

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الدكتور الطاهر مولاي سعيدة

Université Saida Dr Tahar Moulay –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Mémoire de fin d'études présenté pour l'obtention du Diplôme de MASTER

En : Électrotechnique

Spécialité : Réseaux Electriques

Par :

Kouidri Hamza

Morsli Mohamed aimene

Intitulé

**Calcul des grandeurs électriques dans un réseau
électrique basse tension**

Soutenue publiquement en **29/06/2024** devant le jury composé de :

Mr. AMARA Mohamed

MCA

Univ. Saida

Président

Mr. LAOUER Mohammed

Professeur

Univ. Saida

Rapporteur

Mr. ROUTI Driss

MCA

Univ. Saida

Examineur

Remerciements

Nous remercions Dieu Tout-Puissant qui nous a permis de mener cette recherche scientifique et qui nous a inspiré santé, bien-être et détermination. Louange à Dieu et merci. Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements et notre reconnaissance à notre superviseur, le Pr LAOUER Mohammed, pour tous les précieux conseils et informations qu'il nous a fournis, qui ont contribué à l'achèvement de notre étude sur tous ses aspects. Et n'oublions pas tous nos professeurs et enseignants universitaires respectés qui nous ont aidés et fournis beaucoup d'efforts pour notre formation.

Nous remercions chaleureusement les membres du jury qui nous ont fait l'honneur de lire et d'évaluer ce travail.

Nous voulons aussi remercier du fond du cœur nos familles, pour l'amour, le soutien et la force qu'elles nous ont donnés durant notre parcours universitaire.

Merci aussi à toutes les personnes croisées en chemin, qui ont offert un mot, un geste, un regard bienveillant.

Dédicaces

À mes parents,

À ma mère, Ton amour inconditionnel et tes sacrifices ont été ma lumière dans les moments les plus obscurs. Chaque mot de ce travail porte un peu de ta patience et de ta tendresse.

À mon père, Ta force et ta sagesse m'ont guidé à chaque étape. Merci de m'avoir appris à persévérer, même quand les défis semblaient insurmontables. Vous êtes mes racines et mes ailes. Sans vous, rien de tout cela n'aurait été possible.

À mes amis, Merci pour votre soutien, vos rires et votre présence précieuse. Vous avez transformé les longues heures d'étude en moments de complicité. Ce diplôme est aussi le vôtre.

À la Palestine, À ma terre, à son peuple résilient et à ses rêves inachevés. Que ces pages, bien que modestes, soient un hommage à votre lutte pour la liberté et la dignité

Résumés

Résumé :

Le présent mémoire entame les calculs des grandeurs électriques dans le réseau basse tension afin d'assurer une utilisation sécurisée et optimale. On y trouvera les concepts des réseaux électriques d'une manière générale ainsi que les différents circuits et grandeurs qui leurs sont liés. Une revue sur les normes est incontournable pour s'aligner aux calculs corrects des grandeurs électriques avant de décider de l'introduction des applications concrètes et leur signification. Les interprétations tirées soulignent la nécessité d'une démarche scrupuleuse et conforme aux normes pour assurer l'efficacité et la fiabilité des systèmes électriques.

Mots-clés

Réseau basse tension, grandeurs électriques, calcul électrique, normes électriques, distribution d'énergie, sécurité électrique.

Abstract :

This thesis deals with the calculations of electrical quantities in the low voltage network in order to ensure safe and optimal use. It will include the concepts of electrical networks in a general manner as well as the different circuits and quantities linked to them. A review of the standards is essential to align with the correct calculations of electrical quantities before deciding on the introduction of concrete applications and their meaning. The interpretations drawn underline the need for a scrupulous and standards-compliant approach to ensure the efficiency and reliability of electrical systems.

Keywords:

Low-voltage network, electrical quantities, electrical calculation, electrical standards, power distribution, electrical safety.

ملخص:

تتناول هذه الرسالة حسابات المقادير الكهربائية في شبكات الجهد المنخفض لضمان الاستخدام الآمن والأمثل. وستشمل مفاهيم الشبكات الكهربائية بشكل عام ، بالإضافة إلى مختلف الدوائر و المقادير المرتبطة بها. وتُعدّ مراجعة المعايير أمراً أساسياً لضمان دقة حسابات المقادير الكهربائية قبل اتخاذ قرار بشأن إدخال تطبيقات عملية ومعانيها. وتؤكد التفسيرات المستخلصة على ضرورة اتباع نهج دقيق ومتوافق مع المعايير لضمان كفاءة الأنظمة الكهربائية وموثوقيتها.

الكلمات المفتاحية:

شبكة الجهد المنخفض، المقادير الكهربائية، الحسابات الكهربائية، المعايير الكهربائية، توزيع الطاقة، السلامة الكهربائية.

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Différents facteurs de puissances.....	9
Tableau IV.1 : Tableau des grandeurs électriques pour une charge étoile équilibrée.....	31
Tableau IV.2 : Tableau des grandeurs électriques pour une charge étoile déséquilibrée.....	31
Tableau IV.3 : Tableau des puissances.....	32
Tableau IV.4 : Tableau des grandeurs électriques pour une charge triangle déséquilibrée.....	33
Tableau IV.13: Tableau des valeurs des sections jeux de barres.....	40
Tableau IV.14: Tableau des sections des jeux de barres des départs retenu.....	40
Tableau IV.15 : Tableau de choix de protection des jeux de barres des départs.....	41
Tableau IV.12: Tableau des conducteurs choisis sont en Cu selon la norme française.....	39
Tableau VI.5 : Tableau des Données de l'installation.....	36
Tableau IV.6 : Tableau des grandeurs électriques.....	37
Tableau IV.7 : Tableau des Puissances utiles des départs.....	37
Tableau IV.8 : Tableau des Puissances utiles finales.....	37
Tableau IV.9 : Tableau des Bilan des puissances.....	37
Tableau IV.10: Tableau des Bilan des puissances (multipliées par $k_{ext}=1.20$).....	38
Tableau IV.11: Tableau des Bilan des puissances totales finales avec $k_{ext}= 1.20$).....	35

Liste des figures

Figure II.1 : Triangle des puissances	11
Figure II.2 : Déphasage entre U et I.....	11
Figure II.3 : Diagrammes de phase des circuits triphasés.....	13
Figure II.4 : Schéma détaillé d'un circuit triphasé déséquilibré.....	18
Figure II.5 : Courant dans une charge résistive triphasée déséquilibrée.....	18
Figure IV.1 : Charge étoile équilibrée.....	29
Figure IV.2 : Charge étoile déséquilibrée.....	30
Figure IV.5 : Schéma de l'installation.....	35
Figure IV.4 : Charge triangle déséquilibrée.....	33
Figure IV.3 : Charge triangle équilibrée.....	32

Sommaire

Remerciements	
Résumés	
Liste des figures et des tableaux	i
Sommaire	
I.1 Sommaire	ii

Introduction Générale

Introduction Générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Généralités sur les réseaux électriques

I.1 Introduction.....	2
I.1.1 Paramètres importants.....	2
I.1.2 Méthodes de calcul.....	2
I.2 Grandeurs à calculer.....	3
I.3 Les niveaux de tensions.....	3
I.3.1 Réseau à très haute tension (THT)	3
I.3.2 Réseau à haute tension (HT)	3
I.3.3 Réseau à moyenne tension (MT).....	4
I.3.4 Réseau à basse tension (BT)	4
I.3.5 Réseau à très basse tension (TBT).....	4
I.4 Généralités sur les normes électriques.....	4
I.4.1 Les principaux organismes de normalisation	4
I.5 Topologies des réseaux électriques.....	5
I.5.1 Réseaux arborescents.....	5
I.5.2 Réseaux bouclés.....	5
I.5.3 Réseaux maillés	5
I.6 Fonction du réseau	6
I.6.1 Réseaux de distribution.....	6
I.6.2 Réseaux de répartition	6
I.6.3 Réseaux de transport.....	6
I.6.4 Réseaux d'interconnexion.....	6
I.7 Généralité sur les sources d'énergie électrique.....	6
I.7.1 Ressources non renouvelables.....	6
I.7.2 Ressources renouvelables	6
I.8 Conclusion.....	7

Chapitre II : Différents circuits et grandeurs électriques

II.1 Introduction	8
II.2 Circuits Monophasés.....	8
II.2.1 Charges Résistives Monophasées.....	8
II.2.2 Facteur de puissance.....	8
II.2.3 Facteur de puissance en avance et en retard.....	9
II.2.4 Diagrammes de phase des circuits monophasés.....	10
II.2.5 Circuit monophasé parallèle.....	11
II.2.6 Circuit monophasé et notation polaire.....	11
II.3 Circuits triphasés équilibrés.....	12
II.3.1 Tensions dans les circuits triphasés – Généralités.....	12

II.3.2 Calcul de la puissance dans un circuit triphasé équilibré.....	12
II.3.3 Calcul des courants dans un circuit triphasé équilibré en triangle.....	13
II.3.3.1 Charges purement résistives ($Z=RZ = RZ=R$)	14
II.3.3.2 Charges purement inductives ($Z= jXl$)	14
II.3.3.3 Charges purement capacitives ($Z=-jXc$)	14
II.3.3.4 Deux charges ou plus en parallèle.....	14
II.3.4 Calcul des courants dans un circuit triphasé en étoile équilibré.....	15
II.3.4.1 Charges résistives	15
II.3.4.2 Charges inductives.....	15
II.3.4.3 Charges capacitives.....	16
II.4 Circuits Triphasés Non Équilibrés	16
II.4.1 Circuits Triphasés en Triangle Non Équilibrés avec Charges Résistives.....	16
II.4.2 Circuits triphasés en triangle non équilibrés avec charges résistives.....	17
II.4.2.1 Rappel des bases des circuits triphasés en étoile.....	17
II.4.2.2 Charges résistives.....	17
II.4.2.2.1 Circuit triphasé en triangle non équilibré avec uniquement des charges résistives.....	18
II.4.3 Circuit triphasé en étoile non équilibré.....	18
II.4.3.1 Circuits triphasés non équilibrés combinés.....	19
II.5 Conclusion.....	19

Chapitre III: Normes et préliminaires de calculs

III.1 Introduction.....	20
III.2 Définition et Enjeux de la Normalisation des Réseaux BT.....	20
III.3 Organismes de Normalisation.....	20
III.3.1 Au niveau international.....	20
III.3.2 Au niveau européen.....	20
III.3.3 Au niveau national.....	21
III.4 Normes Clés pour les Réseaux BT.....	21
III.4.1 Normes électriques.....	21
III.4.2 Normes pour les réseaux de communication.....	21
III.4.3 Normes pour les fluides (eau,gaz)	21
III.4.4 Normes de sécurité incendie.....	21
III.5 Processus de Normalisation.....	21
III.6 Impacts de la Normalisation sur les Réseaux BT.....	21
III.6.1 Avantages.....	21
III.6.2 Limites.....	21
III.7 Étude de Cas : La NF C 15-100 en France.....	22
III.8 Formules Mathématiques et Techniques pour les Réseaux de Bâtiment et Travaux Publics (BT)	22
III.8.1 Calculs Électriques (Réseaux BT).....	22
III.8.2 Puissance Électrique en Régime Triphasé (400V)	23
III.8.3 Calcul du Courant de Court-Circuit (I_{cc})	23
III.8.4 Méthode Conventionnelle (Norme NF C 15-100)	23
III.8.5 Calculs relatifs pour compléter les tableaux de la réalisation d'une installation électrique du chapitre suivant.....	24
III.8.5 Dimensionnement des Câbles	24
III.8.6 Vérification de la Chute de Tension	26
III.8.7 Limites normatives (NF C 15-100)	27
III.9 Calcul des Protections (Disjoncteurs,fusibles).....	27
III.10 Bilan de Puissance d'une Installation.....	27

III.11 Section des Câbles (Selon l'Ampérage).....	28
III.11 Conclusion	28
Chapitre IV : Calculs et interprétations	
IV.1 Introduction	29
IV.2 Partie A.....	29
IV.2.1 Charge étoile équilibrée [A1].....	29
IV.2.2 Charge triphasée étoile déséquilibrée.....	30
IV.2.3 Charge triangle équilibrée.....	32
IV.2.4 Charge triangle déséquilibrée.....	33
IV.3 Partie B Installation électrique à étudier.....	35
IV.3.1 Calcul des grandeurs électriques	35
IV.3.2 Calculs relatifs au dimensionnement de l'installation.....	38
IV.3.2.1 Calcul des sections des différentes charges.....	38
IV.3.2.2 Calcul de la section du jeu de barres de la basse tension.....	39
IV.4 Conclusion.....	41
Conclusion Générale	
Conclusion Générale.....	42
Bibliographie	
Bibliographie.....	43
Annexes	
Annexes.....	44

Introduction

Générale

Introduction Générale

L'énergie électrique constitue un élément important contribuant efficacement à l'économie d'un pays. Elle est présente partout dans la vie quotidienne de la personne et offre une vie respectable et moderne. Dans les réseaux électriques et en particulier les réseaux basse tension, présente une interface cruciale entre les distributeurs d'énergie et les consommateurs. Connaître et maîtriser les grandeurs électriques dans ces réseaux sont d'une importance sans égale pour avoir une distribution efficace, sécurisée et conforme aux normes en vigueur.

Notre mémoire a pour objectif, l'analyse des différentes grandeurs électriques mises en jeu dans le réseau de basse tension et les différentes méthodes de calcul pour les déterminer pour arriver à une interprétation dans un contexte pratique.

Il est réparti en quatre chapitres. Tout d'abord le premier chapitre ouvre le volet des généralités sur les réseaux électriques, puis dans le deuxième nous présenterons les différents circuits et grandeurs électriques. Ensuite, dans le chapitre qui suit nous examinerons les normes et les préliminaires des calculs avant de passer au dernier chapitre qui sera consacré aux applications pratiques avec l'interprétation des résultats.

L'ensemble sera encadré par une introduction générale et une conclusion générale. Notre but est d'arriver qu'à travers cette étude, à fournir une approche méthodologique rigoureuse pour le dimensionnement et l'analyse d'une installation électrique en basse tension, tout en mettant en lumière les bonnes pratiques et les exigences réglementaires.

Chapitre I:
Généralités sur
les réseaux électriques

I.1 Introduction

Le calcul des grandeurs électriques d'un réseau de basse tension (BT) est essentiel pour garantir la sécurité, la fiabilité et l'efficacité du système. Il permet de vérifier que le réseau est capable de supporter les charges connectées sans surchauffe, surtension ou défaillance. Ce calcul prend en compte plusieurs paramètres et utilise différentes méthodes, dépendant de la complexité du réseau.

I.1.1 Paramètres importants

- ✓ **Charges** : Puissance active (kW) et puissance réactive (k VAR) de chaque équipement connecté au réseau. Il faut considérer les charges nominales et les pointes de consommation.
- ✓ **Tensions** : Tension nominale du réseau (généralement 230V monophasé ou 400V triphasé). Les variations de tension doivent être prises en compte.
- ✓ **Impédances** : Résistance et inductance des lignes, des câbles et des transformateurs. Elles influent sur la chute de tension et les pertes de puissance.
- ✓ **Courants** : Intensités de courant circulant dans chaque ligne et dans chaque conducteur. Le calcul doit garantir que ces intensités restent en dessous des valeurs admissibles.
- ✓ **Facteur de puissance** : Indique le rapport entre la puissance active et la puissance apparente. Un facteur de puissance faible augmente les pertes et nécessite des courants plus importants.

