

# Les fiches techniques

9

## Les systèmes triphasés Les tensions triphasées



# 9 Tensions triphasées

Le producteur national EDF, produit, transporte, distribue l'énergie à l'aide d'un réseau triphasé. La consommation se fait en triphasé pour les clients importants : moteurs, fours (réseaux équilibrés), et en monophasé pour les autres : éclairage, appareils ménagers (réseaux déséquilibrés).

## 9.1 Définition

Un système polyphasé possède  $P$  phases de même module décalées dans le temps de  $\frac{2\pi}{P}$ .

Pour un système triphasé, les tensions triphasées s'écrivent :

$$v_1 = V_{\max} \sin \omega t$$

$$v_2 = V_{\max} \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3})$$

$$v_3 = V_{\max} \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3})$$

Ces tensions entre phase et neutre sont appelées tensions simples.

Les tensions composées ou tensions entre phases se déterminent par la somme vectorielle des tensions simples :

$$\vec{U}_{12} = \vec{V}_1 - \vec{V}_2$$

$$\vec{U}_{23} = \vec{V}_2 - \vec{V}_3$$

$$\vec{U}_{31} = \vec{V}_3 - \vec{V}_1$$

Le système de tensions composées est en avance de  $\pi/6$  sur le système des tensions simples.

Remarque : la tension  $U_{23}$  est en retard de  $\pi/2$  (90 degrés) sur la tension  $V_1$ . Ceci permet la mesure de la puissance, ou de l'énergie réactive.

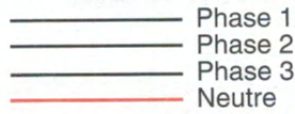
## 9.2 Relation entre $U$ et $V$

$$U = \sqrt{3} V$$

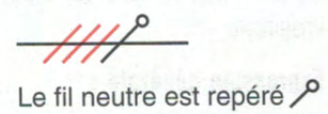
Si  $V = 230 \text{ V}$ ,  $U = 400 \text{ V}$ .

### REPRÉSENTATION

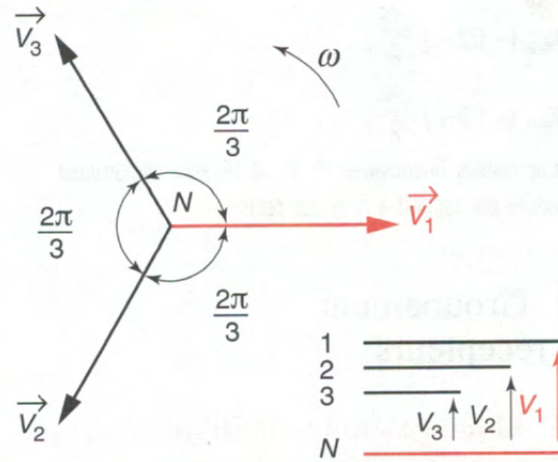
Représentation multifilaire



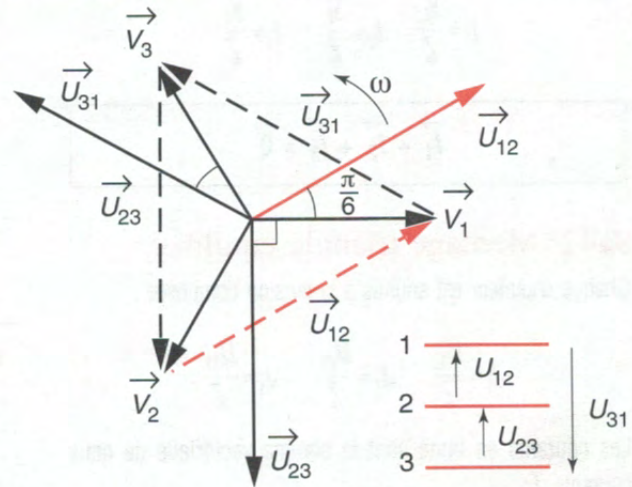
Représentation unifilaire



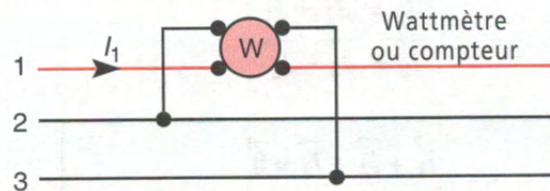
### TENSIONS SIMPLES



### TENSIONS COMPOSÉES



### MESURE DE PUISSANCE RÉACTIVE





### 9.3 Composantes symétriques

Un système triphasé est repérable dans le plan complexe, chaque vecteur est défini par une partie réelle et par une partie imaginaire.

