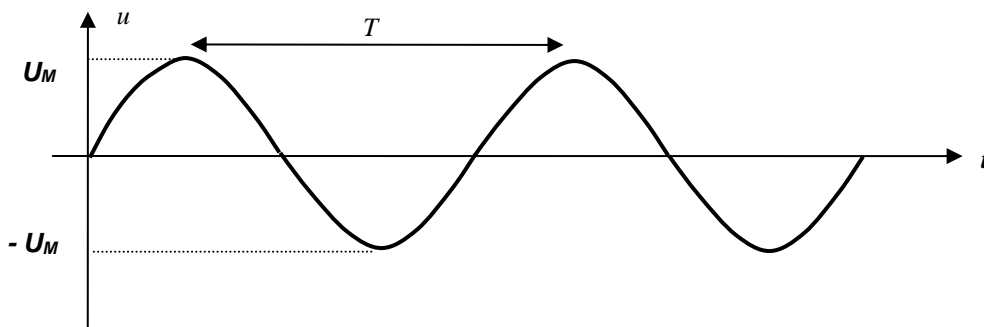


## Énergie électrique monophasée et triphasée

### 1 - LA TENSION MONOPHASEE

#### 1.1 Généralités :

Allure de la tension :  $u(t) = U_M \sin(\omega t)$  ou  $u(\theta) = U_M \sin(\theta)$



$U_M$  est l'amplitude maximale.

$T$  est la période de la tension (en seconde),  $f = \frac{1}{T}$  est sa fréquence (en Hertz).

$\omega = 2\pi f$  est la pulsation (ou vitesse angulaire), elle s'exprime en radians par seconde (rd/s).

**Sa valeur efficace  $U$  :** On appelle **valeur efficace** d'une grandeur électrique une quantité égale à la source d'un générateur continu qui ferait circuler un courant dissipant en chaleur la même quantité d'énergie que le courant alternatif dans le même temps.

La mesure des valeurs efficaces est réalisée par des appareils **en position AC**

Pour une sinusoïde, on trouve:

$$U = \frac{U_M}{\sqrt{2}}$$

*Nota:* Dans la suite du cours, nous noterons simplement  $U$  et  $I$  les grandeurs efficaces.

**La valeur moyenne  $\bar{U}$  ou  $U_{\text{moy}}$  :** Elle correspond à la moyenne des valeurs prises par la tension sur l'intervalle de la période  $T$ . Un **voltmètre en position "continu" en position DC** indique la valeur moyenne.

Compte tenu de la symétrie, en alternatif cette valeur moyenne est nulle sur une période.



## 1.2 Notion de déphasage, représentation de FRESNEL.

Soit une tension et un courant exprimés ainsi :

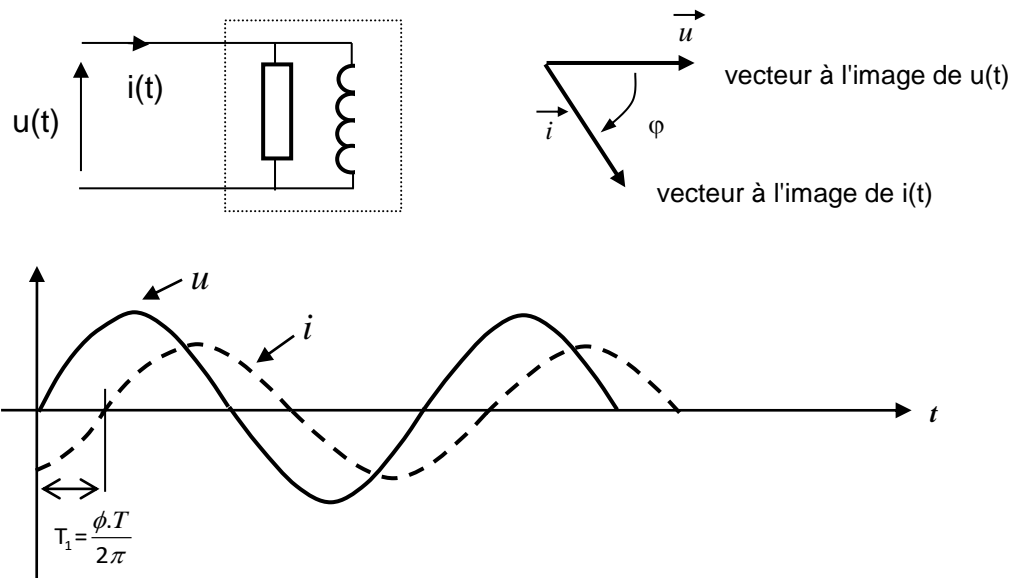
$$u(t) = U_M \sin(\omega t) = U \sqrt{2} \sin(\omega t) \quad \text{et} \quad i(t) = I_M \sin(\omega t - \varphi) = I \sqrt{2} \sin(\omega t - \varphi)$$