I.1.2 Méthodes de calcul

Plusieurs méthodes existent pour le calcul des grandeurs électriques d'un réseau BT, allant de méthodes simplifiées à des simulations complexes avec des logiciels spécifiques:

- ✓ **Méthodes simplifiées** : Utilisées pour les réseaux simples, elles reposent sur des calculs algébriques basés sur la loi d'Ohm et les puissances. Elles permettent d'évaluer rapidement les courants et les chutes de tension.
- ✓ **Méthodes nodales** : Basées sur l'équation des nœuds de Kirchhoff, elles permettent de résoudre les réseaux plus complexes en tenant compte des impédances et des courants de chaque branche. Ces méthodes peuvent être résolues manuellement pour des réseaux de taille modeste ou à l'aide de logiciels informatiques.
- ✓ **Logiciels de simulation** : Pour les réseaux importants et complexes, l'utilisation de logiciels spécialisés (comme ETAP, CYME, etc.) est indispensable. Ces logiciels permettent de modéliser le réseau de manière précise et de simuler différents scénarios (défauts, variations de charge, etc.).

I.2 Grandeurs à calculer

Les principaux paramètres à déterminer lors du calcul sont

- ✓ **Chute de tension** : Différence de tension entre le point de fourniture et les points de consommation. Elle doit rester dans les limites admissibles pour assurer le bon fonctionnement des équipements.
- ✓ **Intensités de courant** : Intensités circulant dans chaque conducteur. Elles doivent être inférieures aux valeurs admissibles pour éviter la surchauffe et les risques d'incendie.
- ✓ **Pertes de puissance** : Puissance perdue dans les lignes et les transformateurs. Elles dépendent des impédances et des courants.
- ✓ **Facteur de puissance** : Indicateur global du réseau. Un facteur de puissance faible signale des pertes et une consommation énergétique inefficace.

I.3 Les niveaux de tensions

Les réseaux électriques sont des systèmes complexes qui permettent de transporter et de distribuer l'électricité depuis les centres de production jusqu'aux consommateurs finaux. Ces réseaux sont structurés en différents niveaux de tension, chacun ayant un rôle spécifique dans la chaîne de distribution. Voici une présentation des différents niveaux de tension :

I. 3.1 Réseau à très haute tension (THT)

Tension : Supérieure à 230 kV (kilovolts).

Rôle : Le réseau THT est utilisé pour le transport de l'électricité sur de longues distances, depuis les centrales de production jusqu'aux grandes zones de consommation ou aux réseaux de distribution régionaux. Il permet de minimiser les pertes d'énergie lors du transport.

Exemples : Lignes aériennes ou souterraines reliant les centrales nucléaires, hydroélectriques ou éoliennes offshore aux grands centres urbains.

I.3.2 Réseau à haute tension (HT)

Tension : Entre 60 kV et 230 kV.

Rôle : Le réseau HT sert à distribuer l'électricité sur des distances plus courtes que le réseau THT, souvent entre les grandes sous-stations et les zones industrielles ou les grandes agglomérations.

Exemples : Lignes reliant les sous-stations régionales aux zones industrielles ou aux grandes villes.

I.3.3 Réseau à moyenne tension (MT)

Tension : Entre 1 kV et 60 kV.

Rôle : Le réseau MT est utilisé pour la distribution locale de l'électricité, alimentant les transformateurs qui desservent les zones résidentielles, commerciales ou industrielles de taille moyenne.

Exemples: Lignes électriques alimentant les quartiers résidentiels ou les zones commerciales.

I.3.4 Réseau à basse tension (BT)

Tension : Inférieure à 1 kV (généralement 230 V ou 400 V en Europe).

Rôle : Le réseau BT est le dernier maillon de la chaîne de distribution, fournissant l'électricité directement aux consommateurs finaux (ménages, petites entreprises, etc.).

Exemples : Branchements électriques domestiques, éclairage public, petits commerces.

I.3.5 Réseau à très basse tension (TBT)

Tension : Très faible, généralement inférieure à 50 V.

Rôle : Le réseau TBT est utilisé pour des applications spécifiques où la sécurité électrique est primordiale, comme dans les environnements humides ou dans certains équipements électroniques.

Exemples : Éclairage de sécurité, systèmes de commande, certains appareils électroniques.

I.4 Généralités sur les normes électriques

Il existe plusieurs niveaux de normalisation pour l'électricité (internationale, continentale ou nationale) représentés par des organismes agréés qui élaborent divers types de documents, en particulier des normes. Les publications émises sont des recommandations ayant pour but une harmonisation internationale des normes en vigueur dans les différents pays concernés [1].

I.4.1 Les principaux organismes de normalisation sont

- La CEI qui est la Commission Electrotechnique Internationale (normes CEI....).
- Le CENELEC qui est le Comité Européen de Normalisation Electrotechnique (normes EN...).
- L'AFNOR qui est l'Association Française de Normalisation (normes NF...)
- L'UTE qui est l'Union Technique de l'Electricité, bureau associé à l'AFNOR (normes UTE...).
- Le CEF qui est le Comité Electrotechnique Français.
- La CEE qui est la Commission internationale de réglementation en vue de l'approbation d'équipement électrique.

- Le CECC qui est le Comité spécialisé pour les composants électriques

La norme française marquée « NFC... » Ou « UTEC... », Se divise en deux grandes familles de normes qui visent d'une part la construction du matériel électrique et d'autre part la réalisation des installations électriques, et dont les principales normes sont : [1]

Les normes françaises NFC de réalisation

- NF C 15 100 - installations électriques à basse tension.
- NFC 42020 (ou CEI 1010 ou EN61010) - appareils de mesure.

NF C 13 100 - postes de livraison.

- NF C 14 100 - installations de branchement basse tension.

Les normes françaises NFC de conception

- NF C 15 100 et NF EN 60-529 - classification des degrés de protection.
- NF C 20 030 - protection contre les chocs électriques.
- NF C 71 008 - baladeuses.

I.5 Topologies des réseaux électriques

Les réseaux électriques peuvent être classés selon leur structure physique en plusieurs topologies

I.5.1 Réseaux arborescents

Structure hiérarchique où les lignes électriques partent d'un point central (source) et se divisent en plusieurs branches.

Facile à concevoir et à gérer, mais moins fiable en cas de panne sur une branche.

I.5.2 Réseaux bouclés

Les lignes électriques forment des boucles, permettant une alimentation alternative en cas de défaillance d'une partie du réseau.

Plus fiable que les réseaux arborescents, mais plus complexe à gérer.

I.5.3 Réseaux maillés

Structure complexe où chaque nœud est connecté à plusieurs autres, offrant une redondance maximale.

Très fiable et robuste, mais coûteux et difficile à concevoir et à maintenir.

I.6 Fonction du réseau

Les réseaux électriques sont également classés selon leur fonction dans le système électrique :

I.6.1 Réseaux de distribution

- Distribuent l'électricité aux consommateurs finaux (particuliers, industries, etc.).
- Tension relativement basse (généralement inférieure à 50 kV).

I.6.2 Réseaux de répartition

- Relient les réseaux de distribution aux réseaux de transport.
- Gèrent la répartition de l'énergie entre différentes zones géographiques.

I.6.3 Réseaux de transport

- Transportent l'électricité sur de longues distances depuis les centrales de production vers les réseaux de répartition.
- Haute tension (généralement supérieure à 100 kV) pour minimiser les pertes.

I.6.4 Réseaux d'interconnexion

Relient différents réseaux régionaux ou nationaux pour assurer une meilleure stabilité et un échange d'énergie entre zones.

I.7 Généralité sur les sources d'énergie électrique

Les sources d'énergie électrique peuvent être classées en deux grandes catégories :

I.7.1 Ressources non renouvelables

Charbon : Utilisé dans les centrales thermiques, mais très polluant.

Pétrole : Moins courant pour la production d'électricité, mais utilisé dans certaines centrales thermiques.

Gaz naturel : Moins polluant que le charbon, utilisé dans les centrales à cycle combiné.

Nucléaire : Production d'électricité via la fission nucléaire, faible émission de CO₂ mais gestion des déchets radioactifs.

I.7.2 Ressources renouvelables

Hydraulique : Utilisation de l'eau pour produire de l'électricité via des barrages.

Éolienne : Conversion de l'énergie cinétique du vent en électricité.

Solaire : Utilisation de panneaux photovoltaïques ou de centrales solaires thermiques.

Biomasse : Production d'électricité à partir de matières organiques.

Géothermique : Exploitation de la chaleur interne de la Terre pour produire de l'électricité.

Ces sources d'énergie ont des impacts différents sur l'environnement, l'économie et la société, et leur utilisation varie selon les régions et les politiques énergétiques.

I.8 Conclusion

Ce chapitre a présenté les fondamentaux des réseaux de distribution basse tension (BT), en mettant en lumière leur rôle crucial dans la livraison de l'électricité aux consommateurs finaux. Nous avons abordé les paramètres clés nécessaires au calcul des grandeurs électriques (tensions, courants, impédances, facteur de puissance), ainsi que les méthodes de calcul adaptées aux différentes complexités des réseaux (simplifiées, nodales, ou assistées par logiciels).

Une classification des niveaux de tension (THT, HT, MT, BT, TBT) a permis de situer les réseaux BT dans la chaîne de distribution, tout en soulignant leur spécificité comme interface directe avec les utilisateurs. Les normes électriques (CEI, CENELEC, NFC, etc.) et les topologies des réseaux (arborescents, bouclés, maillés) ont également été examinées, mettant en avant leur importance pour la sécurité, la fiabilité et l'efficacité des installations.

Enfin, une analyse des sources d'énergie (renouvelables et non renouvelables) a rappelé le contexte énergétique dans lequel évoluent les réseaux BT, marqué par la transition vers une production décentralisée et durable.

Chapitre II :
Différents circuits et
grandeurs électriques

II.1 Introduction

L'électricité joue un rôle fondamental dans notre quotidien et dans les systèmes industriels. Pour comprendre son fonctionnement, il est essentiel d'explorer les différents types de circuits électriques ainsi que les grandeurs électriques qui les caractérisent.

II.2 Circuits Monophasés

Un circuit monophasé est un type de circuit électrique dans lequel l'énergie est transmise via une seule phase de courant alternatif (AC). Il est largement utilisé pour l'alimentation des équipements domestiques et des petites installations industrielles.

II.2.1 Charges Résistives Monophasées

Une charge résistive monophasée est un circuit électrique dans lequel l'énergie électrique est convertie en chaleur sans modification de phase. Ces charges sont courantes dans les applications domestiques et industrielles, notamment dans les appareils de chauffage et l'éclairage.

Exemples de Charges Résistives

- ✓ Ampoules à incandescence
- ✓ Radiateurs électriques
- ✓ Fours électriques
- ✓ Résistances chauffantes (ex. : chauffe-eau, plaques de cuisson)

II.2.2 Facteur de puissance

Définition du facteur de puissance

Par définition le facteur de puissance est le rapport de la puissance active à la puissance apparente ; c'est un nombre abstrait compris entre 0 et 1, on l'appelle également cosinus φ

$$\text{Facteur de puissance} = \frac{\text{puissance active}}{\text{puissance apparente}} \quad \text{II.1}$$

Si les courants de tensions sont des signaux parfaitement sinusoïdaux, le facteur de puissance est égal à $\cos\varphi$, c'est-à-dire :

$$F_p = \cos \varphi = \frac{P(\text{kW})}{S(\text{kVA})} \quad \text{II.2}$$

On utilise également la variable $\text{tg}\varphi$. Dans les mêmes conditions, nous avons également la relation :

$$T_g\varphi = \frac{Q(KVAR)}{P(kW)} = \frac{\text{puissance reactive}}{\text{puissance active}} \quad \text{II.3}$$

On définit un facteur de puissance moyen dans un intervalle donné dans le cas où les grandeurs P et S ne sont pas constantes. On obtient alors le facteur de puissance en effectuant le rapport énergétique des puissances mesurées dans l'intervalle de temps correspondant :

$$Fp_{\text{moy}} = \frac{P}{D\sqrt{P^2+Q^2}} = (\cos \varphi)_{\text{moy}} \quad \text{II.4}$$

Où
$$T_g\varphi_{\text{moy}} = \frac{Q(KVAR)}{P(kW)} \quad \text{II.5}$$

Le facteur de puissance est une grandeur très utile qui permet d'évaluer la consommation ou l'apport en puissance réactive de l'élément mis en jeu. En effet, si le facteur de puissance est proche de 1, cette donnée nous permet de constater que l'élément étudié ne consomme pratiquement aucune puissance réactive, il ne consomme que de la puissance active. Contrairement, au facteur de puissance affecté à une charge inductive où l'élément en question consomme uniquement la puissance réactive. Un facteur de puissance inférieur à 1 conduira à une consommation d'énergie réactive d'autant plus grande qu'il se rapproche de 0 [5]

II.2.3 Facteur de puissance en avance et en retard

Type de circuit	Déphasage (φ)	Facteur de puissance ($\cos \varphi$)	Type de correction
Résistif (R)	0°	1 (idéal)	Aucune nécessaire
Inductif (L, RL)	$\varphi > 0^\circ$ (retard)	$0 < FP \leq 1$	Condensateurs
Capacitif (C, RC)	$\varphi < 0^\circ$ (avance)	$0 < FP \leq 1$	Bobines (inductance)

Tableau II.1 : Différents facteurs de puissances

II.2.4 Diagrammes de phase des circuits monophasés

Les diagrammes de phase des circuits monophasés sont des représentations graphiques qui illustrent les relations entre les tensions et les courants dans un circuit électrique en régime sinusoïdal. Ils sont particulièrement utiles pour analyser les circuits comportant des impédances (résistances, inductances et capacités). Ils nous permettent de comprendre :

- Le **déphasage** entre la tension U et le courant I .
- L'influence des composants **R, L, C**.
- Les **puissances** en jeu dans un circuit monophasé.

Il est très important de remarquer que le déphasage imposé par la charge influe directement sur les grandeurs électriques. La nature des charges donne un diagramme approprié et donne des résultats correspondants à chaque type de charge. On peut citer tous les cas susceptibles d'avoir lieu dans notre étude

1. Circuit monophasé purement résistif (R)

Tension (U) et courant (I) sont en phase.

Diagramme de phase :

U et I sont superposés.

2. Circuit monophasé purement inductif (L)

Le courant en **retard de 90** par rapport à la tension.

Diagramme de phase:

I est en retard par rapport à U .

3. Circuit monophasé purement capacitif (C)

Le courant **avance de 90** par rapport à la tension.

Diagramme de phase:

I est en avance par rapport à U .

4. Circuit RLC série monophasé

Le déphasage ϕ dépend de R , L et C .

Loi d'Ohm en alternatif: $Z = R + j(X_L - X_C)$

II.6

Diagramme de phase :

Si $X_L > X_C$: I est en retard.

Si $X_C > X_L$: I est en avance.

Si $X_L = X_C$: résonance ($\phi=0$).

5. Puissances et triangle des puissances

Puissance active (P): $P=UI\cos\phi$

II.7

Puissance réactive (Q): $Q=UI\sin\phi$

II.8

Puissance apparente (S): $S=UI$

II.9

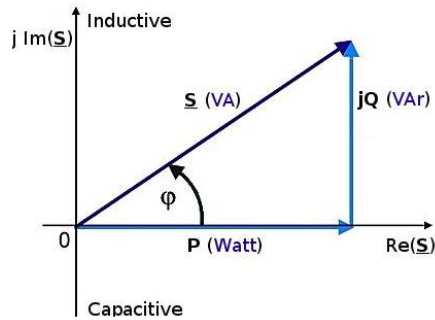


Figure II.1 : Triangle des puissances

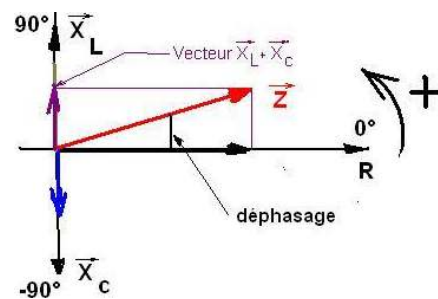


Figure II.2 : Déphasage entre U et I

II.2.5 Circuit monophasé parallèle

Un circuit monophasé parallèle est un circuit électrique dans lequel plusieurs éléments (résistifs, inductifs et/ou capacitifs) sont connectés en parallèle à une source de tension alternative (AC).

