



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم

Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

كلية العلوم و التكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie électrique

N° d'ordre : M2...../GE/2023



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Parcours : MASTER ACADEMIQUE

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Electrotechnique Industrielle

Thème :

**ANALYSE ET DIAGNOSTIC DES CREUX DE  
TENSION DANS LA PARTIE MT/BT DANS UN  
RESEAU INDUSTRIEL**

Préparé par :

- 1- BELMIHOUB Anis.
- 2- BEBCHEIDA Abdou el Illah.

**Soutenu le :** 04/07/ 2023 devant le jury composé de :

<b>Président :</b>	DAOUD M	MCA	Université de mostaganem
<b>Examineur :</b>	BEKKOUCHE B	PR	Université de mostaganem
<b>Encadreur :</b>	SOUAG S	MCB	Université de mostaganem
<b>Co Encadreur :</b>	KOUADRIA M A	MCB	Université de mostaganem

Année Universitaire : 2022/2023

## **REMERCIEMENTS**

Nous remercions d'abord le bon DIEU 'ALLAH' tout puissant qui nous a donné la santé, le courage, la force de résister et la volonté d'accomplir ce travail.

Nous remercions profondément les deux directeurs de ce mémoire Dr. **SOUAG Slimane** et Dr. **KOUADRIA Mohamed Abdeldjabbar**, Maîtres de conférences au département de génie électrique, université de MOSTAGANEM, avec qui nous avons eu le grand plaisir de travailler tout au long de ce projet.

Nous lui adressons notre gratitude pour ses conseils, encouragement et amabilité dont il a fait preuve tout au long de notre collaboration

Nous remercions aussi vont aux M. **DAOUD** et M. **BEKKOUCH** les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous font en participant au jugement de ce travail.

Nous remercions également à tous les enseignants qui ont contribué efficacement à notre formation.

Merci du fond du cœur à tous nos collègues de la promotion 2023 sans exceptions.

Nous n'oublions pas aussi de remercier tous les membres et les ingénieurs de laboratoire.

Bref, Un grand merci à tous.

# DEDICACES

Je dédie cet humble travail aux deux êtres les plus chers au monde

À ma très chère maman et à mon très cher père,

Pour leur amour, leur soutien, pour les prières de ma mère pendant mes moments les plus difficiles.

Et que ALLAH leur procure bonne santé et longue vie

Mon frère **Bilal** et ma sœur **Yousra** qui ont toujours été là pour moi,

Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

Mon binôme Abdou el illah avec qui j'ai eu le plaisir de travailler.

A toute la promotion de Electrotechnique Industrielle 2022/2023

Pour tous mes enseignants de primaire à l'université

Enfin,

Je vous souhaite à tous une vie pleine de bonheur et de Succès et qu'ALLAH, le tout puissant, vous protège et vous garde.

**Anis**

# DEDICACES

Je dédie cet humble travail aux deux êtres les plus chers au monde

À ma très chère maman et à mon très cher père,

Pour leur amour, leur soutien, pour les prières de ma mère pendant mes moments les plus difficiles.

Et que « ALLAH » leur procure bonne santé et longue vie

Ma sœur qui ont toujours

été là pour moi,

Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

Mon binôme amis avec qui j'ai eu le plaisir de travailler.

A toute la promotion de Electrotechnique Industrielle 2022/2023

Pour tous mes enseignants de primaire à l'université

Enfin,

Je vous souhaite à tous une vie pleine de bonheur et de Succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.

Abdou el illah

# RÉSUMÉ

Ce mémoire se concentre sur l'analyse et le diagnostic des creux de tension dans la partie MT/BT d'un réseau industriel. Les creux de tension sont des variations temporaires de tension qui peuvent perturber les opérations d'une installation industrielle, entraînant des arrêts de production et des risques de dommages aux équipements. Comprendre les causes et les conséquences de ces creux de tension est essentiel pour mettre en place des mesures préventives et correctives efficaces.

Le mémoire commence par une revue de la littérature sur les réseaux électriques et la distribution publique MT/BT. Les différents types de réseaux et les postes utilisés dans la distribution publique sont présentés. Ensuite, une analyse approfondie des creux de tension est réalisée, en examinant les sources possibles tels que les variations de charge, les court-circuit et les défauts d'isolement.

Une méthodologie détaillée est proposée pour le diagnostic des creux de tension dans la partie MT/BT. Cette méthodologie comprend la collecte de données de mesure, la modélisation du réseau industriel, la simulation des creux de tension et l'évaluation des résultats. Des outils de simulation spécialisés sont utilisés pour faciliter cette analyse.

Des études de cas basées sur des réseaux industriels réels sont présentées, illustrant les différentes situations où des creux de tension peuvent survenir et les problèmes spécifiques qu'ils peuvent causer. Les résultats obtenus à partir de l'analyse des données et des simulations sont utilisés pour identifier les causes sous-jacentes des creux de tension et proposer des solutions pour les atténuer.

Enfin, des recommandations sont formulées pour la gestion et l'amélioration des creux de tension dans la partie MT/BT d'un réseau industriel. Ces recommandations incluent des mesures telles que la compensation de puissance réactive, l'amélioration de la coordination de protection et l'optimisation des dispositifs de coupure.

En conclusion, ce mémoire fournit une analyse approfondie des creux de tension dans la partie MT/BT d'un réseau industriel et propose des solutions pour atténuer ces creux de tension. Les résultats et les recommandations présentés peuvent être utilisés comme base pour la mise en place de stratégies efficaces de gestion des creux de tension dans les réseaux industriels.

**Mots clés :** creux de tension, MT/BT, simulation, l'analyse, le diagnostic

# SUMMARY

This dissertation focuses on the analysis and diagnosis of voltage sags in the medium/low voltage (MT/BT) part of an industrial network. Voltage sags are temporary voltage variations that can disrupt the operations of an industrial facility, leading to production downtime and equipment damage risks. Understanding the causes and consequences of these voltage sags is essential for implementing effective preventive and corrective measures.

The dissertation begins with a literature review on electrical networks and the MT/BT public distribution. The different types of networks and substations used in public distribution are presented. Then, an in-depth analysis of voltage sags is conducted by examining possible sources such as load variations, short circuits, and insulation faults.

A detailed methodology is proposed for diagnosing voltage sags in the MT/BT part. This methodology includes data collection, industrial network modeling, voltage sag simulation, and result evaluation. Specialized simulation tools are used to facilitate this analysis.

Case studies based on real industrial networks are presented, illustrating different situations where voltage sags can occur and the specific problems they can cause. The results obtained from data analysis and simulations are used to identify the underlying causes of voltage sags and propose solutions to mitigate them.

Finally, recommendations are made for the management and improvement of voltage sags in the MT/BT part of an industrial network. These recommendations include measures such as reactive power compensation, improved protection coordination, and optimization of switching devices.

In conclusion, this dissertation provides an in-depth analysis of voltage sags in the MT/BT part of an industrial network and proposes solutions to mitigate these voltage sags. The presented results and recommendations can serve as a basis for implementing effective voltage sag management strategies in industrial networks.

**Keywords :** voltage dips, medium/low voltage ,simulation, analysis and diagnosis

## ملخص

هذه الرسالة تركز على تحليل وتشخيص انخفاضات الجهد في جزء الجهد المتوسط/الجهد المنخفض من شبكة صناعية. انخفاضات الجهد هي تغيرات مؤقتة في الجهد يمكن أن تؤثر على عمليات منشأة صناعية، مما يتسبب في توقف الإنتاج ويشكل خطراً على المعدات. فهم أسباب وتداعيات انخفاضات الجهد هو أمر ضروري لتنفيذ تدابير وقائية وتصحيحية فعالة

تبدأ الرسالة بمراجعة للأدب المتعلق بالشبكات الكهربائية وتوزيع الجهد المتوسط/الجهد المنخفض العامة. يتم تقديم أنواع مختلفة من الشبكات والمحطات المستخدمة في التوزيع العام. بعد ذلك، يتم إجراء تحليل مفصل لانخفاضات الجهد، من خلال فحص المصادر المحتملة مثل تغيرات الحمل والاختصاصات الكهربائية وعيوب العزل

يتم اقتراح منهجية مفصلة لتشخيص انخفاضات الجهد في جزء الجهد المتوسط/الجهد المنخفض. تشمل هذه المنهجية جمع بيانات القياس، ونمذجة الشبكة الصناعية، ومحاكاة انخفاضات الجهد، وتقييم النتائج. يتم استخدام أدوات المحاكاة المتخصصة لتسهيل هذا التحليل

تُعرض دراسات حالة مستندة إلى شبكات صناعية حقيقية، توضح مختلف الحالات التي يمكن أن تحدث فيها انخفاضات الجهد والمشاكل المحددة التي يمكن أن تسببها. يتم استخدام النتائج المستمدة من تحليل البيانات والمحاكاة لتحديد الأسباب الأساسية لانخفاضات الجهد واقتراح حلول لتخفيفها

أخيراً، يتم تقديم توصيات لإدارة وتحسين انخفاضات الجهد في جزء الجهد المتوسط/الجهد المنخفض من الشبكة الصناعية. تتضمن هذه التوصيات تدابير مثل تعويض الطاقة النشطة، وتحسين تنسيق الحماية، وتحسين أجهزة الفصل

في الختام، تقدم هذه الرسالة تحليلاً مفصلاً لانخفاضات الجهد في جزء الجهد المتوسط/الجهد المنخفض من الشبكة الصناعية وتقدم حلولاً لتخفيف هذه الانخفاضات. يمكن استخدام النتائج والتوصيات المقدمة كأساس لتنفيذ استراتيجيات فعالة لإدارة انخفاضات الجهد في الشبكات الصناعية

**الكلمات المفتاحية:** انخفاضات الجهد - الجهد المتوسط/الجهد المنخفض - المحاكاة - تحليل - تشخيص

# Sommaire

Remerciements.....	ii
DEDICACES .....	iii
Résumé .....	v
Summary .....	vi
ملخص .....	vii
Listes des figures .....	xi
Listes des tableaux .....	xiii
<i>LISTE DES ABREVIATIONS</i> .....	xiv
INTRODUCTION GENERALE .....	1

## *CHAPITRE I :*

### *Généralité sur les réseaux électriques*

I.1. Introduction.....	3
I.2.2. Réseaux de répartition.....	4
I.2.3. Réseaux de distribution .....	4
I.2.3.1. Réseaux de distribution à moyenne tension.....	5
I.2.3.2. Réseaux de distribution à basse tension.....	5
I.3. Planification des réseaux .....	5
I.4. La distribution publique MT .....	6
I.4.1. Les postes sur le réseau MT .....	6
I.4.2. Le poste HT/MT en distribution publique .....	6
I.4.3. Le poste MT/MT en distribution publique.....	7
I.4.4. Le poste MT/BT en distribution publique.....	7
I.4.5. Le poste de livraison à un abonné HT ou MT .....	8
I.4.6. Postes préfabriqués monobloc .....	9
I.4.7. Postes d'intérieur .....	10
I.4.8. Postes avec cellules fonctionnelles.....	11
I.4.8.1. Différents types de cellules .....	11
I.4.8.2. Association des cellules MT.....	12
I.5. Conclusion .....	13

## CHAPITRE II :

### *Étude du phénomène des creux de tension*

II.2. Définition, origine et conséquences .....	14
II.3. Caractérisation des creux de tension .....	15
II.4. Représentation dans le plan complexe .....	16
II.5. Paramètres déterminant les types de creux de tension .....	17
a) Types de court-circuit.....	17
b) Régime de neutre .....	18
c) L'endroit du défaut.....	19
d) Type de mesures.....	19
II.6. Les creux de tension et des coupures brèves sur le réseau du distributeur .....	20
II.7. Analyse des Causes et Solutions des pics de tension chez les clients HTB .....	21
II.8. Analyse des Perturbations de Tension dans les Réseaux de Distribution Clients HTA et BT.....	21
II.9. Les creux de tension et coupures brèves liés à des phénomènes qui se produisent chez le client .....	21
II.10. Impact des creux de tension et des coupures brèves sur les équipements industriels ....	22
II.12. Solutions face aux creux de tension et aux coupures .....	23
II.12.1. Solutions de désensibilisations face aux creux et aux coupures provenant du réseau du distributeur .....	23
II.12.2. Solutions de désensibilisations face aux creux et aux coupures générés par l'installation d'un client.....	24
II.13. Conclusion .....	26

## CHAPITRE III :

### *Modélisation et Simulation d'un Réseau Industriel*

III.1. Introduction .....	27
III.2. Modélisation du réseau .....	27
III.2.1. Schéma unifilaire .....	27
III.2.2. Niveau de tension .....	28
III.2.2.1. HTB .....	28
III.2.2.2 MT .....	29
III.2.3. Le transformateur .....	29
III.2.4. Jeu de barres .....	30
III.2.5. Principe du choix de la section des câbles .....	31
III.2.6. Chute de tension.....	32

III.2.7. Moteur asynchrone .....	32
III.2.8. Le disjoncteur de basse tension .....	33
III.3. Le logiciel ETAP .....	33
III.3.1. Présentation.....	33
III.3.2. Barre de menu.....	34
III.3.3. Barre d'outils du projet .....	35
III.3.4. Barres d'outils modifier .....	35
III.4. Simulation et résultats .....	40
III.4.1. Cas du moteur N° 3 :.....	40
III.4.2. Cas du moteur N° 5 :.....	43
III.5. Conclusion .....	48

#### *CHAPITRE IV :*

#### **Diagnostic et solutions**

IV.1 Introduction : .....	49
IV.2 installation UPS : .....	49
IV. 3 Séparation des lignes dans les réseaux de distribution .....	51
IV.3.1 Simulation .....	52
IV.4 Favoriser des lignes HTA blindées souterraines .....	54
IV.5. La compensation de l'énergie réactive .....	55
IV.6.2. Simulation de la compensation globale.....	59
IV.7. Conclusion.....	61
Conclusion Générale .....	65
Références Bibliographiques: .....	67

# LISTES DES FIGURES

## Chapitre I

Figure I. 1: Architecture générale de réseaux d'énergies électrique en Algérie [5].....	3
Figure I. 2 : Poste de livraison pour un abonné MT .....	6
Figure I. 3 : Poste HT/MT .....	6
Figure I. 4: Poste MT/MT .....	7
Figure I. 5: Poste MT/BT .....	8
Figure I. 6: Poste de livraison pour un abonné MT .....	9
Figure I.7.a: Poste transformateur préfabriqué .....	9
Figure I.8: les cellules de raccordement postent d'intérieur .....	11
Figure I.9: poste avec cellules MT au premier plan et transformateur a l'arrière .....	11
Figure I.10: différents types cellules et systèmes de protections .....	12
Figure I.11: système de protection dans un poste de livraison MT .....	12

## Chapitre II

Figure II. 1 : creux de tension.....	15
Figure II. 2 : caractéristique du creux de tension.....	16
Figure II. 3: Représentation d'un creux de tension .....	17
Figure II. 4 : types de court-circuit .....	17
Figure II. 5: Régime de neutre.....	18
Figure II. 6: signatures des creux de tension dus à un défaut monophasé en régime de neutre .....	19

## Chapitre III

Figure III. 1 :Schéma unifilaire d'un circuit de puissance.....	28
Figure III. 2: schéma d'un transformateur .....	30
Figure III. 3: jeu de barres .....	30
Figure III. 4: disjoncteur de basse tension.....	33
Figure III. 5: capture sur un schéma électrique dans le logiciel .....	34
Figure III. 6 : barre de menu.....	34
Figure III. 7: barre d'outils du projet .....	35
Figure III. 8: modes d'étude.....	35
Figure III. 9: les barres d'outils .....	36
Figure III. 10: L'éditeur de câble .....	37
Figure III. 11 : bibliothèques câble de sélection rapide .....	37
Figure III. 12: Exemple d'un diagramme sur ETAP .....	38

Figure III. 13: Analyse de l'écoulement de puissance.....	38
Figure III. 14 : Schéma d'un réseau industriel .....	39
Figure III.15. A: graphe de tension du bus 5 avec moteur 3 .....	41
Figure III.15. B : graphe de tension de bus 6 avec moteur 3.....	41
Figure III.15. C : graphe de tension du bus 7 avec moteur 3 .....	41
Figure III.15. D : graphe de tension du bus 3 avec moteur 3 .....	42
Figure III.15. E : graphe de tension du bus 2 avec moteur 3.....	42
Figure III.15. F : graphe de tension du bus 4 avec moteur 3.....	42
Figure III. 16. A : graphe de tension du bus 7 avec moteur 5 .....	44
Figure III. 16. B : graphe de tension du bus 6 avec moteur 5 .....	44
Figure III. 16. C: graphe de tension du bus 5 avec moteur 5 .....	44
Figure III. 16. D : graphe de tension du bus 4 avec moteur 5 .....	45
Figure III. 16. E : graphe de tension du bus 3 avec moteur 5.....	45
Figure III. 17 A : graphe de tension du bus 7 avec moteur 6 .....	46
Figure III. 17 B : graphe de tension du bus 6 avec moteur 6 .....	47
Figure III. 17 C : graphe de tension du bus 3 avec moteur 6 .....	47
Figure III. 17 D : graphe de tension du bus 2 avec moteur 6.....	47
<b>Chapitre IV</b>	
Figure IV. 1 :installation UPS .....	50
Figure IV. 2: graphe pourcentage % du bue 7 avec moteur 6 .....	51
Figure IV. 3 : séparation des lignes avec bus 2 .....	52
Figure IV. 4 : graphe tension du bus 7 avec moteur 6 .....	53
Figure IV. 5 : séparation des lignes avec bus 10 .....	53
Figure IV. 6 : graphe tension du bus 7 avec moteur 6 .....	54
Figure IV. 7: capacité individuels avec bus 7.....	56
Figure IV. 8: graphe tension du bus 7avec capacité .....	57
Figure IV. 9 : graphe tension du bus 7 avec capacité off.....	57
Figure IV. 10 : capacité installée dans bus 2 .....	58
Figure IV. 11 : graphe tension du bus 7 avec capacité .....	59
Figure IV. 12: graphe tension du bus 7 avec capacité off.....	59

Figure IV. 13 :capacité installé dans bus 1 global .....	60
Figure IV. 14 :graphe tension du bus 7 avec capacité .....	60
Figure IV. 15 : graphe tension du bus 7 avec capacité off .....	61

## **LISTES DES TABLEAUX**

Tableau 1 : tableau des domaines schéma réseau industrielle.....	39
Tableau 2 : sortie en ca du moteur 3.....	40
Tableau 3: cas du moteur N° 05 .....	43
Tableau 4 : tableau du moteur 6 .....	46

## ***LISTE DES ABREVIATIONS***

<b><i>HTA</i></b>	La Haute Tension A
<b><i>HTB</i></b>	La Haute Tension B
<b><i>MT</i></b>	moyenne tension
<b><i>BT</i></b>	basse tension
<b><i>CEI</i></b>	la Commission Electrotechnique Internationale
<b><i>ETAP</i></b>	Electrical Transient Analyser Program
<b><i>KVa</i></b>	kilovolt Ampère
<b><i>KV</i></b>	kilovolt
<b><i>KW</i></b>	kilowatt
<b><i>MVA</i></b>	méga volt Ampère
<b><i>V</i></b>	volt
<b><i>A</i></b>	ampère
<b><i>DVR</i></b>	Direct Voltage Restorer
<b><i>SVC</i></b>	Static Var Compensator
<b><i>STATCOM</i></b>	Static Synchronous Compensator

***INTRODUCTION***  
***GENERALE***

### INTRODUCTION GENERALE

Le secteur industriel est un domaine d'activité qui nécessite une alimentation électrique fiable et de qualité pour assurer le bon fonctionnement des équipements et des processus de production. Cependant, il est fréquent de rencontrer des problèmes liés aux creux de tension dans la partie moyenne/basse tension (MT/BT) des réseaux industriels. Ces creux de tension, également appelés "sags" ou "dips" en anglais, sont des variations brèves mais significatives de la tension électrique qui peuvent avoir des conséquences néfastes sur les installations industrielles [1].

L'analyse et le diagnostic des creux de tension dans la partie MT/BT des réseaux industriels sont des enjeux majeurs pour les entreprises afin d'assurer la continuité de leur production et de réduire les pertes économiques liées à ces problèmes. Les creux de tension peuvent entraîner des arrêts de production, des dommages aux équipements sensibles, voire des risques pour la sécurité des travailleurs [2].

Dans ce mémoire de master, l'analyse et le diagnostic des creux de tension dans la partie MT/BT des réseaux industriels sont choisis comme objectif d'étude. L'objectif principal est de développer des méthodes et des outils permettant de détecter et de localiser les creux de tension, d'évaluer leurs sévérités et d'identifier leurs causes. Nous chercherons également à proposer des solutions pour atténuer l'impact de ces creux de tension et améliorer la qualité de l'alimentation électrique dans les réseaux industriels.

Pour mener à bien cette étude, une recherche bibliographique approfondie suivie par la modélisation du système et du phénomène ainsi qu'un ensemble de simulation est abordé dans ce manuscrit.

Ce mémoire est réparti en quatre chapitres afin d'aborder les différents axes qui sont :

- Le premier chapitre de ce mémoire qui présente la littérature du sujet afin d'initier le lecteur au problème étudié.
- Dans le second chapitre, on discute les creux de tension électrique, leurs origines d'apparition, conséquences, types et les solutions envisagés face à ce problème.
- La modélisation et la simulation d'un réseau industriel avec le logiciel ETAP est entamé dans le troisième chapitre.

## INTRODUCTION GENERALE

- Dans le quatrième chapitre, nous avons étudié quelques solutions pour remédier les creux de tensions dans les réseaux industriels.
- Finalement, une conclusion générale résume les principaux résultats obtenus avec proposition de quelques perspectives pour les travaux de future termine ce travail,

# ***CHAPITRE I :***

## ***Généralité sur les réseaux électriques***

# Chapitre I : *Généralité sur les réseaux électriques*

## I.1. Introduction

Le réseau de distribution d'énergie électrique a pour objectif de permettre le déplacement de l'énergie (active ou réactive) à travers des lignes ou des câbles de moyenne tension MT (30 et 10kV) entre différents postes de livraison (postes sources MT/BT) et les utilisateurs basse tension BT (400/230 V) [3].

L'architecture du réseau de distribution en moyenne tension (MT) peut varier en complexité en fonction du niveau de tension, puissance requise et les exigences de sécurité d'alimentation. La figure I.1 montre une architecture générale de réseaux d'énergies électrique en Algérie

Il existe plusieurs types de postes électriques [3, 4] :

- Postes de sortie de centrale : l'objectif de ces postes est de raccorder une centrale de production de l'énergie au réseau,
- Postes d'interconnexion : pour interconnecter plusieurs lignes électriques HTB,
- Postes éleveurs : afin de monter le niveau de tension à l'aide d'un transformateur éleveur,
- Postes de distribution : dont la tension est baissée pour la rendre utilisables par les clients résidentiels ou industriels.

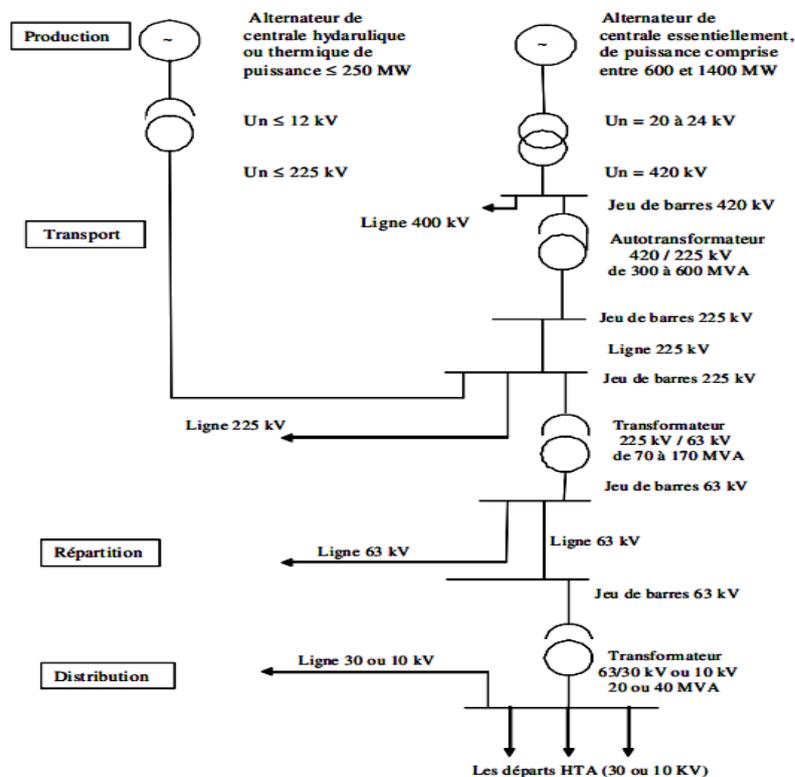


Figure I. 1: Architecture générale de réseaux d'énergies électrique en Algérie [5]

# Chapitre I : *Généralité sur les réseaux électriques*

## **I.2. Différents types des réseaux électriques**

Les réseaux électriques sont classés en trois types :

### **I.2.1. Réseaux de transport et d'interconnexion**

Les réseaux de transport et d'interconnexion maillés sont caractérisés par une tension de 150kV, 220kV et 420kV avec un neutre directement lié à la terre, ont principalement pour mission de [6] :

- Collecter l'électricité produite par les centrales électriques et l'acheminer par un grand flux vers les zones de consommation (fonction transport),
- Permettre une exploitation économique et sûre des moyens de production en assurant une compensation des différents aléas (fonction interconnexion),

### **I.2.2. Réseaux de répartition**

La plupart de ces réseaux sont composés de lignes aériennes qui peuvent transporter plus de 60MVA sur des distances relativement courtes (de quelques dizaines de kilomètres). Ils peuvent avoir une structure en boucle fermée ou plus fréquemment en boucle ouverte, et parfois se terminer en antenne au niveau de certains postes de transformation [7].

