

SYSTÈMES TRIPHASÉS

N° de pupitre : Date :

NOM, Prénom :

NOM, Prénom :

NOM, Prénom :

NOM, Prénom :

NOM, Prénom :

TABLE DES MATIÈRES

1 Objectifs	2
2 Informations	2
2.1 Dangers	2
2.2 Utilisation du wattmètre	2
2.3 Références théoriques	3
2.4 Conventions	3
2.5 Déroulement des manipulations	4
3 Manipulations	5
3.1 Réglage des résistances	5
3.2 Branchement en étoile	5
3.2.1 Théorie	5
3.2.2 1er montage	6
3.2.3 2e montage	7
3.2.4 3e montage	8
3.2.5 4e montage	9
3.3 Branchement en étoile - Exercices	10
3.3.1 Exercice 1	10
3.3.2 Exercice 2	12
3.4 Branchement en triangle	13
3.4.1 Théorie	13
3.4.2 Mesures	14
3.5 Comparaisons triangle - étoile	14

1 Objectifs

- Révision des définitions et des propriétés liées aux circuits triphasés telles que les branchements en étoile ou en triangle, valeurs de ligne, de phase ou simple, puissances.
- Vérification pratique du comportement des circuits triphasés en étoile et en triangle, à charge résistive, équilibrée ou non.
- Familiarisation avec les techniques et les instruments de mesures pour les circuits de puissance.

2. Informations

2.1 Dangers

On enregistre chaque année en Suisse environ 120 accidents causés par l'électricité, dont une vingtaine mortels. Dans 80% des cas, ces accidents sont causés par le non-respect des règles de sécurité¹.

Dans le cadre de ces travaux pratiques, les tensions mises en jeu peuvent se révéler dangereuses pour deux raisons :

1. elles peuvent provoquer une électrocution ;
2. elles peuvent provoquer la destruction, parfois violente, d'appareils.



- Ne jamais travailler sous tension ;
- Toujours utiliser les appareils de mesure dans les limites de leurs échelles ;
- Faire vérifier par un assistant chaque montage avant sa mise sous tension ;
- Repérer les emplacements des poussoirs de déclenchement d'urgence.

2.2 Utilisation du wattmètre

Un wattmètre est un appareil construit pour mesurer une puissance électrique active P . Il est constitué de deux circuits électriques distincts : celui de courant et celui de tension. La déviation de son aiguille est proportionnelle au produit de trois facteurs :

- le courant I ;
- la tension U ;
- le facteur de puissance, appelé $\cos \varphi$ en régime sinusoïdal.



Ne pas surcharger l'appareil : à l'aide d'un voltmètre et d'un ampèremètre, vérifier que les valeurs nominales des deux circuits du wattmètre ne sont pas dépassées, auquel cas celui-ci risquerait d'être endommagé.

Les entrées des deux circuits sont repérées par des symboles qui peuvent varier selon les constructeurs d'appareils, par exemple par une flèche, une étoile, ou encore un point (•) comme dans la figure 2.1.

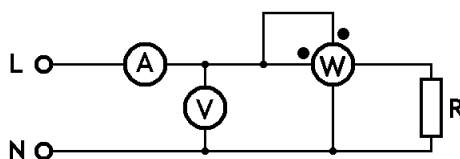
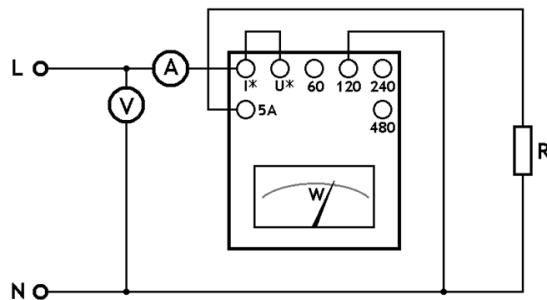


Figure 2.1 - Schéma général de câblage d'un wattmètre

¹ Voir à ce sujet le document *Les dangers de l'électricité et la sécurité au laboratoire*.

En général, l'échelle d'un wattmètre analogique n'est pas graduée en unité de puissance (W ou kW), mais en divisions. Pour connaître la puissance à mesurer, il faut multiplier la valeur indiquée par l'aiguille (N_d), par une constante C_W .



Classe d'appareil : 0,5
0,5% d'erreur
en pleine échelle.

