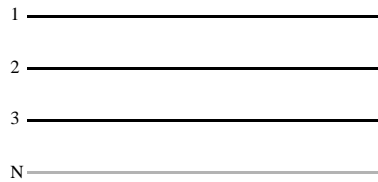


LE TRIPHASÉ ÉQUILIBRÉ :

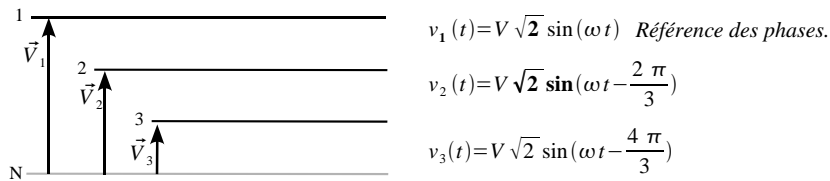
I DÉFINITION :

Trois tensions sinusoïdales, de même fréquence, de même tension efficace, forment un système triphasé équilibré si elles sont déphasées les unes par rapport aux autres de 120° . Le réseau triphasé est composé de 3 phases (fils) et parfois d'un neutre N.



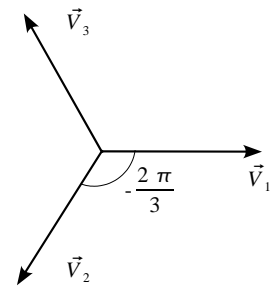
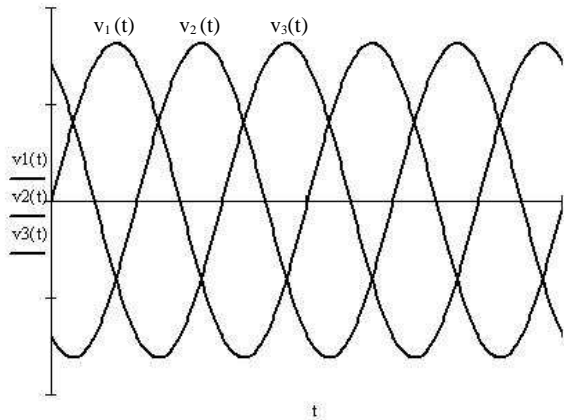
II TENSIONS SIMPLES V :

On définit la tension simple par la différence de potentiel entre une phase et le neutre. Les trois tensions simples ont **la même valeur efficace V** et la même pulsation $\omega = 2\pi f$.

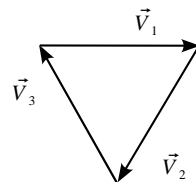


Représentation temporelle

Représentation vectorielle :



En régime équilibré, $\vec{V}_1 + \vec{V}_2 + \vec{V}_3 = \vec{0}$



III TENSIONS COMPOSÉES U :

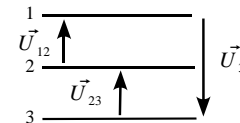
La tension composée est la différence de potentiel entre 2 phases. Les tensions composées ont **la même valeur efficace U**, et la même pulsation $\omega = 2\pi f$ que les tensions simples.

En prenant $v_1(t)$ comme référence :

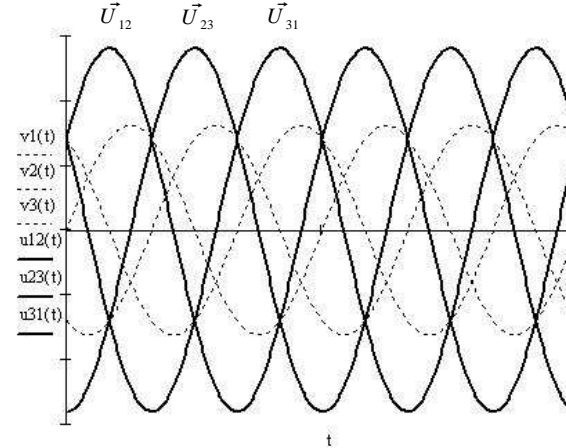
$$u_{12}(t) = v_1(t) - v_2(t) = U\sqrt{2} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right) \quad \vec{U}_{12} = \vec{V}_1 - \vec{V}_2$$

$$u_{23}(t) = v_2(t) - v_3(t) = U\sqrt{2} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \quad \vec{U}_{23} = \vec{V}_2 - \vec{V}_3$$

