Ener1 – Réseaux électriques

Chapitre 2: Le triphasé

Université du Havre, IUT du Havre

Département GEII

Octobre 2013

PPN 2013: Ener1

Ener1 − Réseaux électriques		
UE **UE11**	Matière **Énergie**	Volume horaire 60h (15CM, 24TD, 21TP)
Référence **Ener1 (M1101)**	Module **Réseaux électriques**	Semestre **S1**

Objectifs :

- Acquérir les bases pour l'étude des circuits électriques et la manipulation des grandeurs qui lui sont liées, en particulier concernant la sécurité électrique

Compétences visées :

- Utiliser les outils de calcul des réseaux électriques
- Mesurer un courant, une tension et une puissance, choisir les bons instruments
- Travailler en sécurité (habilitation électrique)
- Câbler un équipement sur un réseau monophasé ou triphasé

Pré-requis :

- Lois générales de l'électricité: Module SE1 (M1104)
- Complexes, intégrales et dérivées: Module Ma1 (M1302)

Ener1 – Réseaux électriques

Contenu :

Outils réseaux électriques :

- Représentation dans le plan complexe, vecteurs de Fresnel
- Tensions simples et tensions composées
- Valeurs moyennes, efficaces, maximum et d'ondulation
- Puissance en monophasé et en triphasé
- Théorème de Boucherot

Mesures :

- Courant, tension, puissance
- Instruments de mesure

Câblage sur réseaux :

- Réseaux monophasé et en triphasé
- Equipements: sectionneur, disjoncteur, transformateur, appareillage
- Couplage étoile/triangle

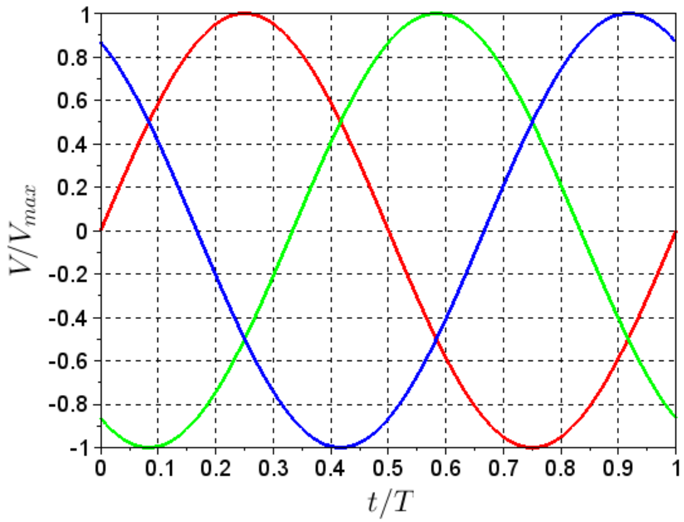
Sécurité électrique :

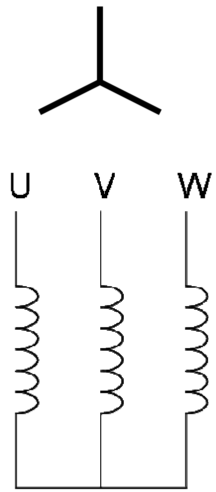
- Schémas de liaison à la terre
- Habilitation B1V

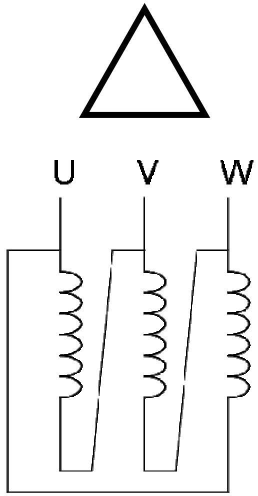
Ener1 – Réseaux électriques
Modalités de mise en œuvre : • Montages électriques simples • Câblages électriques • Mesures de courant et de tension en toute sécurité • Exercices en ligne notés: Module AA • Effectifs restreints pour les TP de préparation à l'habilitation électrique
Prolongements possibles : • Travailler sur des armoires électriques, avec analyse de schémas • Câblage électrique, étude de documentation technique • Modules ERx (Mx203)
Mots-clés : • Réseaux électriques • Energie, puissance • Monophasé, triphasé • Courant, tension • Sécurité électrique, habilitation • NFC 18C510

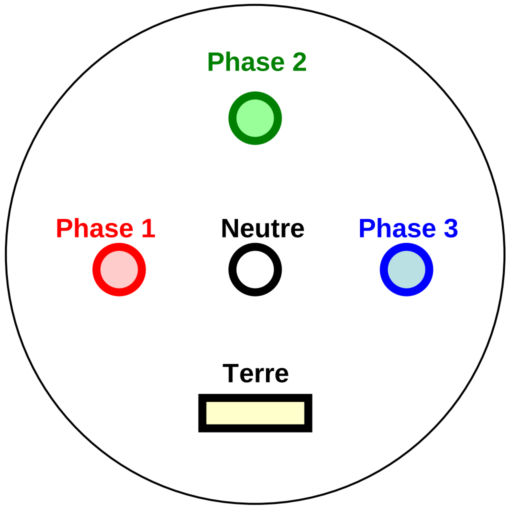
Le triphasé

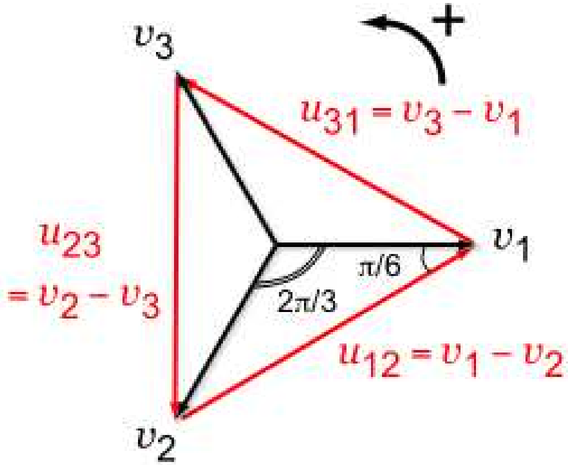
Introduction











Introduction

Contexte :

Pour diverses raisons (économiques et techniques), on peut démontrer que la distribution d'énergie par ligne monophasée n'est pas optimale.

On lui préfère les lignes polyphasées dont la plus utilisée est la ligne triphasée.

Haute tension :

Le transport de l'énergie électrique s'accompagne de pertes d'énergie et essentiellement des pertes par effet Joule. La puissance dissipée est $P_J = RI^2$. On cherche donc avoir un courant en ligne le plus faible.

Sachant que la puissance transmise par la ligne est le produit P = U.I, il est donc intéressant d'avoir une forte valeur de tension **U, ce qui entraîne une faible valeur de l'intensité I.**

Le triphasé

Introduction

<u>Conversion de tension :</u>

La nécessité d'élever la tension en sortie des centrales et de l'abaisser lors de son utilisation impose l'emploi de **transformateurs.**

Les transformateurs ont un fonctionnement optimal pour des tensions **alternatives sinusoïdales.**

<u>Remarque :</u>

L'abaissement ou l'augmentation d'une tension continue est plus difficile à réaliser dans des cas autres que la tension alternative sinusoïdale.

La production et l'utilisation de l'énergie sous forme de **tension triphasée présentent** plusieurs avantages:

- la conception des machines électriques (alternateurs et moteurs) se fait avec des enroulements triphasés ce qui présente, entre autre, le **meilleur rendement "poids/puissance".**
- le démarrage des moteurs triphasés se fait naturellement avec des tensions triphasées contrairement aux moteurs monophasés.

Le triphasé

I) Tensions simples, tensions composées

On cherche ici à calculer les courants circulant dans une charge triphasée alimentée par une ligne possédant 3 ou 4 fils.

L'objectif premier est de définir une ligne de distribution triphasée.

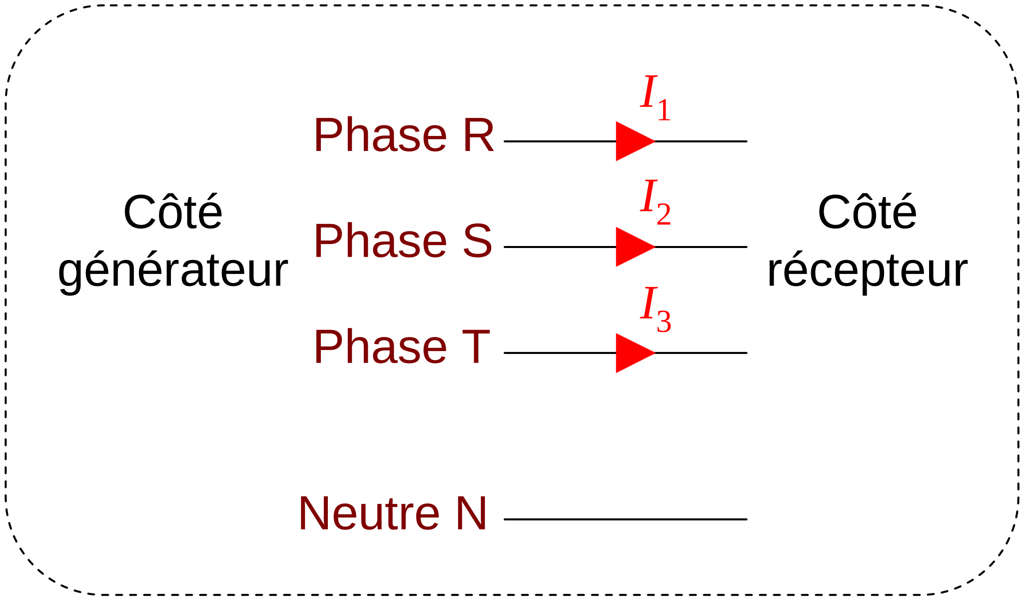
Elle comporte trois générateurs et trois récepteurs reliés par 4 fils.

