

1. Présentation.

1.1. Avantages par rapport au monophasé.

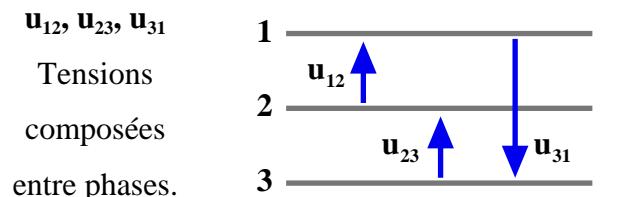
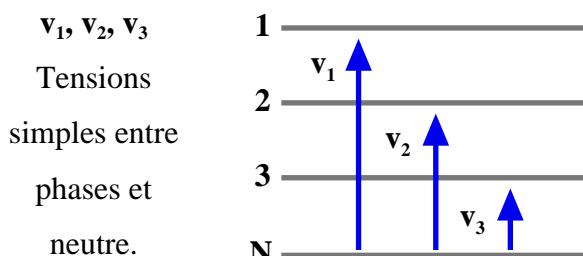
Les machines triphasées ont des puissances de plus de **50 %** supérieures aux machines monophasées de même masse et donc leurs prix sont moins élevés (le prix est proportionnel à la masse de la machine).

Lors du transport de l'énergie électrique, les pertes sont moindres en triphasé.

1.2. Distribution.

La distribution se fait à partir de quatre bornes : trois bornes de **phase** repérées par **1, 2, 3** ou **A, B, C** ou **R, S, T** et une borne de **neutre N**.

1.3. Présentation.

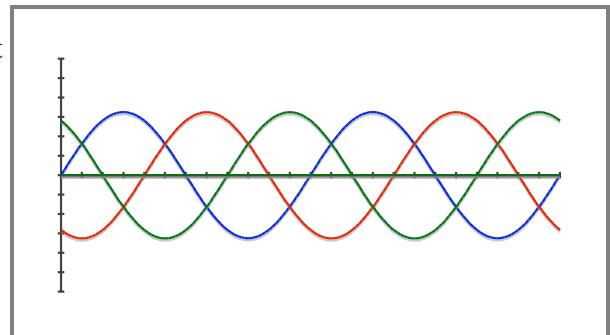


2. Étude des tensions simples.

2.1. Observation à l'oscilloscope.

- Les tensions sont déphasées de $\frac{2\pi}{3}$ les unes par rapport aux autres.
- Elles ont la même valeur efficace V .
- On dit que le système est équilibré.

$v_1 : \text{---}$, $v_2 : \text{---}$, $v_3 : \text{---}$



2.2. Équations horaires et vecteurs de Fresnel associés.

$$v_1(t) = V\sqrt{2} \sin(\omega t)$$

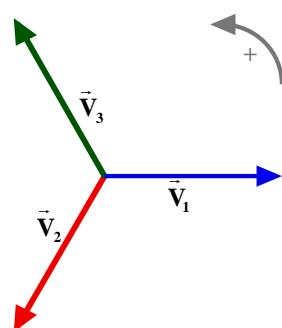
$$v_2(t) = V\sqrt{2} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$v_3(t) = V\sqrt{2} \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$\vec{V}_1 (V ; 0)$$

$$\vec{V}_2 \left(V ; -\frac{2\pi}{3} \right)$$

$$\vec{V}_3 \left(V ; +\frac{2\pi}{3} \right)$$



Le système est **équilibré direct**.

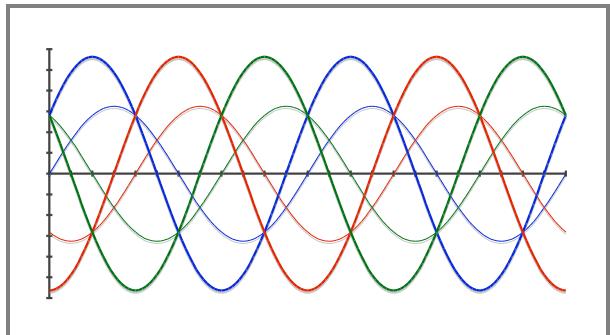
- **Équilibré** : la construction de **Fresnel** montre que $\vec{V}_1 + \vec{V}_2 + \vec{V}_3 = \vec{0} \Leftrightarrow v_1 + v_2 + v_3 = 0$.
- **Direct** : un observateur immobile voit les vecteurs défiler devant lui dans l'ordre **1, 2, 3**.