Dans les zones urbaines densément peuplées, ces réseaux peuvent être souterrains sur des tronçons de quelques kilomètres maximums. Ils fournissent à la fois l'alimentation des réseaux de distribution via des postes de transformation haute / moyenne tension, et l'alimentation des utilisateurs industriels dont la consommation dépasse 60MVA et nécessitent une connexion à cette tension. Ils se caractérisés par :

- Une tension de 90 kV ou 63 kV,
- Neutre à la terre par réactance ou transformateur de point neutre,
- Limitation courant neutre à 1500 A pour le 90 kV,
- Limitation courant neutre à 1000 A pour le 63 kV,
- Réseaux en boucle ouverte ou fermée.

### **I.2.3. Réseaux de distribution**

Les réseaux de distribution démarrent à partir de tensions inférieures à 63kV, à partir des postes de transformation HTB/HTA. Ils utilisent des lignes ou des câbles de moyenne tension pour acheminer l'électricité jusqu'aux postes de répartition HTA/HTA. Le poste de transformation HTA/BTA est le dernier élément de cette chaîne de distribution et fournit de l'électricité pour tous les usages [3, 8].

## **I.2.3.1. Réseaux de distribution à moyenne tension**

Un réseau distribution à moyenne tension est destiné principalement aux abonnés de ce type tel que les usines, ils sont caractérisés par :

- MT (30 et 10 kV le plus répandu),
- Neutre à la terre par une résistance,
- Limitation à 300 A pour les réseaux aériens,
- Limitation à 1000 A pour les réseaux souterrains,
- Réseaux souterrains en boucle ouverte.

## **I.2.3.2. Réseaux de distribution à basse tension**

Pour les consommateurs ordinaires comme les habitats, les artisans, etc..., le réseau de distribution basse tension sont adaptés a bien muni la tension aux valeurs exploitable, avec :

- BTA (230 / 400 V),
- Neutre directement à la terre,
- Réseaux de type radial,
- Maillés et bouclés.

## **I.3. Planification des réseaux**

La planification, la mise en place du nouveau ouvrages et l'évolution de la structure d'un réseau électrique représente une opération essentielle. En ce qui concerne les réseaux de transport et de distribution, ces opérations sont généralement centralisées pour plusieurs raisons:

- Les décisions impliquant des modifications de la structure de ces réseaux, telles que l'installation d'un nouveau poste HT/MT, nécessitent la prise en compte de nombreux paramètres techniques et économiques.
- La multitude de ces paramètres, ainsi que leurs interactions potentielles, requièrent l'utilisation d'outils informatiques, de bases de données et de systèmes experts pour assister les décideurs dans leurs choix.

En revanche, pour les réseaux de distribution MT et BT, la planification est souvent décentralisée, ce qui signifie que les décisions sont prises à un niveau local ou régional.

# Chapitre I : *Généralité sur les réseaux électriques*

## I.4. La distribution publique MT

### I.4.1. Les postes sur le réseau MT

Un poste ou ouvrage est une structure physique caractérisée par sa position géographique et ses fonctions au sein des réseaux électriques. Son rôle principal consiste à assurer la transition entre deux niveaux de tension et/ou à fournir l'alimentation à l'utilisateur final [9].

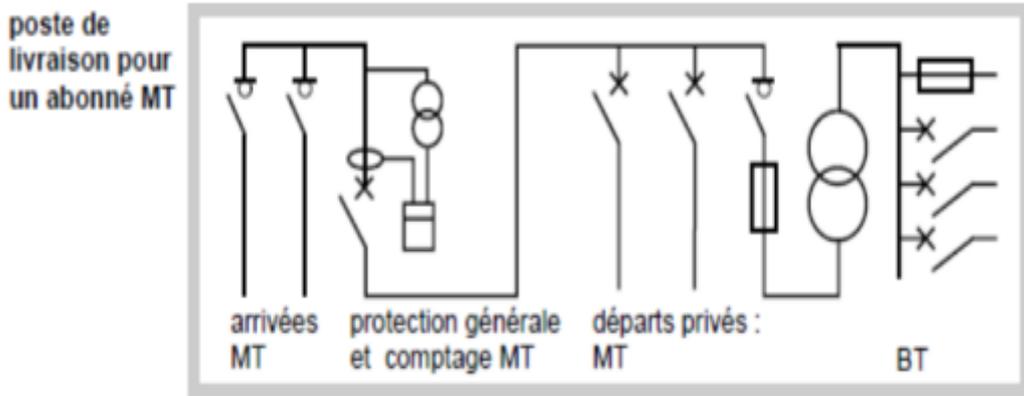


Figure I. 2 : Poste de livraison pour un abonné MT

### I.4.2. Le poste HT/MT en distribution publique

Ce type d'ouvrage est un élément essentiel de l'infrastructure électrique, situé entre le réseau de répartition et le réseau de distribution moyenne tension MT. Sa principale fonction est de faciliter la transition entre les niveaux de tension haute tension (supérieure à 100kV) et moyenne tension (environ 10kV). Son schéma typique (Figure I.3) comprend deux arrivées haute tension, deux transformateurs haute / moyenne tension avec 10 et 20 départs en moyenne tension. Ces départs alimentent des lignes aériennes et/ou des câbles souterrains.

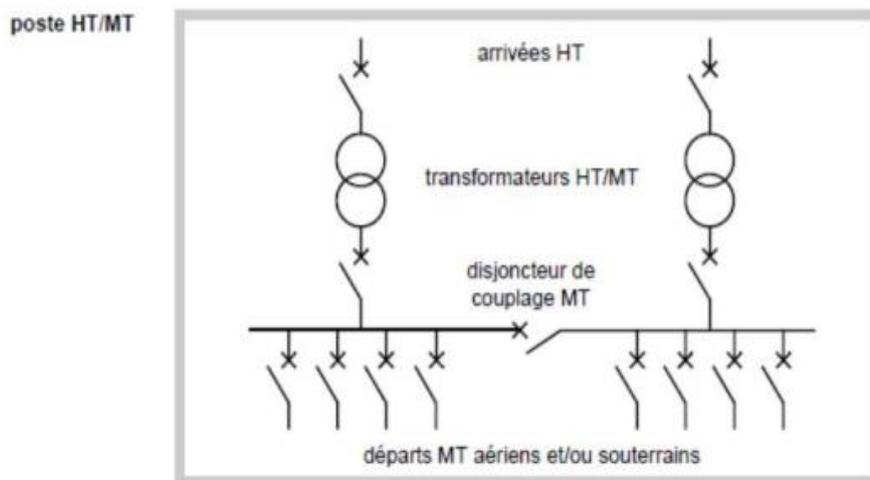


Figure I. 3 : Poste HT/MT

## Chapitre I : *Généralité sur les réseaux électriques*

### I.4.3. Le poste MT/MT en distribution publique

Ce poste peut remplir deux fonctions distinctes [10] :

- Il peut assurer la démultiplication des départs MT en aval des postes HT/MT (Figure I.4). Dans ce cas, le poste ne comprend aucun transformateur. Il est composé de deux arrivées en MT et entre 8 à 12 départs MT. Ce type de poste est présent dans certains pays tels que l'Espagne, la Belgique et l'Afrique du Sud.

- Il peut également servir de point de transition entre deux niveaux de tension MT/MT. Ces derniers intègrent des transformateurs et sont nécessaires dans certains pays qui utilisent deux niveaux successifs de tension sur leur réseau MT. Par exemple, la Grande-Bretagne divise son réseau MT en deux niveaux, à savoir le 11 kV et le 33 kV. Leur schéma typique est similaire à celui du poste HT/MT tel que présenté dans la figure I.4.

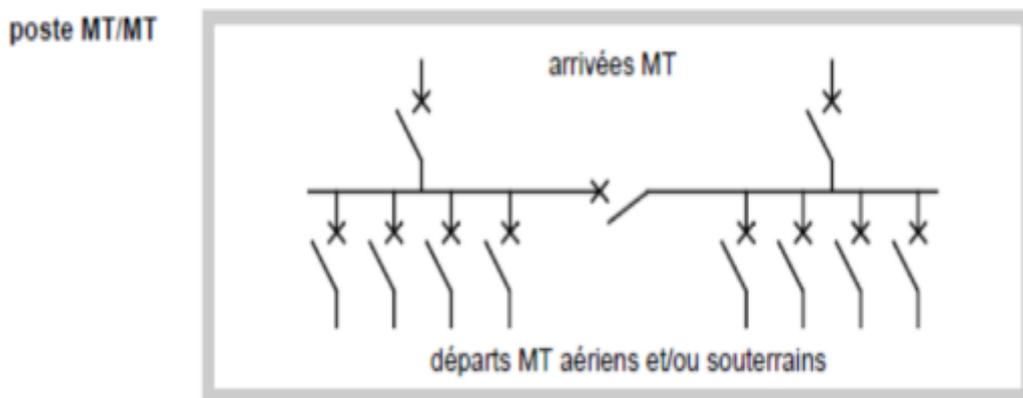


Figure I. 4: Poste MT/MT

### I.4.4. Le poste MT/BT en distribution publique

Il se situe entre le réseau de distribution MT et le réseau de distribution BT, permet de convertir la tension d'environ de 10kV à une tension d'environ les 400 V. Le schéma de ce poste (Figure I.5) est plus simple que celui des ouvrages précédents. L'élément de base utilisé pour la MT est un interrupteur plutôt qu'un disjoncteur. Ces postes se composent de quatre parties :

- L'équipement MT qui permet de se connecter au réseau de distribution amont.
- Le transformateur de distribution MT/BT.
- Le tableau des départs BT qui ne sert de points de raccordement pour le réseau de distribution aval en BT.
- De plus en plus souvent, il y a une enveloppe extérieure préfabriquée (en métal ou de plus en plus souvent en béton) qui abrite les éléments mentionnés précédemment.

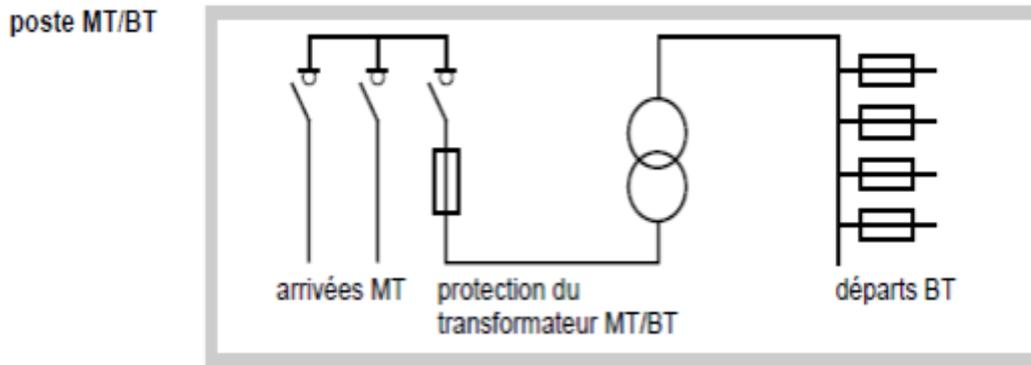


Figure I. 5: Poste MT/BT

### I.4.5. Le poste de livraison à un abonné HT ou MT

Ces ouvrages assurent le passage de la distribution publique à la distribution privée. Ils permettent :

- Le raccordement au réseau de répartition HT d'un abonné à grande consommation (> MVA) via un poste HT/MT,
- Le raccordement au réseau de distribution MT d'un abonné à moyenne consommation (>100 kVA) via un poste MT/BT.

Le choix de la tension de raccordement au réseau de distribution publique pour un abonné dépend essentiellement de :

- La qualité du réseau BT, en particulier de sa limite en puissance (tenues électriques) ;
- La politique du distributeur, en particulier de la tarification qu'il propose, car pour l'abonné elle définit l'intérêt économique de l'énergie électrique, en concurrence avec les autres sources d'énergie : fuel, gaz, ...

En pratique, le raccordement en BT ou en MT dépend de la puissance souscrite par l'abonné, et ces valeurs varient d'un pays à l'autre. En France, par exemple, un abonné est raccordé en MT à partir de 250kVA, tandis qu'en Italie, le seuil est beaucoup plus bas, aux alentours de quelques dizaines de kVA. En revanche, aux États-Unis, il est possible qu'un client soit alimenté en BT jusqu'à 2 500 kVA.

En Algérie, le système de distribution électrique utilise généralement la terminologie HTA (Haute Tension A) et BT (Basse Tension) pour désigner les différents niveaux de tension. Voici un exemple de poste de livraison à un abonné HT et MT en Algérie :

1. Poste de livraison HT (HTA) : Un poste de livraison HT en Algérie est conçu pour recevoir l'électricité à un niveau de tension HTA, généralement 30 kV (kilovolts) ou 60 kV.

## Chapitre I : *Généralité sur les réseaux électriques*

Ce niveau de tension élevé est utilisé pour alimenter de grandes installations industrielles, des zones commerciales importantes, des infrastructures publiques, etc. Le poste de livraison HTA abaisse ensuite la tension à un niveau de MT pour être distribuée à l'abonné.

2. Poste de livraison MT (MTA) : Un poste de livraison MT en Algérie reçoit l'électricité à un niveau de tension MT, généralement 10 kV (kilovolts) ou 20 kV. Ces postes de livraison MT sont utilisés pour alimenter des bâtiments commerciaux, des petites et moyennes entreprises, des quartiers résidentiels, etc. La tension MT est ensuite abaissée à la tension BT (230 V monophasé ou 400 V triphasé) pour être distribuée aux clients finaux. [11]

Lorsqu'il s'agit d'abonnés alimentés en HT, le schéma du poste est spécifiquement conçu. Cependant, si l'abonné est alimenté en MT, un schéma type peut être proposé (voir Figure I.6). Il est important de souligner que l'installation d'un tel poste dépend de l'accord du distributeur, qui peut avoir ses propres spécificités en termes de comptage, de conditions d'exploitation, et ainsi de suite.

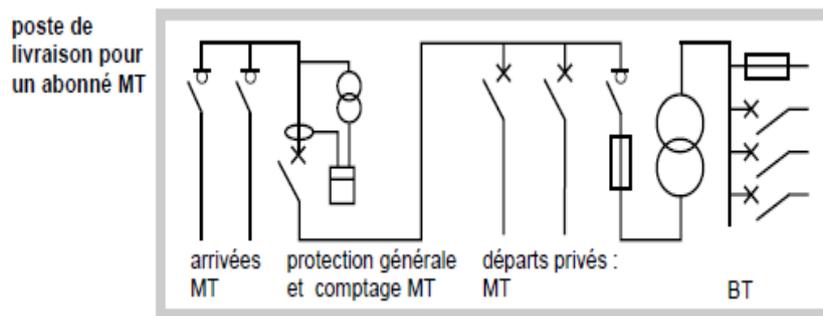


Figure I. 6: Poste de livraison pour un abonné MT

### I.4.6. Postes préfabriqués monobloc

Les postes préfabriqués monobloc peuvent être installés soit sur des poteaux bas, soit sur une plate-forme extérieure. Ils sont connectés au réseau électrique par des câbles, qui peuvent être aériens ou souterrains.



Figure I.7.a: Poste transformateur préfabriqué

## Chapitre I : *Généralité sur les réseaux électriques*

### I.4.6.1. Constitution

Le tableau BT est équipé soit d'un interrupteur avec fusibles, soit d'un disjoncteur avec coupure visible. La capacité du transformateur varie entre 100kVA et 1000kVA. Ce poste est transporté par camion et placé sur une dalle en ciment. Le processus d'installation consiste à connecter les câbles d'entrée et de sortie.

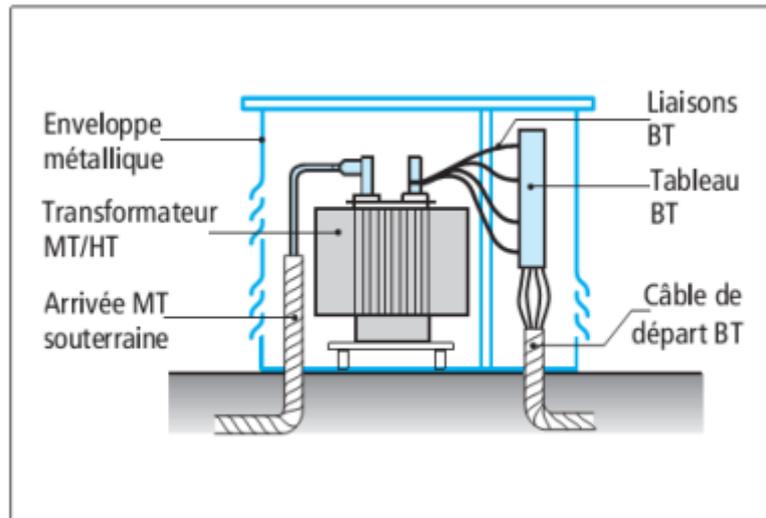
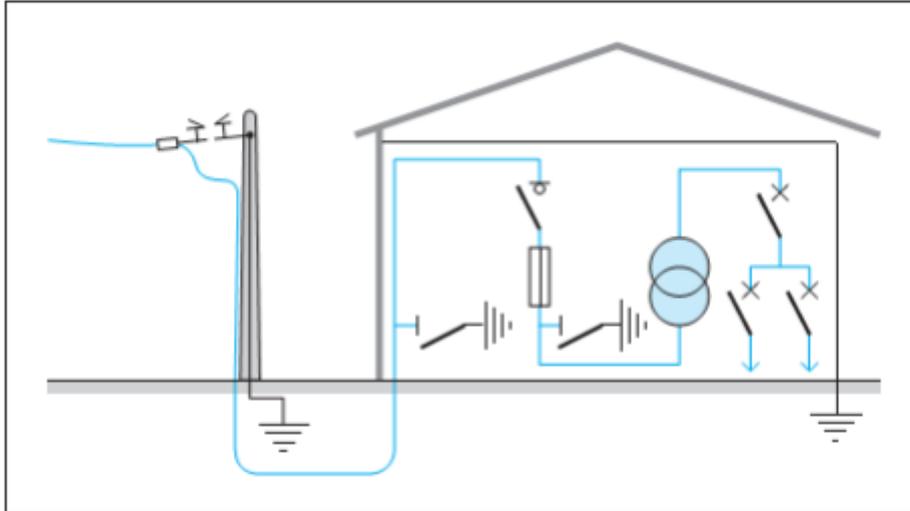


Figure I.7.b: démonstration du raccordement des câbles (arrivé-départ)

### I.4.7. Postes d'intérieur

Lorsqu'il est nécessaire de protéger l'équipement HT et BT d'un poste contre les fortes variations de température ou dans le cas de puissances élevées, l'installation d'un poste de livraison en intérieur est justifiée. On distingue deux types de postes : ceux dont l'équipement HT est placé dans une enveloppe métallique et ceux équipés d'un équipement HT sans enveloppe, également appelé "ouvert". Les postes maçonnés traditionnels sont de plus en plus remplacés par des cellules préfabriquées car ils offrent l'avantage d'une meilleure sécurité et d'une installation plus rapide.



*Figure I.8: les cellules de raccordement postent d'intérieur*

### **I.4.8. Postes avec cellules fonctionnelles**

Les postes avec cellules préfabriquées métalliques sont réalisés avec des cellules remplissant chacune une fonction.

#### **I.4.8.1. Différents types de cellules**

Il existe une multitude de cellules différentes : - cellule d'arrivée ; - cellule de protection HT ; - cellule de protection BT (fusible + interrupteur ou disjoncteur)



*Figure I.9: poste avec cellules MT au premier plan et transformateur à l'arrière*

# Chapitre I : *Généralité sur les réseaux électriques*

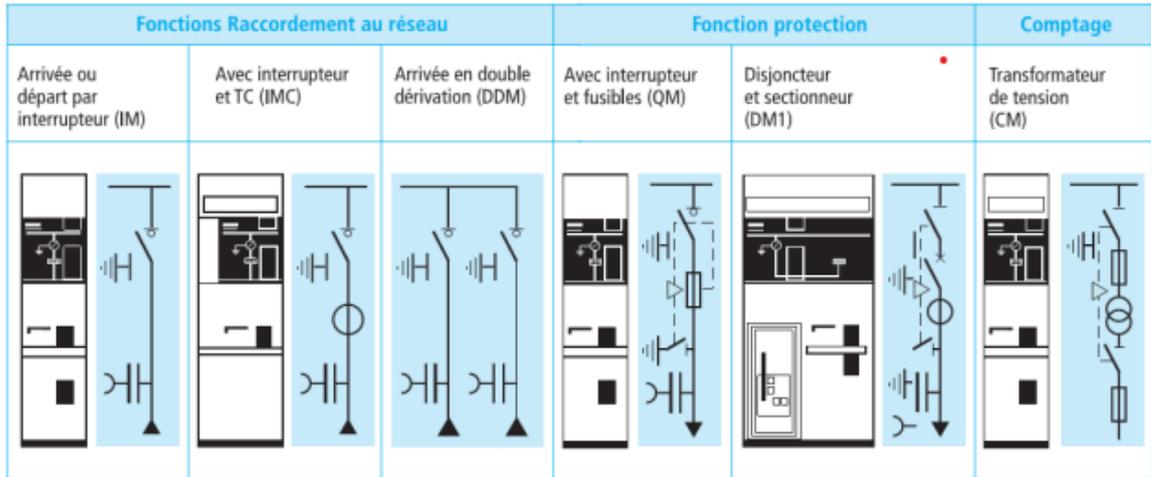


Figure I.10: différents types cellules et systèmes de protections

## I.4.8.2. Association des cellules MT

Les équipements haute tension sont divisés en cellules individuelles qui, lorsqu'elles sont combinées, permettent de créer différents schémas. Ce système modulaire offre une flexibilité considérable pour la construction de postes de répartition haute tension et de livraison.

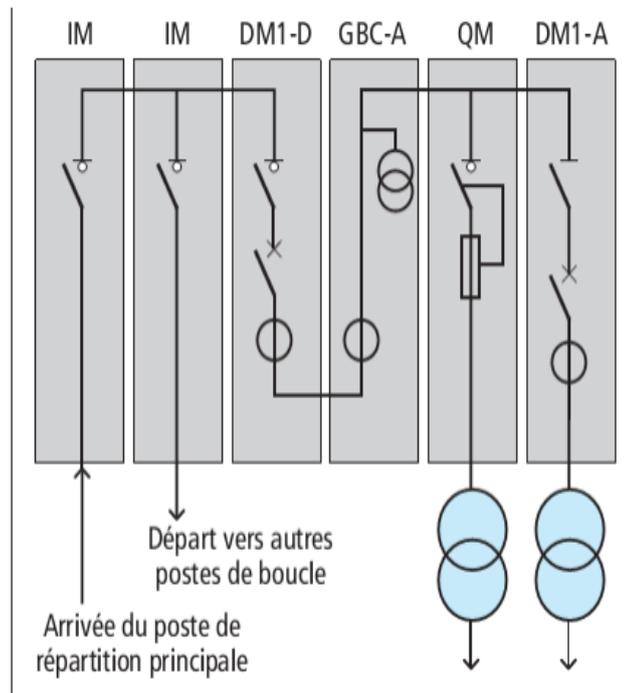


Figure I.11: système de protection dans un poste de livraison MT

# Chapitre I : *Généralité sur les réseaux électriques*

## **I.5. Conclusion**

Dans ce premier chapitre, une présentation des réseaux électriques est évoquée par des rappels sur les différents types de réseaux électriques et les différents éléments constituant les réseaux électriques (postes, lignes aériennes, les postes sur le réseaux MT et HT, les cellules, câbles souterraines, etc...). Cette initiation nous a permet d'entamer l'objectif du travail qui sera focalisé sur les postes MT/HT.

## **CHAPITRE II :**

### ***Étude du phénomène des creux de tension***

## CHAPITRE II : *Étude du phénomène des creux de tension*

### II.1. Introduction

Les chutes de tension sont largement reconnues comme le phénomène de qualité d'énergie le plus important lorsque le nombre d'interruptions de processus est considéré [12]. Il existe plusieurs définitions de ce phénomène qui ne diffèrent que par la spécification des seuils de durée et d'amplitude.

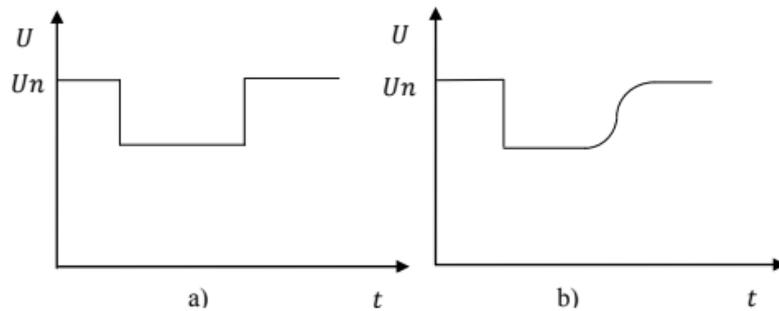
Ce chapitre passe en revue certains concepts théoriques associés aux baisses de tension tels que la caractérisation des creux, les effets des baisses, les solutions possibles aux problèmes de creux, etc...

### II.2. Définition, origine et conséquences

Un creux de tension se présente lorsque la tension résiduelle est réduite à des valeurs comprises entre 90 et 10 pour cent de la tension nominale. La durée du creux de tension est considérée comme se situant entre 10 ms à 1 minute. La majeure partie des creux de tension a une durée inférieure à 1 seconde et une tension résiduelle supérieure à 40 % de la valeur nominale.

