

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**Université de RELIZANE**  
**Faculté des Sciences et de la Technologie**  
**Département : Electrotechnique et d'automatique**



**جامعة أحمد زبانة - غليزان**  
Ahmed Zabana Relizane University

**MEMOIRE**

**En vue de l'obtention du diplôme de MASTER en :**  
**Electrotechnique industrielle**

**Intitulé**

**Étude de protection et simulation d'un réseau Haute Tension  
radial (Cas dans la wilaya de Relizane )**

**Présenté par :**

Mlle : AMIAR Hanane .

Mlle : BELHACHEMI ikram .

**Devant les membres de jury :**

**Président :** Mr MILOUDI Mohamed

Maître de conférences (A) (U. Relizane)

**Encadrant :** Mr MANKOUR Mohamed

Maître de conférences (A) (U. Relizane)

**Examineur :** Mr BESSIS BENHALIMA

Maître de conférences (B) (U. Relizane)

**Année universitaire : 2024 /2025**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# **Dédicace :**

*Nous offrons ce modeste travail :*

*A nos chers parents*

*A toute notre petite famille , mes frères , pour leur soutien moral .*

*A tout nos amis , et a tous ceux qu`on aime et a toutes les personnes qui nous ont encourage et se sont donnes la peine de nous se tenir durant mon parcours académique.*

*A nos chers enseignants de ELectrotechnique*

*A mon encadreur monsieur Mankour Mohamed .*

**AMIAR HANANE**

## **Dédicace :**

*Nous n'avons pas atteint les objectifs sans Sa direction, nous n'avons pas atteint les fins sans Sa guidance, et nous n'avons pas réalisé les buts sans Sa grâce. Louange à*

*Dieu qui m'a permis de valoriser cette étape de notre parcours académique.*

*À ma chère grand-mère, qui a rêvé d'être témoin de ma joie en ce jour et de me bénir de sa joie et de ses prières. Tu es la lumière de ma maison et mon soutien physique et spirituel.*

*À ma mère bien-aimée, qui s'est prosternée devant Dieu, l'invoquant en secret et en public, et qui a été debout pour supporter ma fatigue et essuyer mes larmes. Je prie*

*Dieu de lui accorder une place spéciale. Ma joie n'est pas complète sans voir les larmes de bonheur dans tes yeux.*

*À mon cher père, source de fierté et de soutien constant, qui m'a appris la force et la patience, et qui a toujours été un modèle et une source de motivation. Merci pour tes conseils et ton amour qui m'ont donné la force de...*

*À mes chers frères, vous êtes mon soutien et ma bénédiction. Merci d'être toujours à mes côtés, et pour la mélodie qui me donne de l'espoir.*

*À mon amie et sœur, mon soutien Hanane Amiar qui a fait tout son possible*

*A mon professeur encadrant, que je remercie profondément pour sa disponibilité, ses conseils précieux, son encadrement rigoureux et bienveillant tout au long de ce travail. À vous tous, je dédie le fruit de mes efforts et de toutes ces années de persévérance, en témoignage de ma reconnaissance et de ma gratitude*

*Belhachemi ikram*

## **REMERCIEMENT :**

*Tout d'abord, nous adressons notre plus profonde reconnaissance à Dieu, le Tout-Puissant et Miséricordieux, qui nous a accordé force et persévérance pour mener à bien ce travail modeste. Nous exprimons notre gratitude sincère à notre encadreur, Monsieur MANKOUR Mohamed, pour ses conseils avisés et son accompagnement précieux tout au long de la réalisation de ce mémoire. Nous remercions également les membres du jury pour l'intérêt porté à notre travail ainsi que pour leurs remarques constructives qui ont considérablement enrichi notre recherche. Nous souhaitons aussi témoigner notre reconnaissance envers le staff de la Faculté des science et technologie, ainsi que pour le département d'Électrotechnique et d'Automatique, pour le soutien marqué et pour avoir fourni un environnement scientifique propice à l'accomplissement de ce projet. Enfin, nos remerciements s'adressent à toutes les personnes, de près ou de loin, qui ont contribué, d'une manière ou d'une autre, à la concrétisation de ce travail.*

## Résumé :

Ces dernières années, les systèmes d'énergie électrique ont connu des avancées significatives, particulièrement dans les domaines de la production, du transport et de la distribution. Cette évolution a rendu cruciale l'intégration de dispositifs de protection performants, capables de répondre à l'expansion croissante des réseaux, notamment ceux incluant des lignes à haute tension. En effet, cette croissance accroît les risques de défauts électriques, qu'ils soient d'origine interne (dégradation des isolants, corrosion, etc.) ou externe (aléas climatiques, catastrophes naturelles, etc.). Ce mémoire explore les principaux types de défauts susceptibles d'affecter les réseaux à structure radiale, en mettant en avant les solutions de protection basées sur des technologies avancées. Nous y analysons également les éléments clés des systèmes de protection, tels que les relais, les disjoncteurs et les capteurs, ainsi que les méthodes d'isolation des défauts visant à assurer une alimentation électrique continue. Sur le plan pratique, nous avons modélisé et simulé deux modèles de protection : protection chronométrique et protection de distance à l'aide du logiciel ETAP. Les résultats obtenus permettent d'apprécier l'efficacité et la rapidité de réaction du système dans diverses situations.

## ملخص :

في السنوات الأخيرة، حققت أنظمة الطاقة الكهربائية تقدماً كبيراً، وخاصة في مجال الإنتاج والنقل والتوزيع. وقد جعل هذا التطور من الضروري دمج أجهزة الحماية عالية الأداء، القادرة على السهولة للتوسع المتزايد في الشبكات، وخاصة تلك التي تشمل خطوط الإمداد العالي. وفي الواقع، فإن هذا النمو يزيد من خطر العيوب الكهربائية، سواء كانت ذات أصل داخلي (تدهور العوازل، والتآكل، وما إلى ذلك (أو خارجية) المخاطر المناخية، والكوارث الطبيعية، وما إلى ذلك). (تستكشف هذه الطروحة النواع الرئيسية من العيوب التي من المحتمل أن تؤثر على شبكات البنية الشعاعية، جمع تسليط الضوء على حلول الحماية القائمة على التقنيات المتقدمة. نقوم أيضاً بتحليل العناصر الأساسية لنظام الحماية، مثل المرحلت وقواطع الدائرة وأجهزة الاستشعار، بالإضافة إلى طرق عزل الخطأ لضمان إمداد الطاقة المستمر. على المستوى العملي، لقد قمنا بتعبئة وحاكاة نموذج الحماية والحماية الكرونومترية والحماية عن بعد باستخدام برنامج ETAP، وهي أداة معروفة بكفاءتها في تحليل أنظمة الكهربائية. وركزت الدراسة على سلوك وسائل الحماية في حالة وجود عيوب، من خلال تقييم قدرتها على الكشف والعزل. النتائج التي تم الحصول عليها تاعل من الممكن تقييم كفاءة وسرعة النظام في جوانب مختلفة

## Sommaire

|  |    |
|--|----|
| Dédicace   |    |
| Remerciement   |    |
| Résumé   |    |
| Sommaire   |    |
| Liste figures  |    |
| Liste tableau  |    |
| Abréviations   |    |
| Introduction générale.....                                   | 01 |
| Chapitre I :Généralités sur les réseaux électrique.....      | 03 |
| I.1. Introduction.....                                       | 03 |
| I.2. définition.....   | 03 |
| I.3. les niveaux de tension.....                             | 03 |
| I.4. Les structures topologique des réseaux électriques..... | 05 |
| I.4.1. les réseaux radiaux.....                              | 06 |
| I.4.2. les réseaux boucles.....                              | 06 |
| I.4.3. les réseaux mailles.....                              | 07 |
| I.5. les types des réseaux électriques.....                  | 07 |
| I.5.1. le réseau de transport HTB.....                       | 07 |
| I.5.2. les réseaux de ri partition HTA.....                  | 08 |
| I.5.3. les réseaux de distribution BTB.....                  | 08 |
| I.5.4. le réseau moyenne tension.....                        | 08 |
| I.5.5. le réseau de livraison BTA.....                       | 09 |
| I.6. La constitution d'un réseau électrique.....             | 09 |
| I.6.1. Les supports.....                                     | 09 |
| I.6.2. Les pylones.....                                      | 09 |
| I.6.2.1. Les types de pylones.....                           | 09 |
| I.6.2.1.1. pylone nappe.....                                 | 10 |
| I.6.2.1.2. pylône classique.....                             | 11 |
| I.6.2.1.3. pylône tubulaire.....                             | 11 |

|   |    |
|---|----|
| I.6.3. les types des isolateurs.....                    | 11 |
| I.6.3.1. isolateur a broche.....                        | 12 |
| I.6.3.2. isolateur a tige.....                          | 12 |
| I.6.4. les conducteurs électriques.....                 | 12 |
| I.6.5. Les éclateurs.....                               | 12 |
| I.6.6. cable de garde.....                              | 13 |
| I.6.7. batterie.....                                    | 13 |
| I.7. Les différentes éléments de poste électriques..... | 14 |
| I.8. les éléments qui constitue les postes HT.....      | 14 |
| I.8.1. Les lignes aérienne.....                         | 14 |
| I.8.2. Transformateurs.....                             | 15 |
| I.8.2.1. transformateur de puissance.....               | 15 |
| I.8.2.2. transformateur de courant.....                 | 16 |
| I.8.2.3. transformateur de tension.....                 | 16 |
| I.8.3. Disjoncteur a haut tension.....                  | 17 |
| I.8.4. sectionneur a haute tension.....                 | 17 |
| I.8.5. jeu de barre.....                                | 17 |
| I.9. La familles de postes.....                         | 18 |
| I.9.1. Postes AIS ouverts.....                          | 19 |
| I.9.2. postes GIS Blindes.....                          | 19 |
| I.10. conclusion.....                                   | 19 |
| Chapitre II :Les défauts électriques.....               | 20 |
| II.1. Introduction.....                                 | 21 |
| II.2. Définition.....                                   | 21 |
| II.3. Origines des défauts.....                         | 21 |
| II.3.1. Défauts d`origines externe.....                 | 21 |
| II.3.2. Défauts d`origines interne.....                 | 21 |
| II.4. La nature des défauts.....                        | 21 |
| II.4.1. Défaut fugitif.....                             | 21 |
| II.4.2. Defaut permanat.....                            | 21 |

|  |    |
|--|----|
| II.4.3. Défaut auto _ extincteur.....                                    | 22 |
| II.4.4. défaut semi _permanant.....                                      | 22 |
| II.5. les différents type de défauts.....                                | 22 |
| II.5.1. les courts _circuits.....  | 22 |
| II.5.1.1. les différentes types de courts _circuits.....                 | 22 |
| a. Les causes.....   | 22 |
| b. Effet.....  | 24 |
| II.5.2. les surcharges.....  | 24 |
| II.5.2.1. causes de surcharges.....                                      | 24 |
| II.5.2.2. conséquences de surcharges.....                                | 24 |
| II.5.3. les surtensions.....   | 24 |
| II.5.3.1. types de surtensions.....                                      | 24 |
| a. origines interne les surtensions internes.....                        | 25 |
| b. origines externe de surtensions.....                                  | 25 |
| II.5.3.2. conséquences de surtensions.....                               | 26 |
| II.5.4. Les creux de tension.....  | 26 |
| II.5.4.1. cause.....   | 27 |
| II.5.4.2. Effet.....   | 27 |
| II.5.5. Déséquilibre.....  | 27 |
| II.5.5.1. les causes de déséquilibre.....                                | 27 |
| II.5.5.2. conséquences.....  | 27 |
| II.5.6. harmoniques.....   | 27 |
| II.5.6.1. origines des courants Harmoniques.....                         | 27 |
| II.6. conséquences des défauts sur le réseau électrique.....             | 28 |
| II.7. élimination des défauts.....                                       | 28 |
| II.8. conclusion.....  | 29 |
| Chapitre III :Protection des défauts électriques.....                    | 30 |
| III.1. introduction.....   | 31 |
| III.2. définition.....   | 31 |
| III.3. les différentes parties à protéger dans le réseau électrique..... | 31 |

|   |    |
|---|----|
| III.3.1. protection des transformateurs.....                              | 32 |
| III.3.2. protection des jeux de barres.....                               | 32 |
| III.3.3. protection des lignes.....                                       | 32 |
| III.4. principe d'un système de protection.....                           | 32 |
| III.5. propriétés de protection.....                                      | 33 |
| III.6. les types de protections.....                                      | 33 |
| III.6.1. protection différentielle.....                                   | 33 |
| III.6.1.1. avantages.....   | 34 |
| III.6.1.2. inconvénient.....  | 34 |
| III.6.2. protection a maximum de courant.....                             | 34 |
| III.6.2.1. avantages.....   | 34 |
| III.6.2.2. inconvénients.....   | 34 |
| III.6.3. protection par relais a maximum de courant directionnel.....     | 34 |
| III.6.4. protection par relais a maximum de courant non directionnel..... | 35 |
| III.6.5. protection par relais de distance.....                           | 35 |
| III.6.5.1. avantages.....   | 35 |
| III.6.5.2. inconvénient.....  | 35 |
| III.6.6. protection par relais buchholz.....                              | 36 |
| III.6.7. protection de masse cuve.....                                    | 36 |
| III.7. mode de sélectivité.....   | 37 |
| III.7.1. sélectivité chronométrique.....                                  | 38 |
| III.7.2. sélectivité ampèremétrique.....                                  | 38 |
| III.7.3. sélectivité logique.....   | 38 |
| III.8. système de protection.....   | 39 |
| III.8.1. disjoncteur.....   | 39 |
| III.8.2. réducteurs de mesure.....  | 39 |
| III.8.2.1. objectifs.....   | 40 |
| III.8.2.2. composants.....  | 40 |
| III.8.3. transformateur de courant.....                                   | 40 |
| III.8.3.1. rôle.....  | 40 |

|  |    |
|--|----|
| III.8.4. transformateur de tension.....  | 40 |
| III.8.4.1. application.....  | 40 |
| III.8.5. relais de protection.....   | 40 |
| III.8.5.1. Fonction.....   | 40 |
| III.8.5.2. les types de relais.....  | 41 |
| a. Le relais de distance de type F21.....  | 41 |
| b. Protection par maximum de courant AINSI 50/51.....                                | 41 |
| c. La protection différentielle code 87 AINSI.....                                   | 42 |
| III.8.6. le synthese.....  | 42 |
| III.9. La comparaison entre protection différentielle et protection de distance..... | 42 |
| III.10. connexion des relais et zones de protection.....                             | 42 |
| III.11. coordination des protections électriques.....                                | 43 |
| III.12. conclusion.....  | 43 |
| Chapitre VI: Simulation et résultats d'un réseau HT.....                             | 44 |
| VI.1. Introduction.....  | 45 |
| VI.2. présentation de logiciel Etap.....   | 45 |
| VI.3. utilisation d `Etap.....   | 46 |
| VI.4. réseau globale de l ouest d'Algérie.....                                       | 47 |
| VI.5. reseau reel de zammoura.....   | 48 |
| VI.6. Conception sur ETAP.....   | 48 |
| VI.6.1 : présentation réseau de test.....  | 48 |
| VI .6.2: l'écoulement de puissance sur Etap.....                                     | 49 |
| VI.7: Protection par sélectivité chronométrique.....                                 | 51 |
| VI.7.1 : défaut monophasé.....   | 52 |
| VI.7.1.1 : résultats et discussion.....  | 53 |
| VI. 7.2 : défaut triphasé bus 2.....   | 54 |
| VI. 7.2.1: résultats et discussion.....  | 56 |
| VI. 7.3: défaut triphasé à la charge.....  | 56 |
| VI. 7.3.1: résultats et discussion.....  | 57 |
| VI. 8: Protection par relais distance.....   | 57 |

|  |    |
|--|----|
| VI.8.1 : Les entrés et les sorties.....              | 59 |
| VI. 8.2: calcul les paramètres de relais.....        | 60 |
| VI. 8.3: l'impédance par 1km.....                    | 61 |
| VI. 8.3: l'impédance par 23 km.....                  | 61 |
| VI. 9 : Les zones de protection.....                 | 62 |
| VI. 10 : Les différents scénarios et simulation..... | 62 |
| VI. 10.1 : Le premier défaut zone 1.....             | 62 |
| VI. 10.2: Le deuxième défaut.....                    | 63 |
| VI. 10.3: Le troisième défaut.....                   | 63 |
| VI. 11: conclusion.....                              | 65 |
| Conclusion générale.....                             | 67 |
| Bibliographie.....                                   | 68 |

### **LISTE DES FIGURES :**

|   |    |
|---|----|
| Figure I.1 : Le réseau électrique.....  | 03 |
| Figure I.2 : Architecture générale de réseaux d'Énergie électriques en Algérie..... | 04 |
| Figure I.3 : réseau radial.....   | 05 |
| Figure I.4 : réseau bouclée.....  | 05 |
| Figure I.5 : réseau maille.....   | 06 |
| Figure I.6: Schéma de description des réseaux électriques.....                      | 06 |
| Figure I.7: pylône nape.....  | 08 |
| Figure I.8: pylône classique.....   | 10 |
| Figure I.9: pylône tubulaire.....   | 10 |
| Figure I.10 : éclateur MT avec tige anti-oiseaux.....                               | 11 |
| Figure I.11 : transformateur de puissance.....                                      | 15 |
| Figure I.12 : transformateur de courant.....  | 16 |
| Figure I.13 : Jeu de barre HT.....  | 18 |

|  |    |
|--|----|
| Figure I.14: représente poste (AIS) et (GIS).....                                    | 19 |
| Figure II.1 : défaut monophasé.....  | 23 |
| Figure II.2 : défaut biphasé.....  | 23 |
| Figure II.3 : défaut triphasé.....   | 23 |
| Figure II.4 : Formes des ondes normalisées représentant les surtensions de manœuvre. | 25 |
| Figure II.5 : exemple d'une foudre.....  | 26 |
| Figure III.1 : Chaîne de protection.....   | 31 |
| Figure III.2: : Exemple d'un élément constitutif d'un système d'une protection.....  | 33 |
| Figure III.3 : les qualités de protection.....                                       | 34 |
| Figure III.4 : Exemple d'une protection différentiel.....                            | 36 |
| Figure III.5 : Principe de protection à distance.....                                | 36 |
| Figure III.6: protection de masse cuve.....  | 38 |
| Figure III.7: sélectivité ampèremétrique.....  | 38 |
| Figure III.8: sélectivité chronométrique.....  | 39 |
| Figure III.9: disjoncteur haute tension.....   | 40 |
| Figure III.10 :transformateur de tension.....  | 41 |
| Figure IV.1 : capture d'écran sur Etap.....  | 45 |
| Figure IV.2: réseau globale de ghelizane.....  | 47 |
| Figure IV.3:schéma unifilaire de zammoura.....                                       | 48 |
| Figure IV.4: capture d'écoulement de puissance dun réseau HT radial ( 220/60.....    | 50 |
| Figure IV.5: résultats de L'écoulement de puissance.....                             | 51 |
| Figure IV.6: Exemple dun relais utilisé dans la protection.....                      | 51 |
| Figure IV.7:résultats de défaut monophasée.....                                      | 51 |
| Figure IV.8: Résultats défaut triphasé.....  | 53 |
| Figure IV.9: résultats défaut triphasé à la charge.....                              | 55 |
| Figure IV.10: schéma unifilaire dans etap protection de distance.....                | 56 |
| Figure IV.11: caractéristique relais a distance.....                                 | 57 |
| Figure IV.12 : captures les entrées et les sorties.....                              | 58 |
| Figure IV.13: caractéristiques de la ligne de transmission.....                      | 58 |
| Figure IV.14: les dimensions des zones de protection.....                            | 59 |

|   |    |
|---|----|
| Figure IV.15: Les zones de relais.....                          | 59 |
| Figure IV.16: interface de réglage de relais de protection..... | 61 |
| Figure IV.17 défaut zone 1.....                                 | 62 |
| Figure IV.18: défaut zone 2.....                                | 62 |
| Figure IV.19: défaut zone 4.....                                | 63 |

### **Liste des Tableaux :**

|   |    |
|---|----|
| Tableau I. 01: Niveaux de tension normalisés.....                                     | 03 |
| Tableau I.2: propriétés des conducteurs électriques.....                              | 12 |
| Tableau IV.1:les différentes types conducteurs utilisés par la société sonal gaz..... | 49 |
| Tableau IV.2. :L`impédance par 1 km pour chaque zone.....                             | 61 |
| Tableau IV.3 : L`impédance par 50 km pour chaque zone.....                            | 61 |

## **Abréviations :**

HT: haute tension .

MT: moyenne tension .

BT: basse tension .

HTB:Haute tension B .

HTA:Haute tension A.

BTB: B asse tension en boucle ou blinde .

BTA: basse tension aérienne .

THT: très haute tension .

TC : transformateur de courant .

Tp: transformateur de potentiel.

CB: circuit breaker

OCR : over current relay

ms : mili secondes

# **Introduction**

# **Générale**

## **Introduction Générale :**

### **Introduction Générale :**

Les réseaux haute tension radiaux jouent un rôle vraiment important dans les transmissions d'électricité sur de longues distance. Leur structure unidirectionnelle fait qu'ils ont besoin d'une protection efficace, sinon les conséquences peuvent être graves. Une panne ou une défaillance pourrait entraîner des pertes financières, des interruptions de service à grande échelle, et même des risques pour la sécurité des infrastructures.

L'objectif de ce travail est de trouver des moyens d'améliorer la protection de ces réseaux combinant des analyses théoriques et des simulations numériques. L'idée est de concevoir un système de protection qui soit fiable et rapide, tout en répondant aux besoins spécifiques des réseaux radiaux. Cela inclut la prévention des courts-circuits, la gestion des surtensions et la détection des anomalies avant qu'elles ne deviennent critiques.

Pour y parvenir, on utilisera des outils de simulation comme MATLAB ou ETAP. Ces logiciels permettent de modéliser le comportement des réseaux sous différentes conditions, que ce soit des perturbations naturelles ou des erreurs humaines. Mais avant d'entrer dans les simulations, il faut comprendre les bases, c'est à dire les principes des systèmes de protection classiques et leurs limites. Ensuite les résultats des simulations seront analysés et comparés aux normes actuelles pour .

Ce projet est particulièrement pertinent. Que les réseaux électriques doivent répondre à des demandes de plus en plus grande tout en s'adaptant à des défis comme l'intégration des énergies renouvelables ou les variations de charge. Les conclusions pourraient même servir pour renforcer la fiabilité des systèmes de protection dans d'autres types de réseaux électriques.

Le présent mémoire est structuré comme suit :

- Le premier chapitre traite une généralité sur les réseaux électriques.
- Le deuxième chapitre étudie Les défauts (surtension et courts-circuits) dans le réseau électrique.
- Le troisième chapitre étudie les techniques de protection des lignes haut tension.
- Le quatrième chapitre simule les défauts et résultats.

**CHAPITRE I :**  
**Généralités sur les réseaux**  
**électriques.**

**I. Introduction :**

Ce chapitre est consacré à la description générale du réseau électrique, le rôle et les différents types de réseau, les structures et les niveaux de tension, les éléments de transport d'énergie électrique et en particulier les éléments constituant le poste HT.

**I.1 Définition :**

Un réseau électrique a pour fonction de générer de l'énergie électrique et de la transmettre jusqu'aux consommateurs, tout en maintenant une tension et une fréquence constantes, ainsi qu'en assurant une bonne qualité de la tension et la continuité de l'alimentation.

Le réseau électrique joue un rôle essentiel dans le fonctionnement moderne de la société en assurant la distribution d'électricité depuis les centrales de production jusqu'aux consommateurs (ménages, industries, commerces, etc.). Ses principales fonctions sont les suivantes : Transport de l'électricité, Distribution, Flexibilité et fiabilité, Sécurité.

Le réseau électrique est une infrastructure cruciale qui permet d'assurer un approvisionnement fiable en électricité, indispensable au fonctionnement économique, social et domestique [1].

