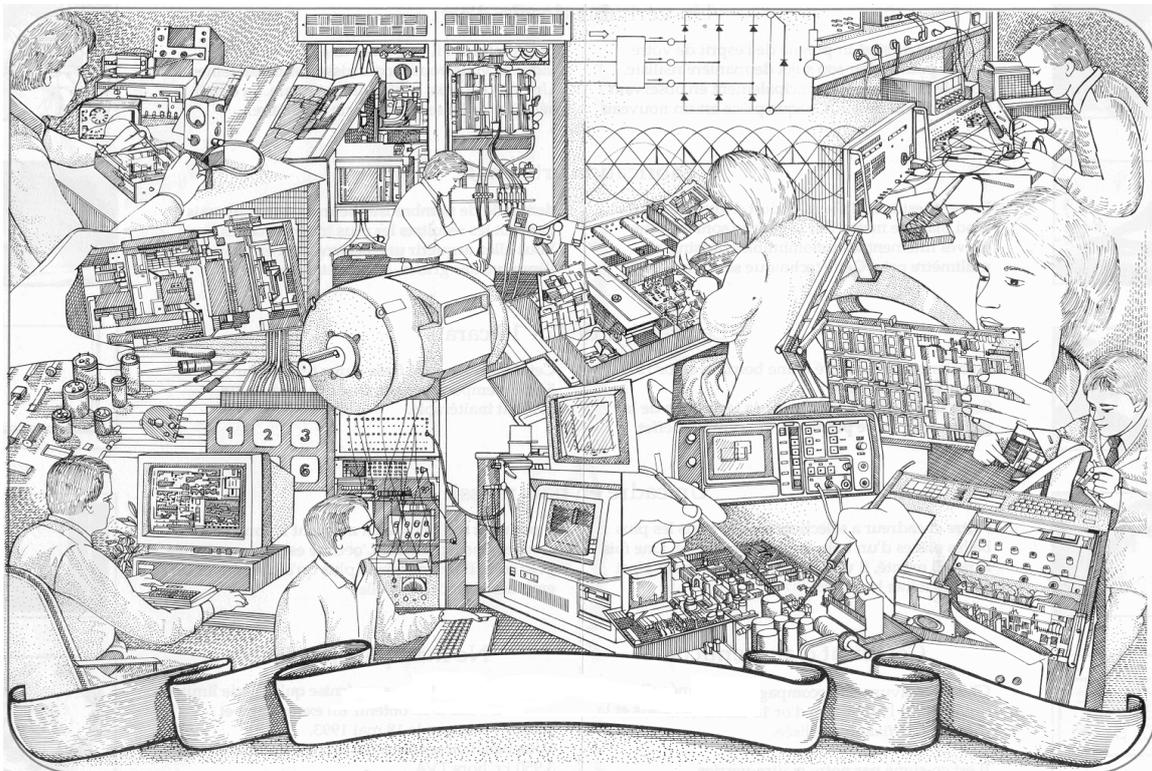


# Cours d'électricité

## LA THEORIE SUR L'ELECTRICITE



## LES NOTIONS DE BASE

### Le courant alternatif

## **TABLE DES MATIERES**

### **PARTIE N°1 :**

**Le courant alternatif monophasé**

### **PARTIE N°2 :**

**Les composants passifs**

### **PARTIE N°3 :**

**Les puissances en alternatif**

### **PARTIE N°4 :**

**Le triphasé**

### **PARTIE N°5 :**

**Les réseaux**

## Nomenclature

Symbole	Description	Unité	
E	Force Electro Motrice	Volt	V
$U_m$	Tension maximale	Volt	V
$I_m$	Courant maximum	Ampère	A
u u(t)	Tension instantanée	Volt	V
i i(t)	Courant instantané	Ampère	A
$U_{moy}$	Tension moyenne	Volt	V
$I_{moy}$	Courant moyen	Ampère	A
U	Tension efficace Tension composée	Volt	V
I	Courant efficace Courant composé	Ampère	A
T	Période	Seconde	s
f	Fréquence	Hertz	Hz
$\omega$	Pulsation	Radian/seconde	Rad/s
p	Perte joule	Watt	w
Z	Impédance d'un récepteur	Ohm	$\Omega$
R	Résistance pure	Ohm	$\Omega$
$\mathcal{L}$	Inductance d'une bobine	Henrys	H
$X_L$	Réactance d'une bobine pure	Ohm	$\Omega$
$X_C$	Réactance d'un condensateur pur	Ohm	$\Omega$
C	Capacité d'un condensateur	Farad	F
P	Puissance efficace	Watt	W
$P_m$	Puissance maximum	Watt	W
$P_{moy}$	Puissance moyenne	Watt	W
p p(t)	Puissance instantanée	Watt	w
S	Puissance apparente	Volt ampère	VA
$\cos \varphi$	Facteur de puissance		
J	Courant simple	Ampère	A
V	Tension simple	Volt	V
Y	Admittance	Ohm $-1$	$\Omega^{-1}$