Trois des fils sont les *phases* :

R (reference),
S (second),
T (third).

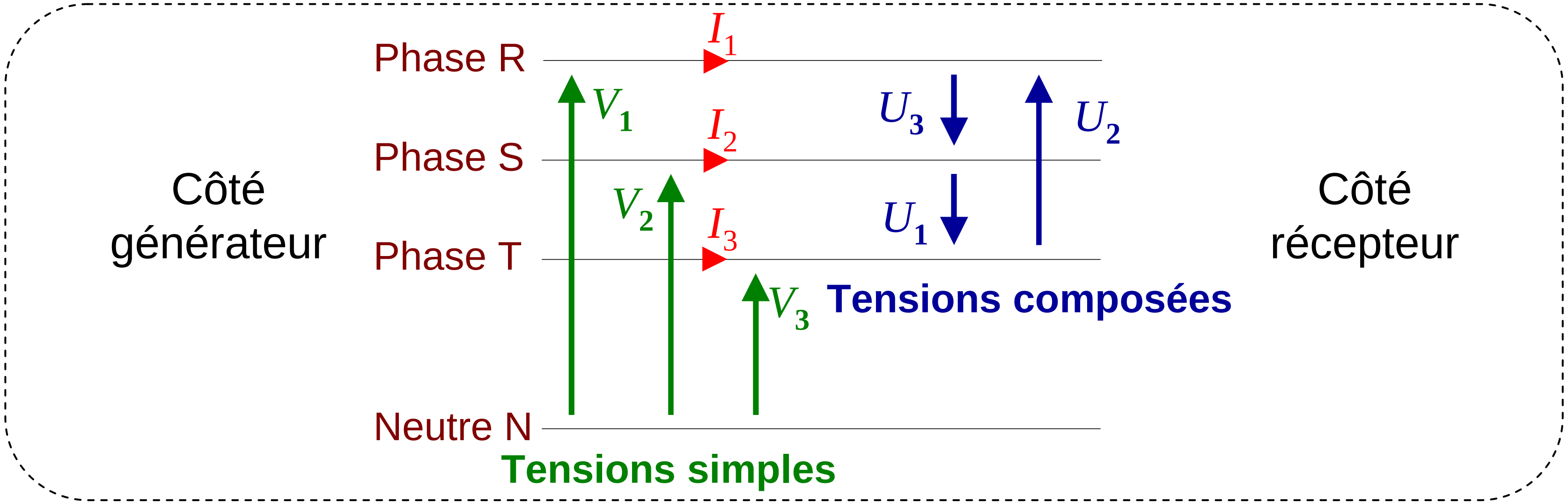
Le quatrième fil est le *neutre* :

N (neutre)



I) Tensions simples, tensions composées

Les tensions délivrées par les générateurs peuvent s’écrire de deux façons :
- avec le neutre comme référence (les tensions sont dites "**tensions simples**"),
- sans référence au neutre (les tensions sont dites "**tensions composées**").



Les **tensions simples** sont:

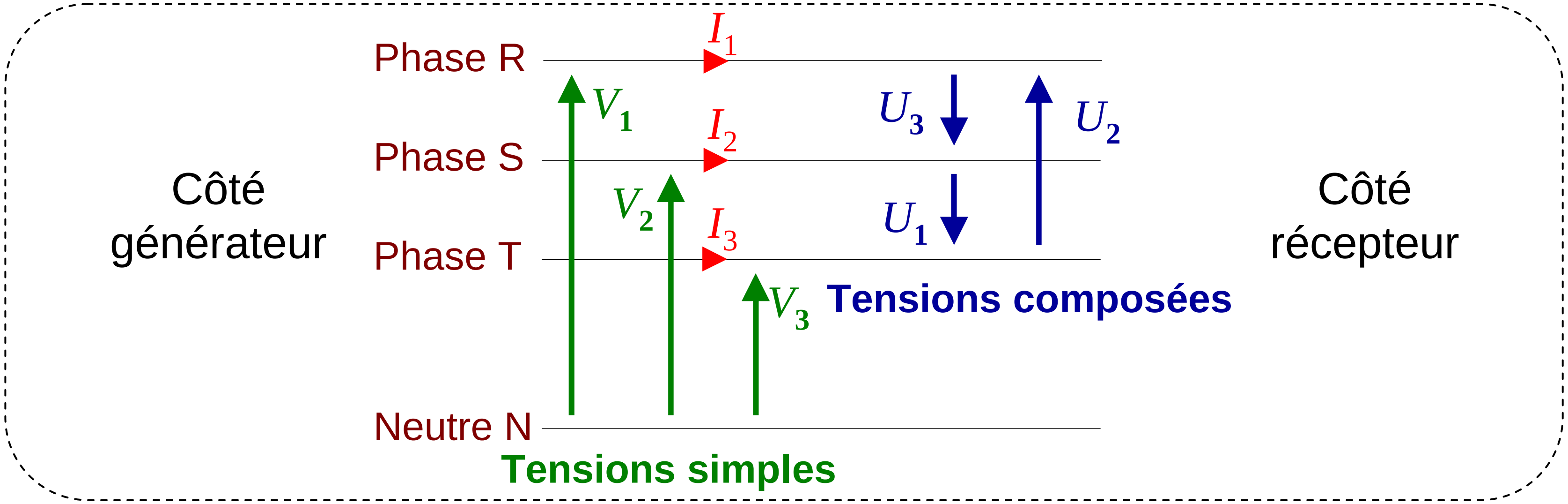
$$\begin{cases} V_1(t) \\ V_2(t) \\ V_3(t) \end{cases}$$

Les **tensions composées** sont :

$$\begin{cases} U_{21}(t) = V_2(t) - V_1(t) = U_3(t) \\ U_{32}(t) = V_3(t) - V_2(t) = U_1(t) \\ U_{13}(t) = V_1(t) - V_3(t) = U_2(t) \end{cases}$$

La première notation correspond à la d.d.p., alors que la dernière est la notation officielle.

I) Tensions simples, tensions composées



<u>Remarques :</u>

Permutation circulaire des indices (1→2→3→1→2….etc): plan de Fresnel.

En triphasé la lettre ***V*** est toujours attribuée à une **tension simple**, tandis que ***U*** est associée à une **tension composée**.

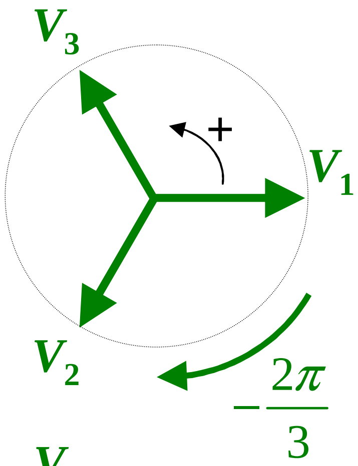
La notion de d.d.p. n'a pas disparu en triphasé, mais usuellement on la remplace par la tension.

Enfin, les **courants de ligne** sont notés ***I*** (voir plus loin au § 3).

II) Propriétés des tensions simples

2.1) Représentation temporelle

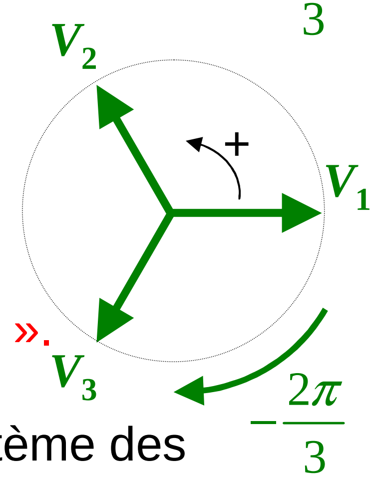
Les tensions simples sont des d.d.p. de même valeur efficace :
Le système de tensions est dit « équilibré ».



Elles sont déphasées entre elles de 2π/3 :

$$\begin{cases} V_2 \text{ est en retard de } 2\pi/3 \text{ par rapport à } V_1, \\ V_3 \text{ est en retard de } 2\pi/3 \text{ par rapport à } V_2, \\ V_1 \text{ est en retard de } 2\pi/3 \text{ par rapport à } V_3. \end{cases}$$

Le système des tensions simples est dit « direct ».



On imagine l'autre possibilité où :

$$\begin{cases} V_3 \text{ est en retard de } 2\pi/3 \text{ par rapport à } V_1, \\ V_2 \text{ est en retard de } 2\pi/3 \text{ par rapport à } V_3, \\ V_1 \text{ est en retard de } 2\pi/3 \text{ par rapport à } V_2. \end{cases}$$

Dans ce cas, le système des tensions simples est dit « inverse ».

Par la suite, on considère, sauf indication contraire, que le système des tensions simples est dit « équilibré direct ».

