

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 سعيـدة

Université Saida Dr Tahar Moulay –

Faculté de Sciences et Technologie



MEMOIRE

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

En : Électrotechnique

Spécialité : Réseaux électriques

Par : TILIOUINE Ahmed Yacine

Sujet

**Etude de la qualité du réseau électrique de SONELGAZ : Cas du réseau
Basse Tension de Saida**

Soutenu publiquement le **22/06/2026** devant le jury composé de :

CHERIFI Djamila	Professeur	Univ. Saida	Président
AIMER Ameer Fethi	MCA	Univ. Saida	Rapporteur
AMARA Mohamed	MCA	Univ. Saida	Examineur

Année universitaire 2025/2026

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

J'adresse tout d'abord mes sincères remerciements à mon encadreur pour son accompagnement, sa patience, sa disponibilité ainsi que pour la pertinence de ses conseils. Son soutien, son expertise et ses orientations ont été essentiels à l'aboutissement de ce projet.

Je remercie également les membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en acceptant d'évaluer ce travail. Je leur suis reconnaissant pour le temps qu'ils lui ont consacré, ainsi que pour leurs remarques, leurs observations et leurs suggestions constructives, qui contribueront à enrichir et à améliorer cette étude.

Je tiens aussi à exprimer toute ma reconnaissance à ma famille pour son amour, son soutien indéfectible et ses encouragements constants, aussi bien dans les moments de réussite que dans les périodes plus difficiles. Sa confiance m'a toujours donné la force et la motivation nécessaires pour poursuivre mon parcours.

Enfin, j'adresse mes sincères remerciements à mes amis pour leur aide, leur présence, leur soutien moral et les précieux moments de partage qui ont rendu ce parcours plus agréable et plus enrichissant.

À toutes et à tous, je témoigne ma profonde reconnaissance.

Dédicace

Je dédie ce travail à ma famille, en reconnaissance de leur soutien indéfectible, de leurs sacrifices constants et de la confiance qu'ils m'ont toujours accordée tout au long de mon parcours académique.

À mes parents, pour leur engagement continu dans ma réussite et pour les valeurs qu'ils m'ont transmises.

À mes amis, pour leur soutien moral et leur présence bienveillante durant cette période de travail.

À toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce mémoire.

Liste des Figure

FIG. 2.1 :	Schéma unifilaire BT étudié.....	24
FIG 3.1 :	Plan du réseau BT étudié actuel.....	43
FIG 3.2 :	Schéma unifilaire du réseau BT étudié.....	44
FIG 3.3 :	Plan du réseau BT étudié après la solution.....	47
FIG 3.4 :	Schéma unifilaire du réseau BT étudié après la solution.....	48

Liste des Table

Tabl III.1 : Formules de calcul de la chute de tension (monophasé et triphasé)	37
Tabl III.2 : Caractéristiques électriques des conducteurs nus BT	38
Tabl III.3 : Caractéristiques électriques des conducteurs isolés BT	39
Tabl III.4 : État actuel et caractéristiques du poste DP 2603	42
Tabl III.5 : 1 ^{ère} mesure programmée – courants de phase et courant neutre (21/11/2025)	45
Tabl III.6 : 2 ^{ème} mesure programmée – courants de phase et courant neutre (06/05/2026)	45
Tabl III.7 : Chute de tension par départ – état actuel (années 2025 et 2030)	45
Tabl III.8 : Charge transitant le câble par départ – état actuel (années 2025 et 2030)..	45
Tabl III.9 : État et caractéristiques du poste DP 2603 après solution	46
Tabl III.10 : Chute de tension par départ après solution (années 2025 et 2030)	46
Tabl III.11 : Charge transitant le câble par départ après solution (années 2025 et 2030)	46
Tabl III.12 : Longueur des départs après solution	47

Résumé

Ce travail porte sur l'étude de la qualité de l'énergie électrique dans les réseaux de distribution basse tension, en se basant sur le réseau SONELGAZ de la ville de Saïda. L'objectif principal est de présenter le fonctionnement du réseau électrique depuis les étapes de production, transport et distribution, en mettant l'accent sur le réseau basse tension qui constitue la dernière étape et influence directement la qualité de service.

L'étude présente les principaux composants du réseau BT, notamment les transformateurs HTA/BT, les lignes électriques et l'ensemble du réseau BT. Elle décrit également les différents types de réseaux (radial, bouclé et maillé) ainsi que les principaux indicateurs de qualité de l'énergie tels que la chute de tension, la stabilité de la tension, la fréquence, les harmoniques et les coupures.

La partie analytique vise à évaluer le comportement du réseau à travers le calcul du courant et des chutes de tension. Les résultats montrent que la qualité de l'énergie dépend fortement de la structure du réseau, de la nature des charges et des conditions d'exploitation. L'amélioration de la performance du réseau BT nécessite une bonne conception, une maintenance efficace et une gestion optimale des charges.

Mots-clés : Réseau électrique, réseau de distribution basse tension (BT), qualité de l'énergie électrique, chute de tension, SONELGAZ, transformateur HTA/BT.

ملخص

يركز هذا العمل على دراسة جودة الطاقة الكهربائية في شبكات التوزيع ذات الجهد المنخفض، بالاعتماد على شبكة سونلغاز لمدينة سعيدة. الهدف الرئيسي هو عرض كيفية عمل الشبكة الكهربائية منذ مراحل الإنتاج والنقل والتوزيع، مع التركيز على شبكة الجهد المنخفض التي تمثل المرحلة الأخيرة والتي تؤثر مباشرة على جودة الخدمة.

تتضمن الدراسة المكونات الرئيسية لشبكة الجهد المنخفض، بما في ذلك محولات الجهد العالي/الجهد المنخفض، والخطوط الكهربائية ومجمل شبكة الجهد المنخفض. كما تصف أنواع الشبكات المختلفة (الشبكة الشعاعية، الحلقية، والمتشعبة) بالإضافة إلى أهم مؤشرات جودة الطاقة الكهربائية مثل هبوط الجهد، استقرار الجهد، التردد، التوافقيات والانقطاعات.

تهدف الدراسة التحليلية إلى تقييم سلوك الشبكة من خلال حساب التيار وهبوط الجهد. وتبين النتائج أن جودة الطاقة تعتمد بشكل كبير على بنية الشبكة، وطبيعة الأحمال، وظروف التشغيل. ويتطلب تحسين أداء شبكة الجهد المنخفض تصميمًا جيدًا، وصيانة فعالة، وإدارة مثلى للأحمال.

الكلمات المفتاحية: الشبكة الكهربائية، شبكة التوزيع ذات الجهد المنخفض (BT)، جودة الطاقة الكهربائية، هبوط الجهد، سونلغاز، محول الجهد العالي/الجهد المنخفض.

Abstract

This work focuses on the study of electrical power quality in low-voltage distribution networks, based on the SONEGGAZ network in the city of Saïda. The main objective is to present the operation of the electrical network from generation, transmission and distribution stages, with emphasis on the low-voltage network which represents the final stage and directly affects service quality.

The study includes the main components of the low-voltage network, including HV/LV transformers, electrical lines and the entire low-voltage network. It also describes different types of networks (radial, loop and meshed) as well as the main electrical power quality indicators such as voltage drop, voltage stability, frequency, harmonics and outages.

The analytical study aims to evaluate the network behavior through current calculation and voltage drop. The results show that power quality strongly depends on the network structure, load nature and operating conditions. Improving the performance of the low-voltage network requires good design, effective maintenance and optimal load management.

Keywords: electrical network, low-voltage distribution network (BT), electrical power quality, voltage drop, SONEGGAZ, HV/LV transformer.

Table des matières

Introduction générale	1
Chapitre 01 Généralités sur le réseau électrique et le réseau BT	3
1. Introduction	3
2. Structure générale du système électrique	3
2.1. La production de l'énergie électrique	3
2.2. Types de centrales thermiques	4
2.3. Le transport de l'énergie électrique	4
2.4. La répartition de l'énergie	5
2.5. La distribution de l'énergie électrique	7
3. Le réseau de distribution basse tension (BT)	8
3.1. Définition du réseau BT	8
3.2. Constitution du réseau BT	9
3.3. Les types de réseaux BT	10
4. Notions sur la qualité de l'énergie électrique	11
4.1. Définition de la qualité de l'énergie	11
4.2. Les paramètres de qualité de l'énergie	11
4.3. Facteurs influençant la qualité du réseau BT	13
5. Conclusion	14
Chapitre 02 Étude de la qualité du réseau basse tension (BT)	15
1. Introduction	16
2. Présentation du réseau étudié	16
2.1. Description du réseau BT choisi	16
2.2. Caractéristiques techniques du réseau	18
3. Modélisation du réseau électrique	23
3.1. Schéma unifilaire du réseau	23
3.2. Hypothèses de calcul	24
4. Calcul des paramètres électriques du réseau	28
4.1. Calcul du courant dans les lignes	28
4.2. Calcul de la chute de tension	29
4.3. Vérification de la norme de chute de tension	31
4.4. Calcul des pertes par effet Joule	32
5. Conclusion	34
Chapitre 03 Calcul de la chute de tension	34
1. Introduction	36
2. La chute de tension dans le réseau BT	36
2.1. Définition et causes	36
2.2. Caractéristiques du réseau et indicateurs de performance	37
2.3. Caractéristiques électriques des conducteurs	38
3.1. Taux d'utilisation	39

3.2. Taux de déséquilibre	40
3.3. Formule de calcul du taux de déséquilibre	40
4. Historique du poste DP 2603 JARDIN 20 AOÛT	41
4.1. État actuel et caractéristiques du poste	42
4.2. Charge au niveau du transformateur	42
4.3. Répartition de charge et chute de tension (état actuel).....	45
4.4. Solution proposée	46
5. Conclusion	49
Conclusion générale	51
Références bibliographiques.....	53
ANNEXE.....	

Introduction

Générale

Introduction Générale

L'énergie électrique constitue aujourd'hui l'un des piliers fondamentaux du développement économique, industriel et social. Elle joue un rôle central dans le fonctionnement des infrastructures modernes, des activités industrielles, des services publics ainsi que dans le confort des usagers domestiques. Avec l'évolution technologique et l'augmentation continue de la demande énergétique, la qualité de l'alimentation électrique est devenue un enjeu majeur pour les gestionnaires des réseaux électriques.

Le système électrique est organisé en plusieurs étapes successives, allant de la production de l'énergie électrique, à son transport sur de longues distances, puis à sa répartition et enfin à sa distribution vers les consommateurs finaux. Parmi ces différentes étapes, le réseau de distribution basse tension (BT) représente la dernière interface entre le système électrique et l'utilisateur final. Il constitue ainsi la partie la plus sensible du réseau, car il est directement soumis aux variations de charge, aux perturbations électriques et aux défauts d'exploitation.

Dans ce contexte, la qualité de l'énergie électrique dans les réseaux BT est devenue une préoccupation essentielle pour les opérateurs du système électrique, notamment SONELGAZ, qui assure la gestion et la distribution de l'électricité en Algérie. En effet, toute dégradation de la qualité de l'énergie peut entraîner des conséquences importantes telles que les chutes de tension, les coupures d'alimentation, les pertes énergétiques ou encore le dysfonctionnement des équipements électriques.

L'objectif de ce travail est d'étudier et d'analyser la qualité du réseau électrique basse tension dans le cas du réseau de SONELGAZ à Saïda. Cette étude vise à évaluer les principaux paramètres influençant le fonctionnement du réseau, notamment la chute de tension et le comportement des charges électriques. À travers cette analyse, nous cherchons à mieux comprendre les limites du réseau étudié et à identifier les facteurs responsables de la dégradation de la qualité de l'énergie électrique.

Dans ce contexte, nous avons choisi d'étudier le réseau BT issu du poste HTA/BT n°2603 à côté du Jardin public 20 Août. En effet, cette localité située au centre ville de Saida connaît en ce moment une augmentation significative de charge et activité commerciale grandissante nécessitant une intervention urgente afin de résoudre le problème de chute de tension dans ce réseau.

CHAPITRE I :

Généralités sur le réseau électrique et le réseau BT

Introduction

L'énergie électrique occupe une place essentielle dans le développement économique, industriel et social des pays. Elle est indispensable au fonctionnement des différentes activités humaines et repose sur un système structuré qui comprend principalement trois étapes : la production, le transport et la distribution. Chaque étape joue un rôle spécifique dans l'acheminement de l'énergie depuis les centrales de production jusqu'aux consommateurs finaux.

Dans ce contexte, le réseau basse tension (BT) représente la dernière étape du système électrique et assure la fourniture directe de l'énergie aux usagers. Il est donc directement lié à la qualité de l'alimentation électrique. Toute perturbation ou dysfonctionnement au niveau de ce réseau peut affecter la continuité du service et le bon fonctionnement des équipements. Ainsi, l'étude de la qualité du réseau BT constitue un enjeu important permettant d'évaluer la performance du réseau et d'identifier les différents facteurs influençant sa stabilité.