## Bibliographie

Electronique et machine électrique  
Edition NATHAN  
J. NIARD et R. MOREAU

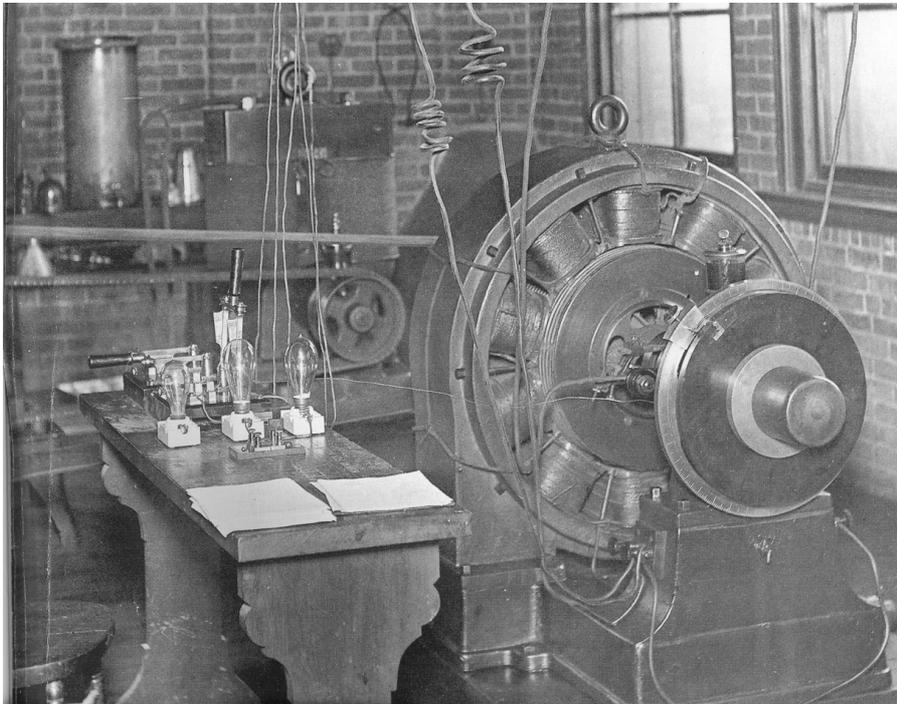
Electro-technique tome 2  
Edition EL educative  
G. VAUGEOIS

# Cours d'électricité

**LA THEORIE SUR L'ELECTRICITE**

**LES NOTIONS DE BASE**

**Le courant alternatif**



**PARTIE N°1 :**

**LE COURANT ALTERNATIF MONOPHASE**

## TABLE DES MATIERES

1. Généralités.....	2
2. Représentation graphique.....	3
3. Les grandeurs d'un signal alternatif.....	3
3.1. La valeur maximale.....	4
3.2. La valeur instantanée.....	4
3.3. La valeur moyenne.....	4
3.4. La période.....	4
3.5. Une alternance.....	4
3.6. La fréquence.....	4
3.7. La pulsation.....	5
3.8. La valeur efficace.....	5
3.8.1. Effets calorifiques du courant alternatif.....	5
3.8.2. Définition.....	5
3.8.3. Relation entre l'intensité efficace et l'intensité maximale.....	5
3.8.3.1. Démonstration mathématique de la valeur efficace.....	6
3.8.4. La loi de joule en alternatif.....	7
3.8.5. La loi d'ohm en alternatif.....	7
4. Notion de déphasage.....	7
4.1. Définitions.....	8
4.2. Représentation vectorielle.....	8
4.3. Déphasage remarquable.....	9
4.3.1. Courant en phase (déphasage nul).....	9
4.3.2. Courant en quadrature avant.....	9
4.3.3. Courant en opposition de phase.....	9
4.3.4. Courant en quadrature arrière.....	10
5. La sommation de grandeurs alternatives sinusoïdales.....	11
5.1. Généralisation.....	12
5.2. Applications.....	12
5.2.1. Récepteurs en série.....	12
5.2.2. Récepteurs en parallèle.....	13
5.3. Exercices.....	14

## 1. Généralités

Nous savons de part les principes de base de l'électricité que toute tension prend naissance au départ d'une Force Electro Motrice et que deux méthodes sont possibles pour générer cette dernière.

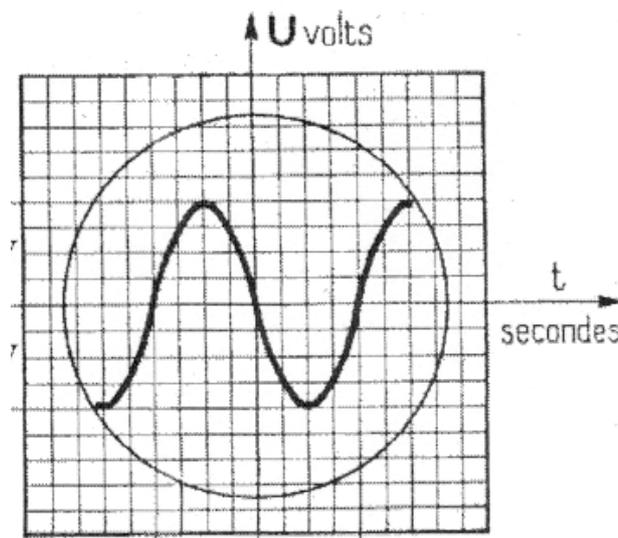
- ❑ Soit on déplace un ou des conducteur(s) dans un champ magnétique fixe et en relation à l'expression  $\mathbf{E} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{L} \cdot \mathbf{v}$  nous obtenons la valeur de la FEM. Nous pouvons trouver le sens du courant induit en utilisant la règle des trois doigts de la main gauche.
- ❑ Soit on déplace un champ magnétique au droit d'un ou des conducteur(s) fixe et en relation à l'expression  $\mathbf{E} = \Delta\Phi / \Delta t$  nous obtenons la valeur de la FEM. Nous pouvons trouver le sens du courant induit en utilisant la règle des trois doigts de la main droite.

