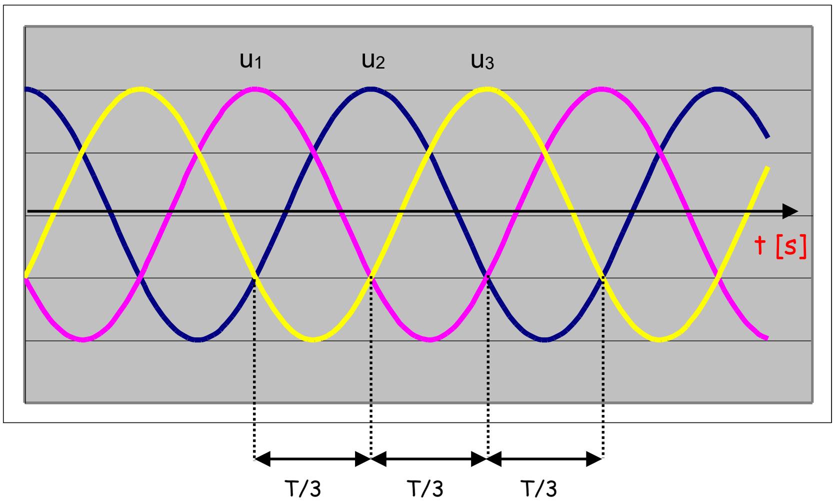
LES SYSTEMES TRIPHASES

I Distribution

Trois grandeurs sinusoïdales, de même fréquence et de même valeur efficace, forment un système triphasé, si elles sont déphasées, les unes par rapport aux autres, de 120 °, elles peuvent être représentées comme suit :

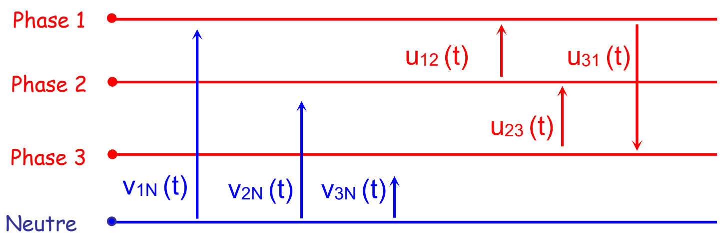


Visualisation d'un système triphasé de tensions u_1 (t), u_2 (t), et u_3 (t),

Les trois tensions peuvent s'écrire :

$u_1(t) = U\sqrt{2}\cos(\omega t)$ $\quad$ $u_2(t) = U\sqrt{2}\cos(\omega t - 2\frac{\pi}{3})$ $\quad$ $u_3(t) = U\sqrt{2}\cos(\omega t - 4\frac{\pi}{3})$

Dans le système de distribution classique, deux types de tensions sont à étudier, les tensions simples et les tensions composées. Les premières notées v (t), sont évaluées entre une phase et le neutre, les secondes, notées u (t), évaluées entre deux phases.



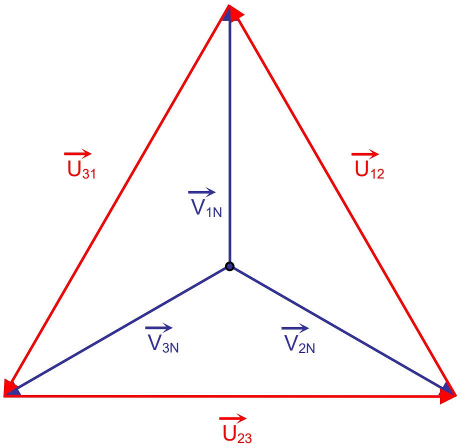
Représentation des tensions u (t) et v (t)

v (t)	v (t)	La tension entre une phase et le neutre en volts [V]
u (t)	u (t)	La tension entre deux phases en volts [V]

Les relations entre les valeurs instantanées des tensions simples et les valeurs instantanées des tensions composées sont les suivantes :

$u_{12}(t) = v_{1N}(t) - v_{2N}(t)$ $u_{23}(t) = v_{2N}(t) - v_{3N}(t)$ $u_{31}(t) = v_{3N}(t) - v_{1N}(t)$

Ces deux types de tensions représentent deux systèmes triphasés de tensions. Elles peuvent être représentées comme suit :



Représentation de Fresnel des tensions simples et composées

La valeur efficace V d'une tension simple v (t) est mesurée entre une phase et le neutre, la valeur efficace U d'une tension composée u (t) est évaluée entre deux phases.