$\varphi$  est le déphasage (décalage angulaire) du courant sur la tension. Il s'agit d'un retard algébrique qui est positif pour les récepteurs à dominante inductive (moteur), négatif pour les récepteurs à tendance capacitive. Ce déphasage est dû au fait que **les bobines ou les condensateurs ont la propriété de stocker** de l'énergie lorsqu'ils sont traversés par un courant.

Le modèle de Fresnel représente les grandeurs alternatives par des vecteurs. Chaque vecteur aura comme module la valeur efficace de la grandeur considérée et comme angle la valeur de son déphasage.

La tension est la grandeur de référence, elle est placée sur l'axe Ox.  $\varphi$  est le déphasage par rapport à cette grandeur de référence.

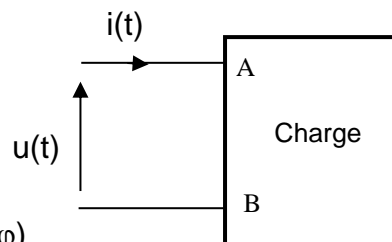
Exemple pour un récepteur inductif:



## 1.3 Les Puissances en alternatif

On considère un dipôle AB.

Avec  $u(t) = U \sqrt{2} \sin(\omega t)$  et  $i(t) = I \sqrt{2} \sin(\omega t - \varphi)$



**Exprimons la puissance instantannée :  $p(t) = u(t) \cdot i(t)$**

.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....

$U I \cos(2\omega t - \varphi)$  est appelée la puissance fluctuante, elle a une valeur moyenne nulle.

**Puissance active :**

$$P = U \cdot I \cdot \cos(\varphi)$$

Avec P en watts, U en volts et I en ampères

C'est la valeur moyenne de la puissance instantanée. Cette puissance est liée à une transformation d'énergie : électrique → mécanique ou électrique → calorifique. La notion de rendement s'applique au bilan des puissances actives (puissance utile / puissance apportée)

**Puissance réactive :**

$$Q = U \cdot I \cdot \sin(\varphi)$$

Avec Q en volts-ampères-réactifs (VAR), U en volts, I en ampères

Cette puissance caractérise la nature du récepteur, elle traduit un déphasage entre le courant et la tension.

Si la charge est selfique :  $Q > 0$

Si la charge est capacitive :  $Q < 0$

**Puissance apparente :**

$$S = U \cdot I$$

Avec S en volts-ampères (VA), U en volts, I en ampères.

La puissance apparente est utile pour le dimensionnement (section des conducteurs, etc.)

**Le facteur de puissance**

On pose

$$F = \frac{P}{S} = \cos(\varphi)$$

F est appelé facteur de puissance, il quantifie la valeur du déphasage entre le courant et la tension.

On cherche toujours à avoir F proche de 1 pour ne pas augmenter le dimensionnement de l'appareillage.