Si on se rappelle la loi de Lenz, « **La FEM induite qui prend naissance dans un circuit fermé s'oppose toujours à la variation de flux qui lui a donné naissance et par conséquent à la cause de cette variation.** » Je peux donc en déduire que le sens de la FEM et le sens du flux sont toujours en opposition et que pour avoir une FEM positive, l'expression deviens :

$$E = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Si l'on réalise des déplacements « v » ou des variations de flux «  $\Delta\Phi$  » selon un rythme cyclique et régulier, analysons ce que nous allons obtenir. Ces dernières conditions peuvent être réalisées par la mise en rotation d'un conducteur à une certaine vitesse dans un flux fixe ou par la mise en rotation d'un champ magnétique autour d'un conducteur fixe. Dans les deux cas, nous partirons sur le fait que le champ est créé par un aimant permanent ou par un électro aimant alimenté en courant continu.

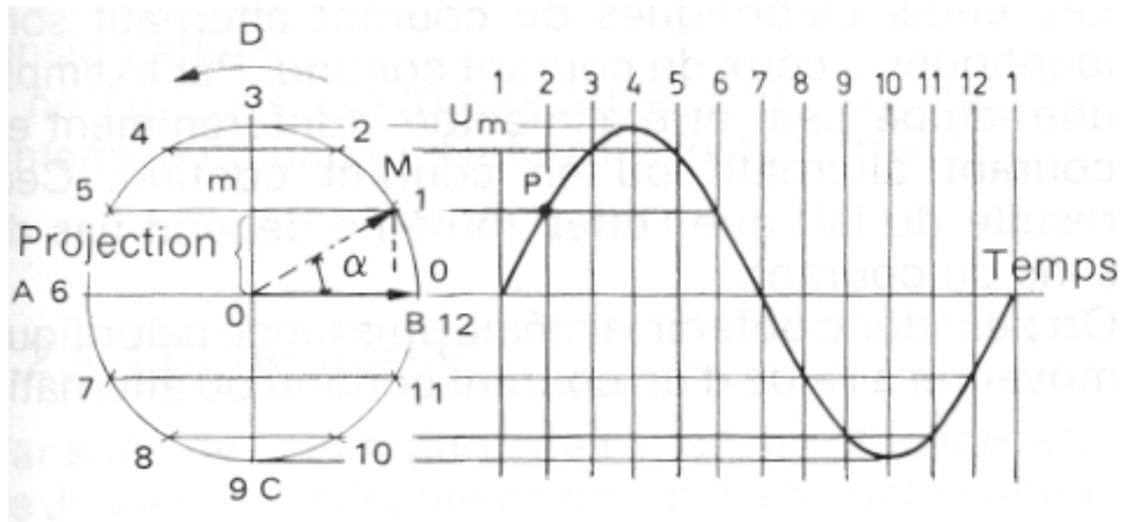
Si l'on utilise un oscilloscope pour visualiser le signal débité par notre système, nous obtenons l'allure suivante. Nous nommerons ce signal l'allure d'une **tension alternative sinusoïdale**.



## 2. Représentation graphique

Soit un point M se déplaçant d'un mouvement de rotation uniforme sur un cercle et m sa projection sur l'axe vertical CD.

A chaque position du point M correspond un angle  $\alpha$  et un vecteur OM tel que :  $OM = \sin \alpha$ . Ce dernier vecteur est appelé vecteur de FRESNEL.



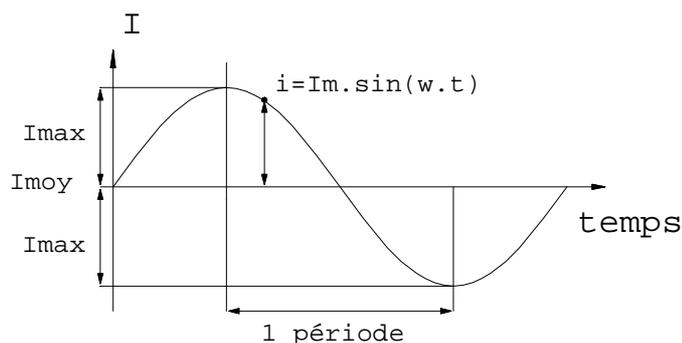
Si on porte horizontalement les différentes positions du rayon OM, c'est-à-dire de l'angle  $\alpha$  et verticalement les valeurs correspondantes du vecteur OM, on obtient une courbe qui représente les variations du sinus de l'angle  $\alpha$ . Cette courbe appelée sinusoïde est la courbe représentative du courant alternatif. C'est celle que nous voyons apparaître sur l'écran de l'oscilloscope.

Le point M se retrouve dans la même position à chaque tour. Graphiquement la courbe, établie pour un tour, se reproduit indéfiniment. On dit que le mouvement est périodique.

Réalise sur une feuille le tracé complet d'un cercle trigonométrique et du vecteur de FRESNEL et reporte les points de construction pour des angles de  $30^\circ$  afin de faire apparaître l'allure sinusoïdale.

Tu dessineras un cercle de diamètre de 60mm, un réseau d'axe situé à 20mm du cercle trigonométrique et qui représenteront la tension en ordonnée et le temps en abscisse. L'axe des abscisses sera gradué par pas de 15mm qui correspondront à un angle sur le cercle trigonométrique de  $30^\circ$ .

## 3. Les grandeurs d'un signal alternatif



### 3.1. La valeur maximale

La valeur maximale, ou amplitude d'une tension ou d'une intensité est la plus grande valeur atteinte par cette tension ou cette intensité. On la représente par «  $U_m$  » ou «  $I_m$  ».

Nous retrouvons cette valeur qui doit être identique aussi bien sur l'alternance positive que sur l'alternance négative.