La relation entre V, la valeur efficace des tensions simples et U, la valeur efficace des tensions composées est donnée ci-après :

$U = V\sqrt{3}$

U	La valeur efficace de la tension composée en volts [V]
V	La valeur efficace de la tension simple en volts [V]

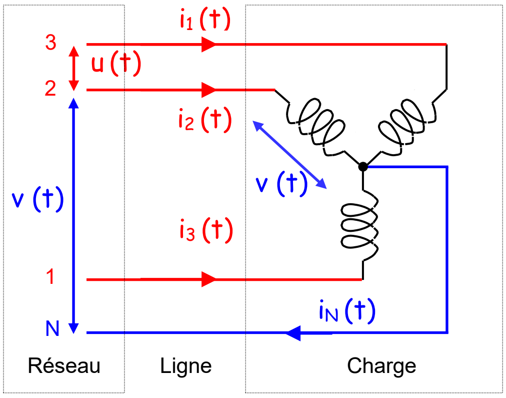
Pour décrire un réseau triphasé :

- Si deux tensions sont mentionnées, ce sont les valeurs efficaces V et U, de la tension simple v (t), et de la tension composée u (t).

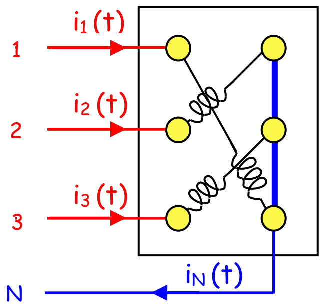
- Si une seule tension est indiquée il s'agit de la valeur efficace U de la tension composée u (t).

. II Les différents couplages

. a Le couplage en étoile



Couplage en étoile



Câblage du couplage en étoile

- Dans un couplage en étoile, les éléments sont couplés comme l'indique la figure ci-dessus.
- En régime équilibré, les valeurs efficaces I_1, I_2 et I_3 des trois courants $i_1(t)$, $i_2(t)$ et $i_3(t)$ sont égales.
- Chaque enroulement est soumis à la tension simple v (t), tension entre une phase et le neutre.
- Chaque enroulement est traversé par le courant i (t), qui parcourt la ligne à laquelle il est relié.

Si le fil du neutre est branché, la loi des nœuds s'applique au point commun du couplage.

$i_N(t) = i_1(t) + i_2(t) + i_3(t)$

$i_N(t)$ L'intensité du courant dans le fil du neutre en ampères [A]
$i_1(t)$ L'intensité du courant dans le fil de phase noté 1 en ampères [A]

$i_2(t)$ L'intensité du courant dans le fil de phase noté 2 en ampères [A]

Si le fil du neutre n'est pas branché, la loi des nœuds s'applique au point commun du couplage.

$i_1(t) + i_2(t) + i_3(t) = 0\ A$

$i_1(t)$ L'intensité du courant dans le fil de phase noté 1 en ampères [A]

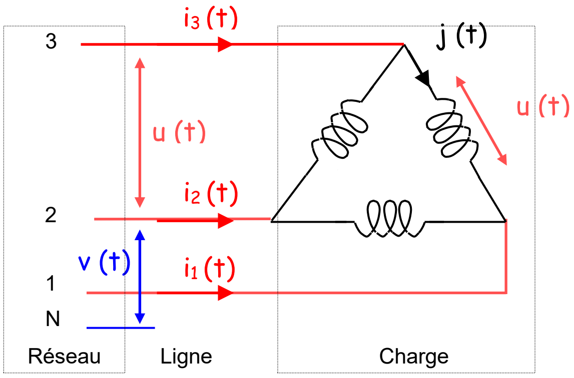
$i_2(t)$ L'intensité du courant dans le fil de phase noté 2 en ampères [A]

En régime équilibré, avec un réseau possédant quatre fils, les trois phases et le neutre, l'intensité dans le fil du neutre est nulle

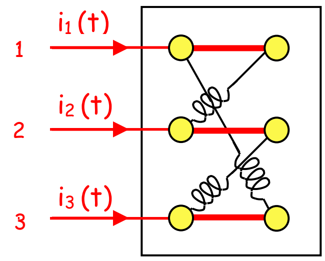
$i_N(t) = 0\ A$

$i_N(t)$ L'intensité du courant dans le neutre en ampères [A]

. b Le couplage en triangle



Couplage en triangle



Câblage du couplage en triangle

- Dans un couplage en triangle, les éléments sont couplés comme l'indique la figure ci-dessus.
- En régime équilibré, les valeurs efficaces I_1, I_2 et I_3 des trois courants i_1 (t), i_2 (t) et i_3 (t) sont égales.
- Chacun enroulement est soumis à la tension composée, u (t), tension entre deux phases.
- Chacun enroulement est traversé par un courant j (t), ce courant n'a de raison d'être que pour ce type de couplage.

