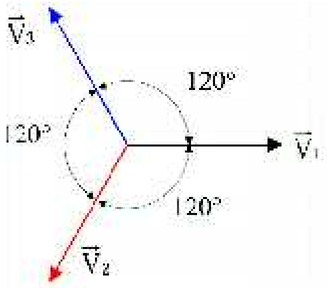
LES SYSTEMES TRIPHASES

1. Définition :

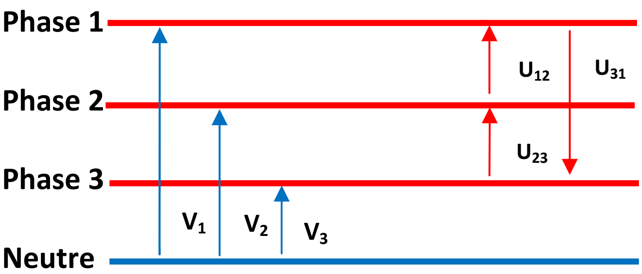
On appelle **tensions (**ou **courants) triphasées**, trois tensions (ou courants) sinusoïdales alternatives, de même fréquence, de même valeur efficace et régulièrement déphasées de **2π/3 (120°)**.



$$v_1(t) = V\sqrt{2}\sin(\omega t)$$
$$v_2(t) = V\sqrt{2}\sin(\omega t - \frac{2\pi}{3})$$
$$v_3(t) = V\sqrt{2}\sin(\omega t - \frac{4\pi}{3})$$

2. Tensions simples / Tensions composées :

2.1. Définition :



Ci-contre est schématisé un système de tensions triphasé à 4 fils. Les trois premiers sont appelés **fils de ligne** ou **fils de phase** et le dernier constitue le **neutre.**

Les tensions **V_1, V_2** et **V_3** existant chacune entre un fil de phase et le neutre sont appelées **tensions simples.**
Les tensions **U_{12}, U_{23}** et **U_{31}** existant chacune entre deux fils de phase sont appelées **tensions composées.**
Les **tensions composées** sont liées aux **tensions simples :**

$$U_{12} = V_1 - V_2 \ ; \ U_{23} = V_2 - V_3 \ \text{ et } \ U_{31} = V_3 - V_1$$

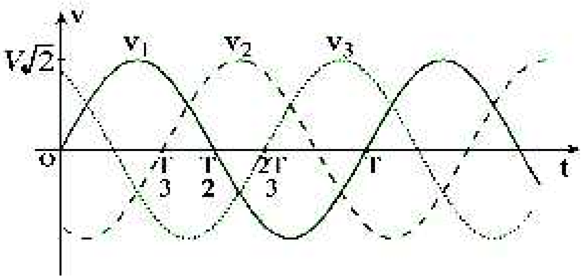
Si le système est équilibré :

$$V_1 = V_2 = V_3 = V$$

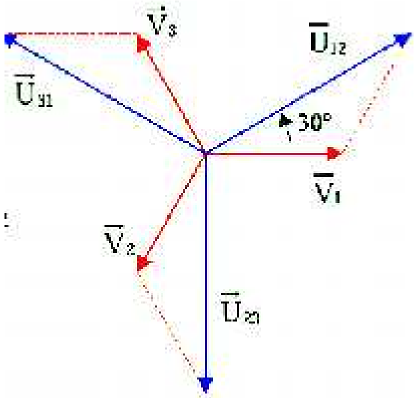
$$U_{12} = U_{23} = U_{31} = U$$

2.2. Représentation cartésienne :

$$v_1(t) = V\sqrt{2}\sin(\omega t)$$
$$v_2(t) = V\sqrt{2}\sin(\omega t - \frac{2\pi}{3})$$
$$v_3(t) = V\sqrt{2}\sin(\omega t - \frac{4\pi}{3})$$



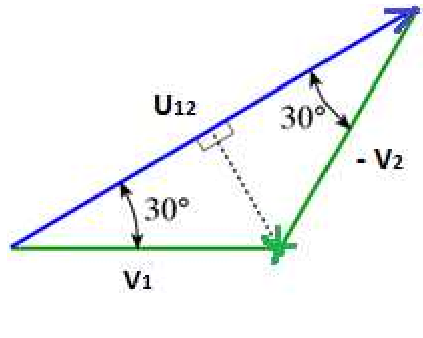
2.3. Representation de Fresnel :