### 3.2. La valeur instantanée

La valeur instantanée «  $u$  » ou «  $i$  » d'une tension ou d'une intensité de courant est sa vraie valeur prise à un instant donné. En effet, la valeur évolue dans le temps, cette dernière possède donc à tout moment une valeur précise.

$$u = U_m \cdot \sin(\omega.t)$$

$$i = I_m \cdot \sin(\omega.t)$$

### 3.3. La valeur moyenne

Cette valeur caractérise la différence entre la valeur maximale de l'alternance positive et la valeur maximale de l'alternance négative. Dans le cas d'un signal alternatif sinusoïdale, cette valeur est nulle puisque les valeurs maximales sont identiques. » $U_{moy}$  » ou «  $I_{moy}$  »

### 3.4. La période

La période «  $T$  » est le temps au bout duquel la tension (ou l'intensité) reprend la même valeur et le même sens. Elle est égale au temps qui sépare deux passages successifs au maximum. Elle s'exprime en seconde.

### 3.5. Une alternance

Une alternance est le temps pendant lequel la tension ou l'intensité conserve le même sens. Elle est égale à une demi période.

### 3.6. La fréquence

La fréquence  $f$  est le nombre de périodes par seconde. Elle s'exprime en hertz (Hz) et son expression est

$$f = \frac{1}{T}$$

Avec  $f$  : la fréquence en hertz  
 $T$  : la période en seconde

### 3.7. La pulsation

La pulsation est l'angle dont a tourné le rayon OM du cercle de base en une seconde. Elle se désigne par «  $\omega$  » et s'exprime en radian par seconde (rad/s)

Le cercle étant égal à  $2\pi$  radians et le nombre de tours par seconde étant égal à  $f$ , on a :

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

Avec  $\omega$  : la pulsation en radian par seconde  
 $f$  : la fréquence en hertz  
 $\pi$  : la valeur 3,1415926535

### 3.8. La valeur efficace

#### 3.8.1. Effets calorifiques du courant alternatif

L'expérience nous a montré que les effets calorifiques du courant alternatif sont identiques à ceux du courant continu. Par exemple une lampe peut être alimentée indifféremment en courant alternatif ou en courant continu. Ceci résulte du fait que l'effet joule ne dépend pas du sens du courant.

On peut donc obtenir la même puissance calorifique moyenne à l'aide d'un courant continu ou alternatif.

#### 3.8.2. Définition

On appelle intensité efficace d'un courant alternatif l'intensité du courant continu qui dans le même conducteur produirait la même puissance calorifique moyenne. De même la tension efficace d'un courant alternatif est la tension du courant continu, qui, appliqué aux bornes d'un même conducteur, produirait la même puissance calorifique moyenne.

#### 3.8.3. Relation entre l'intensité efficace et l'intensité maximale

On démontre que l'intensité efficace  $I$  d'un courant alternatif sinusoïdal est égale à l'intensité maximale divisé par le racine carré de deux.

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 \times I_m$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707 \times U_m$$

REMARQUE : cette valeur de la tension efficace n'est valable que dans le cas d'un signal alternatif sinusoïdale.

LA PLUPART DES APPAREILS DE MESURE VOUS DONNE UNE LECTURE EN VALEUR EFFICACE.

3.8.3.1. Démonstration mathématique de la valeur efficace.

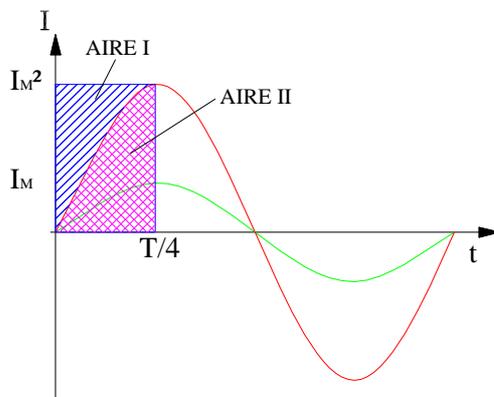
Partant de l'hypothèse que les pertes joules sont identiques en courant continu et en courant alternatif, je peux écrire que :

$$P_{AC} = R \cdot I^2 \quad \text{et que } P_{DC} = R \cdot I^2 \quad \text{avec } I \text{ le courant efficace.}$$

Nous savons que le courant instantané vaut  $i = I_M \cdot \sin(\omega.t)$

Si je réalise la mise au carré de cette équation j'obtiens  $i^2 = I_M^2 \cdot \sin^2(\omega.t)$

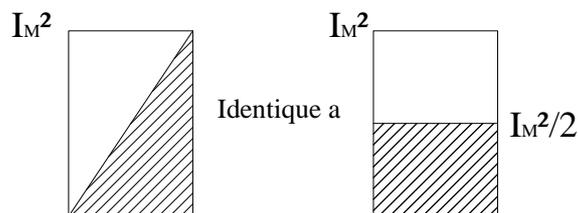
Sur un graphique cela nous donne



Hypothèse de travail, l'AIRE I est égale à l'AIRE II.

Cette surface peut donc s'écrire comme étant  $\frac{\frac{T}{4} \times I_M^2}{2}$

Si les deux surfaces sont égales, je peux les représenter comme suit :



Je peux donc conclure en disant que la valeur efficace est égale à la racine carré de la valeur moyenne  $I_M^2$ .