3. Étude des tensions composées.

3.1. Observation à l'oscilloscope.

- Les tensions sont déphasées de $\frac{2\pi}{3}$ les unes par rapport aux autres.
- Elles ont la même valeur efficace U .
- On dit que le système est équilibré.

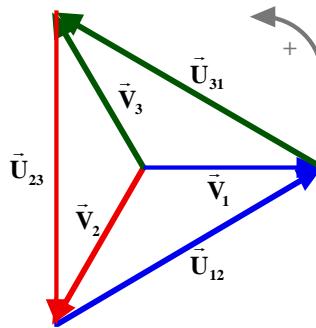
$u_{12} : \text{---}$, $u_{23} : \text{---}$, $u_{31} : \text{---}$



- Les tensions composées ont la même fréquence que les tensions simples.

3.2. Équations horaires et vecteurs de Fresnel associés.

$$\begin{aligned} u_{12}(t) &= v_1(t) - v_2(t) \Leftrightarrow \vec{U}_{12} = \vec{V}_1 - \vec{V}_2 \\ u_{23}(t) &= v_2(t) - v_3(t) \Leftrightarrow \vec{U}_{23} = \vec{V}_2 - \vec{V}_3 \\ u_{31}(t) &= v_3(t) - v_1(t) \Leftrightarrow \vec{U}_{31} = \vec{V}_3 - \vec{V}_1 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \vec{U}_{12} &\left(U ; \frac{\pi}{6} \right) \\ \vec{U}_{23} &\left(U ; -\frac{\pi}{2} \right) \\ \vec{U}_{31} &\left(U ; \frac{5\pi}{6} \right) \end{aligned}$$

$$u_{12}(t) = U\sqrt{2} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right); \quad u_{23}(t) = U\sqrt{2} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right); \quad u_{31}(t) = U\sqrt{2} \sin\left(\omega t + \frac{5\pi}{6}\right)$$

Le système est **équilibré direct**.

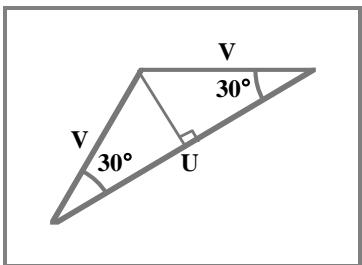
- **Équilibré** : la construction de **Fresnel** montre que $\vec{U}_{12} + \vec{U}_{23} + \vec{U}_{31} = \vec{0} \Leftrightarrow u_{12} + u_{23} + u_{31} = 0$.
- **Direct** : un observateur immobile voit les vecteurs défiler devant lui dans l'ordre 1, 2, 3.

4. Relation entre U et V .

Dans le triangle rectangle, on peut écrire : $\cos 30^\circ = \frac{U/2}{V} = \frac{U}{2V}$, c'est-à-dire :

$$U = 2V \cos 30^\circ = 2V \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ d'où :}$$

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



5. Récepteurs triphasés équilibrés.

5.1. Définitions.

- Les récepteurs triphasés équilibrés sont des récepteurs constitués de trois dipôles identiques, d'impédance complexe $Z = [Z; \varphi]$. Chaque dipôle du récepteur triphasé possède la même impédance Z et le même facteur de puissance $\cos\varphi$.

- Les courants par phase **J** sont les courants qui traversent les éléments **Z** du récepteur triphasé.
- Les courants en ligne **I** sont les courants qui passent dans les fils du réseau triphasé.

5.2. Théorème de Boucherot.

Les puissances active et réactive absorbées par un groupement de dipôles sont respectivement égales à la somme des puissances actives et réactives absorbées par chaque élément du groupement.

D'après le théorème de **Boucherot** :

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \text{ et } Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 ;$$

Pour un récepteur triphasé équilibré :

$$P_1 = P_2 = P_3 \text{ et } Q_1 = Q_2 = Q_3 ;$$

Finalement :

$$P = 3P_1 \text{ et } Q = 3Q_1 .$$

6. Couplages.

6.1. Couplage étoile.

6.1.1. Montage.

La loi des nœuds permet d'écrire :

$$i_1 + i_2 + i_3 = i_N .$$

Il s'agit des mêmes impédances, d'où :