Le diagramme de **Fresnel** montre que :

Les déphasages entre $\mathbf{U_{12}}$ et $\mathbf{V_1}$; $\mathbf{U_{23}}$ et $\mathbf{V_2}$ et $\mathbf{U_{31}}$ et $\mathbf{V_3}$ sont égaux. Le système de tensions composées est en avance de **π/6 rad** (c'est-à-dire **30^0**) sur le système de tensions simples

2.4. Relation entre U et V :

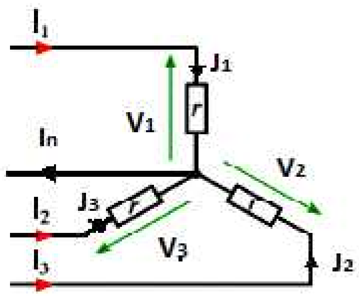


$$\text{Cos } 30^0 = \cos\frac{\pi}{6} = \frac{U/2}{V} \qquad U/2 = V\cos\frac{\pi}{6} \text{ avec } \cos\frac{\pi}{6} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\Longrightarrow \frac{U}{2} = \frac{V\sqrt{3}}{2} \text{ d'où } \boxed{U = \sqrt{3}\,V}$$

3. Couplage de récepteurs en triphasé :

3.1. Couplage étoile :



Dans un couplage étoile, chaque élément est traversé par le courant qui parcourt la ligne à laquelle il est relié : $\boxed{I = J}$

La tension aux bornes de chaque récepteur est la tension simple soit :

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

Avec le **neutre** on a: $\mathbf{I_1 + I_2 + I_3 = I_N}$, si le réseau est **équilibré** aucun courant ne traverse le neutre $\mathbf{I_N = 0}$ alors $\mathbf{I_1 + I_2 + I_3 = 0}$.

❖ **Cas d'un récepteur déséquilibré :**

Lorsque les éléments constituant un **récepteur triphasé** ne sont pas **identiques**, les courants dans chaque phase sont différents. Leur somme n'est plus nulle ($\mathbf{I_1 + I_2 + I_3 \neq 0}$) et un courant circule dans le **fil neutre,** on dit que **l'installation est déséquilibrée.** Dans une telle installation, le fil neutre **ne peut pas être supprimé**.

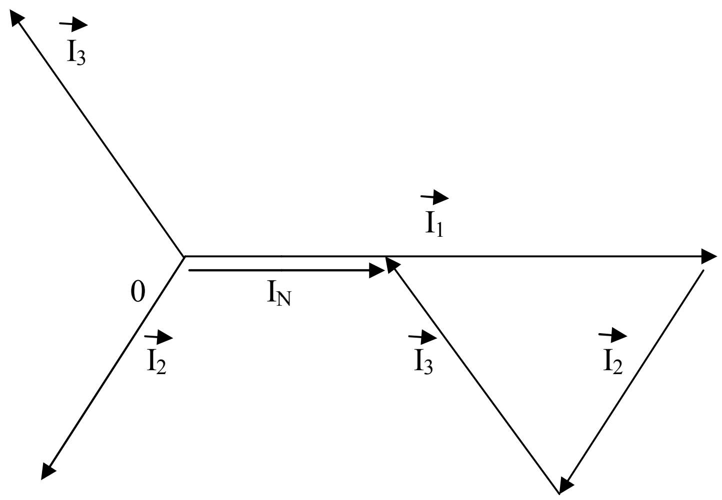
Remarque :

En fonctionnement partiel, une **installation domestique** est toujours **déséquilibrée** et il faut éviter toute **coupure**, même accidentelle du **neutre**.

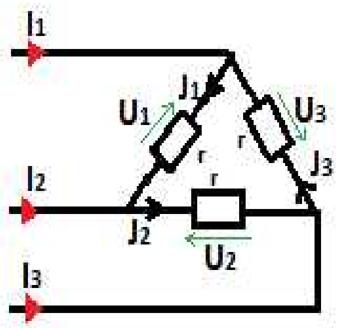
Le conducteur neutre ne doit jamais comporter de fusible.

