



# Sommaire

INTRODUCTION.....	1
1. Introduction.....	1
2. Objectifs.....	1
3. Organisation du polycopié.....	2
4. Information sur le cours.....	2
<b>Chapitre 01.....</b>	<b>3</b>
<b>GENERALITES SUR LES RESEAUX ELECTRIQUES.....</b>	<b>3</b>
1.1. Introduction.....	3
1.2. Structure topologique du réseau.....	3
1.2.1. Les réseaux radiaux.....	3
1.2.2. Les réseaux bouclés.....	4
1.2.3. Les réseaux maillés.....	4
1.3. Différents types de postes électriques.....	4
1.3.1. Postes de transport et d'interconnexion.....	4
1.3.2. Postes de répartition.....	5
1.3.3. Postes de distribution MT.....	5
1.4. Équipements d'un poste.....	6
1.4.1. Equipements HT.....	6
1.4.2. Equipement BT.....	8
1.5. Différents types de défauts affectants le réseau électrique.....	9
1.5.1. Définition.....	10
1.5.2. Causes des défauts.....	10
1.5.3. Conséquences des défauts dans les réseaux électriques.....	10
1.5.4. Facteurs affectant la sévérité des défauts.....	11
1.5.5. Types de défauts dans un réseau électrique.....	12
1.6. Conclusion.....	14
<b>Chapitre 02.....</b>	<b>15</b>
<b>COMPOSANTS D'UN SYSTEME DE PROTECTION.....</b>	<b>15</b>
2.1. Introduction.....	15
2.2. Protection des réseaux électriques.....	15
2.3. Système de protection.....	15

2.3.1. Transformateurs de protection .....	16
2.3.2. Appareil de coupure (Disjoncteur) .....	24
2.3.3. Relais de protection.....	25
2.4. Conclusion .....	27

## **Chapitre 03..... 28**

### **FONCTIONS ET PRINCIPES DE LA PROTECTION .....28**

3.1. Introduction.....	28
3.2. Performances fonctionnelles .....	28
Un appareil de la protection doit avoir trois fonctions principales : .....	28
3.3. Codes ANSI des relais de protection .....	28
3.4. Qualités de la protection .....	29
3.4.1. Rapidité .....	29
3.4.2. Fiabilité.....	29
3.4.3. Sensibilité.....	30
3.4.4. Sélectivité.....	30
3.5. Coordination des protections .....	30
3.6. Plan de protection .....	30
3.7. Sélectivité des protections .....	31
3.7.1. Sélectivité ampèremétrique.....	32
3.7.2. Sélectivité chronométrique.....	32
3.7.3. Sélectivité logique .....	32
3.8. Fonctions et principes de la protection.....	34
3.8.1. Protection Contre les Surintensités .....	34
3.8.2. Protection de distance.....	38
3.8.3. Protection différentielle .....	39
3.9. Conclusion .....	40

## **Chapitre 04..... 41**

### **PROTECTION DES ELEMENTS DU RESEAU ELECTRIQUE.....41**

4.1. Introduction.....	41
4.2. Protection des alternateurs .....	41
4.2.1. Types de défauts affectant l'alternateur .....	41
4.2.2. Dispositifs de protection des générateurs .....	44
4.3. Protection des transformateurs de puissance.....	47
4.3.1. Généralités .....	47

---

4.3.2. Constitution des transformateurs .....	48
4.3.3. Protection des transformateurs de puissance.....	49
4.4. Protection des lignes .....	56
4.4.1. Protection à minimum d'impédance (de distance) .....	57
4.4.2. Protection de réserve des lignes .....	58
4.4.3. Protection complémentaire .....	58
4.4.4. Protection de secours des lignes.....	58
4.4.5. Dispositif de reenclenchement automatique.....	58
4.5. Protection des moteurs .....	59
4.5.1. Types de défauts affectant le moteur électrique.....	59
4.5.2. Dispositifs de protections .....	59
4.6. Conclusion .....	60
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>61</b>
1.Introduction.....	61
2.Chapitres présentés .....	61