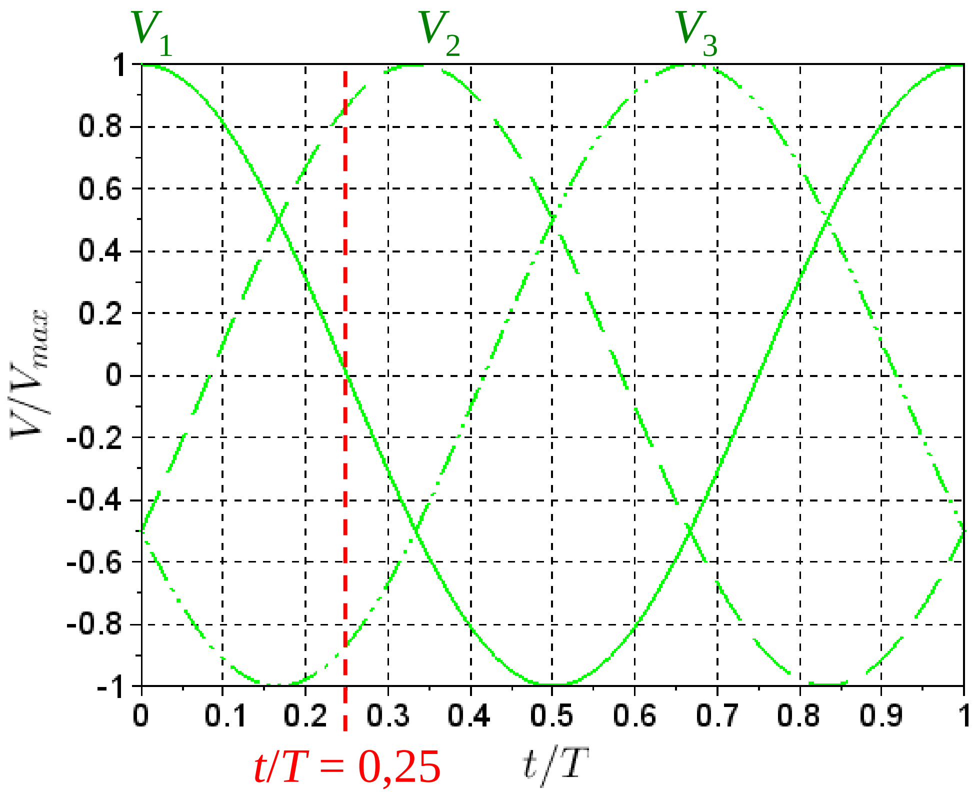
II) Propriétés des tensions simples

2.1) Représentation temporelle

Système triphasé de tensions simples « équilibré direct ».

On note :

$$\begin{cases} V_1(t) = V_M \cos(\omega t) \\ V_2(t) = V_M \cos(\omega t - 2\pi/3) \\ V_3(t) = V_M \cos(\omega t - 4\pi/3) \end{cases}$$



On peut vérifier que, à tout instant, la somme de ces trois tensions est nulle :

$$V_1(t) + V_2(t) + V_3(t) = 0$$

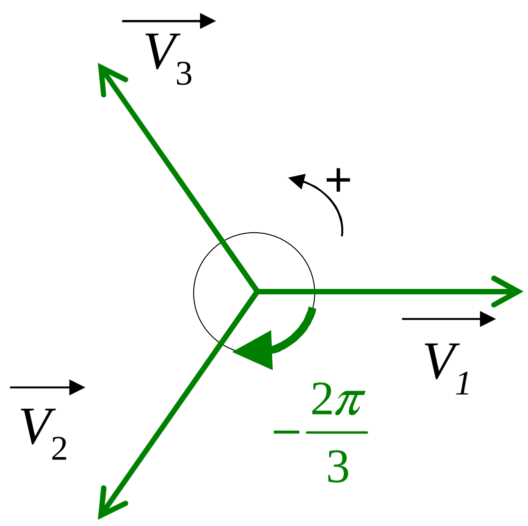
<u>Exemple :</u> Pour $t/T = 0,25$, on a: ………………………………………………

II) Propriétés des tensions simples

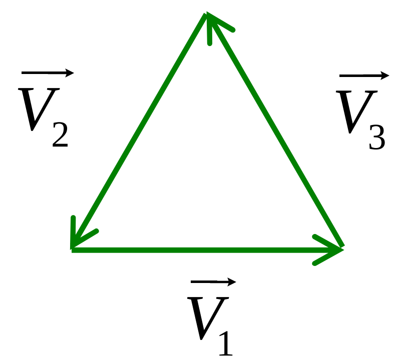
2.2) Représentation dans le plan de Fresnel (plan complexe)

A chaque tension, on associe un vecteur de Fresnel.

Les trois vecteurs associé aux tensions simples sont représentés, en t = 0, comme indiqué sur la figure.
On peut vérifier que la somme des trois vecteurs est un vecteur nul.



$$\overrightarrow{V_1}+\overrightarrow{V_2}+\overrightarrow{V_3}=\vec{0}$$

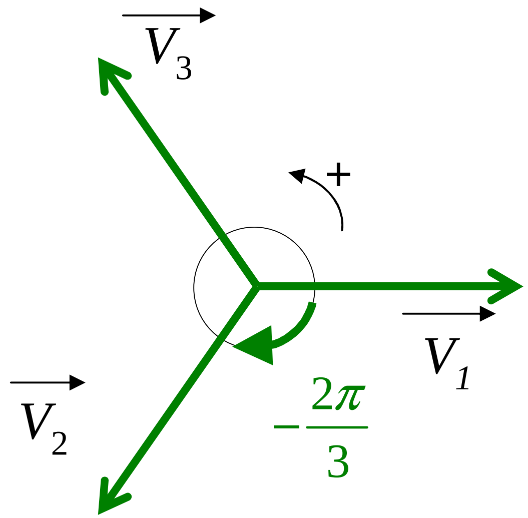


II) Propriétés des tensions simples

2.3) Notation complexe

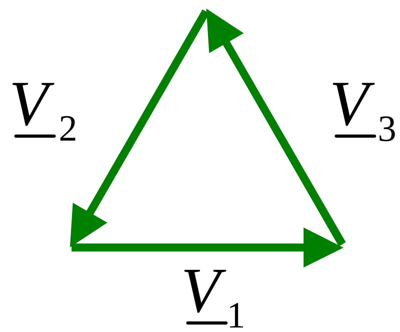
Aux trois tensions simples on associe les complexes (usuels) suivants :

$$\begin{cases} \underline{V}_1 = V_{eff} \\ \underline{V}_2 = V_{eff}.\exp\left(-j\dfrac{2\pi}{3}\right) \\ \underline{V}_3 = V_{eff}.\exp\left(-j\dfrac{4\pi}{3}\right) \end{cases}$$



Il est possible de montrer que leur somme est nulle :

$$\underline{V}_1 + \underline{V}_2 + \underline{V}_3 = 0$$



II) Propriétés des tensions simples

2.4) L'opérateur rotation $\underline{a}$

Les calculs en triphasé sont, la plupart du temps, réalisés en écriture complexe. Pour simplifier on utilise souvent le symbole $\underline{a}$ pour remplacer l'exponentielle des définitions.

$$\underline{a} = \exp\left(-j\frac{2\pi}{3}\right) = \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) - j\sin\left(\frac{2\pi}{3}\right)$$

Notation complexe :

$$\begin{cases} \underline{V}_1 = V_{eff} \\ \underline{V}_2 = V_{eff}.\exp\left(-j\frac{2\pi}{3}\right) \\ \underline{V}_3 = V_{eff}.\exp\left(-j\frac{4\pi}{3}\right) \end{cases}$$

$\Leftrightarrow$

Opérateur rotation :

$$\begin{cases} \underline{V}_1 = \underline{a}.\underline{V}_3 \\ \underline{V}_2 = \underline{a}.\underline{V}_1 \\ \underline{V}_3 = \underline{a}.\underline{V}_2 \end{cases}$$

II) Propriétés des tensions simples

2.4) L'opérateur rotation $\underline{a}$

La composition vectorielle dans le plan de Fresnel donne :

$$\underline{V}_1 + \underline{V}_2 + \underline{V}_3 = V_{eff}.(1 + \underline{a} + \underline{a}^2) = 0$$

D'où la propriété de $\underline{a}$:

$$1 + \underline{a}^2 + \underline{a} = 0$$

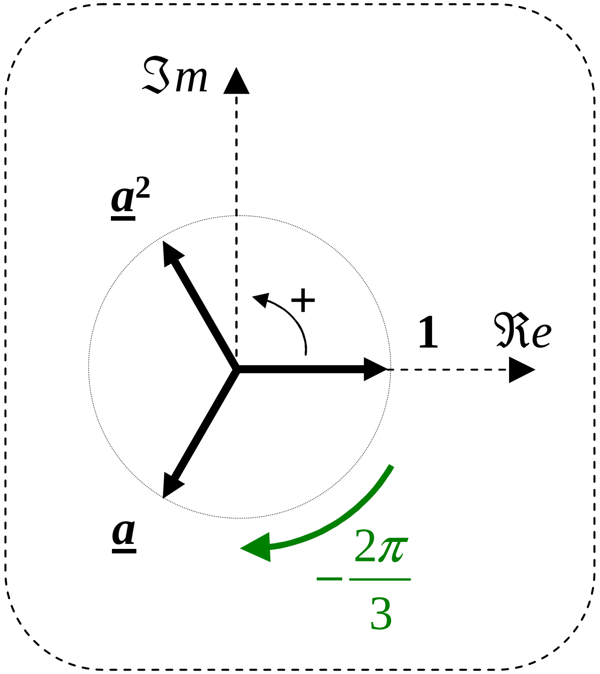
On vérifie par ailleurs que :

$$\underline{a} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\underline{a}^2 = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} = \underline{a}^*$$

$$\underline{a}^3 = 1$$

Les nombres $\underline{a}$, $\underline{a}^2$ et $\underline{a}^3$ sont les racines cubiques de **1**.