Caractéristiques principales d'un circuit parallèle

- ❖ La **tension est la même** aux bornes de chaque élément du circuit.
- ❖ Le **courant total** est la somme des courants dans chaque branche.
- ❖ L'impédance équivalente Z_{eq} se calcule différemment par rapport au circuit série. [6]

II.2.6 Circuit monophasé et notation polaire

La **notation polaire** est utilisée en électrotechnique pour représenter les grandeurs alternatives comme les tensions, les courants et les impédances sous forme de **module et phase**. Elle est particulièrement utile dans l'analyse des circuits monophasés en régime sinusoïdal.

Notation Polaire en Électricité

En analyse des circuits en régime sinusoïdal, on utilise la **notation polaire** pour représenter des grandeurs électriques comme la tension et le courant sous forme de nombres complexes. Cette notation met en évidence l'amplitude et la phase.

Un nombre complexe Z en notation polaire s'écrit :

$$Z=|Z|\angle\theta$$

II.10

- $|Z|$ est le **module** (l'amplitude),
- θ est l'**argument** (l'angle de phase en degrés ou en radians).

De même, la tension et le courant peuvent être représentés sous forme polaire :

$$V = |V| \angle \Phi_v \quad \text{II.11}$$

$$I = |I| \angle \phi_i \quad \text{II.12}$$

La relation entre la tension et le courant dépend de l'impédance

$$Z = \frac{V}{I} = |Z| \angle (\phi_v - \phi_i) \quad \text{II.13}$$

II.3 Circuits triphasés équilibrés

Les circuits triphasés équilibrés sont des systèmes électriques dans lesquels les trois phases ont des tensions de même amplitude et sont déphasées de 120° les unes par rapport aux autres. Ces circuits sont couramment utilisés dans l'industrie pour alimenter des machines et moteurs électriques, car ils permettent une distribution efficace et équilibrée de l'énergie.

II.3.1 Tensions dans les circuits triphasés – Généralités

Un système triphasé est composé de trois tensions sinusoïdales de même amplitude, de même fréquence, mais déphasées de 120° les unes par rapport aux autres. Ce type d'alimentation est largement utilisé dans les réseaux électriques et les machines industrielles.

Types de tensions en triphasé

- ❖ Tension de phase
- ❖ Tension de ligne

II.3.2 Calcul de la puissance dans un circuit triphasé équilibré

La puissance apparente SSS (en voltampères, VA) est donnée par :

1. Puissance apparente (S)

$$S = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \quad \text{II.14}$$

2. Puissance active (P)

$$P = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos(\varphi) \quad \text{II.15}$$

3. Puissance réactive (Q)

$$Q = \sqrt{3} \cdot UL \cdot IL \cdot \sin(\varphi)$$

II.16

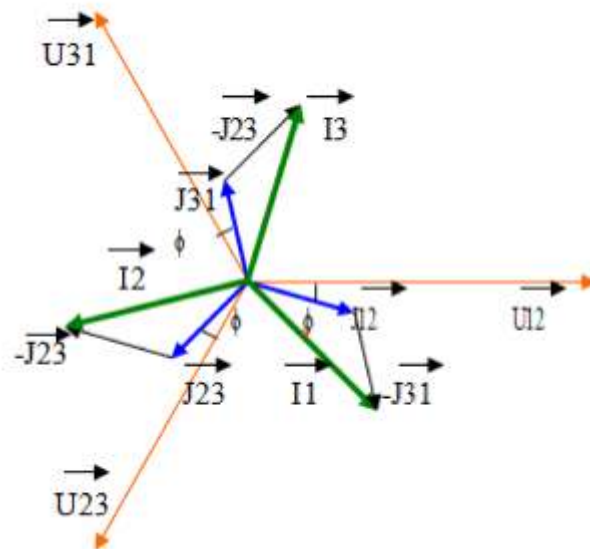


Figure II.3 : Diagrammes de phase des circuits triphasés

II.3.3 Calcul des courants dans un circuit triphasé équilibré en triangle

Dans un circuit triphasé équilibré en connexion triangle (Δ), chaque impédance est connectée entre deux phases. On distingue le courant de phase (I_{ϕ}) circulant dans chaque impédance et le courant de ligne (I_L) circulant dans les conducteurs reliant la source aux charges.

Relation entre courants de phase et de ligne

Dans un système équilibré en triangle, on a :

- ❖ Tension de phase = Tension de ligne :

$$U_{\phi} = U_L \quad \text{II.17}$$

- ❖ Courant de ligne et courant de phase :

$$I_L = \sqrt{3} I_{\phi} \quad \text{II.18}$$

Avec un déphasage de 30° .

Cas des différentes charges

II.19

II.3.3.1 Charges purement résistives ($Z=R$)

Le courant

de phase est :

$$I_{\phi} = \frac{U_L}{R} \quad \text{II.20}$$

Le courant de ligne est alors :

$$I_L = \sqrt{3} \times I_{\phi} = \frac{\sqrt{3} U_L}{R} \quad \text{II.21}$$

II.3.3.2 Charges purement inductives ($Z=jX_L$)

Le courant de phase est :

$$I_{\phi} = \frac{U_L}{jX_L} = \frac{U_L}{X_L} e^{-j90^\circ} \quad \text{II.22}$$

Le courant de ligne est :

$$I_L = \sqrt{3} \frac{U_L}{X_L} e^{-j90^\circ} \quad \text{II.23}$$

Le courant est en retard de 90° par rapport à la tension.

II.3.3.3 Charges purement capacitives ($Z=-jX_C$)

Le courant de phase est :

$$I_{\phi} = \frac{U_L}{-jX_C} = \frac{U_L}{X_C} e^{j90^\circ} \quad \text{II.24}$$

Le courant de ligne est :

$$I_L = \sqrt{3} \frac{U_L}{X_C} e^{j90^\circ} \quad \text{II.25}$$

Le courant est en avance de 90° par rapport à la tension.

II.3.3.4 Deux charges ou plus en parallèle

Si plusieurs charges sont connectées en parallèle sur chaque branche du triangle, leur impédance équivalente Z_{eq} est calculée selon :

$$\frac{1}{Z_{eq}} = \sum \frac{1}{Z_i} \quad \text{II.26}$$

Le courant de phase devient alors :

$$I_{\phi} = \frac{U_L}{Z_{eq}} \quad \text{II.27}$$

Le courant de ligne suit la même relation :

$$I_L = \sqrt{3} I_{\phi} \quad \text{II.28}$$

II.3.4 Calcul des courants dans un circuit triphasé en étoile équilibré

Un circuit triphasé en étoile équilibré est un système dans lequel les trois charges connectées aux phases sont identiques en impédance et symétriquement réparties. On considère trois types de charges : résistives, inductives et capacitatives. [7]

II.3.4.1 Charges résistives

Lorsque les charges sont purement résistives (R), la tension et le courant sont en phase. Soit :

- V_{ph} : tension simple (phase-neutre)
- I_{ph} : courant de phase
- R : résistance de chaque phase

Le courant de phase est donné par la loi d'Ohm

$$I_{ph} = \frac{V_{ph}}{R} \quad \text{II.29}$$

Le courant est en phase avec la tension.

II.3.4.2 Charges inductives

Si la charge est inductive pure (réactance X_L), le courant est en retard de 90° sur la tension. Soit :

$$X_L = \omega L = 2\pi f L \quad \text{II.30}$$

réactance inductive

$$I_{ph} = \frac{V_{ph}}{X_L} \quad \text{II.31}$$

Le courant de phase est en retard de 90° par rapport à la tension.

En cas de charge RL, l'impédance est :

Le courant est alors donné par

$$I_{ph} = \frac{V_{ph}}{Z} = \frac{V_{ph}}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \quad \text{II.32}$$

Où $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X_L}{R}\right)$ est le déphasage entre V_{ph} et I_{ph} .

II.3.4.3 Charges capacitives

Si la charge est **capacitive pure** (réactance X_C), le courant est en avance de 90° sur la tension. Soit

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \quad \text{II.33}$$

$$I_{ph} = \frac{V_{ph}}{X_C} \quad \text{II.34}$$

Le courant de phase est en avance de 90° sur la tension.

En cas de charge RC, l'impédance est :

$$Z = R - jX_C \quad \text{II.35}$$

Le courant est donné par :

$$I_{ph} = \frac{V_{ph}}{Z} = \frac{V_{ph}}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} \angle \theta \quad \text{II.36}$$

Où $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X_C}{R}\right)$ est le déphasage entre V_{ph} et I_{ph} .

II.4 Circuits Triphasés Non Équilibrés

Définition : Un circuit triphasé non équilibré est un système dans lequel les tensions ou les courants ne sont pas identiques en amplitude ou en phase dans les trois phases. Cela peut être dû à une charge déséquilibrée ou à des impédances différentes sur chaque phase.

II.4.1 Circuits Triphasés en Triangle Non Équilibrés avec Charges Résistives, Inductives ou Capacitifs

Un circuit triphasé en triangle est une configuration où les trois charges sont connectées en boucle fermée, formant un triangle. Chaque côté du triangle est alimenté par une différence de potentiel entre deux phases du réseau triphasé.

Dans le cas général d'un circuit triphasé en triangle non équilibré, les charges sont asymétriques, c'est-à-dire que les impédances sur chaque branche du triangle sont différentes. Ces impédances peuvent être

Connexion Triangle

Dans un système triphasé connecté en triangle :

Les tensions de ligne sont égales aux tensions de phase :

$$V_{ab} = V_{bc} = V_{ca} = V_{ph}$$

Les courants de ligne sont liés aux courants de phases par :

$$I_a = I_{ab} - I_{ca}, \quad I_b = I_{bc} - I_{ab}, \quad I_c = I_{ca} - I_{bc}$$

Charges Résistives, Inductives et Capacitifs

- **Résistives (R)** : Ne provoquent pas de déphasage entre la tension et le courant.
- **Inductives (L)** : Engendrent un déphasage où le courant retarde par rapport à la tension.
- **Capacitives (C)** : Engendrent un déphasage où le courant précède la tension.

II.4.2 Circuits triphasés en triangle non équilibrés avec charges résistives, inductives ou capacitives

Définition : Un circuit triphasé en étoile non équilibré est un réseau où les charges connectées aux trois phases (R, S, T) sont différentes en termes de résistance, d'inductance et/ou de capacité, ce qui entraîne des courants de phase inégaux et une présence éventuelle de courant dans le neutre.

II.4.2.1 Rappel des bases des circuits triphasés en étoile

Dans un système triphasé, les tensions sont généralement fournies par un générateur

En étoile, où :

- ✓ Chaque phase est connectée à un potentiel différent,
- ✓ La tension entre deux phases est appelée **tension composée** V_{rs}, V_{st}, V_{tr}
- ✓ La tension entre une phase et le neutre est appelée **tension simple** V_r, V_s, V_t
- ✓ La relation entre tensions simples et composées en régime sinusoïdal est :

$$V_{\text{composée}} = \sqrt{3} V_{\text{simple}} \quad \text{II.37}$$

II.4.2.2 Charges résistives, inductives et capacitives

Dans un circuit triphasé en étoile, chaque phase peut contenir une charge différente :

- ✓ Charge résistive pure (RRR) : Le courant et la tension sont en phase.
- ✓ Charge inductive pure (LLL) : Le courant est en retard de 90° par rapport à la tension.
- ✓ Charge capacitive pure (CCC) : Le courant est en avance de 90° par rapport à la tension.
- ✓ Charge RL ou RC : Le déphasage dépend de la valeur de RRR, LLL et CCC.

Si chaque branche de la charge présente une impédance différente, alors :

- Les courants de phase seront différents en amplitude et en déphasage.
- Un courant circulera dans le neutre pour compenser cet équilibre

II.4.2.2.1 Circuit triphasé en triangle non équilibré avec uniquement des charges résistives

Un circuit triphasé en triangle non équilibré avec uniquement des charges résistives est un système dans lequel les trois charges résistives connectées en triangle (Δ) ont des valeurs différentes, créant un déséquilibre dans le réseau électrique.

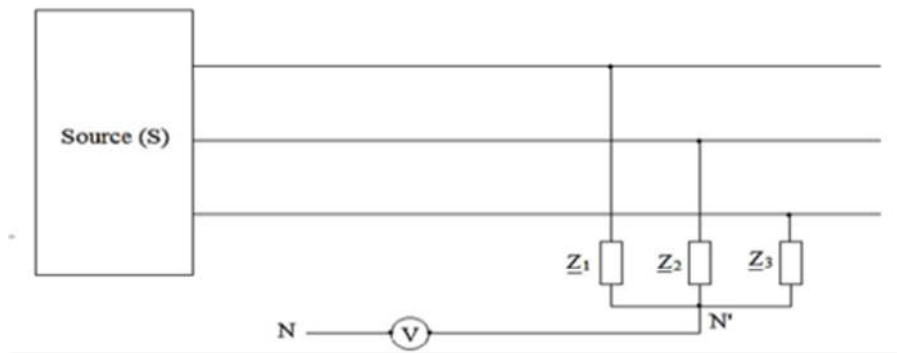


Figure II.4 : Schéma détaillé d'un circuit triphasé déséquilibré

II.4.3 Circuit triphasé en étoile non équilibré

Un circuit triphasé en étoile non équilibré est un système électrique triphasé dans lequel les charges connectées aux trois phases ne sont pas identiques, entraînant ainsi un déséquilibre des courants et des tensions. Voici les principales caractéristiques et analyses associées à ce type de circuit

Représentation des Tensions et Courants

- **Tensions simples** : V_{an} , V_{bn} , V_{cn} (entre chaque phase et le neutre).
- **Tensions composées** : V_{ab} , V_{bc} , V_{ca} (entre deux phases).
- **Courants de phase** : I_a , I_b , I_c qui dépendent des charges de chaque phase.

En cas de charge déséquilibrée, les courants I_a , I_b , et I_c ne sont pas égaux en amplitude et en phase. [8]

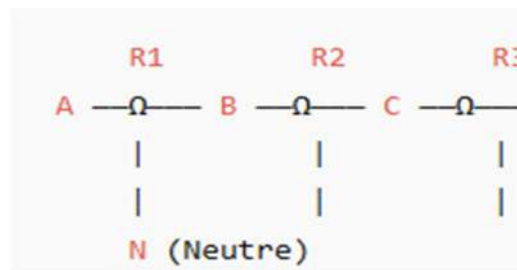


Figure II.5: Courant dans une charge résistive triphasée déséquilibrée

II.4.3.1 Circuits triphasés non équilibrés combinés

Les circuits triphasés non équilibrés combinés sont des systèmes où la charge est à la fois déséquilibrée et peut être connectée de différentes manières (étoile et triangle). Ces circuits sont plus complexes à analyser que les circuits équilibrés en raison de la présence de courants et tensions différentes dans chaque phase.

Caractéristiques des circuits triphasés non équilibrés combinés :

- ❖ Déséquilibre des charges
- ❖ Combinaison des connexions
- ❖ Analyse des circuits

Conséquences du déséquilibre

- ❖ Échauffement excessif des moteurs et transformateurs.
- ❖ Baisse du rendement énergétique.
- ❖ Perturbations sur le réseau électrique.