La détermination du courant circulant dans le fil neutre peut se faire graphiquement avec le diagramme de Fresnel.

$\vec{I}_N$ est en **phase** avec $\vec{I}_1$ $\quad \vec{I}_N = \vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3$



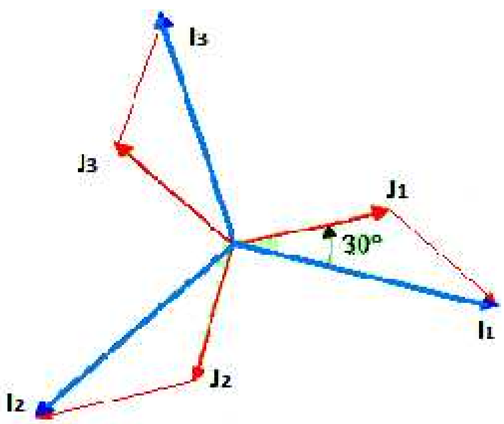
3.2. Couplage triangle :



Les éléments sont soumis à la tension entre phase c'est-à-dire la tension composée du réseau de valeur efficace : $U = \sqrt{3}\,V$

Le courant qui les traverse n'est plus le courant en ligne et il est noté **J**.
La loi des nœuds donne : $I_1 = J_1 - J_3 \quad I_2 = J_2 - J_1 \quad I_3 = J_3 - J_2$

3.3. Diagramme de Fresnel des courants :



Le diagramme de Fresnel donne: $I_1 = J_1 - J_3$; $I_2 = J_2 - J_1$ et $I_3 = J_3 - J_2$

On constate que le système des courants en ligne (**I_1; I_2** et **I_3**) est en **retard** de **$\pi/6$** sur le système des courants (**J_1**; **J_2** et **J_3**) traversant les éléments.

Ainsi le triangle isocèle donne : **$I = \sqrt{3}\,J$**

❖ **Tableau récapitulatif :**

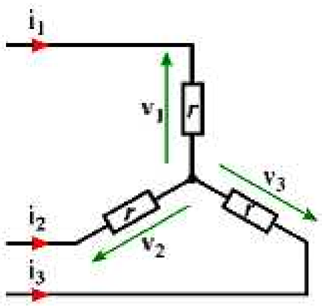
Couplage	Etoile équilibré	Triangle équilibré
Courants	$I = J$	$I = \sqrt{3}\,J$
Tensions	$U = \sqrt{3}\,V$	$U = V$
Neutre	Potentiel du point commun	Non utilisé

4. Puissances en triphasé :

Un récepteur triphasé équilibré peut être considéré comme étant l'association de trois récepteurs monophasés identiques d'où :

$\boxed{P = \sum P_i}$ $\boxed{S = \sum S_i}$ $\boxed{Q = \sum Q_i}$

4.1. Couplage étoile :



Chaque élément est soumis à la tension **V** et traversé par un courant **I.**

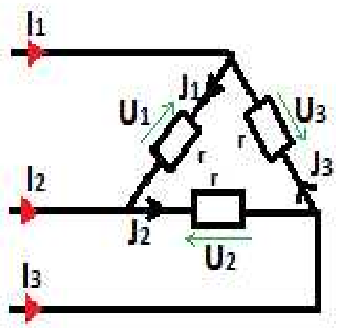
La puissance active est : $P= 3\,P_1 = 3\,VI\cos\varphi = 3\,\frac{U}{\sqrt{3}}\,I\cos\varphi = \sqrt{3}\,UI\cos\varphi$

La puissance réactive est : $Q= 3Q_1 = 3\,VI\sin\varphi = 3\,\frac{U}{\sqrt{3}}\,I\sin\varphi = \sqrt{3}\,UI\sin\varphi$

La puissance apparente est : $S = 3\,S_1 = 3\,VI = 3\,\frac{U}{\sqrt{3}}\,I = \sqrt{3}\,UI$

$\boxed{P= \sqrt{3}\,UI\cos\varphi}$ $\boxed{Q= \sqrt{3}\,UI\sin\varphi}$ $\boxed{S = \sqrt{3}\,UI}$ $\boxed{\cos\varphi = P/S}$