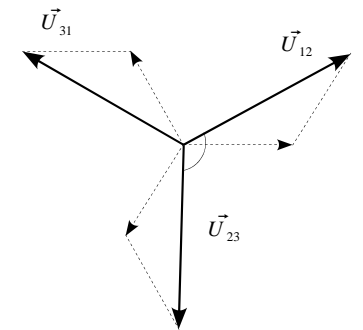
$$u_{31}(t) = v_3(t) - v_1(t) = U\sqrt{2} \sin\left(\omega t - \frac{7\pi}{6}\right) \quad \vec{U}_{31} = \vec{V}_3 - \vec{V}_1$$



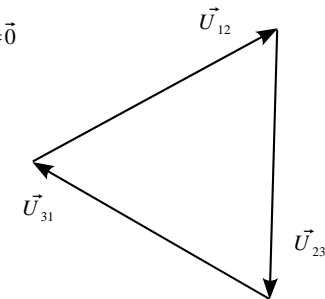
Représentation temporelle:



Représentation vectorielle :



En régime équilibré, $\vec{U}_{12} + \vec{U}_{23} + \vec{U}_{31} = \vec{0}$



IV RELATION EN LA TENSION COMPOSÉE U ET LA TENSION SIMPLE V :

Sur un réseau triphasé, la tension composée U est toujours mesurable (la tension simple V n'est mesurable que si le neutre est sorti).

On montre que $U = \sqrt{3} V$.

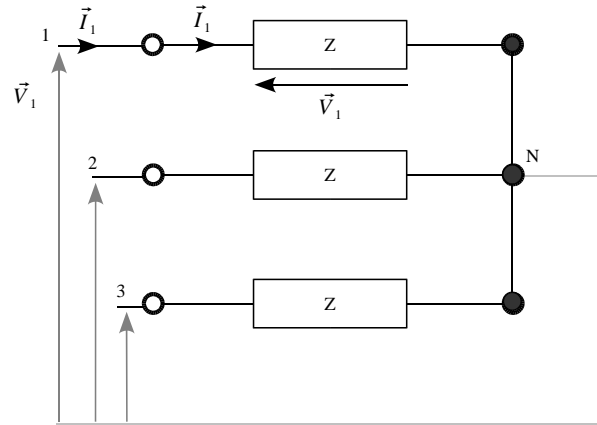
V COUPLAGE D'UN RÉCEPTEUR TRIPHASÉ ÉQUILIBRÉ :

V.1 Récepteur triphasé :

Les récepteurs triphasés sont constitués de trois éléments identiques d'impédance Z . Ils peuvent être couplés soit en étoile, soit en triangle.

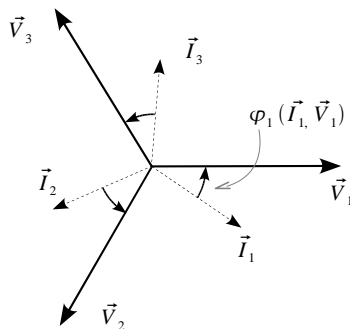
Pour les récepteurs triphasés, on indique en premier la tension nominale que peut supporter un élément. Par exemple, pour un moteur asynchrone triphasé 220V/380V, la tension nominale pour un enroulement (élément) est de 220 V.

V.2 Couplage étoile (Y ou y) :



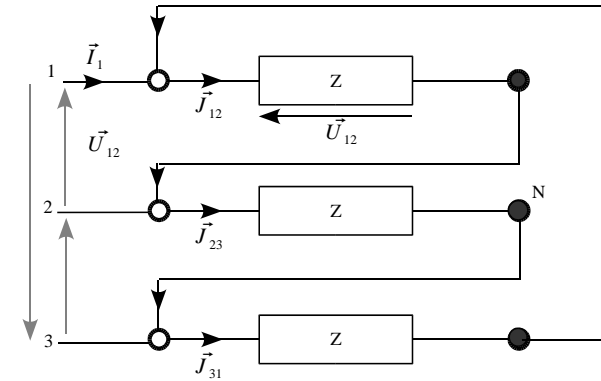
Pour un couplage étoile, **chaque élément est soumis à une tension simple V** (que le neutre N soit sorti ou non) et est traversé par **le courant de ligne I**. L'impédance Z impose un déphasage $\varphi(\vec{I}, \vec{V})$.