## Liste des figures

Figure 1.1. Structure générale d'un réseau électrique .....	6
Figure 1.2. Travée ligne .....	7
Figure 1.3. Travée couplage.....	7
Figure 1.4. Travée transformateur .....	8
Figure 1.5. Services auxiliaires .....	9
Figure 1.6. Exemples de défauts les plus rencontrés dans un système électrique .....	12
Figure 1.7. Perturbation impulsive positive .....	13
Figure 1.8. Perturbation oscillatoire.....	14
Figure 2.1. Composants du système de protection.....	16
Figure 2.2. Symbole.....	17
Figure 2.3. Raccordement d'un TC.....	17
Figure 2.4. TC toroïdal (tore) .....	18
Figure 2.5. TC bobiné.....	18
Figure 2.6. Raccordement du TT.....	21
Figure 2.7. Photos du TT.....	21
Figure 2.8. TT inductif .....	22
Figure 2.8. TT capacitif.....	23
Figure 3.1. Protection à courant défini .....	35
Figure 3.2. Relais à temps indépendant .....	35
Figure 3.3. Relais à temps dépendant.....	36
Figure 3.4. Mesure du courant résiduel par un tore.....	36
Figure 3.5. Mesure du courant résiduel par 3 TC.....	37
Figure 3.6. Ligne de transmission affectée par un défaut .....	39
Figure 3.8. Exemples d'emploi de la protection différentielle .....	40
Figure 4.1. Court-circuit externe entre phase dans un alternateur .....	43
Figure 4.2. Protection contre le déséquilibre .....	45
Figure 4.3. Protection différentielle de l'alternateur .....	46
Figure 4.4. Protection contre les défauts équilibrés à la terre .....	47
Figure 4.5. Circuit magnétique à trois noyaux bobinés .....	48
Figure 4.6. Circuit magnétique à cinq noyaux bobinés .....	48
Figure 4.7. Constitution d'un transformateur de puissance .....	49
Figure 4.8. Relais Buchholz .....	50

---

Figure 4.9. Relais de protection de changeur de prise en charge.....	51
Figure 4.10. Fonctionnement de l'obturateur (DAROC) .....	52
Figure 4.11. Protection à temps indépendant.....	55
Figure 4.12. Protection à temps dépendant .....	55
Figure 4.13. Mesure de courant résiduel par trois transformateurs de courant .....	56

## *Liste des tableaux*

---

---

Tableau 3.1. Codes ANSI des relais de protection .....28

# INTRODUCTION

---

## 1. Introduction

Chaque fois qu'on allume une lampe électrique ou que l'on démarre un moteur, il faut simultanément produire et transporter l'énergie au lieu d'utilisation le stockage massif de l'énergie électrique sous une forme immédiatement disponible, ce qui n'est, actuellement, pas possible dans des conditions économiques satisfaisantes. Le problème majeur de l'exploitation est donc de maintenir, en permanence, l'équilibre entre l'offre disponible et la demande potentielle. Bien entendu, l'équilibre instantané entre la production et la consommation est une condition nécessaire de fonctionnement du système production -transport - consommation, que l'on appelle aussi système électrique plutôt que réseau.

Un système électrique se compose de trois parties complémentaires qui assurent la continuité d'alimentation des clients haute tension (HT), moyenne tension (MT) et basse tension (BT).

Les réseaux et équipements électriques sont conçus avec le souci de procurer la meilleure continuité de service possible et ont généralement un niveau élevé de sûreté de fonctionnement. Malgré toutes les précautions prises, les ouvrages et les équipements électrique (Alternateurs, lignes, câble, transformateurs, moteurs...) peuvent être affectés au cours de leur fonctionnement d'un certain nombre de défauts de nature différente.

## 2. Objectifs

Un équipement de protection est un système de mesure qui surveille en permanence les paramètres importants du réseau (tension, courant ou combinaison de ces paramètres). Si une au moins des grandeurs de mesure surveillées dépasse une valeur de seuil prééglée ou sort d'une zone de mesure considérée comme normale, l'équipement initialise une ou plusieurs actions, qui sont coordonnées par la fonction logique de l'équipement, telles que :

- La réalisation d'une mesure supplémentaire.
- Le lancement d'une temporisation.
- L'émission d'une signalisation ou d'un ordre de déclenchement à un disjoncteur.