4.2. Couplage triangle :



Chaque élément est soumis à la tension **U** et traversé par un courant **J.**

La puissance active est : $P= 3\,P_1 = 3\,UJ\cos\varphi = 3\,\frac{I}{\sqrt{3}}\,U\cos\varphi = \sqrt{3}\,UI\cos\varphi$

La puissance réactive est : $Q=3Q_1 = 3\,UJ\sin\varphi = 3\,\frac{I}{\sqrt{3}}\,U\sin\varphi = \sqrt{3}\,UI\sin\varphi$

La puissance apparente est : $S = 3\,S_1 = 3\,UJ = 3\,\frac{I}{\sqrt{3}}\,U = \sqrt{3}\,UI$

$\boxed{P= \sqrt{3}\,UI\cos\varphi}$ $\boxed{Q= \sqrt{3}\,UI\sin\varphi}$ $\boxed{S = \sqrt{3}\,UI}$ $\boxed{\cos\varphi = P/S}$

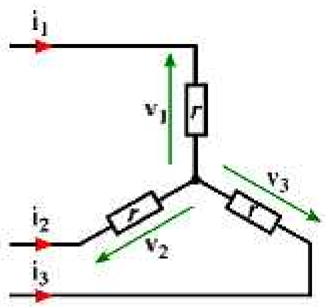
❖ **En résumé :**

Quelque soit le mode de couplage du récepteur les **puissances actives**, **réactives** et **apparentes** s'expriment de la même façon.

4.3. Puissance perdue par effet Joule :

Dans ce cas, on considère que le récepteur est formé par trois éléments purement résistifs.

4.3.1. Couplage étoile :



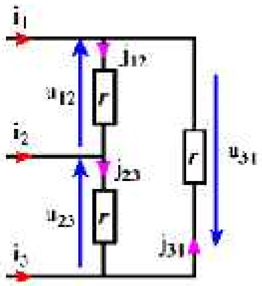
Pour un élément : $\mathbf{p = VI = rI^2}$

Pour les trois éléments on a : $\mathbf{P = 3p = 3VI = 3rI^2}$

Soit **R** la résistance équivalente entre **Phases 1** et **2** : $\mathbf{R = 2r\ ;\ (r = \frac{R}{2})}$

$\mathbf{P = 3\frac{R}{2}I^2}$ $\boxed{\mathbf{P = \frac{3}{2}RI^2}}$

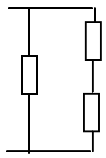
4.3.2. Couplage triangle :



Pour un élément : $\mathbf{p = U\,J = r\,J^2}$

Pour les éléments on a : $\mathbf{P = 3p = 3UJ = 3r\,J^2}$

Soit **R** la résistance entre **phases 1** et **2 :**



$\mathbf{R = r // 2r\ ;\ R = \frac{r2r}{r+2r} = 2r^2/3r = \frac{2}{3}r}$ $\mathbf{R = \frac{2}{3}r \Rightarrow r = \frac{3}{2}R}$

$\mathbf{P = 3\frac{3}{2}R\,(\frac{I}{\sqrt{3}})^2 = \frac{3}{2}RI^2}$ $\boxed{\mathbf{P = \frac{3}{2}RI^2}}$

Remarque :

Quelque soit le mode de couplage la puissance perdue par effet Joule s'exprime de la même façon en fonction :

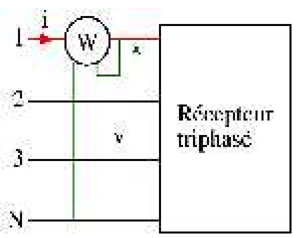
- de la tension composée **U**,
- du courant en ligne **I**

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

5. Mesure de puissance en triphasé.

Le **wattmètre** permet de mesurer la puissance active **P** en monophasé ou en triphasé. Il possède au moins quatre bornes : deux bornes pour mesurer la **tension** et deux autres bornes pour mesurer le **courant.** Il y a donc deux branchements à réaliser : un branchement en série (comme un **ampèremètre**) pour mesurer le courant et un branchement en parallèle (comme un **voltmètre**) pour mesurer la tension. Le **wattmètre** tient compte **du déphasage**.