Calcul de la puissance et facteur de puissance

La puissance

- Puissance apparente :

$$S_{\phi} = V_{\phi} I_{\phi} \quad \text{II.38}$$

- Puissance active :

$$V_{\phi} = V_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi_{\phi} \quad \text{II.39}$$

- Puissance réactive :

$$Q_{\phi} = V_{\phi} I_{\phi} \sin \varphi_{\phi} \quad \text{II.40}$$

- Puissance totale

$$P_{\text{total}} = P_a + P_b + P_c \quad \text{II.41}$$

$$Q_{\text{total}} = Q_a + Q_b + Q_c \quad \text{II.42}$$

$$S_{\text{total}} = \sqrt{P_{\text{total}}^2 + Q_{\text{total}}^2} \quad \text{II.43}$$

- Facteur de puissance

$$F_p = \frac{P_{\text{total}}}{S_{\text{total}}} \quad \text{II.44}$$

II.5 Conclusion

Nous avons présenté tout ce qui est relatif aux courants alternatifs monophasés et triphasés concernant les calculs de toutes les grandeurs électriques que nous utiliserons dans les chapitres qui suivront.

Chapitre III:
Normes et préliminaire
de calculs

III.1 Introduction

La normalisation dans le domaine des Bâtiments et Travaux Publics (BT) est un cadre essentiel pour garantir la qualité, la sécurité et l'interopérabilité des infrastructures. Elle définit des règles techniques, des méthodes de conception et des critères de performance applicables aux réseaux (électriques, hydrauliques, de communication, etc.). Ce chapitre explore en détail les enjeux, les organismes de normalisation, les normes clés et les impacts de la normalisation sur les réseaux BT.

III.2 Définition et Enjeux de la Normalisation des Réseaux BT

Qu'est-ce que la normalisation ?

La normalisation est l'établissement de règles techniques et fonctionnelles visant à harmoniser les pratiques dans un secteur donné. Dans les réseaux BT, elle concerne :

Les matériaux et équipements utilisés (câbles, conduits, appareillages).

Les méthodes d'installation et de maintenance.

Les critères de performance et de sécurité.

Pourquoi normaliser les réseaux BT ?

Sécurité : Prévention des risques électriques, incendies, etc.

Interopérabilité : Compatibilité entre équipements de différents fabricants.

Qualité : Respect de performances minimales garanties.

Durabilité : Pérennité des installations.

Conformité légale : Respect des réglementations nationales et internationales.

III.3 Organismes de Normalisation

Plusieurs organismes élaborent et publient des normes applicables aux réseaux BT :

III.3.1 Au niveau international

ISO (Organisation internationale de normalisation) : Normes générales sur les matériaux et méthodes.

IEC (Commission électrotechnique internationale) : Standards pour les installations électriques (ex. IEC 60364 pour les installations basse tension).

UIT (Union internationale des télécommunications) : Normes pour les réseaux de communication.

III.3.2 Au niveau européen

CEN (Comité européen de normalisation) : Harmonisation des normes dans l'UE.

CENELEC (Comité européen de normalisation électrotechnique) : Normes électriques (ex. série EN 50600 pour les data centers).

III.3.3 Au niveau national

AFNOR (France) : Publie les normes NF (ex. NF C 15-100 pour les installations électriques).

DIN (Allemagne), BS (Royaume-Uni), etc. : Chaque pays a son référentiel.

III.4 Normes Clés pour les Réseaux BT

III.4.1 Normes électriques

IEC 60364 / NF C 15-100 : Règles d'installation des réseaux électriques BT.

NF C 14-100 : Connexion aux réseaux publics de distribution.

IEC 60439 : Norme sur les tableaux électriques.

III.4.2 Normes pour les réseaux de communication

ISO/IEC 11801 : Câblage structuré pour les réseaux informatiques.

EN 50173 : Norme européenne pour les infrastructures réseaux.

III.4.3 Normes pour les fluides (eau, gaz)

NF DTU 60.11 : Règles de plomberie.

EN 806 : Exigences pour les installations d'eau potable.

III.4.4 Normes de sécurité incendie

NF S 61-936 : Détection incendie dans les bâtiments.

EN 54 : Systèmes de détection et d'alarme.

III.5 Processus de Normalisation

La création d'une norme suit plusieurs étapes :

Identification du besoin (industriels, pouvoirs publics).

Rédaction par un comité technique (experts du secteur).

Consultation publique (avis des parties prenantes).

Validation et publication.

Mise à jour périodique (tous les 5 à 10 ans).

III.6 Impacts de la Normalisation sur les Réseaux BT

III.6.1 Avantages

Réduction des coûts : Standardisation des composants.

Facilitation des audits : Critères clairs pour vérifier la conformité.

Innovation : Cadre pour le développement de nouvelles technologies.

III.6.2 Limites

Rigidité : Certaines normes peuvent freiner l'adaptation à des cas particuliers.

Coût de mise en conformité : Nécessité de formations et certifications.

III.7 Étude de Cas : La NF C 15-100 en France

Cette norme régit les installations électriques résidentielles et tertiaires :

Exigences :

Disjoncteurs différentiels obligatoires.

Nombre minimal de prises par pièce.

Protection contre les surtensions.

Conséquences :

Amélioration de la sécurité électrique.

Harmonisation des pratiques des électriciens.

Perspectives d'Évolution

Smart Grids : Adaptation des normes pour les réseaux intelligents.

Transition énergétique : Intégration des énergies renouvelables.

Numérisation : Normes pour l'IoT et la domotique.

III.8 Formules Mathématiques et Techniques pour les Réseaux de Bâtiment et Travaux Publics (BT)

Les réseaux BT (Basse Tension) dans le bâtiment et les travaux publics nécessitent des calculs précis pour garantir la sécurité, l'efficacité et la conformité aux normes. Voici les principales formules utilisées dans ce domaine.

III.8.1 Calculs Électriques (Réseaux BT)

Loi d'Ohm (Tension, Courant, Résistance)

$$U=R \times I \quad \text{III.1}$$

U : Tension en volts (V)

R : Résistance en ohms (Ω)

I : Courant en ampères (A)

Puissance Électrique en Régime Monophasé (230V)

Puissance Active (P)

$$P=U \times I \times \cos \phi \text{ [W]} \quad \text{III.2}$$

U : Tension (230 V)

I : Courant (A)

$\cos \phi$: Facteur de puissance (0,8 à 1)

Puissance Apparente (S)

$$S=U \times I \text{ [VA]} \quad \text{III.3}$$

Puissance Réactive (Q)

$$Q=U \times I \times \sin \phi \text{ [VAR]} \quad \text{III.4}$$

Relation entre P, Q et S

$$S=P_2+Q_2 \quad \text{III.5}$$

III.8.2 Puissance Électrique en Régime Triphasé (400V)

Puissance Active (P)

$$P=\sqrt{3}\times U\times I\times\cos\phi \text{ [W]} \quad \text{III.6}$$

U : Tension entre phases (400 V)

I : Courant de ligne (A)

Puissance Apparente (S)

$$S=\sqrt{3}\times U\times I \text{ [VA]} \quad \text{III.7}$$

Puissance Réactive (Q)

$$Q=\sqrt{3}\times U\times I\times\sin\phi \text{ [VAR]} \quad \text{III.8}$$

Relation Triangulaire des Puissances

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad \text{III.9}$$

Calcul du Courant d'Utilisation (I b)

En Monophasé

$$I_b = \frac{P}{U\times\cos\phi} \quad \text{III.10}$$

En Triphasé

$$I_b = \frac{P}{\sqrt{3}\times U\times\cos\phi} \quad \text{III.11}$$

III.8.3 Calcul du Courant de Court-Circuit (Icc)

Approche Simplifiée

$$I_{cc} = \frac{U}{\sqrt{R^2+X^2}} \quad \text{III.12}$$

R : Résistance totale du circuit (Ω)

X : Réactance totale du circuit (Ω)

III.8.4 Méthode Conventionnelle (Norme NF C 15-100)

$$I_{cc} = \frac{U_0}{Z_{cc}} \quad \text{III.13}$$

U_0 : Tension phase-neutre (230 V)

Z_{cc} : Impédance de court-circuit (Ω)

III.8.5 Calculs relatifs pour compléter les tableaux de la réalisation d'une installation électrique du chapitre suivant.

Calcul de la section selon l'échauffement S_j

Le calcul de la section d'un conducteur, d'une ligne électrique est en fonction des différents paramètres de l'installation

Le mode de pose.

Le type d'éléments conducteurs.

L'influence mutuelle des autres circuits.

La température ambiante.

La nature de l'isolant.

L'intensité nominale du courant d'emploi I_e .

Ainsi on calcul la valeur du courant fictif suivant la relation :

$$I_f = \frac{I_e}{k} = \frac{I_e}{k_1 * k_2 * k_3 * k_n * k_s} \quad \text{III.14}$$

Le coefficient K s'obtient en multipliant les facteurs de correction K_1 , K_2 , K_3 , K_n et K_s

Le facteur de correction K_1 prend en compte le mode de pose.

Le facteur de correction K_2 prend en compte l'influence mutuelle des circuits placés côte à côte.

Le facteur de correction K_3 prend en compte la température ambiante et la nature de l'isolant.

Les facteurs de correction K_1 , K_2 et K_3 sont représentés dans les tableaux (6, 7 et 8) de l'annexe.

Le facteur de correction du neutre chargé K_n .

Le facteur de correction dit de symétrie K_s .

Le facteur de correction du neutre chargé K_n selon la norme (NF C15-100 § 523.5.2) $K_n = 0,84$.

Le facteur de correction dit de symétrie K_s , selon la norme (NF C15-105 § B.5.2):

$K_s = 1$ pour 2 et 4 câbles par phase avec le respect de la symétrie.

$K_s = 0,8$ pour 2, 3 et 4 câbles par phase si non-respect de la symétrie.

Exemple de Calcul de Section S_j selon l'échauffement

Données de l'installation :

Courant d'emploi $I_e = 50$ A (courant nominal du circuit).

Mode de pose : Câbles en conduits ($K_1 = 0,8$, selon tableau 6 de l'annexe).

Influence mutuelle (K_2) : 3 circuits groupés ($K_2 = 0,7$, tableau 7).

Température ambiante : 40°C avec isolant PVC ($K_3 = 0,87$, tableau 8).

Neutre chargé ($K_n = 0,84$ selon NF C15-100).

Symétrie : 3 câbles par phase non symétriques ($K_s = 0,8$).

Étape 1 : Calcul du coefficient global K

$$K = K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_n \times K_s$$
$$K = 0,8 \times 0,7 \times 0,87 \times 0,84 \times 0,8 = 0,262$$

Étape 2 : Calcul du courant fictif I_f

$$I_f = K I_e = 0,262 \cdot 730 \approx 191 \text{ A}$$

Étape 3 : Détermination de la section S j

On se réfère à la **norme NFC 15-100** (tableaux d'intensité admissible en fonction de la section et du mode de pose).

Pour un **câble en cuivre**, isolant PVC, posé en conduit :

Section minimale supportant 191 A :

70 mm² (intensité admissible ≈ 200 A en mode de pose standard).

Si la chute de tension ou d'autres critères imposent une section supérieure, il faudra la vérifier séparément.

Calcul de la section selon la chute de tension Sz

La chute de tension, provoquée par le passage du courant dans les conducteurs, doit être compatible avec les tensions existantes au départ et celles souhaitées à l'arrivée. Cette condition détermine ce que nous appelons Sz. Elle est donnée pour une charge triphasée sous la forme :

III.15

$$\Delta U\% = \sqrt{3} \times I_e \times (R \cos \theta + \sin \theta) \times \frac{100}{un}$$

Avec :

I_e : Courant d'emploi dans le circuit (A)

$R = \frac{\rho \times L}{S}$: Résistance du conducteur (Ω)

$X = \lambda \times L$: Réactance du conducteur (Ω)

Un : Tension nominale entre phases (V)

λ : Réactance linéique des conducteurs :

Pour les câbles multi ou mono-conducteurs en trèfle 0,08 Ω /Km.

Pour les câbles mono-conducteurs jointifs en nappe égale à 0,09 Ω /Km.

Pour les mono-conducteurs séparés égale à 0,13 Ω /Km.

L : Longueur du câble en (km),

$\cos \varphi$: Facteur de puissance,

ρ : Résistivité du câble, $\rho = 22,5\Omega.\text{mm}^2/\text{km}$ pour le cuivre, $\rho = 36\Omega.\text{mm}^2/\text{km}$ pour l'aluminium.

Dimensionnement des jeux de barres

Le jeu de barres constitue véritablement la “colonne vertébrale” de tout ensemble de distribution. Jeu de barres principal et jeux de barres dérivés assurent l'alimentation et la répartition de l'énergie.

Le courant nominal I_n

Le courant nominal qui parcourt les conducteurs des jeux de barres est donné par la relation :

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times U_n} \quad \text{III.16}$$

Avec :

- S_n : Puissance apparente nominale (VA).
- U_n : Tension nominale composée entre deux phases (V).

Calcul du courant admissible maximal

Le courant admissible maximal est estimé à 120% du courant nominal qui parcourt les jeux de barres.

Exemple de calcul

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times U_n} \times 1 \quad \text{III.17}$$

III.8.5 Dimensionnement des Câbles 5

Section Minimale (Selon l'Intensité)

$$S = \frac{I_b \times K}{j} \quad \text{III.18}$$

K : Coefficient de correction (température, groupement)

j : Densité de courant admissible (A/mm^2)

III.8.6 Vérification de la Chute de Tension [5]

En Monophasé

$$\Delta U = 2 \times R \times I_b \times L \quad \text{III.19}$$

En Triphasé

$$\Delta U = 3 \times R \times I_b \times L \quad \text{III.20}$$

R : Résistance linéique du câble (Ω/m)

L : Longueur du câble (m)

III.8.7 Limites normatives (NF C 15-100): [5]

3% max pour les circuits d'éclairage

5% max pour les autres circuits

III.9 Calcul des Protections (Disjoncteurs, Fusibles)

Courant de Calibre du Disjoncteur (I_n)

$$I_n \geq I_b (\text{avec } I_n \leq I_z)$$

I_z : Courant admissible du câble

III.21

Sélectivité des Protections

Imagétique disjoncteur amont $> 1,5 \times$ Imagétique disjoncteur aval

Compensation d'Énergie Réactive

Puissance des Condensateurs à Installer

$$Q_c = P \times (\tan \phi_1 - \tan \phi_2)$$

III.22

ϕ_1 : Angle initial (avant compensation)

ϕ_2 : Angle cible (après compensation)

Nouveau Facteur de Puissance

$$\cos \phi_2 = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q - Q_c)^2}}$$

III.23

III.10 Bilan de Puissance d'une Installation

Puissance Installée (P_i)

Somme des puissances nominales de tous les récepteurs.

Puissance Appelée (P_a)

$$P_a = k_u \times \sum P_i$$

III.24

k_u : Coefficient d'utilisation (≤ 1)

Puissance Souscrite (P_s)

Choix fait auprès du fournisseur d'énergie (en kVA).

Chute de Tension (Monophasé)

$$\Delta U = 2 \times R \times I \times L$$

III.25

ΔU : Chute de tension (V)

R : Résistance linéique du câble (Ω/m)

L : Longueur du câble (m)

Chute de Tension (Triphasé)

$$\Delta U = 3 \times R \times I \times L$$

III.26

III.11 Section des Câbles (Selon l'Ampérage)

$$S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta U} \quad \text{III.27}$$

S : Section du câble (mm²)

ρ : Résistivité du matériau ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)

III.11 Conclusion

La normalisation et les calculs techniques des réseaux BT sont indispensables pour garantir des installations sûres, efficaces et conformes. En combinant les exigences des normes (comme la NF C 15-100) avec les formules de dimensionnement électrique, hydraulique et structurel, les professionnels peuvent optimiser les performances des infrastructures tout en anticipant les évolutions technologiques et énergétiques. Ces outils assurent ainsi la durabilité et l'adaptabilité des réseaux face aux défis futurs.