Figure 2.2 - Exemple de montage d'un wattmètre analogique
(Entrée de courant : $I_N = 5A$, Entrées de tensions : 60, 120 240, 480 V)

Cette constante C_W est parfois indiquée sur l'appareil. Elle peut être déterminée à partir des calibres de tension (U_N) et de courant (I_N) utilisés et du nombre maximal de division $N_{d \max}$ de l'appareil :

$$C_W = \frac{U_N \cdot I_N}{N_{d \max}} \quad [W/div]$$

Par exemple, pour le montage de la figure 2.2 :

$$U_N = 120 \text{ V}, I_N = 5 \text{ A}, N_{d \max} = 120 \text{ div} \Rightarrow C_W = \frac{120 \cdot 5}{120} = 5 \text{ W / div}$$

2.3 Références théoriques

Traité d'électricité vol. 1, 7^e édition, pp. 237 et suivantes.

2.4 Conventions

On appelle :

- **tension simple**, la tension entre une phase et le neutre de la source ($U_k \equiv L_k-N$). ;
- **tension de ligne** ou **tension composée**, la tension entre deux phases ($U_{jk} \equiv L_j-L_k$) ;
- **tension de phase**, la tension aux bornes de chaque impédance de phase (U'_k) ;
- **courant de ligne**, le courant circulant dans le conducteur de l'une des phases ;
- **courant de phase**, le courant circulant dans une impédance de phase.
- **courant de neutre**, le courant circulant dans le conducteur de neutre d'un couplage en étoile.

Dans le couplage en étoile :

- les **courants de phase** sont identiques aux **courants de ligne**.

Dans le couplage en étoile **avec neutre relié** :

- les **tensions de phase** sont égales aux **tensions simples**.

Dans le couplage en triangle :

- les **tensions de phase** sont égales aux **tensions de ligne**.



Dans la suite de ce TP, lorsque nous parlerons de puissance, il sera sous-entendu qu'il s'agit de puissance active.

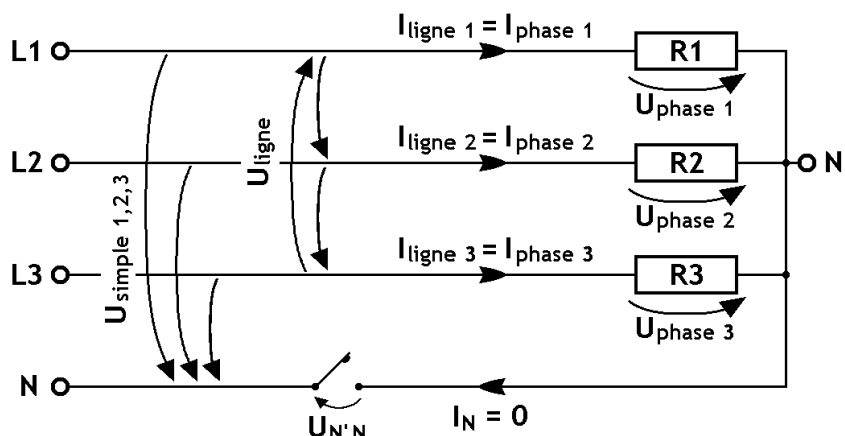


Figure 2.3 - Tensions et courants dans un montage en étoile

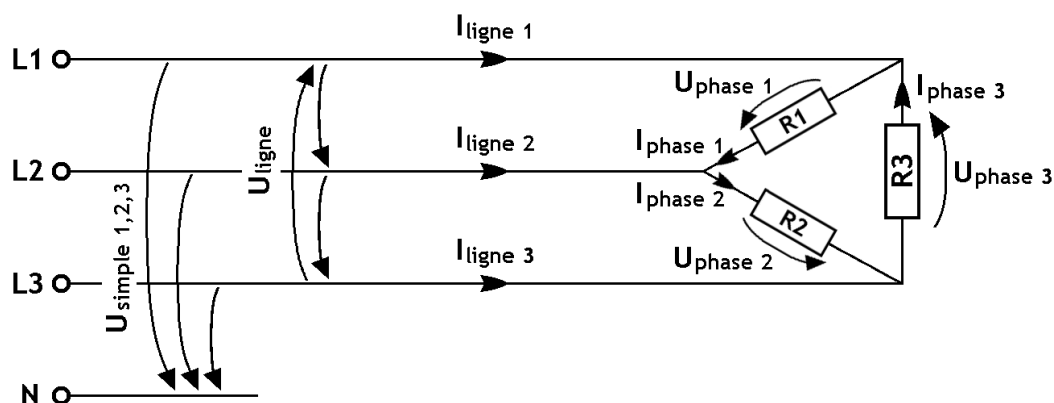


Figure 2.4 - Tensions et courants dans un montage en triangle

Les trois phases du réseau sont désignées par la lettre L, suivie du numéro de la phase (L1, L2, L3). Les couleurs des câbles utilisés sont importantes et doivent être respectées :

L1	L2	L3	N
Noir	Rouge	Blanc	Bleu clair

2.5 Déroulement des manipulations

Les manipulations proposées dans les prochaines sections permettent de vérifier le comportement en tension, courant et puissance des différents montages triphasés. Il existe plusieurs catégories de montages triphasés : en étoile ou en triangle, équilibrés ou non, avec ou sans neutre.