Les protections d'un réseau de transport de l'électricité assurent, en permanence, deux fonctions :

- La détection des défauts.
- La commande automatique des manœuvres nécessaire à leur suppression.

Ces fonctions ont pour but de :

- Préserver la sécurité des personnes.
- Assurer un fonctionnement stable et ininterrompu du réseau.
- Eviter les dégâts qui se produisent sur les différents composants.

### **3. Organisation du polycopié**

Ce polycopié est organisé comme suit :

- Le premier chapitre offre une vue d'ensemble des réseaux électriques, en explorant leurs caractéristiques et leur fonctionnement.
- Dans le deuxième chapitre, nous examinons les différents éléments qui composent un système de protection et comment ils interagissent entre eux.
- Le troisième chapitre évoque les fonctions et le principe des protections
- Le quatrième chapitre décrit la protection des éléments du réseau électrique, tel que protection des alternateurs et des moteurs, protection des transformateurs, et protection des lignes de transmission

Ce polycopié est terminé par une conclusion et quelques références bibliographiques utilisées.

### **4. Information sur le cours**

- Public ciblé : 3<sup>ème</sup> année licence Electrotechnique
- Intitulé du cours : Protection des réseaux électriques
- Unité d'enseignement : Découverte
- Crédit : 01
- Coefficient : 01

# Chapitre 01

## GENERALITES SUR LES RESEAUX ELECTRIQUES

---

### 1.1. Introduction

L'électricité est créée dans les centrales électriques par l'utilisation d'alternateurs synchrones qui convertissent l'énergie mécanique produite par les turbines en énergie électrique. A la sortie des centrales, l'énergie produite en moyenne tension MT est élevée à 220 KV ou 400kV, puis elle est transportée par des lignes aériennes aux postes de transformation qui se situent à des endroits géographiques différents du territoire national.

L'ensemble des lignes et des postes très haute tension THT et haute tension HT constitue le réseau de transport de l'électricité, ce réseau est caractérisé par un maillage qui permet la connexion simultanée de plusieurs centrales. Cette configuration offre la possibilité d'utiliser le réseau pour débiter leur puissance.

L'interconnexion se fait pour garantir la grande sécurité d'alimentation malgré tous les défauts qui se passe au niveau des centrales ou lignes, mais aussi d'optimiser le transport d'énergie de point de vue économique.

A partir des postes de transformation HT/MT exploités par les compagnies de transport (GRTE en Algérie), la distribution d'énergie électrique assure l'alimentation des postes MT/BT qui alimentent à leurs tours les consommateurs en basse tension BT et les clients industriels en moyenne tension MT.

### 1.2. Structure topologique du réseau

Pour que le réseau assure le passage de l'électricité en bon état, il doit le faire avec une grande sécurité, l'augmentation de cette sécurité se réalise soit par :

- Des lignes ou appareillage plus solides.
- Ou par des circuits plus nombreux.

L'arrangement entre le coût des investissements, la sécurité d'appareil demande des types de réseaux différents.

#### 1.2.1. Les réseaux radiaux

A partir d'un poste d'alimentation on trouve plusieurs lignes, dont chacune se partage mais sans jamais retrouver le point commun, c'est la structure d'un arbre.

Ces réseaux sont bouclés mais non bouclés car dans ces points on place un appareil de coupure pour reprendre l'alimentation en cas d'incident.

### 1.2.2. Les réseaux bouclés

Sont alimentés par plusieurs sources (deux ou trois) débitant en parallèle. L'existence de plusieurs sources en parallèle augmente la sécurité d'alimentation en cas d'avarie.

Les réseaux bouclés sont souvent utilisés pour la répartition.

### 1.2.3. Les réseaux maillés

Sont des réseaux où toutes les lignes sont bouclées, formant ainsi une structure analogique aux mailles d'un filet, le nombre de sources débitant en parallèle peut atteindre plusieurs centaines. Les réseaux maillés sont utilisés pour les réseaux de transport.