Les creux de tension sont principalement causés par des court-circuit dans le réseau électrique ou les installations connectées, ainsi que par le démarrage de moteurs de forte puissance. Les court-circuit sont la principale cause de creux de tension et de coupures brèves. Ils entraînent des variations brusques de l'amplitude de la tension, ce qui donne aux creux de tension une forme rectangulaire dans le temps (voir figure I.2a). Les court-circuit peuvent affecter une, deux ou trois phases et entraîner des déphasages supplémentaires entre elles. Les moteurs de forte puissance, en particulier les moteurs asynchrones, peuvent également causer des creux de tension. En général, au moment de leur démarrage, le courant des moteurs atteint 5 à 6 fois le courant nominal, puis diminue progressivement lorsque la machine se rapproche de sa vitesse nominale. Cette surintensité entraîne une chute de tension qui diminue avec la diminution du courant (voir figure I.2b). Les creux de tension causés par le démarrage des moteurs de forte puissance durent généralement de quelques secondes à quelques dizaines de secondes et se caractérisent par des chutes de tension sur les trois phases. Enfin, les creux de tension peuvent également être causés par la saturation des transformateurs ou des modifications dans la structure du réseau. Cependant, ces perturbations entraînent rarement des chutes de tension importantes.

## CHAPITRE II : *Étude du phénomène des creux de tension*



a) – Cas d'un court-circuit      b) - Cas un démarrage brusque d'un moteur

*Figure II. 1 : creux de tension*

En raison de leur fréquence et de la sensibilité de nombreux appareils présents dans les réseaux industriels, les fluctuations de tension sont des phénomènes dangereux. Cependant, il est important de noter que, bien qu'ils soient beaucoup moins courants mais ils pourraient avoir des conséquences plus graves.

### **II.3. Caractérisation des creux de tension**

La caractérisation d'un événement consiste à extraire les informations pertinentes des mesures effectuées lors de cet événement et à les résumer en un seul chiffre, évitant ainsi de retenir tous les détails. Pour les creux de tension, cette caractérisation se fait généralement en prenant en compte la durée de l'événement ainsi que les valeurs moyennes, maximales et/ou minimales de la tension efficace pendant cette période (Figure II.2) [13] :

- **L'amplitude** : L'amplitude du creux de tension est conditionnée par la structure du réseau, notamment la puissance de court-circuit et par la distances entre le point de défaut et le point où est situé le client sur le réseau. Ainsi, plus la puissance de court-circuit en amont est élevée plus l'amplitude du creux de tension est faible [14].

- **Durée** : La longueur du pic de tension dépend de la durée de persistance du défaut. Ce délai dépend de la rapidité avec laquelle le défaut localisé et détecté, ainsi que de toute temporisation potentielle.

La propagation des défauts monophasés et biphasés du primaire au secondaire d'un transformateur dépend du type de couplage du transformateur. En revanche, pour les défauts triphasés, la transmission se fait sans atténuation. En ce qui concerne les creux de tension, lorsqu'ils se propagent du secondaire au primaire, ils subissent une forte atténuation.

## CHAPITRE II : *Étude du phénomène des creux de tension*

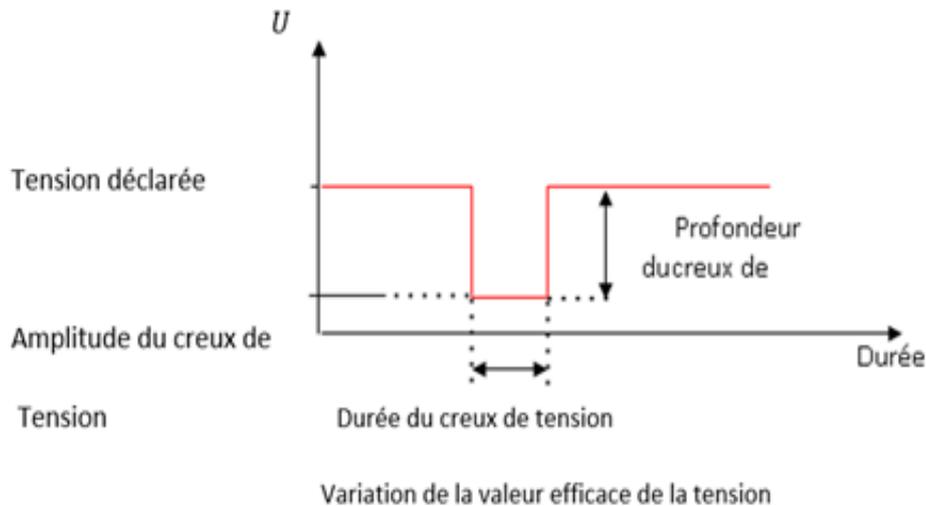


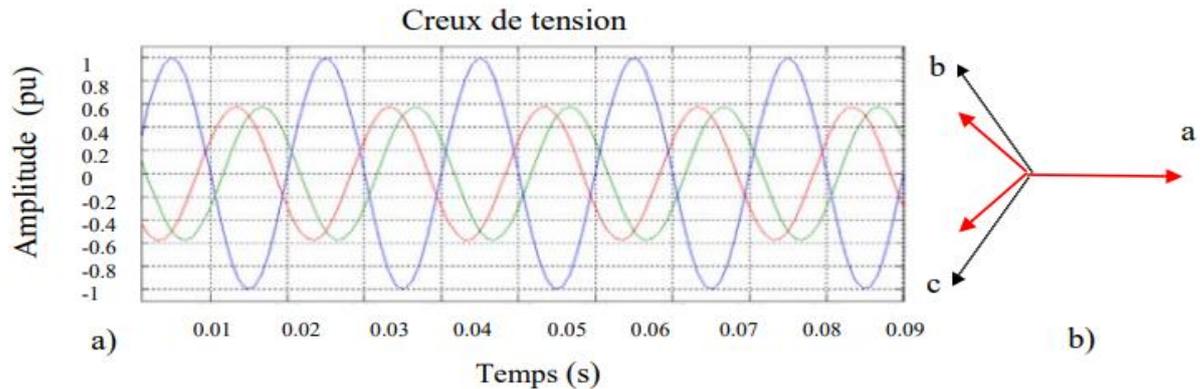
Figure II. 2 : caractéristique du creux de tension

### II.4. Représentation dans le plan complexe

Les creux de tension monophasés peuvent être identifiés en fonction de leur amplitude et de leur phase. L'amplitude des creux de tension dépend de leur proximité par rapport à la source du défaut, la nature du défaut lui-même et la capacité de court-circuit du réseau électrique. La durée d'un creux de tension est déterminée par le temps nécessaire aux dispositifs de protection du réseau ou des installations connectées pour éliminer le court-circuit.

En plus de la durée et de l'amplitude, les grilles de tension triphasées se distinguent par l'écart entre leurs tensions de phase, qui varie en fonction du type et de l'emplacement de défaut. Les pics de tension triphasés sont souvent analysés à l'aide d'un plan complexe, où les trois pics sont représentés comme des vecteurs d'amplitude et de phase également connus sous le nom de phasors. La relation de phase d'un système complexe est appelée sa signature ou type de tension creux. Par exemple, la signature montrée à la (figure II 3, a), décrit le creux de contrainte de la (figure II 3, b).

## CHAPITRE II : *Étude du phénomène des creux de tension*



a) Creux de tension

b) Signature dans le plan complexe

Figure II. 3: Représentation d'un creux de tension

### II.5. Paramètres déterminant les types de creux de tension

#### a) Types de court-circuit

Les court-circuit sont la cause principale des creux de tension. Si on excepte les différentes variantes de court-circuit entre phases et neutre, on distingue alors quatre types de court-circuit comme montré dans la figure II 4 ci-dessous : a) monophasés, b) entre deux phases et terre, c) biphasés et d) triphasés.

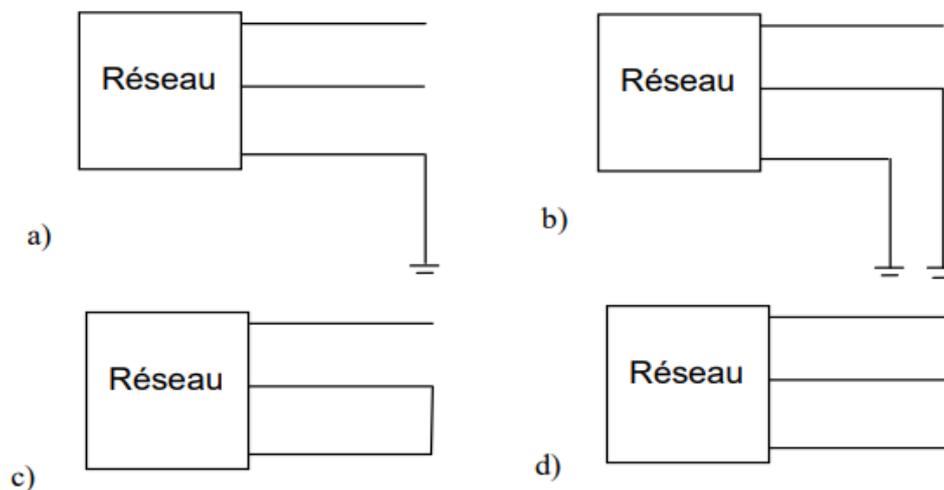


Figure II. 4 : types de court-circuit

Les creux de tension causés par les court-circuit monophasés représentent 70% des court-circuit et sont donc les plus fréquents qui se caractérisent par une chute de tension sur une des trois phases à l'endroit du court-circuit. En fonction du régime de neutre, les deux autres phases restent les mêmes ou se caractérisent par des surtensions avec déphasages.

## CHAPITRE II : *Étude du phénomène des creux de tension*

En seconde position se place les creux de tension due au CC biphasés, ces derniers représentent 15% des court-circuit et se caractérisent par des chutes de tensions et déphasages pour deux des phases à l'endroit du défaut. La phase non affectée par le défaut reste la même qu'avant le défaut.

Les creux de tension à cause d'un CC biphasés entre phase et terre représentent 10% des court-circuit. Ils sont à l'origine des chutes de tension sur deux phases à l'endroit du court-circuit avec ou sans déphasage supplémentaire. En fonction du régime de neutre, la phase saine peut rester la même ou se caractériser par une surtension.

Enfin, les creux de tension triphasés sont les creux de tension les plus sévères, mais ils ne sont pas très fréquents et ne représentent que 5% des court-circuitée. Ils se caractérisent par des chutes de tension de même amplitude sur les trois phases sans déphasages supplémentaires.

### b) Régime de neutre

L'allure des creux de tension engendrés par les CC précédents dépend également du régime de neutre du réseau électrique. On distingue en effet deux régimes de neutre principaux : neutre isolé (ou fortement impudent) et neutre relié directement à la terre (ou par une faible impédance). Afin d'illustrer ce point, considérons l'exemple simple d'un court-circuit monophasé.

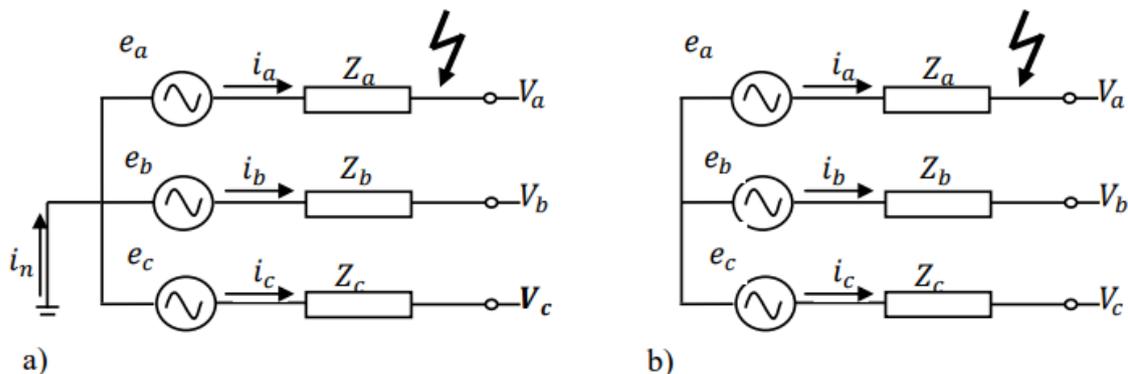


Figure II. 5: Régime de neutre

Le schéma simplifié d'un système avec neutre relié directement à la terre est présenté par la figure II 5.a.

La relation entre les courants des trois phases et le courant du conducteur de neutre est la suivante :

$$i_a + i_b + i_c = i_n \quad (2.1)$$

Envisager la possibilité qu'un court-circuit ait eu un impact sur la phase  $V_a$  tel que :

## CHAPITRE II : *Étude du phénomène des creux de tension*

$$V_a = e_a - i_a Z_a \quad (2.2)$$

Fait baisser la tension, augmentant le courant  $i_a$  dans la ligne où le défaut se produit.

Les modifications du courant de l'intervalle de phase  $i_a$  entraînent des modifications de l'intervalle de phase conducteur de neutre  $i_n$ , mais n'entraîne aucune modification des autres courants de ligne  $i_b$  et  $i_c$  (voir Eq 2.1). En conséquence, seule la tension de la phase a est modifiée par le court-circuit, tandis que les tensions des deux autres phases restent inchangées (figure II 6.a).

Le schéma d'un système avec neutre isolé est présenté en (figure 5. b.) La relation entre les courants de phase et le conducteur de neutre est donnée par :

$$i_a + i_b + i_c = 0 \quad (2.3)$$

Si la phase 'a' est affectée par un court-circuit, le courant de ligne augmente et provoque une baisse de la tension dans la phase où l'échec se produit. L'augmentation du courant 'ia' entraîne une diminution des deux autres courants  $i_b$  et  $i_c$ , ce qui provoque à son tour des tensions dans les phases b et c. (figure 6.b). Ce phénomène est amplifié par les potentiels lointains des côtés neutres de la charge et de la source.

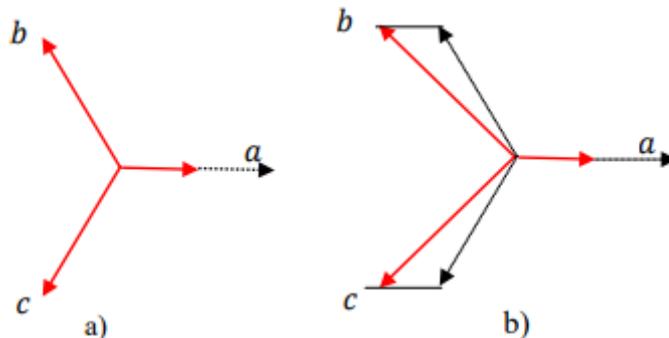


Figure II. 6: signatures des creux de tension dus à un défaut monophasé en régime de neutre

### c) L'endroit du défaut

Le type et les caractéristiques d'un creux de tension dépend également de l'origine du défaut et de la mesure de celle-ci au sein du réseau électrique. En fait, il sera possible d'observer comment les bulles de tension se propagent à travers le réseau en modifiant leurs signatures à l'aide de transformateurs.

### d) Type de mesures

Il existe deux types principaux de connexions d'équipements de mesure : entre phases et neutres ou terrestres (connexion en étoile) et entre les phases (connexion en triangle). Afin de

## CHAPITRE II : *Étude du phénomène des creux de tension*

mesurer les perturbations électriques produites par ces charges, la connexion entre les phases est généralement utilisée dans les systèmes avec des charges triangulaires.

Cependant, les mesures phase-terrai ou phase neutre sont plus appropriées dans les systèmes avec des charges connectées en étoile et en triangle.

La connexion en étoile permet d'accéder à plus de données que celle dans le triangle, comme le nombre de défauts et leur emplacement. En outre, alors que le contraire n'est pas toujours réalisable, les tensions composées peuvent être réduites aux tensions simples.

### **II.6. Les creux de tension et des coupures brèves sur le réseau du distributeur**

Les creux de tension et les coupures brèves sur le réseau du distributeur peuvent être causés par divers facteurs, tant externes qu'internes.

Les causes externes, également appelées causes exogènes, comprennent les conditions atmosphériques, qui représentent plus de 70% des cas pour les réseaux aériens. Cela peut inclure des événements tels que des tempêtes, des vents violents, des chutes de neige abondantes, des éclairs, etc. Les amorçages avec des corps étrangers, tels que la végétation qui entre en contact avec les lignes électriques, les animaux qui provoquent des court-circuit en touchant les équipements, les percussions de véhicules ou les travaux de terrassement peuvent également causer des creux de tension et des coupures brèves. De plus, les actes de malveillance, tels que le vandalisme ou les sabotages intentionnels, peuvent également être une cause externe de ces incidents.

Les causes internes, également appelées causes endogènes, sont principalement liées aux défaillances de matériel sur le réseau du distributeur. Cela peut inclure des problèmes tels que des défauts dans les lignes électriques, les câbles souterrains, les transformateurs, les disjoncteurs, etc. Les défaillances de ces équipements peuvent entraîner des creux de tension ou des coupures brèves dans le réseau [15].

Les défauts viennent sous différentes formes :

- 1). Monophasés, biphasés ou triphasés suivant le nombre de phases atteintes :
  - Monophasé quand une seule phase est affectée et sa tension est réduite
  - Biphasés quand deux phases sont affectées par un creux la troisième restante sainetriphasés quand les trois phases sont affectées simultanément.
- 2). Auto-extincteurs, fugitifs ou permanents suivant leur durée :
  - Auto-extincteurs : défauts qui s'éliminent d'eux-mêmes
  - Fugitifs : défauts qui s'éliminent après ouverture des disjoncteurs

## CHAPITRE II : *Étude du phénomène des creux de tension*

- Permanents : défauts durables qui nécessitent une mise hors tension définitive de l'ouvrage et une intervention de maintenance pour remettre l'ouvrage en service.

### **II.7. Analyse des Causes et Solutions des pics de tension chez les clients HTB**

Les pics de tension éprouvés par un client connecté au réseau de distribution sont causés par des défauts dans le réseau de transport, les réseaux internes de ces clients et le niveau de stress lui-même. Quelques instances de construction de tension qui ont été découvertes dans HTA pourraient être au niveau des transformateurs post-source ou du jeu de barres.

Pour les clients HTB, il y a généralement moins de 2 séparations par an. La longueur moyenne des ondes de tension est comprise entre 80 et 500ms.

### **II.8. Analyse des Perturbations de Tension dans les Réseaux de Distribution Clients HTA et BT**

Les creux de tension et les coupures d'un client connecté à HTA sont causés par des défaillances dans les réseaux de transport, de distribution et de partage. Les pics de tension et les déconnexions éprouvées par les clients connectés à BT sont liés, d'une part, à des défauts dans les réseaux de transport, de distribution et HTA, et, de l'autre, aux défaillances des réseaux internes des clients.

Il est important de noter que, en raison de la nature du raccordement de leur transformateur, les défauts monophasés souvent générés sur le réseau de distribution HTA ne conduisent pas à une tension accrue entre les clients connectés à proximité.

Le nombre moyen de points de décharge de tension et d'arrêts brusques dépend du type de départ à partir duquel le client est situé (aérien ou souterrain), de la longueur des lignes et du nombre de départs par poste source alignés avec le même ensemble de barrières. Les lignes avec les clients les plus en colère sont celles qui sont longues ou qui sont alignées avec un jeu de barres avec un grand nombre de départs (près de 2 à 5 fois plus que des lignes souterraines).

- La durée moyenne des coupures courtes est inférieure à 30s.
- La durée moyenne des ondes de tension est inférieure à 600 ms, et leur amplitude est inférieur à 50%.

### **II.9. Les creux de tension et coupures brèves liés à des phénomènes qui se produisent chez le client**

Les creux de tension sont causés également par des phénomènes qui prennent naissance sur le réseau des clients soit dans l'installation d'un client voisin situé sur le même départ ou

## CHAPITRE II : *Étude du phénomène des creux de tension*

dépendant du même jeu de barres, ils sont très rarement perceptibles par les clients raccordés au niveau de tension supérieure.

Ils répondent à des exigences courantes importantes, entraînant des pics de tension liés à :

- Le démarrage direct des grands moteurs ;
- La réduction des charges importantes.
- L'accrochage de charges spécifiques (telles que les transformateurs et les condensateurs)
- Les défauts d'isolation se développant sur une partie de la plante.

La relation entre la puissance de court-circuit disponible à l'endroit où cet impact se produit et la force de charge serrée détermine la taille du creux de tension, Moins de tension est nécessaire lorsque la relation devient plus forte.

### **II.10. Impact des creux de tension et des coupures brèves sur les équipements industriels**

Certaines installations industrielles peuvent avoir des perturbations de fonctionnement en raison de fissures de stress et de court-circuit. Les effets techniques varient selon l'équipement et sont influencés par le type de charge du système.

Certains effets surviennent immédiatement ou rapidement. Il convient de rappeler qu'ils sont principalement produits au niveau de :

- Des contacteurs et relais thermiques : les creux de tension provoquent des manœuvres intempestives des contacteurs et relais.
- Des convertisseurs : défauts de commutation des onduleurs.
- Des systèmes électroniques analogiques ou numériques : défauts de fonctionnement ou erreurs d'exécution de calculs informatiques

D'autres effets sont à action différente, principalement au niveau des moteurs. En fait, la reprise du stress, qui est la phase finale de toutes les ondes de tension, peut conduire à une augmentation de l'intensité des machines rotatives, ce qui entraîne une brève surchauffe électrodynamique et une fatigue qui pourraient avoir des conséquences à long terme pour l'équipement. Les effets mentionnés ci-dessus deviennent perceptibles après que la profondeur de la fissure de stress atteigne un point particulier.

Enfin, les effets des pics de stress et des courts chocs électriques peuvent occasionnellement être économiques. Ces perturbations pourraient entraîner une perte ou une altération de la production, une détérioration de l'outil de production et un retard dans la mise en service de cet outil.

## CHAPITRE II : *Étude du phénomène des creux de tension*

### **II.11. Effets des creux de tension sur les autres éléments habituels d'une installation industrielle**

Les effets de dégradation de tension sur les machines synchrones sont analogues à ceux mentionnés dans le contexte des machines à induction. (Variation du couple électromagnétique et de la vitesse mécanique). Cependant, parce que le couplage n'est pas lié au carré de la tension d'alimentation et parce qu'ils ont souvent une puissance de sortie élevée, les machines synchrones peuvent tolérer des niveaux de tension plus élevés que les machines d'induction (dans l'ordre de 50% sans dégradation). Cependant, en cas de détachement, le moteur s'arrête et la procédure de démarrage longue et complexe doit être répétée,

- Les organes de commande et de protection (contacteurs, disjoncteurs équipés de bobines à manque de tension...) :

Ils peuvent être sensibles aux fissures de tension dont la profondeur dépasse 25%. En fait, avec un contacteur traditionnel, il y a une valeur minimale (retombée tension) en dessous de laquelle les pôles se séparent, transformant une courte coupe ou une fissure en une longue coupe qui dure jusqu'à plusieurs heures.

L'équipement informatique est sensible à 10% et plus de profondeurs de fissures de tension. En conséquence, les programmes en cours d'exécution peuvent avoir des dysfonctionnements en raison de pics de tension dont les caractéristiques sont en dehors de cette zone de tolérance. Ces pics peuvent entraîner des pertes de données et des erreurs de transmission.

- Dispositifs électroniques de régulation :

Ces appareils sont conçus pour supporter une gamme de variations de leur tension d'alimentation. Cependant, un changement de tension provoque un échec dans leur fonctionnement après un certain temps.

### **II.12. Solutions face aux creux de tension et aux coupures**

#### **II.12.1. Solutions de désensibilisations face aux creux et aux coupures provenant du réseau du distributeur**

Un manque d'isolation entraîne un circuit où un courant important s'échappe, provoquant un changement de tension. Le risque pour les personnes et la propriété résulte des valeurs élevées que peuvent atteindre les courants défectueux.

- Afin de réduire les effets à long terme de ces courants de défauts, une technique fréquemment utilisée par les distributeurs implique de mettre hors de commission le

## CHAPITRE II : *Étude du phénomène des creux de tension*

composant défectueux en activant le disjoncteur ou les disconnecteurs qui le relie au reste du réseau.

- Pour les réseaux aéronautiques, un système d'automatisation de reconnexion intégré au système de détection et d'élimination des défaillances a été installé pour assurer le retour au service le plus rapidement possible.

Le principe d'élimination des défauts et de retour au service varie en fonction du niveau de tension :

- Sur le réseau de distribution BT il y a mise hors tension définitive des ouvrages en défauts par fonctionnement de la protection (disjoncteur ou fusible situé au poste de distribution public).

- Sur le réseau de distribution HTA les départs aériens sont équipés d'un disjoncteur associé à un dispositif de réenclenchement triphasé rapide et lent. En cas de défaut, il y a une séquence d'ouvertures et de fermetures du disjoncteur en tête de départ. Les départs souterrains sont équipés uniquement d'un disjoncteur sans dispositif de réenclenchement. En cas de défaut, le disjoncteur est ouvert définitivement, du fait que les défauts sont généralement permanents.

- Sur les réseaux HTB le principe d'élimination des défauts est basé essentiellement sur l'utilisation de protections de distance, qui permettent d'assurer une sélectivité dans le déclenchement des disjoncteurs, en fonction de la localisation du défaut. Sur les réseaux aériens, afin d'assurer une reprise de service, ce système de protection est associé à un système de réenclenchement automatique.

- Des appareils électroniques modernes à haute puissance, tels que les DVR, sont ajoutés à ces dispositifs de désensibilisation. (Direct Voltage Restorer). Ces derniers permettent une insensibilité complète à un creux d'origine amont en faisant descendre l'injection de puissance active et réactive dans le réseau client. Il est également nécessaire de distinguer entre ces systèmes d'alimentation en énergie ininterrompue qui ne protègent qu'une petite partie de l'installation.

### **II.12.2. Solutions de désensibilisations face aux creux et aux coupures générés par l'installation d'un client**

Le client est responsable de prendre soin d'éviter de perturber le réseau et les autres clients. En fait, ses propres installations peuvent causer des problèmes pour d'autres clients ainsi que pour le réseau dans son ensemble.