2. Structure générale du système électrique

2.1. La production de l'énergie électrique

2.1.1 Définition de la production

La production de l'énergie électrique correspond à l'ensemble des procédés permettant de transformer une énergie primaire (chimique, thermique, hydraulique, nucléaire ou renouvelable) en énergie électrique. Cette transformation s'effectue dans les centrales électriques, qui constituent le point de départ du système électrique. L'électricité produite est ensuite acheminée vers le réseau de transport afin d'être distribuée aux consommateurs.

Selon Chapman (2011), la production d'énergie électrique représente le processus fondamental de conversion d'énergie mécanique ou thermique en énergie électrique à travers des machines électriques telles que les alternateurs.

2.1.2 Niveaux de tension à la sortie des centrales

À la sortie des centrales électriques, la tension produite est généralement comprise entre 11 Kv et 20 Kv. Cette tension est ensuite élevée par des transformateurs élévateurs afin de permettre un transport efficace en haute et très haute tension, réduisant ainsi les pertes par effet Joule sur les longues distances.

D'après Kothari & Nagrath (2019), l'élévation de la tension est une étape essentielle pour optimiser le transport de l'énergie électrique et améliorer l'efficacité globale du système électrique.

2.2. Types de centrales thermiques

Les centrales thermiques utilisent la chaleur issue de la combustion de combustibles fossiles ou gazeux pour produire de l'électricité. Elles sont parmi les sources les plus utilisées dans les systèmes électriques modernes.

Centrale à gaz : La centrale à gaz fonctionne grâce à la combustion du gaz naturel dans une turbine à combustion. Les gaz chauds entraînent une turbine couplée à un alternateur, produisant ainsi de l'électricité. Ce type de centrale est apprécié pour sa rapidité de démarrage et sa flexibilité.

Centrale à vapeur : La centrale à vapeur utilise la combustion de combustibles (charbon, fioul ou gaz) pour chauffer de l'eau et produire de la vapeur sous pression. Cette vapeur entraîne une turbine reliée à un alternateur. Elle est caractérisée par une production stable mais une consommation élevée en combustible.

Centrale à cycle combiné : La centrale à cycle combiné combine deux cycles de production : une turbine à gaz et une turbine à vapeur. La chaleur des gaz d'échappement est récupérée pour produire de la vapeur, ce qui améliore considérablement le rendement global.

Selon **Boyle (2017)**, les centrales à cycle combiné représentent l'une des technologies les plus efficaces, avec des rendements pouvant dépasser 55 à 60 %.

2.3. Le transport de l'énergie électrique

2.3.1 Définition du transport

Le transport de l'énergie électrique désigne l'ensemble des infrastructures et des opérations permettant d'acheminer l'énergie produite dans les centrales vers les centres de consommation, via des lignes à haute et très haute tension. Cette étape constitue un élément central du système électrique, assurant la liaison entre la production et la distribution.

Selon **Hadi Saadat**, le réseau de transport est un système interconnecté permettant le transfert de grandes puissances électriques sur de longues distances tout en assurant la stabilité du réseau électrique (Saadat, 2011).

2.3.2 Rôle du transport de l'énergie électrique

Le transport de l'énergie électrique joue plusieurs rôles fondamentaux :

- **Transport sur de longues distances** entre les centrales souvent éloignées des zones urbaines et industrielles.
- **Réduction des pertes électriques** grâce à l'utilisation de tensions élevées, ce qui diminue l'intensité du courant et donc les pertes par effet Joule.
- **Fiabilité et interconnexion du réseau**, permettant l'échange d'énergie entre régions et la stabilité du système électrique.

D'après **Stephen J. Chapman**, l'utilisation de tensions élevées dans le transport est essentielle pour améliorer l'efficacité globale des systèmes électriques et réduire les pertes techniques (Chapman, 2012).

2.3.3 Niveaux de tension utilisés

Le transport de l'énergie électrique s'effectue principalement à des niveaux de tension élevés afin d'assurer une transmission efficace et sécurisée.

- **220 Kv** : Le niveau **220 Kv** est utilisé dans les réseaux de transport régionaux et nationaux. Il permet d'acheminer des puissances importantes sur des distances moyennes avec des pertes réduites.
- **400 Kv** : Le niveau **400 Kv** appartient aux réseaux de très haute tension (HTB). Il est utilisé pour les grandes distances et les interconnexions entre systèmes électriques, garantissant une efficacité maximale et une réduction importante des pertes.

Selon Pabla, les réseaux à très haute tension comme 400 Kv sont indispensables pour le transport économique et efficace de grandes quantités d'énergie électrique sur de longues distances (Pabla, 2011).

2.4. La répartition de l'énergie

2.4.1 Définition de la répartition

La répartition de l'énergie électrique constitue une étape intermédiaire du système électrique située entre le transport à très haute tension et la distribution en moyenne tension. Elle a pour objectif principal d'acheminer l'énergie électrique depuis

les réseaux de transport vers les réseaux régionaux tout en adaptant progressivement les niveaux de tension et en assurant une meilleure gestion des flux énergétiques.

Selon Hingorani & Gyugyi (2000), la répartition dans les systèmes électriques modernes correspond à une fonction essentielle de contrôle et d'acheminement de la puissance, permettant d'assurer une alimentation fiable et stable des zones de consommation.

2.4.2 Rôle de la répartition dans l'acheminement vers les zones de consommation

La phase de répartition joue un rôle stratégique dans l'organisation du réseau électrique, notamment à travers :

- **L'alimentation des réseaux régionaux** à partir des lignes de transport à haute tension.
- **La gestion des flux de puissance** en fonction de la demande des centres de consommation.
- **La réduction progressive des niveaux de tension** avant la distribution finale.
- **Le renforcement de la stabilité du système électrique**, en assurant l'équilibre entre production et consommation.

D'après **Wood, Wollenberg & Sheble (2014)**, la répartition constitue une étape clé dans l'exploitation des systèmes électriques, car elle permet d'optimiser la circulation de l'énergie et de garantir la sécurité du réseau.

2.4.3 Niveau de tension : 60 Kv

Le niveau de tension utilisé dans la phase de répartition est généralement autour de **60 Kv**, considéré comme un niveau intermédiaire entre la haute tension de transport HTB (220 Kv – 400 Kv) et la moyenne tension de distribution HTA (30 Kv – 10 Kv).

Ce niveau permet :

- Une transition progressive de la haute tension vers la moyenne tension,
- Une réduction des pertes électriques,
- Une meilleure adaptation aux réseaux régionaux de distribution.

Selon Grainger & Stevenson (1994), l'utilisation de niveaux intermédiaires de tension dans les réseaux électriques permet d'améliorer la performance globale du système et de faciliter la gestion des flux de puissance.

2.5. La distribution de l'énergie électrique

2.5.1 Définition de la distribution

La distribution de l'énergie électrique constitue la dernière étape du système électrique avant l'alimentation des consommateurs finaux. Elle consiste à acheminer l'énergie électrique depuis les postes de répartition et de transformation vers les utilisateurs (résidentiels, industriels et tertiaires), tout en adaptant les niveaux de tension à des valeurs compatibles avec les équipements électriques.

Selon S. Sivanagaraju et V. Satyanarayana (2012), la distribution électrique représente un réseau complexe qui assure la livraison fiable et sécurisée de l'énergie aux consommateurs finaux, tout en garantissant la continuité du service et la qualité de l'alimentation.

2.5.2 Moyenne tension (HTA)

La moyenne tension (HTA) est une étape intermédiaire entre la haute tension et la basse tension. Elle est utilisée pour transporter et répartir l'énergie électrique sur des distances moyennes, notamment dans les zones urbaines et industrielles.

Les niveaux de tension généralement utilisés en HTA sont :

- **30 Kv**
- **10 Kv**

Ces niveaux permettent de réduire progressivement la tension avant la transformation vers la basse tension.

D'après J. Arrillaga et N. R. Watson (2003), les réseaux de moyenne tension jouent un rôle essentiel dans la distribution régionale de l'énergie électrique et permettent une meilleure gestion des charges électriques.

Basse tension (BT)

La basse tension (BT) correspond au dernier niveau de tension du système électrique, directement utilisé par les consommateurs.

Les niveaux de tension standards en BT sont :

- **230 V** (monophasé, usage domestique)
- **400 V** (triphasé, usage industriel léger et résidentiel collectif)

Ce niveau de tension est obtenu par l'intermédiaire de transformateurs MT/BT situés dans les postes de distribution.

Selon B. M. Weedy et al. (2012), la basse tension constitue la partie la plus sensible du réseau électrique, car elle est directement liée à la qualité de l'alimentation fournie aux usagers finaux.

3. Le réseau de distribution basse tension (BT)

3.1. Définition du réseau BT

Le réseau de distribution basse tension (BT) constitue la dernière étape du système électrique, assurant l'acheminement de l'énergie électrique depuis les postes de transformation jusqu'aux consommateurs finaux. Il représente la partie la plus proche de l'utilisateur et joue un rôle essentiel dans la continuité et la qualité de l'alimentation électrique.

La basse tension est définie comme un niveau de tension inférieur ou égal à 1 Kv selon les normes internationales de sécurité électrique. Dans les réseaux de distribution, elle est généralement fixée à 230 V pour les systèmes monophasés et 400 V pour les systèmes triphasés, ce qui permet d'alimenter efficacement les équipements domestiques et industriels de faible puissance.

Selon Omar (2013), le réseau BT constitue l'interface directe entre le système électrique et l'utilisateur final, et sa performance influence directement la qualité de service fournie aux consommateurs (Omar, 2013, p. 214).

3.1.1 Domaine d'utilisation

Le réseau BT est utilisé dans plusieurs secteurs :

- **Résidentiel** : alimentation des habitations (éclairage, électroménager, climatisation)
- **Tertiaire** : bureaux, administrations, commerces
- **Petite industrie** : machines de faible puissance et équipements légers

D'après Turkson & Wohlgemuth (2001), les réseaux de basse tension sont essentiels pour assurer l'accès universel à l'électricité, notamment dans les zones urbaines densément peuplées.

3.2. Constitution du réseau BT

Le réseau de distribution basse tension est constitué de plusieurs éléments techniques assurant la transformation, le transport, la protection et la mesure de l'énergie électrique.

3.2.1 Transformateurs HTA/BT

Les transformateurs HTA/BT assurent la conversion de la moyenne tension (10–30 Kv) vers la basse tension (230/400 V). Ils sont généralement installés dans des postes de distribution proches des zones de consommation.

Selon Gonen (2014), les transformateurs de distribution jouent un rôle crucial dans la stabilité du réseau BT en assurant une adaptation correcte des niveaux de tension aux besoins des utilisateurs.

3.2.2 Lignes électriques BT

Les lignes BT assurent le transport de l'énergie électrique depuis les transformateurs jusqu'aux consommateurs finaux. Elles peuvent être :

- **Aériennes**, généralement utilisées en zones rurales
- **Souterraines**, utilisées en zones urbaines pour des raisons de sécurité et d'esthétique

Selon Hadi Saadat (2011), la conception des lignes de distribution BT doit prendre en compte les pertes, la chute de tension et la sécurité des installations.

3.2.3 Dispositifs de protection

Les dispositifs de protection assurent la sécurité des personnes et des équipements électriques :

- **Disjoncteurs** : protection contre les surcharges et courts-circuits
- **Fusibles** : protection rapide contre les défauts électriques
- **Relais de protection** : surveillance et déclenchement automatique en cas d'anomalie

D'après Pabla (2011), les systèmes de protection en basse tension sont indispensables pour limiter les risques électriques et assurer la continuité du service.

3.2.4 Appareils de comptage

Les compteurs électriques permettent de mesurer la consommation d'énergie des utilisateurs. Ils sont essentiels pour la facturation et la gestion de la consommation énergétique.

Selon Masters (2013), les systèmes de comptage modernes jouent un rôle important dans la gestion intelligente des réseaux électriques et l'optimisation de la consommation.

3.3. Les types de réseaux BT

Les réseaux de distribution basse tension peuvent être classés selon leur structure d'alimentation.

3.3.1 Réseau radial

Le réseau radial est un système dans lequel chaque consommateur est alimenté par une seule source. Il est simple, économique et facile à exploiter, mais présente une faible continuité de service en cas de défaut.

Selon Weedy et al. (2012), le réseau radial est largement utilisé en raison de sa simplicité de conception, malgré sa faible fiabilité.

3.3.2 Réseau bouclé

Le réseau bouclé permet une alimentation des consommateurs par deux chemins différents, formant une boucle fermée. Ce type de réseau améliore la continuité de service en cas de défaut sur une ligne.

3.3.3 Réseau maillé

Le réseau maillé est constitué de plusieurs interconnexions entre les lignes électriques. Il offre une grande fiabilité et une flexibilité élevée, mais il est plus complexe et coûteux à exploiter.

D'après Grainger & Stevenson (1994), les réseaux maillés sont utilisés dans les zones où la continuité de service est critique, notamment dans les grandes agglomérations.