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 \times I_m$$

### 3.8.4. La loi de joule en alternatif

La puissance calorifique moyenne produite dans un conducteur de résistance R est :

$$P = R \cdot I^2$$

Avec P : les pertes joule en watt  
R : la résistance du conducteur en ohm  
I : la valeur efficace du courant en ampère

### 3.8.5. La loi d'ohm en alternatif

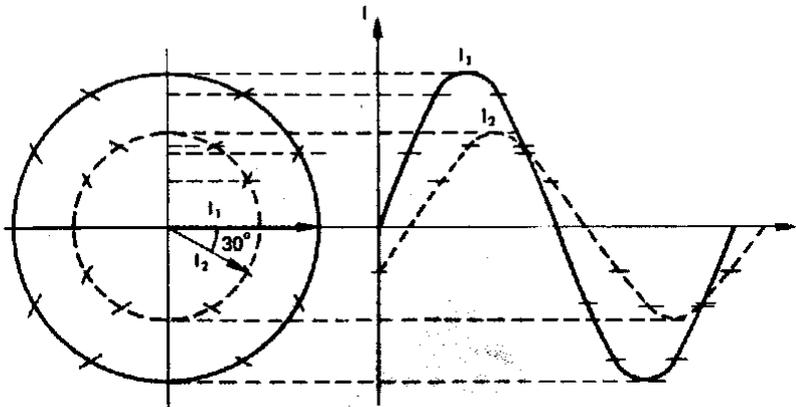
Dans le cas d'une résistance pure :

$$U = R \cdot I$$

Avec U : la tension efficace en volt  
R : la résistance pure du conducteur en ohm  
I : la valeur efficace du courant en ampère

## 4. Notion de déphasage

Nous venons de voir l'allure pour un seul vecteur, analysons maintenant la même situation avec deux vecteurs. Nous supposons les deux vecteurs tournant à la même vitesse angulaire  $\omega$ . Les deux vecteurs auront des amplitudes différentes.



Comme nous pouvons le voir, ces deux vecteurs ne sont pas superposés mais séparés, on dit qu'ils sont déphasés.

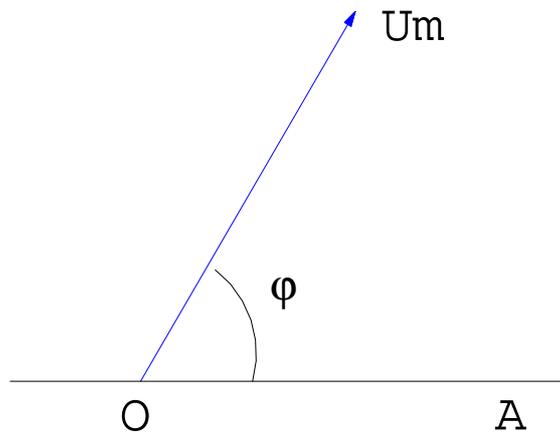
Dans notre cas ce déphasage est de 30°. Cette valeur peut toutefois prendre n'importe quelle valeur entre 0 et 360°.

#### 4.1. Définitions

- Le décalage de deux grandeurs sinusoïdales est l'avance ou le retard de l'une des grandeurs par rapport à l'autre, exprimé en fraction d'une période.
- Le déphasage de deux grandeurs sinusoïdales est l'avance, ou le retard de l'une des grandeurs par rapport à l'autre exprimé en radians. C'est l'angle  $\varphi$  représentant l'angle des deux vecteurs au même instant.

#### 4.2. Représentation vectorielle

La représentation sinusoïdale est longue. L'essentiel étant de connaître la position du rayon  $OM$  à l'instant  $O$  et la valeur maximale de la tension, on peut résumer ces deux éléments sur la figure suivante :



La tension  $U_m$  est représentée par un vecteur dont la longueur, à l'échelle choisie, indique la valeur maximale de la tension et qui est placé dans la position qu'il occuperait sur le cercle de base à l'instant choisi pour origine ( $t=0$ ). Cette représentation d'une grandeur alternative sinusoïdale est appelée représentation vectorielle.

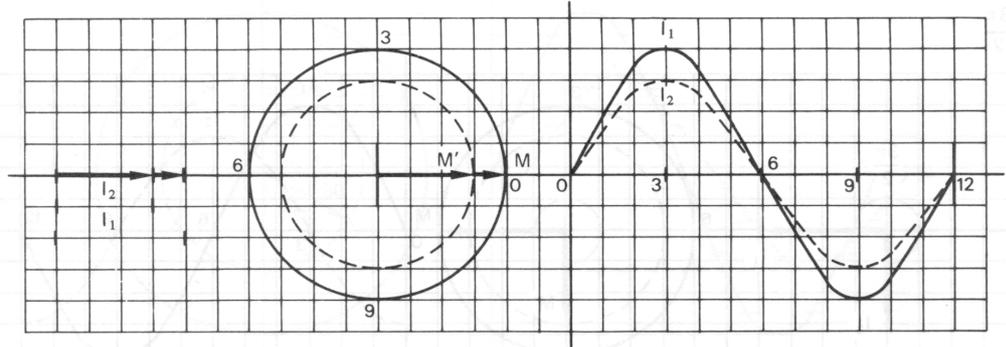
### 4.3. Déphasage remarquable

Soit un courant  $I_1$  choisi comme origine des phases, un autre courant  $I_2$  de même fréquence, déphasé par rapport à  $I_1$ .