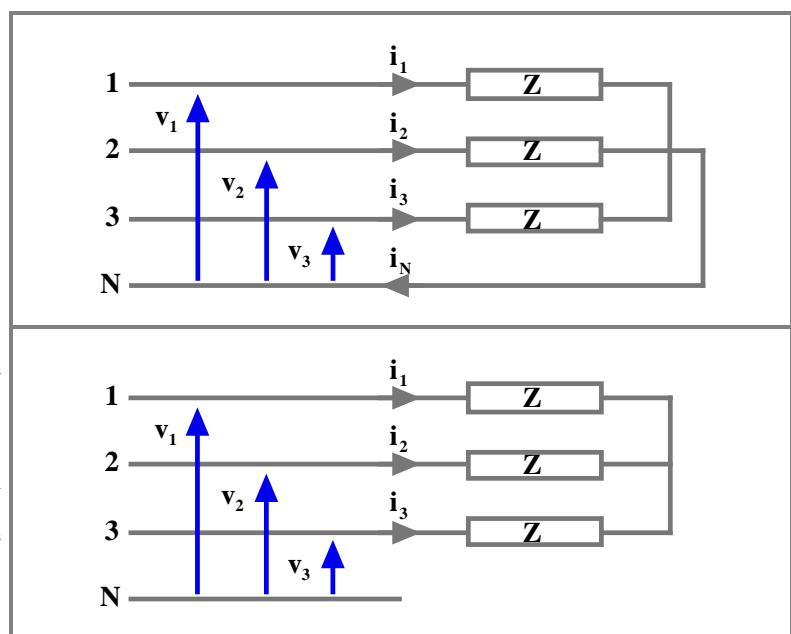
$$i_1 + i_2 + i_3 = 0 ,$$

par conséquent :

$$i_N = 0 .$$

Le courant dans le fil de neutre est nul. Le fil de neutre n'est donc pas nécessaire.

Pour un système triphasé équilibré le fil de neutre ne sert à rien. Il peut donc être enlevé sur le schéma.



6.1.2. Construction de Fresnel des courants.

$$i_1(t) = I\sqrt{2} \sin(\omega t - \varphi)$$

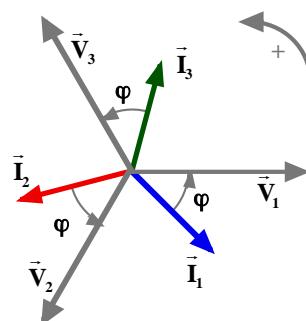
$$i_2(t) = I\sqrt{2} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3} - \varphi\right)$$

$$i_3(t) = I\sqrt{2} \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3} - \varphi\right)$$

$$\vec{I}_1 (I ; -\varphi)$$

$$\vec{I}_2 \left(I ; -\frac{2\pi}{3} - \varphi \right)$$

$$\vec{I}_3 \left(I ; +\frac{2\pi}{3} - \varphi \right)$$

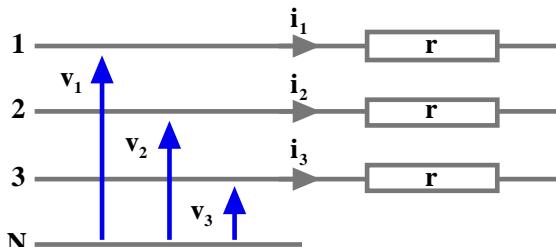


6.1.3. Puissances.

Phase du récepteur	$P_1 = VI \cos \varphi$	$Q_1 = VI \sin \varphi$	$\varphi = \varphi_{i/v}$ et $V = \frac{U}{\sqrt{3}}$	
Récepteur complet	$P = 3P_1 = 3VI \cos \varphi$	$Q = 3Q_1 = 3VI \sin \varphi$		
	$P = \sqrt{3}VI \cos \varphi$	$Q = \sqrt{3}VI \sin \varphi$		
Puissance apparente	$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3}VI = 3VI$			
Facteur de puissance	$k = \frac{P}{S} = \cos \varphi$			

6.1.4. Pertes par effet Joule.

On ne considère ici que la partie résistive du récepteur.