On peut aussi montrer que :

$$\underline{a}^2 - \underline{a} = j\sqrt{3}$$

III) Propriétés des tensions composées

3.1) Représentation temporelle

On va montrer que les tensions composées forment, comme les tensions simples, un *système triphasé, équilibré et direct*. Il faut situer ce système par rapport à celui des tensions simples.

Les tensions composées se calculent aisément. Par exemple :

$$U_1(t) = V_3(t) - V_2(t)$$

En remplaçant V_2 et V_3 par leur définition, on trouve:

$$U_1(t) = V_M \cos\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) - V_M \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) = V_M \sqrt{3} \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

De la même façon, on trouve :

$$U_2(t) = V_M \sqrt{3} \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2} - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$U_3(t) = V_M \sqrt{3} \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2} - \frac{4\pi}{3}\right)$$

III) Propriétés des tensions composées

3.1) Représentation temporelle

$$U_1(t) = V_3(t) - V_2(t)$$

$$U_1(t) = V_M \cos\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) - V_M \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

θ	0	$+\frac{2\pi}{3}$	$+\frac{4\pi}{3}$
$\cos\theta$	1	$-1/2$	$-1/2$
$\sin\theta$	0	$+\sqrt{3}/2$	$-\sqrt{3}/2$

avec : $\cos(\omega t - \varphi) = \cos(\omega t).\cos(\varphi) + \sin(\omega t).\sin(\varphi)$

$$U_1(t) = V_M \left[\left(\cancel{\cos(\omega t).\frac{-1}{2}} + \sin(\omega t).\frac{-\sqrt{3}}{2}\right) - \left(\cancel{\cos(\omega t).\frac{-1}{2}} + \sin(\omega t).\frac{+\sqrt{3}}{2}\right)\right]$$

soit $U_1(t) = -V_M\sqrt{3}\sin(\omega t)$

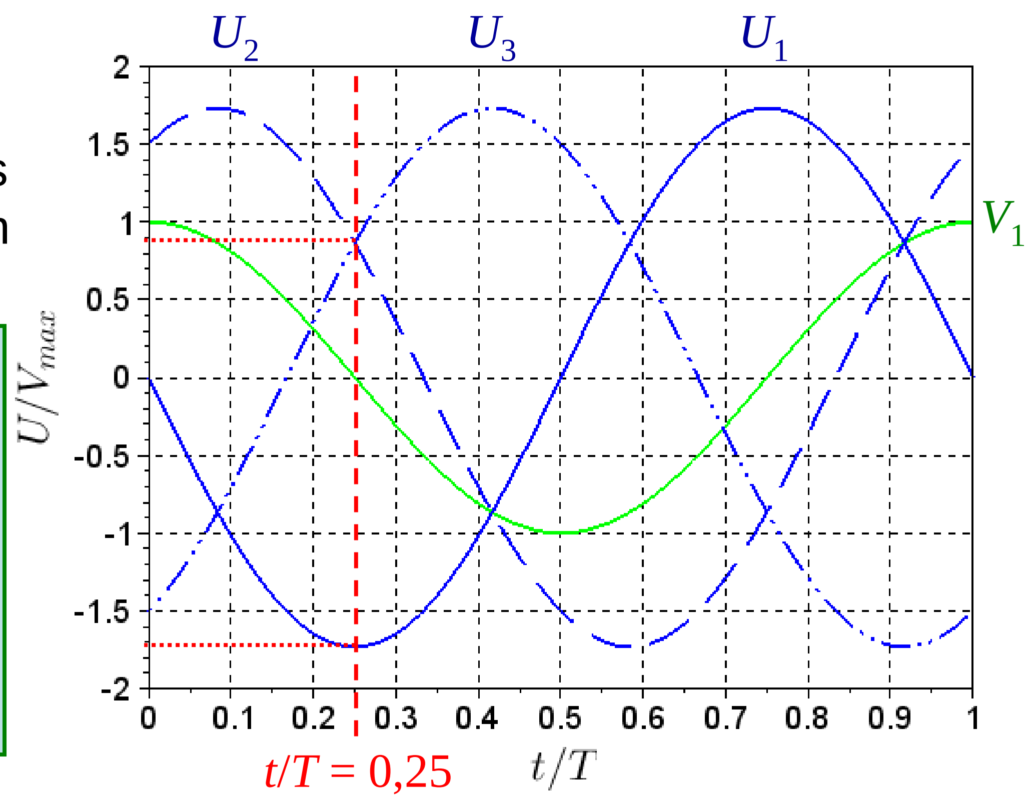
ou $\boxed{U_1(t) = V_M\sqrt{3}\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)}$

III) Propriétés des tensions composées

3.1) Représentation temporelle

Ici, sont tracées les trois tensions composées avec la tension $\mathbf{V_1}$ en référence. On note :

$$\begin{cases} U_1(t) = V_M\sqrt{3}\cos\left(\omega t + \dfrac{\pi}{2}\right) \\ U_2(t) = V_M\sqrt{3}\cos\left(\omega t + \dfrac{\pi}{2} - \dfrac{2\pi}{3}\right) \\ U_3(t) = V_M\sqrt{3}\cos\left(\omega t + \dfrac{\pi}{2} - \dfrac{4\pi}{3}\right) \end{cases}$$



On vérifie, à tout instant, que la somme de ces trois tensions est nulle :

$$\boxed{U_1(t) + U_2(t) + U_3(t) = 0}$$

<u>Exemple :</u> Pour $t/T = 0{,}25$, on a: ………………………………………………

III) Propriétés des tensions composées

3.1) Représentation temporelle

On retient de cette étude la comparaison entre une tension simple $V_i(t)$ et la tension composée de même indice $U_i(t)$: la tension composée est la tension simple multipliée par **√3** et en avance de **π/2** (90 degrés) :

$$\begin{cases} V_1(t) = V_M \cos(\omega t) \\ V_2(t) = V_M \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \\ V_3(t) = V_M \cos\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) \end{cases}$$

$$\begin{cases} U_M = \sqrt{3}.V_M \\ \varphi_U = \varphi_V + \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

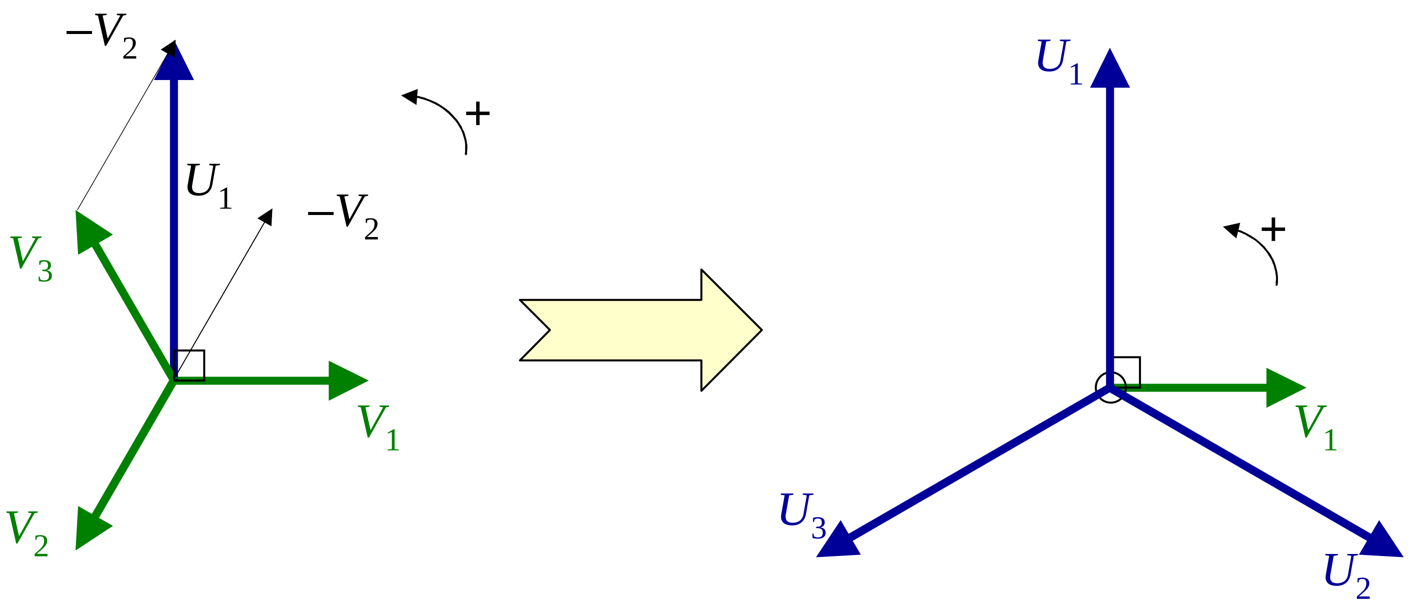
$$\begin{cases} U_1(t) = V_M\sqrt{3}\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \\ U_2(t) = V_M\sqrt{3}\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2} - \frac{2\pi}{3}\right) \\ U_3(t) = V_M\sqrt{3}\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2} - \frac{4\pi}{3}\right) \end{cases}$$

III) Propriétés des tensions composées

3.2) Représentation dans le plan de Fresnel

Les vecteurs correspondant aux tensions composées sont tracés dans le plan de Fresnel :

$$U_1(t) = V_3(t) - V_2(t) \Leftrightarrow \overrightarrow{U_1} = \overrightarrow{V_3} - \overrightarrow{V_2}$$



On vérifie que :

$$\boxed{\overrightarrow{U_1} + \overrightarrow{U_2} + \overrightarrow{U_3} = 0}$$