Chapitre IV :
Calculs et
interprétations

IV.1 Introduction

Nous essayerons dans ce chapitre de présenter quelques calculs et interprétations pour comprendre l'intérêt et l'importance des grandeurs électriques dans les réseaux de basse tension. Il sera composé de deux grandes parties. Dans la première partie, nous essayerons de donner quelques exemples de calculs et de simulation pour les réseaux de basse tension triphasée équilibré et déséquilibré dans l'environnement Matlab/Simulink et dans la deuxième, nous verrons l'importance de la connaissance des grandeurs électrique dans le choix et le dimensionnement des installations électriques. Un exemple d'application sera traité en détail pour montrer l'importance de la connaissance de certaines grandeurs qui resteront décisives quant à la réalisation des dites installations électriques

IV.2 Partie A

Quelques exemples seront donnés pour les réseaux triphasés équilibré et déséquilibré pour voir l'effet des dissymétries des charges sur les courants et les tensions.

Les quatre couplages seront simulés dans l'environnement Matlab pour calculer les grandeurs électriques dans un système triphasé équilibré alimentant des charges en couplage étoile et triangle avec la possibilité de déterminer la section minimale à retenir pour le conducteur neutre dans cas d'un couplage étoile déséquilibré.

IV.2.1 Charge étoile équilibrée [A1]

- Schéma de l'exemple

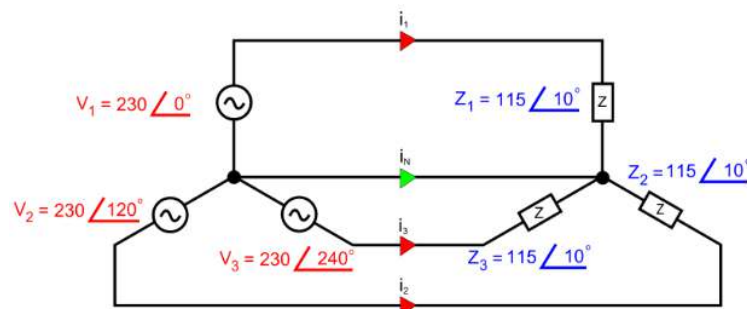


Figure IV.1 : Charge étoile équilibrée

A1

**---Programme ---*

```
clc;clear all; close all;
% Données du problème
V1 = 230 * exp(1i * deg2rad(0)); % Tension phase 1
V2 = 230 * exp(1i * deg2rad(-120)); % Tension phase 2
V3 = 230 * exp(1i * deg2rad(120)); % Tension phase 3

Z1 = 115 * exp(1i * deg2rad(10)); % Impédance phase 1
Z2 = 115 * exp(1i * deg2rad(10)); % Impédance phase 2
Z3 = 115 * exp(1i * deg2rad(10)); % Impédance phase 3
....
```

*--- RÉSULTATS ---

Phase	I (A)	P (W)	Q (VAR)	S (VA)	Cosfi
1	2.00/-10.0°	453.01	79.88	460.00	0.985
2	2.00/-130.0°	453.01	79.88	460.00	0.985
3	2.00/ 110.0°	453.01	79.88	460.00	0.985
N	0.00/ 0.0°	0.00	0.00	0.00	0.000
Total		1359.03	239.63	1380.00	0.985

Tableau IV.1: Tableau des grandeurs électriques pour une charge étoile équilibrée

• Interprétation:

Dans le cas d'une charge équilibrée en étoile, les trois impédances sont identiques et la source équilibrée, ce qui implique que :

- Les courants de ligne sont identiques en amplitude et déphasés de 120° les uns des autres.
- Le courant dans le conducteur neutre est nul car la somme vectorielle des courants est nulle.
- La tension de phase est constante et égale à $V_{ph}=U_{LL}/\sqrt{3}$
- La puissance active totale est :

$$P=3.U_{ph}I_{ph}\cos(\varphi)$$

La symétrie du système permet une transmission efficace de la puissance, avec un facteur de puissance élevé si la charge est faiblement inductive.

On peut dire qu'une charge équilibrée garantit un fonctionnement optimal du réseau, sans circulation de courant dans le neutre, réduisant ainsi les pertes et améliorant la stabilité du système.

IV.2.2 Charge triphasée étoile déséquilibrée

• Schéma de l'exemple

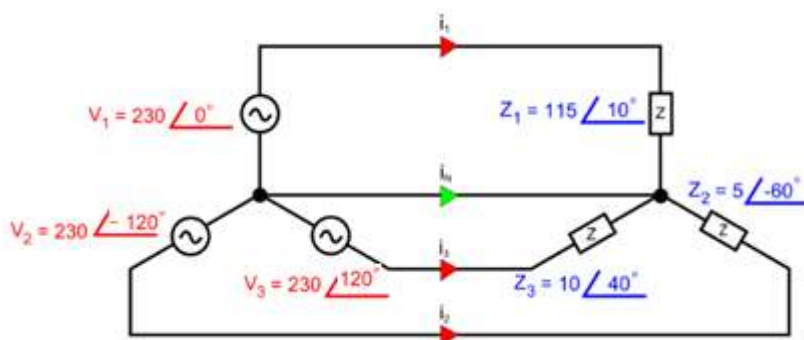


Figure IV.2 : Charge étoile déséquilibrée

A2

*---Programme ---

```
clc;clear all; close all;
% Données du problème
V1 = 230 * exp(1i * deg2rad(0)); % Tension phase 1
```

```
V2 = 230 * exp(1i * deg2rad(-120)); % Tension phase 2
V3 = 230 * exp(1i * deg2rad(120)); % Tension phase 3
Z1 = 115 * exp(1i * deg2rad(10)); % Impédance phase 1
Z2 = 5 * exp(1i * deg2rad(-60)); % Impédance phase 2
Z3 = 10 * exp(1i * deg2rad(40)); % Impédance phase 3
```

--- *RÉSULTATS* ---

Phase	I (A)	P (W)	Q (VAR)	S (VA)	Cosfi
1	2.00/-10.0°	453.01	79.88	460.00	0.985
2	46.00/-60.0°	5290.00	-9162.55	10580.00	0.500
3	23.00/80.0°	4052.38	3400.35	5290.00	0.766
N	33.86/-31.2°	0.00	0.00	0.00	0.000
Total		9795.39	-5682.32	11324.24	0.865

Tableau IV.2: Tableau des grandeurs électriques pour une charge étoile déséquilibrée
 NB : La section du conducteur est la valeur minimale en fonction de la densité du courant = 3 A/mm² et du facteur de sécurité = 1.2;

- **Interprétation:**

Dans le cas d'une charge déséquilibrée en étoile, les impédances sont différentes, donc

- Les courants de ligne diffèrent en amplitude et en phase.
- Un courant de neutre significatif apparaît, indiquant un déséquilibre entre les phases.
- La répartition des puissances n'est plus uniforme : chaque phase consomme une puissance différente.
- Le facteur de puissance total peut diminuer, affectant le rendement global du système.

Dans ce cas, on peut dire qu'un déséquilibre provoque des surintensités locales, des échauffements et une perturbation des tensions, ce qui peut endommager les équipements sensibles et nécessite des correcteurs ou une surveillance continue.

Plus particulièrement le courant de neutre qui devient important quand le déséquilibre est important.

IV.2.3 Charge triangle équilibrée

- Schéma de l'exemple

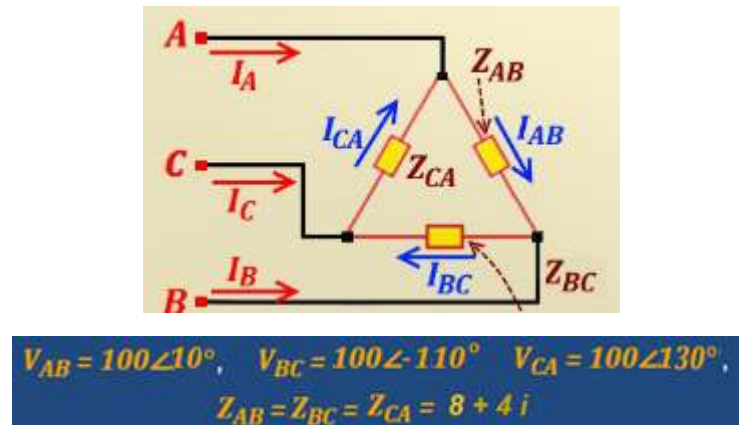


Figure IV.3 : Charge triangle équilibrée

*---Programme --- A3

```

clear all;
close all;
clc;
fprintf('\n===== CHARGE TRIANGLE ÉQUILIBRÉE
===== \n');

% Paramètres de la source
Van_mag = 100;      % Module de la tension phase-neutre [V]
Van_angle = 10;     % Phase de la tension [degrees]
f = 50;             % Fréquence [Hz]

% Définition des impédances de charge
Z_eq = 10 * (cosd(30) + 1i*sind(30)); % Charge équilibrée (même impédance
pour les 3 phases)
Z_ab = 10 * (cosd(30) + 1i*sind(30)); % Charge déséquilibrée
Z_bc = 10 * (cosd(45) + 1i*sind(45)); % (impédances différentes)
Z_ca = 15 * (cosd(-70) + 1i*sind(-70));

...
*--- RÉSULTATS ---
===== CHARGE TRIANGLE ÉQUILIBRÉE =====
Phase   I_phase(A)  Angle(°)  I_ligne(A)  Angle(°)  Puissance (VA)
-----
AB      17.32      10.00     30.00       -20.00    300.00
BC      17.32     -110.00    30.00     -140.00    300.00
CA      17.32     130.00    30.00      100.00    300.00

Puissance active totale: 7794.23 W
Puissance réactive totale: 4500.00 VAR
Puissance apparente totale: 9000.00 VA
Facteur de puissance: 0.8660

```

Tableau IV.3: Tableau des puissances

- Interprétation académique :

Dans une charge équilibrée en triangle (Δ) :

- Les tensions aux bornes des charges sont les tensions ligne-ligne du système.
- Les courants dans les branches sont équilibrés, mais les courants de ligne sont plus élevés de $\sqrt{3}$ fois que les courants de phase.
- La puissance active totale reste :

$$P=3.V_{ph}.I_{ph}.\cos(\varphi)$$

Avec $V_{ph}=U_{LL}/\sqrt{3}$

Donc, on peut dire que le couplage en triangle est utilisé pour des charges puissantes, sans neutre, et assure une bonne stabilité de tension même si une phase est défaillante. Il permet aussi de réduire les harmoniques dans certains cas industriels.

IV.2.4 Charge triangle déséquilibrée

- Schéma de l'exemple

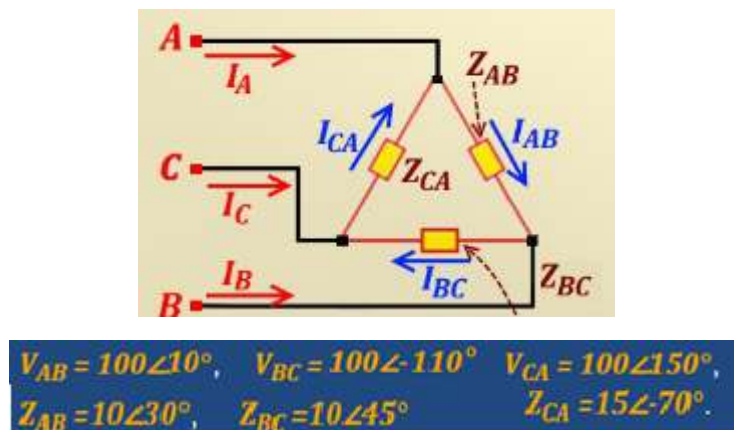


Figure IV.4 : Charge triangle déséquilibrée

A4

*---Programme ---

```
% Charge triphasée triangle déséquilibrée
clear all; clc; close all;
%% 2. Cas CHARGE DÉSÉQUILIBRÉE
fprintf('\n===== CHARGE TRIANGLE DÉSÉQUILIBRÉE
=====');
% Paramètres de la source
Van_mag = 100; % Module de la tension phase-neutre [V]
Van_angle = 10; % Phase de la tension [degrees]
f = 50; % Fréquence [Hz]
% Définition des impédances de charge
Z_ab = 10 * (cosd(30) + 1i*sind(30)); % Charge déséquilibrée
Z_bc = 10 * (cosd(45) + 1i*sind(45)); % (impédances différentes)
Z_ca = 15 * (cosd(-70) + 1i*sind(-70));
```

*--- RÉSULTATS ---

```
===== CHARGE TRIANGLE DÉSÉQUILIBRÉE =====
Phase    I_phase(A)  Angle(°)  I_ligne(A)  Angle(°)  Puissance(VA)
-----
AB       17.32      10.00    27.20      25.84     300.00
BC       17.32     -125.00   32.00     -147.50    300.00
```

CA	11.55	-130.00	5.90	64.81	133.33
----	-------	---------	------	-------	--------

Puissance active totale: 5403.44 W
Puissance réactive totale: 1741.94 VAR
Puissance apparente totale: 5677.28 VA
Facteur de puissance: 0.9518

Tableau IV.4: Tableau des grandeurs électriques pour une charge triangle déséquilibrée.

- Interprétation :

Pour une charge déséquilibrée en triangle :

- Les courants de branche sont différents, ce qui se répercute sur les courants de ligne.
- Il n'existe pas de courant de neutre, mais le déséquilibre de courant est transféré dans les lignes.
- Les puissances par phase sont différentes, ce qui indique un déséquilibre de charge.

Ce cas est le plus complexe à gérer, car il peut créer des effets thermiques localisés dans les enroulements de moteurs triphasés ou les transformateurs.

On peut conclure que les déséquilibres en triangle peuvent déformer les formes d'onde, générer des courants de déséquilibre circulants et nécessitent une correction par équilibrage actif ou passif si la stabilité du réseau est affectée.

IV.3 Partie B Installation électrique à étudier

IV.3.1 Calcul des grandeurs électriques.

La connaissance des grandeurs électriques deviennent importante voire indispensable pour sécuriser un fonctionnement permanent et une disponibilité continue de l'énergie électrique dans notre installation. Pour voir cette importance nous allons prendre une installation industrielle qui se compose de plusieurs départs et charges supposées toute triphasées et équilibrées selon le schéma de la figure IV.1 :

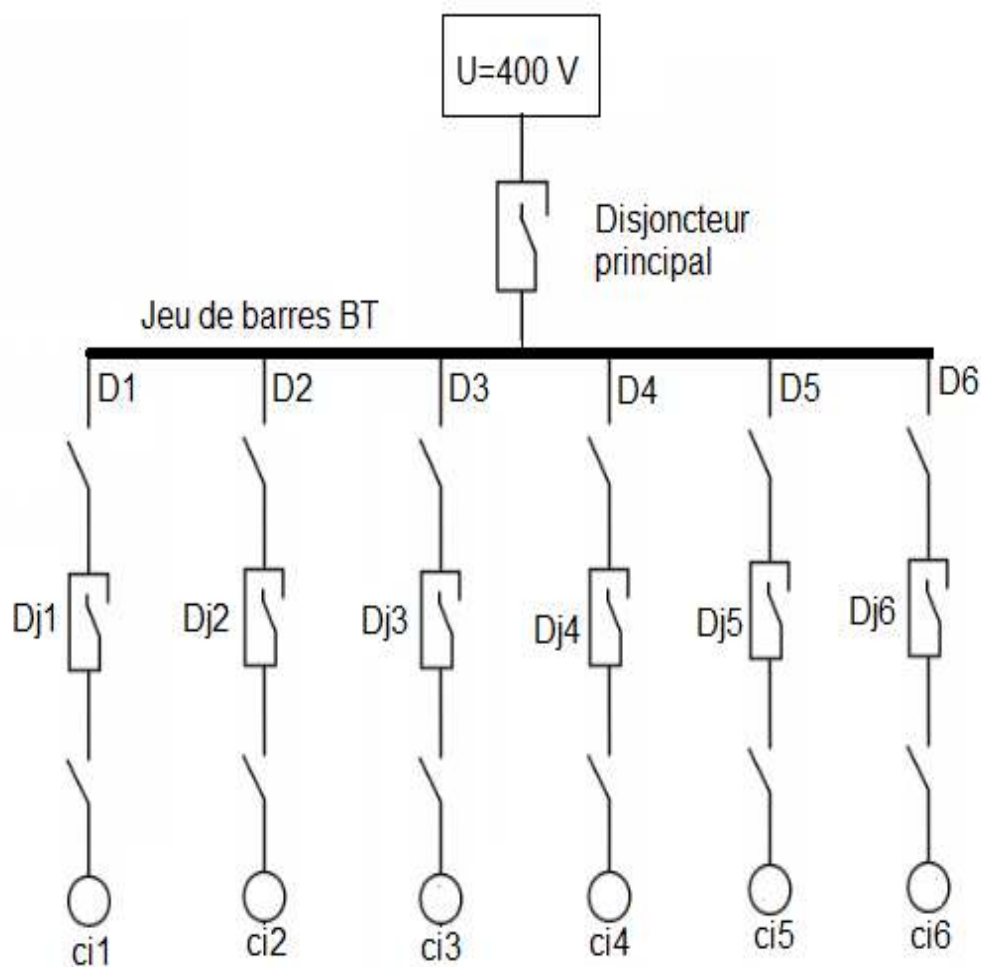


Figure IV.5 : Schéma de l'installation

Nous pouvons voir un jeu de barres principal protégé par un disjoncteur principal et au niveau duquel dérivent six départs (D1, D2, D3, D4, D5, D6) et sont protégés respectivement par les disjoncteurs (Dj1, Dj2, Dj3, Dj4, Dj5, Dj6). Chaque départ alimente une ou plusieurs charges à travers les jeux de barres $ci_1, ci_2, ci_3, ci_4, ci_5, ci_6$ comme suit :

ci_1 ($i=1\text{ à }3$) ; ci_2 ($i=1\text{ à }4$) ; ci_3 ($i=1\text{ à }2$) ; ci_4 ($i=1\text{ à }3$) ; ci_5 ($i=1\text{ à }3$) ; ci_6 ($i=1\text{ à }2$) ;

Le tableau suivant regroupe toutes les données de l'installation.