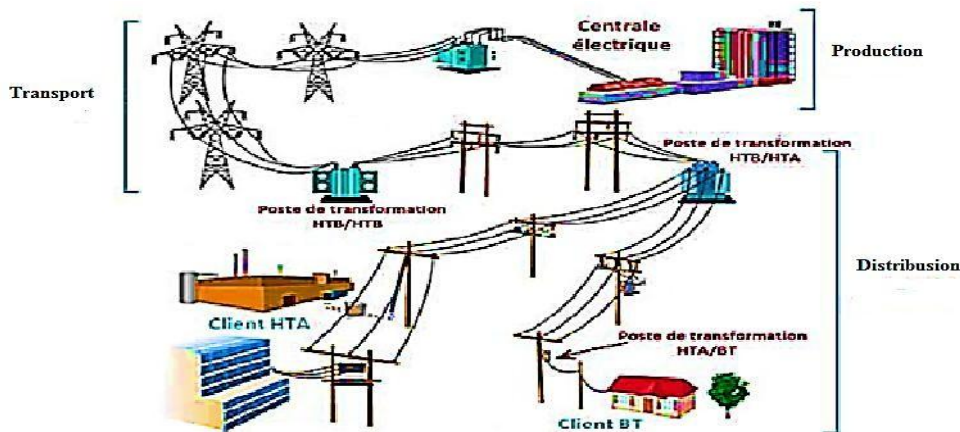


Figure I.1: Le réseau électrique

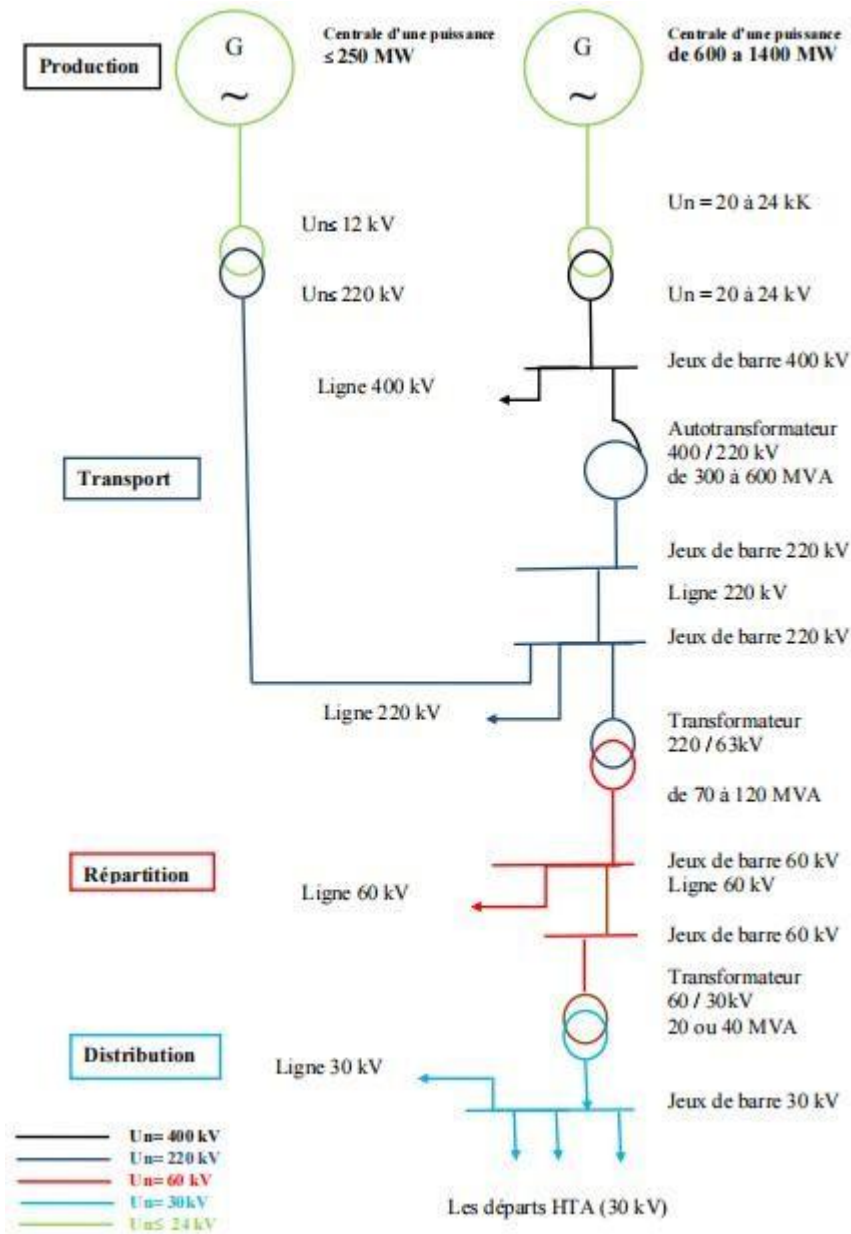


Figure I.2: Architecture générale de réseaux d'Énergie électriques en Algérie.

### I.3. Les niveaux de tension :

La nouvelle norme en vigueur en Algérie (SONELGAZ) définit les niveaux de tension alternative comme suit [2] :

| Domaines de Tension      | Tension Alternatif ( $U_n$ en V) | Tension Continu ( $U_n$ en V) |
|--------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Très Basse Tension (TBT) | $U_n \leq 50$                    | $U_n \leq 120$                |
| Base Tension (BT) - BTA  | $50 < U_n \leq 500$              | $120 < U_n \leq 750$          |
| Base Tension (BT) - BTB  | $500 < U_n \leq 1000$            | $750 < U_n \leq 1500$         |
| Haute Tension (HT) - HTA | $1000 < U_n \leq 50\,000$        | $1500 < U_n \leq 75\,000$     |
| Haute Tension (HT) - HTB | $U_n > 50\,000$                  | $U_n > 75\,000$               |

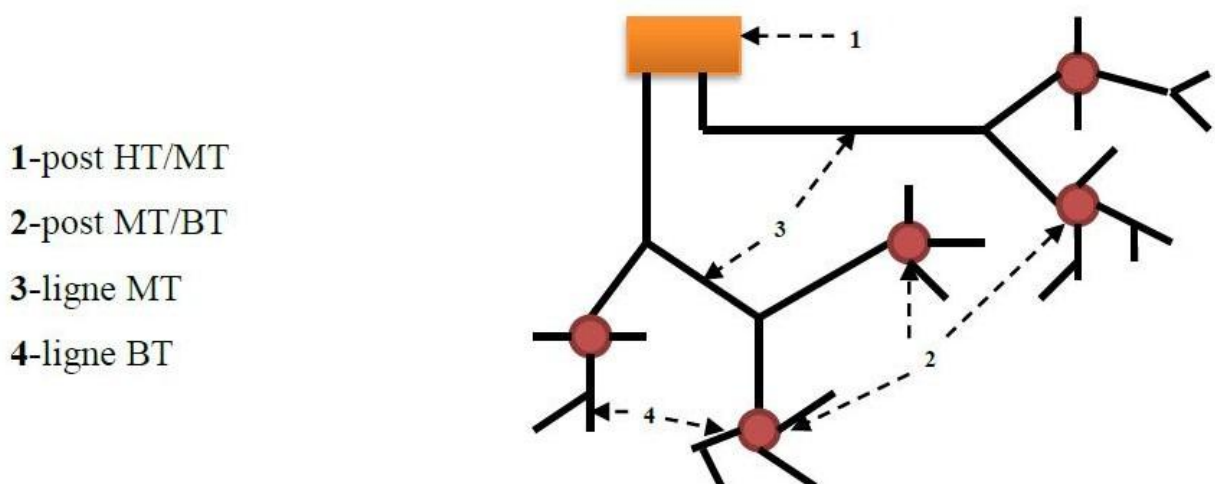
**Tableau I. 01: Niveaux de tension normalisés.****I.4. Les structures topologiques des réseaux électriques :**

La topologie est l'ensemble des principes (schémas, protection, mode d'exploitation), on distingue [3] :

**I.4.1. Les réseaux radiaux :**

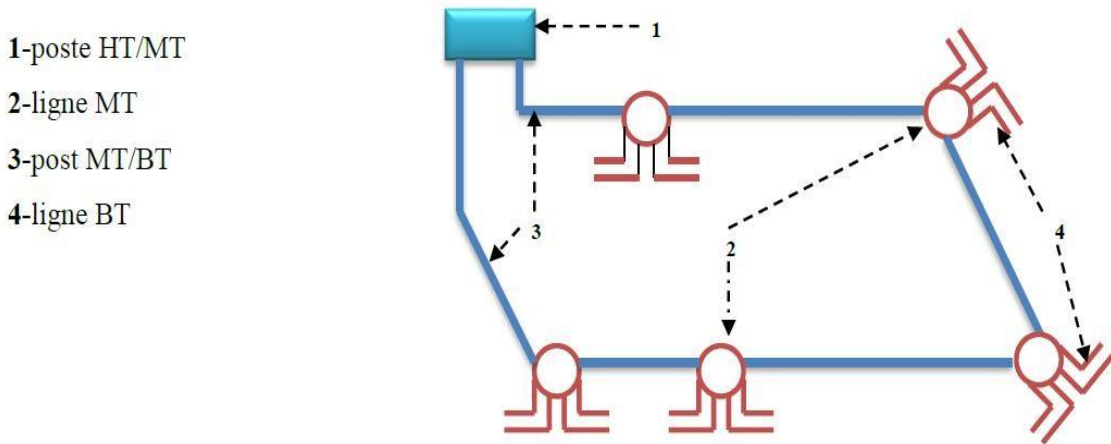
Un réseau radial issu d'un poste d'alimentation est constitué de plusieurs artères dont chacune va en se ramifiant, cette structure nous permet d'avoir des points communs, de sorte que le réseau soit bouclé mais non bouclé. Car en un point est placé toujours un appareil de coupure, ouvert en régime normal. Cette disposition permet en cas d'incidents sur une artère de reprendre l'alimentation.

Les réseaux radiaux sont des structures simples et peuvent être contrôlés et protégés par un appareillage simple. Ce sont les réseaux les moins onéreux.

**Figure I.4: réseau radial.**

**I.4.2.Les réseaux bouclés :**

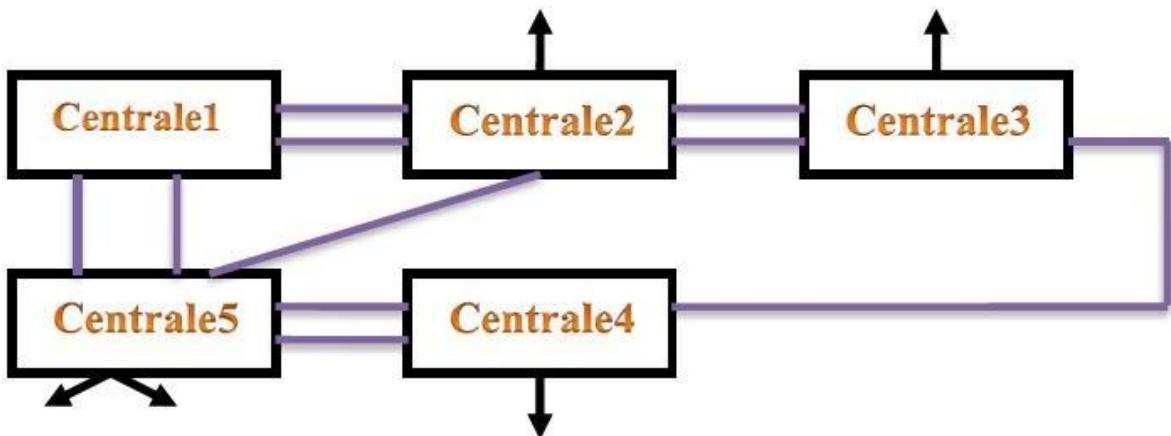
Les réseaux bouclés Sont alimenté à la fois par plusieurs source (en général 2 ou 3 rarement plus). L'existence de plusieurs sources en parallèle (figure I.5) augmente la sécurité d'alimentation, en cas d'avarie de l'une d'elles (transformateur) ou sur une boucle.



**Figure I.5: réseau bouclée.**

**1.4.3Les réseaux maillés :**

Sont des réseaux où toutes les lignes sont bouclées. Cette structure (figure I.6) nécessite que tous les tronçons de lignes soient capables de surcharges permanentes, et qu'il soit muni, a leurs deux extrémités, d'appareils de coupure. On obtient ainsi la meilleure sécurité, mais au prix le plus élevé.



**Figure I.6: réseau maille.**

**1.5. Les types des réseaux électriques :**

De manière générale, les réseaux électriques sont classés en fonction des niveaux de tension, comme suit :

- Un réseau de transport à haute tension très haute (HTB)
- Un réseau de répartition à haute tension alternative (HTA)
- Un réseau de distribution à basse tension très haute (BTB)
- Un réseau de livraison à basse tension alternative (BTA)

Cette hiérarchie peut varier considérablement d'un pays à l'autre [4].

**1.5.1 Le réseau de transport HTB :**

Le réseau HTB est généralement celui qui permet de déplacer l'énergie depuis des centres de production situés loin des lieux de consommation. Il est habituellement interconnecté aux centrales de grande puissance (supérieures à 300 MW). Ces réseaux constituent une vaste grille couvrant un territoire, à laquelle sont raccordées différentes sources et utilisations (groupes, transformateurs). Chaque nœud, désigné par les points A, B, et C, agit comme un « poste d'interconnexion », composé en règle générale d'un collecteur principal appelé « jeu de barres », où se branchent les lignes à l'aide de divers équipements.

Ces réseaux sont principalement aériens, bien qu'ils puissent aussi être souterrains, notamment dans les zones urbaines ou à proximité de celles-ci. Leur dimensionnement est établi en fonction d'une capacité de transit déterminée, généralement liée à la limite thermique des lignes. Une attention particulière est requise pour les effets de couronne, qui peuvent engendrer des pertes considérables en THT en fonction du climat et de l'altitude. Les pylônes de lignes sont typiquement équipés de deux, quatre, voire six ternes (en utilisant 3 phases). La protection de ces réseaux doit être très efficace. À une échelle nationale, leur exploitation est gérée par un centre de conduite où l'énergie électrique est constamment surveillée et gérée.

**1.5.2 Les réseaux de répartition HTA :**

Les réseaux de répartition, qui fonctionnent à haute tension, assurent la distribution d'électricité à une échelle régionale. L'énergie est principalement injectée via le réseau de transport à travers des transformateurs, mais aussi par des centrales de moyenne puissance (inférieures à environ 100 MW). Ces réseaux sont répartis de manière relativement homogène

sur le territoire d'une région. Leur objectif principal est de livrer l'électricité du réseau de transport aux grands centres de consommation, qui peuvent être soit des installations publiques ayant accès au réseau de distribution moyenne tension, soit des installations privées avec des consommateurs de grande envergure (supérieurs à 10 MVA) recevant directement de la haute tension.

**1.5.3. Les réseaux de distribution BTB :** Les réseaux de distribution ont pour mission d'alimenter tous les consommateurs. Ils se divisent en deux sous-niveaux de tension :

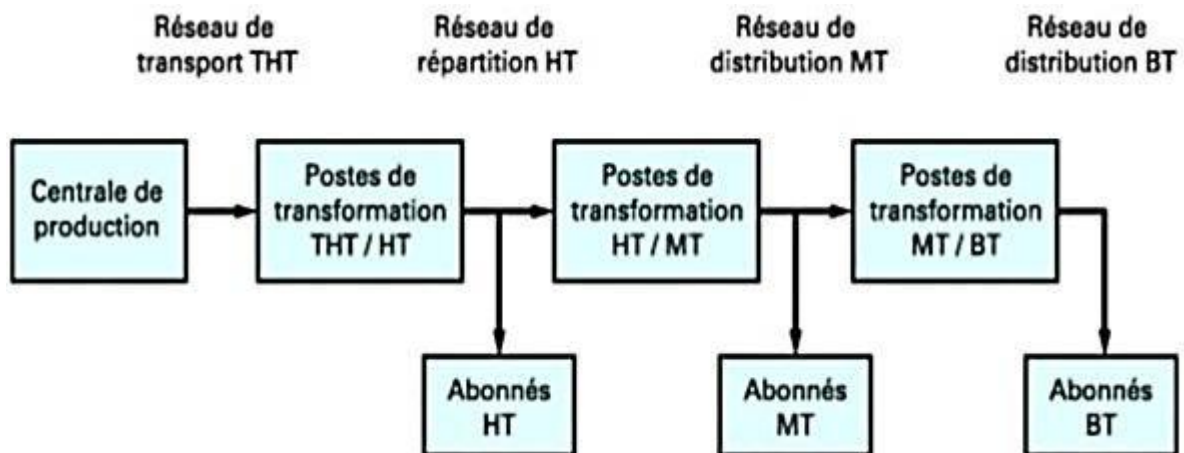
**1.5.4. Le réseau moyenne tension MT :**

Les réseaux à basse tension, qui connectent les utilisateurs domestiques.

Contrairement aux réseaux de transport et de répartition, les réseaux de distribution offrent une grande variété de solutions techniques, variant selon les pays et la densité de la population.

**1.5.5. Le réseau de livraison BTA :**

Le réseau de livraison BTA, qui est le plus familier, est conçu pour délivrer une tension de 400/230 V (380/220 V en Algérie). On le retrouve dans nos foyers via les équipements tels que le compteur, le disjoncteur et les fusibles (micro disjoncteurs). Ce réseau a pour objectif d'acheminer l'électricité depuis le réseau de distribution HTA vers les points de faible consommation dans le secteur public, offrant un accès aux abonnés au réseau BTB. Il représente le dernier niveau dans la structure des réseaux électriques.



**Figure I.7: Schéma de description des réseaux électriques.**

**1.6. La constitution d'un réseau électrique :**

Un réseau électrique est généralement constitué d'une source d'alimentation, de conducteurs et d'éléments de consommation, auxquels s'ajoutent des dispositifs supplémentaires tels que les protections, les commandes, les systèmes de réglage et les transformateurs.

**1.6.1. Les supports :**

Les supports servent à maintenir les conducteurs électriques. On distingue principalement deux types :

- Les supports en acier bout soudé (BS).
- Les supports en béton.

**1.6.2. Les pylônes :**

Leur rôle est de maintenir les câbles à une distance de sécurité minimale par rapport au sol et aux obstacles environnants, garantissant ainsi la protection des personnes et des infrastructures avoisinantes. Le choix des pylônes dépend des caractéristiques de la ligne, de l'environnement, des contraintes mécaniques du terrain et des conditions climatiques locales. Leur configuration est déterminée par la disposition des conducteurs.

**1.6.2.1. Types de pylônes :**

Les pylônes soutiennent les conducteurs des lignes aériennes haute tension, depuis les centrales de production jusqu'aux postes sources situés près des zones habitées. Leur forme, leur hauteur et leur résistance mécanique varient en fonction des contraintes auxquelles ils sont exposés. Les pylônes ne conduisent pas l'électricité, sauf en cas de foudre frappant le câble de garde (positionné au sommet), qui guide la décharge vers la terre via la structure du pylône, protégeant ainsi les conducteurs principaux [5].

**a \_Pylône nappe :**

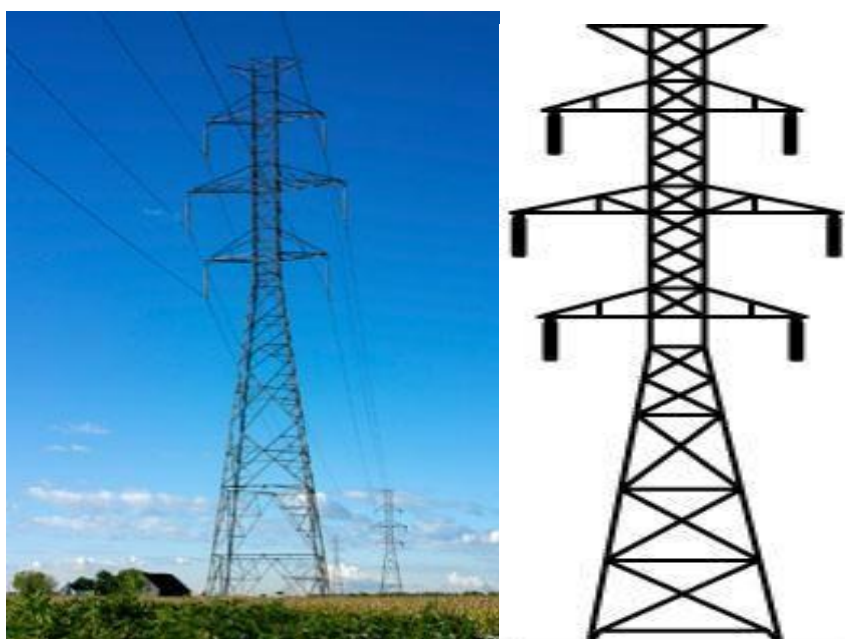
Ce type de pylône est le plus couramment utilisé pour les lignes de transport d'électricité. Il est adapté aux niveaux de tension allant de 110 kV à 735 kV. Grâce à sa conception modulaire, il peut être assemblé facilement, ce qui le rend particulièrement adapté aux terrains accidentés ou difficiles d'accès.



**Figure I.8: pylône nape.**

**b\_Pylône classique :**

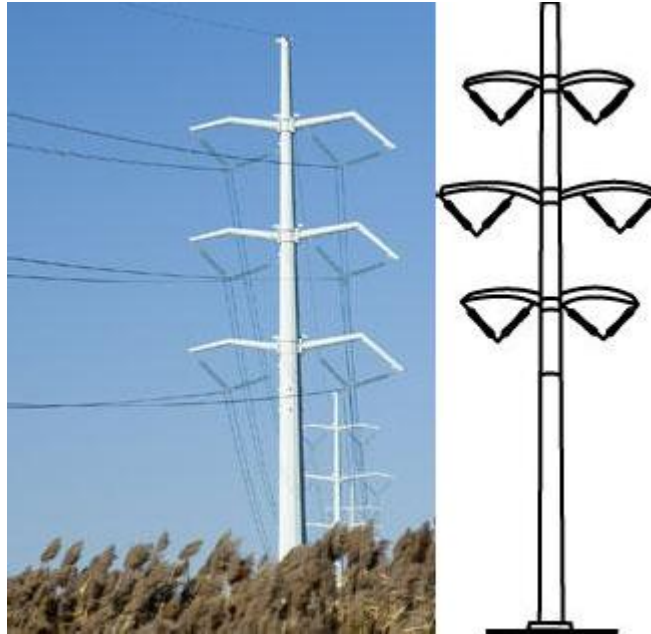
Ce type de pylône, qui prend peu de place au sol, est employé pour des niveaux de tension compris entre 110 kV et 315 kV. Sa hauteur peut varier de 25 à 60 mètres.



**Figure I.9: pylône classique.**

**c\_Pylône tubulaire :**

Ce type de pylône, plus élégant et moins encombrant que les modèles traditionnels, s'intègre harmonieusement dans les paysages urbains. De plus en plus répandu dans les centres-villes, il mesure entre 27 et 45 mètres et supporte des tensions allant de 110 kV à 315 kV.



**Figure I.10: pylône tubulaire.**

**I.6.2.Les types des isolateurs :****a\_ Définition :**

Les isolateurs de suspension sont des isolateurs modulaires qui aident à protéger une ligne électrique contre les surcharges à l'aide d'une méthode de suspension de conducteur. Principalement appliqué aux réseaux avec une charge de tension de 33 KV et plus, un conducteur est fixé à l'extrémité inférieure de l'isolateur et suspendu à celui-ci, séparant ce conducteur des autres sur la ligne [6].

**b\_ Les isolateurs à broche :**

Considérés comme le premier type d'isolateur développé pour les lignes aériennes, les isolateurs à broches isolent un fil ou un câble conducteur du reste du réseau. Leur forme permet une fixation solide de l'isolateur au fil conducteur, facilitant ainsi son maintien. Les isolateurs à broches sont principalement utilisés dans les systèmes électriques dont la tension de charge peut atteindre 33 kV. Contrairement à d'autres types d'isolateurs, ils sont fixés directement sur la structure.

**c\_ Les isolateurs à tige :**

Sont utilisés sur les lignes aériennes depuis près d'un siècle. Plus grands que les isolateurs à tige, ils servent à la fois d'isolant et de renfort aux zones vulnérables d'un système électrique. De nos jours, les isolateurs à poteau sont souvent utilisés à la place des isolateurs à broche sur des charges de tension allant jusqu'à 69 kV, avec des versions à noyau solide capables de supporter jusqu'à 1100 kV.

**1.6.3. Les conducteurs électriques :**

Leur fonction principale est de transporter l'énergie électrique. Ils peuvent être installés en ligne aérienne, en souterrain ou, dans certains cas, sous l'eau. Les conducteurs aériens sont exposés aux conditions climatiques (températures extrêmes, vent, pluie, gel, etc.), ce qui nécessite une sélection rigoureuse des matériaux pour assurer leur résistance. Actuellement, les câbles sont principalement fabriqués à partir d'aluminium, de cuivre et d'acier, dont les propriétés détaillées sont présentées dans le tableau .

| <b>Propriétés</b>                         | <b>cuivre</b> | <b>Aluminium</b> | <b>Acier</b> |
|---|---------------|------------------|--------------|
| Resistivité à 20 °C ( $10^{-8}$ )         | 1.72          | 2.8              | -15          |
| Masse volumique ( $\text{kg.m}^{-3}$ )    | 8890          | 2700             | 7800         |
| Contrainte de Rupture à la traction (Mpa) | 380 à 450     | 150 à 190        | 1410 à 1450  |

**Tableau I.2: propriétés des conducteurs électriques****1.6.4. Les éclateurs :**

Un éclateur est généralement composé de deux électrodes : l'une est connectée à l'élément à protéger, et l'autre à la terre. La distance entre ces électrodes est souvent réglable, permettant d'ajuster la tension d'amorçage. L'écartement est calibré de manière à déclencher l'amorçage en cas de surtensions importantes sur les réseaux électriques.