Les réponses aux questions, ainsi que la compréhension et l'analyse des résultats se trouvent facilitées lorsque l'ordre proposé par le protocole est suivi.

Il convient d'utiliser la même résistance triphasée pour toutes les manipulations. L'alimentation triphasée à tension variable à utiliser est soit la source 2 des pupitres d'alimentation, soit un variac (auto-transformateur réglable) triphasé.

3 Manipulations

3.1 Réglage des résistances

À l'aide d'un multimètre sur la position ohmmètre, régler la résistance triphasée sur $65\ \Omega$ par phase. Ce réglage sera identique pour tous les montages qui suivront.



Une fois les valeurs des résistances réglées, ne plus les modifier.



Mesure de résistances

R1	R2	R3
[Ω]	[Ω]	[Ω]

3.2 Branchement en étoile

3.2.1 Théorie

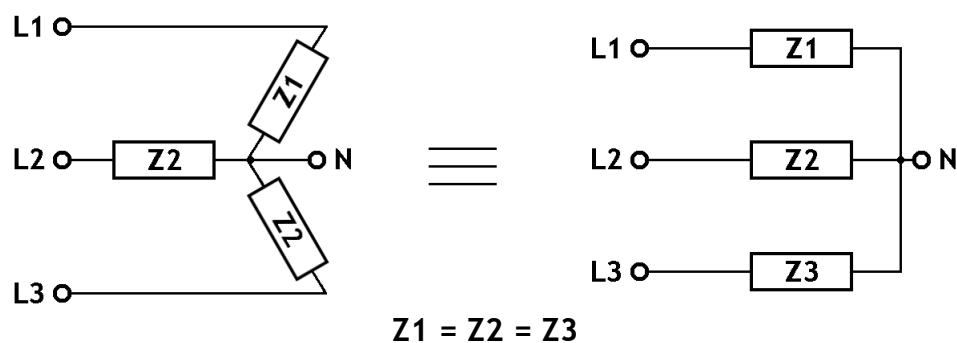


Figure 3.1 - Charge triphasée équilibrée, couplée en étoile

Donner les relations ci-dessous pour des impédances quelconques (résistives, capacitives ou inductives) :



Relation entre tension de phase et tension de ligne :



Relation entre courant de phase et courant de ligne :



Équations donnant la puissance totale :

- en fonction des grandeurs de phase :
- en fonction des grandeurs de ligne :



Donner les valeurs du facteur de puissance ($\cos \varphi$) et du déphasage (φ) :

Élément	$\cos \varphi$	φ [$^\circ$ ou rad]
Résistance pure		
Inductance pure		
Capacité pure		

3.2.2 1^{er} montage

- Réaliser le schéma de la figure 3.2 en utilisant les résistances réglées à $65\ \Omega$.
- Faire contrôler par un assistant.
- Mesurer toutes les grandeurs en utilisant une tension de ligne de 200 V.

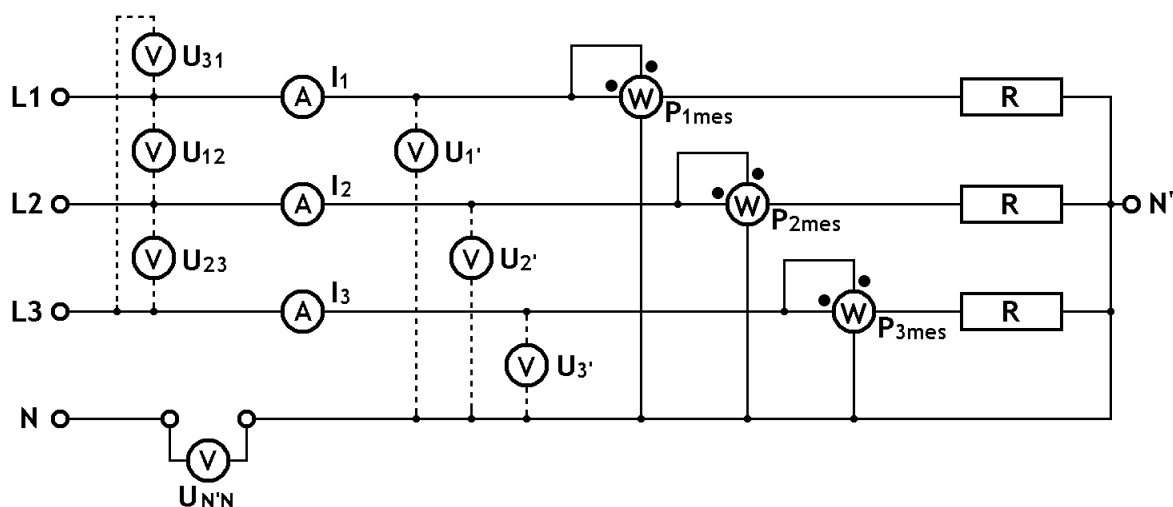


Figure 3.2 - Schéma de montage avec charges équilibrées en étoile, et avec neutre ouvert