## CHAPITRE II : *Étude du phénomène des creux de tension*

En augmentant le niveau de puissance du circuit de court disponible à leur point de raccordement, les chutes de tension causées par l'équipement d'un client sont réduites. Les charges du client, qui sont la cause de la baisse de tension, ne doivent être comptabilisées que le plus tôt possible sur le réseau du distributeur. En outre, quelques actions sporadiques peuvent être utilisées, en particulier pour protéger contre les chutes de tension causées par le démarrage du moteur :

- Installer un système de démarrage pour limiter les appels actuels.
- Installer d'un compensateur d'énergie réactive statique pour compenser la demande de démarrage en énergie réactive. Cependant, cette approche coûtera cher à long terme.
- Solutions efficaces chez les clients pour se protéger contre les creux de tension et les coupures brèves.

Bien qu'il soit toujours préférable d'être préoccupé par l'impact potentiel des fissures de tension et des coupures de courte durée sur l'installation pendant la phase de conception, le problème se pose le plus fréquemment pendant la période d'exploitation. C'est le but de l'action de la désensibilisation. Deux types de solutions peuvent être mises en place pour limiter les effets des creux de tension et des coupures brèves :

- La première étape consiste à comparer la consommation d'énergie d'un dispositif positionné entre le réseau et l'installation pour désensibiliser. Les équipements utilisés comprennent des groupes volant sans interruption (ASI) et des aliments sans interrompre (ASI). (GVI)...
- La deuxième étape consiste à augmenter l'immunité de l'installation. Pour les moteurs et équipements à vitesse variable, des actions ponctuelles sont suggérées.

Lorsque vous essayez de désactiver une installation industrielle, il y a deux fonctions distinctes à noter :

- La fonction contrôle-commande et son alimentation : En général, la désactivation de la commande de contrôle est nécessaire pour assurer une bonne continuité opérationnelle. Une source de réserve d'énergie qui fonctionne à faibles niveaux de puissance et est relativement bon marché est souvent la solution.
- La fonction de l'alimentation en puissance des équipements.

Le secteur de l'électricité peut exploiter le temps libre des machines comme une réserve d'énergie, bien que les solutions radicales soient plus chères étant donné les niveaux de puissance à désensibiliser.

La désensibilisation peut se produire à trois niveaux différents :

## CHAPITRE II : *Étude du phénomène des creux de tension*

1. Arriver à un arrêt propre avec possibilité de redémarrage automatique
2. Faites une reprise au volant. Il est important de confirmer à l'avance que les conditions d'un éventuel recours, en particulier pour l'affaire connexe, ont été remplies.
3. Immunisez toute la force motrice. Il est donc nécessaire de mettre en place un dispositif de réserve d'énergie.

### **II.13. Conclusion**

En conclusion de ce chapitre consacré à l'étude du phénomène des creux de tension, nous pouvons affirmer que ces perturbations du réseau électrique représentent un défi majeur pour la stabilité et la fiabilité de l'alimentation en énergie. Les creux de tension se manifestent par une diminution transitoire de la tension électrique, pouvant entraîner des conséquences néfastes sur les équipements sensibles.

## ***CHAPITRE III :***

# ***Modélisation et Simulation d'un Réseau Industriel***

### **III.1. Introduction**

Les réseaux électriques industriels sont le prolongement naturel du réseau du distributeur auquel ils se raccordent, pour assurer l'alimentation en énergie électrique des sites industriels. Ces réseaux qui permettent d'établir des liaisons entre les machines sont généralement équipés par des capteurs, des automates programmables, des ordinateurs et d'autres appareils utilisés afin de faciliter le transfert d'informations en temps réel, la collecte de données, la surveillance des opérations, la gestion des ressources et la coordination des tâches.

### **III.2. Modélisation du réseau**

#### **III.2.1. Schéma unifilaire**

Le schéma unifilaire utilise les symboles de tous les composants du circuit. Ils sont reliés par une seule ligne, quel que soit le nombre de conducteurs réellement utilisés. Le schéma unifilaire ressemble au schéma fonctionnel sauf que les symboles des composants y remplacent les rectangles descriptifs d'une tâche. Ce type de schéma, quoique plus évolué que le type fonctionnel, demeure incomplet. Les symboles donnent une idée de la nature des composants qui serviront à réaliser les tâches spécifiques, mais la définition de leurs branchements reste inachevée.

L'avantage du schéma unifilaire est :

- La simplicité de lecture qu'il offre, car seulement quelques connexions y sont dessinées. Il peut parfois vous éviter la confusion d'un circuit complexe comprenant plusieurs conducteurs.
- Très répandu dans le domaine de la construction, le schéma unifilaire reste d'une utilité plutôt limitée en milieu industriel.

Le schéma unifilaire de la figure suivante montre clairement l'essentiel du circuit, un seul conducteur pour indiquer le circuit de puissance, relie l'alimentation triphasée au moteur. Ce type de schéma est très facile à reconnaître par ses connexions inachevées [16].

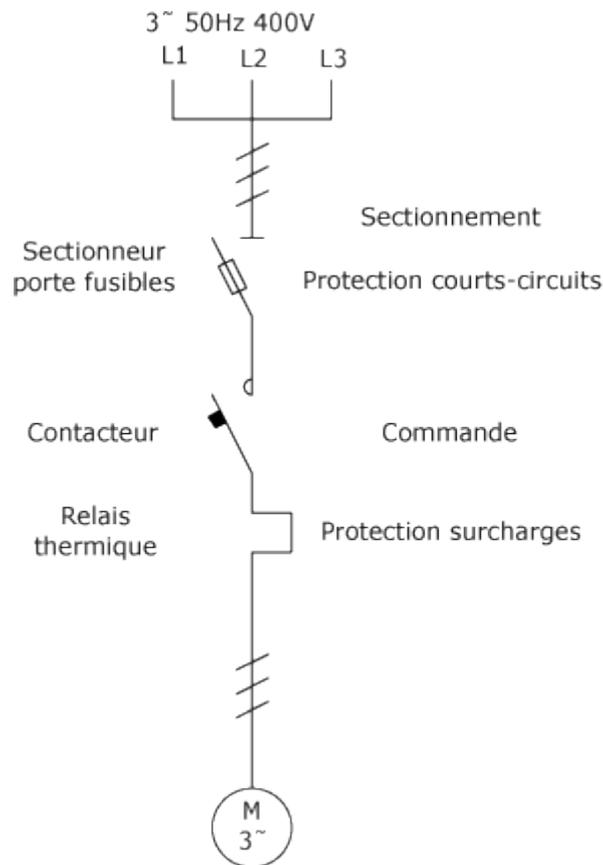


Figure III. 1 : Schéma unifilaire d'un circuit de puissance

### III.2.2. Niveau de tension

#### III.2.2.1. HTB

La Haute Tension (HT) est une catégorie de tension électrique utilisée dans les réseaux de distribution électrique pour le transport de l'électricité sur de longues distances depuis les centrales électriques jusqu'aux postes de distribution.

En ce qui concerne la Haute Tension B (HTB), il s'agit d'une sous-catégorie spécifique de la Haute Tension qui est utilisée dans certains systèmes électriques. La HTB est généralement utilisée pour désigner une tension inférieure à la tension nominale de la Haute Tension, mais supérieure à la Basse Tension.

La tension nominale de la HTB peut varier en fonction des réglementations et des normes électriques spécifiques à chaque pays. En Algérie, par exemple, la HTB peut faire référence à une tension située entre la Haute Tension (HT) et la Basse Tension (BT). La HTB peut avoir une tension nominale de 30kV (kilovolts) ou 60kV, selon les spécifications du réseau électrique.

## CHAPITRE III : Modélisation et simulation d'un réseau industriel

La HTB est utilisée pour le transport de l'électricité sur des distances plus courtes que la Haute Tension, souvent dans des zones régionales ou locales. Elle est généralement distribuée à partir de postes de transformation de la HT vers des postes de distribution locaux, où la tension est ensuite abaissée à la Basse Tension pour la distribution finale aux utilisateurs [17].

### III.2.2.2 MT

Le terme "moyenne tension" (MT) est habituellement utilisé pour désigner les réseaux de distribution de tensions supérieures à 1kV et allant généralement jusqu'à 52kV.

### III.2.3. Le transformateur

Un transformateur électrique est un convertisseur qui permet de modifier les valeurs de la tension et de l'intensité du courant délivrées par une source d'énergie électrique alternative en un système de tension et de courant de valeurs différentes mais de même fréquence et de même forme. Il effectue cette transformation avec un excellent rendement. Il est analogue à un engrenage en mécanique (le couple sur chacune des roues dentées étant l'analogue de la tension et la vitesse de rotation étant l'analogue du courant), on distingue les transformateurs statiques et les commutatrices.

Dans un transformateur statique, l'énergie est transférée du primaire au secondaire par l'intermédiaire du circuit magnétique que constitue la carcasse du transformateur. Ces deux circuits sont alors magnétiquement couplés. Ceci permet de réaliser un isolement galvanique entre les deux circuits. Dans une commutatrice, l'énergie est transmise de manière mécanique entre une génératrice et un moteur électrique [18, 19].

#### III.3.2.1. Les équations de la modélisation

- Essai à vide :

$$P_{10} = P_{fer} = \frac{3 \cdot V^2}{R_f} \quad (3.1)$$

$$Q_{10} = \frac{3 \cdot V^2}{L_m \cdot \omega} \quad (3.2)$$

- Essai en court-circuit :

$$P_{CC} = P_J = 3 \cdot R_S \cdot I_{2CC}^2 \quad (3.3)$$

$$Z_S = \sqrt{(R_S^2 + X_S^2)} \quad (3.4)$$

$$Z_S = \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{V_{1CC}}{I_{2CC}} \quad (3.5)$$

#### Le rapport de transformation

$$m_i = U_2 / U_1 \quad (3.6)$$

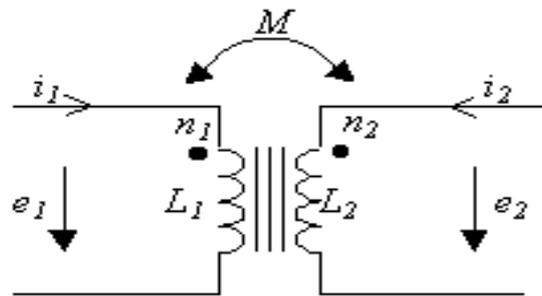


Figure III. 2: schéma d'un transformateur

#### III.2.4. Jeu de barres

Un jeu de barres (ou barre de jeu) est un élément utilisé dans les installations électriques pour la distribution de l'électricité. Il est composé de conducteurs métalliques, généralement en cuivre ou en aluminium, assemblés de manière à former un réseau de barres parallèles. Les barres sont montées dans un coffret ou un panneau et sont utilisées pour acheminer l'électricité entre les différents équipements électriques tels que les disjoncteurs, les transformateurs, les interrupteurs, etc.

Les jeux de barres offrent plusieurs avantages par rapport aux câbles traditionnels pour la distribution de l'électricité. Ils permettent une meilleure gestion de l'espace, car ils prennent moins de place que des câbles multiples. De plus, ils offrent une meilleure dissipation de la chaleur, ce qui réduit les risques de surchauffe. Les jeux de barres facilitent également la maintenance et les modifications du système électrique, car il est plus facile d'ajouter ou de retirer des connexions [20].

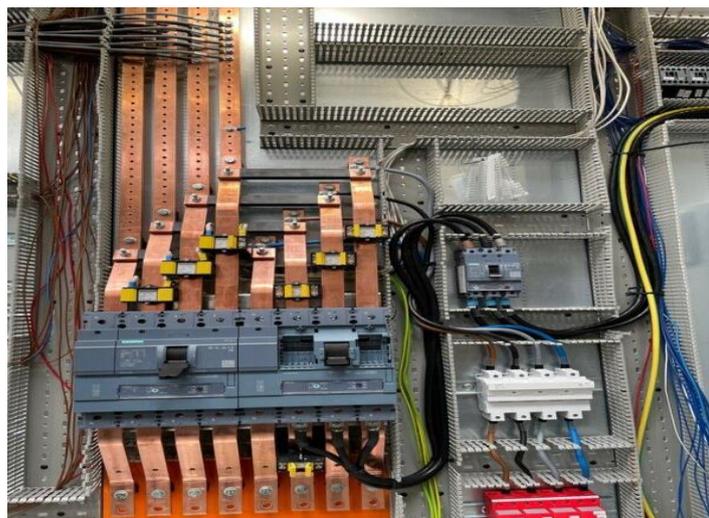


Figure III. 3: jeu de barres

### **III.2.5. Principe du choix de la section des câbles**

Dans une installation électrique, les sections des câbles et leurs protections doivent satisfaire plusieurs conditions exigées par la norme NFC 15-100 100 [21] afin d'assurer la sécurité de l'installation.

Les câbles doivent :

- Supporter le courant maximal d'emploi en permanence et ses pointes transitoires.
- Les chutes de tension générées ne dépassent pas les valeurs admissibles.

Les dispositifs de protections doivent :

- Protéger le câble contre toutes les surintensités jusqu'au courant de court-circuit.
- Assurer la protection des personnes contre les contacts indirects

Les équations de calcul de la section d'un câble dépendent de plusieurs facteurs, notamment de la nature du matériau utilisé, de la puissance électrique transportée, de la tension nominale et des critères de sécurité.

### III.2.6. Chute de tension

Dans un circuit électrique, une chute de tension se produit normalement lorsqu'un courant traverse le câble. Elle est liée à la résistance ou à l'impédance du flux de courant avec des éléments passifs dans les circuits, y compris les câbles, les contacts et les connecteurs affectant le niveau de chute de tension. Plus le circuit ou la longueur du câble sont longs, plus la perte de tension est importante. L'impact d'une chute de tension peut causer les problèmes suivants : un moteur qui tourne lentement, un radiateur qui ne chauffe pas à son potentiel réel, une lumière qui est atténuée. Pour compenser la chute de tension, on peut utiliser des câbles de plus grande section, qui offrent moins de résistance/impédance au flux de courant.

La chute de tension peut être calculée à partir de la formule suivante :

$$Vd = mV/A/m \times I \times Ib \div 1000 \quad (3.7)$$

Où :

$mV/A/m$  = la chute de tension par mètre par ampère

$I$  = la longueur du conducteur du circuit

$Ib$  = le courant nominal

La deuxième formule :

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi) \cdot L \cdot I \quad (3.8)$$

La norme NFC 15-100 : La chute de tension admissible pour les installations basse tension alimentées directement par un réseau public de distribution basse tension est de 3% pour l'éclairage et de 5% pour toutes autres utilisations.

### III.2.7. Moteur asynchrone

La machine asynchrone, connue également sous le terme " anglo-saxon " de machine à induction, est une machine à courant alternatif sans connexion entre le stator et le rotor. Le terme asynchrone provient du fait que la vitesse de ces machines n'est pas forcément proportionnelle à la fréquence des courants qui la traversent.

La machine asynchrone a longtemps été fortement concurrencée par la machine synchrone dans les domaines de forte puissance, jusqu'à l'avènement de l'électronique de puissance. On les retrouve aujourd'hui dans de nombreuses applications, notamment dans le transport (métro, trains, propulsion des navires), de l'industrie (machines-outils), dans l'électroménager. Elles étaient à l'origine uniquement utilisées en moteur mais, toujours grâce à l'électronique de puissance, sont de plus en plus souvent utilisées en génératrice. C'est par exemple le cas dans les éoliennes.

## CHAPITRE III : Modélisation et simulation d'un réseau industriel

Pour fonctionner en courant monophasé, ces machines nécessitent un système de démarrage. Pour les applications de puissance, au-delà de quelques kilowatts, les moteurs asynchrones sont uniquement alimentés par des systèmes de courants triphasés.

$$[V_S] = [R_S][I_S] + \frac{d}{dt}[\varphi_S] \quad (3.9)$$

$[V_S]$  : la matrice de résistance par phase du stator.

### III.2.8. Le disjoncteur de basse tension

Le disjoncteur de basse tension est un dispositif de protection électrique utilisé pour couper le courant en cas de surcharge ou de court-circuit dans un réseau électrique basse tension. Il est installé dans le tableau de distribution et vise à protéger les circuits et les équipements contre les dommages et les risques d'incendie. Doté de fonctionnalités avancées, il détecte automatiquement les anomalies et interrompt le circuit pour prévenir les dégâts. Disponible en différentes capacités, le disjoncteur de basse tension est utilisé dans les applications résidentielles, commerciales et industrielles pour garantir la sécurité électrique.



Figure III. 4: disjoncteur de basse tension

### III.3. Le logiciel ETAP

#### III.3.1. Présentation

ETAP (Electrical Transient Analyser Program) est la plate-forme d'analyse la plus complète pour la conception, la simulation, le fonctionnement et l'automatisation des systèmes de production, de distribution et d'énergie industrielle. ETAP est développé dans le cadre d'un programme d'assurance qualité établi et est utilisé dans le monde entier comme un

## CHAPITRE III : Modélisation et simulation d'un réseau industriel

logiciel à fort impact [22]. ETAP est complètement localisé en quatre langues avec des rapports de sortie traduits en six langues.

En tant que solution d'entreprise entièrement intégrée, ETAP s'étend à un système de gestion d'énergie intelligent en temps réel pour surveiller, contrôler, automatiser, simuler et optimiser le fonctionnement des systèmes d'alimentation.

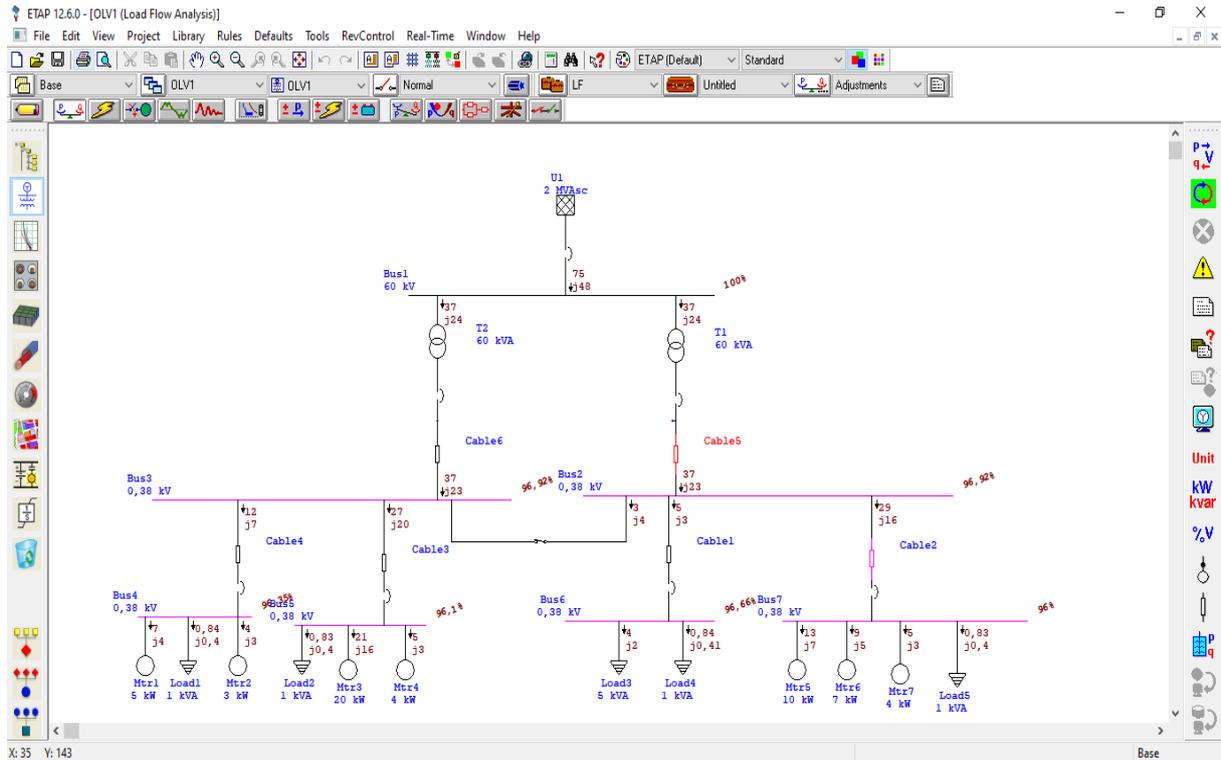


Figure III. 5: capture sur un schéma électrique dans le logiciel

### III.3.2. Barre de menu

La barre de menus contient une liste complète des options de menu. Chaque option active une liste déroulante de commandes telles que Opérations sur les fichiers, Impression, Conversions de base de données, Echange de données, Objets OLE, Normes de projet, Paramètres de projet et Options de projet, Bibliothèques, Valeurs par défaut, Polices d'annotation, Base et Révision.



Figure III. 6 : barre de menu

## CHAPITRE III : Modélisation et simulation d'un réseau industriel

### III.3.3. Barre d'outils du projet

La barre d'outils Projet contient des boutons qui fournissent des raccourcis pour de nombreuses fonctions couramment utilisées. Ces fonctions sont : Créer des projets, Ouvrir des projets, Enregistrer des projets, Imprimer, Aperçu avant impression, Couper, Copier, Coller, Zoom panoramique, Annuler, Rétablir, Zone de texte, Affichage grille, Vérification de continuité, Thèmes, Obtenir un modèle, Ajouter au modèle OLV, Lien hypertexte, calculateur de puissance, recherche et aide.



Figure III. 7: barre d'outils du projet



Figure III. 8: modes d'étude

### III.3.4. Barres d'outils modifier

Les barres d'outils modifier sont actives lorsque dans le mode d'édition. Dans ce mode on peut sélectionner, glisser-déposer des éléments CA, CC et d'instrument sur les diagrammes à une ligne. En outre, d'autres fonctions sont accessible tel que :

- Afficher et imprimer des rapports de sortie personnalisables (Rapports texte et Crystal) ;
- Modifier les options d'affichage ;
- Gestionnaire de rapports du calendrier d'accès ;
- Ajout de nouveaux systèmes de grille au sol ;
- Ajouter des réseaux composites et des moteurs composites ;

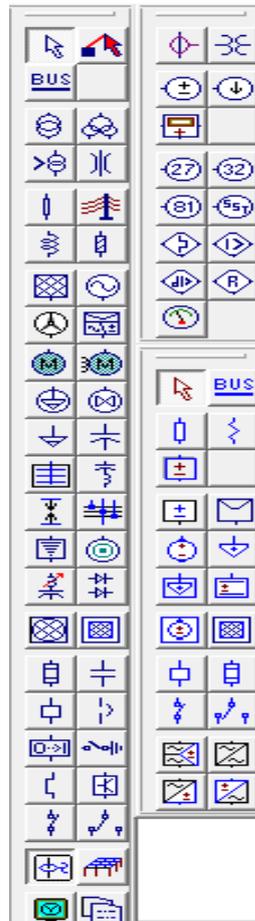
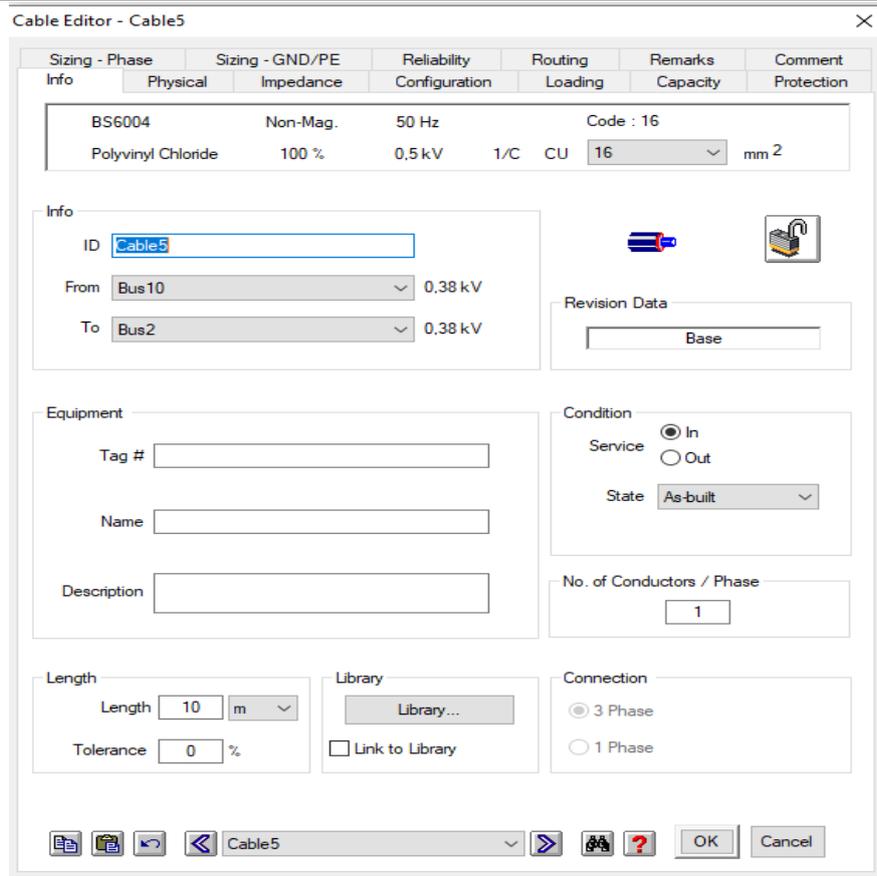


Figure III. 9: les barres d'outils

Les données contenues dans un élément de l'OLD peuvent être consultées en ouvrant son éditeur. Par exemple, un double-clic sur Cable1 ouvre l'éditeur de câble. Les données peuvent être saisies manuellement dans les champs avec un fond blanc uniquement.