4. Notions sur la qualité de l'énergie électrique

4.1. Définition de la qualité de l'énergie

La qualité de l'énergie électrique (Power Quality) désigne l'ensemble des caractéristiques de la tension, du courant et de la fréquence permettant d'assurer le bon fonctionnement des équipements électriques sans perturbations ni interruptions. Elle reflète la capacité du réseau électrique à fournir une énergie stable, continue et conforme aux normes techniques.

Le concept de qualité de l'énergie est apparu avec l'évolution des systèmes électriques modernes, notamment en raison de la sensibilité croissante des équipements électroniques aux variations de tension et aux perturbations du réseau. Une mauvaise qualité de l'énergie peut entraîner des dysfonctionnements, des arrêts de production et une réduction de la durée de vie des équipements.

Selon Bollen (2000), la qualité de l'énergie est définie comme "l'ensemble des phénomènes qui perturbent la tension ou le courant et qui provoquent un mauvais fonctionnement des équipements électriques" (Bollen, 2000, p. 3).

4.1.1 Importance pour les usagers

La qualité de l'énergie est essentielle pour tous les types de consommateurs :

- Dans le **secteur résidentiel**, elle garantit le bon fonctionnement des appareils domestiques.
- Dans le **secteur industriel**, elle évite les arrêts de production et les pertes économiques.
- Dans le **secteur tertiaire**, elle assure la continuité des services (hôpitaux, administrations, banques).

D'après Dugan et al. (2003), une mauvaise qualité de l'énergie peut entraîner des pertes financières importantes et des dysfonctionnements critiques dans les systèmes sensibles.

4.2. Les paramètres de qualité de l'énergie

La qualité de l'énergie est évaluée à travers plusieurs paramètres fondamentaux qui permettent de caractériser la stabilité et la performance du réseau électrique.

4.2.1 Tension (stabilité et variations)

La tension doit rester dans des limites acceptables autour de sa valeur nominale (230 V ou 400 V en BT). Les variations peuvent être sous forme de :

- **Chutes de tension (sags)**
- **Surtensions (swells)**
- **Fluctuations permanentes**

Ces variations peuvent provoquer des dysfonctionnements des équipements électriques sensibles.

Selon IEEE Std 1159 (2019), les variations de tension sont parmi les perturbations les plus fréquentes dans les réseaux de distribution.

4.2.2 Fréquence : La fréquence du réseau électrique doit être stable (50 Hz dans la majorité des pays). Toute variation de fréquence indique un déséquilibre entre la production et la consommation d'énergie.

Selon Kundur (1994), la stabilité de fréquence est un indicateur essentiel de l'équilibre global du système électrique.

4.2.3 Harmoniques : Les harmoniques sont des déformations de la forme sinusoïdale de la tension ou du courant causées par les charges non linéaires (variateurs de vitesse, équipements électroniques).

Elles peuvent entraîner :

- Échauffement des équipements
- Pertes supplémentaires
- Dysfonctionnement des protections

D'après Arrillaga & Watson (2003), les harmoniques représentent un problème majeur dans les réseaux modernes en raison de l'augmentation des charges électroniques.

4.2.4 Coupures et perturbations

Les coupures de courant peuvent être :

- **Planifiées** (maintenance)
- **Non planifiées** (pannes, défauts)

Elles affectent directement la continuité de service et la qualité globale de l'alimentation.

Selon Bollen (2000), les interruptions représentent la forme la plus visible de dégradation de la qualité de l'énergie pour l'utilisateur final.

4.3. Facteurs influençant la qualité du réseau BT

La qualité de l'énergie dans les réseaux basse tension dépend de plusieurs facteurs techniques et d'exploitation.

4.3.1 Charges électriques

Les charges connectées au réseau influencent directement la qualité de l'énergie. Les charges non linéaires (ordinateurs, variateurs, éclairage LED) génèrent des harmoniques et perturbent la tension.

Selon Gonen (2014), la nature des charges électriques est l'un des principaux facteurs de dégradation de la qualité de l'énergie dans les réseaux de distribution.

4.3.2 Défauts et pannes

Les défauts électriques (courts-circuits, défauts d'isolement) provoquent des perturbations importantes sur le réseau BT, pouvant entraîner des coupures ou des chutes de tension.

4.3.3 Conditions d'exploitation

La qualité de l'énergie dépend également :

- De la configuration du réseau
- De la maintenance des équipements
- De la gestion des flux de puissance
- De la charge du réseau

D'après IEEE Std 1159 (2019), une bonne gestion d'exploitation est essentielle pour minimiser les perturbations et améliorer la qualité de l'énergie.

5. Conclusion

Ce chapitre a permis de présenter les notions fondamentales liées au système électrique, en mettant en évidence les différentes étapes allant de la production jusqu'à la distribution de l'énergie électrique. Une attention particulière a été accordée au réseau de distribution basse tension (BT), qui constitue le dernier maillon assurant l'alimentation directe des consommateurs. À travers l'analyse de sa structure, de ses composants et de ses différents types, il apparaît que le réseau BT joue un rôle déterminant dans la continuité du service électrique.

Par ailleurs, les notions relatives à la qualité de l'énergie électrique ont été abordées en détail, notamment les principaux paramètres de qualité tels que la stabilité de la tension, la fréquence, les harmoniques ainsi que les coupures et perturbations. L'étude a également mis en évidence les facteurs susceptibles d'influencer la qualité du réseau BT, ce qui permet de mieux comprendre les origines des dysfonctionnements observés. Ce chapitre constitue ainsi une base essentielle pour l'analyse plus approfondie de la qualité du réseau BT dans les chapitres suivants.

CHAPITRE II :

Étude de la qualité du réseau basse tension (BT)

Introduction

Dans les réseaux électriques de distribution, la qualité de l'énergie constitue un enjeu majeur pour assurer la continuité et la fiabilité de l'alimentation des consommateurs. Le réseau basse tension (BT), en tant que dernière étape du système électrique, est particulièrement sensible aux variations de tension, aux pertes d'énergie et aux perturbations liées aux charges électriques.

Ce chapitre a pour objectif d'étudier la qualité du réseau BT à travers une approche analytique et quantitative basée sur des calculs électriques. Il s'agit notamment d'évaluer les principaux paramètres influençant le fonctionnement du réseau, tels que le courant dans les lignes, la chute de tension ainsi que les pertes par effet Joule.

À travers cette étude, nous cherchons à analyser le comportement du réseau BT face aux différentes contraintes d'exploitation, afin d'identifier les éventuelles dégradations de la qualité de l'énergie et d'évaluer la performance globale du réseau étudié.

2. Présentation du réseau étudié

Dans cette partie, le réseau basse tension (BT) étudié est présenté à travers sa structure générale et ses caractéristiques techniques. Cette étape constitue une base essentielle pour la modélisation du réseau et la réalisation des différents calculs électriques relatifs à la chute de tension, aux courants de ligne et aux pertes d'énergie.

En effet, la définition précise du type de réseau, de sa localisation, ainsi que de ses paramètres techniques permet d'assurer une analyse cohérente et représentative du comportement réel d'un réseau de distribution BT. Ces données seront utilisées directement dans les calculs et l'évaluation de la qualité de l'énergie électrique dans la suite du chapitre.

2.1. Description du réseau BT choisi

2.1.1 Type de réseau (radial / bouclé simplifié)

Dans les réseaux de distribution basse tension (BT), la structure la plus utilisée dans les études techniques et académiques est le **réseau radial**, en raison de sa simplicité de conception, de son coût réduit et de sa facilité d'exploitation. Dans ce type de configuration, chaque départ alimente les consommateurs selon un seul chemin

électrique, ce qui implique qu'un défaut sur une ligne entraîne l'interruption de l'alimentation des charges situées en aval.

À l'inverse, le **réseau bouclé simplifié** permet une amélioration de la continuité de service grâce à la présence de deux chemins d'alimentation possibles. Cette configuration offre une meilleure fiabilité du système, car l'alimentation peut être rétablie par un autre chemin en cas de défaut sur une portion du réseau, mais elle reste plus complexe à exploiter et à protéger.

Dans le cadre de cette étude, le réseau considéré est de type **radial simplifié**, car il permet une modélisation plus directe des grandeurs électriques (courant, chute de tension et pertes), ce qui est particulièrement adapté aux objectifs de calcul et d'analyse de la qualité de l'énergie électrique.

Selon **Gonen (2014)**, les réseaux radiaux sont largement utilisés dans les systèmes de distribution basse tension en raison de leur simplicité et de leur efficacité économique, malgré une continuité de service limitée par rapport aux réseaux bouclés.

2.1.2 Localisation (réseau fictif ou réel)

Dans le cadre de cette étude, le réseau basse tension (BT) analysé est considéré comme un **réseau fictif représentatif** d'un réseau réel de distribution électrique. Ce choix méthodologique est couramment adopté dans les travaux académiques afin de faciliter la modélisation et les calculs électriques, tout en conservant un comportement proche des réseaux existants.

L'utilisation d'un réseau fictif permet de définir librement les paramètres techniques nécessaires à l'étude (puissance du transformateur, longueurs des lignes, sections des conducteurs et types de charges), sans être limitée par la disponibilité ou la confidentialité des données des réseaux réels exploités par les opérateurs électriques. Les valeurs choisies sont ainsi fixées de manière réaliste afin de garantir la cohérence des résultats obtenus.

Ce type de modélisation est largement utilisé dans l'analyse des réseaux de distribution, notamment pour l'étude des chutes de tension, des pertes énergétiques et de la qualité de l'énergie électrique.

Selon **Wood et Wollenberg (2012)**, l'utilisation de modèles fictifs dans l'analyse des réseaux électriques permet de reproduire de manière fiable le comportement des systèmes réels tout en simplifiant les études de calcul et

d'optimisation. De plus, **Grainger et Stevenson (1994)** soulignent que la modélisation simplifiée des réseaux de distribution est essentielle pour l'évaluation des performances électriques et l'analyse des conditions d'exploitation.

2.1.3 Structure générale

Le réseau basse tension (BT) étudié est organisé selon une structure simplifiée, représentative des réseaux de distribution électrique utilisés en pratique. Il est alimenté à partir d'un transformateur HTA/BT qui assure l'abaissement de la tension de 10-30 KV vers 400/230 V, permettant ainsi l'alimentation directe des consommateurs finaux.

À partir du poste de transformation, l'énergie électrique est distribuée vers différentes branches du réseau BT à travers des lignes principales et secondaires. La configuration adoptée est de type radial, ce qui signifie que chaque départ alimente une zone de consommation spécifique sans interconnexion entre les différentes branches.

Cette structure permet une modélisation simple et efficace du réseau, facilitant ainsi les calculs liés au courant, à la chute de tension et aux pertes électriques. Elle est particulièrement adaptée aux études de qualité de l'énergie dans les réseaux de distribution basse tension.

Selon **Arrillaga et Watson (2003)**, la structure des réseaux de distribution joue un rôle déterminant dans la qualité de l'énergie électrique, notamment en ce qui concerne la stabilité de la tension et la réduction des perturbations. De plus, **Gonen (2014)** indique que les réseaux radiaux restent les plus utilisés en distribution BT en raison de leur simplicité de conception et de leur facilité d'exploitation.

2.2. Caractéristiques techniques du réseau

2.2.1 Puissance du transformateur HTA/BT

La puissance du transformateur HTA/BT constitue un paramètre fondamental dans l'étude et la conception des réseaux de distribution basse tension (BT), car elle détermine la capacité maximale d'alimentation du réseau. Elle est exprimée en Kva et représente la quantité de puissance apparente que le transformateur peut fournir sans dépasser ses limites de fonctionnement thermique et électrique.

Dans les réseaux de distribution, le choix de la puissance du transformateur dépend principalement de la charge installée, du facteur de simultanéité des consommateurs ainsi que des prévisions d'évolution de la demande. Un

dimensionnement correct permet d'assurer une alimentation stable et continue, tout en évitant les surcharges susceptibles de provoquer des chutes de tension importantes et une dégradation de la qualité de l'énergie électrique.

Selon **Turkson et Wohlgemuth (2001)**, un bon dimensionnement des transformateurs de distribution est essentiel pour garantir la fiabilité des réseaux électriques, en particulier dans les zones à forte densité de charge. De même, **Omar (2013)** souligne que la puissance du transformateur influence directement la qualité de l'alimentation électrique et la stabilité de la tension dans les réseaux basse tension.

Dans le cadre de cette étude, la puissance du transformateur HTA/BT constitue la base de calcul pour la détermination du courant dans les lignes, ainsi que pour l'évaluation des pertes et des chutes de tension dans le réseau étudié.

2.2.2 Tension nominale (400/230 V)

La tension nominale dans les réseaux basse tension (BT) correspond aux valeurs standards de fonctionnement utilisées pour l'alimentation des consommateurs finaux. Elle est fixée à **400 V en triphasé** et **230 V en monophasé**, conformément aux normes de distribution électrique largement adoptées au niveau international.

Dans un réseau BT, la tension 400 V est principalement destinée à l'alimentation des charges triphasées telles que les moteurs électriques et certains équipements industriels légers, tandis que la tension 230 V est utilisée pour les applications domestiques et les charges monophasées. Cette normalisation permet d'assurer la compatibilité des équipements électriques et la sécurité des installations.

