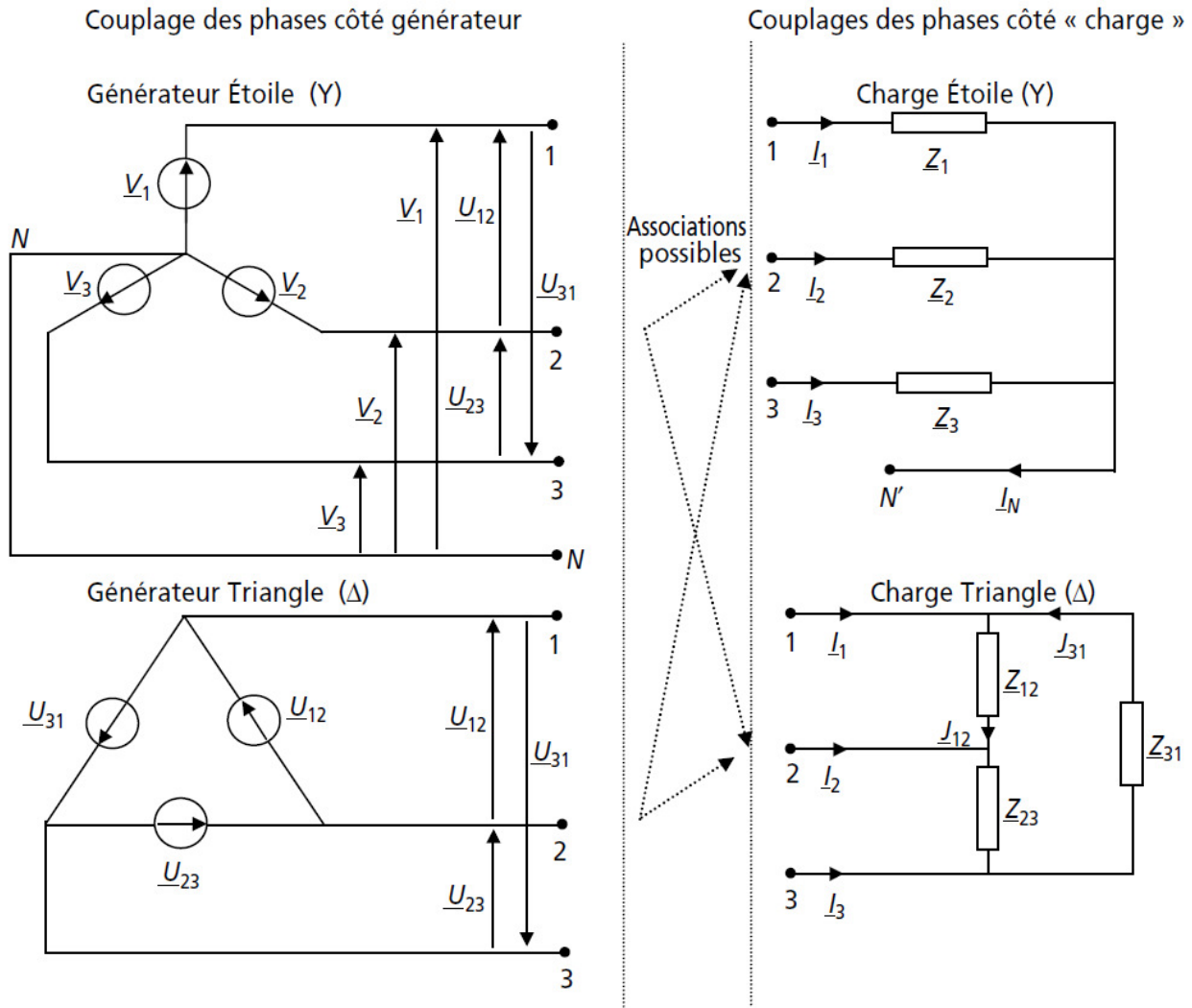


Figure 4. Différents couplages des générateurs et des charges triphasés

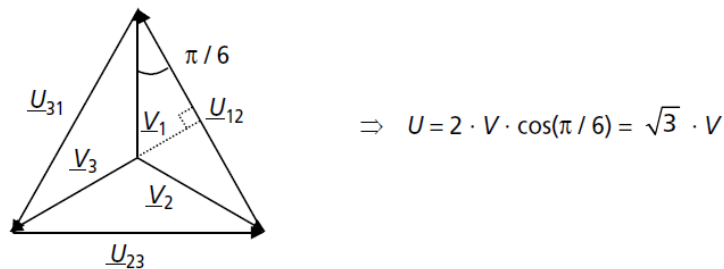


Figure 5. Tensions simples et tensions composées

III.3.4 Caractéristiques des couplages en étoile

Il existe deux types de tensions:

- Les tensions dites "simples": $\underline{V}_1, \underline{V}_2$ et \underline{V}_3
- Les tensions dites "composées":

$$\underline{U}_{12} = \underline{V}_1 - \underline{V}_2, \underline{U}_{23} = \underline{V}_2 - \underline{V}_3 \text{ et } \underline{U}_{31} = \underline{V}_3 - \underline{V}_1$$