# CHAPITRE III : Modélisation et simulation d'un réseau industriel



F  
igur  
e  
III.  
10:  
L'éd  
iteur  
de  
câbl  
e

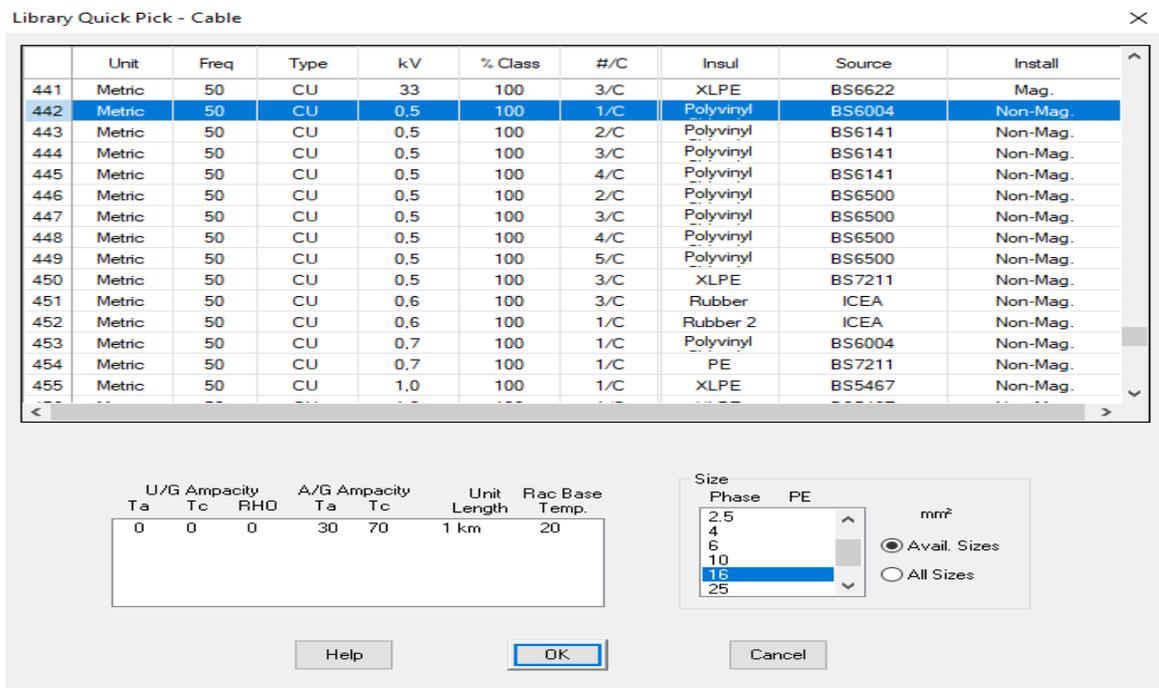


Figure III. 11 : bibliothèques câble de sélection rapide

## CHAPITRE III : Modélisation et simulation d'un réseau industriel

Créer un diagramme d'une ligne dans ETAP est rapide et facile.

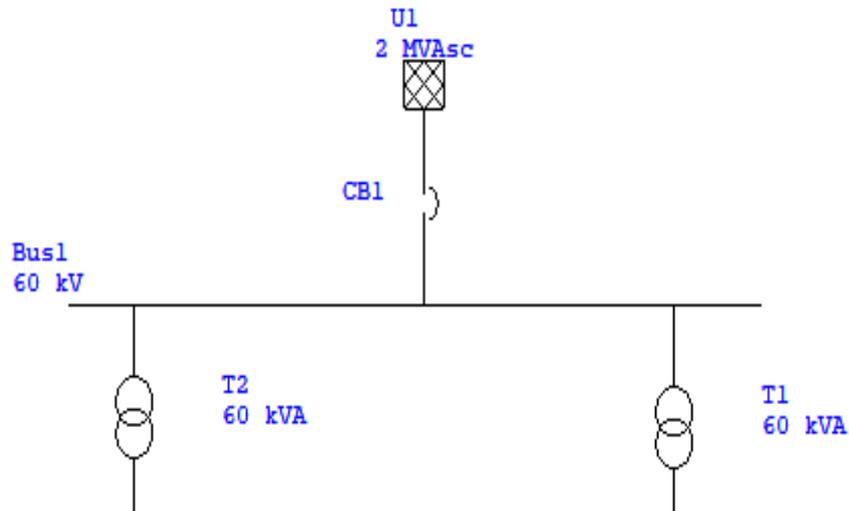


Figure III. 12: Exemple d'un diagramme sur ETAP

Les résultats de l'étude peuvent être consultés sur l'OLD. Les informations affichées sur ce dernier peuvent être modifiées dans les options d'affichage. Pour des résultats encore plus détaillés, les rapports de sortie peuvent être visualisés.

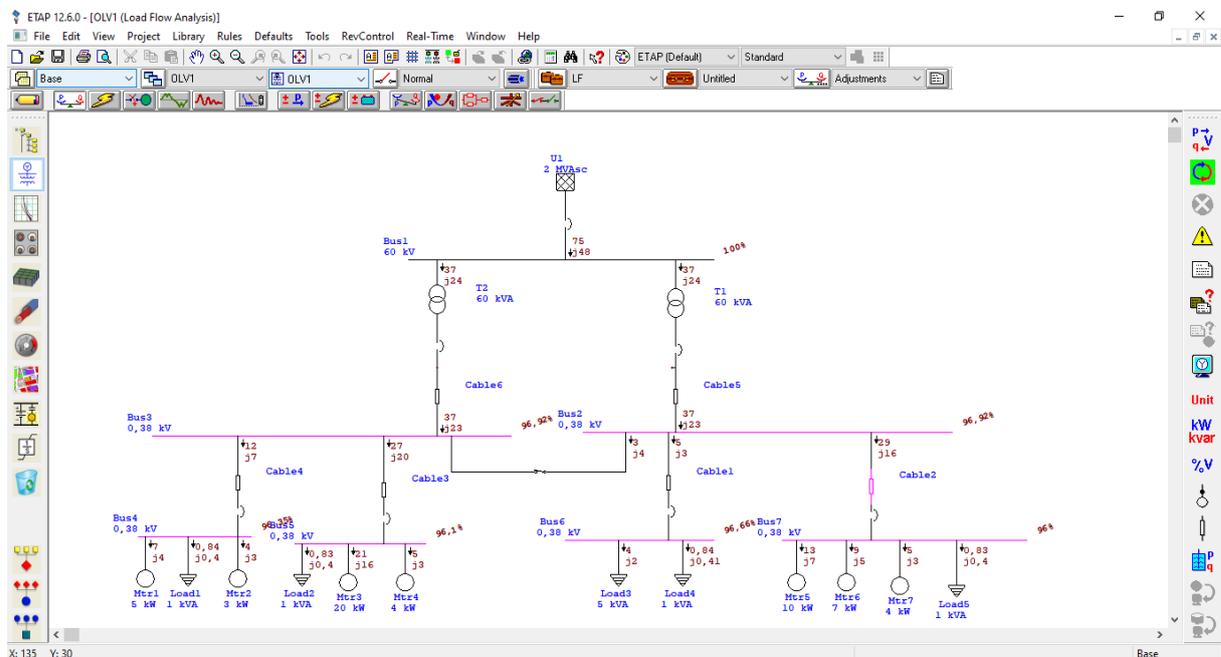


Figure III. 13: Analyse de l'écoulement de puissance

## CHAPITRE III : Modélisation et simulation d'un réseau industriel

A partir des données du tableau III.1, nous avons élaborer le diagramme du réseau industriel dans le logiciel comme montré dans la figure III.14 ci-dessous :

<b>Moteur</b>	N°	1	2	3	4	5	6	7
	Puissance (kW)	5	3	20	4	10	7	4
<b>BUS</b>	N°	1	2	3	4	5	6	7
	Volte (kV)	60	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
<b>Câble</b>	N°	1	2	3	4	5	6	
	Section (mm <sup>2</sup> )	6	10	16	10	16	16	
<b>Charge statique</b>	N°	1	2	3	4	5		
	Puissance (kVa)	1	1	5	1	1		
<b>Transfo</b>	1	2						
	60 kV	60 kV						

Tableau 1 : tableau des domaines schéma réseau industrielle

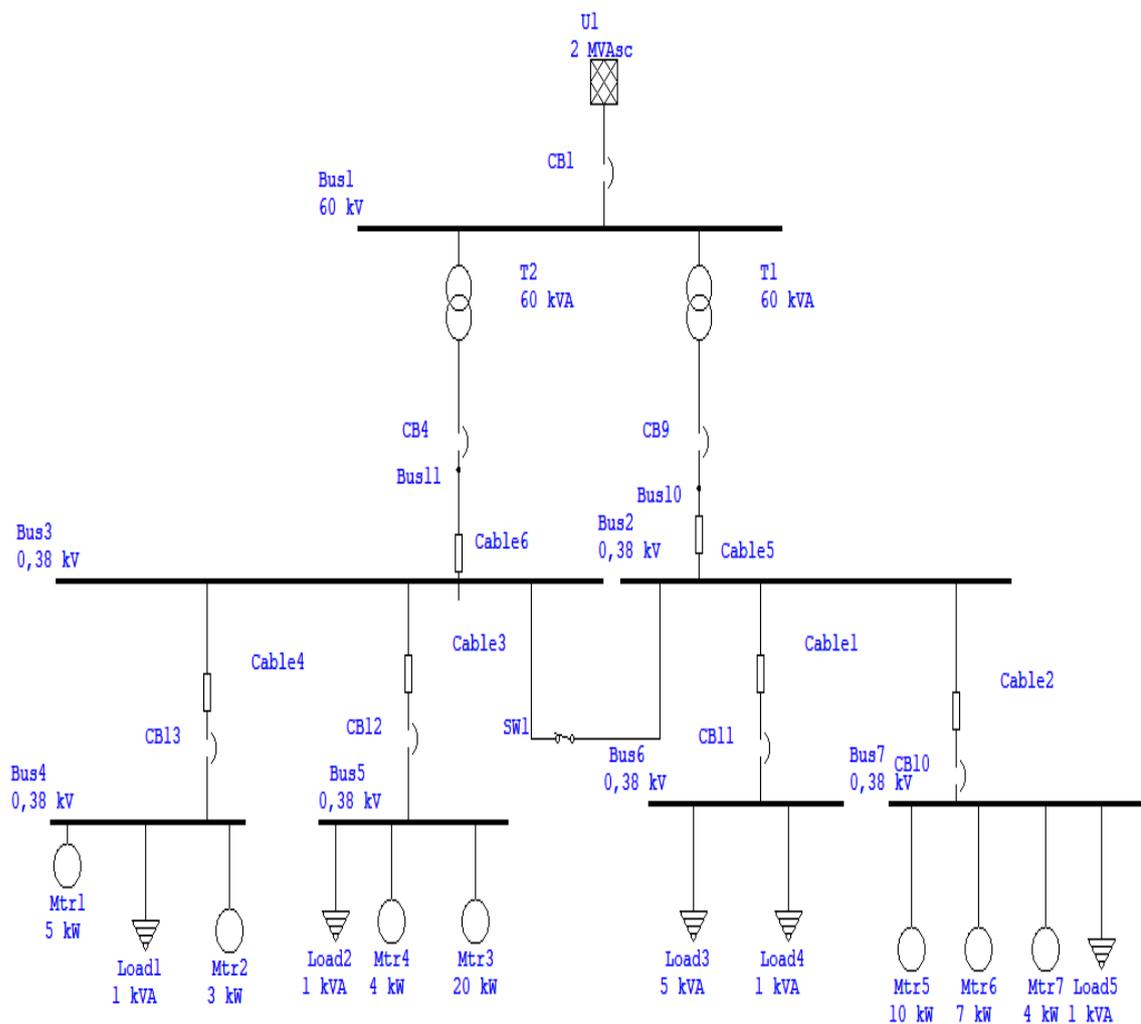


Figure III. 14 : Schéma d'un réseau industriel

## CHAPITRE III : Modélisation et simulation d'un réseau industriel

### III.4. Simulation et résultats

#### III.4.1. Cas du moteur N° 3 :

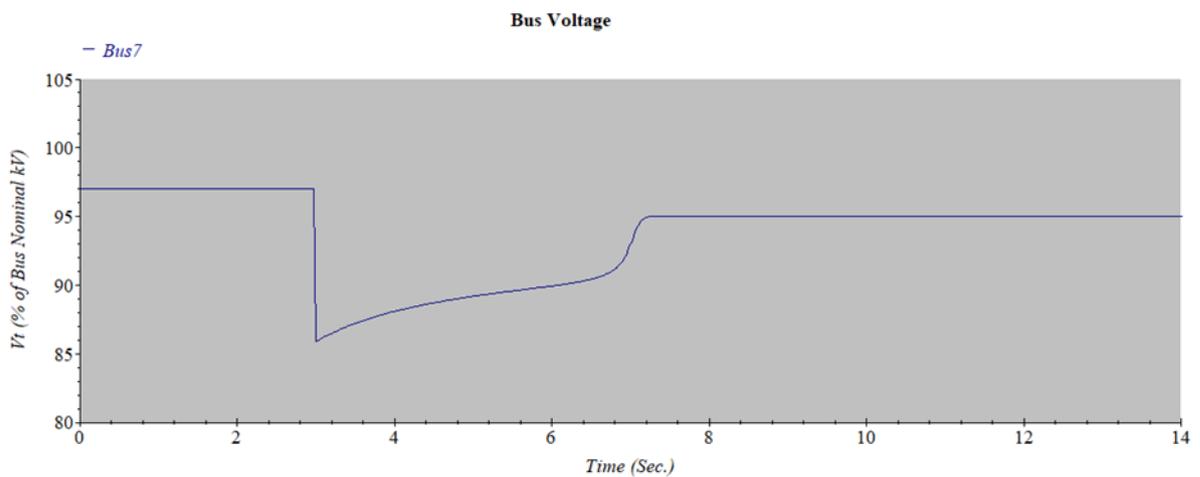
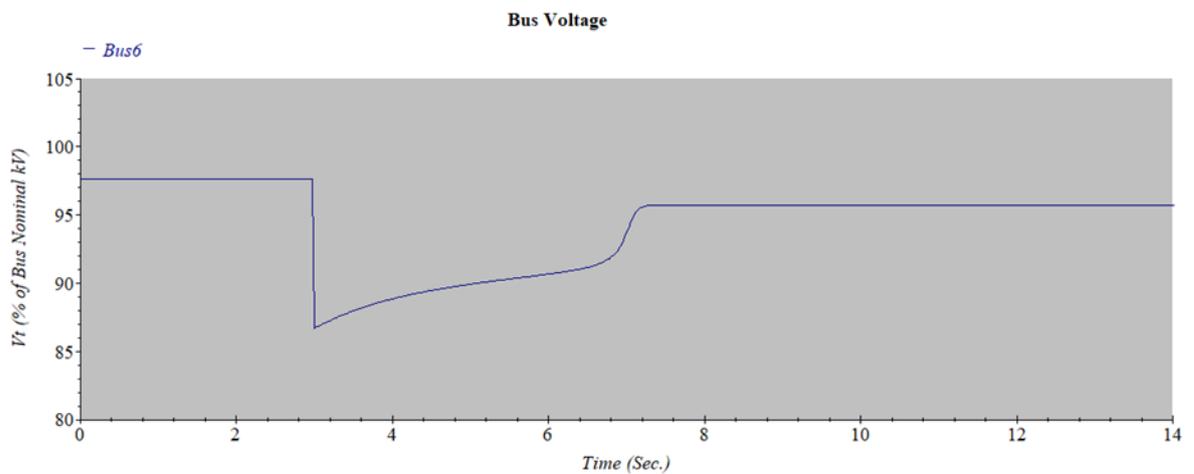
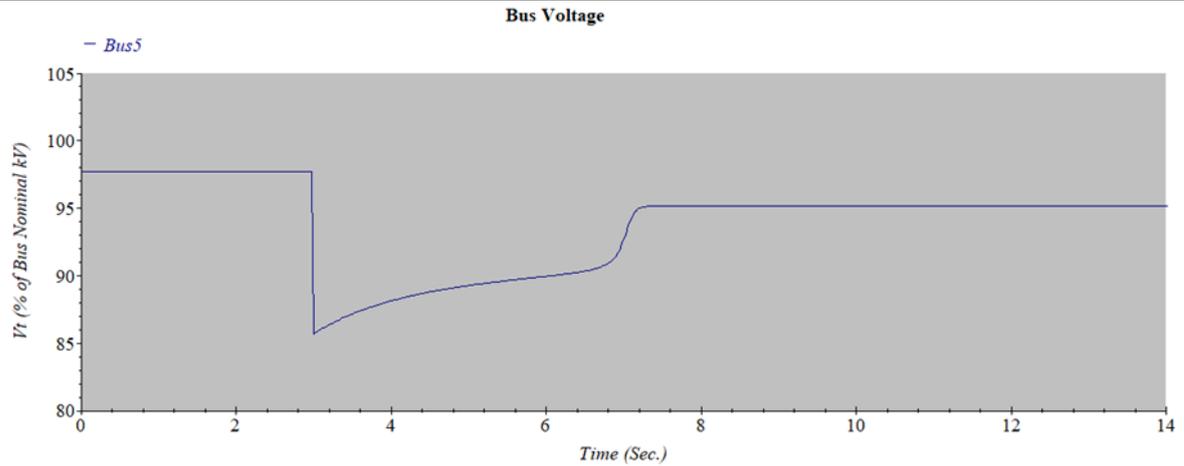
Dans ce cas-là, nous utilisons le logiciel pour simuler le comportement de la tension en cas de la connexion, le démarrage et le fonctionnement du moteur 3 dont sa puissance est : 20 KW dans le réseau industriel montré par la figure III.14 ci-dessus.

Le tableau III.2 résume les données de sortie extrait du rapport généré par le logiciel. On se basant sur les résultats motionnés dans ce tableau, les figures III.15 représentent les creux de tension enregistré pour chaque nœud du réseau.

*Tableau 2 : sortie en ca du moteur 3*

DeviceID	DeviceType	Unit	Rated	Calculated	Deviation	TBegin	Duration
Mtr3	Motor	kV	0,38	0,3256058	85,68572	3	3,06
Bus1	Generator Bus	kV	60	56,10652	93,51086	3	1,3
Bus1	HV Bus	kV	60	56,10652	93,51086	3	1,3
Bus2	LV Bus	kV	0,38	0,3302383	86,90481	3	1,8
Bus2	LV Bus	kV	0,38	0,3420519	90,01365	4,82	2,24
Bus3	LV Bus	kV	0,38	0,3302383	86,90481	3	1,8
Bus3	LV Bus	kV	0,38	0,3420519	90,01365	4,82	2,24
Bus4	LV Bus	kV	0,38	0,3278682	86,28111	3	2,56
Bus4	LV Bus	kV	0,38	0,3420169	90,00445	5,58	1,54
Bus5	Motor Bus	kV	0,38	0,3256057	85,68571	3	3,06
Bus5	LV Bus	kV	0,38	0,3256057	85,68571	3	3,06
Bus5	LV Bus	kV	0,38	0,342025	90,00657	6,08	1,12
Bus6	LV Bus	kV	0,38	0,3293576	86,67305	3	2,08
Bus6	LV Bus	kV	0,38	0,3420318	90,00837	5,1	1,98
Bus7	LV Bus	kV	0,38	0,3263663	85,88586	3	3,08
Bus7	LV Bus	kV	0,38	0,3420573	90,01507	6,1	1,16
Bus10	LV Bus	kV	0,38	0,3320132	87,3719	3	1,4
Bus10	LV Bus	kV	0,38	0,3420703	90,01851	4,42	2,62
Bus11	LV Bus	kV	0,38	0,3320132	87,3719	3	1,4
Bus11	LV Bus	kV	0,38	0,3420703	90,01851	4,42	2,62

## CHAPITRE III : Modélisation et simulation d'un réseau industriel



## CHAPITRE III : Modélisation et simulation d'un réseau industriel

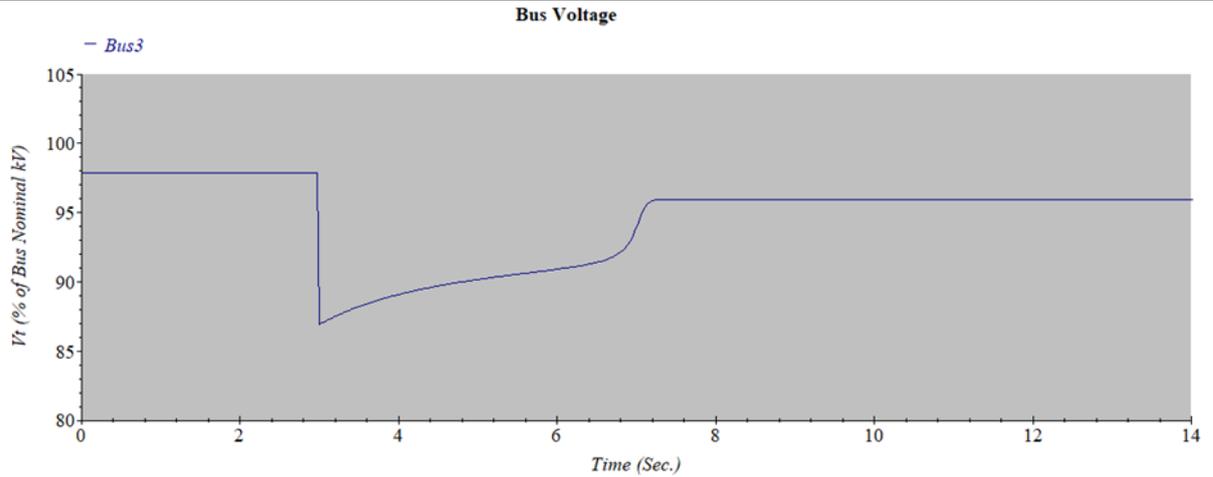


Figure III.15. D : graphe de tension du bus 3 avec moteur 3

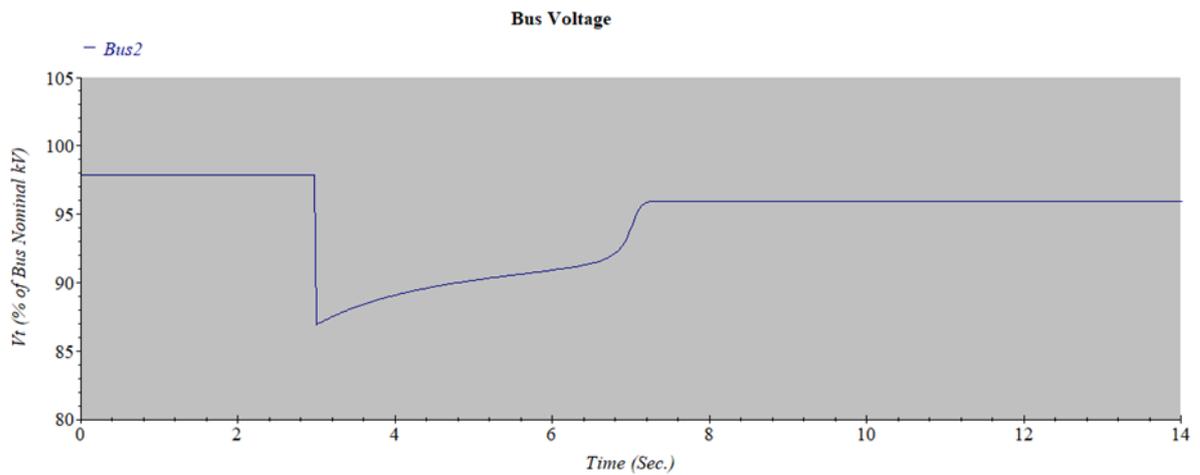


Figure III.15. E : graphe de tension du bus 2 avec moteur 3

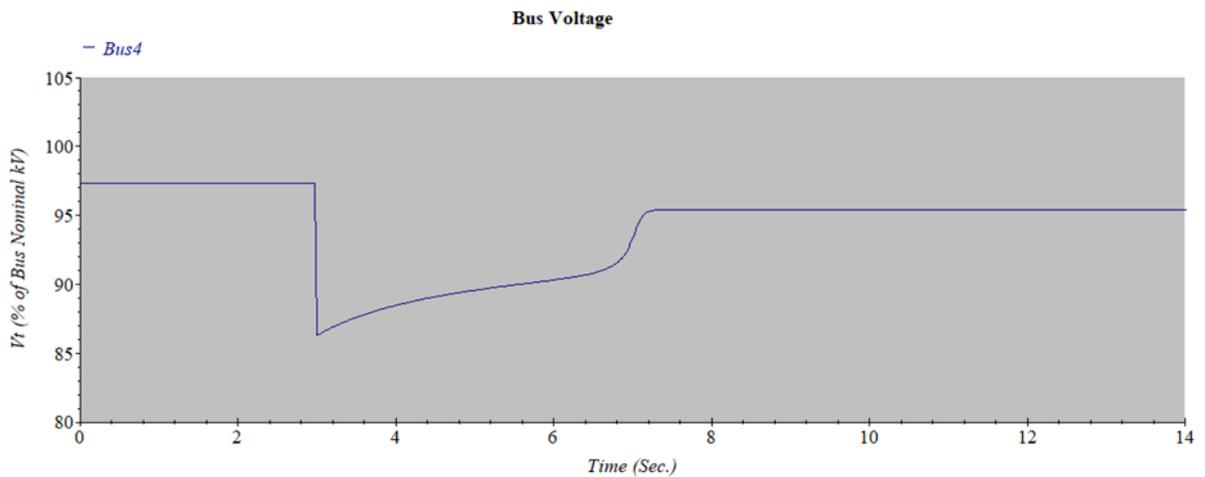


Figure III.15. F : graphe de tension du bus 4 avec moteur 3

## *CHAPITRE III : Modélisation et simulation d'un réseau industriel*

Comme on peut voir sur les différentes allures des figures III.15, le maintien du moteur 3 dans le réseau a un impact de 87.4% en terme de chute de tension pour les bus 11 et 10 et de 86.9 % pour les bus 2 et 3. En ce qui concerne les bus 5, 6 et 7, ils sont aussi fortement affectés avec un impact de 85.7%. On constate que le moteur 3 a un impact considérable sur les tensions des nœuds en raison de sa consommation de puissance élevée.