## 1.3. Différents types de postes électriques

Le poste est une partie d'un réseau électrique qui contient des équipements BT et HT qui assure l'interconnexion entre différentes lignes ou la transformation d'énergie d'un niveau à un autre. Il existe plusieurs types de postes :

### 1.3.1. Postes de transport et d'interconnexion

La dispersion géographique entre les lieux de production et les centres de consommation, l'irrégularité de cette consommation et l'impossibilité de stocker l'énergie électrique nécessitent un réseau électrique capable de la transporter sur de grandes distances et de la diriger. La finalité de ce réseau est triple :

- Une fonction de transport dont le but est d'acheminer l'électricité des centrales de production aux grandes zones de consommation.
- Une fonction d'interconnexion nationale qui gère la répartition de l'offre en orientant la production en fonction de la répartition.
- Une fonction d'interconnexion internationale pour gérer les flux d'énergie entre les pays en fonction d'échanges programmés ou à titre de secours.

La structure de ces réseaux est de type aérien, la tension est généralement comprise entre 1000, 750, 400, 220 KV.

### 1.3.2. Postes de répartition

La finalité de ce réseau est avant tout d'acheminer l'électricité du réseau de transport vers les grands centres de consommation. Ces centres sont :

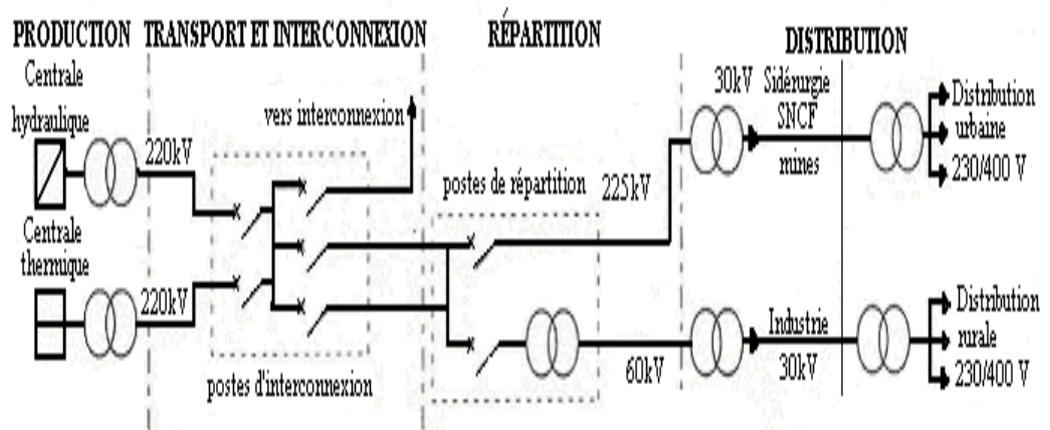
- Soit du domaine public avec l'accès au réseau de distribution MT.
- Soit du domaine privé avec l'accès aux abonnés à grande consommation ( $\leq 10\text{MVA}$ ) livrés directement en HT.

La tension sur ces réseaux est comprise entre 30 KV et 220 KV.

### 1.3.3. Postes de distribution MT

La finalité de ce réseau est d'acheminer l'électricité du réseau de répartition aux points de moyenne consommation. Ces points de consommation sont :

- Soit du domaine public, avec accès aux postes de distribution publique MT/BT.
- Soit du domaine privé avec accès aux postes de livraison aux abonnés à moyenne consommation.