On représente ces tensions complexes ainsi que la relation liant leurs valeurs efficaces sur la figure 5. Il est impératif de retenir la relation entre tension simple et tension composée efficace: $U = \sqrt{3}.V$

Etant données les définitions et les représentations complexes des différentes tensions, on retiendra les deux relations remarquables suivantes:

$$\underline{V}_1 + \underline{V}_2 + \underline{V}_3 = 0$$

et

$$\underline{U}_{12} + \underline{U}_{23} + \underline{U}_{31} = \underline{0}$$

Les points N et N' s'appellent respectivement "Neutre" et "Neutre côté charge". Ces deux points peuvent être réunis ou pas, on dit alors qu'on a "relié (ou pas) le neutre"

Lorsque le neutre est relié, on appelle \underline{I}_N le courant circulant dans le neutre. On écrit alors que : $\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = \underline{I}_N$

Lorsque le neutre n'est pas relié : $\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = 0$

III.3.5 Caractéristiques des couplages en triangle

Il n'existe qu'un seul type de tension : les tensions composées. Par contre, il existe deux types de courants:

- Les courants dits "de ligne" : $\underline{I}_1, \underline{I}_2$ et \underline{I}_3
- Les courants dits "de phase" : $\underline{I}_{12}, \underline{I}_{23}$ et \underline{I}_{31}

Le couplage triangle ne fait pas apparaître l'existence d'un Neutre.

Etant donnée la définition des tensions composées, on retiendra la formule suivante:

$$\underline{U}_{12} + \underline{U}_{23} + \underline{U}_{31} = \underline{0}$$

Etant donné qu'il n'existe pas de retour de courant possible dans le montage triangle, on a toujours: $I_1 + I_2 + I_3 = 0$

III.3.6 Système triphasé équilibré

On dit qu'un système est équilibré s'il fournit des courants de même amplitude et de même phase sur les trois phases. Ceci n'est possible que quand les impédances de charge sont les mêmes sur les trois phases, c'est à dire si: $Z_1 = Z_2 = Z_3$ (pour une charge étoile) ou $Z_{12} = Z_{23} = Z_{31}$ (pour une charge triangle)

Remarques importantes à l'équilibre:

- Quel que soit le type de montage, les courants sont, tels que:

$$\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = \underline{0} \text{ et } \underline{J}_{12} + \underline{J}_{23} + \underline{J}_{31} = \underline{0}$$

- Comme les impédances sont les mêmes sur les trois phases:

$$I_1 = I_2 = I_3 = I \text{ et } J_{12} = J_{23} = J_{31} = J$$

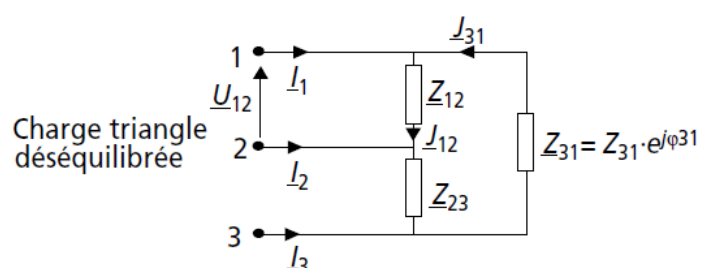
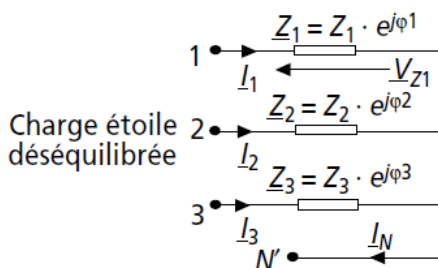
- La relation entre les valeurs efficaces de ces courants est alors :

$$I = \sqrt{3} \cdot J$$

- Comme à l'équilibre $I_1 + I_2 + I_3 = \underline{0}$, le courant de neutre est nul si le neutre est relié. Les montages à neutre non relié sont donc équivalents. On dit dans ce cas que le neutre est "indifférent".

III.4 Puissances en triphasé

En terme de puissance, un système triphasé est équivalent à trois circuits monophasés côte à côte.



$$\begin{aligned}
 P &= V_{Z1} \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 + V_{Z2} \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 + V_{Z2} \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 & P &= U \cdot J_{12} \cdot \cos \varphi_{12} + U \cdot J_{23} \cdot \cos \varphi_{23} + U \cdot J_{31} \cdot \cos \varphi_{31} \\
 Q &= V_{Z1} \cdot I_1 \cdot \sin \varphi_1 + V_{Z2} \cdot I_2 \cdot \sin \varphi_2 + V_{Z2} \cdot I_2 \cdot \sin \varphi_2 & Q &= U \cdot J_{12} \cdot \sin \varphi_{12} + U \cdot J_{23} \cdot \sin \varphi_{23} + U \cdot J_{31} \cdot \sin \varphi_{31} \\
 S &\text{ et le facteur de puissance ne sont pas définis} & S &\text{ et le facteur de puissance ne sont pas définis}
 \end{aligned}$$