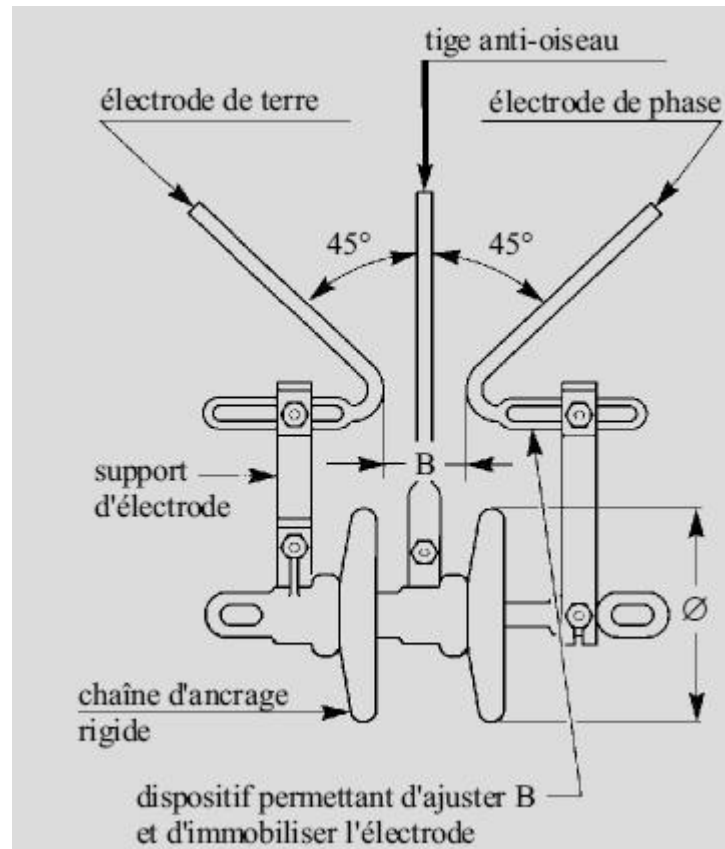


Figure I.11 : éclateur MT avec tige anti-oiseaux.

#### 1.6.5. Câble de garde :

Les câbles de garde ne transportent pas de courant électrique. Positionnés au-dessus des conducteurs de phase, ils servent principalement de paratonnerre en protégeant la ligne des impacts directs de la foudre, évitant ainsi que les conducteurs ne soient frappés. Généralement fabriqués en acier, ils peuvent parfois intégrer en leur centre un câble à fibres optiques, utilisé par l'exploitant pour les communications [8].

#### 1.6.6. Batteries :

Dans les centrales électriques et les postes de transformation haute capacité, les batteries stationnaires alimentent divers systèmes essentiels, tels que les circuits de commande et de régulation automatique, les dispositifs de protection par relais, ainsi que l'éclairage de secours. Ces batteries sont constituées d'un ensemble de cellules d'accumulateurs, dont le nombre est déterminé en fonction de la tension requise par le circuit continu correspondant.

**1.7. Les différents éléments de poste électrique :**

On distingue parfois les éléments d'un poste en "éléments primaires" (les équipements haute tension) et "éléments secondaires" (équipements basse tension) Parmi les **équipements primaires**, on peut citer [9] :

1. Transformateur électrique.
2. Auto Transformateur électrique.
3. Disjoncteur à haute tension.
4. Sectionneur.
5. Sectionneur de mise à la terre.
6. Parafoudre.
7. Transformateur de courant.
8. Transformateur de tension.
9. Combiné de mesure (courant + tension),
10. jeux de barres.

Parmi les **éléments secondaires** on peut citer :

1. Relais de protection.
2. Équipements de surveillance.
3. Équipements de contrôle.
4. Système de télé conduite.
5. Équipements de telecommunication.
6. Comptage d'énergie.

**1.8. Les éléments qui constituent les postes HT :**

Les éléments d'un poste HT se distinguent en deux parties :

- Les élément primaires qui sont les équipements à haute tension.

Les éléments primaires regroupent des transformateurs, des disjoncteurs, des sectionneurs, des jeux de barre et des batteries de condensateurs.

**I.8.1. Les ligne aérienne :**

Les lignes électriques sont l'élément de liaison entre les centrales de production de l'énergie et les utilisateurs. Les sites de production sont généralement éloignés des lieux d'utilisation,

d'où la nécessité de transporter l'énergie avec des lignes électriques à haute tension. L'accroissement de la consommation d'énergie électrique, étroitement liée à l'expansion de la consommation en général, ont déterminé l'évolution des lignes électriques et leur interconnexion pour former un réseau de transport international.

### **I.8.2 Transformateurs :**

Les transformateurs utilisés dans les postes électriques sont de quatre types :

#### **I.8.2.1. Les transformateurs de puissance :**

Le transformateur de puissance est certainement le dispositif qui a permis l'essor puis la domination des réseaux alternatifs pour le transport, la distribution et l'utilisation de l'énergie électrique. La première fonction d'un transformateur a été l'élévation de la tension de transport afin de réduire le courant et donc les pertes joules générés dans les lignes. Cette élévation est bien entendue allée de pair avec l'abaissement de la tension aux points d'utilisation. D'un point de vue plus général, un transformateur est un élément indispensable à l'interconnexion des différents réseaux d'énergie.



**Figure I.12: transformateur de puissance.**

#### **I.8.2.2. Transformateur de courant :**

Les transformateurs de courant (TI ou TC) qui :

- a) abaissent la valeur des courants de circulation
- b) permettent aussi commander l'ouverture d'appareils de protection en cas de défaut (surintensité).

Principe de fonctionnement : Le primaire  $N_1$  peut être constitué d'un conducteur unique traversant le circuit magnétique du TC : le courant  $I_1$  est le courant que l'on veut mesurer et  $I_2$  est l'image d' $I_1$  qui circule dans l'enroulement  $N_2$ . Les deux courants sont liés par un rapport

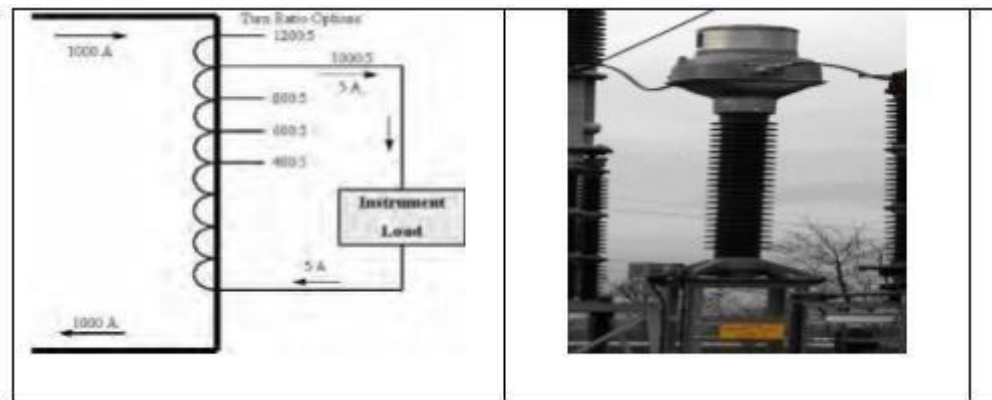
de transformation : On mesure le courant  $I_2$  en mettant le secondaire  $S_1 - S_2$  du TI en court-circuit.

Note importante : Le sens de branchement du TC ou TI est important car une inversion

On ne doit en aucun cas « ouvrir » le circuit II d'un TC sous peine de voir apparaître entre ses bornes une tension qui peut atteindre plusieurs kV : cette manœuvre entraîne la destruction du TC et peut blesser gravement l'utilisateur.

Dans les réseaux haute tension où des courants de plusieurs kA transitent, la mesure de ces courants élevés est difficile. Pour la faciliter, les transformateurs de courant ont pour rôle de diviser la valeur du courant à mesurer par un facteur constant. Cette démarche permet également de standardiser les équipements de mesure du courant et de les isoler d'électriquement du réseau haute tension.

L'équipement de mesure connecté à son secondaire est en général un ampèremètre, mais on peut également brancher un wattmètre ou des relais de protection. Tous sont conçus pour mesurer des courants de quelques ampères. La caractéristique la plus importante d'un transformateur de courant est donc son rapport de transformation, exprimé par exemple sous la forme 400 A/1 A. provoque une erreur de déphasage qui introduit une erreur de mesurage et par conséquent du comptage de l'énergie [10].



**Figure I.13: transformateur de courant.**

### **I.8.2.3. Transformateur de tension :**

Un transformateur de tension est un « transformateur de mesure dans lequel la tension secondaire est, dans les conditions normales d'emploi, pratiquement proportionnelle à la tension primaire et déphasée par rapport à celle-ci d'un angle voisin de zéro, pour un sens approprié des connexions ».

Il s'agit donc d'un appareil utilisé pour la mesure de fortes tensions électriques. Il sert à faire l'adaptation entre la tension élevée d'un réseau électrique HTA ou HTB (jusqu'à quelques centaines de kilovolts) et l'appareil de mesure (voltmètre, ou wattmètre par exemple) ou le relais de protection, qui eux sont prévus pour mesurer des tensions de l'ordre de la centaine de volts [10].

**I.8.2.4.Auto transformateur :**

Une auto transformatrice est un transformateur dont on connecte le primaire et le secondaire de sorte qu'ils aient un enroulement en commun. Un schéma de principe est donné à la figure suivante, avec le nombre de spires de chaque enroulement.

**I.8.2.5.Disjoncteurs à haute tension :**

Un disjoncteur à haute tension est destiné à établir, supporter et interrompre des courants sous sa tension assignée (la tension maximale du réseau électrique qu'il protège), selon la définition donnée par la Commission électrotechnique internationale . Il opère à la fois :

- Dans des conditions normales de service, par exemple pour connecter ou déconnecter une ligne dans un réseau électrique ;
- Dans des conditions anormales spécifiées, en particulier pour éliminer un court-circuit dans le réseau provoqué par la foudre (Voir aussi la partie spécifique) ou d'autres causes.
- De par ses caractéristiques, un disjoncteur est l'appareil de protection essentiel d'un réseau à haute tension, car il est seul capable d'interrompre un courant de court-circuit et donc d'éviter que le matériel connecté sur le réseau soit endommagé par ce court-circuit.
- Le principe de fonctionnement d'un disjoncteur séparant des contacts dans un gaz (air, SF<sub>6</sub>.) ou dans un milieu insolent [11].

**I.8.2.6.Sectionneur à haute tension :**

La fonction principale d'un sectionneur haute tension est de pouvoir séparer (un disjoncteur isole mais ne sépare pas < notions de distance >) un élément d'un réseau électrique (ligne à haute tension, transformateur, portion de poste électrique, ...) afin de permettre à un opérateur d'effectuer une opération de maintenance sur cet élément sans risque. Le sectionneur doit :

- Indiquer sans ambiguïté sa position : on parle parfois de « coupure visible », sinon « certaine » quand les contacts ne sont pas directement visibles.
- Pouvoir être cadenassé pour garantir à l'opérateur qu'un circuit isolé ne sera pas refermé par inadvertance. Posséder une isolation entre les bornes, qui garantisse à l'opérateur qu'une surtension ne puisse pas mettre en défaut cette isolation et remettre malencontreusement le circuit sous tension.

- Ils doivent aussi pouvoir supporter des courants de court-circuit entre 25KA et 63KA.

**I.8.2.7. Jeu de barre :**

Les jeux de barres sont généralement des barres plates ou des tubes creux en cuivre ou en aluminium (les plus grands jeux de barres peuvent atteindre un diamètre de 120mm et une section de 1000mm<sup>2</sup>). En haute tension les jeux de barres peuvent être « posés » sur des isolants, dans ce cas ce sont des tubes. Ils peuvent être « tendus », c'est-à-dire que les jeux de barres sont flexibles et suspendus par des chaînes isolantes à des structures métalliques. Les jeux de barres permettent de relier les différentes composantes d'un poste électrique, ce qui les rend très importants mais aussi très fragiles.

En effet, si un jeu de barres est soumis à un court-circuit, c'est le poste entier qui est mis hors tension. Généralement, plusieurs jeux de barres connectés en parallèle permettent d'empêcher ce problème et permettent de faire la maintenance d'un jeu de barres sans mettre le poste entier hors service [12].



**Figure I.14: Jeu de barre HT.**

**1.9. Familles de poste :**

On peut classer les postes en deux catégories : Postes AIS (ouverts) :

**I.9.1. Postes AIS ouverts :**

Les postes à isolation dans l'air, également appelés postes « conventionnels » ou AIS (Air Insulate Switcher).

On parle parfois de « postes ouverts ».

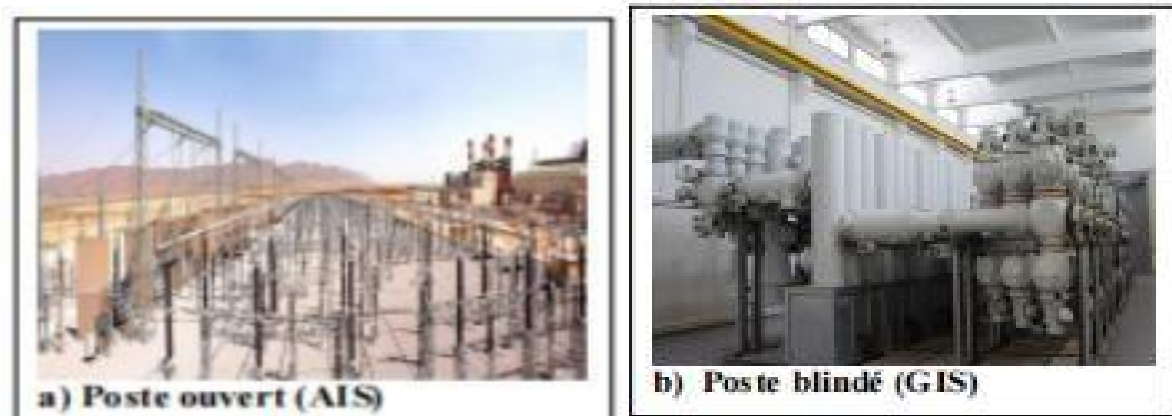
L'isolement diélectrique est aussi par l'air à la pression atmosphérique. Dans ces conditions, on a défini des distances d'isolement et de sécurité à partir desquelles ont été obtenues les dimensions géométriques des installations.

Il existe deux postes :

- Postes extérieurs : à double jeu de barres, un jeu de barre (Ps), poste avec barre de transfert.
- Postes intérieurs : Ils ont même composants sauf ils sont construits dans 1 bâtiment.

### **I.9.2. Poste GIS blindés :**

Les postes à isolation gazeuse, appelés, aussi postes sous enveloppe métallique, ou GIS (Gaz Insulte Switcher). On parle par fois de « postes blindés ». Afin de réduire l'encombrement des postes, on a remplacé l'air à la pression normale par gaz lourd, inodore, incolore, stable et ininflammable l'hexafluorure soufre (SF<sub>6</sub>). Ce gaz à air comprimé à 3,5 bars est obtenu dans des enveloppes en aluminium étanches et relié à la terre, à raison d'une enveloppe par phase. Le poste blindé ou GIS (sous enveloppe métallique) se présente donc comme un assemblage de caissons remplis de SF<sub>6</sub> et contenant, non seulement les conducteurs, mais divers aussi les appareils à haute tension pour des raisons de sécurité, ces caissons sont divisés en compartiments étanches et surveillés individuellement [13].



**Figure I.15: représente poste (AIS) et (GIS).**

### **1.10. Conclusion :**

L'objectif, de ce chapitre est de donner une vision globale des concepts classiques, des réseaux électriques, qui restent toujours d'actualité comme les cheminements de l'énergie électrique, la classification des tensions selon les normes de la Commission Electrotechnique Internationale (CEI) et les schémas d'exploitation des différents types de réseau.

**Chapitre II :**  
**LES DEFAUTS ELECTRIQUES**

**II.1. Introduction :**

Les défauts électriques provoquant des dysfonctionnements, des dommages matériels, voire des accidents, sont appelées pannes et les anomalies électriques. De nombreux facteurs, comme les surcharges, les surtensions, les défauts d'isolation et les courts-circuits, peuvent en être la cause. Ce chapitre consiste à donner un aperçu sur les défauts qui surviennent dans les réseaux électriques et les différents types avec les causes et les conséquences.

**II.2. Définition :**

Un défaut désigne une condition anormale du réseau qui entraîne une défaillance d'un ou plusieurs équipements du système d'alimentation, opérant à l'une des tensions primaires du réseau électrique.[14]

**II.3. Origines des défauts:****II.3.1. Défauts d'origine externe :**

- **Mécaniques** : Ces défauts résultent d'incidents tels que la rupture d'un support, d'un conducteur ou d'un isolateur sur une ligne aérienne. Ils peuvent également être causés par des amorçages dus au contact de branches, de brindilles ou même d'oiseaux avec les conducteurs.
- **Atmosphériques** : Ces perturbations sont liées à des phénomènes naturels, notamment la foudre frappant directement les conducteurs d'une ligne ou d'un poste, ou tombant à proximité. Elles incluent également les amorçages provoqués par des dépôts conducteurs accumulés sur les isolateurs.[15]

**II.3.2. Défauts d'origine interne:**

Ces défauts se produisent au sein même du réseau électrique sans cause externe identifiable. Parmi les exemples fréquents, on retrouve :

- Les surtensions dues à des phénomènes de résonance.
- Les surintensités générées par une surcharge, un court-circuit, un défaut d'isolement ou l'ouverture intempestive de circuits sous charge.

**II.4. La nature des défauts :**

Les défauts électriques peuvent être classés en plusieurs catégories selon leur durée et leur impact sur le fonctionnement du réseau :

**II.4.1. Défaut fugitif :**

Ce type de défaut provoque une coupure très brève de l'alimentation, généralement de l'ordre de quelques dixièmes de seconde.

**II.4.2. Défaut permanent :**

Il entraîne un déclenchement définitif du dispositif de protection et nécessite l'intervention du personnel d'exploitation pour être éliminé.

**II.4.3. Défaut auto-extincteur :**

Il disparaît de manière spontanée en un laps de temps très court, sans déclencher les dispositifs de protection.

**II.4.4. Défaut semi-permanent :**

Ce type de défaut provoque une ou plusieurs coupures relativement longues (quelques dizaines de secondes), mais ne requiert pas l'intervention du personnel d'exploitation.

Répartition des défauts sur les réseaux aériens de transport de SONELGAZ La fréquence des différents types de défauts observés est estimée comme suit :

- Défauts fugitifs : 70 à 90 %
- Défauts semi-permanents : 5 à 15 %
- Défauts permanents : 5 à 15 %

**. II.5. Les différents types de défauts:**

Tout phénomène entraînant une modification plus ou moins importante des valeurs nominales des grandeurs électriques, telles que la tension ou le courant, est considéré comme une perturbation.

**II.5.1. Les courts-circuits:**

Le court-circuit est une surintensité instantanée provoquée par une chute brutale d'impédance entre deux points d'un même circuit, entraînant un courant très élevé

**II.5.1.1. Les différents types de courts-circuits:**

Dans un réseau triphasé, on distingue plusieurs types de courts-circuits :

- **Court-circuit monophasé :** une phase est en contact avec le neutre ou la terre.

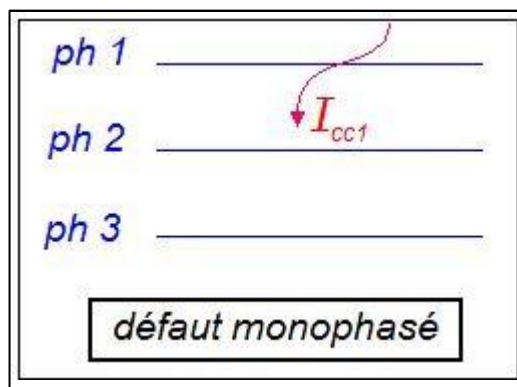


Figure II.1: défaut monophasé.

- **Court-circuit biphasé** : deux phases sont mises en contact direct.

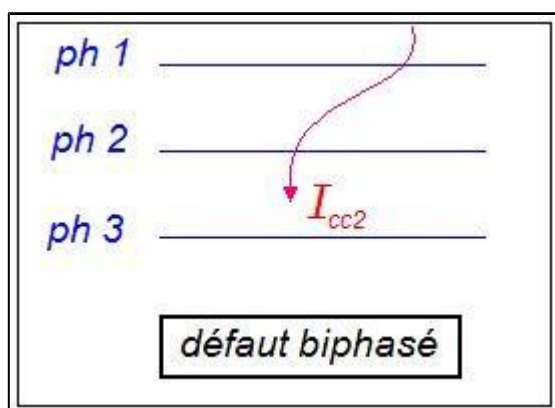


Figure II.2: défaut biphasé

- **Court-circuit triphasé** : les trois phases sont court-circuitées ensemble.[16]

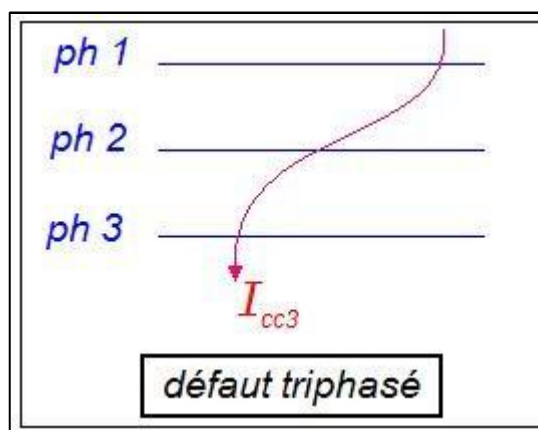


Figure II.3: défaut triphasé

**a\_ Les causes :**

- Élévation brutale du courant absorbe due a un contact électrique entre 2 conducteurs de polarités différents.

**b\_Effet:**

- création d'un arc électrique.
- création d'effets électrodynamiques.[17]

**II.5.2. Les surcharges :**

La surcharge correspond à une surintensité progressive qui survient dans un circuit en bon état, généralement à la suite d'une augmentation excessive de la charge. Pour détecter ce type de perturbation, on utilise des dispositifs spécifiques tels que :

- Les relais thermiques
- Les fusibles

**II.5.2.1. Causes des surcharges :**

Plusieurs situations peuvent être à l'origine d'un courant de surcharge :

- Utilisation d'un appareil au-delà de sa puissance nominale (intentionnellement ou par accident)
- Dysfonctionnement d'un équipement.[17]

**II.5.2.2. Conséquences d'une surcharge :**

Un courant de surcharge peut entraîner :

- Une surintensité
- Un échauffement anormal des conducteurs et équipements
- Un déséquilibre du réseau Une baisse de la fréquence.[17]

**II.5.3. Les surtensions :**

Une surtension se définit comme toute tension, entre un conducteur de phase et la terre ou entre conducteurs de phase, dont la valeur de crête dépasse la valeur maximale admissible pour les équipements concernés.[18]

On distingue deux types de surtensions :

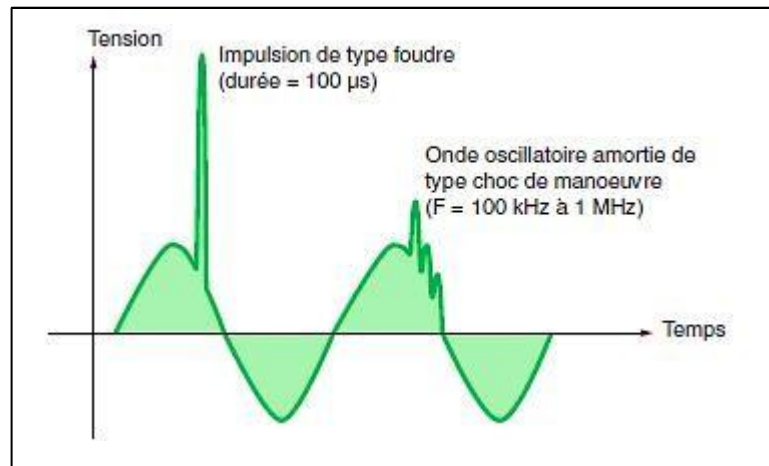
- **Surtension en mode différentiel** : lorsqu'elle se manifeste entre deux conducteurs de phase ou entre différents circuits.

- **Surtension en mode commun** : lorsqu'elle apparaît entre un conducteur de phase et la masse ou la terre.