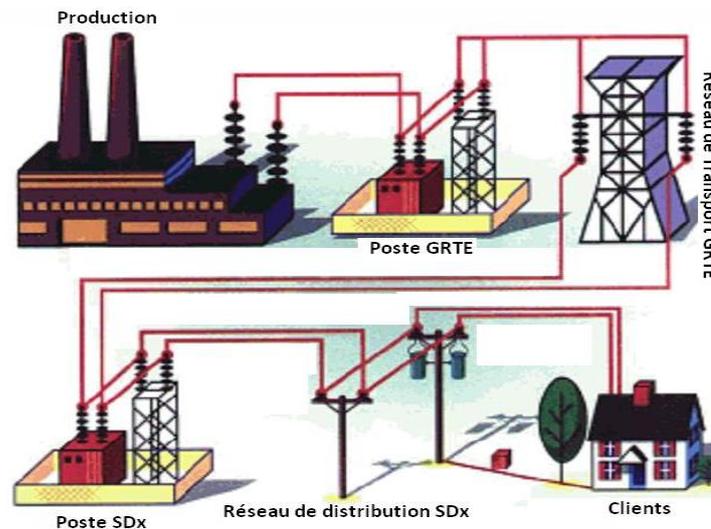


Figure 1.1. Structure générale d'un réseau électrique

## 1.4. Équipements d'un poste

### 1.4.1. Equipements HT

Dans un poste 'THT' on trouve trois travées, chaque travée est constituée d'un ensemble d'équipements.

Les travées sont citées comme suit :

- **Travée ligne** : représente l'arrivée ou le départ d'un poste, elle est composée de :
  - Circuit bouchon.
  - Deux sectionneurs tête de ligne et mise à la terre.
  - Transformateur de courant et de tension.
  - Disjoncteur.
  - Deux sectionneurs de barres SB1, SB2.

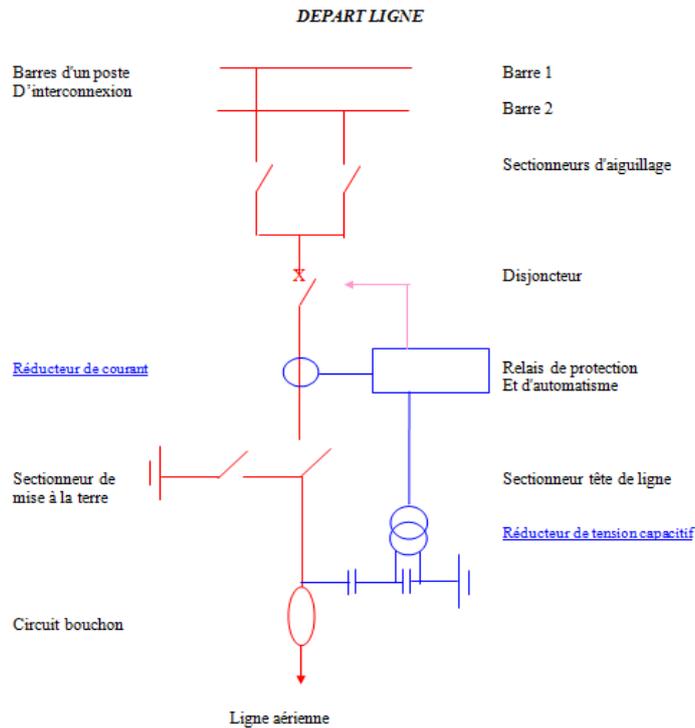


Figure 1.2. Travée ligne

➤ **Travée couplage** : elle est composée de deux jeux de barres :

- Un jeu de barre 220 KV qui assure l'interconnexion avec les postes THT/HT.
- Un jeu de barre 60KV assure l'alimentation des postes HT/MT.

Chaque jeu de barre contient deux barres, et chaque barre contient un transformateur de tension et représente trois phases.

Le couplage entre les deux barres se fait par un disjoncteur de couplage accompagné, par un TC et deux sectionneurs de barres.

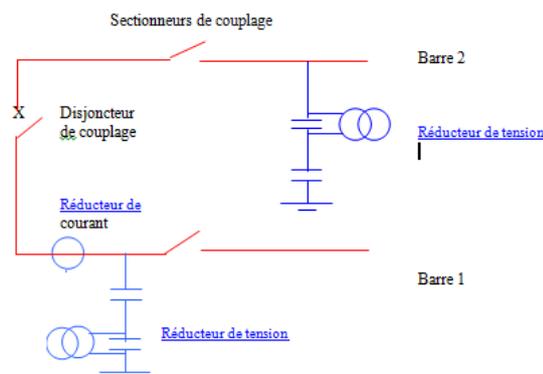


Figure 1.3. Travée couplage

➤ **Travée transformateur** : le transformateur joue un rôle très important dans le poste, c'est pour ça il est protégé par plusieurs protections.