### **III.4.2. Cas du moteur N° 5 :**

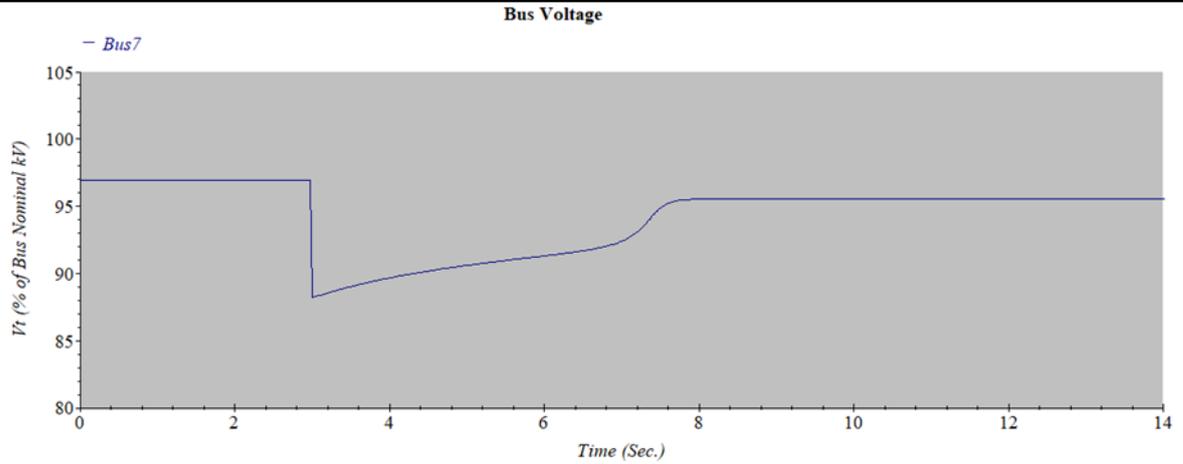
De la même manière que le premier cas, à l'aide de logiciel ETAP, on a établi une simulation qui nous a permettre d'analyser l'effet du moteur n°05 sur la chute de la tension dans le nœud du réseau, noté que la puissance de ce moteur est 10 KW

Le tableau III.3 suivi par les courbes de la figure III.16 montrent le rapport de sortie donné par le logiciel à la fin de cette simulation.

*Tableau 3: cas du moteur N° 05*

DeviceID	DeviceType	Unit	Rated	Calculated	Deviation	TBegin	Duration
Mtr5	Motor	kV	0,38	0,3351275	88,19146	3	1,3
Bus2	LV Bus	kV	0,38	0,3419067	89,97544	3	0
Bus2	LV Bus	kV	0,38	0,342015	90,00394	3,02	4,28
Bus3	LV Bus	kV	0,38	0,3419067	89,97544	3	0
Bus3	LV Bus	kV	0,38	0,342015	90,00394	3,02	4,28
Bus4	LV Bus	kV	0,38	0,3396094	89,37089	3	0,4600003
Bus4	LV Bus	kV	0,38	0,3420141	90,00372	3,48	3,92
Bus5	LV Bus	kV	0,38	0,3385504	89,09222	3	0,7200003
Bus5	LV Bus	kV	0,38	0,3420704	90,01853	3,74	3,72
Bus6	LV Bus	kV	0,38	0,3409952	89,73557	3	0,1800001
Bus6	LV Bus	kV	0,38	0,342052	90,01369	3,2	4,14
Bus7	Motor Bus	kV	0,38	0,3351275	88,19146	3	1,3
Bus7	LV Bus	kV	0,38	0,3351275	88,19146	3	1,3
Bus7	LV Bus	kV	0,38	0,3420444	90,01168	4,32	3,2
Bus10	LV Bus	kV	0,38	0,3438894	90,49722	3	4,22
Bus11	LV Bus	kV	0,38	0,3438894	90,49722	3	4,22

# CHAPITRE III : Modélisation et simulation d'un réseau industriel



5

Figure III. 16. A : graphe de tension du bus 7 avec moteur 5

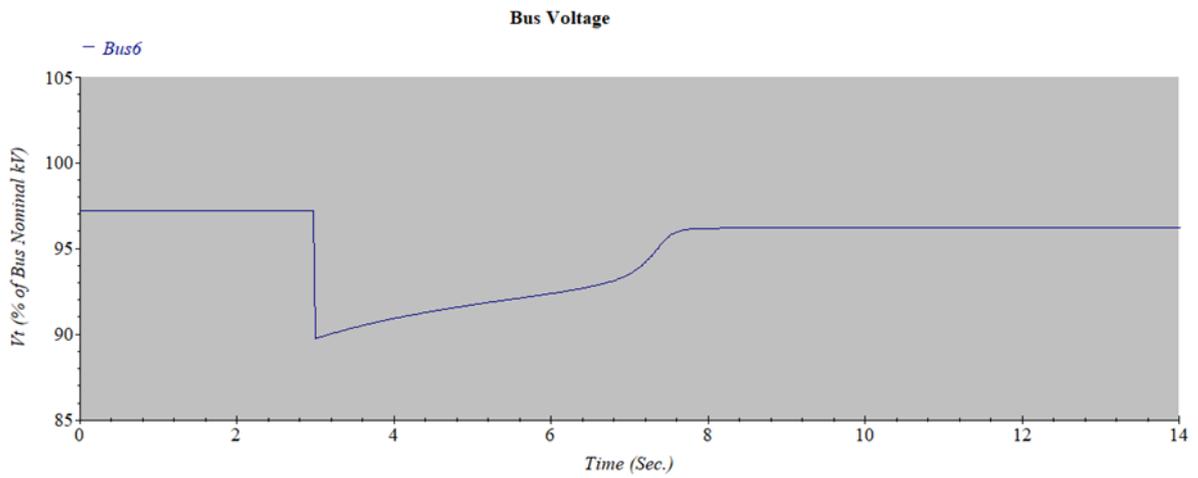


Figure III. 16. B : graphe de tension du bus 6 avec moteur 5

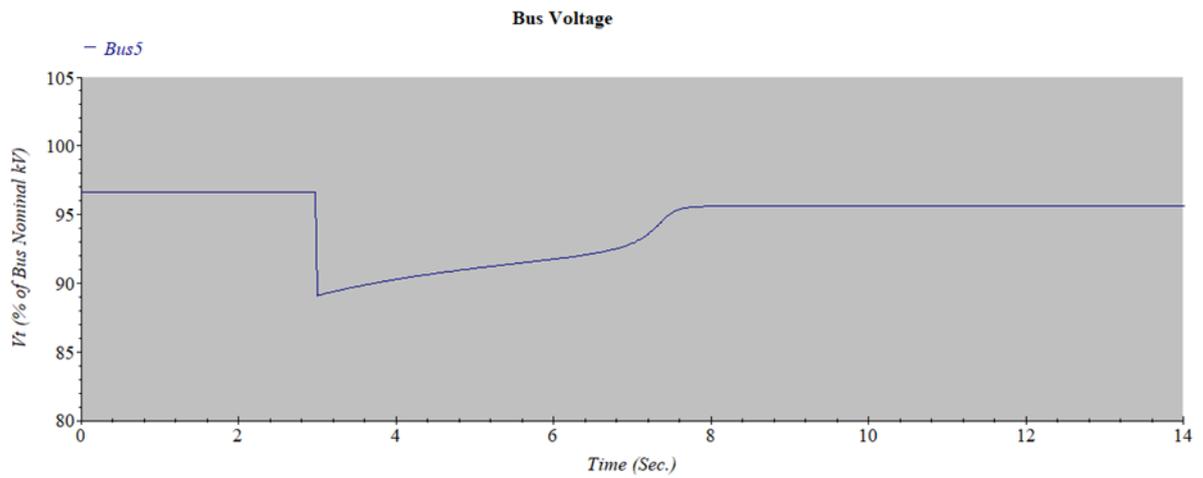


Figure III. 16. C : graphe de tension du bus 5 avec moteur 5

## CHAPITRE III : Modélisation et simulation d'un réseau industriel

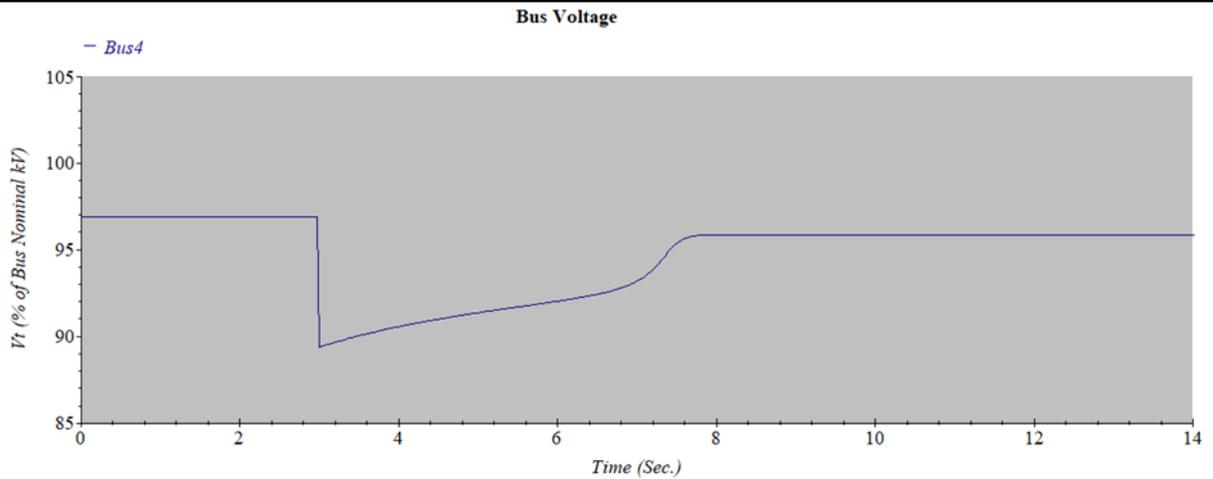


Figure III. 16. D : graphe de tension du bus 4 avec moteur 5

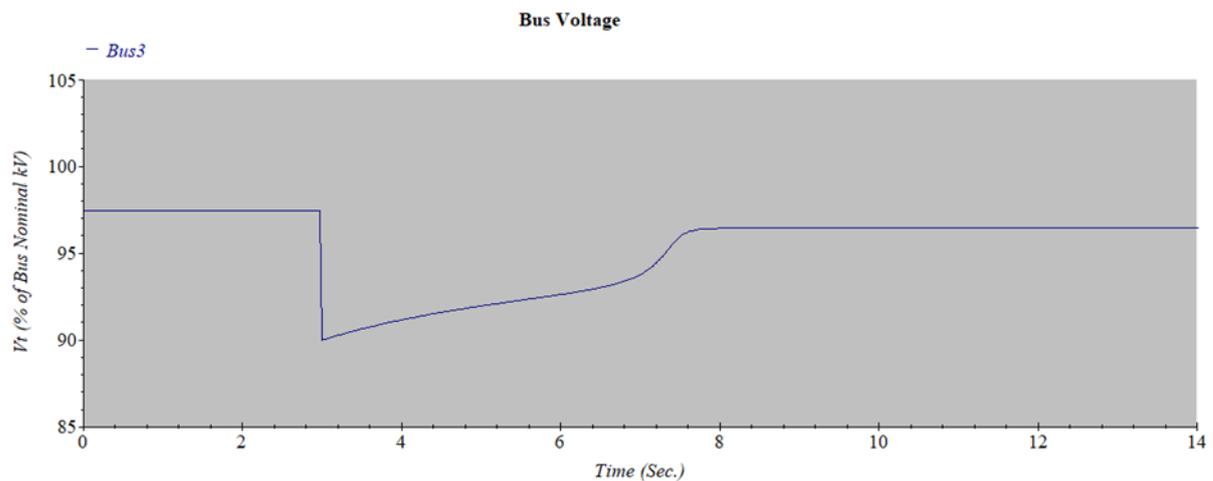


Figure III. 16. E : graphe de tension du bus 3 avec moteur 5

Pour le cas du moteur N° : 05, on remarque que :

- Il n'y a aucun effet dans le bus 2 et 3.
- Il y a peu d'effet dans le bus 4 et 5.
- Il y a également peu d'effet dans le bus 6 et 7.

### III.2.3. Cas du moteur N° 06 :

On termine cette série de simulation par un test de l'effet du moteur n° :06 sur la tension des nœuds du réseau test. Noté que la puissance de ce moteur est 7 KW

## CHAPITRE III : Modélisation et simulation d'un réseau industriel

Tableau 4 : tableau du moteur 6

DeviceID	DeviceType	Unit	Rated	Calculated	Deviation	TBegin	Duration
Bus2	LV Bus	kV	0,38	0,3491179	91,87314	3	6,240001
Bus3	LV Bus	kV	0,38	0,3491179	91,87314	3	6,240001
Bus4	LV Bus	kV	0,38	0,3468628	91,27969	3	6,5
Bus5	LV Bus	kV	0,38	0,3458289	91,00761	3	6,6
Bus6	LV Bus	kV	0,38	0,3481872	91,62821	3	6,38
Bus7	LV Bus	kV	0,38	0,3432059	90,31734	3	6,700001
Bus10	LV Bus	kV	0,38	0,3509387	92,35229	3	5,96
Bus11	LV Bus	kV	0,38	0,3509387	92,35229	3	5,96

Nous utilisons le tableau III.4 pour tracer les courbes de la chute de tension dans chaque bus comme montré par les figures III.17 ci-dessous :

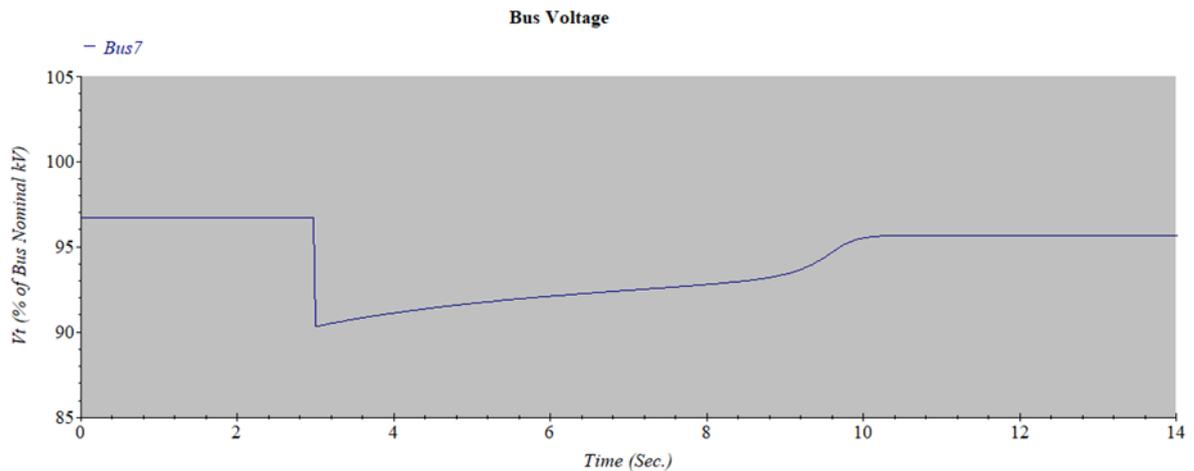


Figure III. 17 A : graphe de tension du bus 7 avec moteur 6

# CHAPITRE III : Modélisation et simulation d'un réseau industriel

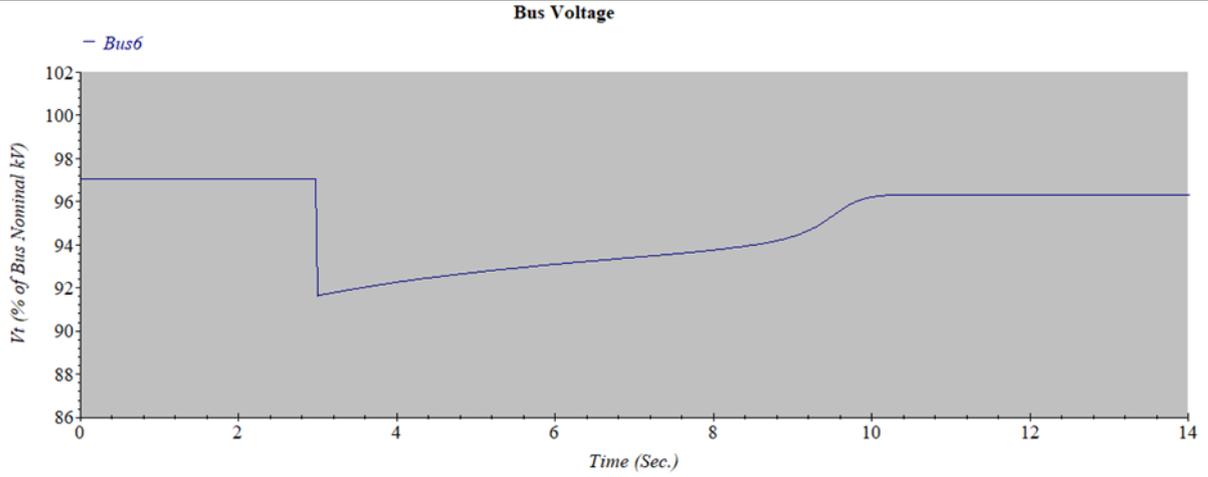


Figure III. 17 B : graphe de tension du bus 6 avec moteur 6

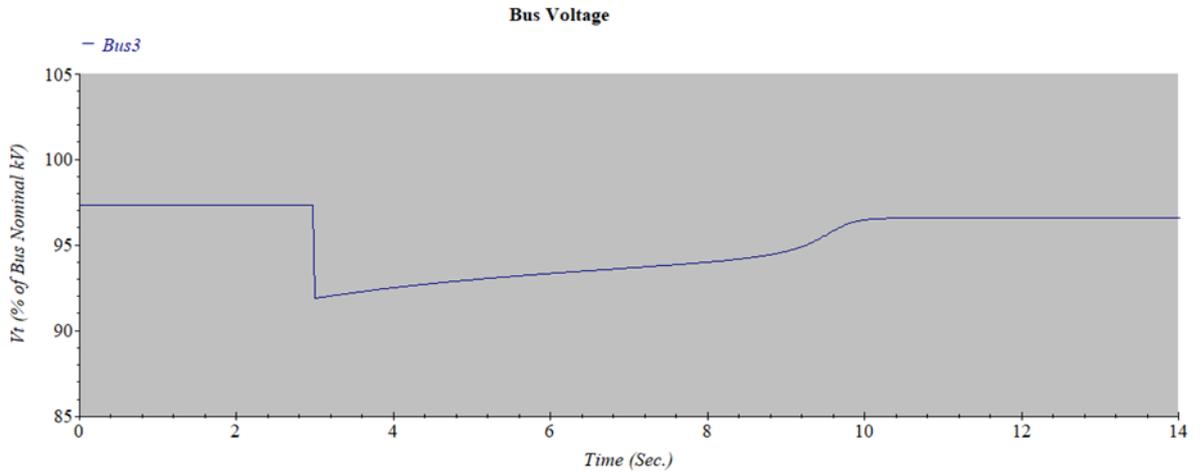


Figure III. 17 C : graphe de tension du bus 3 avec moteur 6

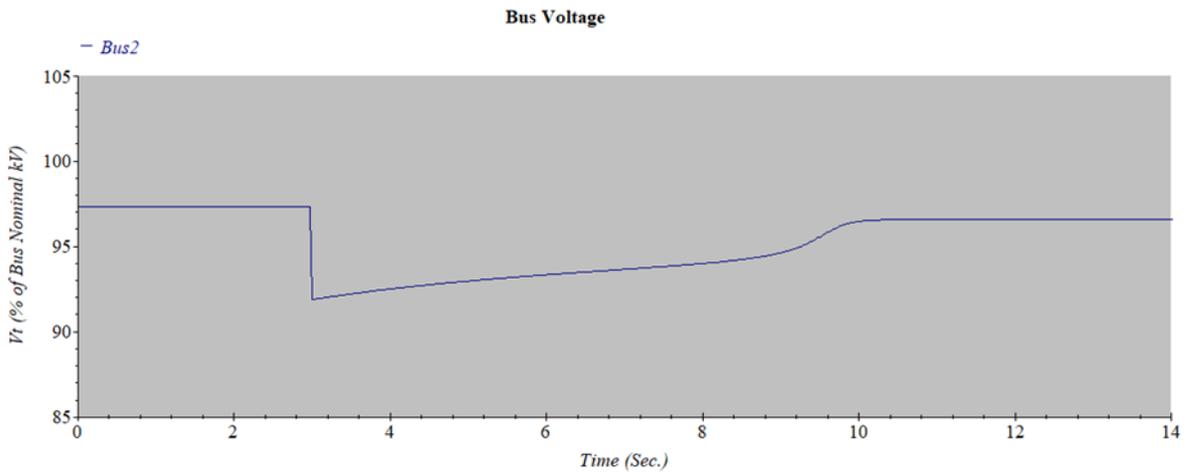


Figure III. 17 D : graphe de tension du bus 2 avec moteur 6

Dans ce cas-là, on remarque qu'il y a très peu d'effet, presque négligeable.

### **III.5. Conclusion**

La modélisation du système été l'objectif de ce chapitre, les schémas électriques et les équations mathématique modélisent les composants du réseau test sont montré brièvement.

La présentation du logiciel de simulation qu'est l'ETAP aussi fait partie de ce chapitre suivi par une série de simulation pour analyser l'effet d'un cas de démarrage des moteurs asynchrone sur les tensions des nœuds du réseau test.

## ***CHAPITRE IV :***

### ***Diagnostic et solutions***

## *CHAPITRE IV : DIAGNOSTIC ET SOLUTIONS*

### **IV.1 Introduction :**

Les creux de tension, également connus sous le nom de chutes de tension ou de perturbations de tension, se produisent lorsque la tension électrique fournie à un système électrique ou à un équipement spécifique chute en dessous de la valeur nominale pendant une courte période de temps. Ces creux de tension peuvent causer divers problèmes, tels que des arrêts de production, des pannes d'équipement ou des pertes de données.

Heureusement, il existe plusieurs solutions disponibles pour remédier aux creux de tension et atténuer leurs effets. Voici quelques-unes des solutions couramment utilisées :

### **IV.2 installation UPS :**

L'installation d'une alimentation sans interruption (UPS) peut aider à résoudre les problèmes de creux de tension électrique. Voici quelques solutions qu'on peut envisager :

1. Choisissez un onduleur approprié : Assurez-vous d'acheter un onduleur qui correspond à vos besoins en termes de capacité et de puissance. Vérifiez les spécifications électriques de vos appareils critiques afin de déterminer la capacité de l'onduleur dont vous avez besoin.

2. Installez l'onduleur correctement : Suivez les instructions fournies avec l'onduleur pour une installation appropriée. Assurez-vous de connecter correctement les câbles de l'onduleur à votre installation électrique.

3. Identifiez les appareils critiques : Identifiez les appareils ou les charges électriques les plus sensibles aux creux de tension. Il peut s'agir d'équipements informatiques, de systèmes de surveillance, de systèmes de sécurité, etc.

4. Connectez les appareils critiques à l'onduleur : Branchez les appareils les plus critiques à l'onduleur. Cela permettra à ces appareils de continuer à fonctionner même en cas de creux de tension.

5. Surveillez la tension électrique : Utilisez un dispositif de surveillance de tension pour être informé des fluctuations de tension. Cela vous permettra de prendre des mesures appropriées lorsque la tension baisse.

6. Ajoutez des régulateurs de tension : Si les creux de tension sont fréquents dans votre région, envisagez d'installer des régulateurs de tension. Ces dispositifs maintiennent la tension à un niveau constant, même en cas de fluctuations dans le réseau électrique.

7. Consultez un électricien qualifié : Si vous continuez à rencontrer des problèmes de creux de tension malgré l'installation d'un onduleur, il est recommandé de faire appel à un

## CHAPITRE IV : DIAGNOSTIC ET SOLUTIONS

électricien professionnel. Ils pourront évaluer votre installation électrique, identifier les problèmes et vous fournir des solutions adaptées.

N'oubliez pas que l'installation d'un onduleur est une mesure préventive, mais il est important de résoudre les problèmes de creux de tension à la source pour une solution à long terme.