Phase du récepteur	$P_{J1} = rI^2$	
Résistance entre phases	$R = 2r$	
Récepteur complet	$P_J = 3P_{J1} = 3rI^2 = \frac{3}{2}RI^2$	
Couplage étoile	$P_J = \frac{3}{2}RI^2$	

6.2. Couplage triangle.

6.2.1. Montage.

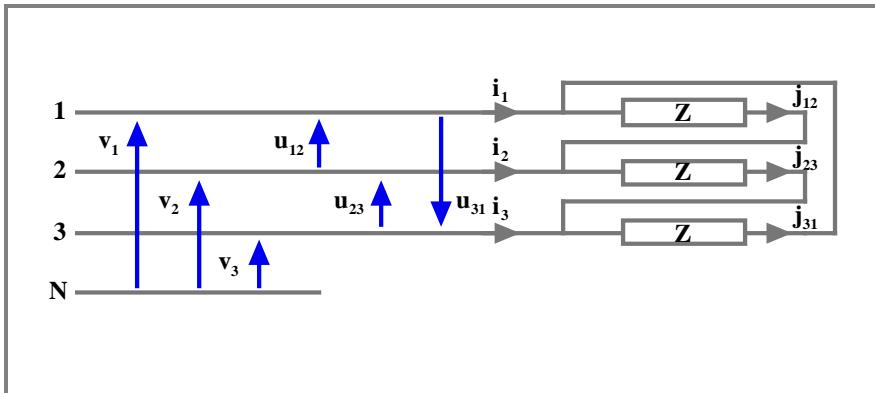
Il s'agit des mêmes impédances,
d'où :

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

et

$$j_{12} + j_{23} + j_{31} = 0.$$

Le fil de neutre n'est pas nécessaire.



6.2.2. Construction de Fresnel des courants.

$$i_1(t) = j_{12}(t) - j_{31}(t) \Leftrightarrow \vec{I}_1 = \vec{J}_{12} - \vec{J}_{31}$$

$$i_2(t) = j_{23}(t) - j_{12}(t) \Leftrightarrow \vec{I}_2 = \vec{J}_{23} - \vec{J}_{12}$$

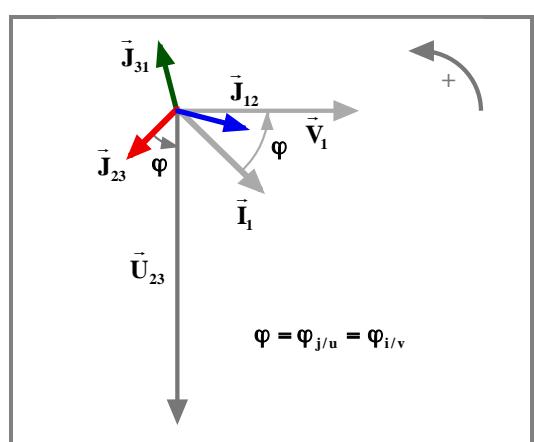
$$i_3(t) = j_{31}(t) - j_{23}(t) \Leftrightarrow \vec{I}_3 = \vec{J}_{31} - \vec{J}_{23}$$

Le système triphasé est équilibré, donc :

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

Pour le couplage triangle, on a :

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

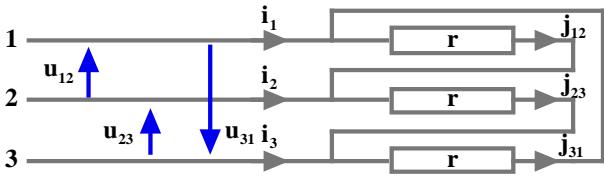


6.2.3. Puissances.

Phase du récepteur	$P_1 = UJ \cos \varphi$	$Q_1 = UJ \sin \varphi$	$\varphi = \varphi_{j/u}$ et $J = \frac{I}{\sqrt{3}}$	
Récepteur complet	$P = 3.P_1 = 3UJ \cos \varphi$	$Q = 3.Q_1 = 3UJ \sin \varphi$		
	$P = \sqrt{3}UI \cos \varphi$	$Q = \sqrt{3}UI \sin \varphi$		
Puissance apparente	$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3}UI = 3UJ$			
Facteur de puissance	$k = \frac{P}{S} = \cos \varphi$			

6.2.4. Pertes par effet Joule.

On ne considère ici que la partie résistive du récepteur.

Phase du récepteur	$P_{J1} = rJ^2$	
Résistance entre phases	$R = \frac{2}{3}r$	
Récepteur complet	$P_J = 3P_{J1} = 3rJ^2 = \frac{3}{2}RI^2$	
Couplage triangle	$P_J = \frac{3}{2}RI^2$	

6.3. Remarques.

Quel que soit le couplage, les puissances s'expriment de la même façon en fonction de la tension composée **U** et du courant en ligne **I**.