$U=400V, f=50Hz$

Départs	Charges	U[V]	Pn[W]	cosfi	Ku	Ks	L[km]
D1	C11	400	18750	0.8	0.75	0.9	0.030
	C12	400	18750	0.8	0.75		0.038
	C13	400	75000	0.8	0.75		0.070
D2	C21	400	75000	0.8	0.75	0.7	0.040
	C22	400	75000	0.8	0.75		0.060
	C23	400	75000	0.8	0.75		0.030
	C24	400	75000	0.8	0.75		0.050
D3	C31	400	75000	0.8	1	0.8	0.045
	C32	400	75000	0.8	1		0.035
D4	C41	400	18750	0.8	1	0.6	0.035
	C42	400	18750	0.8	1		0.060
	C43	400	18750	0.8	1		0.055
D5	C51	400	46400	0.95	1	0.6	0.045
	C52	400	18750	0.8	1		0.050
	C53	400	18750	0.8	1		0.035
D6	C61	400	15466.6667	0.95	1	0.6	0.015
	C62	400	15466.6667	0.95	1		0.020

Tableau VI.5: Tableau des Données de l'installation

Nous avons élaboré des programmes détaillés qui nous ont beaucoup aidés à faire les calculs nécessaires pour mettre en valeurs les grandeurs électriques et ce qui se déduit après leurs déterminations comme le dimensionnement de l'installation et les protections relatives.

Le programme principal dans l'environnement Matlab/Simulink se présente au début par l'introduction des données de l'installation.

A5

```
clear all;close all;
clc;% Données
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Puissance active en watts
PD1=[18750;18750;75000];PD2=[75000;75000;75000;75000];PD3=[75000;75000];
PD4=[18750;18750;18750];PD5=[46400;18750;18750];PD6=[15466.6667;15466.6667]
Pa=[PD1;PD2;PD3;PD4;PD5;PD6]
% Facteur de puissance
cosfiD1=[0.8;0.8;0.8];cosfiD2=[0.8;0.8;0.8;0.8];cosfiD3=[0.8;0.8];
cosfiD4=[0.8;0.8;0.8];cosfiD5=[0.95;0.8;0.8];cosfiD6=[0.95;0.95];
cosfi=[ cosfiD1;cosfiD2;cosfiD3;cosfiD4;cosfiD5;cosfiD6]
% Les facteurs d'utilisation Ku et de simultanéité Ks
KuD1=[0.75;0.75;0.75]; KsD1=0.9;KuD2=[0.75;0.75;0.75;0.75]; KsD2=0.7;
KuD3=[1;1]; KsD3=0.8;KuD4=[1;1;1]; KsD4=0.6;KuD5=[1;1;1]; KsD5=0.6;
KuD6=[1;1]; KsD6=0.6;
Ku=[KuD1;KuD2;KuD3;KuD4;KuD5;KuD6]
Ks=[KsD1;KsD2;KsD3;KsD4;KsD5;KsD6]
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
U = 400; % Tension triphasée en volts
Lch=[0.03 0.038 0.07 0.04 0.06 0.03 0.05 0.045 0.035 0.035 0.06 0.055 0.045
0.05 0.035 0.015 0.02 ] % longueur des conducteurs de chaque charge [Km]
```

Leurs exécutions respectives sont résumées comme suit :

=== Tableau des Grandeurs Electriques ===				
Pa (W)	In (A)	cosfi	Qn (VAR)	Sn (VA)
18750	33.83	0.80	14062.50	23437.50
18750	33.83	0.80	14062.50	23437.50
75000	135.32	0.80	56250.00	93750.00
75000	135.32	0.80	56250.00	93750.00
75000	135.32	0.80	56250.00	93750.00
75000	135.32	0.80	56250.00	93750.00
75000	135.32	0.80	56250.00	93750.00
75000	135.32	0.80	56250.00	93750.00
75000	135.32	0.80	56250.00	93750.00
18750	33.83	0.80	14062.50	23437.50
18750	33.83	0.80	14062.50	23437.50
18750	33.83	0.80	14062.50	23437.50
46400	70.50	0.95	15250.94	48842.11
18750	33.83	0.80	14062.50	23437.50
18750	33.83	0.80	14062.50	23437.50
15467	23.50	0.95	5083.65	16280.70
15467	23.50	0.95	5083.65	16280.70
733583	1295.88	0.82	517605.74	897808.56
(TOTAL)				

Tableau IV.6: Tableau des grandeurs électriques

===== Tableau 1 : Puissances utiles des départs =====				
KuD	KsD	PuD	QuD	SuD
0.75	0.90	14062.50	10546.87	17578.13
0.75	0.70	14062.50	10546.87	17578.13
0.75	0.80	56250.00	42187.50	70312.50
0.75	0.60	56250.00	42187.50	70312.50
0.75	0.60	56250.00	42187.50	70312.50
0.75	0.60	56250.00	42187.50	70312.50

Tableau IV.7: Tableau des Puissances utiles des départs

===== Tableau 2 : Puissances utiles finales =====		
PuDf	QuDf	SuDf
75937.50	56953.12	94921.88
157500.00	118125.00	196875.00
120000.00	90000.00	150000.00
33750.00	50625.00	42187.50
50340.00	26025.57	57430.26
18560.00	6100.38	19536.84

Tableau IV.8: Tableau des Puissances utiles finales

===== Tableau 3 : Bilan =====		
PuDf	QuDf	SuDf
75937.50	56953.12	94921.88
157500.00	118125.00	196875.00
120000.00	90000.00	150000.00
33750.00	50625.00	42187.50
50340.00	26025.57	57430.26
18560.00	6100.38	19536.84
PuDff =	1.9156e+05	

Tableau IV.9: Tableau des Bilan des puissances

```
===== Bilan des puissances (multipliées par kext=1.20) =====
PuDf*kext[W]      QuDf*kext[Var]      SuDf*kext[VA]
91125.00          68343.75          113906.25
189000.00         141750.00         236250.00
144000.00         108000.00         180000.00
40500.00          60750.00          50625.00
60408.00          31230.68          68916.32
22272.00          7320.45           23444.21
```

Tableau IV.10: Tableau des Bilan des puissances (multipliées par kext=1.20)

```
===== Bilan des puissances totales finales avec kext= 1.20) =====
Putotalefkext[W]   Qutotalefkext[Var]   Sutotalefkext[VA]
383113.50         292176.42         471199.24
===== Bilan des puissances totales finales avec kext= 1.20) =====
Putotalefkext[W]   Sutotalefkext[VA]      cosfi
383113.50         471199.24             0.8131
```

Tableau IV.11: Tableau des Bilan des puissances totales finales avec kext= 1.20)

- Interprétation :

Dans un premier temps nous avons calculé les puissances réactives, apparentes et les courants nominaux pour chaque charge. Puis nous avons introduit les trois constantes qu'il faut prendre en considération à savoir :

Ku le facteur d'utilisation, Ks le facteur de simultanéité et enfin Kext le facteur d'extension.

Les résultats obtenus nous seront d'une utilité importante quant au calcul du dimensionnement et de la protection de l'installation et de ses éléments. Il faut remarquer que déjà notre installation présente un facteur de puissance acceptable malgré des courants et des puissances réactives importants ce qui évite une compensation de l'énergie réactive de l'ensemble.

IV.3.2 Calculs relatifs au dimensionnement de l'installation

Durant cette phase nous serons confronté à des calculs décisifs pour déterminer les sections des conducteurs alimentant les charges et surtout la section du jeu de barres que doit supporter les courants de l'ensemble des charges.

IV.3.2.1 Calcul des sections des différentes charges.

L'introduction des données se fait selon le programme suivant

A6

```
%%%%%%%%%%%%%% Section_différentes_charges .m %%%%%%%%%%%%%%%
clc;clear all; close all;
% Constantes
Lambda = 0.08;
Ro = 22.5;
U = 400;
% Données
cosfi = [0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.95 0.95
0.95];
```

```
Lch = [0.03 0.038 0.07 0.04 0.06 0.03 0.05 0.045 0.035 0.035 0.06 0.055
0.045 0.05 0.035 0.015 0.02];
S = [6 6 70 70 70 70 70 70 70 6 6 6 6 6 25 4 4];
In = [33.8291 33.8291 135.3165 135.3165 135.3165 135.3165 135.3165, ...
135.3165 135.3165 33.8291 33.8291 33.8291 33.8291 33.8291, ...
70.4975 23.4992 23.4992];
```

Les conducteurs choisis sont en Cu selon la norme française

L'exécution d'un tel programme donne le résultat suivant :

Lch	R	X	cosfi	sinfi	In	DUV	DUPC	S
0.0300	0.1125	0.0024	0.8000	0.6000	33.8291	5.3578	1.3395	6
0.0380	0.1425	0.0030	0.8000	0.6000	33.8291	6.7866	1.6966	6
0.0700	0.0225	0.0056	0.8000	0.6000	135.3165	5.0063	1.2516	70
0.0400	0.0129	0.0032	0.8000	0.6000	135.3165	2.8607	0.7152	70
0.0600	0.0193	0.0048	0.8000	0.6000	135.3165	4.2911	1.0728	70
0.0300	0.0096	0.0024	0.8000	0.6000	135.3165	2.1455	0.5364	70
0.0500	0.0161	0.0040	0.8000	0.6000	135.3165	3.5759	0.8940	70
0.0450	0.0145	0.0036	0.8000	0.6000	135.3165	3.2183	0.8046	70
0.0350	0.0113	0.0028	0.8000	0.6000	135.3165	2.5031	0.6258	70
0.0350	0.1313	0.0028	0.8000	0.6000	33.8291	6.2508	1.5627	6
0.0600	0.2250	0.0048	0.8000	0.6000	33.8291	10.7156	2.6789	6
0.0550	0.2063	0.0044	0.8000	0.6000	33.8291	9.8227	2.4557	6
0.0450	0.1687	0.0036	0.8000	0.6000	33.8291	8.0367	2.0092	6
0.0500	0.1875	0.0040	0.8000	0.6000	33.8291	8.9297	2.2324	6
0.0350	0.0315	0.0028	0.9500	0.3122	70.4975	3.7608	0.9402	25
0.0150	0.0844	0.0012	0.9500	0.3122	23.4992	3.2778	0.8194	4
0.0200	0.1125	0.0016	0.9500	0.3122	23.4992	4.3703	1.0926	4

Tableau IV.12: Tableau des conducteurs choisis sont en Cu selon la norme française

Nous pouvons remarquer que les sections des conducteurs retenues sont conformes aux valeurs normalisées.

IV.3.2.2 Calcul de la section du jeu de barres de la basse tension

De la même façon et conformément aux sections normalisées fournies par les normes, nous allons fixer la section de notre jeux de barres relatives aux contraintes que doit supporter les conducteurs.

Le programme en Matlab/Simulink donne :

A7

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% sections_jeux_barres.m %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function sections_jeux_barres()
% Données d'entrée
In = [45.669, 497.288, 135.31, 50.229, 16.75, 16.75]; % Courants
nominiaux (A)
matériau = 'Cuivre'; % 'Cuivre' ou 'Aluminium'
Icc = 20; % Courant de court-circuit (kA) - valeur par défaut
t_cc = 0.5; % Durée du défaut (s) - valeur par défaut

% Paramètres matériau
if strcmpi(matériau, 'Cuivre')
    delta = 2.0; % Densité de courant (A/mm²)
    K = 143; % Constante pour Icc
else
```

```

delta = 1.2; % Densité de courant (A/mm²)
K = 95; % Constante pour Icc
end

```

L'exécution du programme donne :