**EDF tolère un  $\cos(\varphi)$  supérieur ou égal à 0,8. La puissance facturée étant la puissance active, EDF pénalise les installations électriques ayant un facteur de puissance trop faible.**

**Relation entre les puissances :**

On démontre que  $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$  et  $Q = P \cdot \tan \varphi$

Les puissances actives s'ajoutent :  $P_{\text{totale}} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$

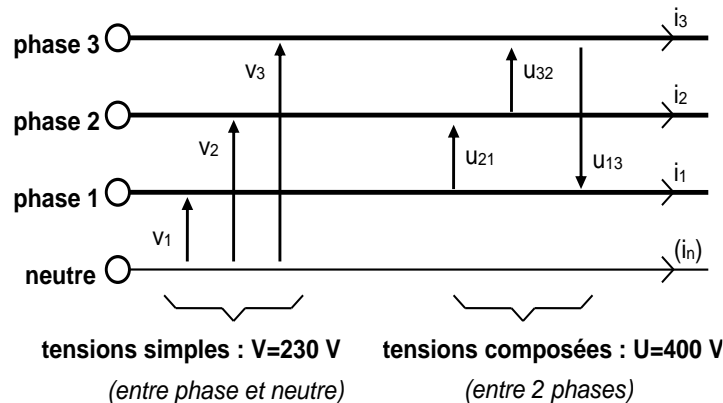
Les puissances réactives s'ajoutent :  $Q_{\text{totale}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots$

Les puissances apparentes ne s'ajoutent pas !!!

## 2. LES SYSTEMES TRIPHASES

### 2.1 Présentation :

L'énergie électrique est produite, transportée et consommée sous forme de systèmes triphasés.

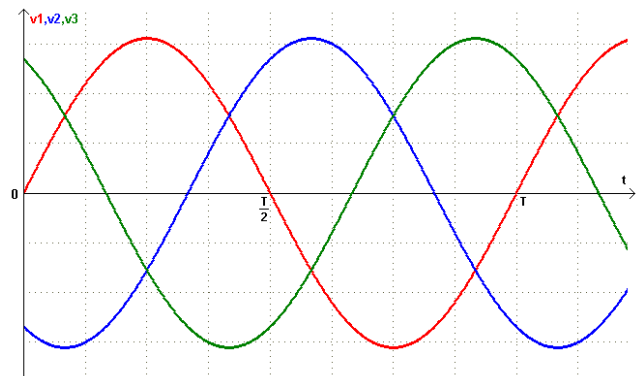


$$\begin{aligned} U_{21} &= V_2 - V_1 \\ U_{32} &= V_3 - V_2 \\ U_{13} &= V_1 - V_3 \end{aligned}$$

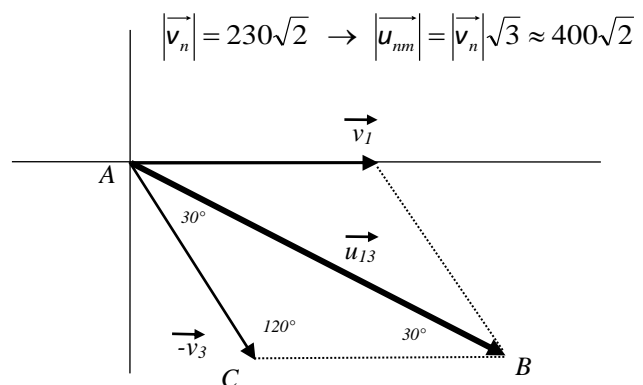
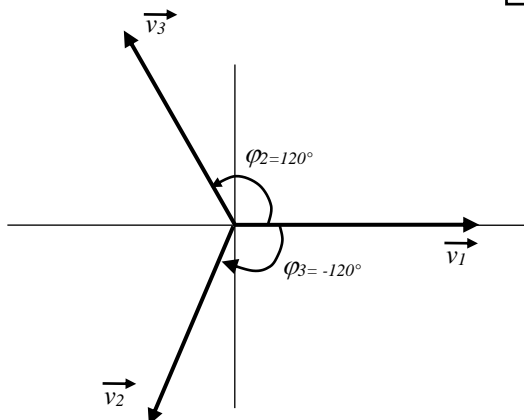
Un système triphasé est dit équilibré si les valeurs efficaces des trois courants sont égales.