Ces deux grandeurs sont les seules qui soient toujours mesurables quel que soit le couplage, même inconnu, du récepteur utilisé.

6.4. Couplage d'un récepteur sur le réseau.

Supposons que vous voulez coupler un récepteur triphasé au réseau **230 V / 400 V – 50 Hz** et que la tension nominale pour chaque phase du récepteur soit de **400 V**. Quel couplage étoile ou triangle faut-il choisir ? Les deux couplages sont-ils possibles ?

7. Relèvement du facteur de puissance en triphasé.

7.1. Couplage des condensateurs en triangle.

➤ Tension aux bornes d'un condensateur :

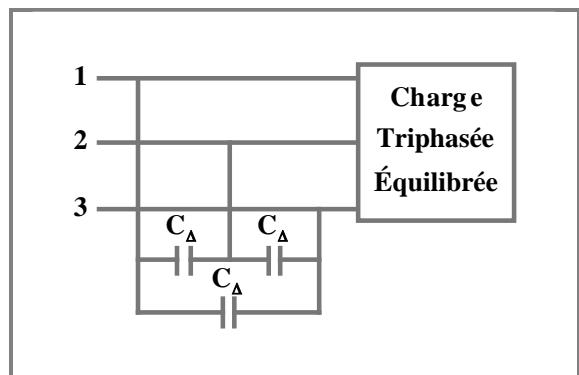
$$U.$$

➤ Puissance réactive absorbée par un condensateur :

$$Q_{C1} = -C_{\Delta} \omega U^2.$$

➤ Puissance réactive absorbée par les trois condensateurs :

$$Q_C = 3Q_{C1} = -3C_{\Delta} \omega U^2.$$



	Puissance active	Puissance réactive	Facteur de puissance
Charge seule	P	$Q = P \tan \varphi$	$\cos \varphi$
Trois condensateurs	0	$Q_C = -3C_\Delta \omega U^2$	0
Charge + condensateurs	$P' = P$	$Q' = Q + Q_C = P \tan \varphi'$	$\cos \varphi'$

On en déduit la capacité du condensateur de la manière suivante :

$$Q_C = -3C_\Delta \omega U^2 = Q' - Q = P \tan \varphi' - P \tan \varphi = P(\tan \varphi' - \tan \varphi) ;$$

par conséquent :

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

7.2. Couplage des condensateurs en étoile.

➤ Tension aux bornes d'un condensateur :

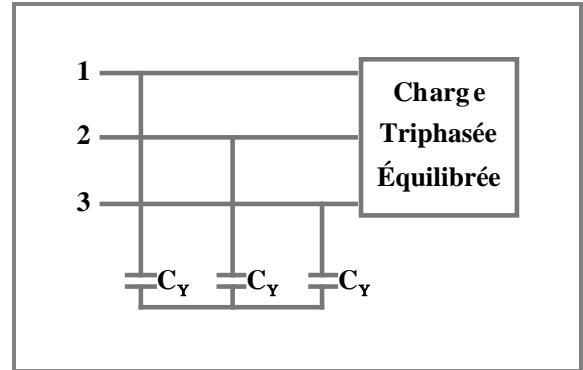
$$V.$$

➤ Puissance réactive absorbée par un condensateur :

$$Q_{C1} = -C_Y \omega V^2.$$

➤ Puissance réactive absorbée par les trois condensateurs :

$$Q_C = 3Q_{C1} = -3C_Y \omega V^2.$$



	Puissance active	Puissance réactive	Facteur de puissance
Charge seule	P	$Q = P \tan \varphi$	$\cos \varphi$
Trois condensateurs	0	$Q_C = -3C_Y \omega V^2$	0
Charge + condensateurs	$P' = P$	$Q' = Q + Q_C = P \tan \varphi'$	$\cos \varphi'$

On en déduit la capacité du condensateur de la manière suivante :

$$Q_C = -3C_Y \omega V^2 = Q' - Q = P \tan \varphi' - P \tan \varphi = P(\tan \varphi' - \tan \varphi) ;$$

par conséquent :

$$C_Y = \frac{P(\tan \varphi - \tan \varphi')}{3\omega V^2} = \frac{P(\tan \varphi - \tan \varphi')}{\omega U^2} = 3C_\Delta.$$

Le couplage en étoile est donc moins intéressant puisque la capacité des condensateurs est trois fois plus grande que pour le couplage en triangle. Plus la capacité est grande, plus le condensateur est volumineux et onéreux.