Expression générale :

$$V = V_{\max} (\cos \theta + j \sin \theta)$$

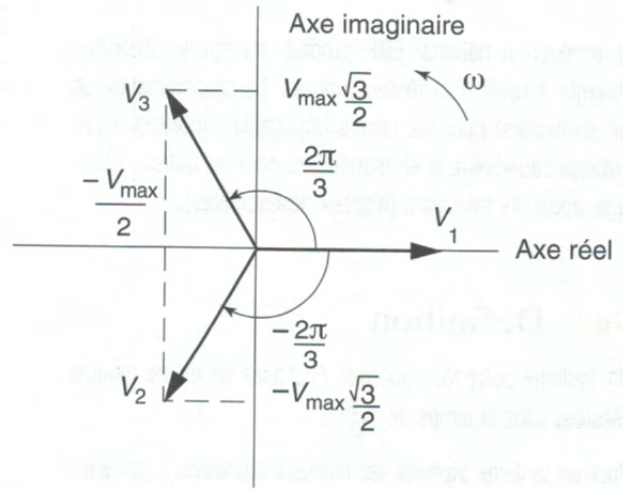
$$V_1 = V_{\max}$$

$$V_2 = V_{\max} \left(-\frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2}\right)$$

$$V_3 = V_{\max} \left(-\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2}\right)$$

Les composantes imaginaires de  $V_2$  et  $V_3$  sont symétriques et opposées par rapport à l'axe des réels.

#### REPRÉSENTATION COMPLEXE



### 9.4 Groupement des récepteurs

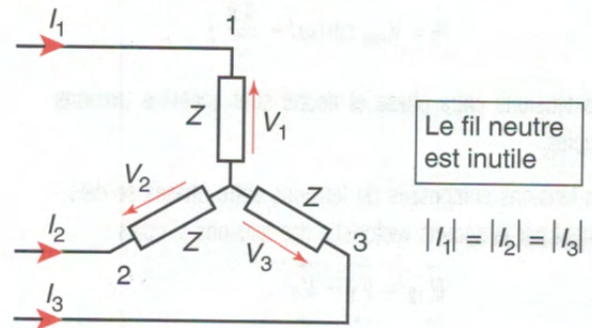
#### 9.41 Montage étoile équilibré

Les récepteurs identiques d'impédance  $Z$  sont reliés au point commun (neutre artificiel) et chacun à un fil de phase :

$$I_1 = \frac{V_1}{Z} \quad I_2 = \frac{V_2}{Z} \quad I_3 = \frac{V_3}{Z}$$

$$\vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 = \vec{0}$$

#### MONTAGE ÉTOILE ÉQUILIBRÉ



#### 9.42 Montage triangle équilibré

Chaque récepteur est soumis à la tension composée :

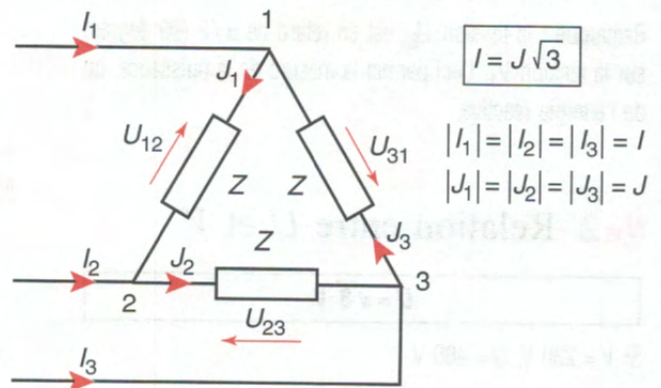
$$U_1 = \frac{U_{12}}{Z} \quad U_2 = \frac{U_{23}}{Z} \quad U_3 = \frac{U_{31}}{Z}$$

Les courants en ligne sont la somme vectorielle de deux courants  $J$  :

$$\begin{aligned} \vec{I}_1 &= \vec{J}_1 - \vec{J}_3 \\ \vec{I}_2 &= \vec{J}_2 - \vec{J}_1 \\ \vec{I}_3 &= \vec{J}_3 - \vec{J}_2 \end{aligned}$$

$$\vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 = \vec{0}$$

#### MONTAGE TRIANGLE ÉQUILIBRÉ



### 9.43 Montage étoile déséquilibré

Les récepteurs de nature, de puissance différentes sont reliés d'une part à un fil de phase, d'autre part au fil neutre.