### IV.2.1 Simulation

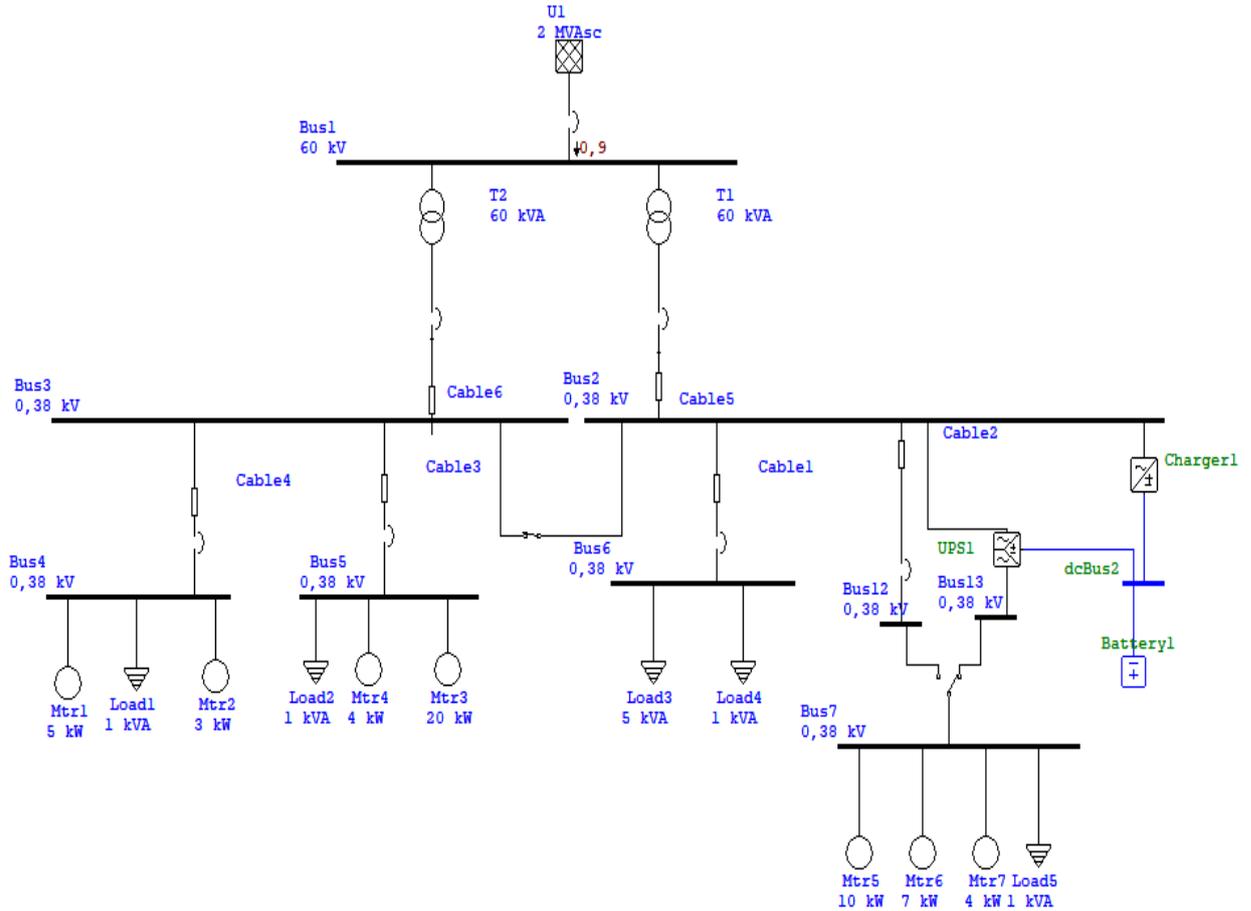


Figure IV. 1 : installation UPS

## CHAPITRE IV : DIAGNOSTIC ET SOLUTIONS

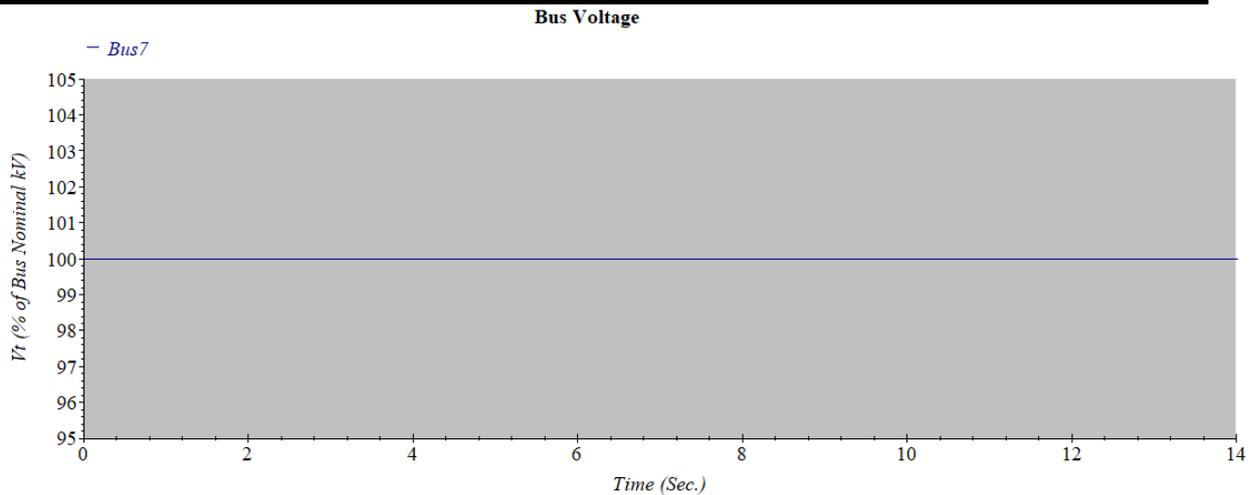


Figure IV. 2: graphe pourcentage % du bue 7 avec moteur 6

### IV. 3 Séparation des lignes dans les réseaux de distribution

Les creux de tension électrique et la séparation des lignes dans les réseaux de distribution peuvent être résolus en prenant plusieurs mesures. Voici quelques solutions possibles :

1. Rénovation et maintenance du réseau : Assurez-vous que le réseau de distribution est régulièrement inspecté, entretenu et rénové si nécessaire. Cela comprend le remplacement des câbles et des transformateurs défectueux, la réparation des connexions défectueuses et la mise à niveau des équipements obsolètes.

2. Régulation de la tension : Utilisez des dispositifs de régulation de tension tels que les régulateurs automatiques de tension (RAV) pour maintenir une tension stable dans le réseau. Ces dispositifs détectent les variations de tension et ajustent automatiquement le niveau de tension pour le maintenir dans les limites acceptables.

3. Utilisation de condensateurs : L'installation de condensateurs dans le réseau de distribution peut aider à compenser les chutes de tension. Les condensateurs fournissent une réactance capacitive qui compense la réactance inductive du réseau et aide à maintenir une tension stable.

4. Planification efficace de la charge : Une mauvaise planification de la charge peut entraîner des surcharges du réseau, ce qui peut entraîner des chutes de tension. Il est important de répartir la charge de manière équilibrée sur les différentes lignes du réseau et d'ajuster la capacité de charge en fonction des besoins.

5. Utilisation de systèmes de stockage d'énergie : L'ajout de systèmes de stockage d'énergie tels que les batteries peuvent aider à compenser les fluctuations de tension dans le réseau. Ces

## CHAPITRE IV : DIAGNOSTIC ET SOLUTIONS

systèmes peuvent être utilisés pour fournir une alimentation de secours lors de chutes de tension ou pour réguler la tension en cas de besoin.

6. Surveillance du réseau : Mettez en place un système de surveillance en temps réel du réseau de distribution afin de détecter rapidement les problèmes de tension et d'intervenir rapidement. Cela peut inclure l'utilisation de capteurs de tension et de dispositifs de surveillance à distance.

7. Coordination avec les fournisseurs d'électricité : Travailler en étroite collaboration avec les fournisseurs d'électricité locaux pour signaler les problèmes de tension et demander des actions correctives. Ils peuvent fournir des conseils et des solutions spécifiques au réseau de distribution concerné.

Il est important de noter que les solutions spécifiques peuvent varier en fonction des caractéristiques du réseau de distribution et des réglementations locales.

### IV.3.1 Simulation

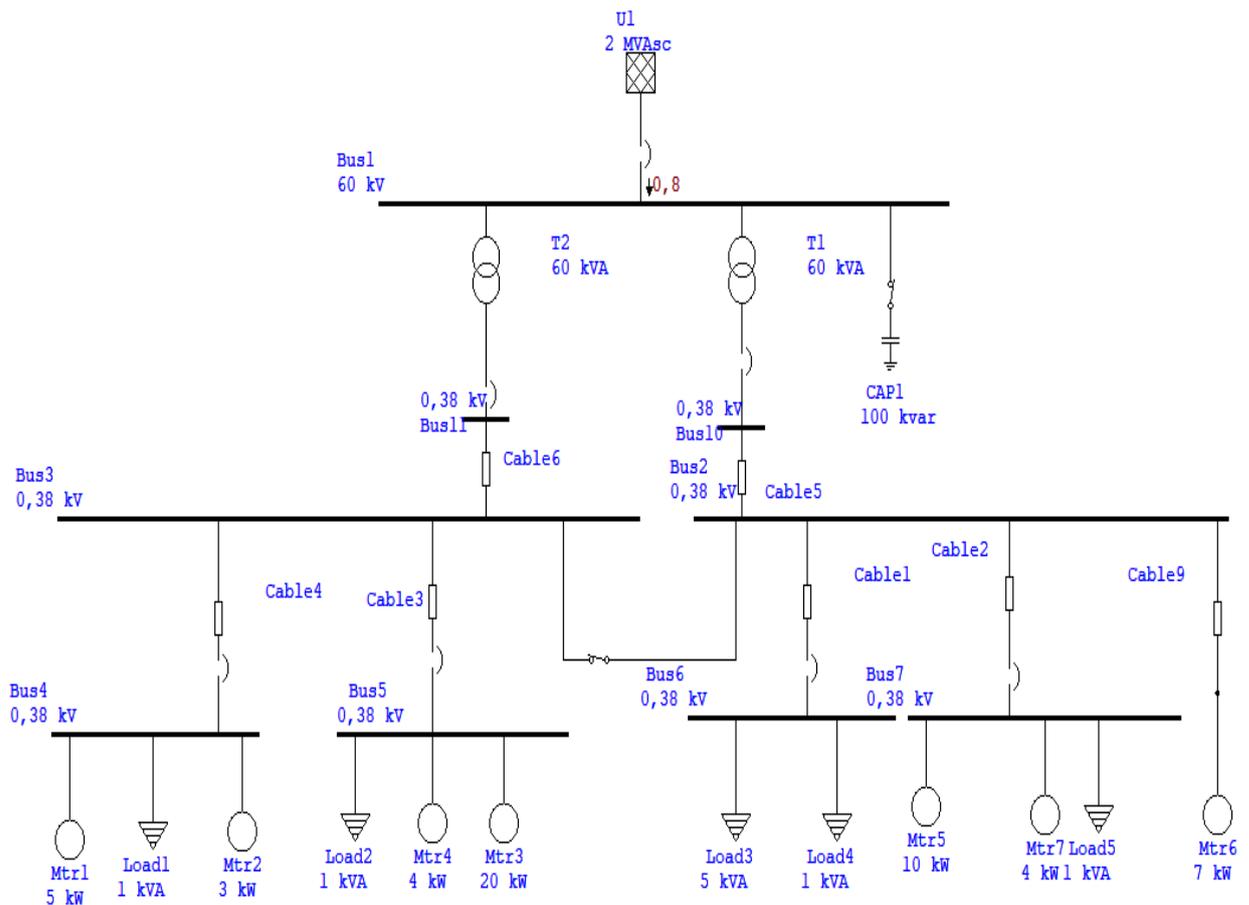


Figure IV. 3 : séparation des lignes avec bus 2

# CHAPITRE IV : DIAGNOSTIC ET SOLUTIONS

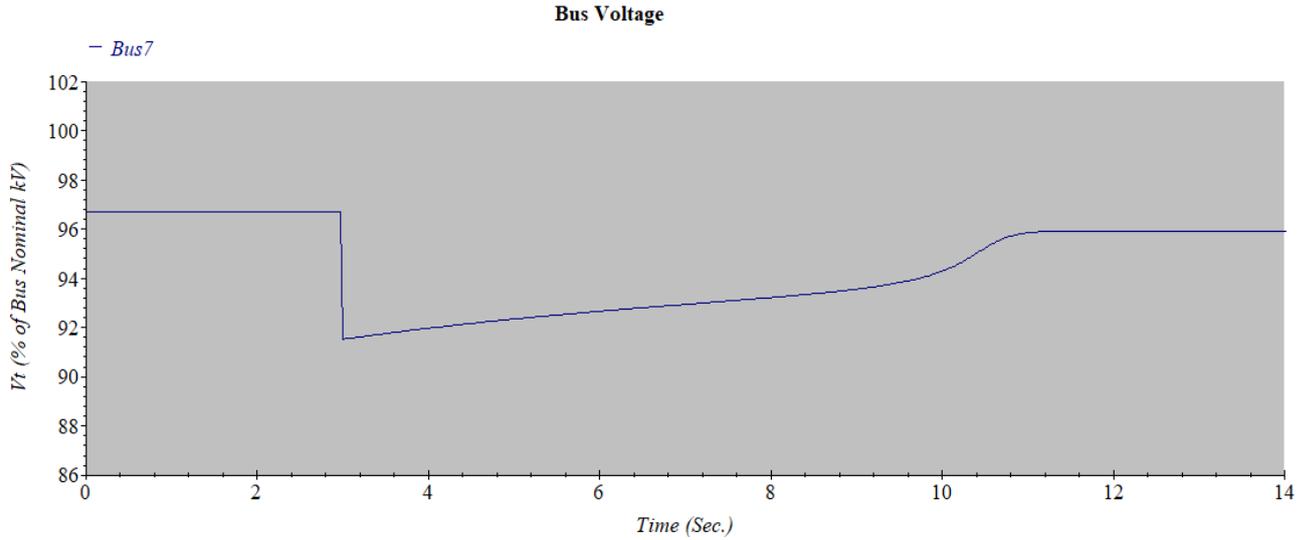


Figure IV. 4 : graphe tension du bus 7 avec moteur 6

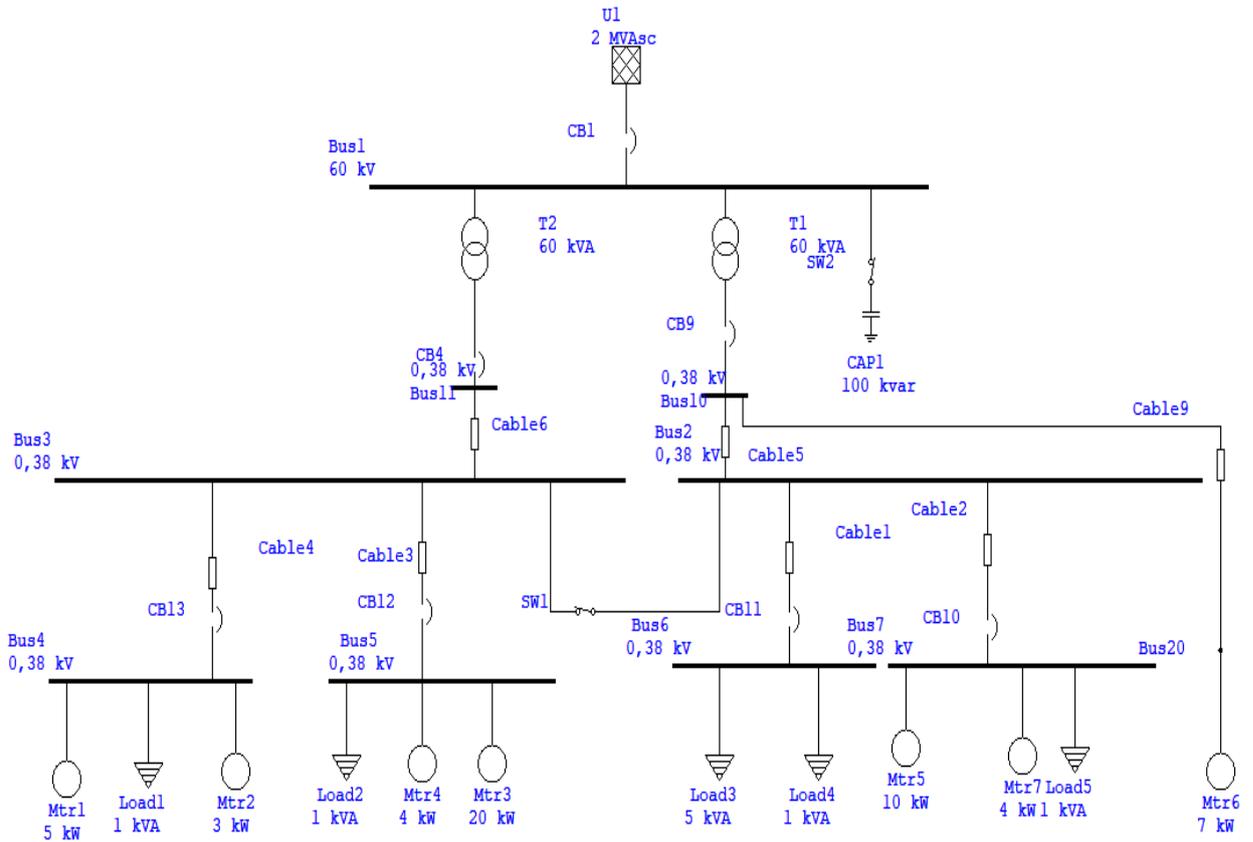


Figure IV. 5 : séparation des lignes avec bus 10

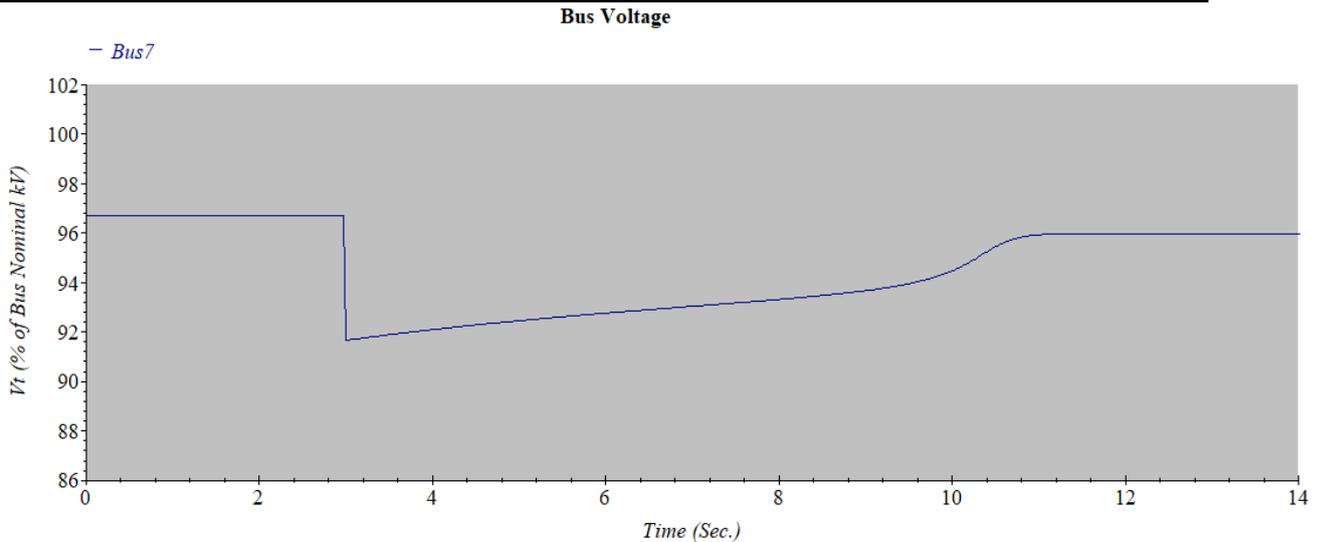


Figure IV. 6 : graphe tension du bus 7 avec moteur 6

#### IV.4 Favoriser des lignes HTA blindées souterraines

Pour remédier aux creux de tension électrique et favoriser l'utilisation de lignes HTA blindées souterraines, voici quelques solutions possibles :

1. Remplacement des lignes aériennes par des câbles souterrains : Les lignes aériennes sont plus sensibles aux fluctuations de tension et aux perturbations extérieures. En remplaçant ces lignes par des câbles souterrains, vous réduirez les perturbations et les pertes de tension dues à des facteurs environnementaux tels que les intempéries et les interférences électromagnétiques.

2. Utilisation de câbles HTA blindés : Les câbles HTA blindés sont conçus pour résister aux variations de tension et offrir une meilleure protection contre les interférences externes. Ils réduisent les pertes de tension et minimisent les risques de creux de tension. L'utilisation de ces câbles souterrains blindés contribue à assurer une alimentation électrique plus stable et fiable.

3. Installation de transformateurs de distribution souterrains : Les transformateurs de distribution souterrains sont moins sujets aux variations de tension par rapport à leurs homologues aériens. En déplaçant les transformateurs de distribution à l'intérieur du réseau souterrain, vous pouvez réduire les pertes de tension et améliorer la stabilité du système électrique.

4. Mise en place de systèmes de régulation de tension : L'installation de dispositifs de régulation de tension dans les réseaux souterrains peut aider à maintenir une tension stable.

## *CHAPITRE IV : DIAGNOSTIC ET SOLUTIONS*

Ces dispositifs surveillent et ajustent automatiquement la tension afin de compenser les variations et de minimiser les creux de tension.

5. Renforcement de l'isolation des câbles : Une bonne isolation des câbles HTA souterrains réduit les pertes de tension et améliore la stabilité du système. Assurez-vous que les câbles sont correctement isolés et protégés contre les interférences électromagnétiques, ce qui contribuera à éviter les creux de tension.

6. Planification et conception du réseau : Lors de la planification et de la conception du réseau, il est important de prendre en compte la distribution des charges et d'assurer une répartition équilibrée des charges sur les différentes lignes souterraines. Une conception soignée du réseau peut aider à minimiser les creux de tension et à améliorer la qualité de l'alimentation électrique.

Il est à noter que la transition vers des lignes HTA blindées souterraines peut nécessiter des investissements initiaux plus importants en termes de coûts d'installation et de maintenance.

-Il est important de noter que la solution appropriée dépendra de la nature et de la gravité des creux de tension ainsi que des besoins spécifiques du système électrique. Dans certains cas, une combinaison de plusieurs solutions peut être nécessaire pour assurer une protection complète contre les creux de tension électrique.

### **IV.5. La compensation de l'énergie réactive**

La compensation de l'énergie réactive est une pratique visant à minimiser les effets néfastes de l'énergie réactive dans un système électrique. L'énergie réactive est l'énergie oscillatoire qui circule entre les sources d'énergie et les charges inductives ou capacitives dans un circuit électrique. Elle ne produit pas de travail utile, mais elle peut entraîner une surcharge des équipements électriques et des pertes d'énergie.

La compensation de l'énergie réactive peut être réalisée de différentes manières. La méthode la plus courante consiste à utiliser des condensateurs pour compenser l'énergie réactive inductive. Les condensateurs fournissent une réactance capacitive, qui compense la réactance inductive des charges et réduit ainsi l'énergie réactive circulant dans le système.

La compensation de l'énergie réactive présente plusieurs avantages. Elle permet d'améliorer le facteur de puissance, qui mesure l'efficacité de l'utilisation de l'énergie électrique. Un facteur de puissance élevé indique une utilisation plus efficace de l'énergie électrique, ce qui peut entraîner des économies d'énergie et des réductions des coûts. De plus, la compensation de l'énergie réactive peut réduire les pertes d'énergie dans les câbles et les transformateurs, prolongeant ainsi leur durée de vie [23].

## CHAPITRE IV : DIAGNOSTIC ET SOLUTIONS

Les méthodes de compensation de l'énergie réactive peuvent varier en fonction de la taille du système électrique et des exigences spécifiques. Dans les installations industrielles, des bancs de condensateurs automatiques peuvent être utilisés pour ajuster automatiquement la compensation en fonction des variations de charge. Dans les systèmes électriques de plus grande envergure, des dispositifs tels que les SVC (Static Var Compensator) ou les STATCOM (Static Synchronous Compensator) peuvent être utilisés pour fournir une compensation de l'énergie réactive plus précise et dynamique.

En résumé, la compensation de l'énergie réactive est une pratique importante pour améliorer l'efficacité énergétique, réduire les pertes d'énergie et prévenir les problèmes liés à l'énergie réactive dans les systèmes électriques.

### IV.6.1 Simulation de la compensation individuelle

Une compensation individuelle est à envisager dès que la puissance du récepteur (en particulier d'un moteur) est significative par rapport à la puissance de l'installation.

Dans ce premier cas de simulation, une batterie de condensateur est un installé directement au nœud de la charge comme montré dans la figure IV.7.

Nous avons choisi donc d'installer des batteries dans le nœud 7 puis dans le nœud 2.

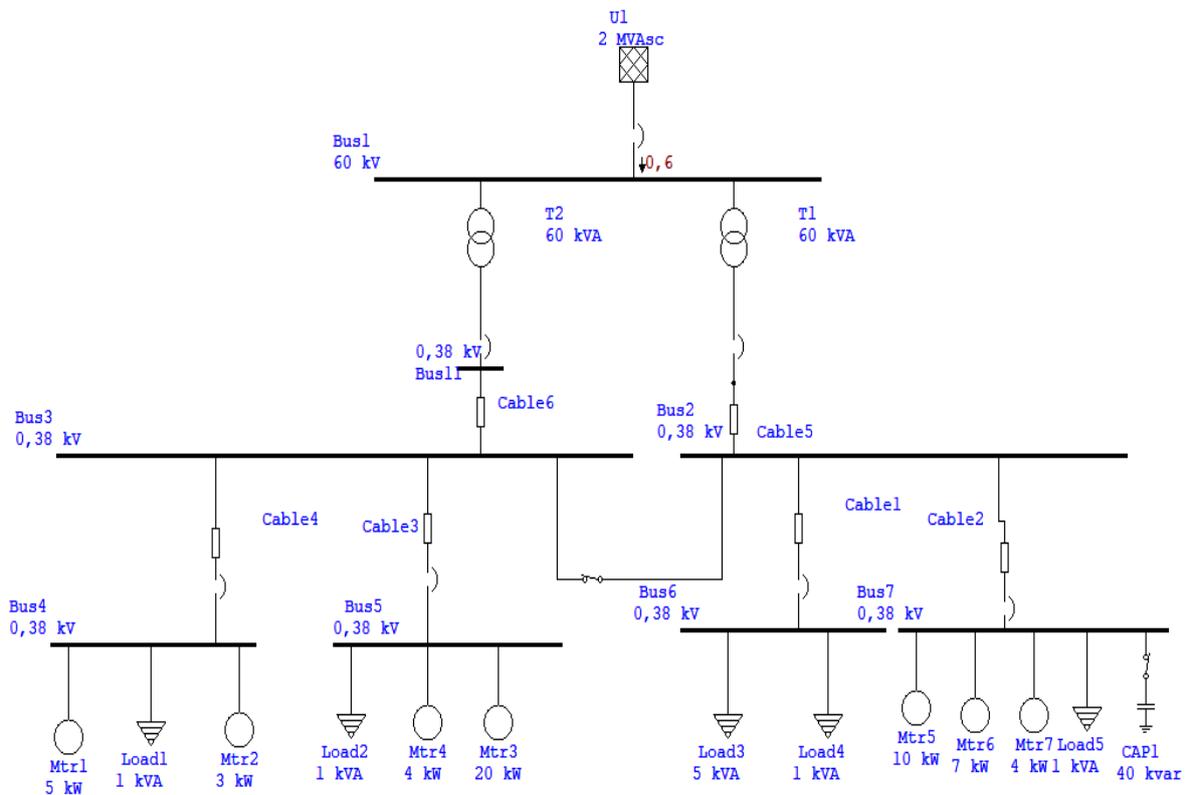


Figure IV. 7: capacité individuels avec bus 7

## CHAPITRE IV : DIAGNOSTIC ET SOLUTIONS

Dans le cas de branchement de la capacité au niveau de nœud 7, et pour bien distinguer leur effet sur le comportement de la tension au niveau de ce dernier, nous avons comparé les deux cas, le premier c'est le cas où la capacité est activée ce qu'est montré par la figure IV.8 et le deuxième c'est le cas où la capacité est désactivée ce qu'est montré dans la figure IV.9 respectivement.