Représentation temporelle:

$$\begin{aligned} v_1(t) &= V \sqrt{2} (\sin \omega t) \\ v_2(t) &= V \sqrt{2} (\sin \omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ v_3(t) &= V \sqrt{2} (\sin \omega t + \frac{2\pi}{3}) \end{aligned}$$

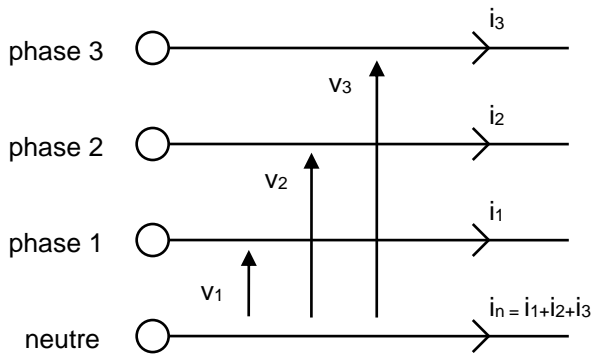


La méthode de Fresnel ci-dessous donne la valeur de la tension composée  $u_{13} = v_1 - v_3$  en fonction de  $V$ . On démontre ainsi que  $U = \sqrt{3} V$  (nous reprendrons ce calcul avec les nombres complexes)



Dans le triangle ABC, il vient  $\frac{|\vec{v}_1|}{\sin 30} = \frac{|\vec{v}_3|}{\sin 30} = \frac{|\vec{u}_{13}|}{\sin 120}$  d'où  $|\vec{u}_{13}| = \frac{\sin 120}{\sin 30} |\vec{v}_1| = \sqrt{3} |\vec{v}_1|$

## 2.2 Les puissances en triphasé :



$$p(t) = v_1(t) \cdot i_1(t) + v_2(t) \cdot i_2(t) + v_3(t) \cdot i_3(t).$$

On recherche un équilibrage des charges où  $i_1 = i_2 = i_3 = i$

En résolvant, on trouve :

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = \sqrt{3} U I \cos \varphi$$

Il vient pour le triphasé :

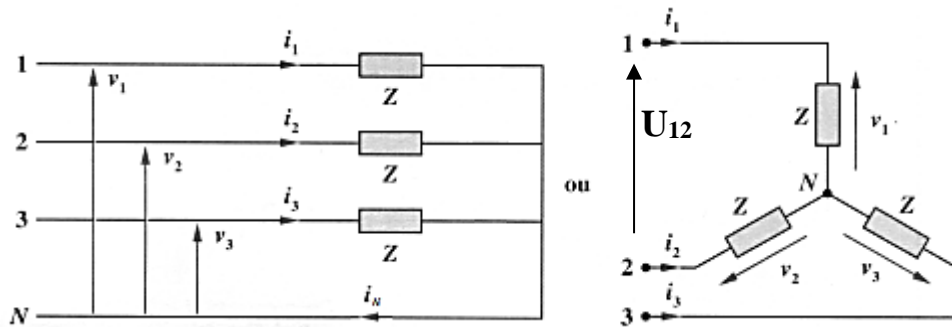
$$\text{puissance active : } P = \sqrt{3} U I \cos \varphi$$