Le courant dans le fil neutre est la somme vectorielle des courants dans les trois fils de phase.

$$\vec{I}_N = \vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3$$

Remarque :

Le fil neutre est nécessaire sinon les récepteurs seraient soumis à des tensions différentes et risqueraient d'être détruits. Une surtension peut apparaître aux bornes d'un récepteur.

### 9.44 Montage triangle déséquilibré

Les récepteurs différents sont reliés entre deux fils de phase, les courants dans chaque récepteur sont différents en phase et en valeur.

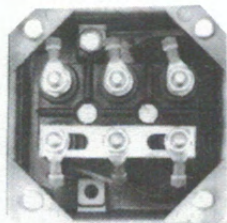
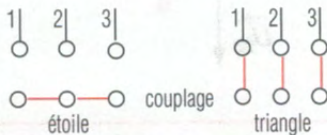
$$\begin{aligned} \vec{I}_1 &= \vec{J}_1 - \vec{J}_3 \\ \vec{I}_2 &= \vec{J}_2 - \vec{J}_1 \\ \vec{I}_3 &= \vec{J}_3 - \vec{J}_2 \end{aligned}$$

La somme vectorielle des courants dans les fils de ligne est nulle.

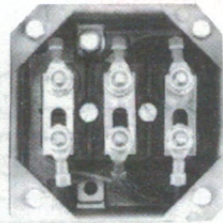
$$\vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 = \vec{0}$$

### 9.45 Connexions étoile-triangle

Les moteurs sont souvent prévus pour être câblés en étoile ou en triangle.



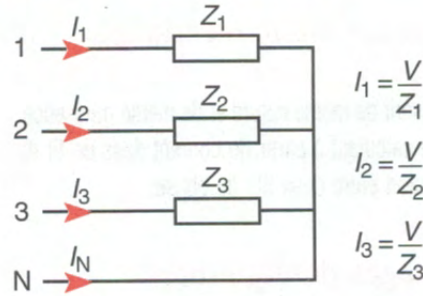
Étoile



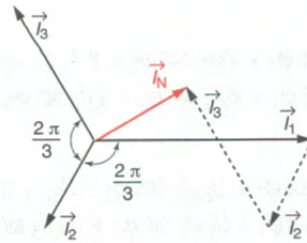
Triangle

D'après Leroy-Somer.

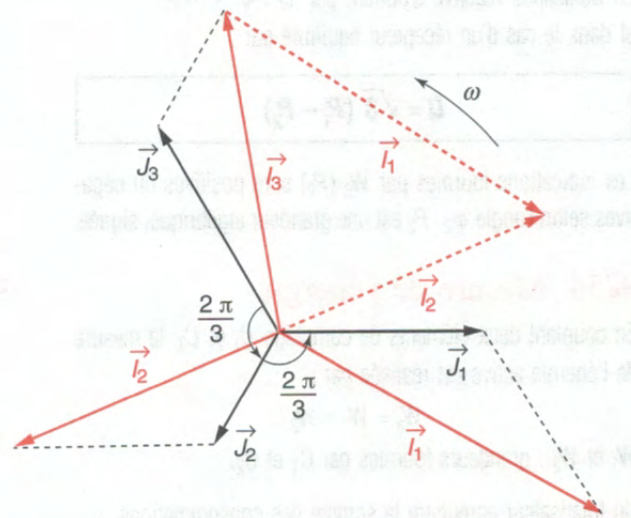
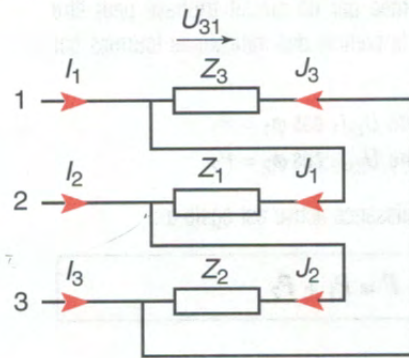
### MONTAGE ÉTOILE DÉSÉQUILIBRÉ



Construction graphique : charges purement résistives et différentes



### MONTAGE TRIANGLE DÉSÉQUILIBRÉ





## 9.5 Puissance en triphasé

### 9.51 Montages étoile ou triangle équilibrés

Si les récepteurs sont de même nature et de même puissance, les puissances se calculent à partir du courant dans un fil de ligne et de la tension entre deux fils de phase.