III) Propriétés des tensions composées

3.3) Notation complexe

On retient de cette étude la comparaison entre une tension simple $V_i(t)$ et la tension composée de même indice $U_i(t)$: la tension composée est la tension simple multipliée par **√3** et en avance de **π/2** (90 degrés) :

$$\begin{cases} \underline{V}_1 = V_{eff} \\ \underline{V}_2 = V_{eff}\exp\left(-j\dfrac{2\pi}{3}\right) \\ \underline{V}_3 = V_{eff}\exp\left(-j\dfrac{4\pi}{3}\right) \end{cases}$$

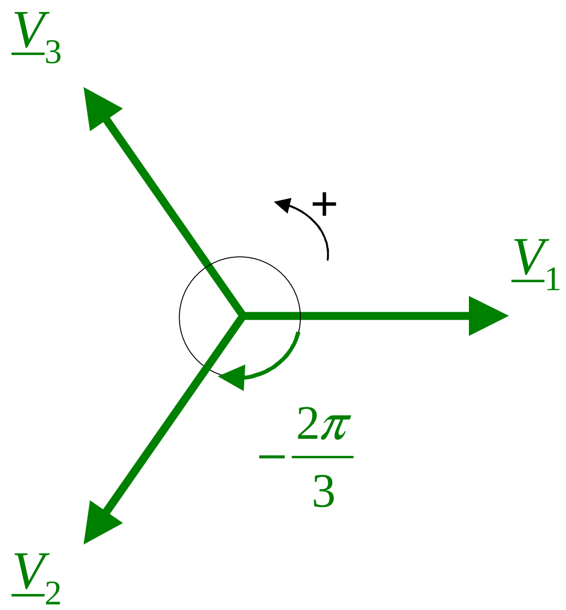
$$\begin{cases} U_{eff} = \sqrt{3}.V_{eff} \\ \varphi_U = \varphi_V + \dfrac{\pi}{2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \underline{U}_1 = V_{eff}\sqrt{3}.\exp\left(+j\dfrac{\pi}{2}\right) \\ \underline{U}_2 = V_{eff}\sqrt{3}.\exp\left(+j\left(\dfrac{\pi}{2}-\dfrac{2\pi}{3}\right)\right) \\ \underline{U}_3 = V_{eff}\sqrt{3}.\exp\left(+j\left(\dfrac{\pi}{2}-\dfrac{4\pi}{3}\right)\right) \end{cases}$$

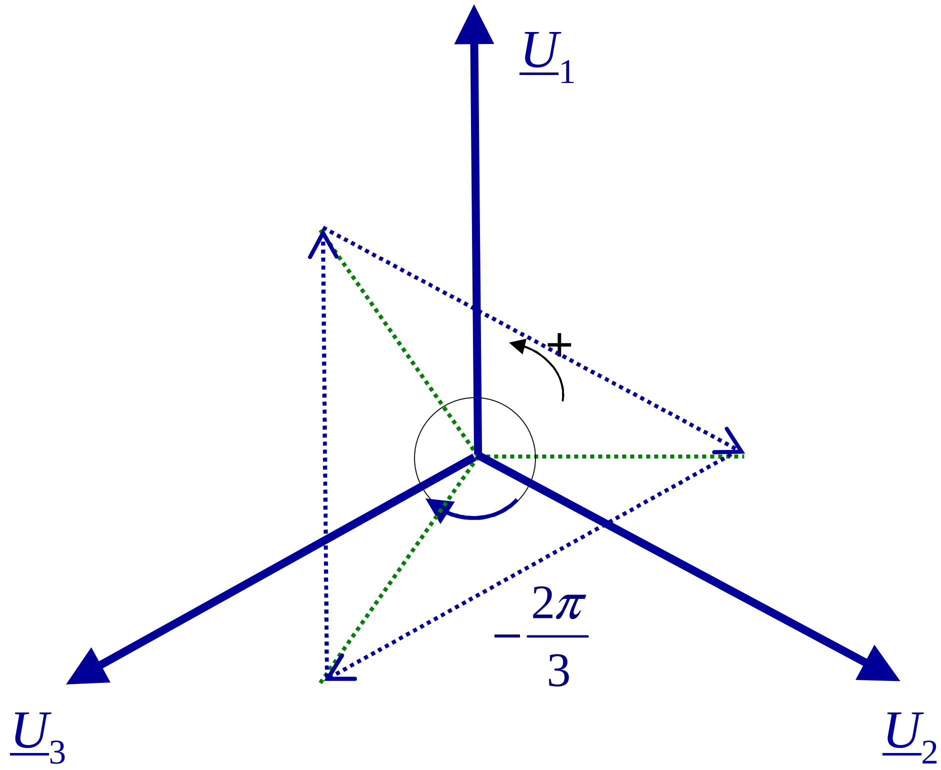
$$\underline{U}_i = \sqrt{3}.\underline{V}_i.\exp\left(+j\frac{\pi}{2}\right)$$

III) Propriétés des tensions composées

3.4) Plan complexe



Tensions simples: $\underline{V}_i$



Tensions composées: $\underline{U}_i$

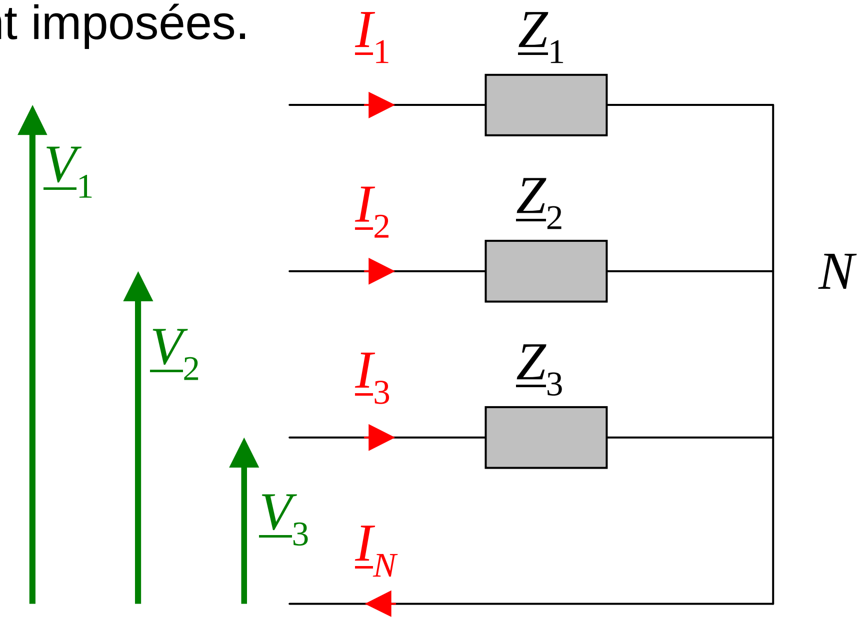
<u>Note :</u>

Pour un réseau triphasé 230/400 V, on a: $V = 230$ V et $U = 400$ V.

IV) Récepteur triphasé: couplage étoile avec neutre

4.1) Récepteur triphasé **quelconque en étoile avec neutre**

La ligne (4 fils) alimente une *charge triphasée étoile*. Ce terme vient du fait que les trois impédances ont un point commun, qui est le neutre. L'objectif est de calculer les courants circulant dans la charge, alors que les tensions (simples et composées) sont imposées.



La valeur de $\underline{I}_i$ est donnée en fonction de $\underline{Z}_i$: $\boxed{\underline{I}_i = \frac{\underline{V}_i}{\underline{Z}_i}}$ et $\boxed{\underline{I}_N = \sum_{i=1}^{3} \underline{I}_i}$

IV) Récepteur triphasé: couplage étoile avec neutre

4.2) Récepteur triphasé **équilibré en étoile avec neutre**

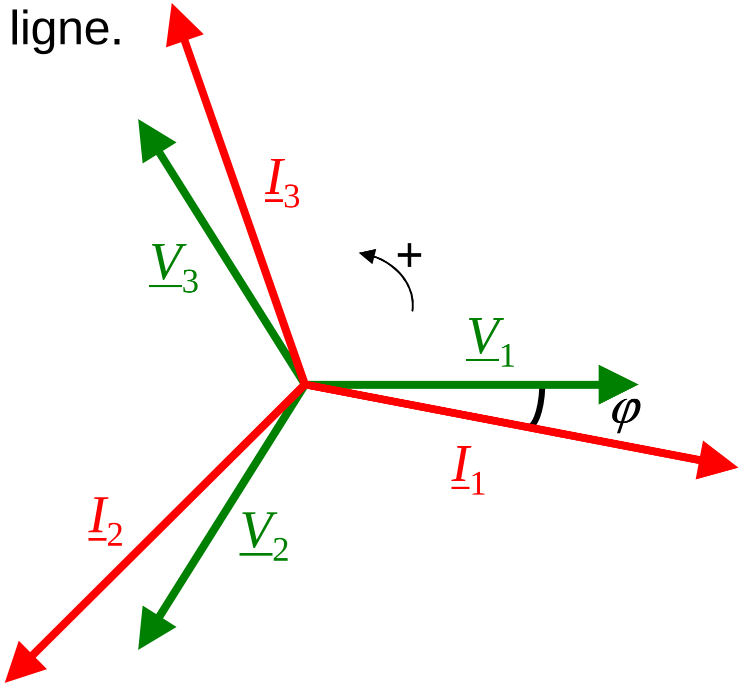
Cas particulier :

Si les trois impédances sont identiques (*charge équilibrée*), alors les courants en ligne $\underline{I}_i$ forment *un système triphasé, équilibré et direct* comme les tensions.