#### 4.3.1. Courant en phase (déphasage nul)

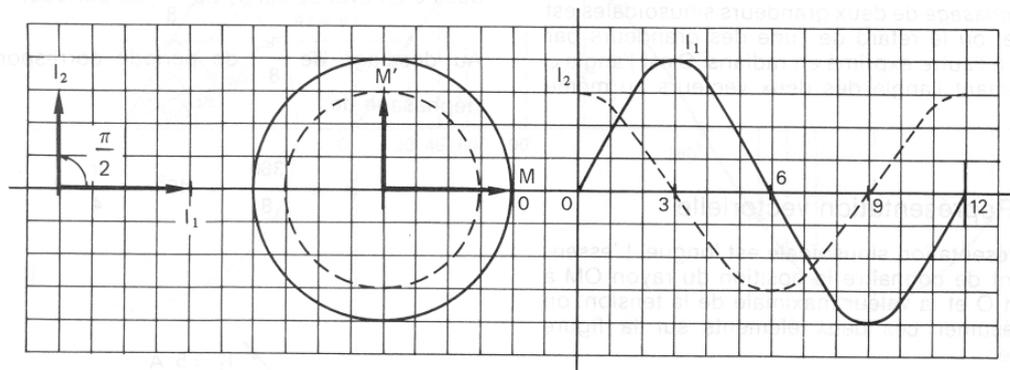
Les intensités sont maximales et nulles en même temps ; leurs phases coïncident ; on dit que les 2 intensités sont en phase.

Les vecteurs  $I_1$  et  $I_2$  sont superposés, le déphasage est nul :  $\varphi = 0$ .



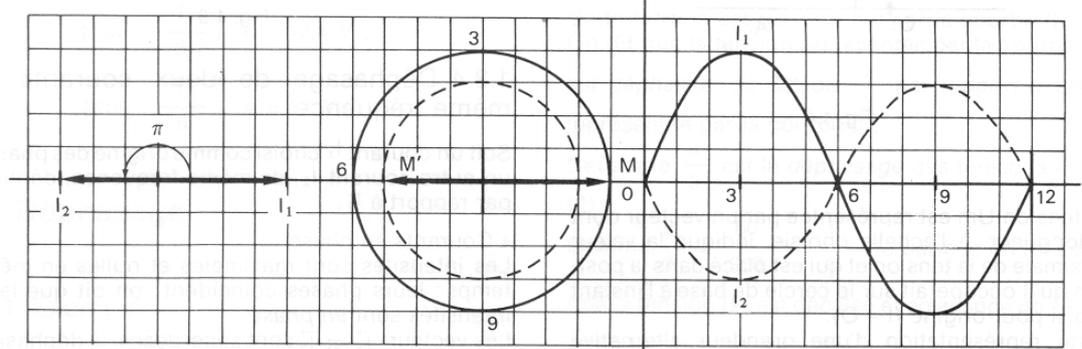
#### 4.3.2. Courant en quadrature avant

L'intensité  $I_2$  est maximale quand  $I_1$  est nulle, c'est-à-dire qu'elle est maximale  $\frac{1}{4}$  de période avant  $I_1$ . On dit que  $I_2$  est en quadrature avant sur  $I_1$ . L'angle des deux vecteurs est de  $90^\circ$ , le déphasage est  $\varphi = \pi / 2$



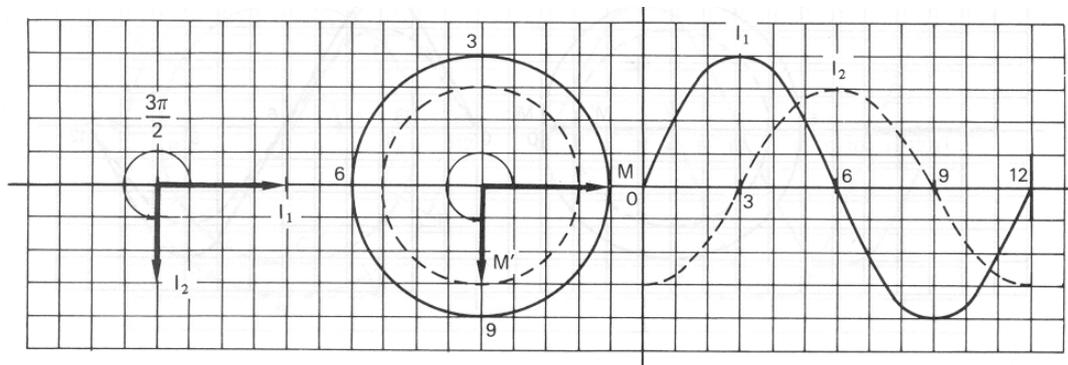
#### 4.3.3. Courant en opposition de phase

Les intensités  $I_2$  et  $I_1$  sont nulles en même temps, mais l'une est maximum quand l'autre est au minimum. On dit que les 2 intensités sont en opposition de phase. L'angle des 2 vecteurs est de  $180^\circ$ . Le déphasage est  $\varphi = \pi$ .