### 9.52 Montages déséquilibrés

$\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  et  $\varphi_3$  représentent respectivement les arguments des récepteurs 1, 2 et 3.

**Étoile :**

$$W \quad P = V_1 I_1 \cos \varphi_1 + V_2 I_2 \cos \varphi_2 + V_3 I_3 \cos \varphi_3 ;$$

$$\text{var} \quad Q = V_1 I_1 \sin \varphi_1 + V_2 I_2 \sin \varphi_2 + V_3 I_3 \sin \varphi_3.$$

**Triangle :**

$$W \quad P = U_{12} I_1 \cos \varphi_1 + U_{23} I_2 \cos \varphi_2 + U_{31} I_3 \cos \varphi_3 ;$$

$$\text{var} \quad Q = U_{12} I_1 \sin \varphi_1 + U_{23} I_2 \sin \varphi_2 + U_{31} I_3 \sin \varphi_3.$$

### 9.53 Méthode des deux wattmètres

La puissance consommée par un circuit triphasé peut être mesurée en effectuant la somme des indications fournies par deux wattmètres.

Le wattmètre  $W_1$  mesure  $U_{13} I_1 \cos \varphi_1 = P_1$ .

Le wattmètre  $W_2$  mesure  $U_{23} I_2 \cos \varphi_2 = P_2$ .

On démontre que la puissance active est égale à :

$$P = P_1 + P_2$$

La puissance réactive s'obtient par  $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$  et dans le cas d'un récepteur équilibré par :

$$Q = \sqrt{3} (P_1 - P_2)$$

Les indications fournies par  $W_2$  ( $P_2$ ) sont positives ou négatives selon l'angle  $\varphi_2$ .  $P_2$  est une grandeur algébrique, signée.

### 9.54 Mesure de l'énergie

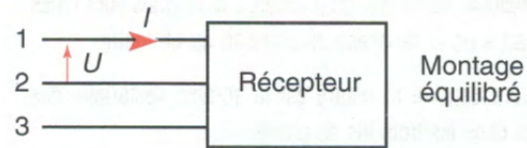
En couplant deux éléments de comptage  $C_1$  et  $C_2$ , la mesure de l'énergie active est réalisée par :

$$W_a = W_1 + W_2$$

$W_1$  et  $W_2$  : grandeurs fournies par  $C_1$  et  $C_2$ .

Un totalisateur enregistre la somme des consommations.

## PUISSANCE TRIPHASÉE



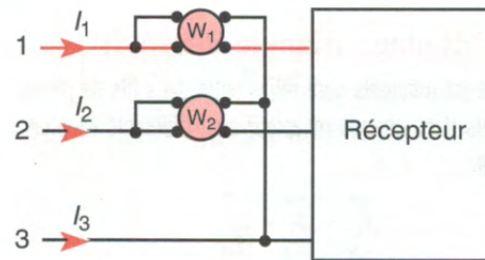
**Puissance :**

$$\text{apparente : } S = U I \sqrt{3}$$

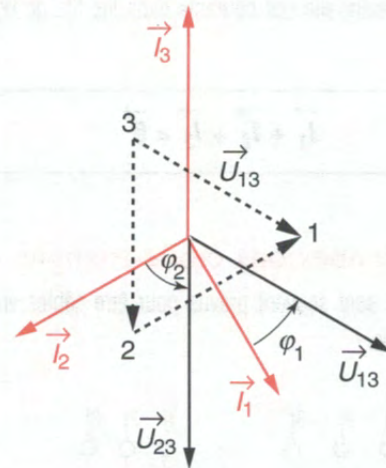
$$\text{active : } P = U I \sqrt{3} \cos \varphi$$

$$\text{réactive : } Q = U I \sqrt{3} \sin \varphi$$

## BRANCHEMENT DE DEUX WATTMÈTRES



## REPRÉSENTATION DE FRESNEL



## COMPTEUR TRIPHASÉ