En fonction des grandeurs de phase, exprimer :

$P_{\text{tot}} = \dots\dots\dots$ $\cos \varphi = \dots\dots\dots$



Compléter les tableaux



Les cases jaunes sont remplies par calcul

Grandeur	U_{ligne}	U_{phase}	$I_{\text{ligne}} = I_{\text{phase}}$	N_d	C_W	$P_{\text{phase}} (= N_d \cdot C_W)$	$\cos \varphi$
Unité	[V]	[V]	[A]	[-]	[W/div]	[W]	[-]
Phase 1	U_{12}	$U_{1'}$	I_1			P_{ph1}	
Phase 2	U_{23}	$U_{2'}$	I_2			P_{ph2}	
Phase 3	U_{31}	$U_{3'}$	I_3			P_{ph3}	

$U_{N'N}$
[V]

P_{tot}	$\cos \varphi$ (moyen)
[W]	[-]



Comparer les valeurs (aux incertitudes près) pour les :

- tensions de ligne :
- tensions de phase :
- courants de phase :
- puissances de phase :



Indiquer le rapport entre tensions de ligne et tensions de phase :

Tensions de phase = \times tensions de ligne



Pour quelle raison les 3 phases ont les mêmes valeurs de tension, courant, puissance et facteur de puissance ?



Pourquoi la tension $U_{N'N}$ est-elle presque nulle ?

3.2.3 2^e montage

- Opérer les modifications de câblage afin d'obtenir le schéma de la figure 3.3.
- Faire contrôler par un assistant.
- Mesurer toutes les grandeurs.

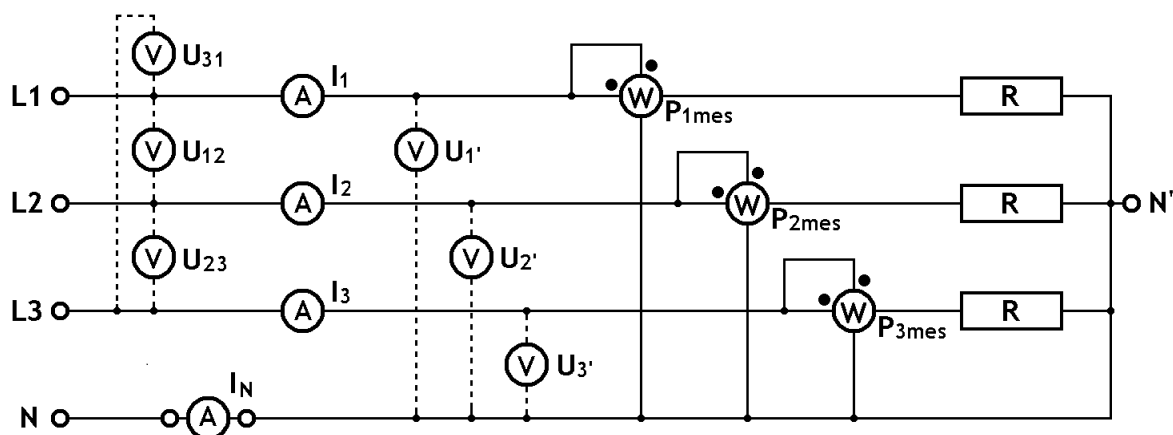


Figure 3.3 - Schéma de montage avec charge équilibrée en étoile, avec neutre relié



En fonction des grandeurs de phase, exprimer :

$P_{\text{tot}} = \dots\dots\dots$ $\cos \varphi = \dots\dots\dots$



Compléter les tableaux



Les cases jaunes sont remplies par calcul

Grandeur	U_{ligne}	U_{phase}	$I_{\text{ligne}} = I_{\text{phase}}$	N_d	C_W	$P_{\text{phase}} (= N_d \cdot C_W)$	$\cos \varphi$
Unité	[V]	[V]	[A]	[-]	[W/div]	[W]	[-]
Phase 1	U_{12}	$U_{1'}$	I_1			P_{ph1}	
Phase 2	U_{23}	$U_{2'}$	I_2			P_{ph2}	
Phase 3	U_{31}	$U_{3'}$	I_3			P_{ph3}	

I_N
[A]

P_{tot}	$\cos \varphi$ (moyen)
[W]	[-]



Commentaires sur $I_{N'N}$: le courant de neutre est-il nul ? Sinon pourquoi ?