D'un point de vue technique, la tension nominale constitue une donnée essentielle dans les calculs électriques, notamment pour la détermination du courant de ligne, de la puissance électrique et de la chute de tension. Toute variation de cette tension peut avoir un impact direct sur la qualité de l'énergie et le bon fonctionnement des équipements.

Selon **Bollen (2000)**, la stabilité de la tension est un indicateur majeur de la qualité de l'énergie électrique, car les équipements sensibles nécessitent une alimentation dans une plage de tension bien définie. De plus, **Dugan et al. (2003)** soulignent que les variations de tension dans les réseaux de distribution peuvent entraîner des dysfonctionnements, des pertes de performance et une réduction de la durée de vie des équipements.

Dans le cadre de cette étude, la tension nominale 400/230 V est utilisée comme référence de base pour l'ensemble des calculs liés au courant, aux pertes et aux chutes de tension dans le réseau basse tension étudié.

2.2.3 Longueur des lignes

La longueur des lignes dans un réseau basse tension (BT) constitue un paramètre déterminant dans l'évaluation des performances électriques du réseau, car elle influence directement la résistance des conducteurs, les chutes de tension ainsi que les pertes par effet Joule. Elle correspond à la distance séparant le poste de transformation HTA/BT des différents points de consommation.

Plus la longueur des lignes est importante, plus l'impédance totale du réseau augmente, ce qui entraîne une diminution du niveau de tension au niveau des charges et une augmentation des pertes énergétiques. Ce phénomène est particulièrement marqué dans les réseaux radiaux, où les consommateurs situés en fin de ligne sont les plus affectés par les chutes de tension.

Dans les études de distribution, la longueur des lignes est donc un paramètre critique pris en compte dès la phase de conception afin de respecter les limites normatives de chute de tension, généralement fixées à environ 5 % en basse tension. Elle intervient également dans le choix des sections des conducteurs afin d'optimiser le compromis entre coût et performance électrique.

Selon **Grainger et Stevenson (1994)**, la longueur des lignes joue un rôle essentiel dans l'analyse des réseaux de distribution, car elle influence directement la résistance électrique et les pertes techniques du système. De plus, **Gonen (2014)** souligne que la maîtrise des distances dans les réseaux BT est indispensable pour garantir une bonne régulation de tension et une alimentation fiable des consommateurs.

Dans le cadre de cette étude, la longueur des lignes est utilisée comme donnée de base pour le calcul de la chute de tension et l'estimation des pertes, ce qui permet d'évaluer la qualité de l'énergie électrique dans le réseau basse tension étudié.

2.2.4 Sections des conducteurs

La section des conducteurs représente un paramètre essentiel dans la conception et l'exploitation des réseaux basse tension (BT), car elle détermine la capacité de transport du courant électrique ainsi que le niveau des pertes et des chutes de tension dans les lignes. Elle est exprimée en mm^2 et dépend principalement du courant à transporter, de la longueur des lignes et des contraintes thermiques admissibles.

Dans les réseaux de distribution, le choix de la section des conducteurs repose sur un compromis technico-économique entre le coût d'installation et la performance électrique du réseau. Une section insuffisante entraîne une augmentation de la résistance électrique, ce qui provoque des pertes par effet Joule plus élevées ainsi qu'une dégradation de la qualité de la tension. À l'inverse, une section trop importante augmente le coût sans amélioration significative des performances dans certains cas.

En pratique, les sections utilisées dans les réseaux BT sont normalisées et varient généralement selon le type de réseau (aérien ou souterrain) et le niveau de charge, afin de garantir la sécurité et la fiabilité de l'alimentation électrique.

Selon **Gonen (2014)**, le dimensionnement des conducteurs dans les réseaux de distribution doit satisfaire à la fois les contraintes thermiques et les limites de chute de tension afin d'assurer une exploitation optimale du réseau. De plus, **Sivanagaraju et Satyanarayana (2012)** indiquent que le choix adéquat des sections de conducteurs contribue directement à la réduction des pertes techniques et à l'amélioration de la qualité de l'énergie dans les réseaux de distribution.

Dans le cadre de cette étude, la section des conducteurs est utilisée comme donnée de calcul fondamentale pour la détermination de la résistance des lignes, ce qui permet d'évaluer les pertes par effet Joule et les chutes de tension dans le réseau basse tension étudié.

2.2.5 Facteur de puissance ($\cos \varphi$)

Le facteur de puissance, noté $\cos \varphi$, est un paramètre fondamental dans l'analyse des réseaux basse tension (BT), car il permet de relier la puissance active réellement consommée par les charges à la puissance apparente fournie par le réseau. Il est défini par la relation :

Dans les réseaux de distribution BT, les charges sont souvent de nature inductive (moteurs, transformateurs, équipements électromécaniques), ce qui entraîne

un déphasage entre la tension et le courant et donc une diminution du facteur de puissance. Un $\cos \varphi$ faible implique que le réseau doit transporter un courant plus élevé pour fournir la même puissance utile, ce qui augmente les pertes et les chutes de tension.

Dans une approche appliquée, le facteur de puissance intervient directement dans le calcul du courant de ligne. Par exemple, pour une puissance active donnée, le courant est déterminé par :

On remarque donc que toute diminution du facteur de puissance entraîne une augmentation du courant, ce qui a pour conséquence directe :

- L'augmentation des pertes Joule dans les conducteurs
- L'augmentation de la chute de tension
- La surcharge des équipements du réseau BT

Dans les réseaux de distribution, le facteur de puissance est généralement maintenu dans une plage proche de 0,8 à 0,95 afin d'assurer une exploitation efficace. L'amélioration de ce paramètre est souvent réalisée par des dispositifs de compensation de puissance réactive tels que les batteries de condensateurs.

Selon **Bollen (2000)**, le facteur de puissance est un indicateur clé de la performance énergétique des réseaux électriques, car il influence directement la qualité de la tension et le niveau des pertes dans les systèmes de distribution. De plus, **Dugan et al. (2003)** soulignent que la correction du facteur de puissance permet d'améliorer significativement l'efficacité globale des réseaux électriques et de réduire les contraintes sur les équipements.

Dans le cadre de cette étude, le facteur de puissance est utilisé comme donnée de calcul essentielle pour la détermination du courant, des pertes et de la chute de tension dans le réseau basse tension étudié.

3. Modélisation du réseau électrique

Dans le cadre de l'analyse de la qualité du réseau basse tension (BT), la modélisation du réseau constitue une étape essentielle permettant de représenter de manière simplifiée son comportement électrique réel. Cette modélisation vise à faciliter les calculs relatifs aux grandeurs électriques telles que le courant, la chute de tension et les pertes d'énergie.

Elle repose sur la représentation du réseau sous forme de schéma unifilaire, ainsi que sur un ensemble d'hypothèses de calcul permettant de simplifier l'étude tout en conservant une bonne précision des résultats. Ces hypothèses concernent principalement l'état d'équilibre du réseau, la nature des charges et les conditions de fonctionnement des conducteurs.

3.1. Schéma unifilaire du réseau

Le schéma unifilaire constitue une représentation simplifiée du réseau basse tension (BT) étudié, permettant de visualiser l'organisation générale du système électrique ainsi que les différents éléments qui le composent. Il représente le réseau sous forme d'un seul conducteur symbolisant les trois phases, ce qui facilite l'analyse des flux de puissance et des paramètres électriques.

Dans cette étude, le réseau BT est représenté à partir d'un transformateur HTA/BT alimentant plusieurs départs radiaux. Chaque départ correspond à une ligne de distribution alimentant des charges électriques situées à différentes distances. Cette représentation permet de mettre en évidence la structure du réseau, les points de consommation ainsi que les longueurs des lignes utilisées dans les calculs.

Le schéma unifilaire sert de base pour l'ensemble des calculs électriques réalisés dans ce chapitre, notamment le calcul du courant, de la chute de tension et des pertes par effet Joule. Il constitue donc un outil essentiel pour l'analyse de la qualité de l'énergie électrique dans le réseau étudié.

Selon **Grainger et Stevenson (1994)**, le schéma unifilaire est un outil fondamental dans l'étude des réseaux électriques, car il permet de simplifier la représentation des systèmes triphasés tout en conservant les informations essentielles pour l'analyse et le calcul.

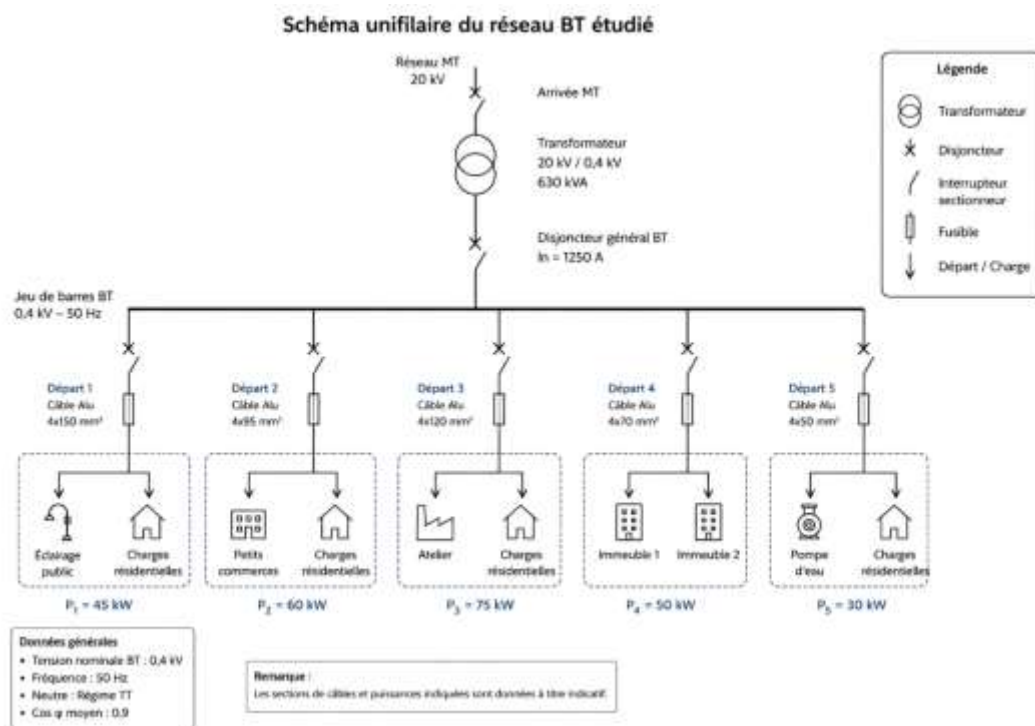


FIG. 2.1 : Schéma unifilaire BT étudié

3.2. Hypothèses de calcul

3.2.1 Réseau équilibré

Dans l'étude des réseaux basse tension (BT), l'hypothèse de **réseau équilibré** est souvent adoptée afin de simplifier les calculs électriques et de faciliter l'analyse des grandeurs telles que le courant, la puissance et la chute de tension. Un réseau est dit équilibré lorsque les trois phases présentent des charges identiques, entraînant ainsi des courants de même amplitude et déphasés de 120° entre eux.

Cette hypothèse permet de transformer l'étude d'un système triphasé complexe en une analyse par phase, ce qui réduit considérablement la complexité des calculs tout en conservant une bonne précision des résultats. Elle est particulièrement utilisée dans les études académiques et les modélisations des réseaux de distribution.

Dans un réseau équilibré, les tensions et les courants sont symétriques, ce qui implique que le neutre ne transporte théoriquement aucun courant. Cette condition est très utile pour l'évaluation des performances du réseau BT, notamment dans le calcul de la chute de tension et des pertes par effet Joule.

Selon **Kundur (1994)**, l'hypothèse de système équilibré est largement utilisée dans l'analyse des réseaux électriques triphasés, car elle permet de simplifier les

équations du système tout en conservant une représentation fidèle du comportement global du réseau. De plus, **Hadi Saadat (2011)** souligne que cette hypothèse est fondamentale dans l'étude des réseaux de puissance, car elle permet d'appliquer des modèles monophasés équivalents pour l'analyse des systèmes triphasés équilibrés.

Dans le cadre de cette étude, le réseau BT est considéré comme équilibré afin de faciliter les calculs de courant, de puissance et de chute de tension dans les différentes branches du réseau.

3.2.2 Charges constantes

Dans le cadre de l'étude des réseaux basse tension (BT), l'hypothèse de **charges constantes** est fréquemment adoptée afin de simplifier la modélisation et les calculs électriques. Elle consiste à considérer que les puissances consommées par les différents usagers (puissance active et réactive) restent constantes pendant la période d'analyse, indépendamment des variations temporelles de la demande.

Cette approximation permet de représenter le réseau par un modèle stable, facilitant ainsi le calcul du courant, de la chute de tension et des pertes dans les lignes. Elle est particulièrement utilisée dans les études statiques des réseaux électriques, où l'objectif est d'évaluer un état de fonctionnement précis du système.

En réalité, les charges électriques sont variables dans le temps en fonction des habitudes de consommation, des saisons et du type d'utilisateurs. Cependant, pour des raisons de simplicité et de faisabilité des calculs, elles sont souvent considérées comme constantes dans les études académiques et dans certaines analyses de planification.