### II.5.3.1. Types de surtensions :

Les surtensions peuvent avoir deux origines principales :

Surtensions d'origine interne Surtensions d'origine externe



**Figure II.4: Formes des ondes normalisées représentant les surtensions de manœuvre**  
**a- Origine interne Les surtensions internes:**

Sont générées par des éléments du réseau lui-même. Elles dépendent exclusivement des caractéristiques techniques et de l'architecture du réseau. Parmi les principales causes, on peut citer :

- Les surtensions dues à l'effet Ferranti (cas des lignes longues)
- Les surtensions de manœuvre Surtension due à l'effet Ferranti (ligne longue)

Ce phénomène se produit lorsqu'une ligne électrique de grande longueur est alimentée à une seule extrémité et que sa charge à l'autre extrémité est très faible. Dans ce cas, une surtension peut apparaître en raison d'un phénomène de résonance entre l'inductance longitudinale de la ligne et la capacité transversale entre les conducteurs et la terre.

Ce phénomène est particulièrement marqué dans les câbles souterrains, où :

- L'inductance longitudinale est plus faible que dans les lignes aériennes.
- La capacité transversale est beaucoup plus élevée que celle des lignes aériennes.

En revanche, dans les lignes aériennes, l'inductance est généralement plus élevée et la capacité plus faible, rendant l'effet Ferranti moins significatif.

**b\_Origine externe des surtensions:**

Les surtensions d'origine externe sont engendrées ou transmises par des éléments situés en dehors du réseau électrique concerné. Parmi les exemples les plus courants, on peut citer :

➤ **Les surtensions provoquées par la foudre :**



**Figure II.5: exemple d'une foudre .**

**II.5.3.2. Conséquences des surtensions :**

Les surtensions peuvent avoir des effets graves sur les réseaux électriques, affectant à la fois la fiabilité du service, l'intégrité du matériel et la sécurité des personnes. Leurs conséquences varient selon leur nature, leur amplitude et leur durée. Parmi les effets les plus fréquents, on retrouve :

- Claquage du diélectrique isolant des équipements lorsque la surtension dépasse les niveaux de tenue spécifiés.
- Vieillesse prématurée des équipements, dû à des surtensions répétées même si elles ne sont pas immédiatement destructrices.
- Contraintes électrodynamiques et thermiques, telles que la déformation ou la destruction du matériel, la fusion d'éléments, voire des incendies ou des explosions, souvent causées par des chocs de foudre.

- Risque pour les personnes et les animaux, en raison de l'élévation des potentiels électriques et de l'apparition de tensions de pas et de contact.[18]

**II.5.4. Les creux de tension :**

Un creux de tension correspond à une chute temporaire de l'amplitude de la tension, durant généralement entre 10 millisecondes et 1 seconde. Ces perturbations sont principalement causées par des déséquilibres dans les réseaux triphasés, affectant ainsi la qualité de l'alimentation électrique. [19]

**II.5.4.1. Cause :**

- chute de tension trop importante due à un déséquilibre du réseau.[17]

**II.5.4.2. Effet :**

- mauvais fonctionnement des récepteurs (moteurs, matériels informatique).

**II.5.5. Déséquilibre :**

Déséquilibre dans les systèmes triphasés Un système triphasé est considéré comme déséquilibré lorsque :

- Les amplitudes des trois tensions ne sont pas égales
- OU lorsque le déphasage entre les phases différent de  $120^\circ$

Cette situation perturbe le fonctionnement normal du réseau électrique.[18]

**II.5.5.1. Les causes de déséquilibre :**

Le déséquilibre est causé par :

- Le courant de court-circuit
- La rupture de phase.
- Le mauvais fonctionnement du disjoncteur.[19]

**II.5.5.2. Conséquences :**

Les conséquences de déséquilibre sont :

- Échauffement des conducteurs.
- Vibration des moteurs.

**II.5.6. Harmoniques :**

Les harmoniques représentent des perturbations du réseau se manifestant par :

- Des courants et tensions parasites
- Une déformation des ondes sinusoïdales idéales

- Des fréquences multiples de la fréquence fondamentale (50Hz)

**II.5.6.1. Origines des courants harmoniques :**

- Transformateurs d'intensité
- Phénomènes d'arcs électriques
- Principalement les redresseurs et convertisseurs statiques.

**II.6. Conséquences des défauts sur le réseau électrique :**

Sur les réseaux THT, des temps d'élimination des courts-circuits compris entre 100 et 150 millisecondes sont généralement considérés comme le maximum tolérable pour garantir la stabilité du système. Les courts-circuits génèrent deux grandes familles de contraintes sur les équipements électriques :

- **Contraintes thermiques** : causées par le dégagement de chaleur lié à l'effet Joule dans les conducteurs, pouvant entraîner leur détérioration.
- **Contraintes mécaniques** : résultant des forces électrodynamiques qui provoquent le balancement des conducteurs aériens et le déplacement des enroulements dans les transformateurs. Si ces efforts dépassent les limites admissibles, ils peuvent provoquer des dommages importants, voire irréversibles.

**II.7. Élimination des défauts :**

La surveillance continue des grandeurs électriques du réseau, assurée par des capteurs fiables et correctement dimensionnés, transmet les informations aux relais de protection afin de permettre un isolement rapide de la zone défectueuse. Il est important de rappeler que le temps nécessaire à l'élimination d'un défaut se compose de deux éléments principaux :

- Le temps de réponse des dispositifs de protection
- Le temps d'ouverture du disjoncteur

Dès la détection du défaut, il est essentiel de le localiser avec précision pour ne mettre hors tension que la portion du réseau directement concernée. Ainsi, les dispositifs de protection doivent :

- Détecter la présence d'un défaut Identifier l'équipement affecté Commander les organes de coupure nécessaires à l'isolement de la partie concernée du réseau.

**II.8. Conclusion :**

Ce chapitre a présenté les différents types de défauts susceptibles de survenir sur les lignes de transmission. L'utilisation des réseaux de haute tension pour la détection, la classification et la localisation des défauts. La méthodologie de protection adoptée à cet effet sera détaillée dans le chapitre suivant.

**Chapitre III :**  
**Protection des défauts**  
**électriques.**

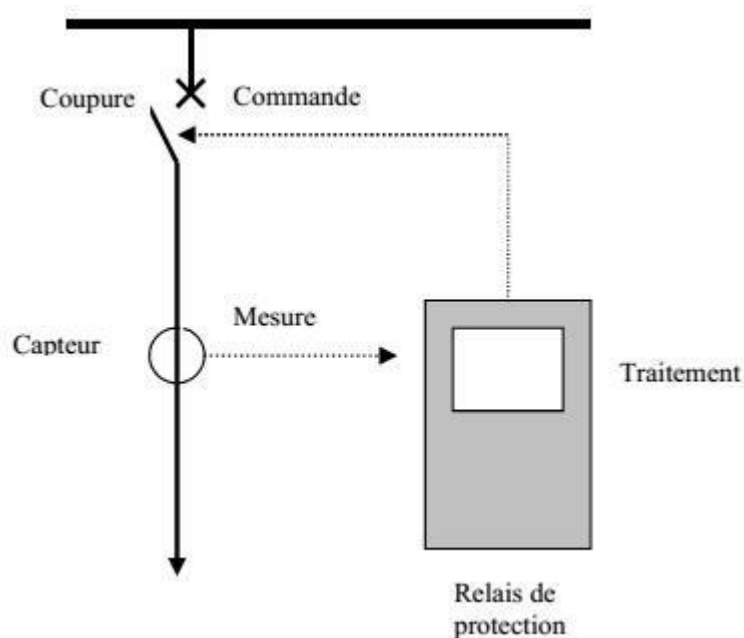
**III.1. Introduction :**

Plusieurs plans de protection se sont succédés au cours des années depuis 1975, date de l'introduction du niveau de tension 220kV, en remplaçant le niveau de tension 150kV, dans le réseau de transport, le plan de protection nécessite de ce fait une grande attention tout au long de son existence, vu que la philosophie de réglage constamment en révolution en quête de la perfection et de la performance. Dans ce chapitre, un aperçu sur les différents types d'équipement, et les techniques de protection utilisés dans le réseaux électriques seront bien détaillés.

**III.2. Définition :**

Un plan de protection est l'ensemble des équipements de protection choisis pour :

- Éliminer le défaut le plus rapidement possible, en isolant l'ouvrage du réseau concerné par le défaut (sélectivité).
- Assurer le secours et la complémentarité entre les équipements de protections constituant le plan.

**III.3. Les Différents parties à protéger dans le réseau électrique :**

**Figure III.1: Chaîne de protection.**

**III.3.1. Protection des transformateurs :**

Les transformateurs sont parmi les équipements les plus critiques d'un réseau électrique. Ils peuvent subir divers types de défauts, tels que des problèmes de refroidissement, des surcharges ou des courts-circuits. Pour garantir leur sécurité et leur bon fonctionnement, il est indispensable de les protéger à l'aide de dispositifs de protection adaptés.[20] [21]

**III.3.2. Protection des jeux de barres :**

Bien que les jeux de barres soient rarement sujets aux défauts en raison de leurs faibles longueurs et petits diamètres, il est essentiel d'assurer leur élimination rapide en cas de problème. En effet, un défaut sur ces éléments peut provoquer des dommages importants et perturber une partie, voire l'ensemble du réseau. Pour leur protection, on peut utiliser une protection différentielle ou, alternativement, une protection de masse. [22]

**III.3.3. Protection des lignes :**

Pour assurer la protection d'une ligne électrique haute tension (HT), plusieurs mesures doivent être mises en œuvre. Tout d'abord, il est essentiel de respecter les distances de sécurité réglementaires. Les lignes aériennes doivent être équipées de dispositifs anti-arcs et de protection contre les défauts électriques. Par ailleurs, les installations, telles que les transformateurs, nécessitent une protection contre les surtensions et les défaillances internes.

**III.4. Principe d'un système de protection :**

Quel que soit la technologie, le système de protection est composé de trois parties Fondamentales :

- Des capteurs ou réducteurs de mesure qui abaissent les valeurs à surveiller (courant, Tension...) à des niveaux utilisables par les protections Des relais de protection.
- Un appareillage de coupure (un ou plusieurs disjoncteurs).[23]

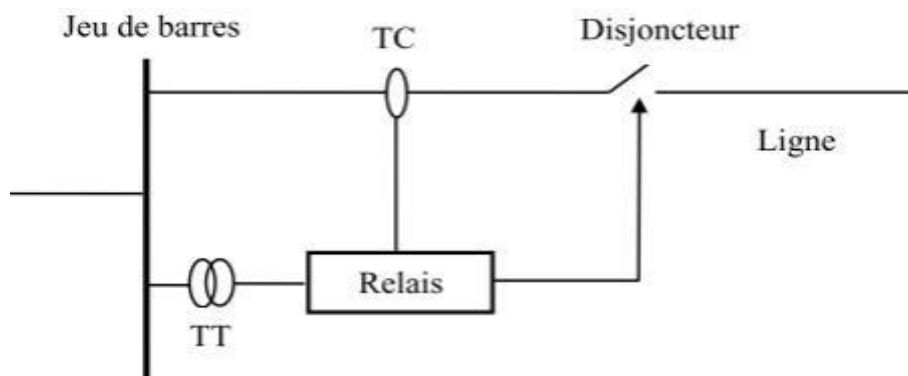


Figure III.3: Exemple Dun éléments constitutifs d'un système Dun protection.

### III.5. Propriétés de protection :

Pour qu'un système de protection accomplisse convenablement sa mission, il doit présenter les Qualités suivantes :

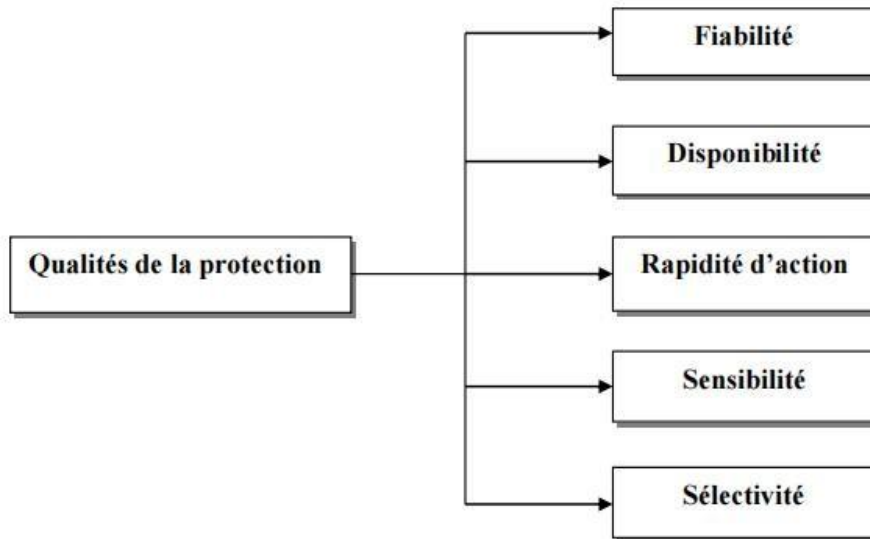


Figure III.4: les qualités de protections

- **Fiabilité** : Déclenchement suite à un défaut réel (décision sûre).
- **Disponibilité** : C'est la capacité de fonctionner lors de l'apparition d'un défaut, ce qui impose diverses procédures ou dispositifs pour s'assurer que la protection est en état de marche.
- **Rapidité d'action** : Pour limiter les effets néfastes du défaut.
- **Sensibilité** : Détecter la moindre variation de grandeur à surveiller.
- **Sélectivité** : Déclenchement seulement des appareils encadrant le défaut, de manière à Maintenir sous tension les parties saines.

### III.6. Les types de protection :

#### III.6.1. Protection différentielle :

La protection différentielle d'un réseau électrique vise à détecter rapidement et de manière sélective les défauts, en isolant uniquement la section endommagée. Son principe repose sur la comparaison entre la somme des courants entrants et celle des courants sortants d'une zone protégée. En fonctionnement normal, ces deux sommes sont égales, ce qui signifie qu'aucun courant différentiel n'est détecté. En revanche, en cas de défaut à l'intérieur de la zone protégée, un déséquilibre apparaît, générant un courant différentiel que le relais de protection utilise pour déclencher la mise hors tension de la partie concernée.

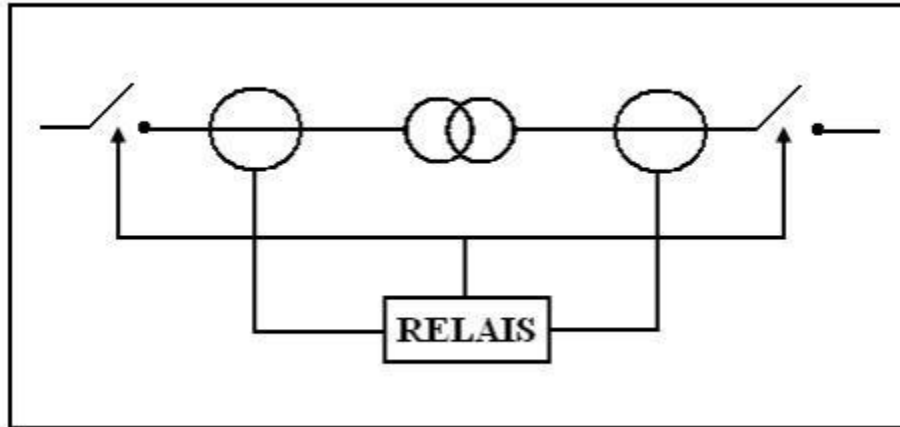


Figure III.5: Relais différentielle

**III.6.1.1. Les avantages :**

- Haute sensibilité : elle est sensible aux défauts internes à sa zone de protection, même si les courants de défauts.
- Rapidité : elle est très rapide à déclencher.
- Protection complète (ou presque) : elle peut détecter la plupart des types de défaut (LL, LG, 3L).

**III.6.1.2. Les inconvénients :**

- Coût et complexité.
- Manque de protection contre certaines défauts externes.

**III.6.2. Protection à maximum de courant :**

Le relais à maximum de courant est particulièrement adapté aux réseaux de structure simple, qu'ils soient de type radial ou en boucle. Son principe de fonctionnement repose sur l'ouverture du circuit uniquement lorsque le courant qui le traverse dépasse un seuil prédéfini. La sélectivité de ce type de protection est assurée par un réglage précis du courant de fonctionnement, qui correspond à la valeur à partir de laquelle le relais déclenche.

**III.6.2.1. Les avantages :**

- Simplicité et conception.
- Coût réduit.
- Rapide et fiable.

**III.6.2.2. Les inconvénients :**

- Temps de déclenchement parfois long.
- Manque de sélectivité dans les réseaux complexes.

**III.6.3. Protection par relais à maximum de courant directionnel :**

Dans un réseau radial bouclé comportant plusieurs sources et des courants de défaut similaires la direction du courant de défaut par rapport au relais peut varier. Dans ce cas

l'utilisation de relais à maximum de courant directionnels ne permet pas de garantir la sélectivité.

**III.6.4. Protection par relais à maximum de courant non directionnel :**

Est utilisée pour les lignes radiales. On distingue trois types : à temps constant, à temps inverse et instantané. Ces relais ne peuvent pas localiser précisément un défaut, d'où l'usage de temporisations pour assurer la sélectivité. Le relais le plus proche du défaut agit en premier. Toutefois, un défaut proche du générateur entraîne un délai d'élimination (T1) important, ce qui est dangereux en raison des forts courants en jeu.

**III.6.5. Protection par relais de distance :**

Le relais de distance est l'un des dispositifs de protection les plus couramment utilisés pour les lignes de transport d'électricité, en raison de sa rapidité et de sa fiabilité. Son principe repose sur la mesure de l'impédance entre le relais et le point de défaut. Comme l'impédance est proportionnelle à la distance le long de la ligne, il est possible de localiser un défaut en comparant l'impédance mesurée à une valeur de référence. Lorsque l'impédance détectée est inférieure à celle définie pour la zone de protection (généralement un pourcentage de l'impédance totale de la ligne), le relais considère qu'un défaut est présent sur la portion protégée et envoie un ordre d'ouverture au disjoncteur. Ce système ne nécessite que les mesures de tension et de courant aux bornes du relais, sans avoir recours à des équipements de communication ou à des dispositifs supplémentaires comme c'est le cas pour la protection différentielle.

**III.6.5.1. Les avantages :**

- Bonne sélectivité.
- Rapide et faible.
- Protection multizone.

**III.6.5.2. Les inconvénients :**

- Coût élevé.
- Moins efficaces dans les réseaux très courtes.
- Plus difficile à régler.

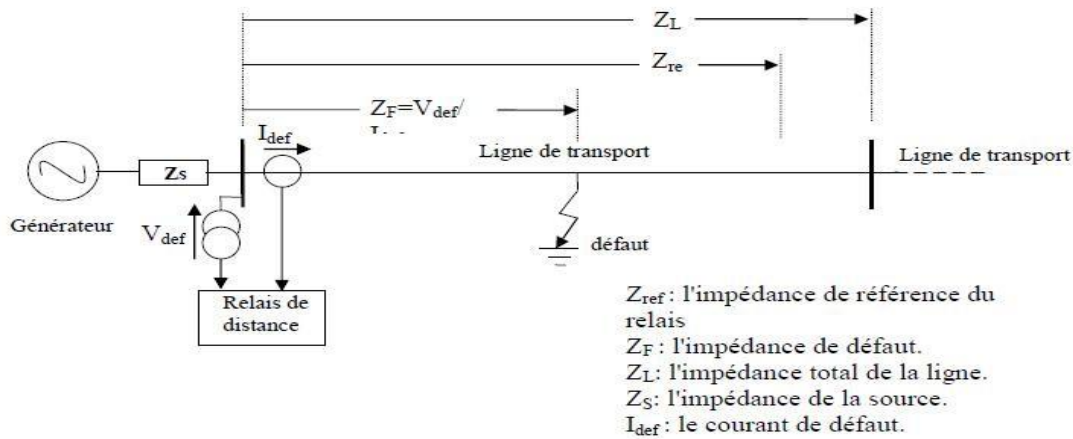


Figure III.6: Principe de protection à distance.

### III.6.6. Protection par relais Buchholz :

Le relais Buchholz est un dispositif de protection utilisé dans les transformateurs remplis d'huile. Lorsqu'un arc électrique se produit à l'intérieur du transformateur, il génère des gaz qui remontent vers la surface. Selon la gravité du défaut, l'un des flotteurs du relais bascule, entraînant soit une alarme, soit un déclenchement de l'installation.

### III.6.7. Protection de masse cuve :

La protection de type ampérométrique "masse cuve" est utilisée pour les transformateurs haute tension/moyenne tension (HT/MT) raccordés à un réseau dont le neutre est mis à la terre. Dans les réseaux à neutre isolé, cette protection est assurée par un relais de tension homopolaire. Lorsque le courant de défaut dépasse le seuil de réglage, le relais se déclenche et commande l'ouverture du disjoncteur afin d'isoler le transformateur en défaut.

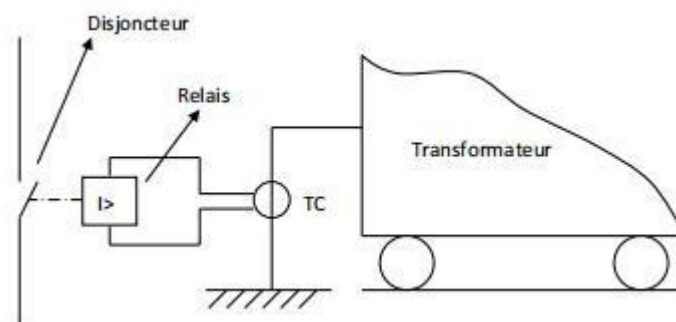


Figure III.6: protection masse cuve

**Formule Calcule relais à distance :**

- Formule de calcul de la distance de défaut la distance de défaut peut être calculée en utilisant la formule suivante :

$$D = V \cdot t \dots\dots\dots(1)$$

D : est la distance de défaut

- ✓ V : est la vitesse de propagation de l'onde de défaut (environ 90% de la vitesse de la lumière)
- ✓ T : est le temps de propagation de l'onde de défaut

❖ Formule Calcule de l'impédance du défaut :

L'impédance de défaut peut être calculée en utilisant la formule suivante :

$$Z = V \cdot I \dots\dots\dots(2)$$

Où :

- ✓ Z : est l'impédance de défaut
- ✓ V : est la tension de défaut
- ✓ I : est le courant de défaut

❖ Formule de calcul de la résistance de défaut

La résistance de défaut peut être calculée en utilisant la formule suivante :

$$R = V / I \dots\dots\dots(3)$$

Où :

- ✓ R : est la résistance de défaut
- ✓ V : est la tension de défaut
- ✓ I : est le courant de défaut

❖ Formule de calcul de la réactance de défaut

La réactance de défaut peut être calculée en utilisant la formule suivante :

$$X = \sqrt{(Z^2 - R^2)} \dots\dots\dots(4)$$

Où :

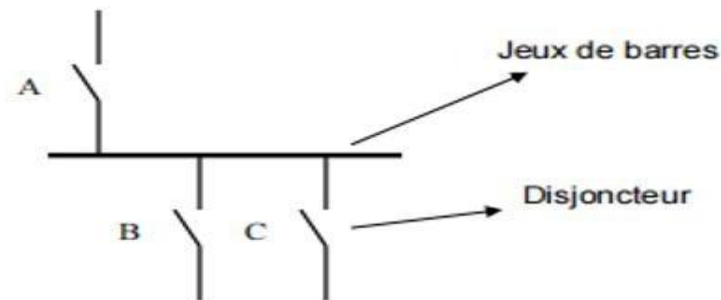
- ✓ X : est la réactance de défaut
- ✓ Z : est l'impédance de défaut

✓ R : est la résistance de défaut

Ces formules sont utilisées pour déterminer les paramètres de réglage des relais à distance et pour assurer la protection des lignes de transmission et des réseaux électriques.

### III.7. Mode de sélectivité :

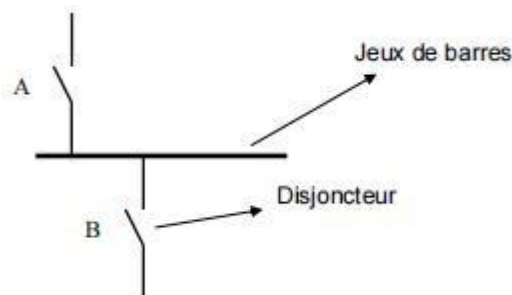
Une protection est dite sélective lorsqu'un défaut apparaissant en un point du circuit est éliminé uniquement par le dispositif de protection situé directement en amont de ce défaut, sans affecter le reste du réseau. Si le déclenchement du disjoncteur aval (B) n'entraîne jamais le déclenchement du disjoncteur amont (A), quelle que soit la valeur du courant de défaut : la sélectivité est dite totale.



**Figure III.7: Sélectivité totale.**

#### III.7.1. Sélectivité ampèremétrique :

Le courant de court-circuit en aval du disjoncteur B est  $I_{C\ cb}$ , la valeur de déclenchement du disjoncteur A est  $I_{RA}$  dans ce cas : - Si le courant  $I_{RA} > I_{C\ cb}$  la sélectivité est dite totale - Si le courant  $I_{RA} < I_{C\ cb}$  la sélectivité est dite partielle.