La relation qui lie les valeurs efficaces I et J, des deux courants i (t) et j (t) est de la forme

$I = J\sqrt{3}$

I La valeur efficace du courant de ligne en ampères [A]
J La valeur efficace du courant dans un enroulement en triangle en ampères [A]

. III Les différentes puissances

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

La puissance active reçue par l'ensemble est donc la somme des puissances actives reçues par les trois récepteurs monophasés.

. a Le couplage en étoile

Chaque élément est soumis à une tension simple v (t), de valeur efficace V, il est également traversé par un courant de ligne i (t), de valeur efficace I. Si l'angle de déphasage entre ces deux grandeurs, est φ, sachant que cet angle ne dépend que de la nature de la charge, la puissance active consommée par l'un des trois éléments de cette charge est de la forme

$$P_i = VI.\cos\varphi$$

i = 1, 2 ou 3

Pi	La puissance électrique absorbée sur la phase (i) en watts [W]
V	La valeur efficace de la tension simple v (t) en volts [V]
I	L'intensité efficace du courant de ligne en ampères [A]
φ	L'angle de déphasage entre v (t) et i (t) en degrés [°]

La puissance active totale absorbée par la charge est donc

$$P = 3VI.\cos\varphi$$

P	La puissance électrique totale absorbée en watts [W]
V	La valeur efficace de la tension simple v (t) en volts [V]
I	L'intensité efficace du courant de ligne en ampères [A]
φ	L'angle de déphasage entre v (t) et i (t) en degrés [°]

La puissance réactive se calcule de la même manière, ainsi la puissance réactive consommée par un des trois éléments de cette charge est de la forme

$$Q_i = VI.\sin\varphi$$

i = 1, 2 ou 3

Qi	La puissance réactive absorbée sur la phase (i) en V.A.R [vars]
V	La valeur efficace de la tension simple v (t) en volts [V]
I	L'intensité efficace du courant de ligne en ampères [A]
φ	L'angle de déphasage entre v (t) et i (t) en degrés [°]
	V.A.R : Volts ampères réactifs

La puissance réactive totale absorbée par la charge est donc

$$Q = 3VI.\sin\varphi$$

Q	La puissance réactive totale absorbée en V.A.R [vars]
V	La valeur efficace de la tension simple v (t) en volts [V]
I	L'intensité efficace du courant de ligne en ampères [A]
φ	L'angle de déphasage entre v (t) et i (t) en degrés [°]
	V.A.R : Volts ampères réactifs

La puissance apparente peut se calculer à l'aide de la relation

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

S	La puissance apparente du moteur en V.A [VA]
P	La puissance active absorbée en watts [W]
Q	La puissance réactive absorbée en V.A.R [vars]
	V.A.R : Volts ampères réactifs

La puissance apparente se déduit des relations précédentes

$$S = 3VI$$

S	La puissance apparente du montage en voltampères [VA]
V	La valeur efficace de la tension simple v (t) en volts [V]
I	L'intensité efficace du courant de ligne en ampères [A]

. b Le couplage en triangle

Chaque élément est soumis à une tension composée u (t), de valeur efficace U, il est également traversé par un courant j (t), de valeur efficace J. Si l'angle de déphasage entre ces deux grandeurs, est φ, sachant que cet angle ne dépend que de la nature de la charge, la puissance active consommée par un des trois éléments de cette charge est de la forme

$Pi = UJ.\cos\varphi$

$i = 1, 2$ ou 3

Pi	La puissance électrique absorbée sur la phase (i) en watts [W]
U	La valeur efficace de la tension composée u (t) en volts [V]
J	L'intensité efficace du courant dans un enroulement en ampères [A]
φ	L'angle de déphasage entre u (t) et j (t) en degrés [°]

La puissance active totale absorbée par la charge est donc

$P = 3UJ.\cos\varphi$

P	La puissance électrique totale absorbée en watts [W]
U	La valeur efficace de la tension composée u (t) en volts [V]
J	L'intensité efficace du courant dans un enroulement en ampères [A]
φ	L'angle de déphasage entre u (t) et j (t) en degrés [°]

La puissance réactive se calcule de la même manière, ainsi la puissance réactive consommée par un des trois éléments de cette charge est de la forme