Représentation vectorielle des tensions et des intensités :



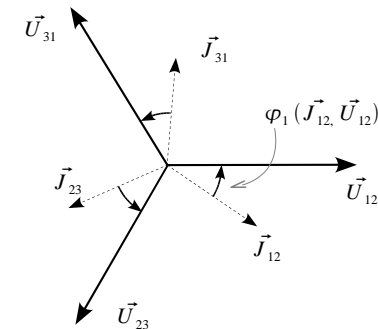
On montre que $\vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 = \vec{0}$

V.3 Couplage triangle (D, d ou Δ) :



Pour un couplage triangle, **chaque élément est soumis à une tension composée U** et est traversé par **le courant entre phase J**. L'impédance Z impose un déphasage $\varphi(\vec{J}, \vec{U})$.

Représentation vectorielle des tensions et des intensités :



On montre que : $\vec{J}_{12} + \vec{J}_{23} + \vec{J}_{31} = \vec{0}$

$$\begin{aligned} \vec{I}_1 &= \vec{J}_{12} - \vec{J}_{31} \\ \vec{I}_2 &= \vec{J}_{23} - \vec{J}_{12} \\ \vec{I}_3 &= \vec{J}_{31} - \vec{J}_{23} \end{aligned}$$

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

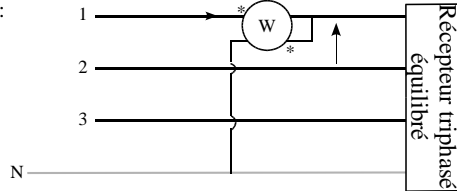
VI PUISSANCE EN TRIPHASÉ :

VI.1 Mesure de la puissance en triphasé :

Quelque soit le couplage du récepteur, il est toujours possible sur un réseau triphasé de **mesurer la tension composée U** ainsi que **le courant en ligne I**. (On ne peut mesurer la tension simple V que si le neutre est sorti, de même qu'on ne peut mesurer le courant entre phase J que si on a accès aux éléments du récepteur triphasé).

Pour un récepteur triphasé branché sur une ligne 4 fils, un seul wattmètre suffit.

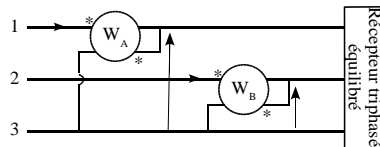
Montage :



Pour connaître la puissance P absorbée par le récepteur, il suffit de multiplier par 3 la valeur indiquée par le wattmètre.

Méthode des 2 wattmètres :

Montage :



Le wattmètre W_A mesure la puissance P_A , le wattmètre W_B mesure la puissance P_B .

On montre que : **la puissance active P** absorbée par le récepteur triphasé est $P = P_A + P_B$.

La puissance réactive Q absorbée par le récepteur est $Q = \sqrt{3} (P_A - P_B)$.

VI.2 Les différentes puissances en triphasé :

Pour le triphasé, les grandeurs U, tension composée et I, courant en ligne, peuvent toujours être mesurés. C'est pourquoi, toutes les formules donnant les différents types de puissances utilisent ces grandeurs.

La puissance active P : $P = \sqrt{3} U I \cos \varphi$ en [W].

La puissance réactive Q : $Q = \sqrt{3} U I \sin \varphi$ en [var]. Si P et fp connus : $Q = P \tan \varphi$

La puissance apparente S : $S = \sqrt{3} U I$ en [VA]

Le facteur de puissance fp ($\cos \varphi$) : $fp = \frac{P}{S}$

VI.3 Puissance dissipée par effet Joule :

Un élément d'un récepteur triphasé a pour résistance R.