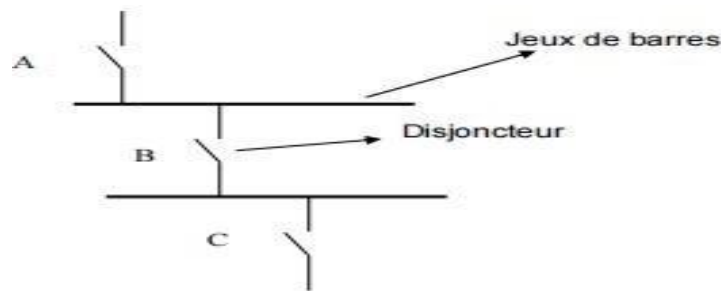


**Figure III.8: Sélectivité ampèremétrique**

#### III.7.2. Sélectivité chronométrique :

Le disjoncteur c'est une action rapide, tandis que les autres disjoncteurs sont à action retardée (le disjoncteur B à 0.3s, le disjoncteur A à 0.6s). La différence des temps de fonctionnement t

entre deux protections consécutives constitue l'intervalle de sélectivité. Il doit prendre en compte : • Le temps de coupure du circuit  $T_c$ . Les tolérances sur la temporisation  $ddt$  • Le temps de retour au repos de la protection  $t_r$  Le temps  $t$  vérifie de ce fait la relation  $t = T_c + t_r + 2dt$ . Etant donné les performances actuelles des dispositifs de coupure et des relais, la valeur qui est utilisée pour  $t$  se situe entre 200 et 300 ms pour deux disjoncteurs consécutifs.



**Figure III.9: Sélectivité chronométrique**

### III.7.3. Sélectivité logique :

Ce principe est appliqué lorsque l'élimination rapide des défauts est primordiale. Il repose sur l'échange d'informations logiques entre les protections successives, ce qui permet de supprimer les délais liés à la sélectivité classique. Dans les réseaux en antenne, seules les protections situées en amont du défaut sont activées, tandis que celles en aval restent inactives. Cela permet une localisation précise du défaut et identifie clairement le disjoncteur à ouvrir.

### III.8. Système de protection :

#### III.8.1. Disjoncteur :

**Fonction :** Interrupteur mécanique capable de :

- Gérer les courants en régime normal
- Interrompre les courants de défaut (ex : court-circuit) - Technologies : huile, air, SF<sub>6</sub>, vide.



**Figure III.10: Disjoncteur haute tension .**

**Réducteurs de mesure :**

- **Objectifs :**
  - Adapter les grandeurs électriques aux relais de protection
  - Isoler galvaniquement le circuit haute tension
- **Composants :**
  - Transformateurs de courant (TC)
  - Transformateurs de tension (TT)

**III.8.2. Transformateurs de courant (TC) :**

Dispositif fournissant un courant secondaire proportionnel au primaire

**Rôle :**

- Réduire les courants ( $kA \rightarrow 1A/5A$ )
- Transmettre l'information aux relais pour déclenchement.[24]

**III.8.3. Transformateurs de tension (TT/TP) :**

Dispositif fournissant une tension secondaire proportionnelle au primaire[25]

**Application :**

- Mesure de haute tension (HTA/HTB  $\rightarrow 100V$ ).
- Alimentation des relais et instruments.

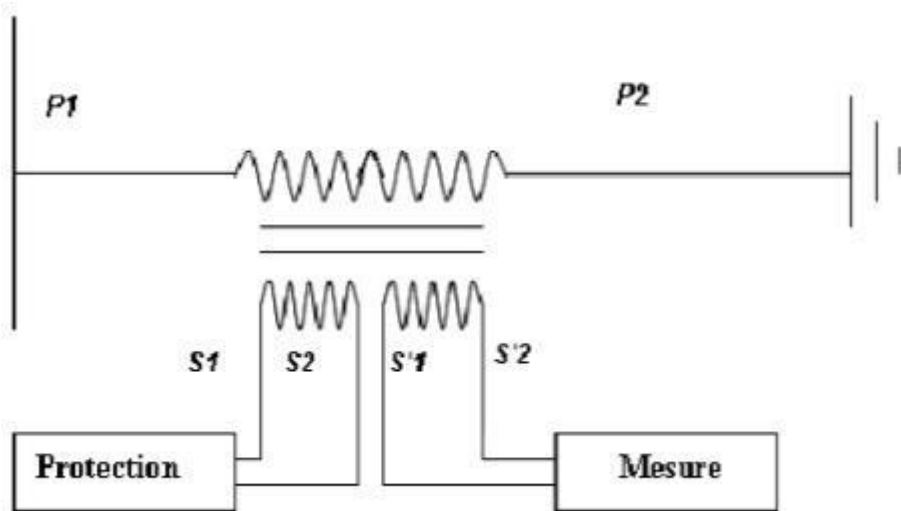


Figure.III.11: Relais de protection

**III.8.4.1. Fonction :**

- Détecter les anomalies.
- Commander l'isolement des défauts.
- Générer des signaux d'alarme.

**III.8.4.2. Les types de relais :****Ale relais de distance de type F21 :**

Est un dispositif de protection des lignes électriques basé sur la mesure d'impédance. Son principe opératoire repose sur :

- Mesure d'impédance apparente
- Détection de défaut par estimation de distance

**B \_Protection par Maximum de Courant (ANSI 50/51:)**

Le relais de maximum de courant, identifié par les codes ANSI 50 (instantané) et 51 (temporisé), constitue une solution de protection fondamentale pour les installations électriques. Son rôle principal consiste à détecter et isoler :

- Les courants de court-circuit intenses (protection 50)
- Les surcharges prolongées (protection 51)

**C \_La protection différentielle (codée 87 dans la norme ANSI) :**

Constitue une sécurité critique pour les installations électriques, reposant sur l'analyse comparative des intensités aux différents accès d'un équipement (transformateur, ligne aérienne, distribution blindée, etc.).

**III.8.5. Synthèse :**

Le système de protection combine des dispositifs de coupure (disjoncteurs), des capteurs de mesure (TC/TT) et des unités de décision (relais) pour assurer la sécurité du réseau électrique. Chaque élément joue un rôle complémentaire dans la détection et l'élimination des défauts.[26]

**III.9. La comparaison entre protection différentielle et protection de distance :**

La protection différentielle et la protection de distance sont deux types de protection électrique ayant des utilisations spécifiques. La protection de distance est employée pour détecter les défauts sur les lignes de transport, tandis que la protection différentielle est utilisée pour détecter les fuites de courant dans les appareils électriques et différents en terme le principe de fonctionnement, la communication, la sélectivité, la réaction, l'application, la sensibilité et le coût.

Et pour la mesure la protection différentielle utilise des transformateurs de courant TC tandis que la protection de distance on utilise de transformateur de courant et de tension.

**III.10. Connexion des relais et zones de protection :**

Pour garantir une protection efficace, les relais sont connectés en fonction du concept de zone de protection. Cette zone englobe la portion du réseau à protéger ainsi que le disjoncteur chargé de l'isoler du reste du système en cas de défaut. Une répartition typique des zones de protection .[27]

**III.11. Coordination des protections électriques :**

La coordination des protections a pour objectif principal d'assurer une intervention ciblée du dispositif de protection le plus proche du défaut, minimisant ainsi l'étendue des coupures et préservant la continuité de service. Ce mécanisme repose sur trois principes fondamentaux :

**1. Sélectivité hiérarchisée :**

- Priorité aux protections primaires (action immédiate)
- Activation des protections secondaires en cascade en cas de défaillance

**2. Critères de coordination :**

- Réglage précis des paramètres de distance
- Temporisation différentielle

- Sensibilité directionnelle

**3. Fonctions complémentaires :**

- Filtrage des perturbations transitoires
- Temporisation des déclenchements
- Vérification de la persistance du défaut Cette approche systématique garantit :
- Une meilleure fiabilité du réseau HT
- Une stabilité opérationnelle accrue
- Une sécurité renforcée des installations
- Une minimisation des indisponibilités En optimisant l'isolement des défauts tout en maintenant l'exploitation normale des parties saines du réseau, la coordination des protections constitue un élément clé de la robustesse des systèmes électriques modernes.[28]

**III.12. Conclusion :**

En conclusion, ce chapitre souligne l'importance cruciale des systèmes de protection des défauts électriques pour assurer la sécurité des personnes, la protection des équipements et la continuité du réseau électrique. Une protection efficace doit être rapide, fiable et sélective, des qualités indispensables qui dépendent des caractéristiques spécifiques du réseau. Grâce à des dispositifs adaptés comme les relais de protection, notamment les relais de distance, il est possible de concevoir un plan de protection cohérent et performant, capable d'intervenir précisément pour limiter les impacts des défauts tout en maintenant la stabilité du système.

# Chapitre 04 : Simulation et résultats d'un réseau HT



### IV.1. Introduction :

Ce chapitre aborde la simulation des réseaux HT radiaux avec le logiciel ETAP. Nous détaillerons les principales étapes de modélisation d'un réseau, depuis la définition des composants jusqu'à la configuration du système, en passant par des analyses spécifiques telles que les études de charge, les courts-circuits. Les résultats obtenus seront analysés, et des recommandations seront proposées pour optimiser la conception des réseaux électriques.

L'objectif est de maîtriser l'utilisation d'ETAP dans la simulation des réseaux haute tension radiaux, en utilisant deux différentes protection chronométrique et de distance et connaître la différence et l'effet dans le système .

### IV.2. Présentation de logiciel Etap :

ETAP est une plate-forme logicielle complète dédiée à la conception, la simulation, l'exploitation et l'automatisation des systèmes d'alimentation électrique. Utilisé mondialement, il offre une suite intégrée pour l'analyse, le contrôle et l'optimisation des réseaux électriques. Multilingue et évolutif, ETAP permet une gestion intelligente en temps réel des systèmes d'énergie.

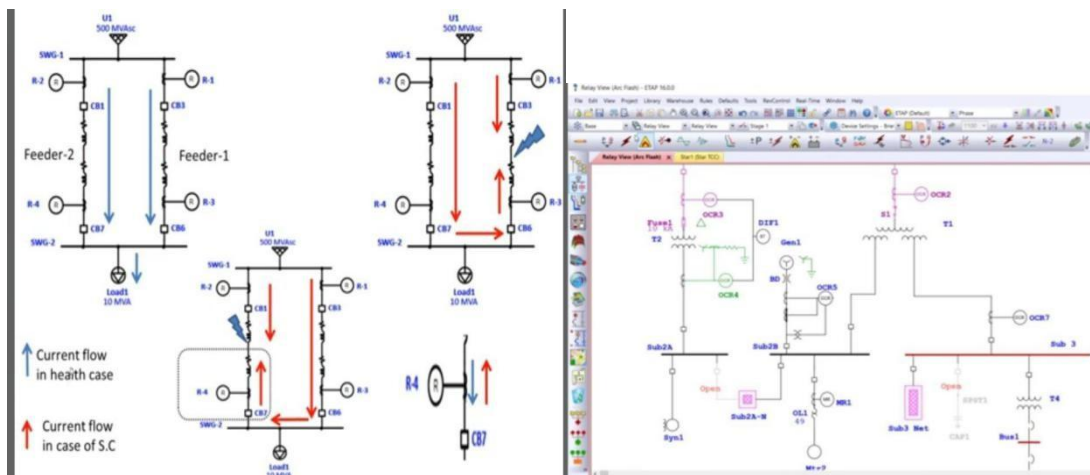
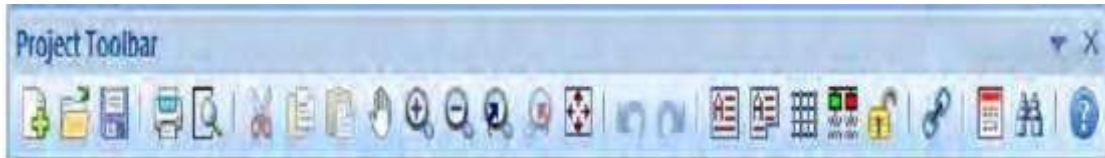


Figure IV.1. Capture d'écran sur Etap .

**Barre de menu :**

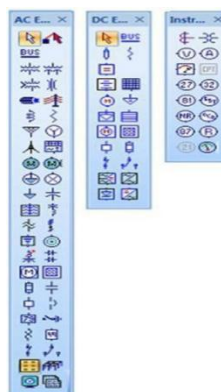
La barre de menus d'ETAP, située en haut de l'interface, regroupe des options essentielles comme l'ouverture, l'enregistrement et l'impression des projets. Elle facilite la navigation et l'utilisation du logiciel.

**Barre d'outils du projet :**

La barre d'outils Projet d'ETAP offre des raccourcis vers des fonctions courantes comme la création, l'ouverture, l'enregistrement de projets, ainsi que des outils d'édition, de zoom, de vérification et d'aide. Le bouton Power Grid permet d'ajouter un utilitaire au schéma unifilaire (OLV).

**Mode étude :**

\_ faire écoulement de puissance, les court \_circuits, coordination et protection de réseau.

**Les barres d'outils :**

La liste comprend les composants qui construire le réseau.

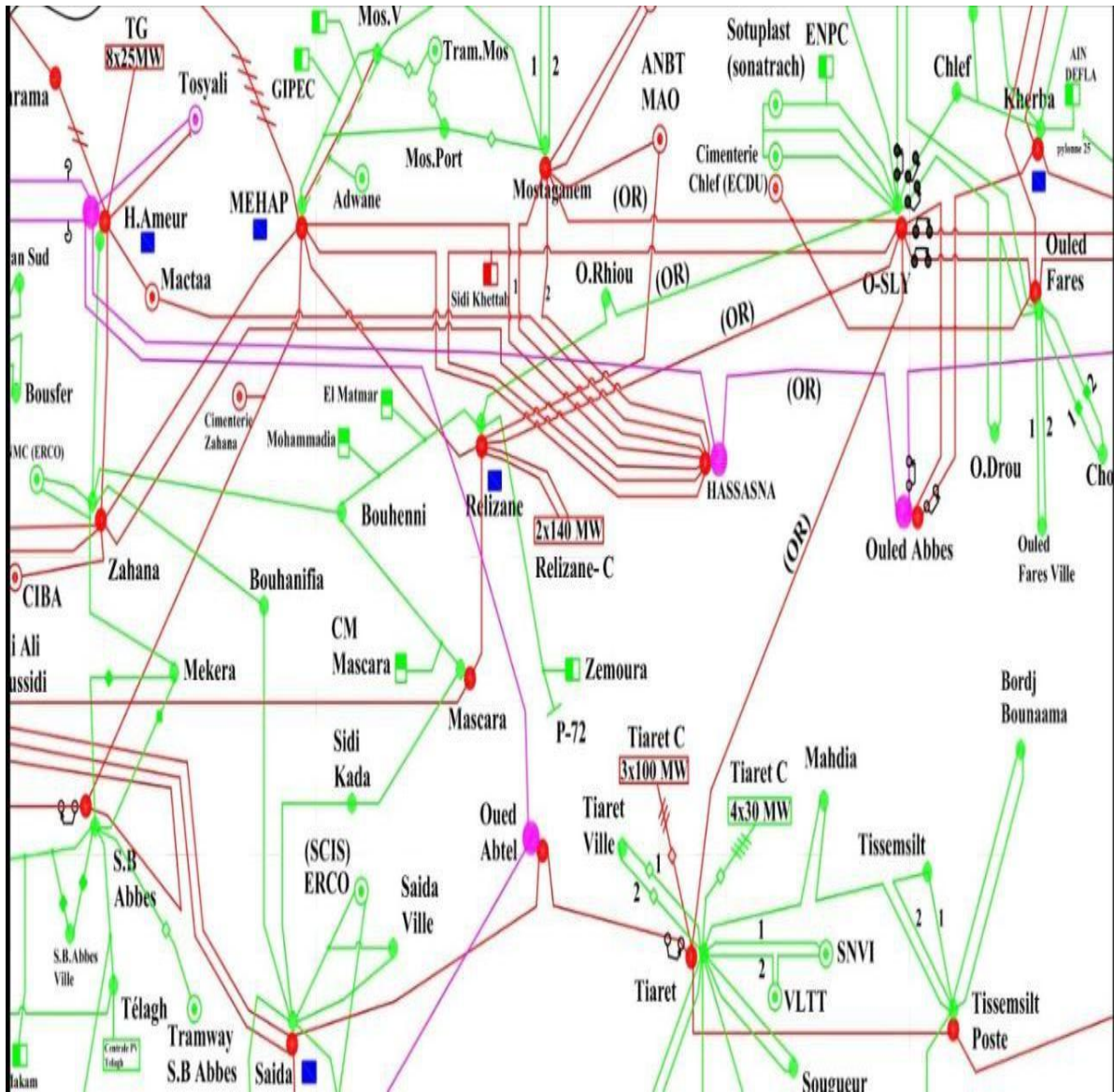
**IV.3. L'utilisation d'ETAP :**

L'utilisation d'ETAP dans les réseaux haute tension permet des analyses techniques avancées, une conception optimisée, une simulation fiable, un contrôle en temps réel et une conformité

aux normes. Il améliore la sécurité, la performance et s'intègre facilement aux systèmes existants, en faisant un outil essentiel pour les professionnels du secteur.

**IV.4. Réseau globale de l'ouest d'Algérie :**

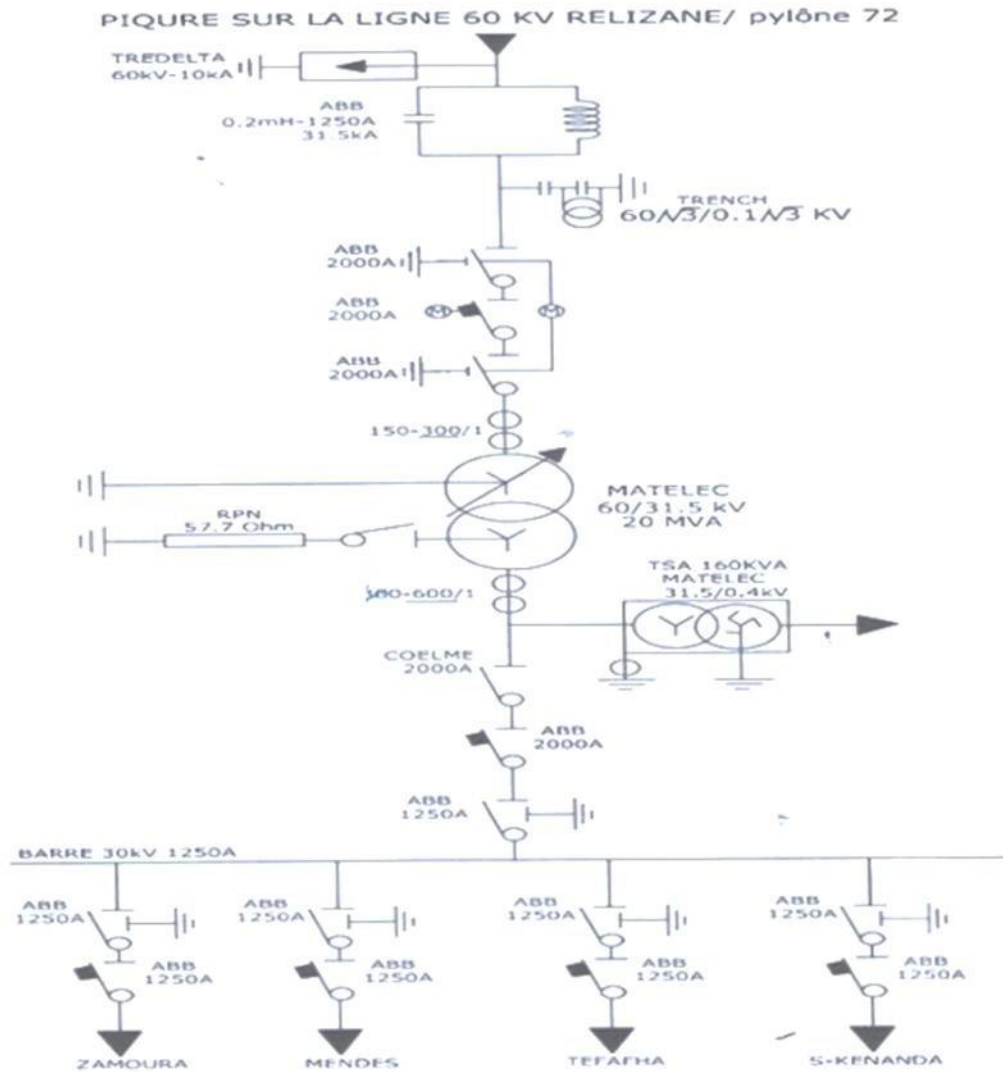
Après une visite qui a été effectuée au niveau de la société SONELGAZ de la wilaya de Relizane, l'équipe d'exploitation nous a fournis le schéma global d'électricité nationale, ainsi que le réseau ouest d'Algérie (Voir Figure ci-dessous).



**Figure IV.2: Réseau globale de Relizane.**

**IV.5. Réseau réel de Zemmoura :**

Afin d'appliquer les différents types de protection (chronométrique et de distance), on a choisi un départ Haut Tension 220/ 60 Kv, issue du réseau Haut Tension d'ouest extrait de la Figure précédente. La figure ci dessous représente t le schéma unifilaire de ZAMOURA.



**Figure IV.3: schéma unifilaire de ZAMOURA.**

**IV.6. Conception sur Etap:**

**IV.6.1. Présentation de réseau test :**

Le réseau test que nous avons choisi pour l'étude est un système électrique radial simple composé d'une source (220kv) avec ligne de transmission d'une longueur de 23 km, le jeu de barres principal alimente un transformateur de (220/60 kV )120MVA, on a utilisé 3 jeux de barres de 220 KV et le dernier jeu de barre de zammoura relie avec la charge de 40 MVA.

La figure contient les caractéristiques de la ligne et transformateur.

**Paramètres utilisés dans la modélisation:**

Afin de réaliser l'objectif dans cette étude, l'étude et la simulation d'une protection d'une ligne Haut Tension.. On est opté de choisir un départ radial Réel (Départ RELIZANE-ZAMOURA) contenant deux étage de tensions 220 KV/60 KV. Les caractéristiques et les paramètres des conducteurs, des pylônes et leurs dispositions, les relais de protection sont bien détaillés dans la partie suivante.