Selon **Wood, Wollenberg et Sheble (2014)**, la modélisation des charges comme constantes constitue une hypothèse classique dans l'analyse des systèmes électriques, car elle permet de réduire la complexité des équations tout en conservant une représentation acceptable du comportement global du réseau. De plus, **Saadat (2011)** indique que cette hypothèse est largement utilisée dans les études de flux de puissance et d'analyse des réseaux, notamment pour les systèmes de distribution.

Dans le cadre de cette étude, les charges sont supposées constantes afin de faciliter les calculs des courants, des chutes de tension et des pertes dans le réseau basse tension étudié.

3.2.3 Température des conducteurs fixe

Dans l'analyse des réseaux basse tension (BT), l'hypothèse de **température des conducteurs fixe** est utilisée afin de simplifier les calculs électriques, notamment ceux liés à la résistance des lignes et aux pertes par effet Joule. Elle consiste à considérer que la température des conducteurs reste constante durant le fonctionnement du réseau, généralement à une valeur de référence (souvent 20°C ou 25°C selon les normes de calcul).

Cette hypothèse est importante car la résistance électrique des conducteurs dépend directement de la température. En effet, lorsque la température augmente, la résistance du conducteur augmente également, ce qui entraîne une hausse des pertes énergétiques et des chutes de tension. En supposant une température fixe, on considère donc une résistance constante, ce qui facilite les calculs du réseau.

Cette simplification est largement utilisée dans les études de planification et de modélisation des réseaux électriques, en particulier lorsque l'objectif est d'évaluer le comportement global du réseau sans entrer dans les variations thermiques dynamiques.

La relation entre la résistance et la température peut être exprimée par :

$$R(T)=R_0[1+\alpha(T-T_0)] \quad (2.1)$$

Où :

- ☐ R : la résistance à la température T
- ☐ R₀ : la résistance à la température de référence T₀
- ☐ α : le coefficient de température de la résistance
- ☐ T : la température actuelle
- ☐ T₀ : la température de référence (souvent 20°C)

Selon **Grainger et Stevenson (1994)**, la prise en compte d'une température fixe des conducteurs constitue une hypothèse classique dans l'analyse des réseaux électriques, car elle permet de simplifier le calcul des pertes et des chutes de tension tout en conservant une précision acceptable pour les études de distribution. De plus, **Gonen (2014)** souligne que cette approximation est largement utilisée dans le dimensionnement des réseaux BT pour faciliter l'analyse des performances électriques.

Dans le cadre de cette étude, la température des conducteurs est considérée comme constante afin de supposer une résistance fixe des lignes, ce qui permet de réaliser les calculs de chute de tension et de pertes de manière simplifiée et cohérente.

3.2.4 Négligence ou prise en compte des pertes réactives selon le cas

Dans l'analyse des réseaux basse tension (BT), une hypothèse importante concerne la **prise en compte ou la négligence des pertes réactives** selon le niveau de précision souhaité dans l'étude. En effet, la puissance réactive joue un rôle essentiel dans les réseaux électriques en courant alternatif, car elle est liée aux éléments inductifs et capacitifs présents dans le système (moteurs, transformateurs, lignes).

Dans les études simplifiées, notamment en phase de modélisation ou de calcul préliminaire, il est parfois admis de négliger les pertes réactives afin de faciliter les calculs de puissance et de chute de tension. Cette simplification permet de travailler principalement avec la puissance active, ce qui réduit la complexité des équations.

Cependant, dans les études plus précises, la puissance réactive doit être prise en compte, car elle influence directement le courant total circulant dans les lignes et donc les pertes et la chute de tension. La puissance apparente du réseau est alors définie par la relation suivante :

Le facteur de puissance permet également de relier les différentes puissances :

Ainsi, la puissance réactive peut être exprimée par :

La prise en compte de Q est donc essentielle lorsque l'objectif est d'analyser précisément la qualité de l'énergie électrique, notamment en ce qui concerne les pertes et la stabilité de la tension.

Selon **Dugan et al. (2003)**, la puissance réactive joue un rôle déterminant dans la qualité de l'énergie électrique, car elle influence directement les niveaux de tension et les pertes dans les réseaux de distribution. De plus, **Bollen (2000)** souligne que la négligence de la puissance réactive peut conduire à une sous-estimation des contraintes électriques dans les réseaux basse tension, notamment en conditions de forte charge.

Dans le cadre de cette étude, la prise en compte ou la négligence des pertes réactives est adaptée selon le niveau de précision requis dans les calculs, afin d'obtenir un compromis entre simplicité de modélisation et réalisme des résultats.

4. Calcul des paramètres électriques du réseau

Dans cette partie, l'étude du réseau basse tension (BT) est abordée sous un aspect strictement quantitatif, basé sur l'application des formules fondamentales de l'électrotechnique. L'objectif principal est de déterminer les grandeurs électriques essentielles permettant d'évaluer la performance du réseau, notamment le courant circulant dans les lignes, la chute de tension ainsi que les pertes par effet Joule.

Ces calculs constituent une étape centrale dans l'analyse de la qualité de l'énergie électrique, car ils permettent de quantifier les contraintes subies par le réseau en conditions de fonctionnement normal. Ils servent également de base pour vérifier la conformité du réseau aux normes en vigueur, notamment en ce qui concerne les limites admissibles de chute de tension.

Ainsi, cette section permet de passer d'une modélisation théorique du réseau à une analyse pratique basée sur des résultats numériques exploitables pour l'interprétation de la qualité de l'énergie.

4.1. Calcul du courant dans les lignes

Le calcul du courant dans les lignes constitue une étape fondamentale dans l'analyse du réseau basse tension (BT), car il permet de déterminer l'intensité électrique circulant dans les conducteurs en fonction de la puissance consommée par les charges. Cette grandeur est essentielle pour l'évaluation des chutes de tension, des pertes par effet Joule ainsi que pour le dimensionnement des équipements du réseau.

Dans un réseau triphasé BT, le courant de ligne peut être déterminé à partir de la puissance apparente totale consommée par les charges et de la tension nominale du

réseau selon la relation suivante :
$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U} \quad (2.2)$$

Où :

- I : courant de ligne (A)
- S : puissance apparente totale (VA ou Kva)
- U : tension composée du réseau (V)
- $\sqrt{3}$: constante du système triphasé équilibré

Lorsque la puissance active et le facteur de puissance sont connus, la puissance apparente peut être exprimée par :

En combinant les deux expressions, le courant total consommé par les charges s'écrit :

Cette relation montre que le courant dépend directement de la puissance consommée et du facteur de puissance. Ainsi, une diminution du $\cos \varphi$ entraîne une augmentation du courant, ce qui peut provoquer une surcharge des lignes et une augmentation des pertes dans le réseau BT.

Selon **Saadat (2011)**, le calcul du courant dans les réseaux de distribution constitue une étape essentielle dans l'analyse des systèmes électriques, car il permet de déterminer les contraintes électriques sur les lignes et les équipements. De plus, **Dugan et al. (2003)** soulignent que la précision du calcul du courant est indispensable pour l'évaluation des pertes et de la qualité de l'énergie dans les réseaux basse tension.

Dans le cadre de cette étude, le courant ainsi déterminé sera utilisé pour le calcul de la chute de tension et des pertes par effet Joule dans les lignes du réseau BT étudié.

4.2. Calcul de la chute de tension

Le calcul de la chute de tension constitue un élément central dans l'évaluation de la qualité de l'énergie électrique dans les réseaux basse tension (BT). Il permet de quantifier la diminution de la tension électrique entre le point d'alimentation (transformateur HTA/BT) et les points de consommation, en fonction des caractéristiques des lignes et des charges connectées.

La chute de tension dépend principalement de l'intensité du courant, de la résistance et de la réactance des conducteurs, ainsi que du facteur de puissance. Dans un réseau triphasé, elle peut être exprimée par la relation suivante :

$$\Delta U = \sqrt{3} I (R \cos \varphi + X \sin \varphi) \cdot L \quad (2.3)$$

Où :

- ΔU : chute de tension (V)
- I : courant dans la ligne (A)
- R : résistance de la ligne (Ω)
- L : longueur du câble en km
- X : réactance de la ligne (Ω)

- **Cos ϕ** : facteur de puissance
- **Sin ϕ** : composante réactive

La résistance de la ligne dépend elle-même de la section du conducteur, de sa longueur et de la résistivité du matériau :

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S} \quad (2.4)$$

- R : résistance de la ligne (Ω)
- ρ : résistivité du matériau ($\Omega \cdot m$)
- L : longueur du conducteur (m)
- S : section du conducteur (m^2)

La chute de tension relative est ensuite exprimée en pourcentage par :

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_n} \times 100 \quad (2.5)$$

Où

- $\Delta U\%$: chute de tension en pourcentage
- ΔU : chute de tension (V)
- U_n : tension nominale du réseau (V)

Une chute de tension excessive peut entraîner un mauvais fonctionnement des équipements électriques, notamment dans les zones situées en fin de ligne. C'est pourquoi les normes de distribution limitent généralement cette chute à une valeur maximale admissible, souvent fixée à environ 5 % en réseau basse tension.

Selon **Grainger et Stevenson (1994)**, la chute de tension constitue un critère fondamental dans l'analyse des réseaux de distribution, car elle influence directement la qualité de l'alimentation électrique et la performance globale du système. De plus, **Gonen (2014)** souligne que la maîtrise des chutes de tension est essentielle pour garantir un fonctionnement fiable et efficace des réseaux basse tension (voir annexe)

Dans le cadre de cette étude, le calcul de la chute de tension permet d'évaluer la performance du réseau BT et d'identifier les zones les plus sensibles aux variations de tension.

4.3. Vérification de la norme de chute de tension

La vérification de la chute de tension constitue une étape indispensable dans l'analyse de la qualité de l'énergie électrique dans les réseaux basse tension (BT). Elle permet de s'assurer que la variation de tension entre le point d'alimentation et les points de consommation reste dans les limites admissibles fixées par les normes en vigueur.

Dans les réseaux de distribution BT, la chute de tension maximale admissible est généralement fixée à environ **5 % de la tension nominale**, afin de garantir le bon fonctionnement des équipements électriques et la continuité de service. Cette limite varie légèrement selon les normes et les réglementations locales, mais elle reste une référence largement utilisée dans les études techniques.

La vérification s'effectue en comparant la chute de tension calculée avec la valeur maximale admissible :

$$\Delta U \% \leq \Delta U_{\max} \% \quad (2.6)$$

- $\Delta U \%$: chute de tension calculée
- $\Delta U_{\max} \%$: chute de tension maximale admissible

Si la chute de tension calculée dépasse cette limite, cela indique une dégradation de la qualité de l'énergie électrique, pouvant entraîner des dysfonctionnements des équipements, notamment en fin de ligne.

D'un point de vue pratique, le respect de cette norme garantit une alimentation électrique stable et conforme aux exigences des consommateurs. Il permet également d'optimiser le dimensionnement des conducteurs et la configuration du réseau.

Selon **Dugan et al. (2003)**, le respect des limites de chute de tension est un critère essentiel de la qualité de l'énergie électrique, car les équipements sensibles nécessitent une alimentation dans une plage de tension strictement contrôlée. De plus, **Bollen (2000)** souligne que les variations de tension au-delà des seuils admissibles constituent l'une des principales causes de dégradation de la performance des réseaux de distribution.

Dans le cadre de cette étude, la comparaison avec la norme de 5 % permet d'évaluer la conformité du réseau BT étudié et d'identifier les éventuelles zones de non-conformité.

4.4. Calcul des pertes par effet Joule

Le calcul des pertes par effet Joule constitue une étape essentielle dans l'analyse de la performance énergétique des réseaux basse tension (BT). Ces pertes représentent l'énergie dissipée sous forme de chaleur dans les conducteurs électriques en raison de leur résistance.

Dans les réseaux de distribution, ces pertes dépendent principalement du courant circulant dans les lignes ainsi que de la résistance des conducteurs. Elles augmentent proportionnellement au carré du courant, ce qui signifie qu'une légère augmentation de la charge peut entraîner une augmentation significative des pertes énergétiques.

Pour un réseau triphasé, les pertes par effet Joule sont données par la relation suivante

$$P_J = 3I^2R \quad (2.7)$$

Où :

- P_J : pertes par effet Joule (W)
- I : courant dans la ligne (A)
- R : résistance d'une phase du conducteur (Ω)

Ainsi, les pertes par effet Joule sont directement influencées par la conception du réseau, notamment la section des conducteurs et la longueur des lignes.

Les pertes énergétiques peuvent également être exprimées en pourcentage afin d'évaluer leur impact sur l'efficacité globale du réseau :

$$P\% = \frac{P_{\text{pertes}}}{P_{\text{totale}}} \times 100 \quad (2.8)$$

- $P\%$: pertes énergétiques en pourcentage
- P_{pertes} : puissance perdue (W)
- P_{totale} : puissance totale transmise ou consommée (W)

Une augmentation des pertes par effet Joule entraîne une diminution du rendement du réseau et une dégradation de la qualité de l'énergie électrique, notamment en raison de l'échauffement des conducteurs et des chutes de tension associées.