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

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

## 2.3 Câblage des systèmes triphasés

### 2.3.1 Le couplage ETOILE ( Y )

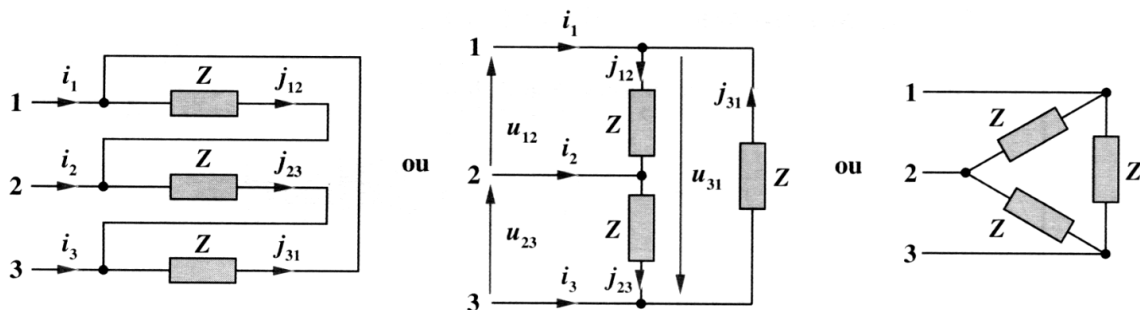


**Remarque : Le fil neutre peut ne pas être utilisé.**

Ex : Si  $U = 400$  V, chaque phase du récepteur est soumise à une tension simple  $v$  (230 V).

$$v_1 = v_2 = v_3 = 230 \text{ V} \rightarrow U_{12} = v_1 \sqrt{3} = 400 \text{ V} \quad \text{et} \quad i_1 = \frac{v_1}{Z} = \frac{U_{12}}{Z \sqrt{3}} = \frac{400}{Z \sqrt{3}}$$

### 2.3.2 Le couplage TRIANGLE ( Δ )



Chaque phase du récepteur est soumise à une tension composée  $U$  (400 V en général). Le

courant par phase et en ligne sont différents :  $J_{12} = \frac{U_{12}}{Z}$  avec  $i_1 = J_{12} \cdot \sqrt{3}$

**Remarque : Il n'y a pas de fil de neutre**

### 3 Exercices

#### EXERCICE 1

Un radiateur composé de trois résistances de valeur  $R = 100 \, \Omega$  associées en étoile, sont alimentées par le réseau triphasé dont la tension composée est de **400V**.

- Faites le schéma de câblage.
- Calculer l'intensité efficace du courant circulant dans la ligne d'alimentation.
- Quelle est la puissance du radiateur obtenue avec ce câblage ?

Les trois résistances précédentes sont montées en triangle et alimentées par le même réseau triphasé.

- Quelle est l'intensité efficace du courant les traversant ?
- Quelle est l'intensité efficace du courant en ligne ?
- Quelle est la puissance du radiateur obtenue avec ce câblage ?

#### EXERCICE 2

On veut chauffer la salle E11 par l'énergie électrique. Les dimensions de cette salle sont 8m x 14m x 3m. La puissance nécessaire au chauffage est de 40 W par m<sup>3</sup>.

- a) Calculer la puissance totale nécessaire.
- b) Le courant en ligne en 400 V triphasé.
- c) Le courant nécessaire en 230 V monophasé.
- d) Choisir la section des conducteurs suivant les deux tensions d'alimentation possibles:

Section en mm <sup>2</sup>	1,5	2,5	4	6	10	16
Intensité admise	15 A	22 A	28 A	36 A	50 A	68 A

On souhaite utiliser un radiateur triphasé sur le réseau 230V/400V, celui-ci est composé de 3 résistances chauffantes de valeur ohmique R.

- e) Faire le schéma de l'installation en utilisant un montage étoile. Calculer la valeur de R permettant l'obtention d'une puissance de 15 kW dans ces conditions. Donner la valeur du courant circulant dans chaque résistance puis dans la ligne triphasée.
- f) Le radiateur calculé précédemment est câblé avec un montage triangle, quelle est la nouvelle puissance disponible ? Donner la valeur du courant circulant dans chaque résistance puis dans la ligne triphasée.

#### EXERCICE 3

Un réseau triphasé équilibré **230V/400 V** alimente une installation équilibrée composée de **21 lampes 230 V/100 W**, d'un moteur asynchrone triphasé fournissant **une puissance utile de 3 kW avec un facteur de puissance de 0,8 et un rendement de 90%**

- a) Faire le schéma de l'installation.
- b) Calculer les **valeurs efficaces** des courants qui traversent chacun des éléments.
- c) Calculer les **puissances actives et réactives** consommées par chacun de ces éléments puis en totalité.
- d) En déduire la **puissance apparente totale** consommée par l'installation.
- e) En déduire la valeur **efficace du courant I** absorbé par l'installation et **son facteur de puissance**.