La travée transformateur est composée de :

- Deux transformateurs de puissance 220/60 KV.
- Un disjoncteur.
- Deux sectionneurs d'encadrement.
- Deux sectionneurs de barres.

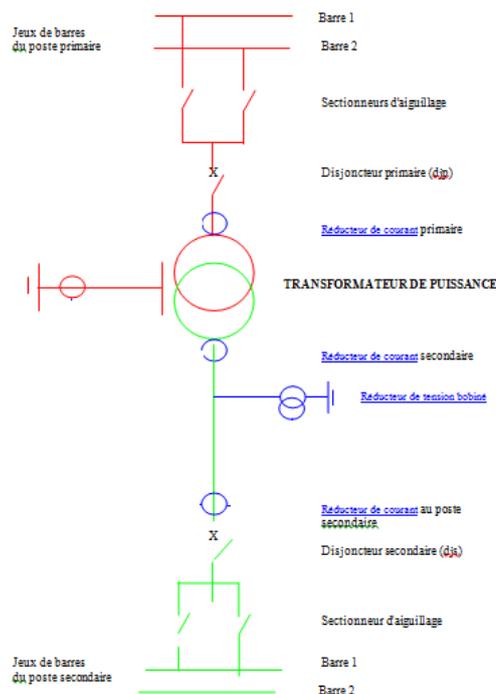


Figure 1.4. Travée transformateur

#### 1.4.2. Equipement BT

Les services auxiliaires sont fait pour assurer les fonctions d'alimentations des dispositifs de commande, protection, signalisation et des automates, aussi on les considérés comme secours de certaines fonctions par exemple éclairage en cas de défaillance du réseau alternatif.

L'ensemble des services auxiliaires contient :

##### – Les services auxiliaires à courant alternatif 220/380 Volts

Sont alimentés en tension alternative triphasée 50HZ, 220/380 Volts par l'un des deux transformateurs MT/BT, il y a aussi un groupe diesel assure le secours d'une partie des auxiliaires.

Pour les fonctions qui demandent une puissance importante comme : l'éclairage, chauffage, force motrice des disjoncteurs, des sectionneurs, de régleur en charge et prises de courant, on utilise ces auxiliaires qui assurent au poste l'énergie nécessaire de fonctionnement normal, et assurent l'alimentation des redresseurs.

– **Les services auxiliaires à courant continu 127/48Volts :**

Sont constitués de :

- Trois batteries d'accumulateurs 127V et 48V, seront prévues pour fonctionner en floating avec les redresseurs.
- Trois redresseurs 127V identiques pour l'alimentation des batteries 1 et 2, le troisième redresseur assure le secours de chacun de ces deux redresseurs.
- Le premier ensemble (redresseur- batterie) alimente la barre courant continu principale 127Vcc.
- Le deuxième ensemble (redresseur- batterie) alimente la barre courant continu 127Vcc.
- Pour les redresseurs 48V telecommunication, il y aura deux redresseurs 48V dont l'un alimentera la batterie et l'autre sera branché en secours par embrochage des disjoncteurs l'encadrant.

L'ensemble (redresseur- batterie) alimente la barre courant continu 48Vcc.