Selon **Saadat (2011)**, les pertes dans les réseaux électriques constituent un indicateur important de performance, car elles reflètent l'efficacité du transport et de la

distribution de l'énergie. De plus, **Gonen (2014)** souligne que la réduction des pertes techniques est un objectif majeur dans la conception des réseaux de distribution basse tension afin d'améliorer leur efficacité énergétique.

Dans le cadre de cette étude, le calcul des pertes par effet Joule permet d'évaluer le rendement du réseau BT et de compléter l'analyse de la qualité de l'énergie électrique.

5. Conclusion

Ce chapitre a permis d'analyser de manière appliquée la performance du réseau basse tension (BT) à travers le calcul des principaux paramètres électriques, notamment le courant, la chute de tension et les pertes par effet Joule. L'étude a également mis en évidence l'influence de ces paramètres sur la qualité de l'énergie électrique.

Les résultats obtenus montrent que la qualité du réseau dépend fortement de la configuration des lignes, des charges et des conditions d'exploitation. L'interprétation des résultats a permis d'identifier les principaux problèmes du réseau ainsi que leurs causes, ce qui ouvre la voie à des améliorations possibles dans la suite du travail.

Ainsi, ce chapitre constitue une base essentielle pour l'évaluation globale du réseau BT étudié et la préparation des solutions d'optimisation dans le chapitre suivant.

CHAPITRE III

Calcul de la chute de tension

Introduction

L'analyse de la chute de tension constitue l'une des étapes les plus importantes dans l'évaluation de la qualité de l'énergie électrique au sein des réseaux de distribution basse tension (BT). En effet, la tension fournie aux consommateurs doit rester dans des limites bien définies afin de garantir le bon fonctionnement des équipements électriques et la continuité du service.

Dans les réseaux basse tension, la chute de tension est inévitable en raison de la résistance et de la réactance des conducteurs. Cependant, lorsque cette chute dépasse les seuils admissibles fixés par les normes en vigueur, elle engendre des dysfonctionnements, des pertes de performance et une dégradation notable de la qualité de l'énergie.

Ce chapitre a pour objectif d'analyser en détail la chute de tension dans le réseau BT étudié, d'en calculer les valeurs pour chaque départ, puis d'évaluer les caractéristiques du réseau à travers deux indicateurs complémentaires : le taux d'utilisation du transformateur et le taux de déséquilibre des charges. Ces éléments permettent d'obtenir une vision complète de l'état et des performances du réseau.

2. La chute de tension dans le réseau BT

2.1. Définition et causes

La chute de tension désigne la diminution de la tension électrique entre le point d'alimentation (départ du transformateur HTA/BT) et le point de consommation (terminaison d'un départ). Elle résulte principalement de la résistance et de la réactance des conducteurs qui s'opposent au passage du courant électrique.

Selon **Grainger et Stevenson** (1994), la chute de tension constitue un critère fondamental dans l'analyse des réseaux de distribution, car elle influence directement la qualité de l'alimentation électrique et la performance globale du système. Une chute de tension excessive est synonyme d'une dégradation de la qualité de l'énergie.

Les principales causes de la chute de tension dans les réseaux BT sont :

- La longueur excessive des lignes électriques, entraînant une résistance élevée des conducteurs.
- La section insuffisante des conducteurs, augmentant la résistance linéique.

- Un courant de ligne élevé dû à des charges importantes ou à un faible facteur de puissance.
- La nature inductive des charges qui augmente la composante réactive du courant.

2.2. Caractéristiques du réseau et indicateurs de performance

Tableau (01) : Formules de calcul de la chute de tension

Circuit	En volts	en %
Monophasé : deux phases	$\Delta U = 2 I_b (R \cos\varphi + X \sin\varphi) L$	$100 \Delta U / U_n$
Monophasé : phase et neutre	$\Delta U = 2 I_b (R \cos\varphi + X \sin\varphi) L$	$100 \Delta U / U_n$
Triphasé équilibré : trois phases (avec ou sans neutre)	$\Delta U = \sqrt{3} I_b (R \cos\varphi + X \sin\varphi) L$	$100 \sqrt{3} \Delta U / U_n$

Le Tableau ci-après donne les formules usuelles qui permettent de calculer la chute de tension dans un circuit donné par km de longueur.

Où :

- **I_b** : courant d'emploi en ampère
- **L** : longueur du câble en km
- **R** : résistance linéique d'un conducteur en Ω/km
- **X** : réactance linéique d'un conducteur en Ω/km
- **S** : section en mm^2

Résistance linéique :

- **Cuivre :**

$$R = \frac{23,7 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}}{S}$$

- **Aluminium :**

$$R = \frac{37,6 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}}{S}$$

Note :

- R est négligeable au-delà d'une section de **500 mm^2**
- La réactance linéique d'un conducteur en Ω/km est négligeable pour les câbles de section inférieure à **50 mm^2**
- En l'absence d'autre indication on prendra : **$X = 0,1 \Omega/\text{km}$**

- ϕ : déphasage du courant sur la tension dans le circuit considéré ;
généralement :
 - Éclairage : $\cos \phi = 1$
 - Force motrice :
 - En démarrage : $\cos \phi = 0,35$
 - En service normal : $\cos \phi = 0,8$
- **Un** : tension nominale entre phases
- **Vn** : tension nominale entre phase et neutre

Pour les canalisations préfabriquées, les résistances **R** et la réactance **X** sont indiquées par le constructeur.

2.3 Caractéristiques des électriques des conducteurs

Tableau 02 : Caractéristiques électriques des conducteurs nus BT

NATURE	SECTION mm ²	r à 20 ⁰ (Ω / km)	r + x tg (Ω / km)	I _B (A)
CUIVRE	17.8	1.010	1.185	118
	27.6	0.650	0.825	153
	38.2	0.472	0.647	200
	48.3	0.373	0.548	230
	74.9	0.240	0.416	280
	116.2	0.156	0.331	365
ALUMELEC	34.4	0.958	1.133	140
	54.6	0.603	0.778	190
	75.6	0.438	0.613	240
	93.3	0.357	0.532	270
	148.1	0.224	0.399	365
	228	0.146	0.321	480
	288	0.116	0.291	550
ALU-ACIER	75.5	0.605	0.780	175
	116.2	0.303	0.481	300
	147.1	0.243	0.418	345
	228	0.157	0.332	460
	288	0.124	0.299	525

- Température de fonctionnement : 20⁰ C
- Réactance = 0.35 Ω / km
- Facteur de puissance cos 0.9 (tg =0.5)

Tableau 03 : Caractéristiques électriques des conducteurs isolés bt

NATURE	SECTION mm ²	r à 20 ⁰ (Ω / km)	r à 50 ⁰ (Ω / km)	r + x tg (Ω / km)	I _{Bt} (A)
CUIVRE	30	0.627	0.701	0.751	109
	50	0.379	0.424	0.474	180
	70	0.269	0.300	0.350	210
	95	0.194	0.217	0.267	250
	120	0.157	0.176	0.226	300
	146	0.126	0.141	0.191	340
	185	0.099	0.111	0.161	400
ALUMINIUM	25	1.200	1.345	1.395	78
	35	0.868	0.973	1.023	95
	50	0.641	0.918	0.768	114
	70	0.443	0.497	0.547	142
	95	0.320	0.359	0.409	172
	120	0.253	0.284	0.334	198
	150	0.206	0.231	0.281	225
	185	0.164	0.184	0.234	245
	240	0.125	0.140	0.190	305

- Température de fonctionnement : 50⁰ C
- Réactance = 0.10 Ω / km
- Facteur de puissance tel que tg = 0.5 (cos 0.9).

3.1. Taux d'utilisation

Définition :

Le taux d'utilisation est un indicateur qui permet d'évaluer le niveau de charge des conducteurs par rapport à leur capacité maximale admissible. Il exprime le rapport entre le courant effectivement circulant dans la ligne et le courant maximal que le conducteur peut supporter en régime permanent sans dépasser ses limites thermiques.

Selon Gonen (2014), le dimensionnement des conducteurs doit satisfaire à la fois les contraintes thermiques et les limites de chute de tension afin d'assurer une exploitation optimale du réseau. Un taux d'utilisation élevé indique que le conducteur travaille proche de sa limite et que le risque de surcharge est important.

Le taux d'utilisation (K) s'écrit généralement :

$$K\% = \frac{P_{\text{utilisée}}}{P_{\text{installée}}} \times 100 \quad (3.1)$$

Dans certains cas, on écrit aussi :

$$K = \frac{P_{moyenne}}{P_{max}} \quad (3.2)$$

3.2. Taux de déséquilibre

3.2.1 Définition du déséquilibre

Le déséquilibre de charge dans un réseau triphasé désigne la situation dans laquelle les charges réparties sur les trois phases (R, S, T) ne sont pas égales. Ce phénomène est fréquent dans les réseaux de distribution basse tension, notamment dans les zones résidentielles où les charges monophasées sont raccordées de manière non uniforme sur les trois phases.

Selon Bollen (2000), les déséquilibres de tension et de courant constituent un problème courant dans les réseaux de distribution BT, ayant des conséquences directes sur la qualité de l'énergie et l'efficacité du système. Un déséquilibre important entraîne une circulation de courant dans le conducteur neutre, ce qui augmente les pertes et dégrade la qualité de la tension.

Les principales conséquences d'un déséquilibre de charges sont :

- Apparition d'un courant dans le conducteur neutre, source de pertes supplémentaires.
- Déséquilibre des tensions aux points de livraison, affectant les équipements monophasés.
- Échauffement des conducteurs et des transformateurs, réduisant leur durée de vie.
- Dégradation du rendement global du réseau de distribution.

3.3. Formule de calcul du taux de déséquilibre

Le taux de déséquilibre (τ_d) est calculé en comparant l'écart maximal entre les courants (ou tensions) de phase et la valeur moyenne. Selon la norme CEI 61000-3-14 et les recommandations techniques, il est exprimé par :

$$\tau_d (\%) = \frac{(I_{max} - I_{min})}{I_{moy}} \times 100 \quad (3.3)$$

I_{max} : courant maximum parmi les trois phases [A]

I_{min} : courant minimum parmi les trois phases [A]

I_{moy} : courant moyen des trois phases [A] = $(I_R + I_S + I_T) / 3$

Pour les tensions, la même formule s'applique en remplaçant les courants par les tensions de phase. La norme fixe généralement une limite de déséquilibre de tension à 2 % en régime permanent.

4. Etude réelle du réseau BT du poste HTA/BT n°2603

Suite aux dernières mesures programmées effectuées au poste DP (Distribution Publique) 2603, il a été constaté une surcharge et un taux d'utilisation élevé. Pour cela, on procède à travers cette section à une étude BT dans le but de réduire la charge sur le poste DP 2603.

On note qu'on ne peut pas procéder à l'augmentation de puissance du poste DP 2603 car ce poste cabine est de type réduit et ne peut pas abriter le gabarit d'un transformateur de puissance 630 KVA.

4. Historique du poste DP 2603 JARDIN 20 AOUT

Le poste DP 2603 est passé depuis sa création par les étapes suivantes :

- mise en service le 08/08/2006, avec une puissance installée de 250 KVA.
- mouvement de transformateur pour l'augmentation de puissance de 250 KVA à 400 KVA le 03/09/2008.

4.1. État actuel et caractéristiques du poste

N° du poste	Nature du poste	Puissance installée	Nombre de branchements		
			Monophasé (230V)	Triphasé (400V)	Total
2603	Cabine	400 KVA	141	52	193

4.2 Charge au niveau du transformateur

Les tableaux suivants présentent la mesure effectuée au niveau du transformateur du poste DP 2603 :

- 1^{ère} Mesure programmée

Puissance (KVA)	Date de la mesure	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)	I _M (A)	I _N (A)
400	21/11/2025	280	274	294	283	577

Le taux d'utilisation du transformateur est égal à : $K\% = 49\%$

Le taux de déséquilibre est égal à : $D\% = 4\%$.