S'il est **couplé en étoile**, la puissance dissipée par effet Joule sera $P_{J*} = 3 R I^2$.

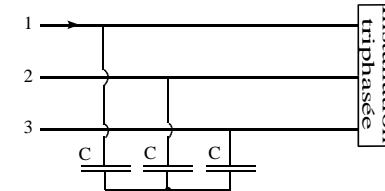
S'il est **couplé en triangle**, la puissance dissipée par effet Joule sera $P_{J\Delta} = R I^2$.

Si on appelle r, **la résistance mesurée entre deux phases**, la puissance dissipée par effet Joule par ce récepteur est $P_J = \frac{3}{2} r I^2$ quelque soit le couplage.

VII RELÈVEMENT DU FACTEUR DE PUISSANCE fp :

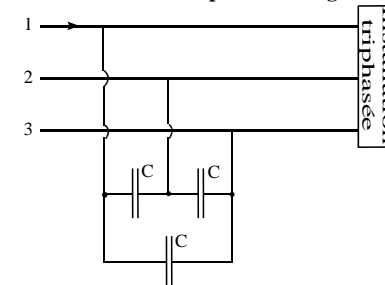
Lorsque le facteur de puissance fp est inférieur à 0,93, EDF taxe ce mauvais facteur de puissance. Pour relever le facteur de puissance de **fp** à **fp'** (plus fp' s'approche de 1, meilleur c'est), il faut placer une batterie de condensateurs C en tête de l'installation. On détermine la capacité C d'un condensateur en utilisant la relation ci-dessous :

La batterie de condensateurs est couplée en étoile (rare) :



$$C = \frac{P (\tan \varphi - \tan \varphi')}{U^2 \omega}$$

La batterie de condensateurs est couplée en triangle :



$$C = \frac{P (\tan \varphi - \tan \varphi')}{3 U^2 \omega}$$

VIII THÉORÈME DE BOUCHEROT :

Pour une installation comportant n récepteurs triphasés équilibrés,

la puissance active totale P est : $P = \sum P_n$,

la puissance réactive totale Q est : $Q = \sum Q_n$,

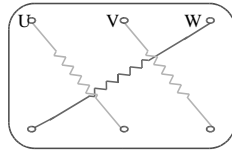
la puissance apparente S est : $S = \sqrt{(\sum P_n)^2 + (\sum Q_n)^2}$.

IX COUPLAGE DE RÉCEPTEURS TRIPHASÉS :

Certains récepteurs triphasés ont une plaque à bornes permettant un couplage étoile ou triangle. A partir du réseau triphasé dont on dispose, on effectue un couplage adapté au réseau.

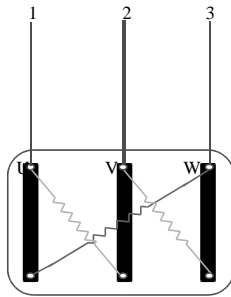
Exemple : plaque à bornes d'un moteur triphasé asynchrone **230 V / 400 V**.

(Rappel : cela signifie que la tension nominale d'un enroulement est de **230 V**)



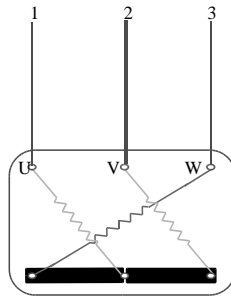
On dispose d'un **réseau triphasé 133 V / 230 V** :

Pour qu'un enroulement soit alimenté sous tension nominale (230V), il faut le **coupler en triangle** car la tension composée U du réseau est de 230V :



On dispose d'un **réseau triphasé 230 V / 400 V** :

Pour qu'un enroulement soit alimenté sous tension nominale, il faut le **coupler en étoile** car la tension simple V du réseau est de 230V :