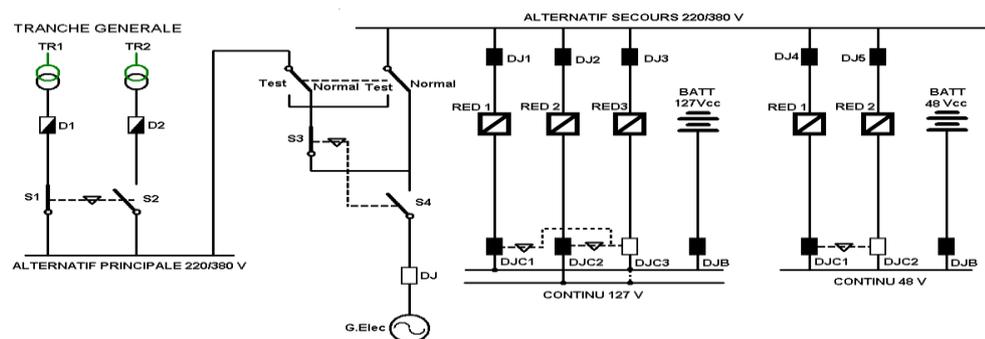


Figure 1.5. Services auxiliaires

### 1.5. Différents types de défauts affectants le réseau électrique

Les réseaux basse tension sont très pollués et soumis à de multiples agressions, surtout les appareils électroniques qui sont de plus en plus nombreux et traitent des signaux de plus en plus bas, doivent résister à un environnement électromagnétique sévère. Et dans le même temps les exigences de disponibilité que ce soit pour la production, la gestion ou le commerce, sont de plus en plus fortes.

Pour améliorer la qualité du «produit électricité» et éviter les dysfonctionnements, il est indispensable de comprendre l'origine des perturbations et d'en apprécier les risques.

Les lignes de transmission sont souvent sujettes à des défauts qui impliquent une ou plusieurs phases et la terre. Ces défauts peuvent provoquer des pannes momentanées de courant, mais si elles ne sont pas prises en compte, elles peuvent entraîner des dommages permanents aux équipements électriques tels que les lignes de transmission et/ou les transformateurs.

### 1.5.1. Définition

Un circuit peut présenter des dysfonctionnements qui perturbent le flux de courant vers la charge. Dans la plupart des cas, un défaut de court-circuit se forme entre deux ou plusieurs phases, ou entre une ou plusieurs phases et le neutre. Comme l'impédance du nouveau chemin est généralement faible, un courant excessif peut alors s'écouler.

### 1.5.2. Causes des défauts

La défaillance du générateur est causée par la rupture de l'isolation entre les spires dans un même enroulement ou entre l'enroulement et la structure métallique (masse) de la machine. Sur les lignes aériennes, les défauts peuvent être soit d'origine externe dus à des surtensions de manœuvre et / ou de foudre, le vent, les arbres, les grues, les avions ou les oiseaux ; soit d'origine interne dus à la détérioration de l'isolation des câbles souterrains, à cause du vieillissement combiné au surcharge.

### 1.5.3. Conséquences des défauts dans les réseaux électriques

Les défauts peuvent être une source de problèmes pour les consommateurs et les fournisseurs d'énergie électrique. Ils peuvent entraîner des incendies, des pertes de biens et de vies, ainsi que des dommages aux équipements électriques. De plus, une panne d'électricité peut se produire au-delà du point de défaut. Les échauffements et les efforts électrodynamiques qui sont associés aux défauts peuvent provoquer un vieillissement accéléré du matériel. Les conséquences financières sont difficiles à évaluer. Sur les parties saines du réseau, les défauts peuvent provoquer une baisse de tension qui peut être nocive pour les appareils électriques, les automates et les équipements informatiques. De plus, ils peuvent entraîner une perte de stabilité des machines tournantes, ce qui peut mener à l'effondrement du réseau même après l'élimination du défaut.

Les défauts constituent une gêne pour les utilisateurs et les producteurs de l'énergie électrique. Ils peuvent entraîner:

- un incendie : la perte de bien, de vie et la destruction d'équipement électrique.
- une coupure de l'alimentation au-delà du point de défaut,
- Vieillissement accéléré du matériel dû aux échauffements et aux efforts électrodynamiques.

- L'impact financier difficilement quantifiable.

Et sur les parties saines du réseau, les défauts peuvent causer:

- chute de tension préjudiciable aux accrochages électriques, aux automates et équipements informatiques.
- perte de stabilité des machines tournantes qui peut, même après élimination du défaut, s'aggraver jusqu'à entraîner l'effondrement total du réseau.