FIG 3.1 : plan du réseau BT étudié actuel

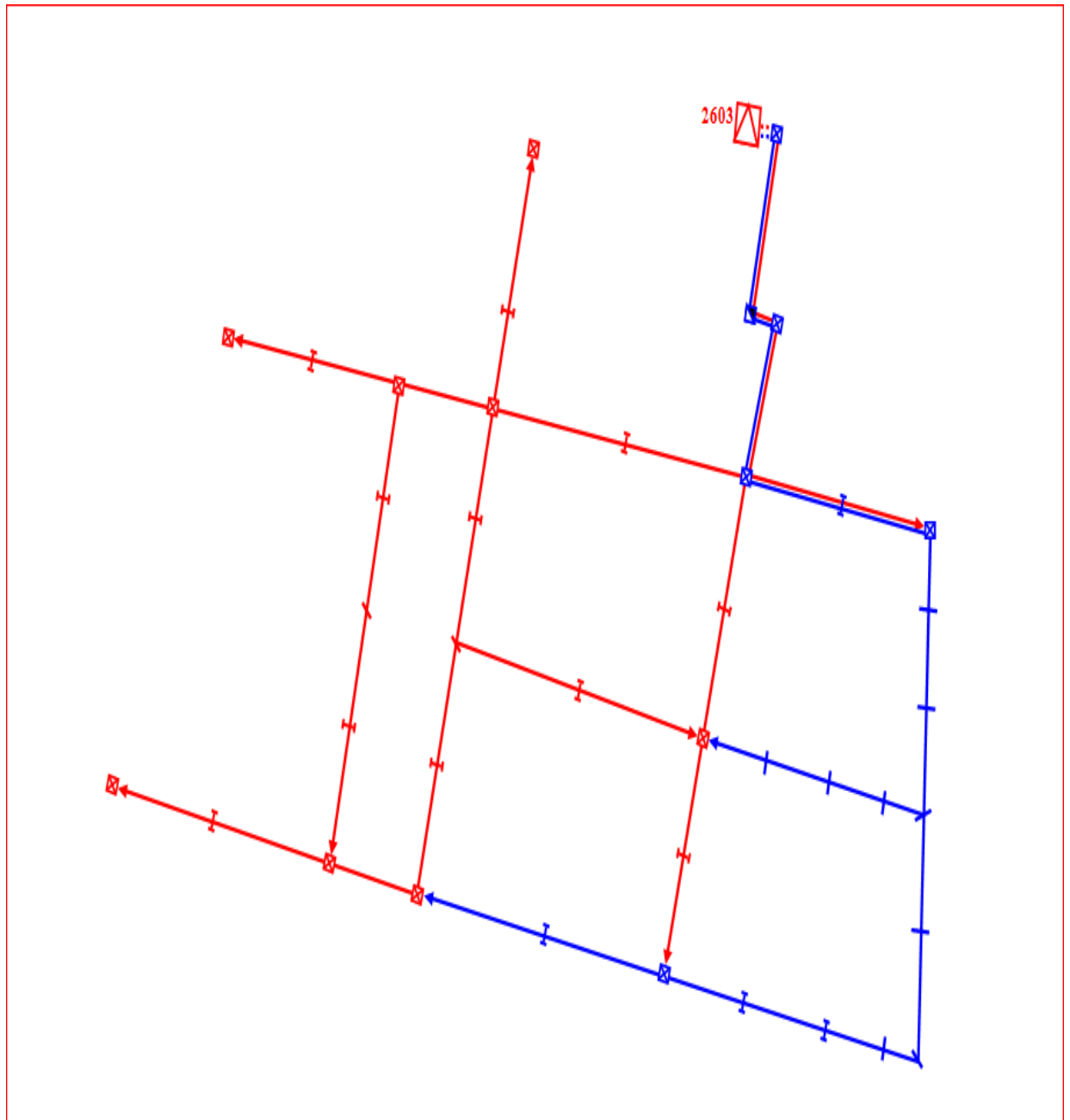


FIG 3.2 : Schéma unifilaire du réseau BT étudié

1° Départ	547 ml	63 (2fils)	13 (4fils)	Poste DP 2603
2° Départ	852 ml	78 (2fils)	39 (4fils)	

- 2^{ème} Mesure programmée

Puissance (KVA)	Date de la mesure	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)	I _M (A)	I _N (A)
400	06/05/2026	422	411	526	453	577

Le taux d'utilisation du transformateur est égal à : $K\% = 78,5\%$

Le taux de déséquilibre est égal à : $D\% = 16\%$.

4.2. Répartition de charge et chute de tension sur chaque support par départ pour l'état actuel

- Chute de tension

Année 2025		Année 2030	
Support	$\Delta V \%$	Support	$\Delta V \%$
D1 Supp019	7,94	D1 Supp019	11,13
D2 SuppA22	14,29	D2 SuppA22	20,04

- Charge transitant le câble

Année 2025			Année 2030		
Support	I _N (A)	Charge (A)	Support	I _N (A)	Charge (A)
D1 Supp002	142	158	D1 Supp002	142	221
D2 Supp0A2	142	301	D2 Supp0A2	142	422

4.3. Solution proposée

Pour réduire la charge sur le poste DP 2603 et cela en urgence, on propose de basculer une partie du réseau BT du poste DP 2603 sur le poste DP 2950 et la création d'un nouveau départ BT issu du poste DP 2603 pour éclater le départ surchargé et ainsi mieux répartir la charge sur les différents départs BT dans ce poste.

II.1 Répartition de charge et chute de tension sur chaque support par départ après solution (Poste 2603 DP)

- État et caractéristiques du poste DP 2603 après solution

N° du poste	Nature du poste	Puissance installée	Nombre de branchements		
			Monophasé (230V)	Triphasé (400V)	Total
2603	Cabine	400 KVA	110	43	153

- Chute de tension

Année 2025		Année 2030	
Support	ΔV %	Support	ΔV %
D1 Supp018	7,34	D1 Supp018	10,38
D2 SuppA13	5,05	D2 SuppA13	7,09
D3 SuppB14	3,26	D3 SuppB14	4,58

- Charge transitant le câble

Année 2025			Année 2030		
Support	I_N (A)	Charge (A)	Support	I_N (A)	Charge (A)
D1 Supp002	142	150	D1 Supp002	142	210
D2 Supp0A2	142	125	D2 Supp0A2	142	175
D2 Supp0A2	142	94	D2 Supp0A2	142	132

- Longueur des départs après solution

Départ	Longueur (km)
D1	0,460
D2	0,464
D3	0,491

1° Départ	460 ml	58 (2fils)	13 (4fils)	Poste DP 2603
2° Départ	464 ml	30 (2fils)	17 (4fils)	
3° Départ	491 ml	22 (2fils)	13 (4fils)	

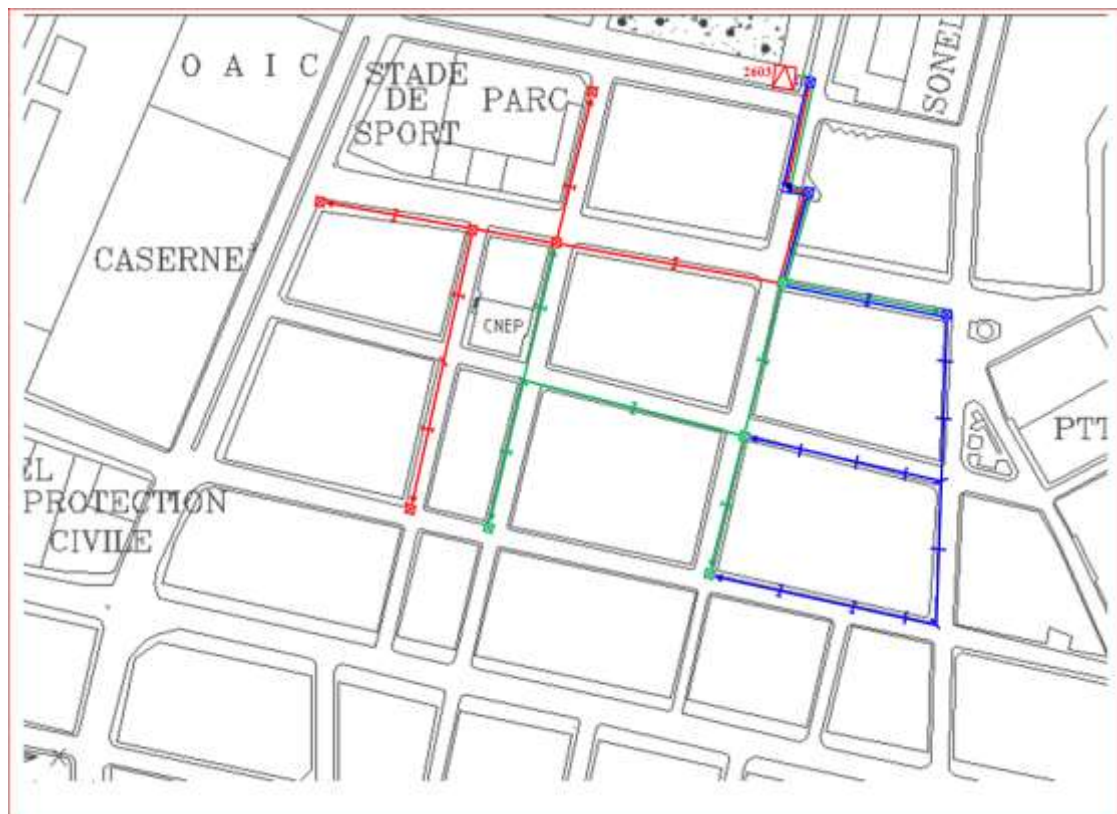


FIG 3.3 : plan du réseau BT étudié après la solution

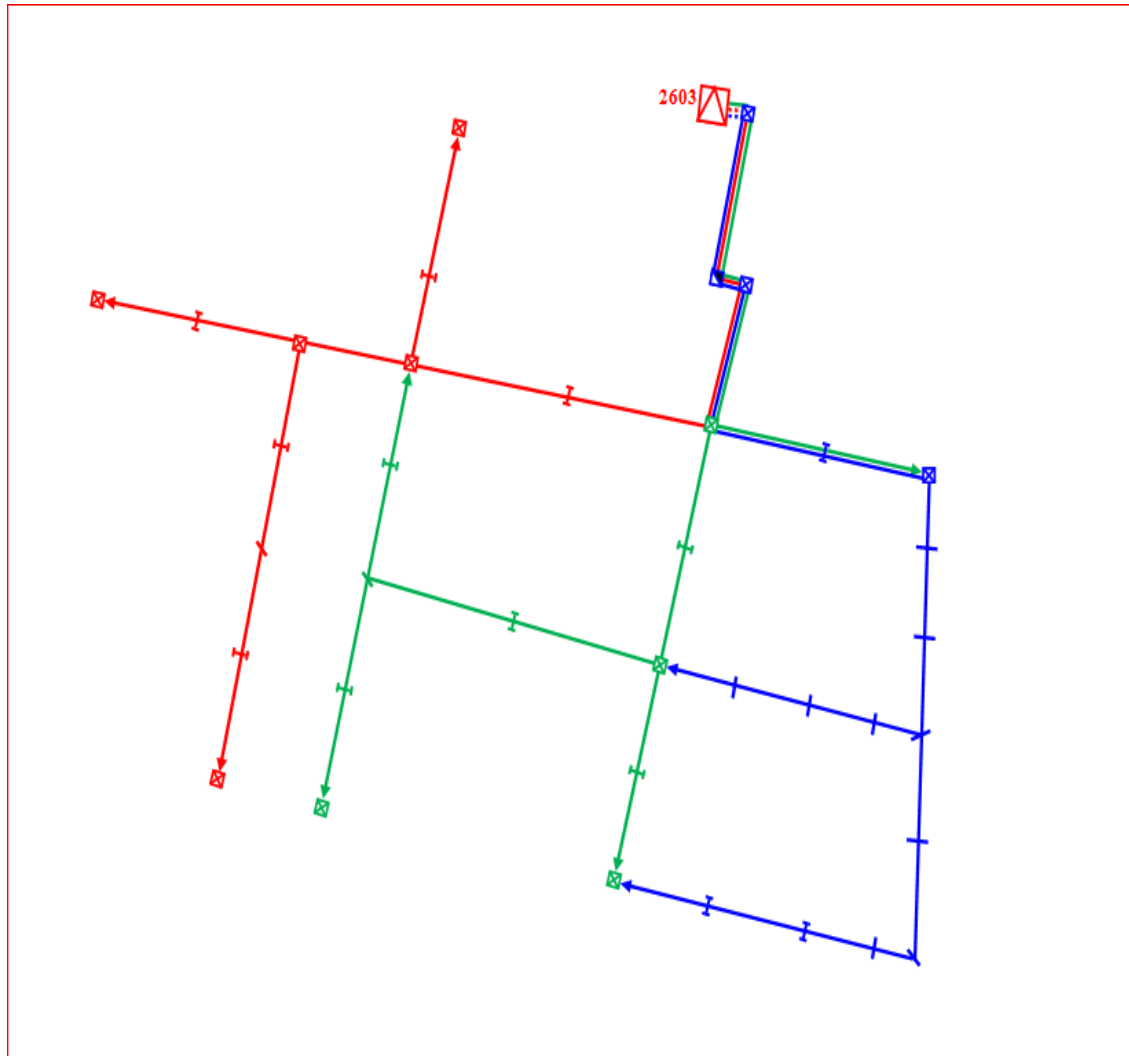


FIG 3.2 : Schéma unifilaire du réseau BT étudié après la solution

5. Conclusion

La présente étude nous a permis de soulager le réseau BT du poste DP 2603 et ainsi réduire la surcharge sur ce poste. Aussi, la création d'un nouveau départ BT a permis une meilleure répartition du réseau BT.

Enfin et à travers cette solution réalisée dans l'immédiat, la surcharge du poste DP sera réduite après la réalisation de cette solution d'urgence.