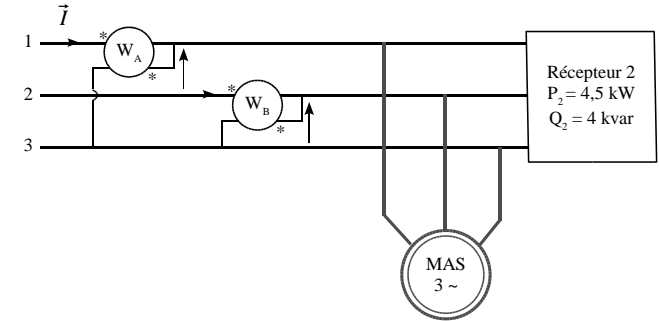


X EXERCICE DE SYNTHÈSE :

Une installation triphasée 230 V / 400 V ; 50 Hz est composée :

d'un moteur asynchrone triphasé 230 V / 400 V (MAS) de puissance utile $P_U = 3 \text{ kW}$, $\eta = 91 \%$ et de facteur de puissance $fp = 0,86$.

d'un récepteur triphasé équilibré qui absorbe la puissance active $P_2 = 4,5 \text{ kW}$ et la puissance réactive $Q_2 = 4 \text{ kvar}$.



1- Comment doivent-êtr couplés les enroulements du moteur triphasé :

Couplage étoile (230 V aux bornes d'un enroulement ce qui correspond à la tension simple V du réseau).

2- Calculer la puissance électrique P_A absorbée par le moteur : $\eta = \frac{P_U}{P_A} \Rightarrow P_A = \frac{P_U}{\eta} = \frac{3 \cdot 10^3}{0,91} = 3,3 \text{ kW}$

3- Calculer la puissance réactive Q_M absorbée par le moteur :

$$Q_M = P \tan \varphi \text{ avec } \cos \varphi = fp = 0,86 \quad Q_M = P \tan(\cos^{-1} 0,86) = 1,96 \text{ kvar}$$

4- Calculer la puissance active totale P absorbée par l'installation :

$$\text{Boucherot : } P = P_A + P_M \quad P = 3,3 \cdot 10^3 + 4,5 \cdot 10^3 = 7,8 \text{ kW}$$

5- Calculer la puissance réactive totale Q absorbée par l'installation :

$$\text{Boucherot : } Q = Q_M + Q_2 \quad Q = 1,96 \cdot 10^3 + 4 \cdot 10^3 = 5,96 \text{ kvar}$$

6- En déduire la puissance apparente totale S de l'installation :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad S = \sqrt{(7,8 \cdot 10^3)^2 + (5,96 \cdot 10^3)^2} = 9,8 \text{ kVA}$$

7- En déduire l'intensité en ligne I dans un fil de phase.

$$S = \sqrt{3} U I \Rightarrow I = \frac{S}{\sqrt{3} U} \quad I = \frac{9,8 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \times 400} = 14,2 \text{ A}$$

8- Calculer le facteur de puissance fp de l'installation :

$$fp = \frac{P}{S} \quad fp = \frac{7,8 \cdot 10^3}{9,8 \cdot 10^3} = 0,796$$

9- Qu'indiquent les wattmètres A et B ?

$$\text{On sait que : } \begin{aligned} P &= P_A + P_B \\ Q &= \sqrt{3} (P_A - P_B) \end{aligned} \quad \text{On en déduit que } \begin{aligned} P_A &= \frac{\sqrt{3} P + Q}{2 \sqrt{3}} \\ P_B &= \frac{\sqrt{3} P - Q}{2 \sqrt{3}} \end{aligned} \quad \text{soit : } \begin{aligned} P_A &= 5,62 \text{ kW} \\ P_B &= 2,18 \text{ kW} \end{aligned}$$

10- Quelle doit-êtr la valeur de la capacité C d'une batterie de condensateurs C couplés en triangle pour relever le facteur de puissance de $fp = 0,796$ à $fp' = 0,95$?

$$C = \frac{P (\tan \varphi - \tan \varphi')}{3 \omega U^2} \quad \text{soit } C = \frac{7,8 \cdot 10^3 (\tan(\cos^{-1} 0,796) - \tan(\cos^{-1} 0,95))}{3 \times 2 \cdot \pi \times 50 \times 400^2} = 22,5 \text{ } \mu\text{F}$$