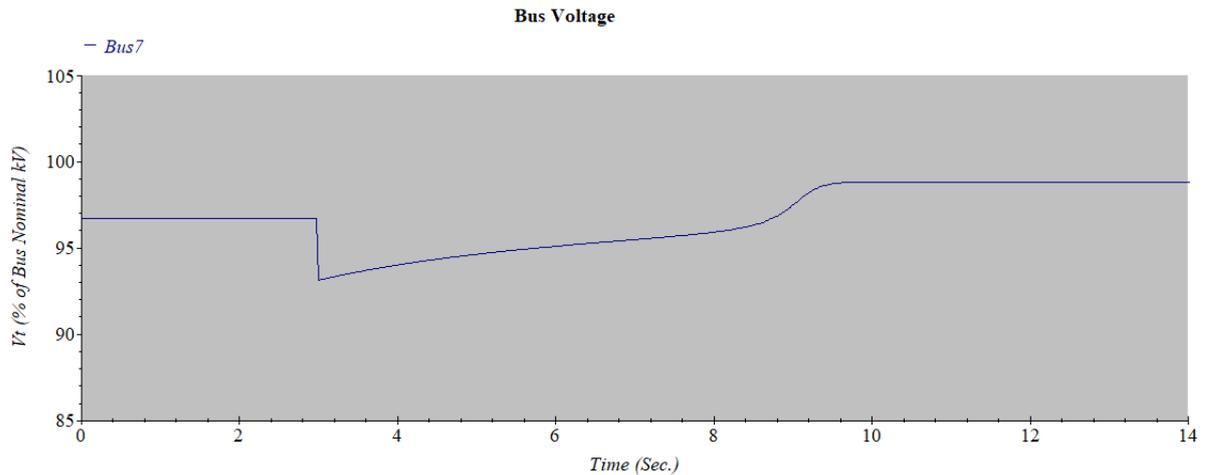


Figure IV. 8: graphe tension du bus 7 avec capacité

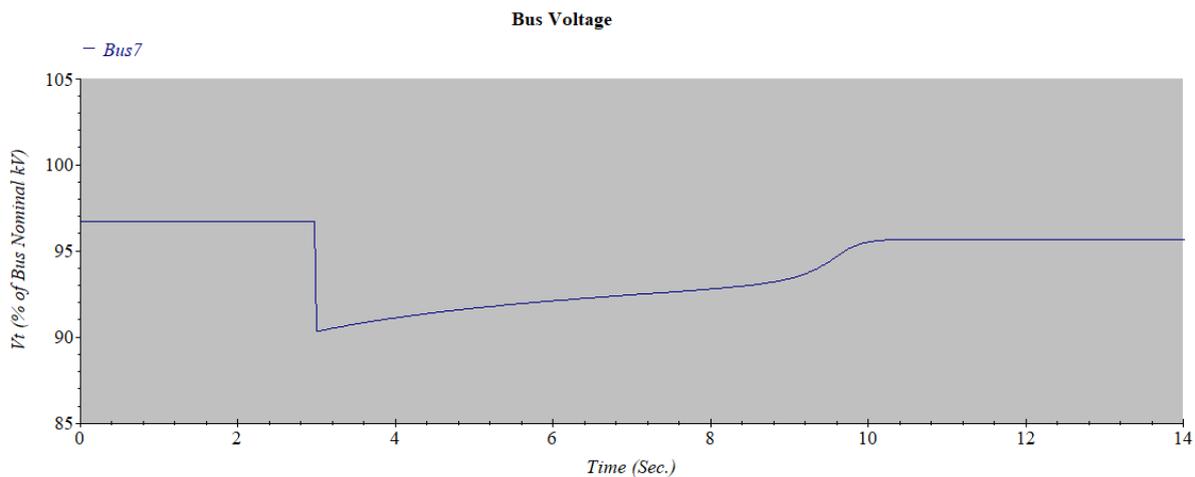


Figure IV. 9 : graphe tension du bus 7 avec capacité off

A partir des résultats obtenus, on peut voir que :

- 1- Dans le cas où la capacité est activée, nous pouvons remarquer qu'après le démarrage du moteur à  $t=3s$ , la chute de tension 7% (0.93 pu), puis la tension augmente jusqu'à sa valeur normale qu'est le 1pu.
- 2- Dans le cas où la capacité est désactivée, sur la figure IV.9, on peut voir qu'après le démarrage de moteur (toujours à  $t=3s$ ), la tension est chutée de 10% (0.9pu), puis cette dernière rétablit sa valeur initiale qu'est le 0.96 pu avec une chute de tension de 4%

## CHAPITRE IV : DIAGNOSTIC ET SOLUTIONS

En changeant maintenant l'emplacement de la capacité, cette dernière est installée au niveau du bus 2, le comportement de la tension dans les deux cas est montré par les figures IV.10 et IV.11.

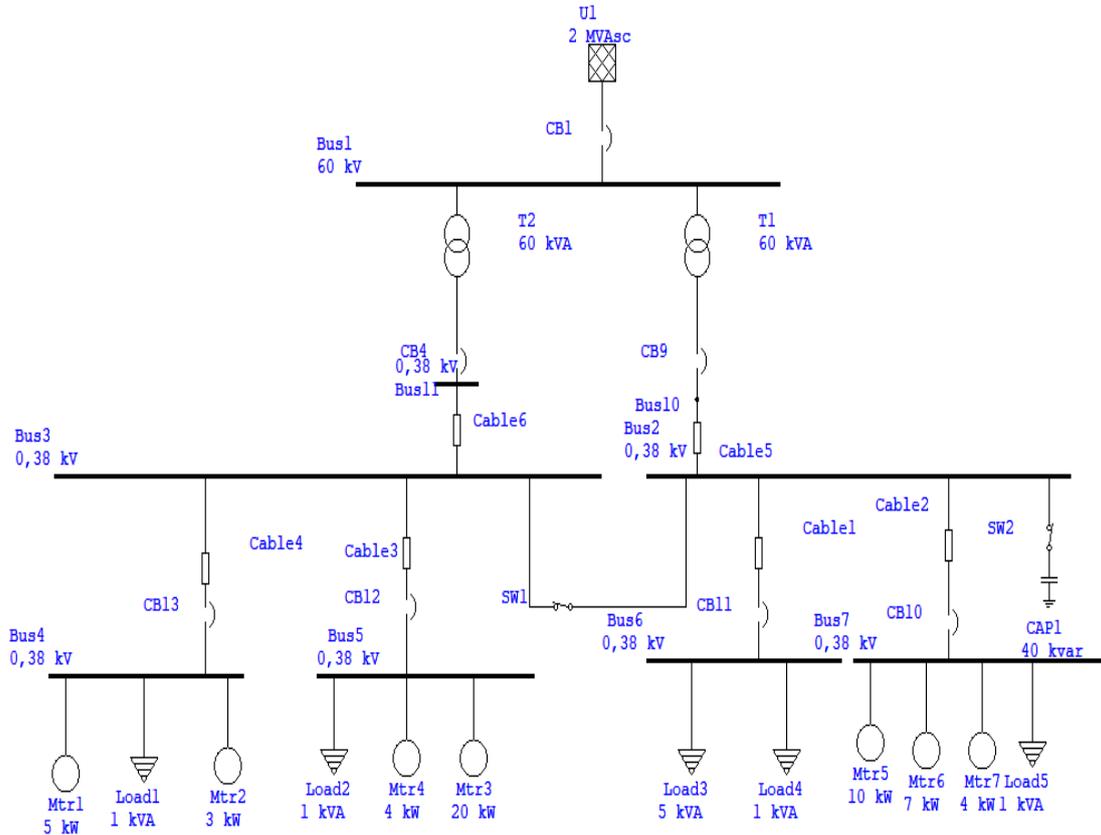


Figure IV. 10 : capacité installée dans bus 2

De la même manière qu'avec le premier cas, nous avons :

- 1- En cas où la capacité est activée, la figure IV.11 montre la chute de tension au niveau de ce dernier, on remarque que la capacité a bien muni la tension a une valeur de 1pu.

## CHAPITRE IV : DIAGNOSTIC ET SOLUTIONS

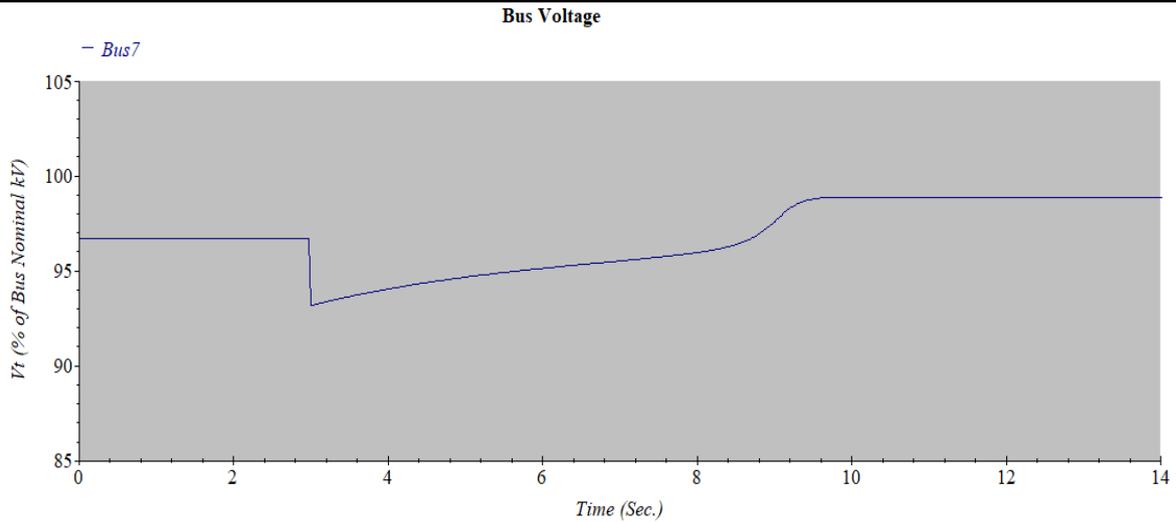


Figure IV. 11 : graphe tension du bus 7 avec capacité

- 2- Pour le cas contraire, ce qu'est montré dans la figure IV.12, cette tension est chutée de 10%. Au démarrage des moteurs et reprend sa valeur initiale.

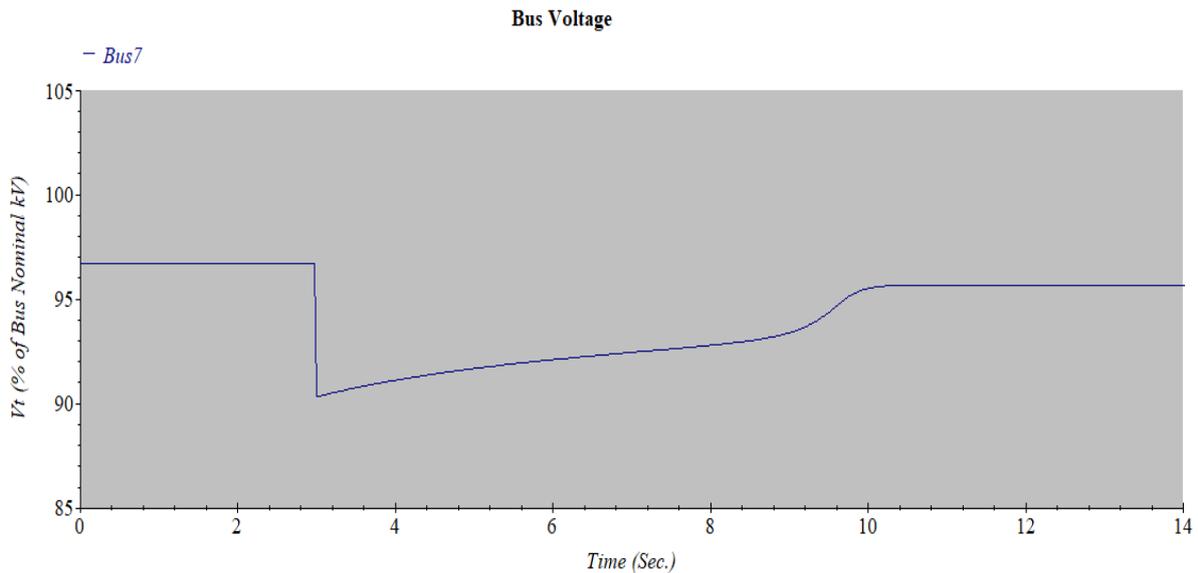
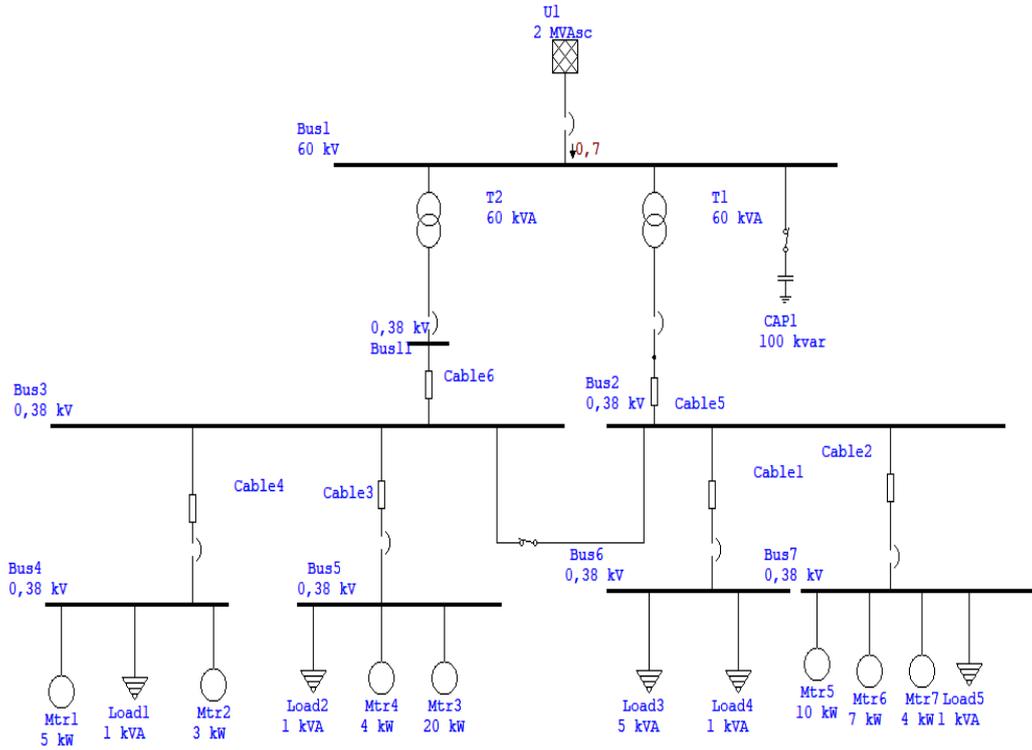


Figure IV. 12: graphe tension du bus 7 avec capacité off

### IV.6.2. Simulation de la compensation globale

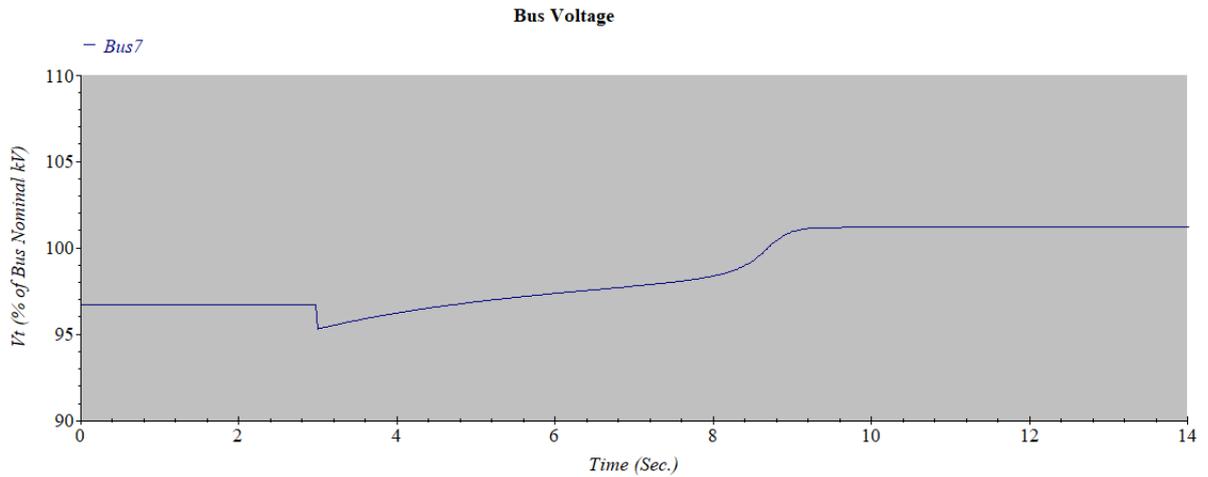
Lorsque la charge est stable et continue, une compensation globale convient. Dans ce cas, la batterie est raccordée en tête d'installation BT et assure une compensation pour l'ensemble de l'installation. La batterie reste en service en permanence pendant le fonctionnement normal de l'installation.

# CHAPITRE IV : DIAGNOSTIC ET SOLUTIONS



*Figure IV. 13 :capacité installé dans bus 1 global*

Dans ce cas, une batterie de 100kVA est branchée au jeu de barre principale (bus 1), le comportement de la tension en terme de chute est présenté par les figures IV.14 et IV.13 respectivement.



*Figure IV. 14 :graphe tension du bus 7 avec capacité*

## CHAPITRE IV : DIAGNOSTIC ET SOLUTIONS

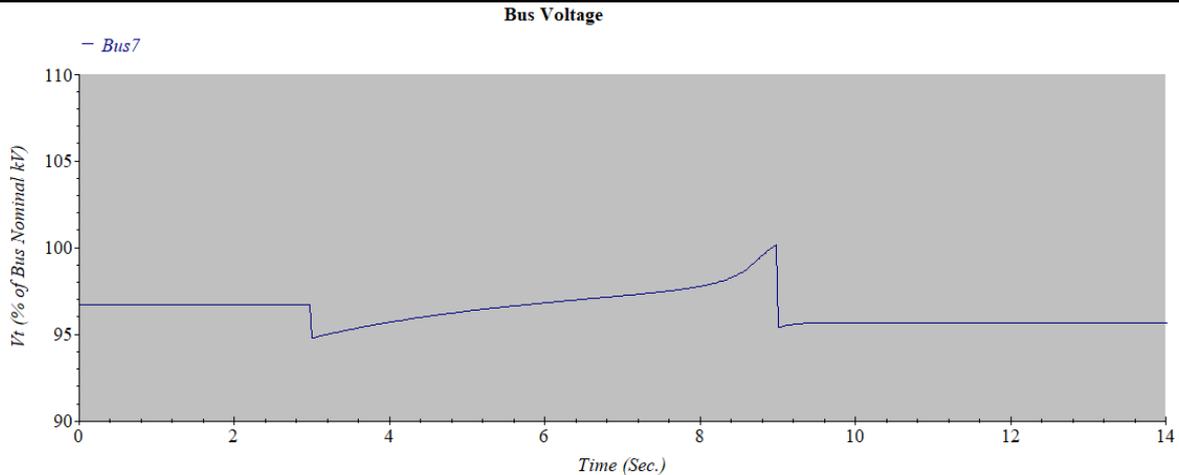


Figure IV. 15 : graphe tension du bus 7 avec capacité off

Selon les deux allures, en cas de maintien de la capacité, la tension présente une chute de tension de 5% et rétablissement jusqu'à la valeur normalisée qui est 1pu c'est-à-dire une chute de 0%.

Dans le cas où la capacité est mise hors service, la tension présente deux phases de changement transitoire : celle à 3s et à 9s avec une valeur finale de 4% de chute de tension par rapport à la tension normalisée (1pu).

### IV.7. Conclusion

La diagnostic et solution ont été l'objectif de ce chapitre, aussi fait partie de ce chapitre suivi par une série de simulations pour analyser l'effet d'un cas de solution que propose pour diminuer les creux de tension.

# **Conclusion Générale**

## *CONCLUSION*

Le travail effectué dans cette mémoire a pour objet d'identifier les problèmes majeurs affectant la qualité de l'énergie électrique, et d'analyser les creux de tension au sein d'un réseau électrique et développer des solutions pour atténuer les effets des creux et assurer un fonctionnement optimal du système électrique.

Les creux de tension représentent un défi majeur pour la stabilité et la fiabilité de l'alimentation en énergie dans les réseaux électriques. Ces perturbations, caractérisées par une diminution transitoire de la tension électrique, peuvent avoir des conséquences néfastes sur les équipements sensibles, entraînant des interruptions de service coûteuses et des dommages matériels.

Cependant, des solutions ont été développées pour atténuer les effets des creux de tension et assurer un fonctionnement optimal des systèmes électriques. Voici quelques mesures clés qui peuvent être mises en œuvre :

- 1 installation UPS
- 2 Séparation des lignes dans les réseaux de distribution
- 3 La compensation de l'énergie réactive
- 4 Favoriser des lignes HTA blindées souterraines.

Il est important d'encourager la collaboration entre les acteurs de l'industrie, les chercheurs et les organismes de réglementation pour promouvoir le développement continu de technologies et de normes visant à réduire les creux de tension et à améliorer la fiabilité du réseau électrique.

En mettant en œuvre ces solutions de manière proactive et en investissant dans la recherche et le développement, il est possible de réduire considérablement les conséquences des creux de tension, d'assurer une alimentation électrique plus stable et fiable, et de minimiser les perturbations pour les utilisateurs

## *Références Bibliographiques*

### **Références Bibliographiques:**

- [1] ajami, a., & ramaiah, r. v. (2016). power quality monitoring and analysis in an industrial environment. international journal of engineering research and applications, 6(7), 62-68.
- [2] moradi, m. h., rahmani, m., & radan, a. (2018). diagnosis and mitigation of voltage sags in a large-scale industrial power system. iee transactions on industry applications,
- [3] s. medjmadj & a. bpukhalfa, « surveillance des transformateurs de puissance : Approche de la redondance matérielle et quelques extensions », 4th international conference on electrical engineering 07 - 08 november 2006.
- [4] z. gajic, i. ivankovic & b. filipovic, « differential protection issues for combined autotransformer - phase shifting transformer », iee conference on developments in power system protection, amsterdam, netherlands, april 2004.
- [5] société de distribution du groupe sonelgaz, « guide technique de distribution » Document technique, 1984.
- [6] guide de l'installation électrique. (merlin gerin) 1969
- [7] guide de conception des réseaux électriques industriels (schneider)1997
- [8] securite de l'approvisionnement électrique 2004
- [9] christian puret, «les réseaux de distribution publique mt dans le monde », cahier technique n° 155, merlin gerin, 1991
- [10] schneider electric, « architecteur de réseau de distribution », 2007
- [11] (groupe sonelgaz, xd « guide technique de distribution », document technique de groupe sonelgaz, 1984.)
- [12] heydt, electric power quality: a tutorial introduction, iee computer applications in power, vol.11 no.1, january 1998, pp.15-19.
- [13] normes iee std 519-1992; iee recommended practices and requirements for harmonie control in electrical power systems; 12 april1993, page(s):15- 99.
- [14] les systèmes de l'électronique de puissance dédiés à la distribution électrique – application à la qualité d'énergie, thèse de doctorat, ion etxeberria-otadui 2003
- [15] outil de simulation de propagation des creux de tension dans les reseaux industriels. thèse de doctorat, isabelle el baaklini 2001
- [16] le schéma en électrotechnique, p.boyé et a.bianciotto, édition delagrave. 1981
- [17] agence nationale de régulation de l'électricité (anre) 2016

## *Références Bibliographiques*

- [18] mikhaïl kostenko et ludvik piotrovski, machines électriques, t. i, machines à courant continu, transformateurs, éditions de moscou (mir), 1969, 3e édition, 1979, 766 p., « deuxième partie – transformateurs », chap. xii à xxii, p. 370-577.
- [19] charles harel, machines électriques et essais de machines, société française des électriciens – école supérieure d'électricité, paris, 1960, chap. « transformateurs », p. 118-180.
- [20] legrand, *catalogue 2006, produits et systèmes pour installations électriques et réseaux d'information*, « répartition et raccordement »,
- [21] c. preve et r. jeanote, « guide de conception des réseaux électriques industriels », rapport technique, schneider electric n°68883 427/a, février 1997)
- [22] etap12.6 user guide, opération technology, inc. registered to iso 9001: 2008.certification no.10002889 qm08, march 2014
- [23] wolfgang hoffman, jürgen schlabbach et wolfgang just, *reactive power compensation: a practical guide*, chichester, wiley, 2012