```

>> sections_jeux_barres
In (A)      S_min (mm²)  S_cc (mm²)      S_finale (mm²)  Format barre
-----
45.67       22.83       0.10           22.83           20 x 3 mm
497.29      248.64       0.10           248.64          50 x 10 mm
135.31      67.66        0.10           67.66           30 x 5 mm
50.23       25.11       0.10           25.11           20 x 3 mm
16.75       8.38        0.10           8.38            20 x 3 mm
16.75       8.38        0.10           8.38            20 x 3 mm

```

Tableau IV.13: Tableau des valeurs des sections jeux de barres

Ou encore sous forme de tableau :

In (A)	S_min (mm ²)	S_cc (mm ²)	S_finale (mm ²)	Format barre
45.67	22.83	98.59	98.59	20 x 3 mm
497.29	248.64	98.59	248.64	50 x 10 mm
135.31	67.66	98.59	98.59	30 x 5 mm
50.23	25.11	98.59	98.59	20 x 3 mm
16.75	8.38	98.59	98.59	20 x 3 mm
16.75	8.38	98.59	98.59	20 x 3 mm

Tableau IV.14: Tableau des sections des jeux de barres des départs retenu

Interprétation des calculs faits et des résultats trouvés:

Nous avons bien hiérarchisé les calculs tout en respectant les règles pour arriver aux résultats importants afin de décider sur le choix de plusieurs caractéristiques de l'installation qui doit assurer la sécurité et la continuité de son fonctionnement. Néanmoins, le volet de la protection sera subjectivement instauré car il nécessite une étude bien particulière qui prendra en charge les deux côtés technique et économique selon les normes CEI 60364 / NFC 15-100 (France), donc il restera comme perspective pour un bon travail dans le futur.

En se basant sur le tableau des sections des différents jeux de barres pour les différents départs nous allons nous limiter à ce qui suit :

Les étapes pour le dimensionnement des disjoncteurs des départs selon les normes CEI 60364 / NFC 15-100 (France) :

- Choisir un disjoncteur thermique-magnétique adapté à In.
- Appliquer une marge de sécurité (~10 à 20 %), sauf si précisé autrement.
- Respecter la capacité de coupure compatible avec le courant de court-circuit présumé.
- Vérifier la compatibilité avec la section finale du câble ou barre (S_finale).

Jeu de barres	I_n [A]	S_{finale} [mm ²]	Format de barre	Disjoncteur recommandé
Ci1	45.67	22.83	20 × 3 mm	50 A (courbe C)
Ci2	497.29	248.64	50 × 10 mm	500 A ou 630 A (TMD)
Ci3	135.31	67.66	30 × 5 mm	160 A (courbe C ou TMD)
Ci4	50.23	25.11	20 × 3 mm	63 A (courbe C)
Ci5	16.75	8.38	20 × 3 mm	20 A (courbe C)
Ci6	16.75	8.38	20 × 3 mm	20 A (courbe C)

Tableau IV.15 : Tableau de choix de protection des jeux de barres des départs

On peut mentionner les indications suivantes selon les normes:

Courbe C : adaptée aux charges générales (moteurs légers, éclairage).

Disjoncteur TMD (thermomagnétique réglable) : recommandé pour les gros départs (>100 A), permet d'ajuster le seuil de déclenchement.

Pour le départ 2 (497.29 A) : prévoir un disjoncteur 630 A TMD réglé à 500 A si possible, pour anticiper les surcharges temporaires.

La capacité de coupure (I_{cc}) du disjoncteur doit être $\geq I_{cc}$ du tableau BT (ex. 25 kA ou plus).

IV.4 Conclusion

Lors de ce chapitre, nous avons bien renforcé notre travail avec des programmes destinés aux calculs des grandeurs électriques comme les courants de phases et/ou de lignes, des tensions de phases et/ou composées, les différentes puissances mises en jeu (actives, réactives et apparente) et enfin le facteur de puissance qui est bien déterminant. Il est nettement remarquable que dans les exemples utilisés nous n'avons pris que les charges R L car elles constituent les charges universelles. Ce qui sous-entend que l'étendue de l'étude ne constitue aucune difficulté. Donc, il en découle quelques grandeurs importantes pour compléter l'étude comme le choix des sections des conducteurs et des jeux de barres conformément aux normes électriques reconnues.

Conclusion

Générale

Conclusion Générale

Notre travail dans ce mémoire était bien structuré pour l'exploration des différentes étapes à suivre pour mener à bien les calculs des grandeurs électriques dans le réseau basse. Les chapitres dédiés à ce mémoire étaient bien organisés et techniquement basés sur des rappels concernant tout ce que nous devons connaître sur ce type de réseaux. Beaucoup de détails ont été fournis lors des différents calculs effectués pour des différents circuits et leurs grandeurs associées voire à une étude plus étendue sur les installations triphasées complexes. Le respect des normes permettra d'assurer une étude et une réalisation confortable afin d'assurer la performance et la sécurité d'une telle réalisation. Les interprétations sont présentes chaque fois que nous utilisons un exemple.

Les résultats obtenus parlent d'eux même pour justifier l'importance d'une approche rigoureuse et normée pour le dimensionnement des réseaux basse tension. Les calculs effectués dans ce contexte participent énormément à l'optimisation des installations électriques en basse tension avec une réduction considérable des pertes de puissances et une nette amélioration de la qualité de l'alimentation

Nous pourrions faire allusion à des perspectives très intéressantes quand il faudra inclure les réseaux électriques intelligents ou faire appel à l'intégration des énergies renouvelables dans les systèmes basse tension, pour ouvrir la voie à des recherches futures plus poussées.

Enfin, nous pouvons dire que notre modeste travail peut contribuer au renforcement des connaissances techniques nécessaires afin de concevoir, exploiter et maintenir des réseaux électriques basse tension efficaces et conformes aux conditions industrielle normalisées.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] Tigrine Ahmed, Louchati M. Saïd, *Étude et dimensionnement d'une installation électrique*, Mémoire de Master, Université de Bejaia, 2019-2020.
- [2] J. Leblanc, *Réseaux électriques et distribution BT/HT*, Éditions Dunod.
- [3] A. Fouillé, *Cours d'électrotechnique et schémas de réseaux*, Éditions Eyrolles.
- [4] G. Maurice, *Calcul des installations électriques industrielles et domestiques*, Éditions Techniques de l'Ingénieur.
- [5] M. Petit, *Énergies renouvelables et systèmes électriques*, Éditions Lavoisier.
- [6] J. Boulet, *Électrotechnique*, Éditions Dunod.
- [7] A. Fouillé, *Cours d'électrotechnique et d'électronique de puissance*, Éditions Eyrolles.
- [8] G. Séguier, *Réseaux électriques industriels*, Éditions Lavoisier.
- [9] H. Saadat, *Power System Analysis*, McGraw-Hill, chap. sur le facteur de puissance et les corrections.
- [10] J. L. Blackburn, *Symmetrical Components for Power Systems Engineering*, CRC Press.
- [11] T. Wildi, *Electrical Machines, Drives, and Power Systems*, Pearson Education.
- [12] Schneider Electric, *Guide de l'installation électrique*, Édition 2023.
- [13] J. Legaud, *Électrotechnique industrielle*, Éditions Dunod.
- [14] G. Séguier, *Réseaux électriques et distribution BT/HT*, Éditions Lavoisier.
- [15] A. Fouillé, *Cahier de formules électriques*, Éditions Techniques de l'Ingénieur.
- [16] AFNOR – Association Française de Normalisation. [En ligne] : <https://www.afnor.org>
- [17] CEI – Commission Électrotechnique Internationale. [En ligne] : <https://www.iec.ch>
- [18] CENELEC – Comité Européen de Normalisation Électrotechnique. [En ligne] : <https://www.cenelec.eu>

ANNEXES

ANNEXES**A1**

%% Charge étoile équilibrée %%%

```

clc;clear all; close all;
% Données du problème
V1 = 230 * exp(1i * deg2rad(0)); % Tension phase 1
V2 = 230 * exp(1i * deg2rad(120)); % Tension phase 2
V3 = 230 * exp(1i * deg2rad(240)); % Tension phase 3
Z1 = 115 * exp(1i * deg2rad(10)); % Impédance phase 1
Z2 = 115 * exp(1i * deg2rad(10)); % Impédance phase 2
Z3 = 115 * exp(1i * deg2rad(10)); % Impédance phase 3
% Calcul des courants de phase
I1 = V1 / Z1;
I2 = V2 / Z2;
I3 = V3 / Z3;
% Calcul du courant dans le neutre (somme vectorielle des courants de
phase)
I_neutre = I1 + I2 + I3;
% Calcul de la section minimale du conducteur neutre
% Hypothèses :
% - Densité de courant admissible : 3 A/mm² (valeur typique pour câbles
cuivre)
% - Facteur de sécurité de 1.2
densite_courant = 3; % A/mm²
facteur_securite = 1.2;
section_min = abs(I_neutre) * facteur_securite / densite_courant;
% Calcul des puissances complexes pour chaque phase
S1 = V1 * conj(I1);
S2 = V2 * conj(I2);
S3 = V3 * conj(I3);
% Puissances actives (P) et réactives (Q) pour chaque phase
P1 = real(S1);
Q1 = imag(S1);
P2 = real(S2);
Q2 = imag(S2);
P3 = real(S3);
Q3 = imag(S3);
% Puissances apparentes pour chaque phase
S1_mag = abs(S1);
S2_mag = abs(S2);
S3_mag = abs(S3);
% Facteurs de puissance pour chaque phase
PF1 = cos(angle(S1));
PF2 = cos(angle(S2));
PF3 = cos(angle(S3));
% Calcul des totaux
P_total = P1 + P2 + P3;
Q_total = Q1 + Q2 + Q3;
S_total = P_total + 1i*Q_total;
S_total_mag = abs(S_total);
PF_total = cos(angle(S_total));
% Affichage des résultats sous forme de tableau
fprintf('-----\n');
fprintf('| Phase |      I (A)      |      P (W)      |      Q (VAR)      |      S (VA)      |
| Cosfi   |\n');

```

```
fprintf('-----\n');
fprintf('| 1 | %7.2f /%6.1f° | %10.2f | %10.2f | %10.2f | %10.3f |\n',
abs(I1), rad2deg(angle(I1)), P1, Q1, S1_mag, PF1);
fprintf('| 2 | %7.2f /%6.1f° | %10.2f | %10.2f | %10.2f | %10.3f |\n',
abs(I2), rad2deg(angle(I2)), P2, Q2, S2_mag, PF2);
fprintf('| 3 | %7.2f /%6.1f° | %10.2f | %10.2f | %10.2f | %10.3f |\n',
abs(I3), rad2deg(angle(I3)), P3, Q3, S3_mag, PF3);
fprintf('| N | %7.2f /%6.1f° | %10.2f | %10.2f | %10.2f | %10.3f |\n',
abs(I_neutre), rad2deg(angle(I_neutre)), 0, 0, 0, 0);
fprintf('-----\n');
fprintf('| Total | | %10.2f | %10.2f | %10.2f | %10.3f |\n',
P_total, Q_total, S_total_mag, PF_total);
fprintf('-----\n');
% Affichage du courant dans le neutre
fprintf('\nCourant dans le neutre : %.2f /%.1f° A\n', abs(I_neutre),
rad2deg(angle(I_neutre)));
fprintf('Section minimale recommandée pour le neutre : %.2f mm²\n',
section_min);
```

A2

%%%%%%%%%% Charge étoile déséquilibrée %%%%%%%%%%

```
clc;clear all; close all;
% Données du problème
V1 = 230 * exp(1i * deg2rad(0)); % Tension phase 1
V2 = 230 * exp(1i * deg2rad(120)); % Tension phase 2
V3 = 230 * exp(1i * deg2rad(240)); % Tension phase 3
Z1 = 115 * exp(1i * deg2rad(10)); % Impédance phase 1
Z2 = 5 * exp(1i * deg2rad(-60)); % Impédance phase 2
Z3 = 10 * exp(1i * deg2rad(40)); % Impédance phase 3
% Calcul des courants de phase
I1 = V1 / Z1;
I2 = V2 / Z2;
I3 = V3 / Z3;
% Calcul du courant dans le neutre (somme vectorielle des courants de
phase)
I_neutre = I1 + I2 + I3;

% Calcul de la section minimale du conducteur neutre
% Hypothèses :
% - Densité de courant admissible : 3 A/mm² (valeur typique pour câbles
cuivre)
% - Facteur de sécurité de 1.2
densite_courant = 3; % A/mm²
facteur_securite = 1.2;
section_min = abs(I_neutre) * facteur_securite / densite_courant;
% Calcul des puissances complexes pour chaque phase
S1 = V1 * conj(I1);
S2 = V2 * conj(I2);
S3 = V3 * conj(I3);
% Puissances actives (P) et réactives (Q) pour chaque phase
P1 = real(S1);
Q1 = imag(S1);
P2 = real(S2);
Q2 = imag(S2);
P3 = real(S3);
Q3 = imag(S3);
% Puissances apparentes pour chaque phase
```

```

S1_mag = abs(S1);
S2_mag = abs(S2);
S3_mag = abs(S3);
% Facteurs de puissance pour chaque phase
PF1 = cos(angle(S1));
PF2 = cos(angle(S2));
PF3 = cos(angle(S3));
% Calcul des totaux
P_total = P1 + P2 + P3;
Q_total = Q1 + Q2 + Q3;
S_total = P_total + 1i*Q_total;
S_total_mag = abs(S_total);
PF_total = cos(angle(S_total));
% Affichage des résultats sous forme de tableau
fprintf('-----\n');
fprintf('| Phase |      I (A)      |      P (W)      |      Q (VAR)      |      S (VA)      |
| Cosfi      |\n');
fprintf('-----\n');
fprintf('| 1 | %7.2f /%6.1f° | %10.2f | %10.2f | %10.2f | %10.3f |\n',
abs(I1), rad2deg(angle(I1)), P1, Q1, S1_mag, PF1);
fprintf('| 2 | %7.2f /%6.1f° | %10.2f | %10.2f | %10.2f | %10.3f |\n',
abs(I2), rad2deg(angle(I2)), P2, Q2, S2_mag, PF2);
fprintf('| 3 | %7.2f /%6.1f° | %10.2f | %10.2f | %10.2f | %10.3f |\n',
abs(I3), rad2deg(angle(I3)), P3, Q3, S3_mag, PF3);
fprintf('| N | %7.2f /%6.1f° | %10.2f | %10.2f | %10.2f | %10.3f |\n',
abs(I_neutre), rad2deg(angle(I_neutre)), 0, 0, 0, 0);
fprintf('-----\n');
fprintf('| Total |      | %10.2f | %10.2f | %10.2f | %10.3f |\n',
P_total, Q_total, S_total_mag, PF_total);
fprintf('-----\n');
% Affichage du courant dans le neutre
fprintf('\nCourant dans le neutre : %.2f /%.1f° A\n', abs(I_neutre),
rad2deg(angle(I_neutre)));
fprintf('Section minimale recommandée pour le neutre : %.2f mm²\n',
section_min);

```

A3

%%%%%%%%%% Charge triangle équilibrée %%%%%%%%%%

```

clear all;
close all;
clc;
fprintf('\n===== CHARGE TRIANGLE ÉQUILIBRÉE
=====');

% Paramètres de la source
Van_mag = 100;      % Module de la tension phase-neutre [V]
Van_angle = 10;     % Phase de la tension [degrees]
f = 50;             % Fréquence [Hz]

% Définition des impédances de charge
Z_eq = 10 * (cosd(30) + 1i*sind(30)); % Charge équilibrée (même impédance
pour les 3 phases)

%% 1. Cas CHARGE ÉQUILIBRÉE
fprintf('\n===== CHARGE TRIANGLE ÉQUILIBRÉE
=====');

```

```
% Calcul des tensions phase-neutre
Van = Van_mag * exp(1j*deg2rad(Van_angle));
Vbn = Van_mag * exp(1j*deg2rad(Van_angle - 120));
Vcn = Van_mag * exp(1j*deg2rad(Van_angle + 120));

% Calcul des tensions phase-phase
Vab = Van - Vbn;
Vbc = Vbn - Vcn;
Vca = Vcn - Van;

% Courants de phase (charge triangle)
Iab = Vab / Z_eq;
Ibc = Vbc / Z_eq;
Ica = Vca / Z_eq;
I_phase = [Iab; Ibc; Ica];

% Courants de ligne
Ia = Iab - Ica;
Ib = Ibc - Iab;
Ic = Ica - Ibc;
I_line = [Ia; Ib; Ic];

% Calcul des puissances
Sab = Vab * conj(Iab);
Sbc = Vbc * conj(Ibc);
Sca = Vca * conj(Ica);
P = real(Sab + Sbc + Sca);
Q = imag(Sab + Sbc + Sca);
S = abs(Sab + Sbc + Sca);
PF = cos(angle(Sab + Sbc + Sca));

% Affichage des résultats
afficher_resultats(I_phase, I_line, P, Q, S, PF);

% Affichage des résultats
afficher_resultats(I_phase, I_line, P, Q, S, PF);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% Fonction d'affichage des résultats
function afficher_resultats(I_phase, I_line, P, Q, S, PF)
    % En-tête du tableau
    fprintf('%-8s %-15s %-15s %-15s %-15s %-20s\n', ...
        'Phase', 'I_phase [A]', 'Angle [°]', 'I_ligne [A]', 'Angle [°]', 'Puissance [VA]');

    fprintf('=====\n');

    phases = {'AB'; 'BC'; 'CA'};
    for i = 1:3
        fprintf('%-8s %-15.2f %-15.2f %-15.2f %-15.2f %-10.2f + j%-6.2f\n', ...
            phases{i}, ...
            abs(I_phase(i)), rad2deg(angle(I_phase(i))), ...
            abs(I_line(i)), rad2deg(angle(I_line(i))), ...
            abs(I_phase(i)*conj(I_phase(i))),
            imag(I_phase(i)*conj(I_phase(i))));
    end