Illustration : Tensions simples et courants en ligne.

Cas d'un circuit inductif:

$\underline{V}_i$ en avance de φ sur $\underline{I}_i$.



Cas d'une charge équilibrée :

Les trois impédances sont identiques:

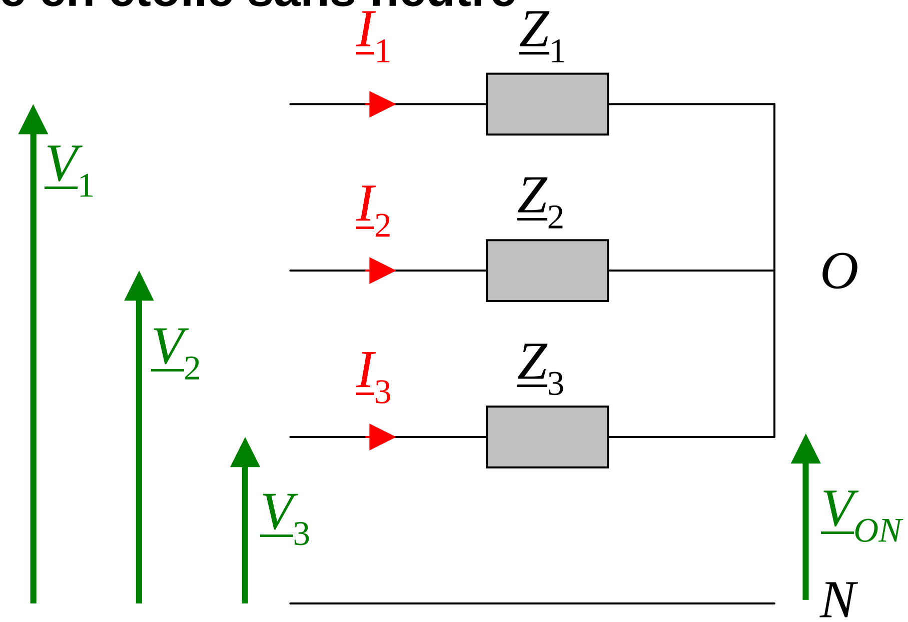
$\underline{Z}_i = \underline{Z}$.

La valeur de $\underline{I}_i$ se résume à :

$$\boxed{\underline{I}_i = \frac{\underline{V}_i}{\underline{Z}}} \quad \text{et} \quad \boxed{\underline{I}_N = \sum_{i=1}^{3} \underline{I}_i = 0}$$

IV) Récepteur triphasé: couplage étoile sans neutre

4.3) Récepteur triphasé **quelconque en étoile sans neutre**



Résultat :

La tension $\underline{V}_{ON}$ est donnée par le théorème de Millman :

$$\underline{V}_{ON} = \frac{\sum_{i=1}^{3} \frac{\underline{V}_i}{\underline{Z}_i}}{\sum_{i=1}^{3} \frac{1}{\underline{Z}_i}}$$

Notation :

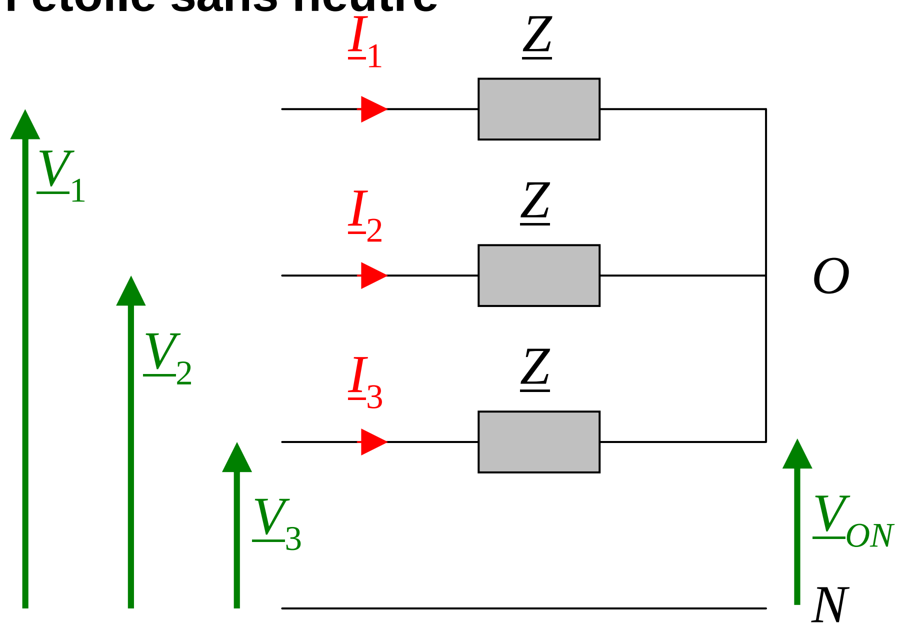
On note $\underline{W}_i$ la tension aux borne de chacun des dipôles $\underline{Z}_i$.

On en déduit : $\underline{W}_i = \underline{V}_i - \underline{V}_{ON}$

et $\underline{I}_i = \frac{\underline{W}_i}{\underline{Z}_i}$

IV) Récepteur triphasé: couplage étoile sans neutre

4.4) Récepteur triphasé **équilibré en étoile sans neutre**



<u>Cas d'une charge équilibrée :</u>

Les impédances sont identiques:

$\underline{Z}_i = \underline{Z}$.

<u>Résultat :</u>

La tension $\underline{V}_{ON}$ est donnée par le théorème de Millman :

$$\boxed{\underline{V}_{ON} = \frac{1}{3}\sum_{i=1}^{3}\underline{V}_i = 0}$$

Le centre de l'étoile $\underline{V}_O$ est au potentiel du neutre $\underline{V}_N$.

On en déduit : $\boxed{\underline{W}_i = \underline{V}_i}$

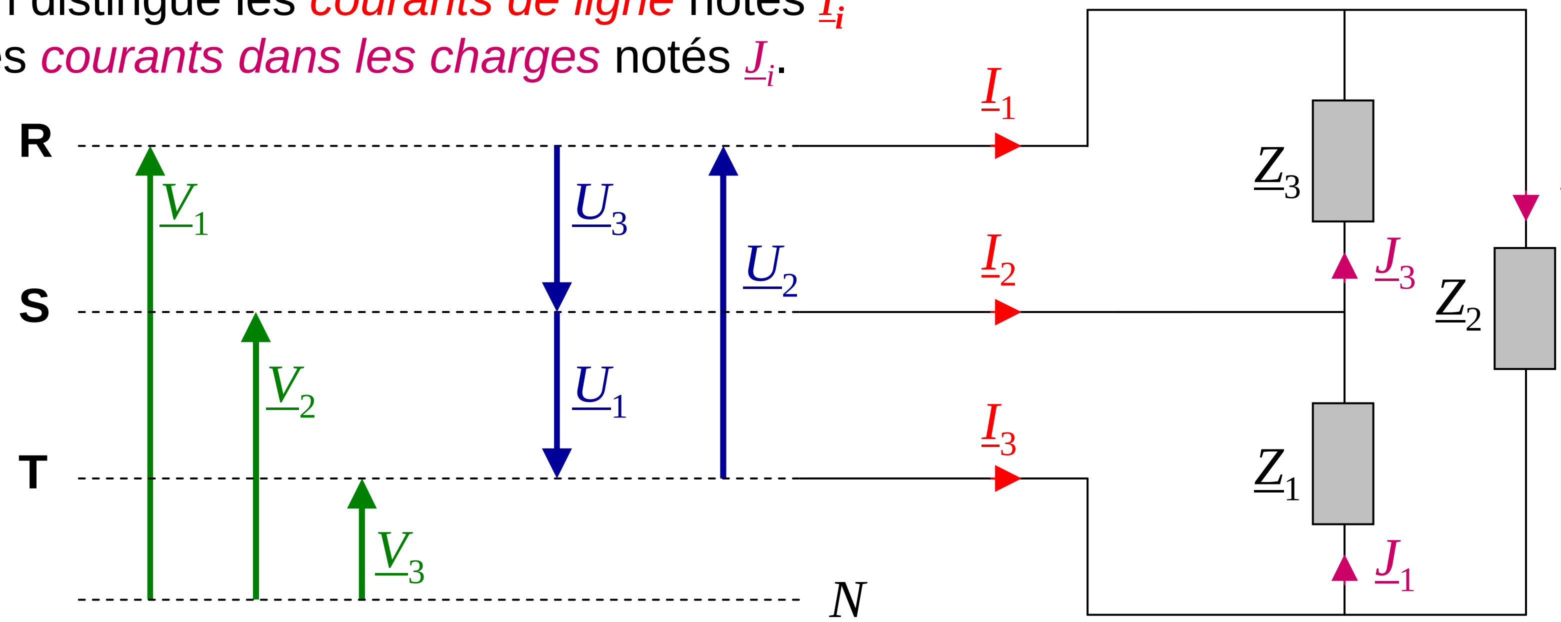
et $\boxed{\underline{I}_i = \frac{\underline{W}_i}{\underline{Z}_i} = \frac{\underline{V}_i}{\underline{Z}}}$

V) Récepteur triphasé: couplage triangle

5.1) Récepteur triphasé **quelconque en triangle**

<u>Notation :</u>

On distingue les *courants de ligne* notés $\underline{I}_i$
et les *courants dans les charges* notés $\underline{J}_i$.