.....



Quelles valeurs changent par rapport au 1^{er} montage ? Lesquelles ne changent pas et pourquoi ?

.....

.....



Le conducteur de neutre est-il utile dans les deux montages précédents ?

Justifier votre réponse :

3.2.4 3^e montage

- Opérer les modifications de câblage afin d'obtenir le schéma de la figure 3.4.
- Faire contrôler par un assistant.
- Mesurer toutes les grandeurs en utilisant une tension de ligne de 200 V.

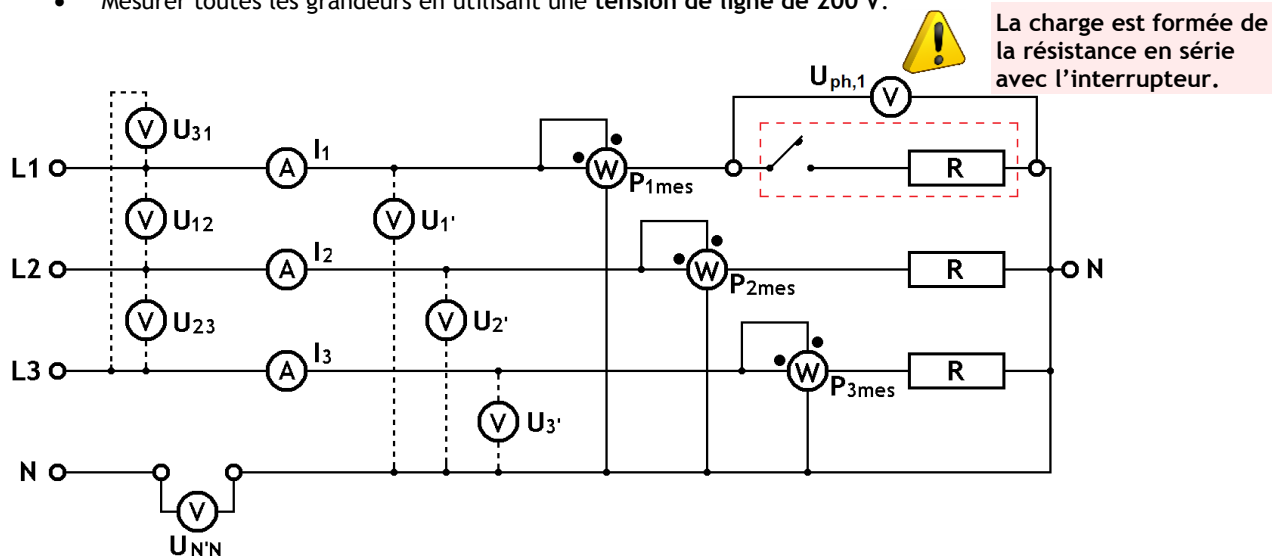


Figure 3.4 - Schéma de montage avec charge déséquilibrée en étoile, avec neutre ouvert



En fonction des grandeurs de phase, exprimer :

$P_{\text{tot}} = \dots\dots\dots$ $\cos \varphi = \dots\dots\dots$



Compléter les tableaux



Les cases jaunes sont remplies par calcul

Grandeur	U_{ligne}	U_{phase}	$I_{\text{ligne}} = I_{\text{phase}}$	N_d	C_w	$P_{\text{phase}} (= N_d \cdot C_w)$	$\cos \varphi$
Unité	[V]	[V]	[A]	[-]	[W/div]	[W]	[-]
Phase 1	U_{12}	$U_{1'}$	I_1			P_{ph1}	
Phase 2	U_{23}	$U_{2'}$	I_2			P_{ph2}	
Phase 3	U_{31}	$U_{3'}$	I_3			P_{ph3}	

$U_{N'N}$
[V]

P_{tot}
[W]



Comparer les valeurs des :

- tensions de ligne :
- tensions de phase :
- courants de phase :
- puissances de phase :



À partir des valeurs mesurées, calculer pour chaque phase le rapport entre tensions de ligne et tensions de phase :

Tensions de phase 1 = \times tensions de ligne

Tensions de phase 2 ou 3 = \times tensions de ligne



Pour quelle raison l'une des phases présente des valeurs différentes des autres ?

.....



Pourquoi la tension $U_{N'N}$ n'est-elle pas nulle ?