**Conducteur :**

Le Tableau suivant montre les différents types de conducteurs, leurs section et l'alliage utilisés pour chaque étage de tension (60 KV, 220 KV et 400 KV) exploité par la société SONELGAZ.

| Type de conducteur   | 60 KV                |            | 220 KV               |            | 400 KV              |         |
|----------------------|----------------------|------------|----------------------|------------|---------------------|---------|
|                      | Section              | Alliage    | Section              | Alliage    | Section             | Alliage |
| Conducteur simple    | 288mm <sup>2</sup>   | Alu- Acier | 411mm <sup>2</sup>   | Alu- Acier | 570mm <sup>2</sup>  | Almélec |
|                      | 366mm <sup>2</sup>   | Almélec    | 570mm <sup>2</sup>   | Alu- Acier |                     |         |
|                      | /                    | /          | 617mm <sup>2</sup>   | Alu- Acier |                     |         |
| Conducteur faisceaux | 2x288mm <sup>2</sup> | Alu-Acier  | 2x288mm <sup>2</sup> | Alu- Acier | 2x570m <sup>2</sup> | Almélec |
|                      | /                    | /          | 2x411mm <sup>2</sup> | Alu- Acier |                     |         |
|                      | /                    | /          | 2x570mm <sup>2</sup> | Almélec    |                     |         |
| Câble de garde       | 94mm <sup>2</sup>    | Alu- Acier | 116mm <sup>2</sup>   | Alu- Acier | 79mm <sup>2</sup>   | Acier   |

**Tableau IV.1:les différentes types conducteurs utilises par la société SONELGAZ.**

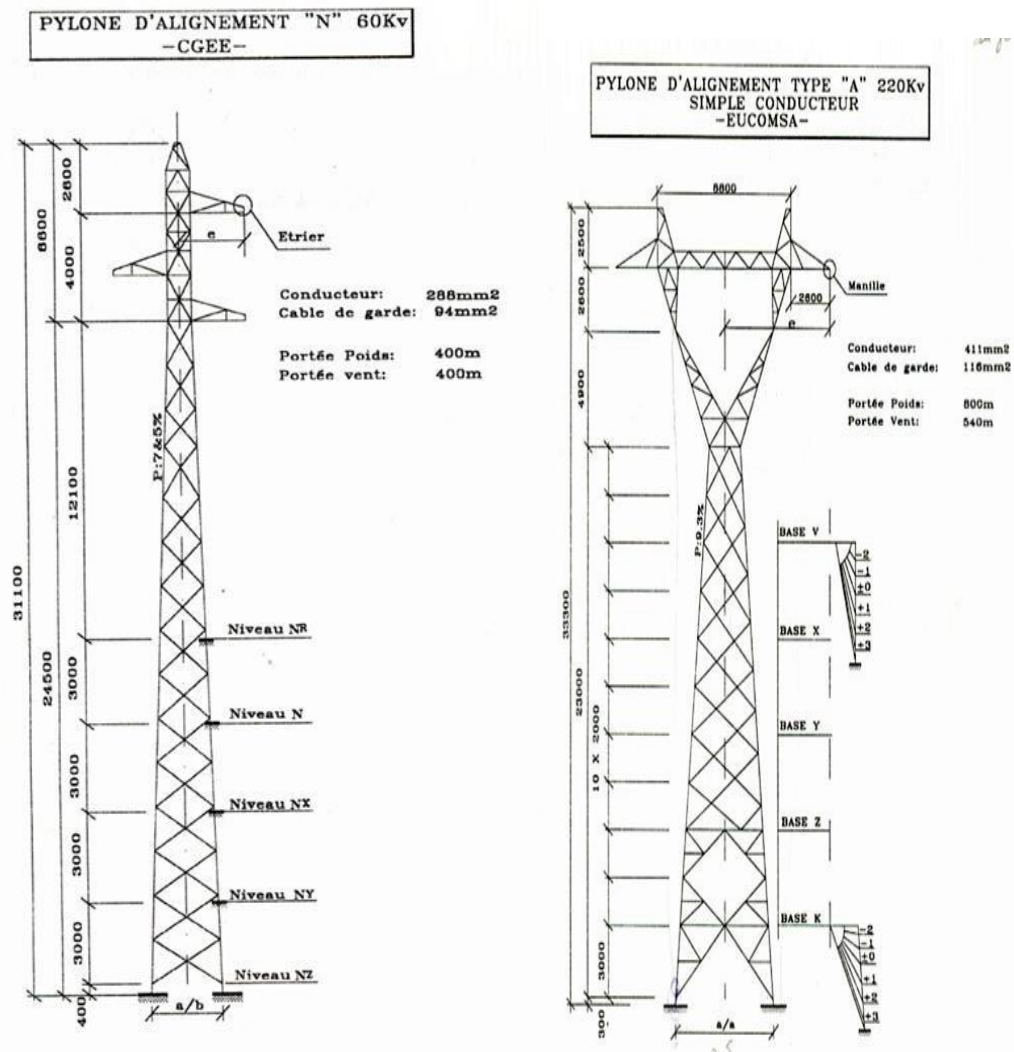
**Pylônes HT 60 kV:**

La disposition des phases et la géométrie des pylônes jouent un rôle dominant pour déterminer les paramètres de la ligne notamment les caractéristiques longitudinales et transversale. Basant que ces paramètres indiqués explicitement dans le Tableau précédent qui montres les différents types de conducteurs utilisés par la société SONELGAZ-ALGERIE pour chaque étage de tension (60, 220 et 400 KV) ainsi que leurs section et l'alliage utilisés respectivement. Les Figures suivantes montrent aussi la géométrie des pylônes exploité pour les

deux étages 220 kV et 60 KV respectivement, et ce, sachant que le modèle réelle adopté dans cette étude est exploité sous ces deux niveaux de tension.

Dans un premier lieu, les conducteurs utilisés pour chaque niveau de tension sont des conducteurs simple (un conducteur par phase). Dont d'après le Tableau la section de conducteur est  $288 \text{ mm}^2$  et  $411 \text{ mm}^2$  pour les tensions 60 KV et 220 KV respectivement. Et le type de conducteur est AL-AC pour les deux niveaux.

Dans le deuxième lieu, les différents types de pylônes ainsi que la disposition des phases pour les deux étages de tension sont montrés dans la Figure suivante, ainsi que leurs caractéristiques mécaniques.



(a)

| CARACTERISTIQUES |                          |                    |   |                               |
|------------------|--------------------------|--------------------|---|-------------------------------|
| Niveau           | Hauteur Sous Console (m) | Hauteur Totale (m) | Distance de la Console à l'axe du fût -e- (m) | Empattement du pylône a/b (m) |
| N <sub>R</sub>   | 12,500                   | 19,100             | 2,625   | 2,540 - 2,0545                |
| N                | 15,500                   | 22,100             | 2,625   | 2,958 - 2,3534                |
| N <sub>X</sub>   | 18,500                   | 25,100             | 2,625   | 3,270 - 2,555                 |
| N <sub>Y</sub>   | 21,500                   | 28,100             | 2,625   | 3,690 - 2,846                 |
| N <sub>Z</sub>   | 24,500                   | 31,100             | 2,625   | 4,098 - 3,145                 |

| CARACTERISTIQUES |                          |                    |   |                               |
|------------------|--------------------------|--------------------|---|-------------------------------|
| Niveau           | Hauteur Sous Console (m) | Hauteur Totale (m) | Distance de la Console à l'axe du fût -e- (m) | Empattement du pylône a/b (m) |
| BR4 (x)          | 16,300                   | 20,000             | 7,250   | 4,723 - 4,562                 |
| B±0 (y)          | 20,300                   | 24,000             | 7,250   | 5,484 - 5,376                 |
| BS4 (z)          | 24,300                   | 28,000             | 7,250   | 6,245 - 6,191                 |
| BS8 (k)          | 28,300                   | 32,000             | 7,250   | 7,006 - 7,006                 |

| Niveau         | Poids du pylône hors sol (kg) | Poids boulonnerie (kg) | Poids embase (kg) | Poids total (kg) |
|----------------|-------------------------------|------------------------|-------------------|------------------|
| N <sub>R</sub> | 1530                          | 77                     | 76                | 1683             |
| N              | 1760                          | 84,5                   | 76                | 1920,5           |
| N <sub>X</sub> | 2013                          | 93                     | 98                | 2204             |
| N <sub>Y</sub> | 2509                          | 112                    | 98                | 2719             |
| N <sub>Z</sub> | 2953                          | 129                    | 98                | 3180             |

| Niveau  | Poids du pylône hors sol (kg) | Poids boulonnerie (kg) | Poids embase (kg) | Poids total (kg) |
|---------|-------------------------------|------------------------|-------------------|------------------|
| BR4 (x) | 4917,5                        | 244                    | 416               | 5577,5           |
| B±0 (y) | 5820                          | 270                    | 416               | 6506             |
| BS4 (z) | 6834                          | 304                    | 416               | 7554             |
| BS8 (k) | 7883                          | 354                    | 416               | 8652             |

(b)

**Figures IV.4 : Géométrie et caractéristique mécanique des pylônes 60 KV et 220 KV.**

Les dangers potentiels associés à une ligne électrique sont énumérés ci-dessous :

- 1) Les surintensités (surcharge ou court-circuit).
- 2) Les surtensions (coup de foudre, Erreur de manœuvre dans le poste vis-à-vis « GRTE » ou dans la centrale de production « SPE »).
- 3) Les anomalies mécaniques telles que la rupture d'une ligne.
- 4) Les déséquilibres.

Le système de protection qui est installer dans le poste 220 KV /60 KV de RELIZANE doit prendre les mesures des transformateurs de courant et de tension et superviser l'état des disjoncteurs dans le cas d'un défaut qui se figure dans un des éléments qui sont associés au poste.

Les relais de protections doivent intervenir et commander les disjoncteurs pour s'ouvrir dans un temps minimal. Il se peut dans certains cas que le disjoncteur soit défectueux et ne s'ouvre pas au moment du défaut, par suite le système de protection doit isoler les travées dans ce cas.

**IV.6.2. Écoulement de puissance sur ETAP:**

Dans cette partie, nous avons fait un écoulement de puissance a fin de déterminer les courants et les tensions dans chaque branche, dans les transformateurs et les lignes. On a utilisé la méthode de Newton Raphson pour extraire ces résultats. Les résultats obtenue dans cette partie vont être exploité explicitement dans la détermination des paramètres des équipements de

mesure et protection tels que les transformateur de courant, de tension, les relais de surintensité et de de distance, ainsi que les disjoncteurs de coupure CB.

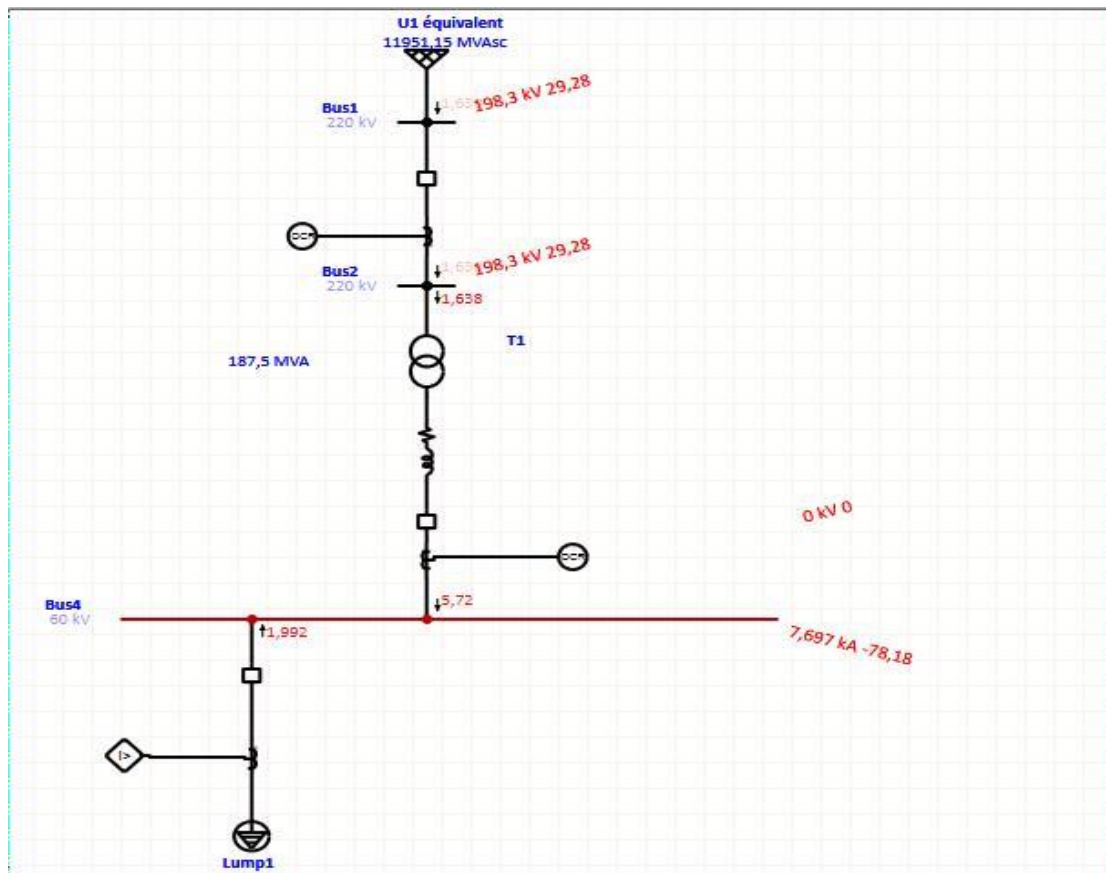


Figure IV.4 : capture écoulement de puissance d'un réseau HT radial (220/60).

LOAD FLOW REPORT

| Bus    |         | Voltage |      | Generation |        | Load   |        | Load Flow |         |         |       | XFMR |        |
|--------|---------|---------|------|------------|--------|--------|--------|-----------|---------|---------|-------|------|--------|
| ID     | kV      | % Mag.  | Ang. | MW         | Mvar   | MW     | Mvar   | ID        | MW      | Mvar    | Amp   | %PF  | %Tap   |
| * Bus1 | 220.000 | 100.000 | 0.0  | 33.450     | 28.639 | 0.000  | 0.000  | Bus2      | 33.450  | 28.639  | 115.6 | 76.0 |        |
| Bus2   | 220.000 | 100.000 | 0.0  | 0.000      | 0.000  | 0.000  | 0.000  | Bus6      | 33.450  | 28.639  | 115.6 | 76.0 | -5.000 |
|        |         |         |      |            |        |        |        | Bus1      | -33.450 | -28.639 | 115.6 | 76.0 |        |
| Bus4   | 60.000  | 99.910  | -4.0 | 0.000      | 0.000  | 31.988 | 23.991 | Bus6      | -31.988 | -23.991 | 385.1 | 80.0 |        |
| Bus6   | 60.000  | 108.115 | -1.4 | 0.000      | 0.000  | 0.000  | 0.000  | Bus4      | 33.415  | 27.181  | 383.4 | 77.6 |        |
|        |         |         |      |            |        |        |        | Bus2      | -33.415 | -27.181 | 383.4 | 77.6 | 5.000  |

\* Indicates a voltage regulated bus (voltage controlled or swing type machine connected to it)  
# Indicates a bus with a load mismatch of more than 0.1 MVA

Branch Connections

| CKT/Branch |            | Connected Bus ID |        | % Impedance, Pos. Seq., 100 MVA Base |       |       |           |
|------------|------------|------------------|--------|--------------------------------------|-------|-------|-----------|
| ID         | Type       | From Bus         | To Bus | R                                    | X     | Z     | Y         |
| T1         | 2W XFMR    | Bus2             | Bus6   | 0.20                                 | 8.31  | 8.31  |           |
| Line3      | Line       | Bus6             | Bus4   | 8.94                                 | 21.91 | 23.67 | 0.2811317 |
| CBPr       | Tie Breakr | Bus1             | Bus2   |                                      |       |       |           |

Figure IV.5: résultats de L'écoulement de puissance .

**IV.7. Protection par sélectivité chronométrique :**

D'après écoulement de puissance, nous appliquons une méthode spécifique de protection concernant le réglage des disjoncteurs, voir les résultats:

Les entrées et les sorties :

- 3 Transformateur de courant TC : TC1 ( 314/1), TC2(1155/1), (1155/1).
- 3 relais sur intensité reliée avec le disjoncteur.

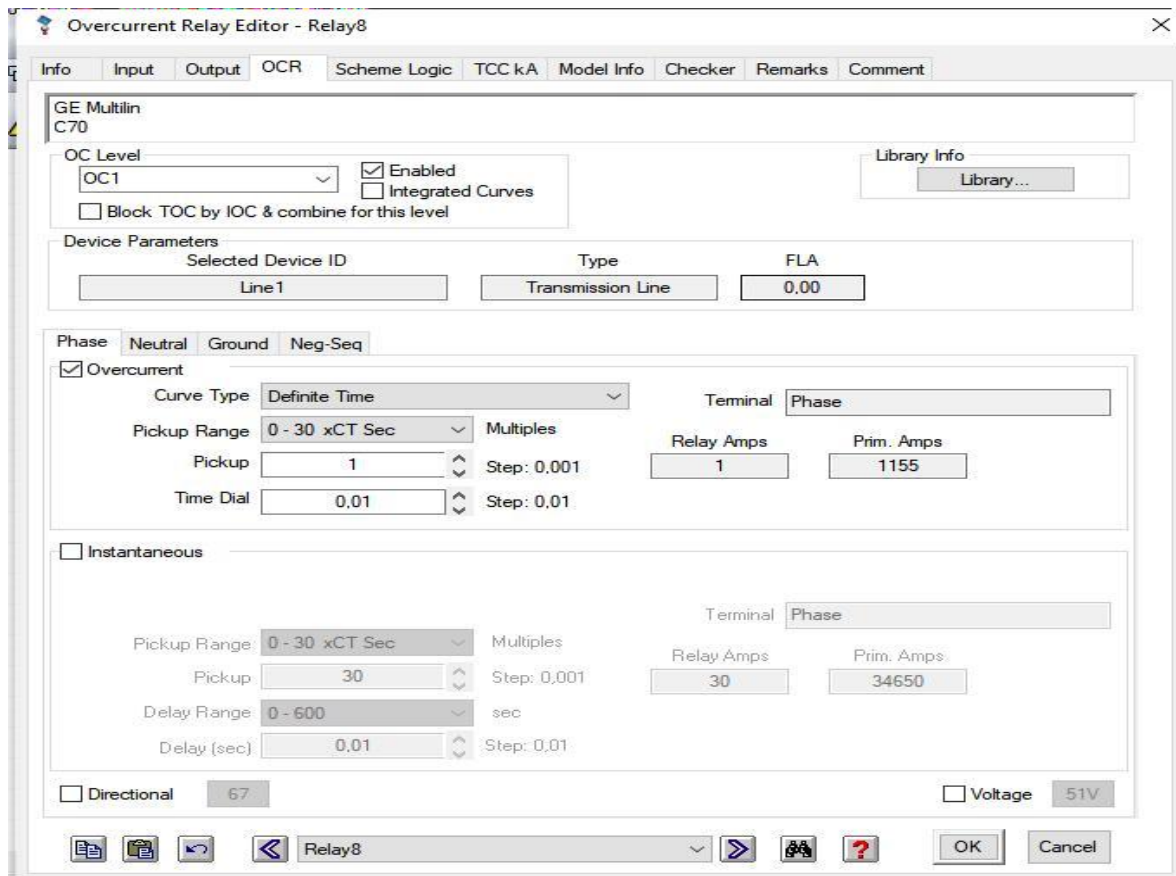
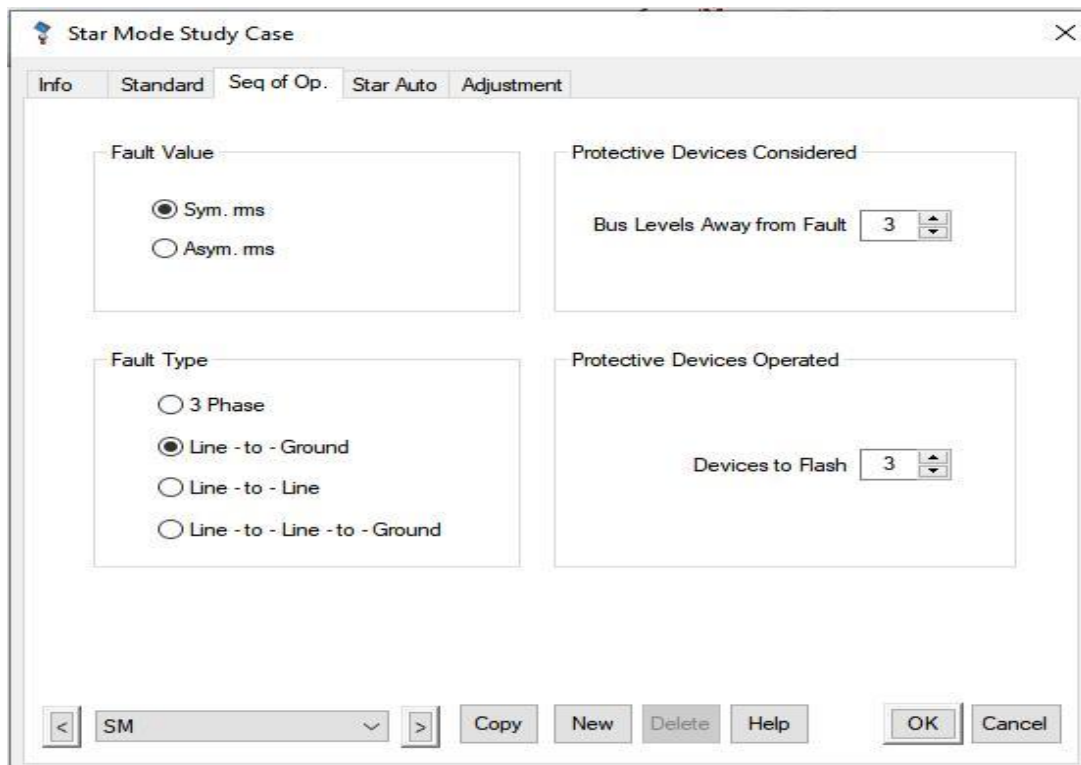


Figure IV.6 : Exemple d'un relais utilise dans la protection

**IV.7.1. Défaut monophasé :**

Afin de comprendre la philosophie de la protection adoptée, deux différents types de défauts sont appliqués au réseau test, le premier type c'est un défaut asymétrique (monophasé terre) comme l'indique la Figure suivante. Le deuxième type est un défaut triphasé terre (défaut symétrique). L'interface ETAP (Star Mode Study case) permet de choisir le type défaut.



Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

3-Phase (Symmetrical) fault on bus: Bus4

Data Rev.: Base      Config: Normal      Date: 09-06-2025

| Time (ms) | ID        | If (kA) | T1 (ms) | T2 (ms) | Condition                                       |
|-----------|-----------|---------|---------|---------|---|
| 300       | Relay_SEC | 3,171   | 300     |         | Phase - OC1 - 51 - Forward                      |
| 340       | CB1       |         | 40,0    |         | Tripped by Relay_SEC Phase - OC1 - 51 - Forward |
| 500       | Relay_Pr  | 0,956   | 500     |         | Phase - OC1 - 51                                |
| 540       | CBPr      |         | 40,0    |         | Tripped by Relay_Pr Phase - OC1 - 51            |

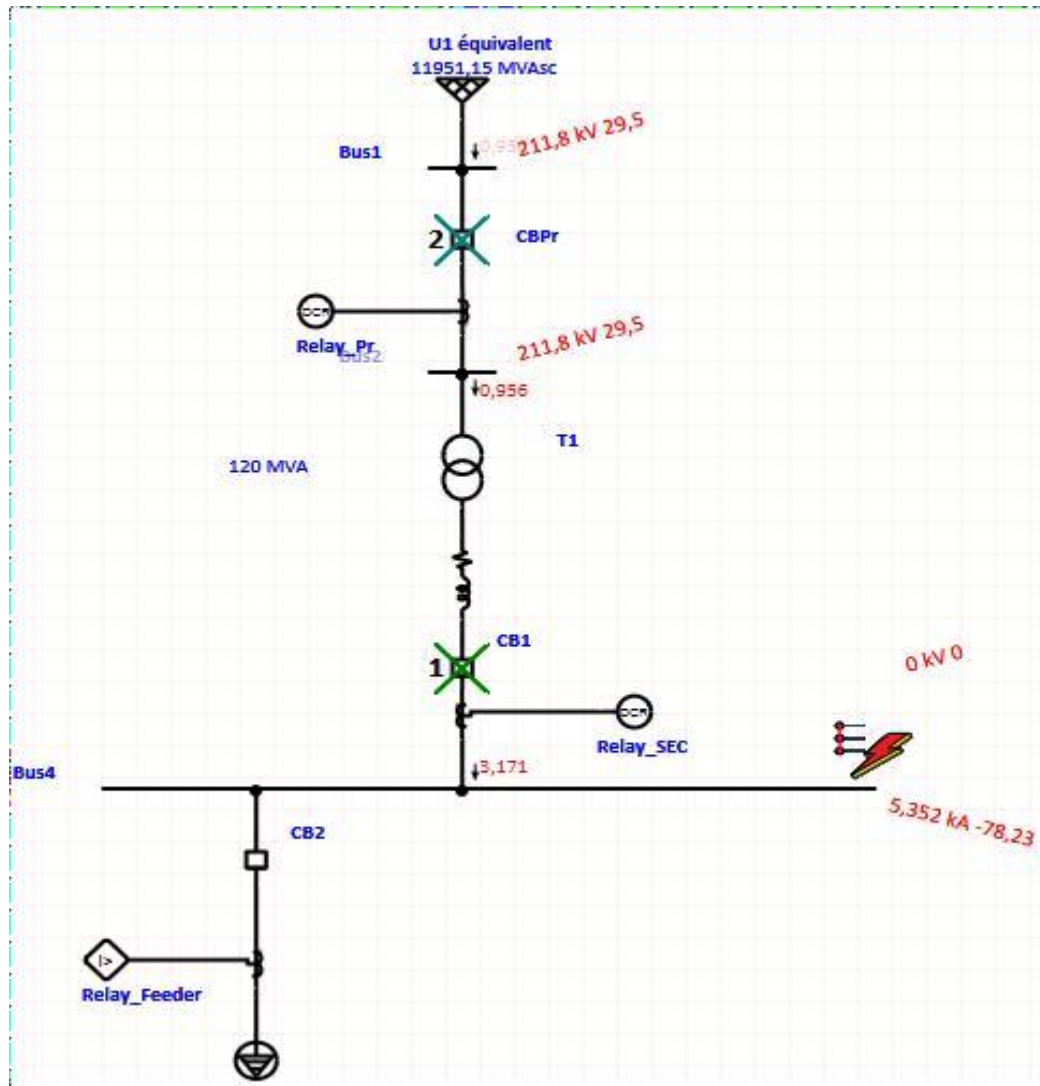
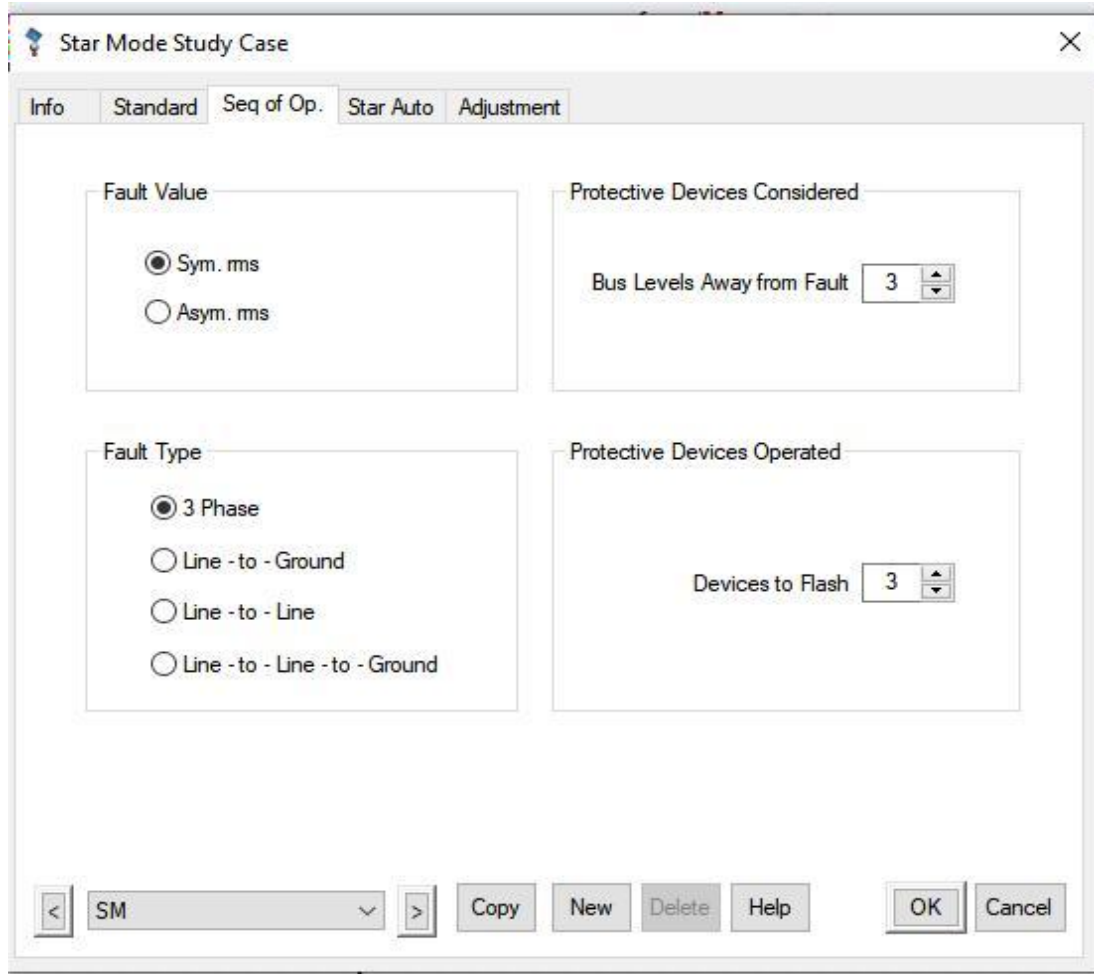