    % Affichage des totaux
```

```

fprintf('\n%-25s: %.2f W\n', 'Puissance active totale', P);
fprintf('%-25s: %.2f VAR\n', 'Puissance réactive totale', Q);
fprintf('%-25s: %.2f VA\n', 'Puissance apparente totale', S);
fprintf('%-25s: %.3f\n', 'Facteur de puissance', PF);

fprintf('=====
=====\\n');
end

```

A4

%%%%%%%%%%%%%% Charge triangle déséquilibrée %%%%%%%%%%%%%%

```

clear all;
close all;
clc;
fprintf('\n===== CHARGE TRIANGLE DESÉQUILIBRÉE
=====\\n');

% Paramètres de la source
Van_mag = 100;      % Module de la tension phase-neutre [V]
Van_angle = 10;     % Phase de la tension [degrees]
f = 50;             % Fréquence [Hz]

pour les 3 phases)
Z_ab = 10 * (cosd(30) + 1i*sind(30)); % Charge déséquilibrée
Z_bc = 10 * (cosd(45) + 1i*sind(45)); % (impédances différentes)
Z_ca = 15 * (cosd(-70) + 1i*sind(-70));

% Courants de phase (charge déséquilibrée)
Iab = Vab / Z_ab;
Ibc = Vbc / Z_bc;
Ica = Vca / Z_ca;
I_phase = [Iab; Ibc; Ica];

% Courants de ligne
Ia = Iab - Ica;
Ib = Ibc - Iab;
Ic = Ica - Ibc;
I_line = [Ia; Ib; Ic];

% Calcul des puissances
Sab = Vab * conj(Iab);
Sbc = Vbc * conj(Ibc);
Sca = Vca * conj(Ica);
P = real(Sab + Sbc + Sca);
Q = imag(Sab + Sbc + Sca);
S = abs(Sab + Sbc + Sca);
PF = cos(angle(Sab + Sbc + Sca));

% Affichage des résultats
afficher_resultats(I_phase, I_line, P, Q, S, PF);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% Fonction d'affichage des résultats
function afficher_resultats(I_phase, I_line, P, Q, S, PF)
    % En-tête du tableau
    fprintf('%-8s %-15s %-15s %-15s %-15s %-20s\\n', ...
            'Phase', 'I_phase [A]', 'Angle [°]', 'I_ligne [A]', 'Angle
[°]', 'Puissance [VA]');

```


Tableaux des grandeurs électriques de l'installation

{ 49 }

```
% Calcul de la puissance r?active (Qn)
phi = acos(cosfi); % Angle en radians
Qn = Pa .* tan(phi); % Puissance r?active en VAR
% Calcul de la puissance apparente (Sn)
Sn = sqrt(3) * U * In; % Puissance apparente en VA
% Calculs totaux
Pa_tot = sum(Pa);
Qn_tot = sum(Qn);
Sn_tot = sqrt(Pa_tot^2 + Qn_tot^2); % Puissance apparente totale
In_tot = Sn_tot / (sqrt(3) * U); % Courant total ?quivalent
cosfi_tot = Pa_tot / Sn_tot; % Cos ? total
%%%%%%%%%%%% calcul des puissances utiles%%%%%%%%
% Au niveau du d?part 1
QD1= Qn(1:3);SD1= Sn(1:3) ;
PuD1=PD1.*KuD1;QuD1=QD1.*KuD1;SuD1=SD1.*KuD1;
PuD1f=sum(PuD1)*KsD1;QuD1f=sum(QuD1)*KsD1;
SuD1f=sum(SuD1)*KsD1;fprintf('%.4f\n', SuD1f);
% Au niveau du d?part 2
QD2= Qn(4:7);SD2= Sn(4:7) ;
PuD2=PD2.*KuD2;QuD2=QD2.*KuD2;SuD2=SD2.*KuD2;PuD2f=sum(PuD2)*KsD2;
QuD2f=sum(QuD2)*KsD2;SuD2f=sum(SuD2)*KsD2;fprintf('%.4f\n', SuD2f);
% Au niveau du d?part 3
QD3= Qn(8:9);SD3= Sn(8:9) ;
PuD3=PD3.*KuD3;QuD3=QD3.*KuD3;SuD3=SD3.*KuD3;PuD3f=sum(PuD3)*KsD3;
QuD3f=sum(QuD3)*KsD3;SuD3f=sum(SuD3)*KsD3 ;fprintf('%.4f\n', SuD3f);
% Au niveau du d?part 4
QD4= Qn(10:12);SD4= Sn(10:12) ;
PuD4=PD4.*KuD4;QuD4=QD4.*KuD4;SuD4=SD4.*KuD4;
PuD4f=sum(PuD4)*KsD4;QuD4f=sum(QuD4)*KsD4;
SuD4f=sum(SuD4)*KsD4;fprintf('%.4f\n', SuD4f);
% Au niveau du d?part 5
QD5= Qn(13:15);SD5= Sn(13:15);
PuD5=PD5.*KuD5;QuD5=QD5.*KuD5;SuD5=SD5.*KuD5;
PuD5f=sum(PuD5)*KsD5;QuD5f=sum(QuD5)*KsD5;
SuD5f=sum(SuD5)*KsD5;fprintf('%.4f\n', SuD5f);
% Au niveau du d?part 6
QD6= Qn(16:17);SD6= Sn(16:17) ;
PuD6=PD6.*KuD6;QuD6=QD6.*KuD6;
SuD6=SD6.*KuD6;PuD6f=sum(PuD6)*KsD6;
QuD6f=sum(QuD6)*KsD6;
SuD6f=sum(SuD6)*KsD6;fprintf('%.4f\n', SuD6f);

% Vecteur donn?e des constantes d'utilisation Ku
KuD = [KuD1; KuD2; KuD3; KuD4; KuD5; KuD6];
% Vecteur donn?e des constantes de simultan?it? Ks
KsD = [KsD1; KsD2; KsD3; KsD4; KsD5; KsD6];
% Vecteur donn?e des puissances actives des d?parts PuD
PuD = [PuD1; PuD2; PuD3; PuD4; PuD5; PuD6];
% Vecteur donn?e des puissances utiles r?actives des d?parts QuD
QuD = [QuD1; QuD2; QuD3; QuD4; QuD5; QuD6];
% Vecteur donn?e des puissances utiles apparentes des d?parts SuD
SuD = [SuD1; SuD2; SuD3; SuD4; SuD5; SuD6];

% % Bilan des puissances utiles avec les facteurs de simultan?it?
PuDf=PuD*KsD
PuDf = [PuD1f; PuD2f; PuD3f; PuD4f; PuD5f; PuD6f];
QuDf = [QuD1f; QuD2f; QuD3f; QuD4f; QuD5f; QuD6f];
SuDf = [SuD1f; SuD2f; SuD3f; SuD4f; SuD5f; SuD6f];
% Affichage du tableau
fprintf('\n=== Tableau des Grandeurs Electriques de l''installation
===\n');
```

```
fprintf('  %-8s %-8s %-12s %-12s %-12s\n', 'Pa (W)', 'In (A)', 'cosfi', 'Qn
(VAR)', 'Sn (VA)');
fprintf('  -----
\n');
for i = 1:length(Pa)
    fprintf('  %-8.0f %-8.2f %-12.2f %-12.2f %-12.2f\n', Pa(i),
In(i),cosfi(i),Qn(i),Sn(i));
end
    fprintf('  -----
\n');
fprintf('  %-8.0f %-8.2f %-12.2f %-12.2f %-12.2f\n', Pa_tot,
In_tot,cosfi_tot, Qn_tot, Sn_tot);
fprintf('  (TOTAL)\n');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Affichage du premier tableau
fprintf('\n==== Tableau 1 : Puissances utiles des départs =====\n');
fprintf('KuD\tKsD\tPuD\tQuD\tSuD\n');
for i = 1:6
    fprintf('% .2f\t% .2f\t% .2f\t% .2f\t% .2f\n', KuD(i), KsD(i), PuD(i),
QuD(i), SuD(i));
end
% Affichage du second tableau
fprintf('\n==== Tableau 2 : Puissances utiles finales =====\n');
fprintf('PuDf\tQuDf\tSuDf\n');
for i = 1:6
    fprintf('% .2f\t% .2f\t% .2f\n', PuDf(i), QuDf(i), SuDf(i));
end

% Affichage du troisieme tableau
fprintf('\n==== Tableau 3 : Bilan =====\n');
fprintf('PuDf\tQuDf\tSuDf\n');
for i = 1:6
    fprintf('% .2f\t% .2f\t% .2f\n', PuDf(i), QuDf(i), SuDf(i));
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Calcul du bilan de puissances au niveau du jeux de barres par Ksbilan=0.7

PuDff=sum(PuDf)*0.6*0.7
% Définir le facteur d'extension
kext = 1.2; % <-- valeur retenue pour notre cas
% Calcul des puissances multipliées par Kext
PuBilan = kext * PuDf;
QuBilan = kext * QuDf;
SuBilan = kext * SuDf;
PuBilanf = sum(PuBilan);
QuBilanf = sum(QuBilan);
SuBilanf = sum(SuBilan);
% Affichage du tableau bilan
fprintf('\n==== Bilan des puissances (multipliées par kext = %.2f)
===== \n', kext);
fprintf('PuDf*kext\tQuDf*kext\tSuDf*kext\n');
for i = 1:6
    fprintf('% .2f\t% .2f\t% .2f\n', PuBilan(i), QuBilan(i), SuBilan(i));
end
Putotale=sum(PuDf);%fprintf('Putotale=%.4f\n',Putotale);
Qutotale=sum(QuDf);%fprintf('Qutotale=%.4f\n',Qutotale);
Sutotale=sum(SuDf);%fprintf('Sutotale=%.4f\n',Sutotale);
Putotalef=0.7*Putotale;%fprintf('Putotalef=%.4f\n',Putotalef);
Qutotalef=0.7*Qutotale;%fprintf('Qutotalef=%.4f\n',Qutotalef);
Sutotalef=0.7*Sutotale;%fprintf('Sutotalef=%.4f\n',Sutotalef);
```

```

Putotalefkext=1.2*Putotalef;%fprintf('Putotalefkext=%.4f\n',Putotalefkext);
Qutotalefkext=1.2*Qutotalef;%fprintf('Qutotalefkext=%.4f\n',Qutotalefkext);
Sutotalefkext=1.2*Sutotalef;%fprintf('Sutotalefkext=%.4f\n',Sutotalefkext);
% Calcul du facteur de puissance de l'installation
cosfi=Putotalefkext/Sutotalefkext;
Putotalefext=Putotalef*kext;
Qutotalefext=Qutotalef*kext;
Sutotalefext=Sutotalef*kext;
fprintf('\n==== Bilan des puissances totales finales avec kext= %.2f)
====\n', kext);
fprintf('Putotalefkext\tQutotalefkext\tSutotalefkext\n');
fprintf('%.2f\t\t%.2f\t\t%.2f\n', Putotalefkext,
Qutotalefkext,Sutotalefkext );
% Affichage du facteur de puissance

fprintf('\n==== Bilan des puissances totales finales avec kext= %.2f)
====\n', kext);
fprintf('Putotalefkext\tSutotalefkext\tcosfi\n');
fprintf('%.2f\t\t%.2f\t\t%.4f\n', Putotalefkext, Sutotalefkext,cosfi );

```

A6

```

%%%%%%%%%%          Section des charges          %%%%%%%%%%
clc;clear all;close all;
In = [ 33.8291 33.8291 135.3165 135.3165 135.3165 135.3165 135.3165...
      135.3165 135.3165 33.8291 33.8291 33.8291 33.8291 33.8291 70.4975...
      23.4992 23.4992]; % exemple de valeurs

Lambda=0.08
Ro=22.5
%Sj
U=400
cosfi=[0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.95 0.95
0.95 ]
sinfi = sin(acos(cosfi))
Lch=[0.03 0.038 0.07 0.04 0.06 0.03 0.05 0.045 0.035 0.035 0.06 0.055 0.045
0.05 0.035 0.015 0.02 ]
S =[6 6 70 70 70 70 70 70 70 6 6 6 6 25 4 4]
In = [33.8291 33.8291 135.3165 135.3165 135.3165 135.3165 135.3165 135.3165...
      135.3165 135.3165 33.8291 33.8291 33.8291 33.8291 33.8291 70.4975...
      23.4992 23.4992]; % Courant employé qui est nominal
R=Ro*Lch/S
X=Lambda*Lch
DU=sqrt(3)*In*(R*cosfi+X*sinfi)*100/U
%%%%%%%%%%
UN=400
SN= 1.0e+05 *[0.3164 3.4453 0.9375 0.2931 0.0977 0.0977]
IN=SN/(sqrt(3)*UN)
Iad=1.2*IN
K = 0.766;
If = In / K; % Division élément par élément
Iad = zeros(size(If)); % même taille que If
S = zeros(size(If)); % même taille que If
for i = 1:length(If)
    if If(i) < 40
        Iad(i) = 36;
        S(i) = 4;
    elseif If(i) >= 40 && If(i) <= 50
        Iad(i) = 48;
        S(i) = 6;
    end
end

```

```

elseif If(i) > 50 && If(i) <= 150
    Iad(i) = 112;
    S(i) = 25;
elseif If(i) > 150 && If(i) <= 250
    Iad(i) = 213;
    S(i) = 70;
else
    Iad(i) = NaN; % facultatif : pour valeurs hors plages
    S(i) = NaN;
end
end
% Affichage entête
fprintf('%8s\t%8s\t%10s\t%6s\t%4s\n', 'In', 'K', 'If', 'Iad', 'S');
% Affichage avec 4 chiffres après la virgule
for i = 1:length(In)
    fprintf('%8.4f\t%8.4f\t%10.4f\t%6.0f\t%4.0f\n', In(i), K, If(i),
    Iad(i), S(i));
end

```

A7

%% Section des jeux de barres %%%

```

function sections_jeux_barres()
    % Données d'entrée
    In = [45.669, 497.288, 135.31, 50.229, 16.75, 16.75]; % Courants
    nominaux (A)
    materiau = 'Cuivre'; % 'Cuivre' ou 'Aluminium'
    Icc = 20; % Courant de court-circuit (kA) - valeur par défaut
    t_cc = 0.5; % Durée du défaut (s) - valeur par défaut

    % Paramètres matériau
    if strcmpi(materiau, 'Cuivre')
        delta = 2.0; % Densité de courant (A/mm²)
        K = 143; % Constante pour Icc
    else
        delta = 1.2; % Densité de courant (A/mm²)
        K = 95; % Constante pour Icc
    end

    % Initialisation des résultats
    sections = zeros(size(In));
    formats = cell(size(In));
    % Calcul pour chaque courant
    for i = 1:length(In)
        % Section minimale (régime permanent)
        S_min = In(i) / delta;
        % Section minimale (court-circuit)
        S_cc = Icc * sqrt(t_cc) / K;
        % Section finale retenue
        sections(i) = max(S_min, S_cc);
        % Format recommandé (largeur × épaisseur)
        if In(i) <= 100
            formats{i} = '20 x 3 mm';
        elseif In(i) <= 250
            formats{i} = '30 x 5 mm';
        elseif In(i) <= 400
            formats{i} = '40 x 5 mm';
        elseif In(i) <= 630
            formats{i} = '50 x 10 mm';
        else

```

```
        formats{i} = '80 x 10 mm (ou sur mesure)';
    end
end
% Affichage des résultats
fprintf('%-10s %-12s %-15s %-15s %-20s\n', 'In (A)', 'S_min (mm²)',
'S_cc (mm²)', 'S_finale (mm²)', 'Format barre');
fprintf('-----\n');
for i = 1:length(In)
    fprintf('%-10.2f %-12.2f %-15.2f %-15.2f %-20s\n', ...
        In(i), In(i)/delta, Icc*sqrt(t_cc)/K, sections(i),
formats{i});
end
end
```