3.2.5 4^e montage

- Opérer les modifications de câblage afin d'obtenir le schéma de la figure 3.5.
- Faire contrôler par un assistant.
- Mesurer toutes les grandeurs.

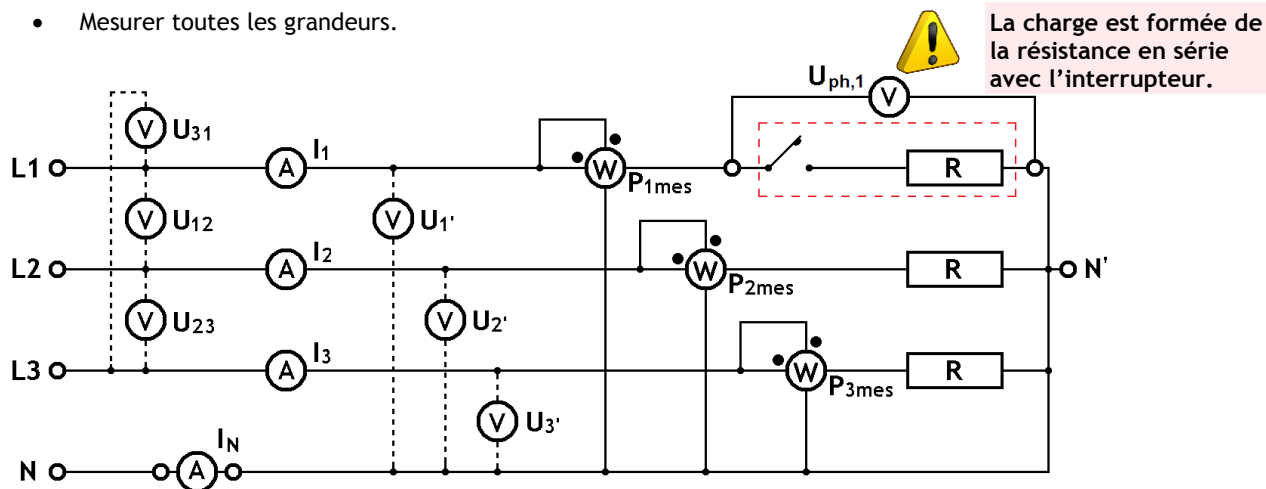


Figure 3.5 - Schéma de montage avec charge déséquilibrée en étoile, avec neutre relié



En fonction des grandeurs de phase, exprimer :

$P_{\text{tot}} = \dots\dots\dots$ $\cos \varphi = \dots\dots\dots$



Compléter les tableaux



Les cases jaunes sont remplies par calcul

Grandeur	U_{ligne}	U_{phase}	$I_{\text{ligne}} = I_{\text{phase}}$	N_d	C_w	$P_{\text{phase}} (= N_d \cdot C_w)$	$\cos \varphi$
Unité	[V]	[V]	[A]	[-]	[W/div]	[W]	[-]
Phase 1	U_{12}	$U'_{1'}$	I_1			P_{ph1}	
Phase 2	U_{23}	$U'_{2'}$	I_2			P_{ph2}	
Phase 3	U_{31}	$U'_{3'}$	I_3			P_{ph3}	

I_N
[A]

P_{tot}
[W]



Comparer les valeurs des :

- tensions de ligne :
- tensions de phase :
- courants de phase :
- puissances de phase :



À partir des valeurs mesurées, calculer le rapport entre tensions de ligne et tensions de phase :

Tensions de phase = \times tensions de ligne



Expliquer la différence entre ce 4^e montage et le 3^e montage ?

.....

3.3 Branchement en étoile - Exercices

3.3.1 Exercice 1

Considérons le cas du 3^e montage (figure 3.4), représenté sous forme simplifiée à la figure 3.6a ci-dessous :