$Qi = U.J.\sin\varphi$

$i = 1, 2$ ou 3

Qi	La puissance réactive absorbée sur la phase (i) en V.A.R [vars]
U	La valeur efficace de la tension composée u (t) en volts [V]
J	L'intensité efficace du courant dans un enroulement en ampères [A]
φ	L'angle de déphasage entre u (t) et j (t) en degrés [°]
	V.A.R : Volts ampères réactifs

La puissance réactive totale absorbée par la charge est donc

$Q = 3U.J.\sin\varphi$

Q	La puissance réactive totale absorbée en V.A.R [vars]
U	La valeur efficace de la tension composée u (t) en volts [V]
J	L'intensité efficace du courant dans un enroulement en ampères [A]
φ	L'angle de déphasage entre u (t) et j (t) en degrés [°]
	V.A.R : Volts ampères réactifs

La puissance apparente peut se calculer à l'aide de la relation

$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

S	La puissance apparente du moteur en V.A [VA]
P	La puissance active absorbée en watts [W]
Q	La puissance réactive absorbée en V.A.R [vars]
	V.A.R : Volts ampères réactifs

La puissance apparente se déduit des relations précédentes

$S = 3UJ$

S	La puissance apparente du montage en voltampères [VA]
U	La valeur efficace de la tension composée u (t) en volts [V]
J	L'intensité efficace du courant dans un enroulement en ampères [A]

. c Les relations communes

Les puissances actives, réactives et apparentes peuvent s'exprimer par les mêmes relations quelque soit le couplage.
Il est préférable d'exprimer ces puissances en utilisant la tension composée u (t) et le courant de ligne i (t) car ces deux grandeurs sont facilement mesurables.
L'angle de déphasage doit être également connu pour évaluer les différentes puissances.

$P = \sqrt{3}.U.I.\cos\varphi$

P	La puissance électrique totale absorbée en watts [W]
U	La valeur efficace de la tension composée u (t) en volts [V]
I	L'intensité efficace du courant de ligne en ampères [A]
φ	L'angle de déphasage entre courant et tension en degrés [°]

$Q = \sqrt{3}.U.I.\sin\varphi$

Q	La puissance réactive totale absorbée en en V.A.R [vars]
U	La valeur efficace de la tension composée u (t) en volts [V]
I	L'intensité efficace du courant de ligne en ampères [A]
φ	L'angle de déphasage entre courant et tension en degrés [°]
	V.A.R : Volts ampères réactifs

$S = \sqrt{3}.U.I$

S	La puissance apparente du montage en voltampères [VA]
U	La valeur efficace de la tension composée u (t) en volts [V]
I	L'intensité efficace du courant de ligne en ampères [A]

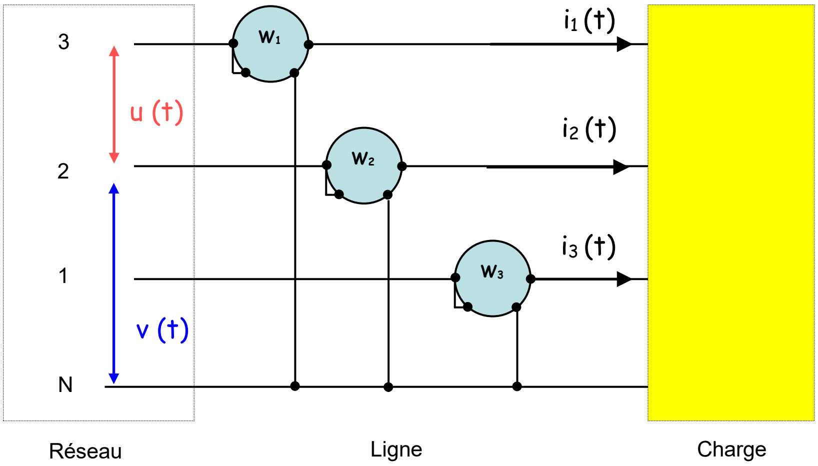
➡ Ces trois relations sont essentielles car elles sont utilisables sans connaître le couplage de la charge.

. IV Les mesures des puissances

. a Ligne à quatre fils :

Cette méthode n'est utilisable que si le fil du neutre est sorti du réseau et si le couplage est en étoile. Dans ce cas particulier, trois wattmètres sont nécessaires, le premier branché entre la phase numéro 1 et le neutre mesure la tension simple, il est traversé par le courant de ligne, il peut ainsi mesurer la puissance active consommée par la première phase.