#### 4.3.4. Courant en quadrature arrière

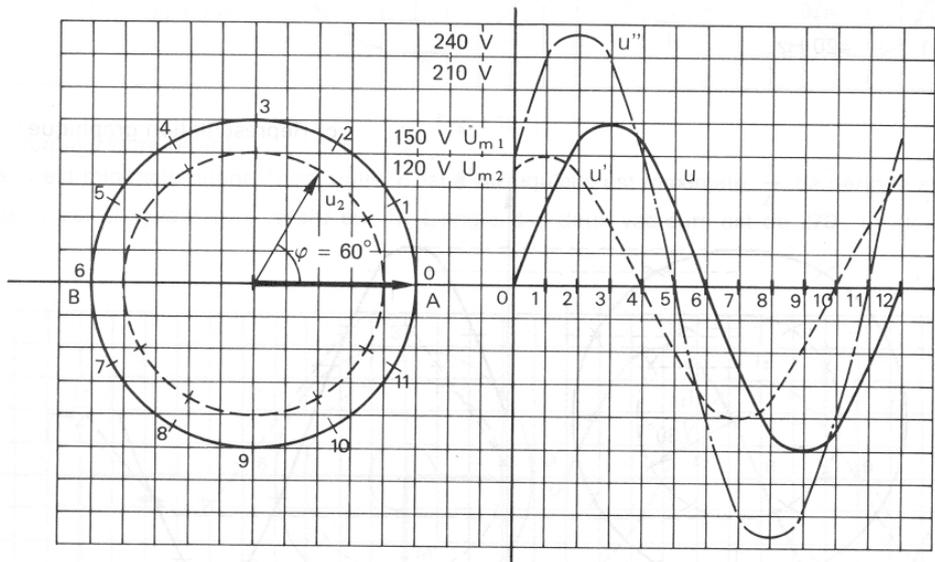
L'intensité  $I_2$  est minimale quand  $I_1$  est nulle, c'est-à-dire qu'elle est maximale  $\frac{1}{4}$  de période après  $I_2$ . On dit que  $I_2$  est en quadrature arrière sur  $I_1$ . L'angle des deux vecteurs est de  $270^\circ$ . Le déphasage est  $\varphi = (3 \cdot \pi) / 2$



## 5. La sommation de grandeurs alternatives sinusoïdales

Supposons que nous voulions réaliser la somme de deux tensions alternatives sinusoïdales. Nous supposons la mise en série de deux récepteurs dont le premier présentera à ces bornes un potentiel «  $u$  » et aux bornes du second récepteur un potentiel «  $u'$  ». Nous souhaitons trouver le potentiel «  $u''$  » aux bornes de l'ensemble. Nous savons encore que la tension «  $u'$  » est en avance d'un angle  $\varphi = 60^\circ$  par rapport à «  $u$  ».

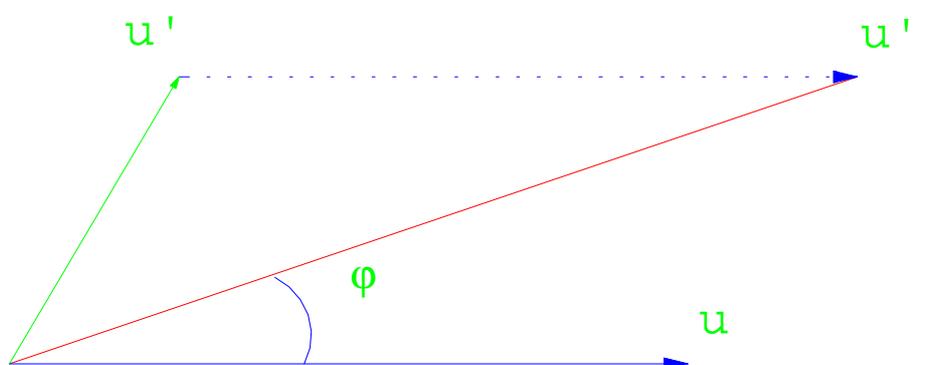
Si nous traçons les sinusoïdes correspondante au départ des vecteurs de FRESNEL, nous obtenons



Nous remarquons que la tension «  $u''$  » est également représentée par une sinusoïde et que cette dernière possède la même période que les tensions «  $u$  » et «  $u'$  ». Il existe un déphasage  $\alpha$  entre «  $u''$  » et «  $u$  » de même qu'un autre déphasage  $\beta$  entre «  $u''$  » et «  $u'$  ».

Cette méthode bien que correcte est longue, fastidieuse et peu précise.

Nous allons donc utiliser une autre méthode dite « méthode vectorielle » pour trouver également l'amplitude de la tension «  $u''$  » et son déphasage.



## 5.1. Généralisation

Le vecteur représentant la somme de plusieurs grandeurs alternatives sinusoïdales de même fréquence est la somme géométrique des vecteurs représentant ces grandeurs.

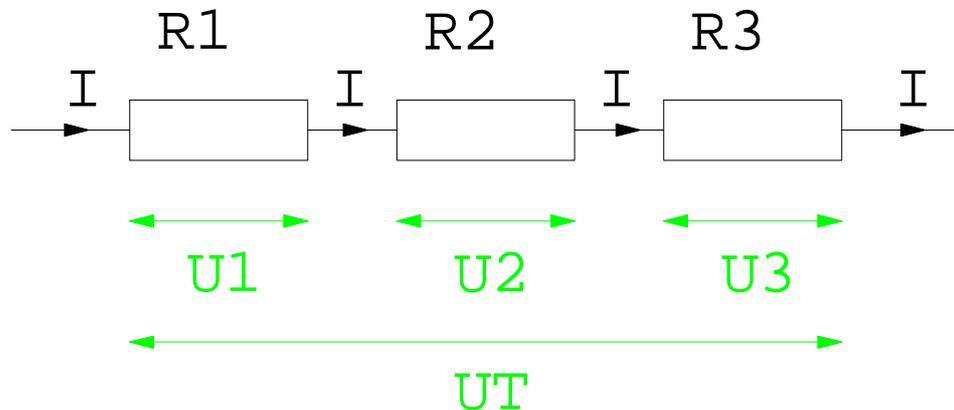
Règle :

Pour additionner les grandeurs sinusoïdales par la méthode vectorielle, il faut :