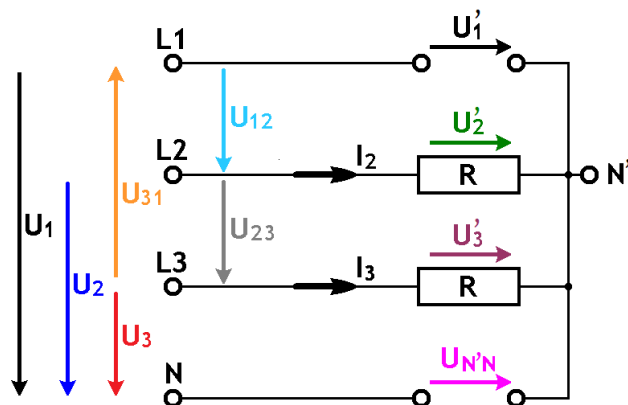
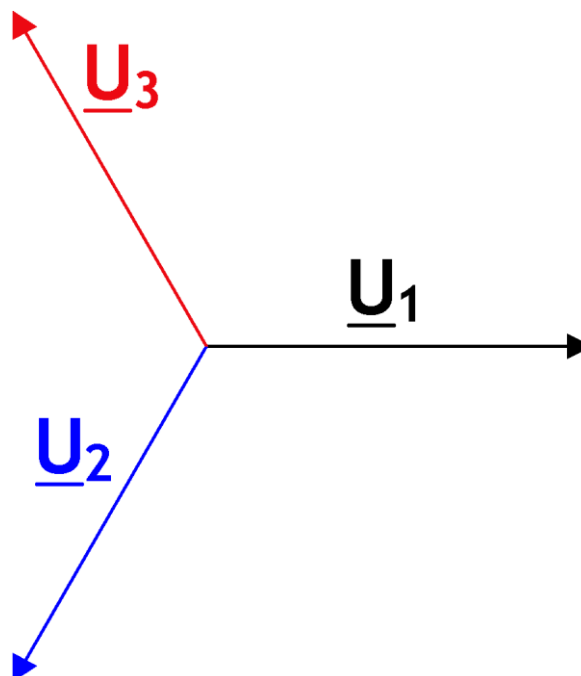


Figure 3.6a - Tensions et courants dans un montage à charge déséquilibrée et neutre ouvert



Déterminer, à l'aide d'un diagramme vectoriel et du calcul complexe, la tension de neutre $U_{N'N}$ et la tension U_1' . Application numérique : $R = 65 \, \Omega$. $U_{\text{ligne}} = 200 \, \text{V}$.

Diagramme vectoriel



Calcul complexe

3.3.2 Exercice 2

Considérons le cas de la figure 3.6b ci-dessous.

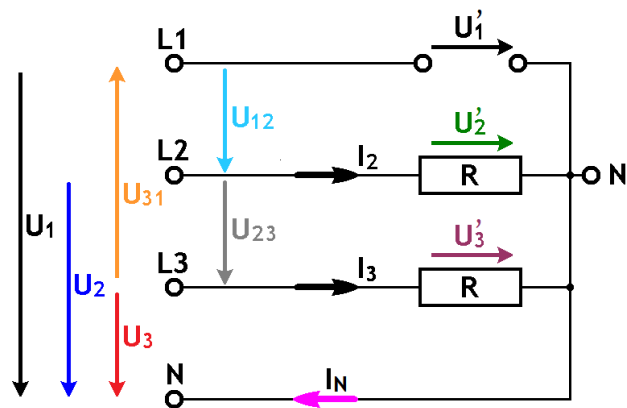


Figure 3.6b - Tensions et courants dans un montage à charge déséquilibrée et neutre relié



Hypothèse : la résistance du conducteur de neutre est supposée nulle.



Déterminer, à l'aide du calcul complexe, le courant I_N circulant dans le conducteur de neutre. Application numérique : $R = 65 \, \Omega$. $U_{\text{ligne}} = 200 \, \text{V}$

3.4 Branchement en triangle

3.4.1 Théorie

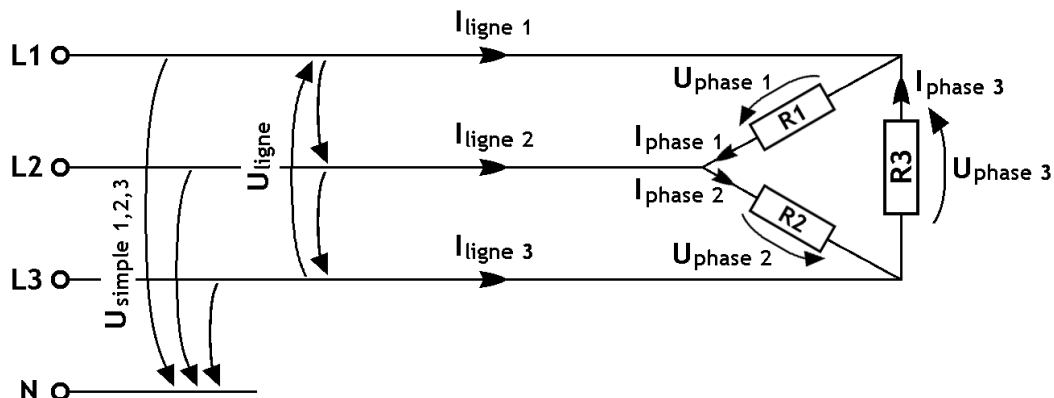


Figure 3.7 - Schéma du montage en triangle



Écrire la relation qui lie les tensions de ligne et de phase :



Écrire la relation qui lie les courants de ligne et de phase :



Écrire les équations :

- $P_{\text{phase}} = \dots\dots\dots$ (en fonction des grandeurs de phase)
- $P_{\text{tot}} = \dots\dots\dots$ (en fonction de P_{phase})
- $P_{\text{tot}} = \dots\dots\dots$ (en fonction des grandeurs de phase)
- $P_{\text{tot}} = \dots\dots\dots$ (en fonction des grandeurs de ligne)



L'expression mathématique de la puissance totale diffère-t-elle de celle correspondant au cas du branchement en étoile ?