Les deux autres wattmètres évaluent les puissances consommées par les deux autres phases, il suffit de faire la somme pour connaître la puissance active totale consommée.



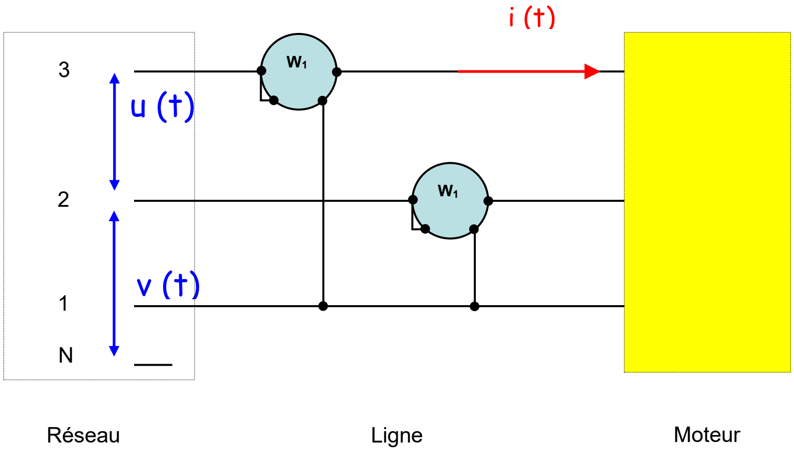
Mesure de la puissance consommée avec trois wattmètres

En régime équilibré, un seul wattmètre suffit, il se place entre n'importe quelle phase et le neutre, et une simple multiplication par trois, permet de connaître la puissance active consommée par la charge.

. b Ligne à trois fils :

Dans les cas les plus fréquents, lorsque le fil du neutre n'est pas sorti, une méthode plus performante est utilisée, elle nécessite deux wattmètres d'où son nom, méthode des deux wattmètres.
Elle permet de calculer facilement la puissance active, ainsi que la puissance réactive consommée par une charge équilibrée, et ceci quelque soit son couplage.
La méthode des deux wattmètres est utilisable

- Quelque soit le couplage
- La charge doit être parfaitement équilibrée
- Le fil de neutre ne doit pas être sorti



Méthode des deux wattmètres

- Le premier wattmètre indique une grandeur P_1
- Le second wattmètre indique une grandeur P_2

. i La puissance active

La puissance active P absorbée par le moteur se calcule à partir des informations des wattmètres, en utilisant la relation suivante

$$P = P_1 + P_2$$

P La puissance active absorbée en watts [W]
P_1 La lecture du premier wattmètre [sans unités]
P_2 La lecture du second wattmètre [sans unités]

P_1 et P_2 sont les lectures des deux wattmètres, elles sont soit positives soit négatives. Sachant que la puissance absorbée P est une puissance active, elle est nécessairement positive. Il est donc indispensable de donner à P_1 la valeur positive correspondant à la plus grande des deux indications en valeurs absolues. La valeur prise par P_2 sera l'indication de l'autre wattmètre, affublé du signe « plus » si les deux grandeurs étaient de même signe et du signe « moins » dans le cas contraire.

. ii La puissance réactive

La puissance réactive Q absorbée par le moteur se calcule à partir des informations des wattmètres, en utilisant la relation suivante

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

Q La puissance réactive absorbée en V.A.R [vars]
P_1 La lecture du premier wattmètre [sans unités]
P_2 La lecture du second wattmètre [sans unités]
V.A.R : Volts ampères réactifs

. iii La puissance apparente

La puissance apparente du moteur peut se déduire des deux calculs précédents par la relation

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

S La puissance apparente du moteur en V.A [VA]
P La puissance active absorbée en watts [W]
Q La puissance réactive absorbée en V.A.R [vars]
V.A.R : Volts ampères réactifs

. iiii Le facteur de puissance

Le facteur de puissance peut se déduire des deux calculs précédents par la relation

$$\text{Cos}\,\varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

φ L'angle de déphasage entre courant et tension en degrés [°]
P La puissance active absorbée en watts [W]
Q La puissance réactive absorbée en V.A.R [vars]
V.A.R : Volts ampères réactifs

Une relation relie également la puissance active et la puissance réactive

$Q = P .\tan \varphi$

Q	La puissance réactive absorbée en V.A.R [vars]
P	La puissance active absorbée en watts [W]
φ	L'angle de déphasage entre courant et tension en degrés [°]
	V.A.R : Volts ampères réactifs