Les courants $\underline{J}_i$ sont orientés tels que :

$$\boxed{\underline{U}_i = \underline{Z}_i.\underline{J}_i}$$

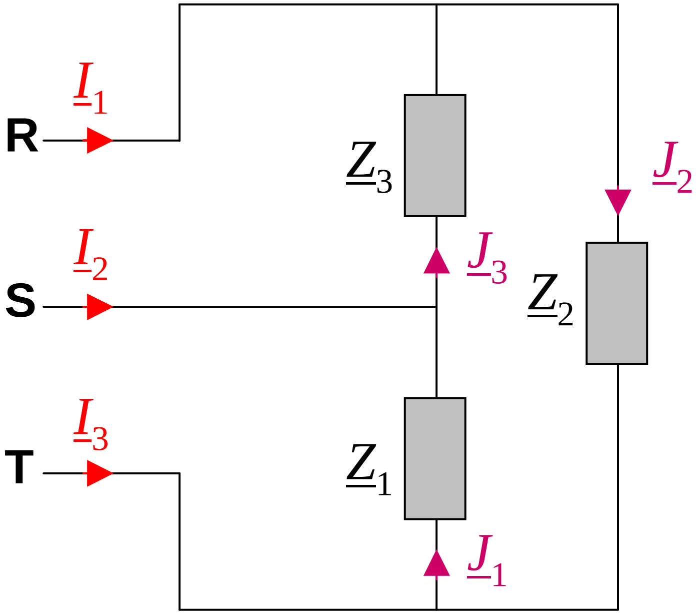
Les lois des nœuds donnent :

$$\boxed{\begin{cases} \underline{I}_1 = \underline{J}_2 - \underline{J}_3 \\ \underline{I}_2 = \underline{J}_3 - \underline{J}_1 \\ \underline{I}_3 = \underline{J}_1 - \underline{J}_2 \end{cases}}$$

V) Récepteur triphasé: couplage triangle

5.1) Récepteur triphasé **quelconque en triangle**

La charge triphasée quelconque signifie que $\underline{Z}_1 \neq \underline{Z}_2 \neq \underline{Z}_3$.



Remarques :

a) En additionnant les expressions des trois courants en ligne $\underline{I}_i$ on trouve :

$$\boxed{\sum_{i=1}^{3} \underline{I}_i = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = 0}$$

b) Par contre, la somme des trois courants dans les charges $\underline{J}_i$ donne :

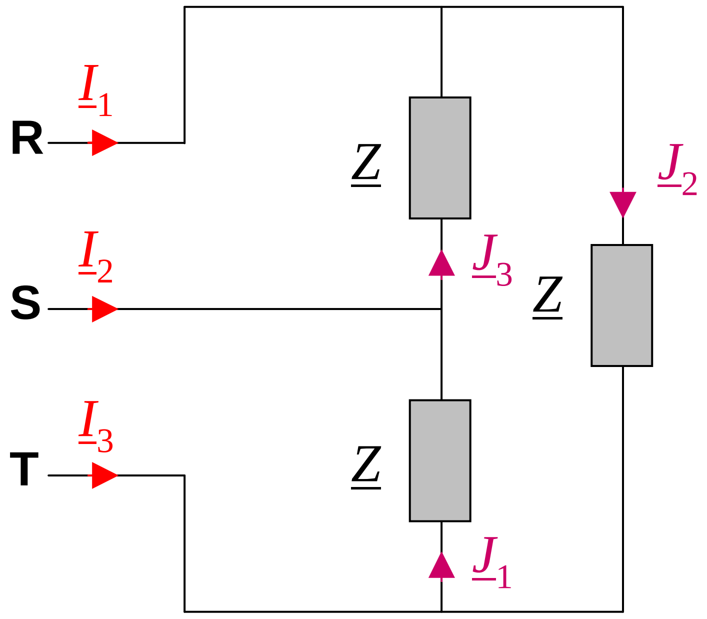
$$\boxed{\sum_{i=1}^{3} \underline{J}_i = \sum_{i=1}^{3} \frac{\underline{U}_i}{\underline{Z}_i} = \underline{J}_1 + \underline{J}_2 + \underline{J}_3}$$

La somme de ces courants $\underline{J}_i$ n'est nulle que dans le cas d'une charge équilibrée, c'est-à-dire si et seulement si $\underline{Z}_i = \underline{Z}$.

V) Récepteur triphasé: couplage triangle

5.2) Récepteur triphasé **équilibré en triangle**

La charge triphasée équilibrée signifie que $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 = \underline{Z}_3 = \underline{Z}$.



<u>Remarques :</u>

a) Comme en charge quelconque, la somme des trois courants en ligne $\underline{I}_i$ donne :

$$\boxed{\sum_{i=1}^{3} \underline{I}_i = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = 0}$$

b) En charge équilibrée, la somme des trois courants dans les charges $\underline{J}_i$ donne :

$$\boxed{\sum_{i=1}^{3} \underline{J}_i = \sum_{i=1}^{3} \frac{\underline{U}_i}{\underline{Z}_i} = \frac{1}{\underline{Z}} \sum_{i=1}^{3} \underline{U}_i = \underline{J}_1 + \underline{J}_2 + \underline{J}_3 = 0}$$

La somme de ces courants $\underline{J}_i$ est nulle car elle revient à la somme des tensions composées $\underline{U}_i$, nulle dans ce cours (alimentation équilibrée).

V) Récepteur triphasé: couplage triangle

5.2) Récepteur triphasé **équilibré en triangle**

La charge triphasée équilibrée signifie que $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 = \underline{Z}_3 = \underline{Z}$.

Cette configuration donne :

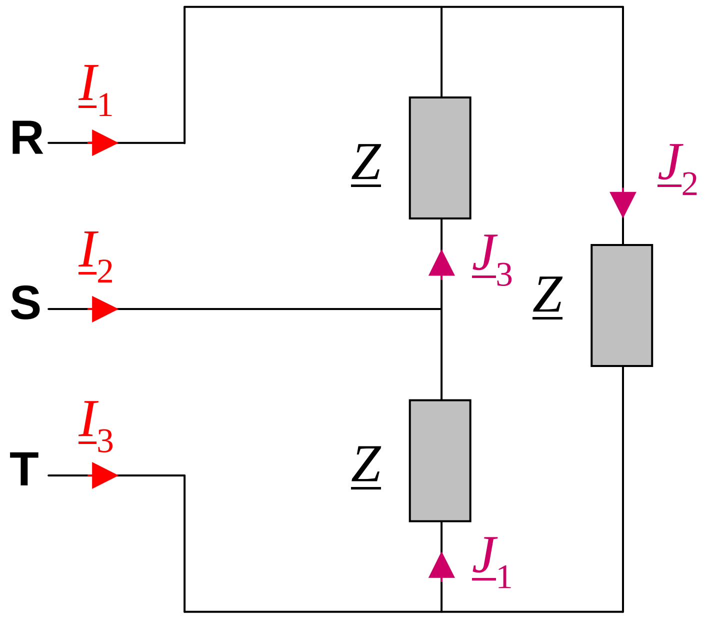
$$\underline{I}_1 = \underline{J}_2 - \underline{J}_3 = \frac{1}{\underline{Z}}(\underline{U}_2 - \underline{U}_3)$$

soit :

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_1}{\underline{Z}}(\underline{a} - \underline{a}^2) = -j\sqrt{3}\,\underline{J}_1$$

En généralisant, on obtient :

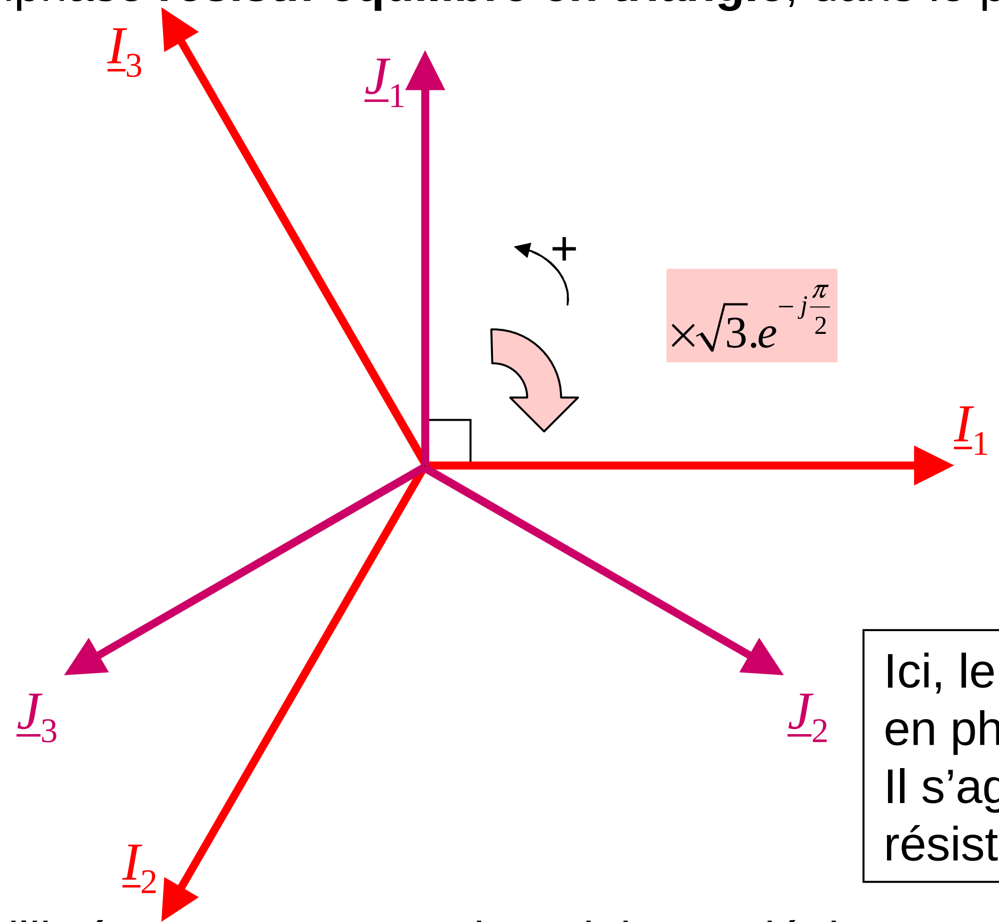
$$\boxed{\underline{I}_i = \sqrt{3}.e^{-j\frac{\pi}{2}}.\underline{J}_i}$$



En résumé, le courant en ligne $\underline{I}_i$ est en <u>retard</u> de π/2 sur le courant de branche $\underline{J}_i$.
Sa valeur efficace est **$3^{1/2}$** plus grande.
Les courants de ligne forment également un *système triphasé équilibré et direct*.