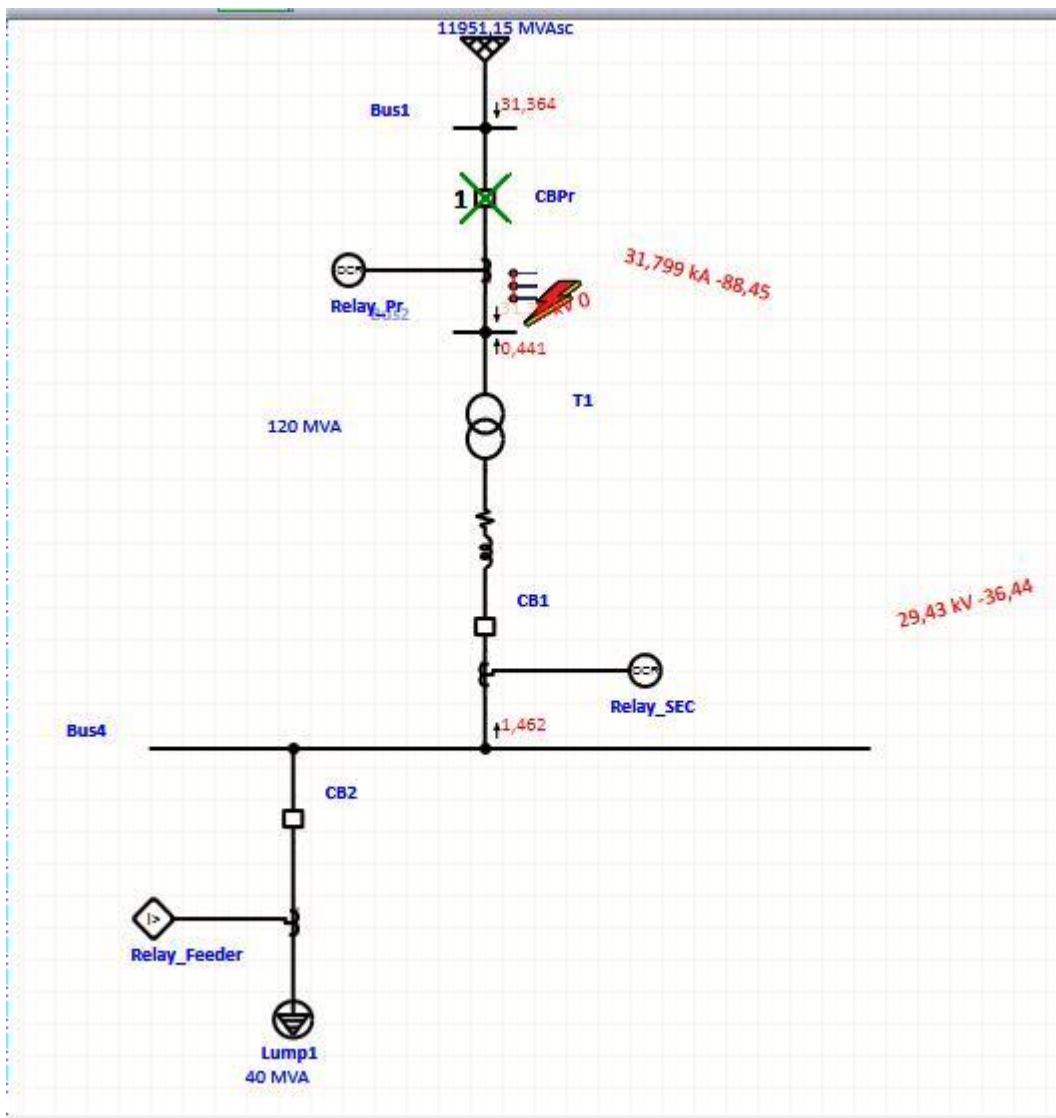
Figure IV.7: résultats de défaut monophasé .

IV.7.1.1. Résultats et discussion :

Lors de l'application d'un défaut monophasé à la terre sur le jeu de barres 4, une surintensité est détectée par le relais secondaire. Ce dernier réagit en s'ouvrant après un délai de 300 ms, ce qui correspond à son temps de déclenchement paramétré pour ce type de défaut. Le disjoncteur associé se déclenche ensuite à 340 ms (après 40ms), coupant ainsi le courant dans la zone concernée. Simultanément, le disjoncteur CB1 envoie un signal vers le relais principal, qui s'ouvre à son tour après 500 ms. Ce relais transmet alors un ordre au disjoncteur principal, lequel se déclenche à 540 ms.

IV.7.2. Défaut triphasé bus 2 :





Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

3-Phase (Symmetrical) fault on bus: Bus2

Data Rev.: Base      Config: Normal      Date: 09-06-2025

| Time (ms) | ID       | If (kA) | T1 (ms) | T2 (ms) | Condition                            |
|-----------|----------|---------|---------|---------|--------------------------------------|
| 500       | Relay_Pr | 31,364  | 500     |         | Phase - OC1 - 51                     |
| 540       | CBPr     |         | 40,0    |         | Tripped by Relay_Pr Phase - OC1 - 51 |

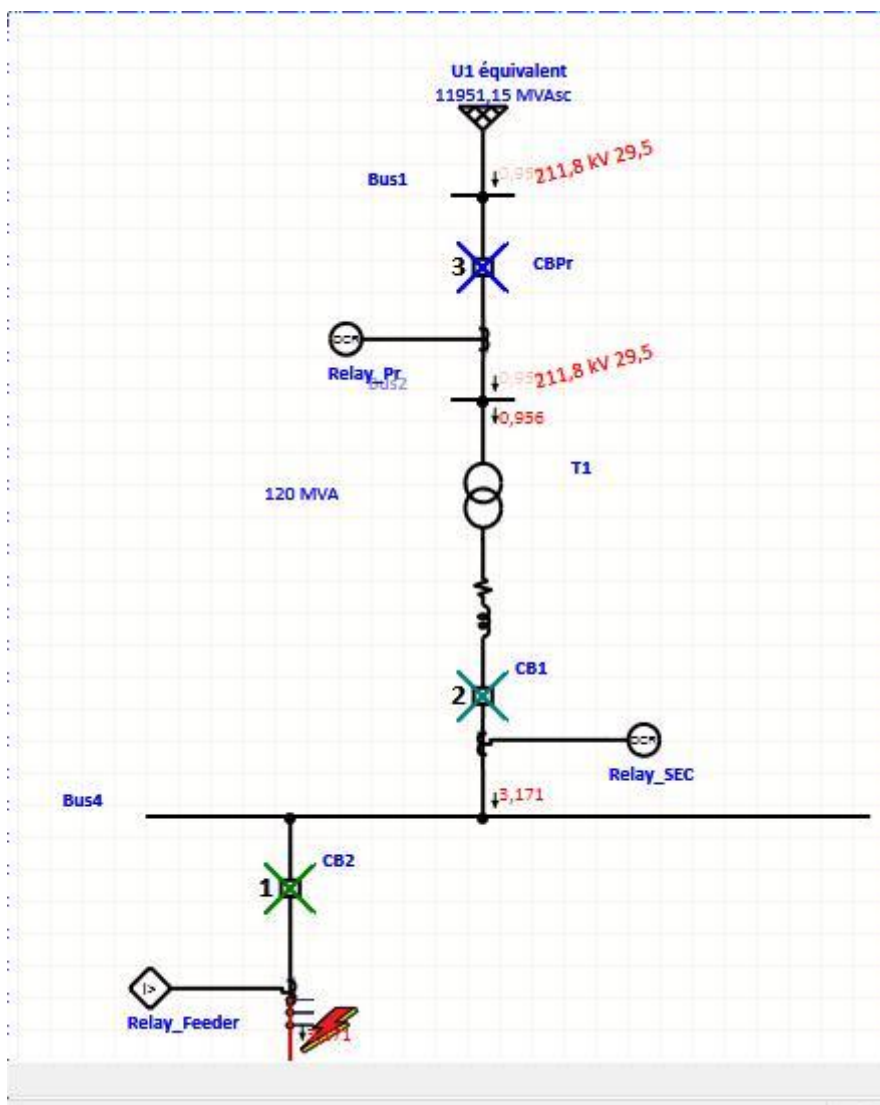
Figure IV.8: résultats défaut triphasé.

**IV.7.2.1. Résultats et discussion :**

Dans ce cas le temps d'élimination de défaut est 500 ms, le relais de protection donne l'ordre au disjoncteur principal pour déclencher après 540 ms (après 40 ms). Ce temps très court de 40 ms entre l'envoi du signal et la coupure est expliqué par le caractéristiques internes des dispositifs de mesure et de protection

**IV.7.3. Défaut triphasé a la charge :**

De la même façon, un défaut triphasé a été appliqué dans cette partie au niveau de la charge afin de tester la chronologie d'ouverture des disjoncteurs et le réglage des relais de surintensités OCR qui ont été installé dans chaque partie du réseau.



| Time (ms) | ID           | If (kA) | T1 (ms) | T2 (ms) | Condition   |
|-----------|--------------|---------|---------|---------|---|
| 10,0      | Relay_Feeder | 3,171   | 10,0    |         | Phase - OC1 - 51 - Forward                        |
| 50,0      | CB2          |         | 40,0    |         | Tripped by Relay_Feeder Phase - OC1 - 51 - For... |
| 300       | Relay_SEC    | 3,171   | 300     |         | Phase - OC1 - 51 - Forward                        |
| 340       | CB1          |         | 40,0    |         | Tripped by Relay_SEC Phase - OC1 - 51 - Forward   |
| 500       | Relay_Pr     | 0,956   | 500     |         | Phase - OC1 - 51                                  |
| 540       | CBPr         |         | 40,0    |         | Tripped by Relay_Pr Phase - OC1 - 51              |

Figure IV.9: Résultats défaut triphasé a la charge .

#### IV.7.3.1. Résultats et discussion :

Lorsque en applique le défaut au niveau de la charge, on remarque que le relais de protection détecte le défaut au bout de 10 ms, le relais envoie le signal au disjoncteur CB2 pour qui s'ouvre après 50 ms, puis le disjoncteur donne l'ordre au relais secondaire qui détecte le défaut en AMONT après 300 ms puis donne l'ordre aussi au disjoncteur secondaire pour éliminer le défaut, mais tant que le défaut toujours présent dans le réseau donc il est obligé d'ouvrir le disjoncteur principale en fonction de relais qui il détecte après 500 ms et le disjoncteur ouvre simultanément après 540 ms. Le temps de retard 40 ms constaté à chaque fois entre l'envoi du signal par le relais vers le disjoncteur associé est justifié par les caractéristiques internes des dispositifs de protection et de coupures.

#### IV.8. Protection par relais de distance :

Dans cette partie, nous avons fait une simulation en utilisons la méthode de protections les zones par relais de distance . Cette méthode consiste à détecter les défauts qui appert dans une ligne électrique selon l'emplacement et selon la nature du défaut. Deux capteurs sont installés (transformateur de tension et de courant) qui envoie un rapport au relais en temps réels qui déjà réglé pour réagir en cas ou il aura

## Chapitre IV : Simulation et résultats d'un réseau HT

une défaillance ou bien variation par rapport aux valeurs prédéterminées. Le schéma unifilaire réel simulé par l'ETAP est montré ci-après :

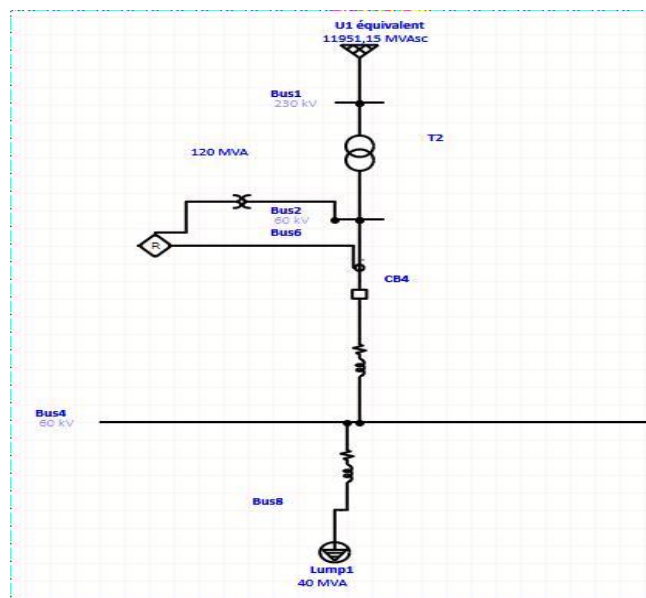


Figure IV.10: schéma unifilaire dans ETAP protection de distance.

Nous avons sélectionnés: «Schneider Electric», Model P441. Comme le montre la figure ci-dessous, ce type de relais de distance est le plus répandus dans le marché qui est aussi, contient d'autres facilités tels que les surintensités et les surcharges.

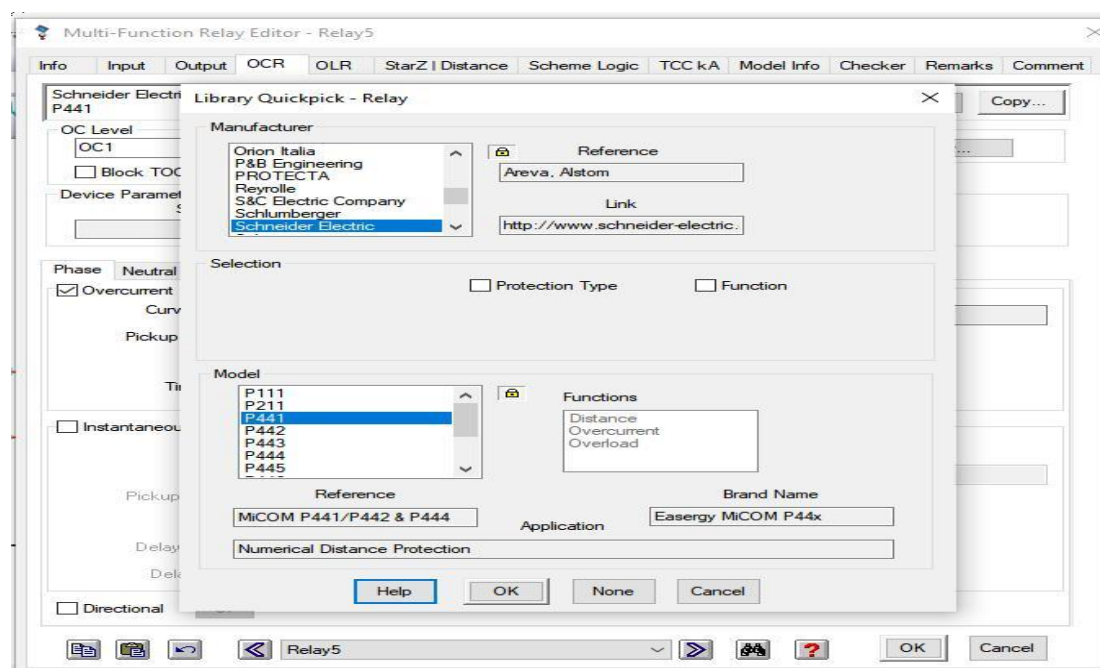


Figure IV.11: caractéristique relais à distance

## Chapitre IV : Simulation et résultats d'un réseau HT

### IV.8.1. Les entrées et les sorties :

Depuis l'éditeur de relais de protection, nous spécifions les entrées et les sorties, où les mesures provenant du transformateur de courant (TC: 1155/1) et du transformateur de tension (TP: 220kv/100v) ces valeurs sont extrait des paramètres réel du transformateurs de puissance, aussi de l'écoulement de puissance qui a été fait dans le premier cas. Ces valeurs sont considérées comme des entrées aux relais. Et le signal logique "DO1" pour la commande de disjoncteur comme sortie de relais de protection.

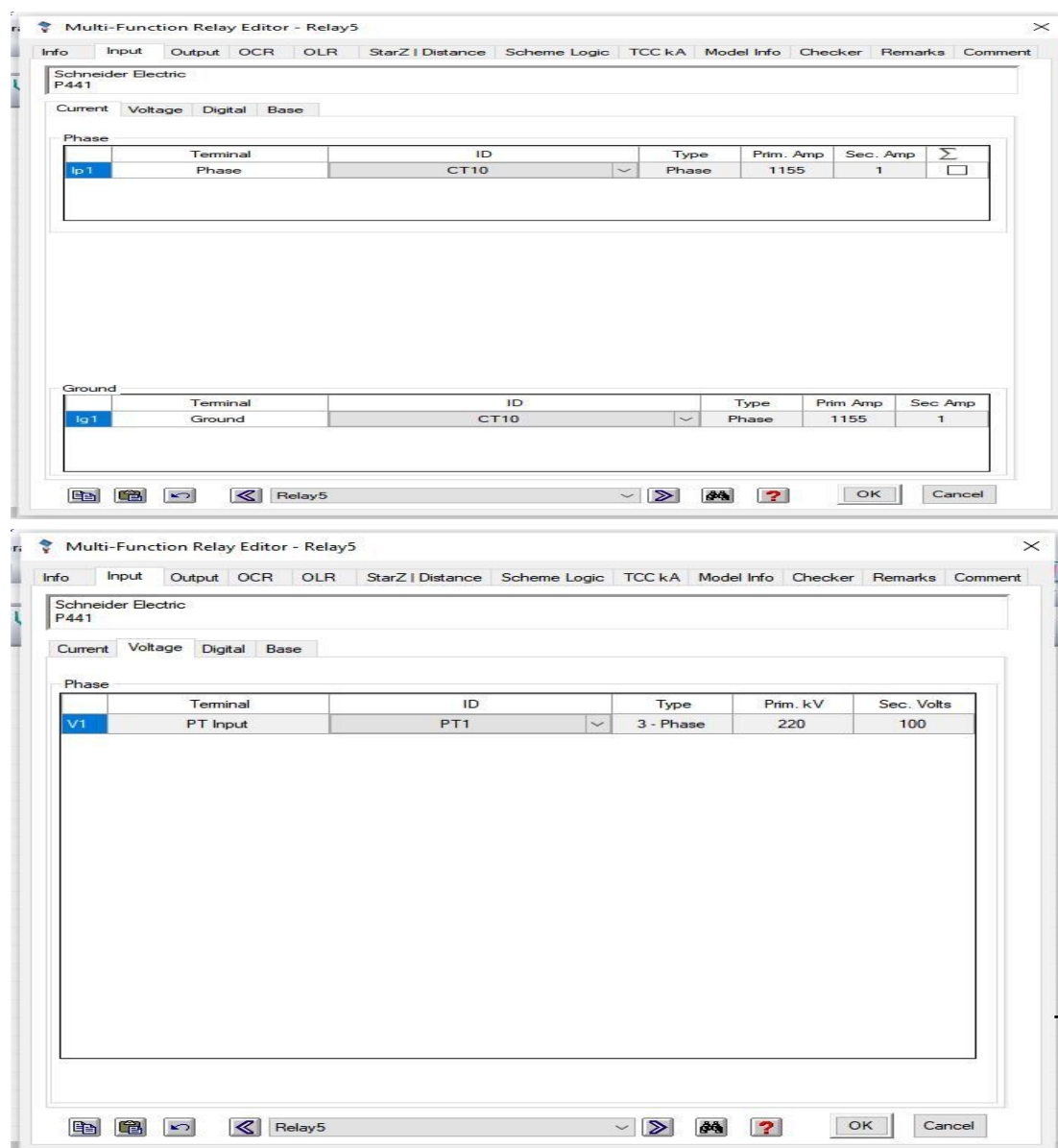


Figure IV.12: Captures les entrées et les sorties .