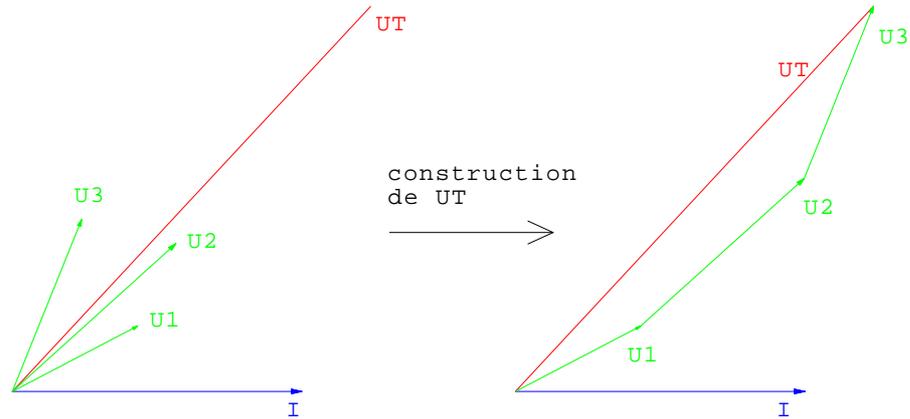
- Choisir la grandeur dont la phase est prise comme origine. En règle générale, il s'agira de la tension d'alimentation d'un générateur ou d'une grandeur invariable dans le système
- Représenter chaque grandeur par un vecteur dont la longueur est proportionnelle à cette grandeur (application d'un facteur d'échelle) et dont la position dépend du déphasage de cette grandeur par rapport à la grandeur origine.
- Faire la somme vectorielle géométrique des vecteurs. En d'autre terme, réaliser la translation des vecteurs afin que la fin de l'un soit le début d'un autre. Le vecteur résultant sera alors tracé entre le début du premier vecteur et la fin du dernier vecteur translaté.
- En déduire la réponse, c'est-à-dire la valeur de la somme et son déphasage par rapport à la grandeur d'origine

## 5.2. Applications

### 5.2.1. Récepteurs en série

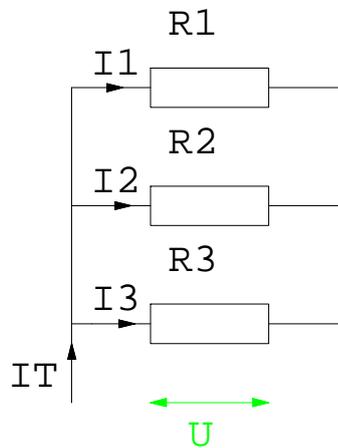


Nous savons qu'en série le courant est le même dans chaque récepteur formant notre système et que la tension totale est égale à la somme des tensions partielles. Réalisation la recherche de la tension totale par la méthode vectorielle



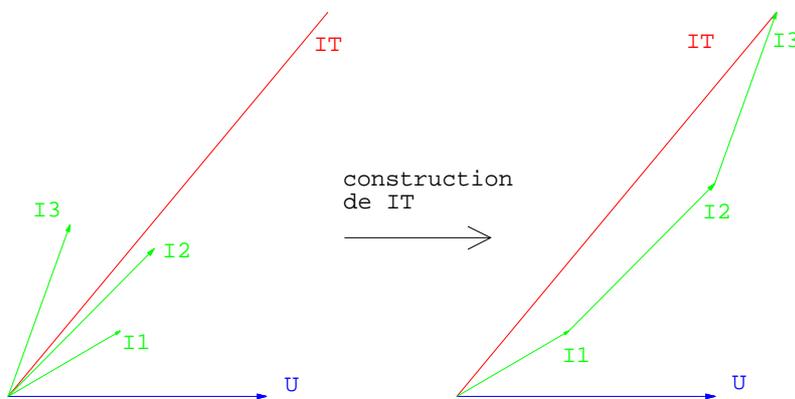
Nous voyons que dans ce cas nous avons retenu le vecteur courant comme référence car ce dernier est constant dans le circuit.

### 5.2.2. Récepteurs en parallèle



Nous savons qu'en parallèle la tension est la même aux bornes de chaque récepteur formant notre système et que le courant total est égale à la somme des courants partiels.

Réalisation la recherche du courant totale par la méthode vectorielle.



Nous voyons que dans ce cas nous avons retenu le vecteur tension comme référence car ce dernier est constant dans le circuit.

### 5.3. Exercices

- 1) Trois récepteurs sont associés en série. Les tensions aux bornes de chacun d'eux sont les suivantes :

$$\begin{array}{ll} U_1 = 60V & \cos \varphi_1 = 0,7 \quad (\text{en avance sur } I) \\ U_2 = 40V & \cos \varphi_2 = 0,4 \quad (\text{en retard sur } I) \\ U_3 = 35V & \text{en quadrature arrière sur } I \end{array}$$

Déterminer vectoriellement la tension aux bornes du groupement. (éch : 1cm pour 10v)

- 2) Trois récepteurs sont associés en parallèle. Les courants dans chacun d'eux sont les suivantes :

$$\begin{array}{ll} I_1 = 1,5A & \cos \varphi_1 = 0,8 \quad (\text{en retard sur } U) \\ I_2 = 2A & \cos \varphi_2 = 0,7 \quad (\text{en avance sur } U) \\ I_3 = 3A & \text{en phase avec } U \end{array}$$

Déterminer vectoriellement le courant total absorbé par le groupement. (éch : 2cm pour 1A)

- 3) Un groupement de deux récepteurs monté en parallèle est placé en série avec un autre récepteur. La tension totale est de 120V. Je sais que le courant dans les récepteurs en parallèle est identique et vaut 2 A. Le courant dans le premier récepteur en parallèle est toutefois en retard sur la tension d'un cosinus de 0,8. Le déphasage de la seconde est d'un cosinus de 0,4 en avance. Le récepteur en série est en phase avec la tension à ces bornes.  
Déterminer le courant absorbé par l'ensemble et la tension aux bornes des deux groupements.