V) Récepteur triphasé: couplage triangle

5.3) Récepteur triphasé **résistif équilibré en triangle**, dans le plan de Fresnel

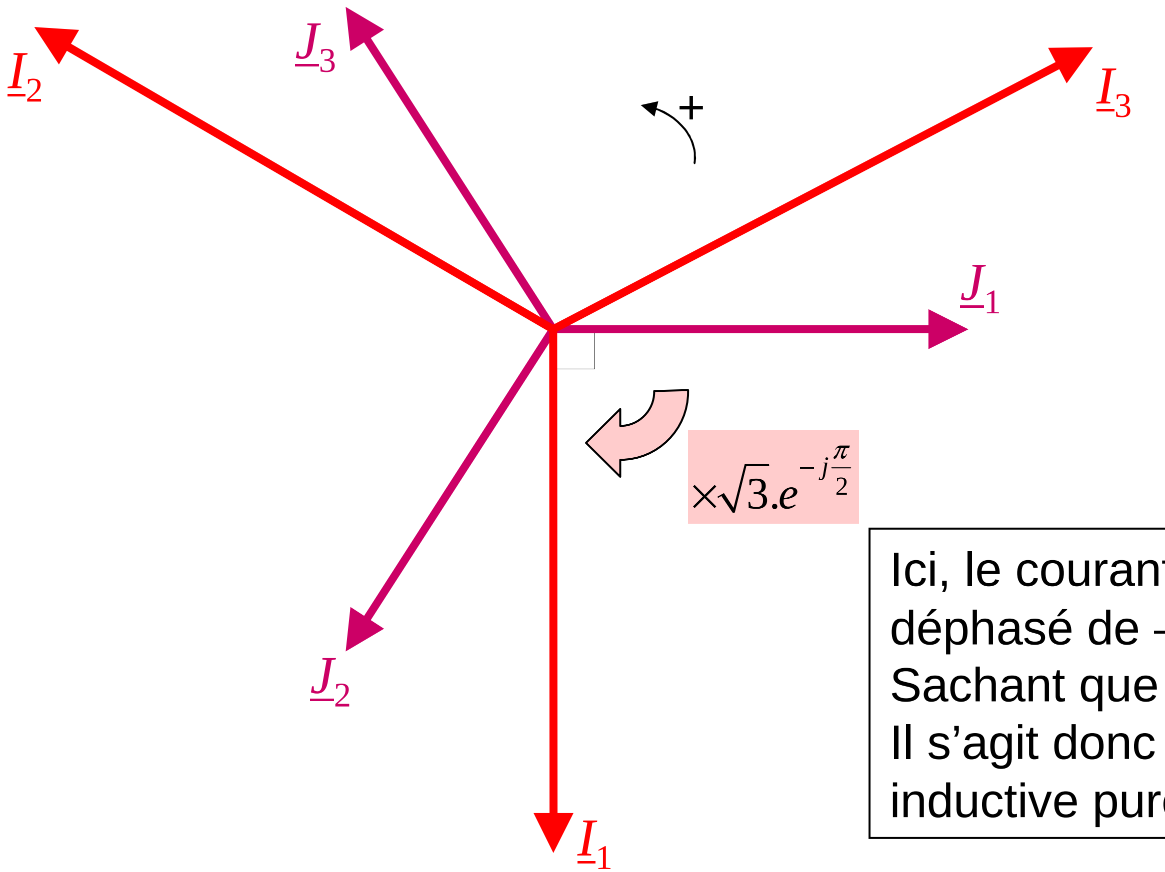


Ici, le courant $\underline{J}_1$ est en phase avec $\underline{U}_1$. Il s'agit d'une charge résistive pure $\underline{Z} = R$.

Une charge équilibrée $\underline{Z} = Z.\exp(j\varphi)$ introduit un déphasage φ entre le courant de branche $\underline{J}$ et la tension $\underline{U}$.

V) Récepteur triphasé: couplage triangle

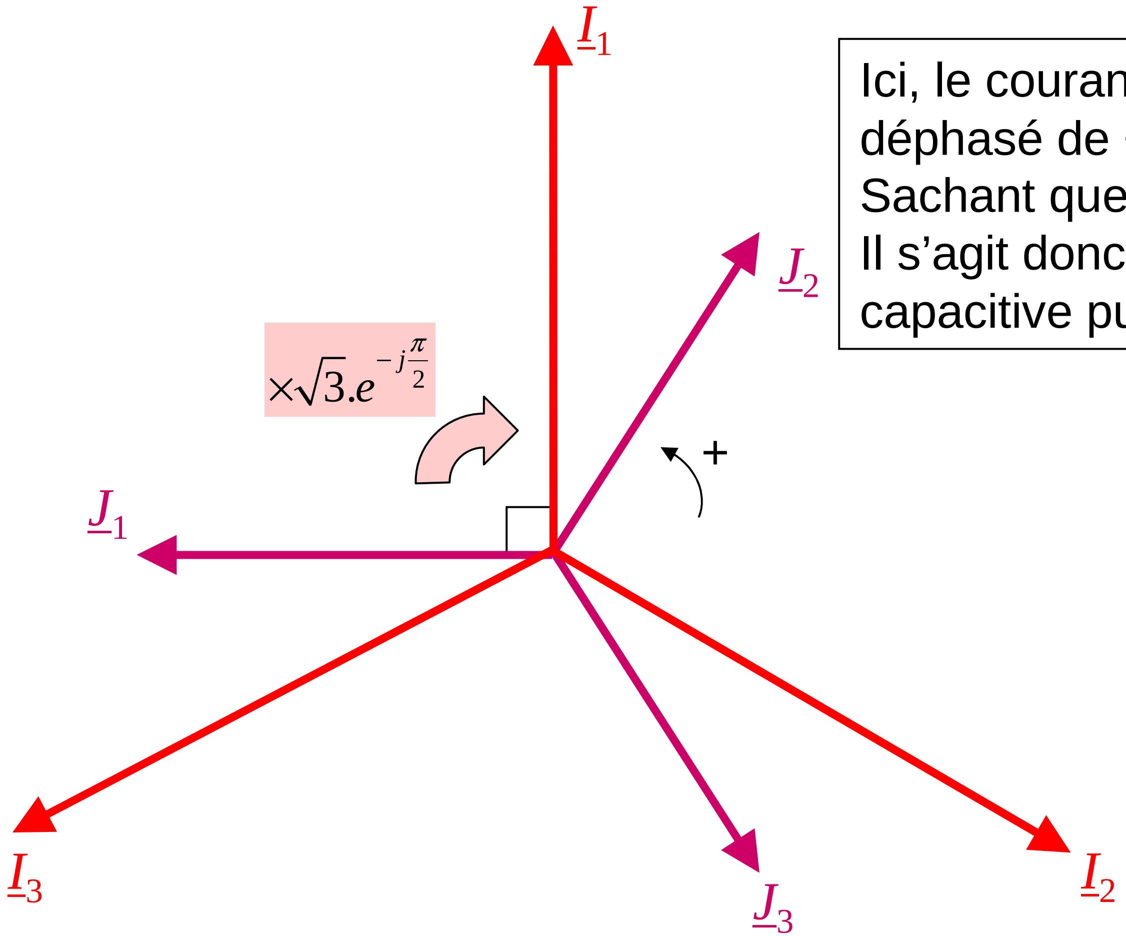
5.3) Récepteur triphasé **inductif équilibré en triangle**, dans le plan de Fresnel



Ici, le courant $\underline{J}_1$ est déphasé de –π/2 avec $\underline{U}_1$. Sachant que $\underline{J}_1 = \underline{U}_1/\underline{Z}$. Il s'agit donc d'une charge inductive pure $\underline{Z} = jL\omega$.

V) Récepteur triphasé: couplage triangle

5.3) Récepteur triphasé **capacitif équilibré en triangle**, dans le plan de Fresnel



Ici, le courant $\underline{J}_1$ est déphasé de $+\pi/2$ avec $\underline{U}_1$.
Sachant que $\underline{J}_1 = \underline{U}_1/\underline{Z}$.
Il s'agit donc d'une charge capacitive pure $\underline{Z} = 1/(jC\omega)$.

V) Récepteur triphasé: couplage triangle

5.4) Récepteur triphasé **RL équilibré en triangle**, dans le plan de Fresnel

<u>Application :</u>

Cas d'une charge RL,

avec $\varphi = +\pi/6$.