**IV.8.2. Calcul les paramètres de relais :**

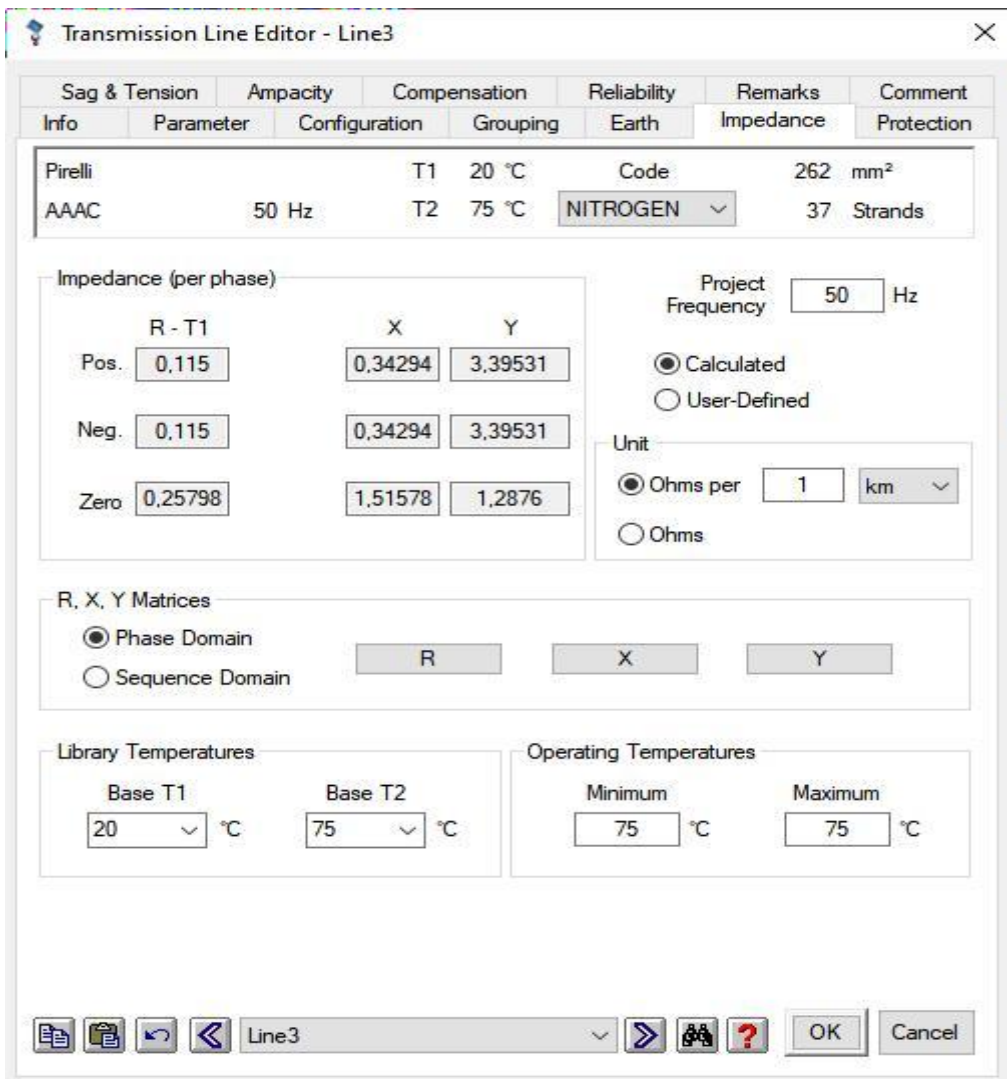
Conformément aux formules de calcul des paramètres des différentes zones, il est nécessaire de connaître les valeurs de R (résistance) et X (réactance) de la ligne. Par exemple, pour la zone Z1, l'impédance est déterminée à partir de l'équation suivante :

$$Z1 = 80 \% \text{ de } Z_{\text{Ligne}} = 0,8 \times [R_{\text{Ligne}} + jX_{\text{ligne}}] \dots \dots \dots (1)$$

Les valeurs de R et X sont directement extraites de l'éditeur de données de la ligne de transmission dans le logiciel ETAP, comme illustré dans la figure. Ensuite, la valeur de l'impédance Z est calculée à l'aide de la formule :

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \dots \dots \dots (2)$$

$$\theta = \arctan(x/R) \dots \dots \dots (3)$$



**Figure IV.13: Caractéristiques de la ligne de transmission .**

**IV.8.3.L'impédance par 1Km :**

|    |         |    |         |    |        |     |
|----|---------|----|---------|----|--------|-----|
| R1 | 0,115   | X1 | 0,34294 | Z1 | 0,3617 | <Z1 |
| R2 | 0,115   | X2 | 0,34294 | Z2 | 0,3617 | <Z2 |
| R0 | 0,25798 | X0 | 1,51578 | Z0 | 2,5555 | <Z0 |

**Tableau IV.2. :L`impédance par 1 km pour chaque zone**

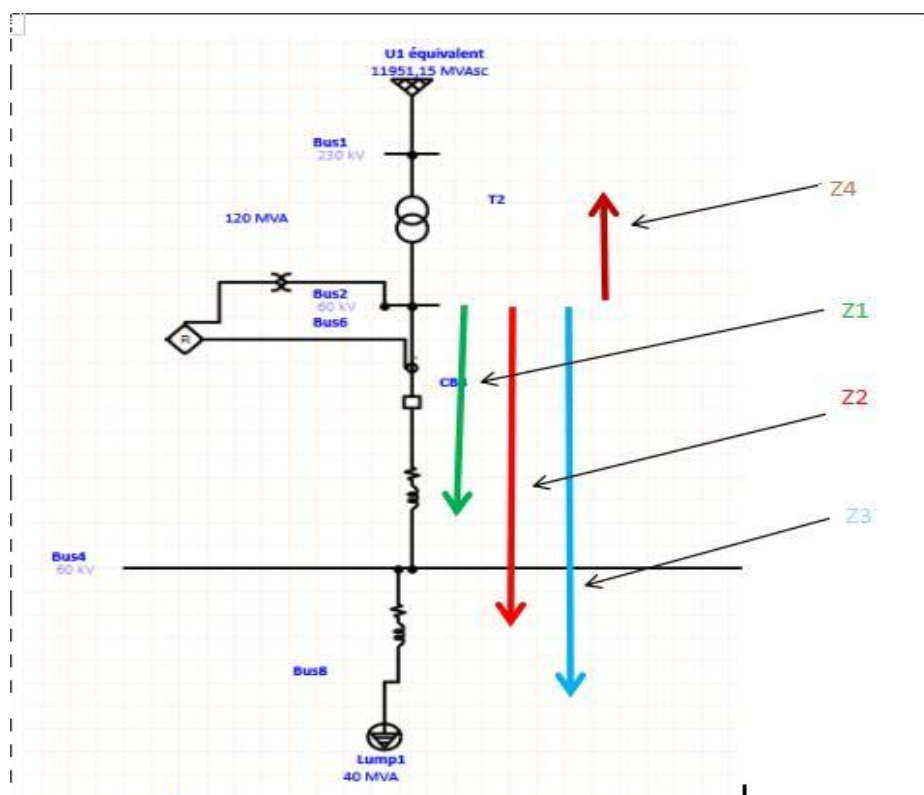
Afin d'obtenir la valeur de l'impédance pour toute la ligne de transmission, on multiplie R, X, Z par la longueur de la ligne (dans notre cas la longueur de la ligne a protégé est 23 km)

**IV.8.4.L'impédance par 23Km :**

| Resistance | Valeur  | Inductance | valeur2  | Impédance                               | valeur3 |     |
|------------|---------|------------|----------|---|---------|-----|
| R1         | 2,645   | X1         | 7,88762  | Z1                                      | 8,3191  | <Z1 |
| R2         | 2,645   | X2         | 7,88762  | Z2 </td <td>8,3191</td> <td>&lt;Z2</td> | 8,3191  | <Z2 |
| R0         | 5,93354 | X0         | 34,86294 | Z0                                      | 58,7765 | <Z0 |

**Tableau IV.3 : L'impédance par 23 km pour chaque zone.**

Nous deffinissons les zones de protection pour relais comme suit :



**Figure IV.14: les dimensions des zones de protection .**

IV.9. Les zones de protection :

Les valeurs prédéterminées et calculées par les équations précédentes, sont montrées dans les tableaux ci après, ces valeurs déterminent les zones (Z1, Z2, Z3 et Z4) censées pour la protection de distance. Les valeurs mentionnées sont optés par SONELGAZ et appliqués à la ligne étudié.

| ZONE 1   |                 | ZONE 2   |                  |
|----------|-----------------|----------|------------------|
| En avant | 80% de la ligne | En avant | 120% de la ligne |
| Z1       | 6,65528         | Z2       | 9,98292          |
| X1P      | 6,310096        | X2P      | 9,465144         |
| R1P      | 2,116           | R2P      | 3,174            |
| R1G      | 4,746832        | R2G      | 7,12024          |
| T1       | 0s              | T2       | 0,5 S            |

| ZONE 3   |                  | ZONE 4     |                 |
|----------|------------------|------------|-----------------|
| En avant | 140% de la ligne | EN Inverse | 40% de la ligne |
| Z3       | 11,64674         | Z4         | 3,3276          |
| X3P      | 11,04266         | X4P        | 3,155           |
| R3P      | 3,703            | R4P        | 1,058           |
| R3G      | 8,30695          | R4G        | 2,3734          |
| T3       | 1,5              | T4         | 2,5             |

Figure IV.15: les zones de relais

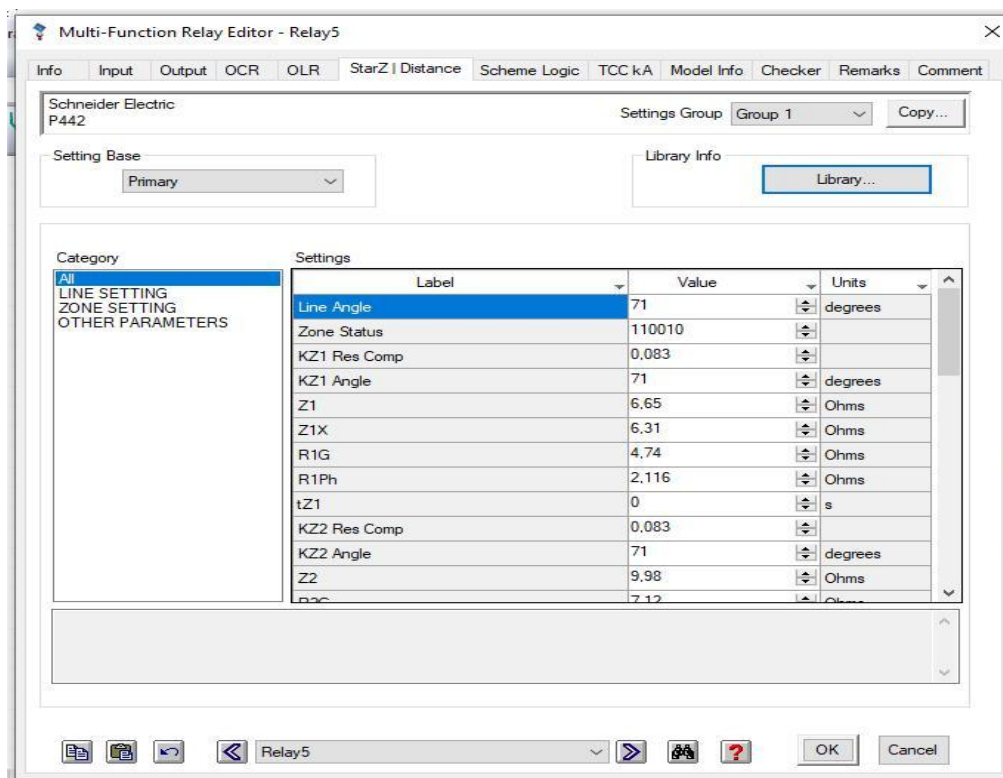


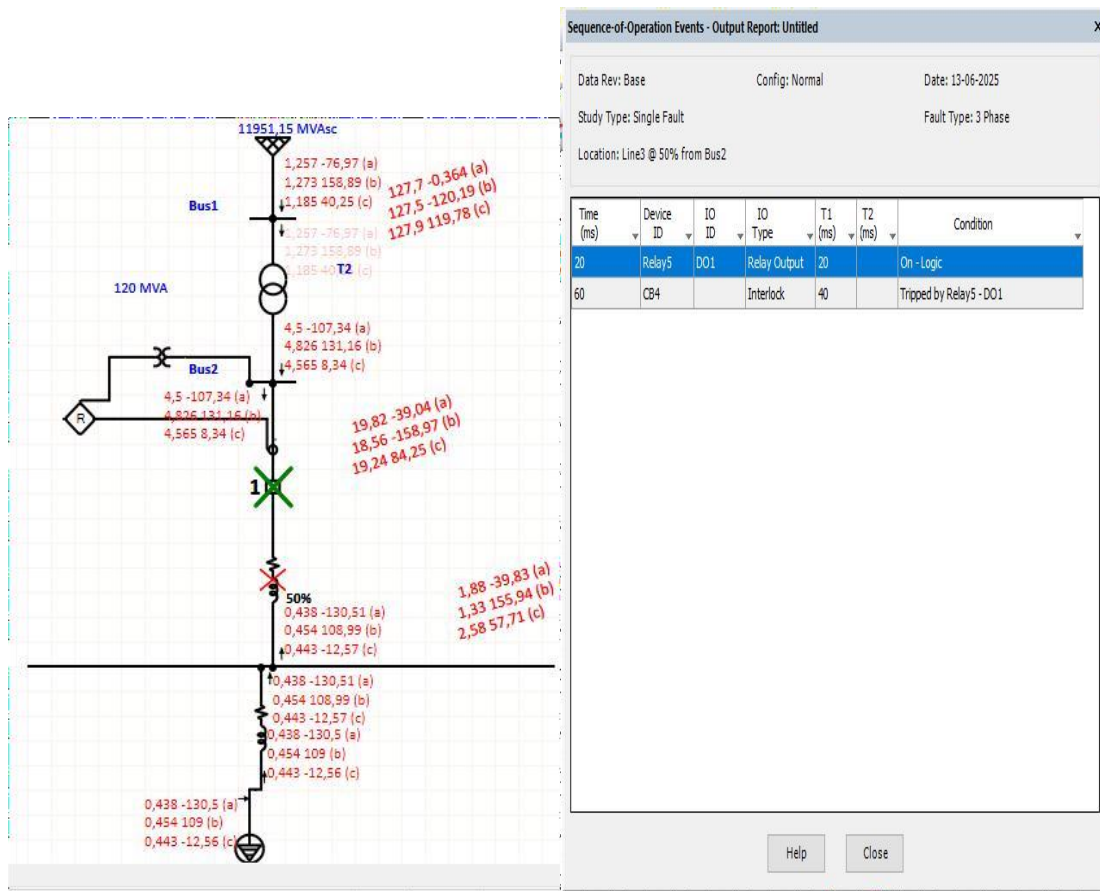
Figure IV.16 : interface de réglage de relais de protection.

**IV.10. Les différents scénarios et simulation :**

**IV.10.1. Le premier défaut :(défaut dans zone 1)**

Le défaut se situe dans 50 % de la ligne de transmission, donc lorsque on applique le défaut, on remarque le relais de protection détecte le défaut au bout de 20 ms, ensuite le relais envoie un ordre au disjoncteur pour déclencher après 40 ms.

Le relais prend 20 ms pour détecte le défaut car le temps perdu au processus des appareils de mesure CT et PT.



**Figure IV.17 : Défaut dans zone 1**

**IV.10.2. Deuxième défaut :( défaut zone 2)**

Dans ce cas le défaut se situe dans 90 % de la ligne de transmission, donc le relais détecte le défaut après 420 ms, le disjoncteur reçoit l'ordre pour déclencher après 460 ms .

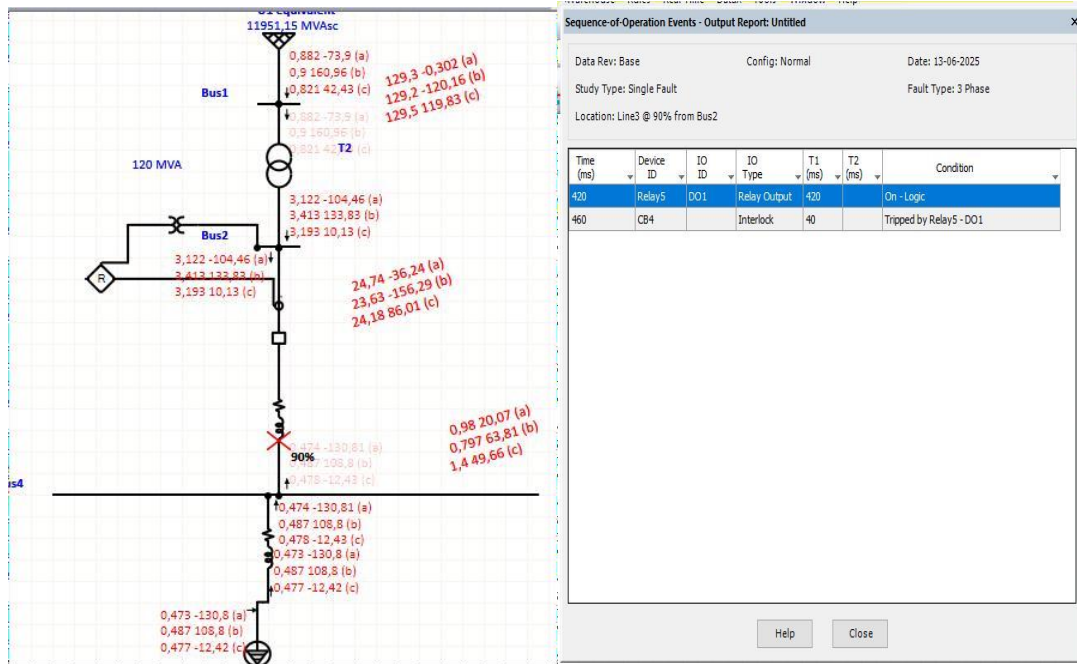


Figure IV.18:Default zone 2.

### IV.10.3.Troisième défaut :( défaut dans zone 4 )

Le défaut applique dans 20% de zone 4 , sens inverse donc le temps d'élimination de défaut est 2 s.

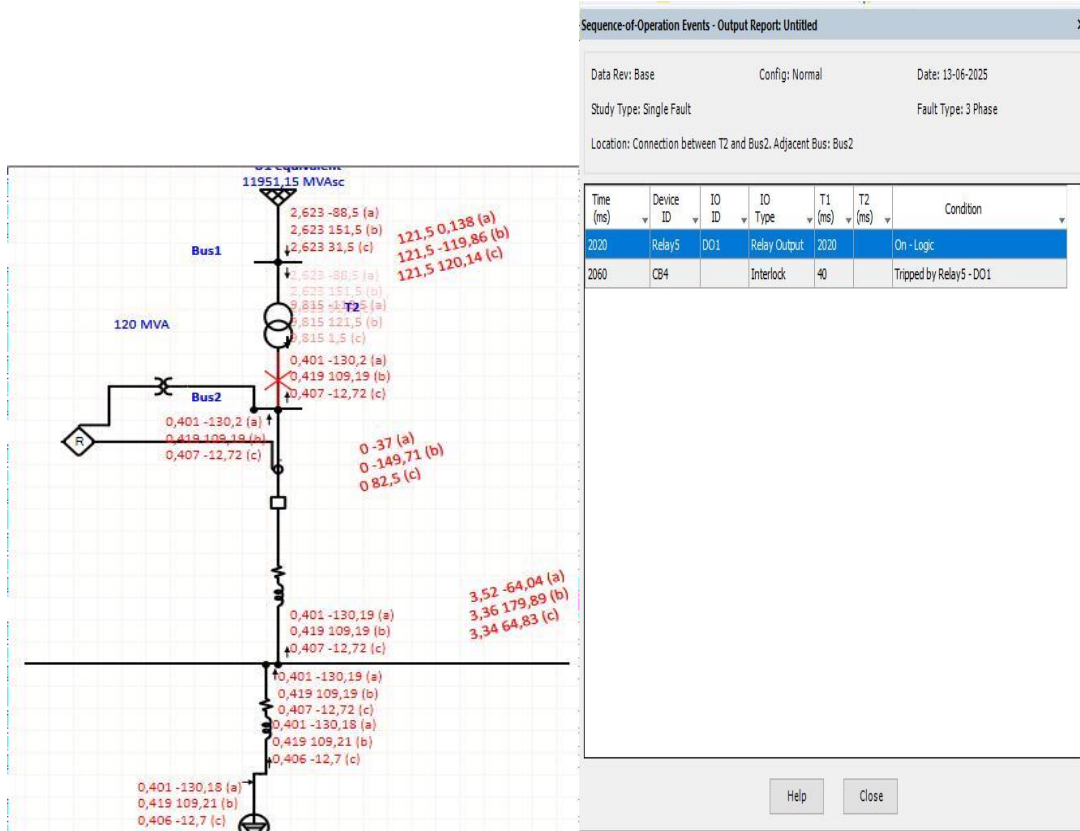


Figure IV.19: défaut zone 4.

**IV.11. Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons simulés deux modèles de protection, le premier protection chronométrique, nous avons vu les différents défauts et la coordination avec le temps, la deuxième protection était la protection de distance. Dont, différents défauts appliqués dans trois zones différentes (Z1, Z2 et Z4) ont été discutés .

En conclusion, la protection de distance est appréciée pour sa sélectivité par zone et sa fiabilité , tandis que la protection chronométrique plus simple à déployer est fréquemment utilisée comme solution secours .

# **Conclusion Générale**

## **Conclusion générale :**

### **Conclusion générale :**

Ce mémoire a contribué à enrichir nos connaissances sur les réseaux de transport d'électricité et leurs systèmes de protection. Compte tenu de l'importance de ce sujet, il nous a semblé nécessaire de fournir une information complète sur les réseaux électriques, notamment leurs différents types de structures et leurs méthodes de protection. Les réseaux de transport d'électricité sont exposés à diverses perturbations, telles que les courts-circuits et les surtensions .

Ce travail porte sur l'étude et le choix de protections des lignes HT radial a fin de limiter les dégâts qui peuvent causes les défauts survenus sur un réseau électrique, la première méthode consiste a la sélectivité chronométrique, elle caractérisé par sa simplicité a mettre en ouvre et facile a régler par rapport a la protection de distance ( protections des zones en utilisant le relais de distance ). Tandis-que la protection de distance est basée sur la relation entre la tension et le courant , ou impédance est égale a la tension divise par le courant, elle assure la localisation des défauts selon des valeurs prédéterminées selon les zones sélectionnées.

Enfin , la protection de distance intelligente ( faire plusieurs fonction au même temps déclenchement , réenclenchent , localisation des défauts fugitif). Elle peut gérer le réseau mieux que la sélectivité chronométrique pour assurer les différents qualité de systèmes de protections ( fiabilité , sélectivité , sensibilité et la rapidité ) .

# **Bibliographie**

---

---

## **Bibliographie :**

- [1] Mohammed Salah, « Étude et simulation d'un coupleur de signaux HF pour réseaux d'énergie électrique », thèse de doctorat, Université de Biskra, 2013.
- [2] SONELGAZ Prévention et Sécurité, « Prévention du Risque Électrique », Carnet de Prescriptions au Personnel du Groupe SONELGAZ, Édition 2019.
- [3] M. Nouréddine ,Z Mouhamed «Étudie et protéger les réseaux électriques de transport »2019
- [4] LABED Djamel « Production décentralise et couplage des réseaux » mémoire de fin étude Université M'entourai Constantine. 2008.
- [5] M'entourai [e-monsite.com/pages/type-de-pylônes.html](http://e-monsite.com/pages/type-de-pylônes.html).
- [6] M. ADEL Kara << Contribution à l'étude d'un modèle dynamique de contournement d'un isolateur pollué » UNIVERSITE de SETIFIUFAS (ALGERIE) Soutenu le 18/12/2013.
- [7] Dr MERAHI Amir Analyse des réseaux de transport et de distribution 1, École supérieure en génie électrique et énergétique d'Oran.
- [8] Support de Cours (Réseaux Electriques) Universitaire Nour El Bachir El Bayadh 2017/2018.
- [9] Ph. CARRIVE, « Réseaux de Distribution - Structure et Planification », Techniques de l'Ingénieur, Traité Génie électrique D 4210, 2006.
- [10] P-A CHAMOREL << Énergie Électrique II paramètres électriques des lignes >> École d'ingénieur LAUSANE (EIL), 1994.
- [11] Vanille Sandra TEFEGUIM << Étude de la construction d'une ligne électrique haute tension 90 kV PA-WONA >> Promotion [2013/2014].
- [12] Conga Duc PHAM « Détection et localisation de défauts dans les réseaux de Distribution HTA en présence de génération d'énergie disperse » Doctorat 19 Septembre 2005.
- [13] Schneider Electric « La protection contre les surtensions » Guide de L'installation électrique 2010.
- [14] Lilia BENARAB. «détermination des seuils de réglage des protections des parts Moyen tension au complexe letrein ». 2021/2022.

- 
- 
- [15] M elle H. BELMAHDI et M elle N. ABDELLI « Etude de la protection d'un réseau de distribution moyenne tension. Application au poste de transformation et de distribution HT/MT Oued Akissi/Tibou-Ouzou » Mémoire d'ingénieur université de Tizi-Ouzou année 2008.
- [16] S. ABBASSEN et N. KACED ' Étude des protections des départs MT application poste 60/30 KV FREHA. Mémoire d'ingénieur. 2008.
- [17] Guide de conception des réseaux électriques industriels, T&D 6883 427/ A, Schneider electrocute. EDITION 2014.
- [18] Cours défauts et protections Mr. AZZEG.Électrotechnique.com «Appareillage de protection > ». EDITION 2020.
- [19] Mr A. CHIBAH « Etude de la protection du réseau MT de l'ENEL » Mémoire D'ingénieur université de Tizi-Ouzou année 2008.
- [20] VALENTIN CRASTAN « Les réseaux d'énergie électrique 2 » Edition LAVOISIER Année 2007.
- [21] MERLIN GERIN « Calcul des courants de court-circuit » Cahier technique N°158, Schneider électrique.
- [22] ZELLAGUI Mohamed « étude des protections des réseaux électrique mt (30 ,10KV), Magister Electrotechnique, Université de MENTOURI Constantine, 01-012010.
- [23] BENDARADJI Selsabil «Calcul des protections d'un département HTA», Master Electrotechnique, Université de KASDI MERBAH –Ouargla, 10-06-2014.
- [24] EDF, « Plan de protection des réseaux ha. b.61-24. Électrotechnique de réseau », 1994.
- [25] C. RUSSELL MASON, « The Art and Science of Protective Relaying », 1956 - New York.
- [26] Tolba Amrane "Coordination orientée objet de la protection des réseaux électriques «, Thèse de doctorat, Université de Batna, 2007.
- [27] Alstom, « Network Protection and Automation Guide: Protective Relays, Measurement and Control », Second Edition, 2011.
- [28] C. CLAUDE & D. PIERRE, « Protection des Réseaux de Transport et de Répartition » Direction de la Production et du Transport d'Electricité (EDF), octobre 2005.