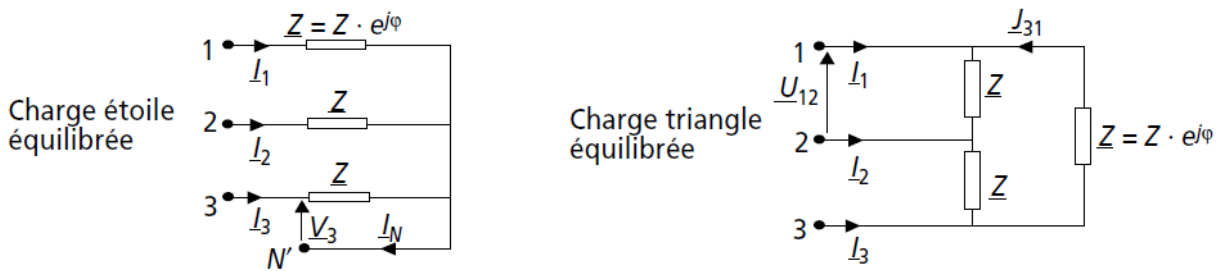
Figure 6. Formulation des puissances en régime déséquilibré

Cas particuliers des systèmes triphasés équilibrés:

Dans ce cas la formulation des puissances se simplifie considérablement. Dans le cas des montages étoile, le neutre étant indifférent, les charges sont toujours sous tension simple : V .

La puissance apparente S et le facteur de puissance sont à nouveau définis par analogie avec les circuits monophasés.

Les formulations deviennent identiques dans les deux types de couplage des charges, ce qui facilite énormément la mémorisation.



$$\begin{aligned}
 P &= 3 \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi \\
 Q &= 3 \cdot V \cdot I \cdot \sin \varphi \\
 S^2 &= P^2 + Q^2 \text{ soit : } S = 3 \cdot V \cdot I \\
 \text{facteur de puissance : } k &= \frac{P}{S} = \cos \varphi
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= 3 \cdot U \cdot J \cdot \cos \varphi = 3 \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi \\
 Q &= 3 \cdot U \cdot J \sin \varphi = 3 \cdot V \cdot I \cdot \sin \varphi \\
 S^2 &= P^2 + Q^2 \text{ soit : } S = 3 \cdot V \cdot I \\
 \text{facteur de puissance : } k &= \frac{P}{S} = \cos \varphi
 \end{aligned}$$

Figure 7. Formulation des puissances en régime équilibré

III.5 Schéma équivalent monophasé d'un système équilibré

En terme de puissances et de grandeurs électriques, une charge équilibrée présente les mêmes caractéristiques sur ses trois phases. Il est alors suffisant de raisonner sur un schéma monophasé représentant une des phases.

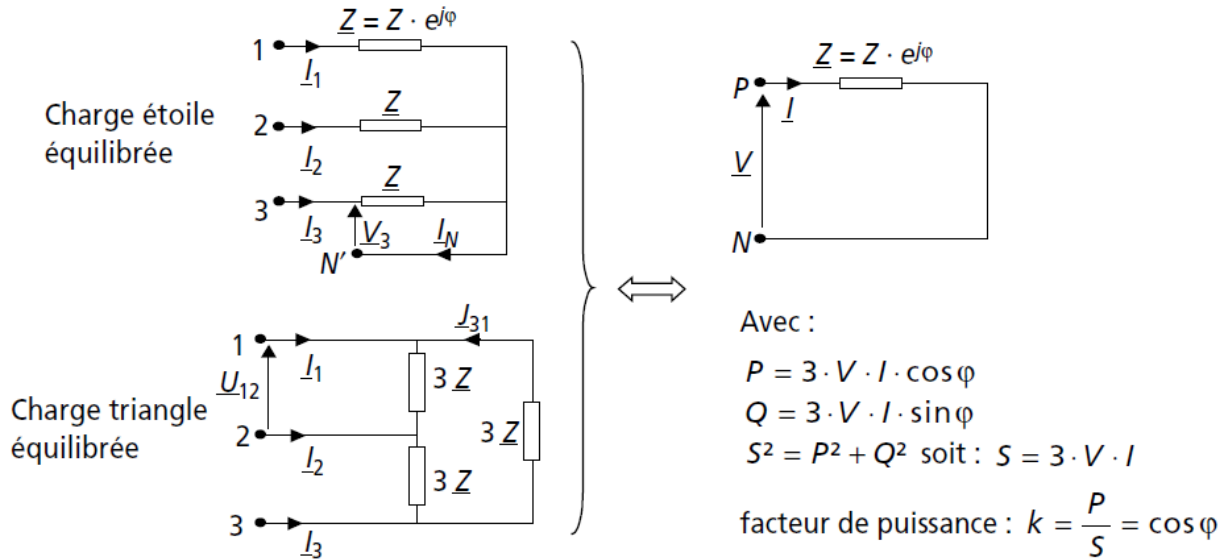


Figure 8. Schéma monophasé équivalent d'une charge équilibrée

Remarque:

Une charge triphasée équilibrée en triangle, d'impédance par phase \underline{Z} , est équivalente à une charge étoile équilibrée présentant une impédance par phase : $\underline{Z}/3$ (et réciproquement)