☐ Oui ☐ Non



En conservant les mêmes tensions d'alimentation et les mêmes charges, indiquer les relations entre les grandeurs d'un montage en étoile (Y) et d'un montage en triangle (Δ) :

- | | |
|--|--|
| • $U_{\text{ligne } \Delta} = \dots\dots\dots \times U_{\text{ligne Y}}$ | $U_{\text{phase } \Delta} = \dots\dots\dots \times U_{\text{phase Y}}$ |
| • $I_{\text{ligne } \Delta} = \dots\dots\dots \times I_{\text{ligne Y}}$ | $I_{\text{phase } \Delta} = \dots\dots\dots \times I_{\text{phase Y}}$ |
| • $P_{\text{phase } \Delta} = \dots\dots\dots \times P_{\text{phase Y}}$ | $P_{\text{tot } \Delta} = \dots\dots\dots \times P_{\text{tot Y}}$ |

Pour un montage en étoile, on souhaite conserver le même courant de ligne que pour un montage en triangle (sous la même tension de ligne).



Comment doit-on adapter les résistances de phase ? : $R_{\text{phase } \Delta} = \dots\dots\dots \times R_{\text{phase Y}}$

3.4.2 Mesures



Le montage devra être vérifié par un assistant avant sa mise sous tension.

La tension d'alimentation de ligne est fixée à 200 V. La résistance de chaque phase est toujours de 65Ω .

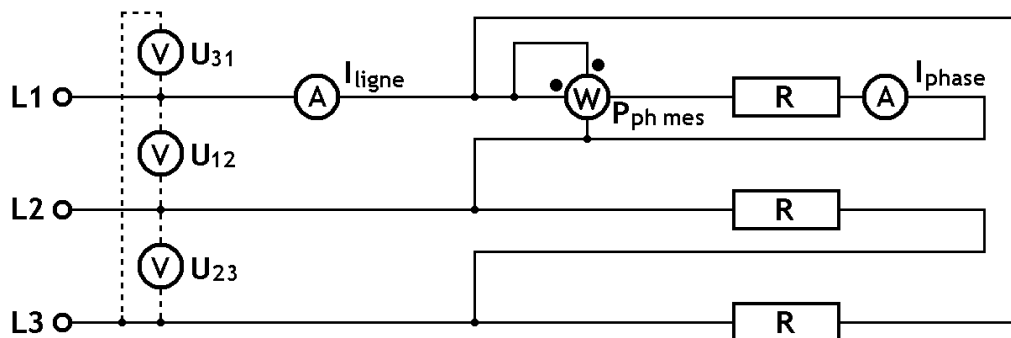


Figure 3.8 - Schéma du montage avec charge en triangle



En fonction des grandeurs de phase, exprimer : $\cos \varphi =$



Compléter les tableaux



Les cases jaunes sont remplies par calcul

Grandeur	U_{ligne}	U_{phase}	I_{ligne}	I_{phase}	N_d	C_w	$P_{\text{phase}} (=N_d \cdot C_w)$	$\cos \varphi$
Unité	[V]	[V]	[A]	[A]	[-]	[W/div]	[W]	[-]
Phase 1	U_{12}	U_1'						
Phase 2	U_{23}	U_2'						
Phase 3	U_{31}	U_3'						

P_{tot}
[W]

3.5 Comparaison étoile - triangle



Comparer les valeurs mesurées pour le montage en étoile au § 3.2.2 et pour le montage en triangle, au § 3.4.2 :

- $U_{\text{ligne } \Delta} / U_{\text{ligne } Y} =$ $U_{\text{phase } \Delta} / U_{\text{phase } Y} =$
- $I_{\text{ligne } \Delta} / I_{\text{ligne } Y} =$ $I_{\text{phase } \Delta} / I_{\text{phase } Y} =$
- $P_{\text{phase } \Delta} / P_{\text{phase } Y} =$ $P_{\text{tot } \Delta} / P_{\text{tot } Y} =$



Pourquoi la puissance totale est-elle différente, alors que son expression mathématique est la même ?

.....