Conclusion

Générale

Conclusion générale

Ce travail a permis de réaliser une étude approfondie de la qualité de l'énergie électrique dans les réseaux de distribution basse tension, en mettant en évidence le rôle essentiel de ce dernier maillon du système électrique dans la fourniture de l'énergie aux consommateurs finaux.

Dans un premier temps, les notions fondamentales relatives au système électrique ont été présentées, en décrivant les différentes étapes allant de la production jusqu'à la distribution de l'énergie électrique. Une attention particulière a été accordée au réseau basse tension (BT), ainsi qu'aux différents paramètres caractérisant la qualité de l'énergie, tels que la stabilité de la tension, la fréquence, les harmoniques et les interruptions de service.

Dans un second temps, une étude analytique du réseau BT a été réalisée afin d'évaluer son comportement face aux contraintes d'exploitation. Les résultats montrent que la qualité de l'énergie dans ce type de réseau est fortement influencée par plusieurs facteurs, notamment la nature des charges électriques, la longueur des lignes, le dimensionnement des équipements ainsi que les conditions d'exploitation du réseau. Ces éléments peuvent engendrer des phénomènes tels que les chutes de tension, les pertes d'énergie et les perturbations de la tension, qui impactent directement la performance globale du réseau.

Aussi, une étude d'un cas réel, concernant le réseau BT issu du poste 2603 situé dans une zone connue pour son activité commerciale très importante et continuellement grandissante, a été effectuée afin de trouver des solutions réalisables dans le court terme au problème de surcharge et de chute de tension dégradant et affectant le réseau BT dans sa partie très sollicitée du centre ville de Saida.

Enfin, cette étude constitue une base de réflexion importante pour les futurs travaux portant sur l'amélioration et l'optimisation des réseaux électriques de distribution de SONELGAZ, en particulier dans le contexte de l'évolution croissante de la demande énergétique et de la modernisation des systèmes électriques.

Références bibliographie

Références bibliographie

Références

- Arrillaga, J., & Watson, N. R. (2003). *Power System Harmonics* (2nd ed.). Wiley.
- Bollen, M. H. J. (2000). *Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions*. IEEE Press.
- Boyle, G. (2017). *Renewable Energy: Power for a Sustainable Future* (4th ed.). Oxford University Press.
- Chapman, S. J. (2011). *Electric Machinery Fundamentals* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Chapman, S. J. (2012). *Electric Machinery Fundamentals* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Dugan, R. C., McGranaghan, M. F., Santoso, S., & Beaty, H. W. (2003). *Electrical Power Systems Quality* (2nd Ed.). McGraw-Hill.
- Gonen, T. (2014). *Electric Power Distribution System Engineering* (3rd ed.). CRC Press.
- Grainger, J. J., & Stevenson, W. D. (1994). *Power System Analysis*. McGraw-Hill.
- Hingorani, N. G., & Gyugyi, L. (2000). *Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems*. IEEE Press.
- IEEE. (2019). *IEEE Std 1159-2019: Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality Events*. IEEE.
- Kothari, D. P., & Nagrath, I. J. (2019). *Modern Power System Analysis* (4th ed.). McGraw-Hill Education.
- Kundur, P. (1994). *Power System Stability and Control*. McGraw-Hill.
- Masters, G. M. (2013). *Renewable and Efficient Electric Power Systems* (2nd ed.). Wiley.
- Omar, A. M. (2013). *Electric Power Distribution*. Pearson Education.
- Pabla, A. S. (2011). *Electric Power Distribution*. Tata McGraw-Hill Education.
- Saadat, H. (2011). *Power System Analysis* (3rd ed.). PSA Publishing.
- Sivanagaraju, S., & Satyanarayana, V. (2012). *Electrical Power Distribution and Transmission*. Pearson India.
- Turkson, J., & Wohlgemuth, N. (2001). *Power Sector Reform and Distributed Generation in Africa*. Energy Policy Journal.

Références bibliographie

- Weedy, B. M., Cory, B. J., Jenkins, N., Ekanayake, J. B., & Strbac, G. (2012). *Electric Power Systems* (5th Ed.). Wiley.
- Wood, A. J., Wollenberg, B. F., & Sheble, G. B. (2014). *Power Generation, Operation, and Control* (3rd ed.). Wiley.

ANNEXE

Régime normal de fonctionnement : régime de fonctionnement des réseaux de distribution au cours duquel les caractéristiques fondamentales des réseaux de distribution restent dans les limites, dites normales, d'exploitation du réseau de distribution et de l'alimentation d'une installation.

Régime normal d'alimentation d'une installation : régime au cours duquel la tension, le courant et la fréquence pour l'électricité, la pression, le débit pour le gaz sont compris dans les limites réglementaires ou contractuelles et les éventuelles liaisons de secours sont disponibles.

Régime normal d'un réseau de distribution : régime au cours duquel :

- les utilisateurs raccordés aux réseaux de distribution ont un régime normal d'alimentation ;
- les ouvrages sont utilisés dans les limites de leur capacité nominale ;
- les critères de sûreté et de sécurité de fonctionnement sont assurés.

Régime perturbé : régime de fonctionnement au cours duquel certaines caractéristiques fondamentales sortent du fait des réseaux de distribution pour des durées limitées des valeurs ou états fixés pour le régime normal.

Sectionneur d'isolement : organe de coupure qui fixe la limite physique entre le réseau de distribution et les installations des distributeurs.

Sectionneur tête de ligne : organe de coupure qui fixe la limite physique entre le réseau de distribution et les installations des producteurs.

Transformateur de puissance : appareil composé essentiellement d'au moins deux enroulements et assurant la transformation de tension et le transit de puissance entre des points de réseaux exploités à des tensions différentes.

Utilisateur : toute personne physique ou morale alimentant un réseau de transport ou de distribution ou desservie par un de ces réseaux.

Art. 3. — Sous réserve des particularités des réseaux existants et des besoins spéciaux faisant l'objet d'accords avec les clients, l'énergie livrée en vertu du présent décret est distribuée sous forme de courant alternatif triphasé.

Art. 4. — Les installations raccordées ou à raccorder aux réseaux de distribution de l'électricité doivent être conçues pour supporter les perturbations liées à l'exploitation en régime normal des réseaux et faire face à celles qui peuvent être générées lors des régimes perturbés. Elles doivent être équipées d'un dispositif de protection permettant d'éliminer les défauts.

Les dispositifs de protection doivent tenir compte des besoins de l'installation et être coordonnés avec les systèmes de protection de réseaux de distribution, notamment en matière d'automatismes.

Le distributeur précise à l'utilisateur les éléments nécessaires à la conception et au réglage de ses dispositifs de protection dans un cadre transparent et non discriminatoire.

Art. 5. — Dans les conditions normales de fourniture, le courant distribué en haute tension de classe A (HTA) est livré aux tensions nominales entre phases : 30 kV, 10 kV, 5,5 kV. La tension nominale 5,5 kV sera portée progressivement à 10 ou 30 kV.

La haute tension de classe A (HTA) mesurée au point d'utilisation ne doit pas s'écarter de :

- ± 12 % autour de sa valeur nominale pour les réseaux aériens,
- ± 6 % autour de sa valeur nominale pour les réseaux souterrains.

Le courant distribué en basse tension est livré à la tension nominale 220/380 volts qui sera portée progressivement à 230/400 volts.

La tolérance maximale pour la variation de la basse tension autour de la tension nominale est de :

- 5 % pour les zones urbaines à usage éclairage prépondérant,
- 10 % pour les zones rurales ou industrielles à usage force motrice prépondérant.

Art. 6. — Pour les livraisons d'électricité, outre les plages de tension définies à l'article 5 ci-dessus, les caractéristiques de l'onde de tension autres que la fréquence et les variations lentes de tension sont définies dans le contrat d'accès au réseau électrique pour le client éligible et dans le contrat de fourniture d'énergie pour les autres clients.

Le distributeur est tenu de maintenir les variations de la tension à l'intérieur de ces seuils de tolérance. Tout dommage matériel qui pourrait survenir chez les clients, du fait du non-respect de ces seuils par le distributeur, donne lieu à une indemnisation de ces clients conformément à la législation en vigueur.

Art. 7. — Le réseau de distribution de l'électricité comporte, notamment :

- les lignes aériennes et les câbles souterrains dont la tension d'utilisation est égale ou inférieure à 50 kV avec leurs installations annexes,
- les postes dont la tension est inférieure ou égale à 50 kV avec leurs matériels haute tension de classe A (HTA), à l'exception des équipements appartenant au gestionnaire du réseau de transport de l'électricité ou aux producteurs d'électricité, et leurs installations annexes telles que les équipements de communication, les dispositifs de protection, de contrôle, de commande, de comptage et les équipements des services auxiliaires, ainsi que leurs infrastructures immobilières ;

— les transformateurs de puissance dont la tension la plus élevée est inférieure ou égale à 50 kV,

— les systèmes de compensation de la puissance réactive connectés au réseau de distribution de l'électricité,

— les équipements de conduite et de téléconduite des réseaux de distribution,

— les colonnes montantes et les branchements basse tension.

Art. 8. — Les appareils de mesure de l'énergie doivent être de types approuvés par l'organisme chargé de la métrologie légale.

Les appareils de contrôle de l'énergie doivent être conformes aux normes en vigueur.

Les dispositifs de comptage sont établis par le distributeur.

Art. 9. — Les limites des réseaux de distribution de l'électricité sont définies comme suit :

— avec le réseau de transport de l'électricité, la limite se situe exclusivement aux sectionneurs de haute tension de classe A (HTA) d'isolement du (des) transformateur(s) de haute tension de classe B / haute tension de classe A (HTB/HTA) ;

— avec les producteurs d'électricité raccordés directement au réseau de distribution, la (les) limite(s) se situe(nt) exclusivement à l'organe ou aux organes de coupure tête de ligne ;

— entre les réseaux de distribution de deux concessions différentes, la (les) limite (s) se situe(nt) à l'organe ou aux organes de coupure qui sépare(nt) les réseaux des deux concessions ;

— avec les clients de haute tension de classe A (HTA), la limite se situe :

* dans le cas de réseau aérien, aux isolateurs d'entrée du poste de livraison isolateurs exclus, et

* dans le cas de réseau souterrain, immédiatement à l'aval des bornes de la boîte d'extrémité des câbles.

L'ensemble des équipements constituant les postes de livraison, y compris le support dans le cas d'un poste aérien, font partie des installations intérieures du client. A ce titre, ces dernières sont réalisées et entretenues par lui et à ses frais. Elles sont sa propriété.

Avec le client alimenté en basse tension (BT), la limite se situe immédiatement à l'aval des bornes de sortie du compteur.

Dans le cas de regroupement de compteurs, la limite avec le client se situe aux bornes amont du disjoncteur de l'installation de ce dernier.

Les circuits de l'alimentation de l'éclairage public communs avec les réseaux de distribution, situés sur les supports ou inclus dans les câbles du distributeur, font partie du réseau de distribution jusqu'aux bornes amont de la boîte d'extrémité ou des fusibles. En sont exclus les appareils d'éclairage public les lignes spéciales et les supports d'éclairage public indépendants des réseaux du distributeur.

Lorsque la collectivité locale demande l'établissement, sur les supports du réseau du distributeur, de conducteurs d'éclairage public distincts des conducteurs du réseau de distribution et dans le cas où le distributeur donne son accord, ces circuits d'éclairage public, ne font pas partie des ouvrages du distributeur.

Les conditions d'utilisation des supports des distributeurs, pour la réalisation des circuits d'éclairage public et leur exploitation, sont définies dans un contrat conclu entre la collectivité locale et le distributeur.

Art. 10. — Les réseaux de distribution de gaz sont constitués notamment de :

— canalisations établies en vue de distribuer en moyenne ou en basse pression des combustibles gazeux. Ces réseaux incluent toutes les installations de distribution y compris les colonnes montantes et les branchements des clients ;

— équipements de traitement, de surveillance, de sécurité, d'entretien, de stockage, de détente et de livraison ;

— stations de stockage et regazéification de gaz de pétrole liquéfié (GPL) et éventuellement de gaz naturel liquéfié (GNL) ;

— installations annexes telles que les équipements de télé-exploitation et de télécommunication, de protection, de contrôle, de commande, de mesure et de comptage servant à la distribution du gaz ou à l'interconnexion entre les réseaux de gaz de concessions différentes.

Art. 11. — Les limites des réseaux de distribution du gaz sont définies :

— à l'amont, par la bride « aval » du poste de livraison du gestionnaire du réseau de transport du gaz ;

— à l'aval, par l'entrée du poste de livraison des clients de moyenne pression (MP) ou le raccord de sortie compteur des clients de basse pression (BP) ou au robinet d'arrêt de l'installation intérieure en cas de regroupement de compteurs.

Art. 12. — Le distributeur tient un inventaire des équipements :

— du réseau électrique comprenant le fichier des lignes aériennes et souterraines, le fichier des postes électriques et transformateurs de puissance, le fichier des équipements de haute tension de classe A (HTA), y compris les appareils de comptage d'énergie électrique, le fichier des équipements contrôle commande et le fichier des systèmes de télécommunication ;