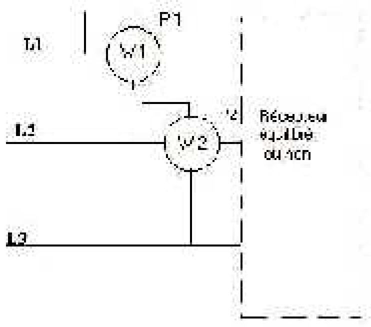
5.1. Méthode d'un wattmètre (récepteur équilibré):



La puissance **P** indiquée par le wattmètre est celle d'une phase, en multipliant par trois (**3**) cette valeur on obtient la **puissance active totale :** $\boxed{\mathbf{P = 3\,P_1 = 3\,VI\cos\varphi}}$

Avec ce montage le **neutre** doit toujours exister.

5.2. Méthode des deux wattmètres (récepteur équilibré ou non):



Cette méthode permet de mesurer la puissance triphasée d'un circuit quelconque avec ou sans neutre.

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

Remarque :

Selon le **facteur de puissance** du circuit mesuré, il se peut qu'un des wattmètres dévie en **sens inverse**. Dans ce cas il faut inverser les connexions du **circuit tension** et **soustraire** la valeur lue de celle de l'autre appareil de mesure.

5.3. Méthode de Boucherot :

Dans une installation électrique triphasée on a :

$\boxed{P_T = \sum P_i}$ $\boxed{Q_T = \sum Q_i}$ $\boxed{S_T = (\sqrt{P^2 + Q^2})}$

6. Facteur de puissance :

6.1. Mesure du facteur de puissance :

Le facteur de puissance définit le rapport **P /S** et est représenté par **cos φ** (**φ** déphasage entre l'intensité du courant en ligne et la tension correspondante.

La mesure de **P** et de **Q** permet la détermination du facteur de puissance.

En effet pour la méthode des deux wattmètres on a :

$\boxed{P = P_1 + P_2}$ $\boxed{Q = (P_1 - P_2)\sqrt{3}}$ D'où $\boxed{\tan\varphi = \frac{(P1 - P2)\sqrt{3}}{P1 + P2}}$

Connaissant **tan φ** on peut en déduire **φ.**

6.2. Relèvement du facteur de puissance :

Il est souvent réalisé par des condensateurs montés en général en triangle.

Calcul de la capacité des trois condensateurs identiques utilisés pour relever le facteur de puissance **cos φ** à **cos φ' :**

Sans les condensateurs on a **:** $P = \sqrt{3}\,UI\cos\varphi$ et $Q = \sqrt{3}\,UI\sin\varphi = P\tan\varphi$

Avec les condensateurs on a : $P = \sqrt{3}\,UI\cos\varphi'$ et $Q = \sqrt{3}\,UI\sin\varphi' = P\tan\varphi'$

Les condensateurs fournissent une puissance $Qc = 3U^2C\,\omega$

La différence $Q - Q' = Qc$ provient des condensateurs donc :

$Q - Q' = Qc$ d'où $3U^2C\,\omega = P\tan\varphi - P\tan\varphi'$ soit $C = P(\tan\varphi - \tan\varphi')/3U^2\omega$

Un calcul identique appliqué à un couplage **étoile** des condensateurs montre que la valeur de la capacité à utiliser est **trois fois supérieure** à celle calculée avec un couplage **triangle** (pour obtenir le même facteur de puissance.

7. Avantages du système triphasé :

Les lignes triphasées présentent plusieurs avantages :

- Les machines triphasées ont des puissances nominales supérieures de plus de **50%** à celles des machines monophasées de même masse. Comme le prix des machines est directement lié à leurs masses, à puissances égales, une machine triphasée sera moins couteuse qu'une machine monophasée.
- La production d'énergie s'effectue donc en triphasé. Lors du transport de l'énergie électrique, il se produit une dissipation d'énergie par effet Joule. On montre qu'une ligne triphasée dissipe moins d'énergie électrique qu'une ligne monophasée (à longueur de lignes et masses du matériau constructif utilisé égales) : **le transport de l'énergie électrique s'effectue donc en triphasé.**