#### **1.5.4. Facteurs affectant la sévérité des défauts**

La gravité de défaut d'un système électrique peut être évaluée en fonction de la perturbation produite et du dégât causé. L'intensité et la durée du courant de défaut interviennent particulièrement lors de la conception et le dimensionnement de la protection électrique. Les principaux facteurs qui affectent la gravité d'un défaut sont:

##### **1.5.4.1. Conditions de la source**

Il s'agit de la quantité et de la localisation de toutes les sources de production raccordées. Les conditions minimales et maximales de l'installation sont normalement celles correspondant aux charges minimale et maximale.

##### **1.5.4.2. Configuration du système électrique**

La configuration du système peut changer pendant le défaut, avec des modifications de l'amplitude et de la répartition des courants de défaut. Ce changement est dû aux déclenchements séquentiels des disjoncteurs placés aux deux extrémités de la ligne de transmission en défaut.

##### **1.5.4.3. Régimes du neutre**

Les défauts, qui impliquent l'écoulement du courant de terre, peuvent être considérablement influencés par les types du régime du neutre du système (le nombre de neutres, la présence ou l'absence d'impédance de mise à la terre du neutre).

##### **1.5.4.4. Type et emplacement de défaut**

Le type et l'emplacement d'un défaut ont un effet significatif sur l'amplitude et la répartition des courants de défaut du système. En effet, les types de défauts possibles conduisent à une large plage de gravité de défaut possible pour le système. Lors de la conception d'un système, il faut considérer :

- Le défaut triphasé qui détermine la puissance de CC requis de l'appareillage de protection.
- La valeur maximale du courant de défaut monophasé à terre qui, dans un régime de neutre relié

directement à la terre, peut dépasser le courant de défaut triphasé.

### 1.5.5. Types de défauts dans un réseau électrique

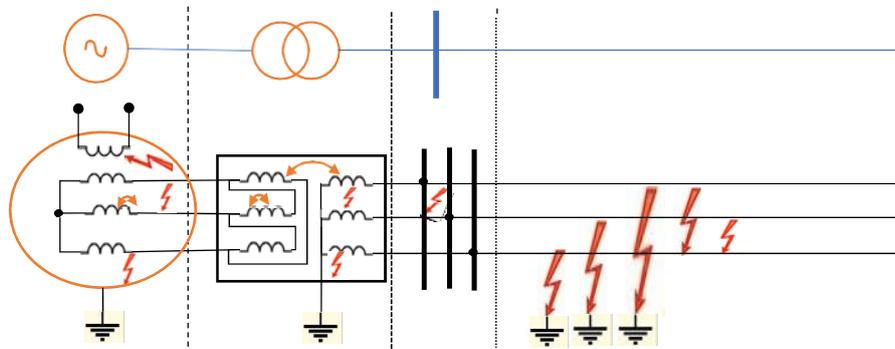
Parmi les défauts pouvant apparaître dans un réseau électrique, on cite :

#### 1.5.5.1. Défauts de court-circuit

Un défaut de CC se produit lorsque deux ou plusieurs conducteurs entrent en contact l'un avec l'autre lorsqu'ils sont soumis à une d.d.p entre eux. Il existe deux principaux types de défauts:

- **Défauts symétriques** : le système reste équilibré; Ces défauts sont relativement rares, mais sont les plus faciles à analyser pour que nous les considérons d'abord.
- **Défauts asymétriques** : le système n'est plus équilibré; Ces défauts sont les plus fréquents, mais sont plus difficiles à analyser. On en distingue :
  - Défaut Monophasé (phase terre, PT)
  - Défauts biphasés (Phase-Phase PP)
  - Défauts biphasés à la terre (2PT)
  - Défauts triphasés équilibrés.

Environ 80% des défauts du système électrique sont des défauts monophasés et résultent d'un contournement d'isolateur pendant les tempêtes électriques. Seulement 5% des défauts sont triphasés.



**Figure 1.6.** Exemples de défauts les plus rencontrés dans un système électrique

#### 1.5.5.2. Surcharge

Le terme “surcharge” est utilisé pour un courant excessif circulant dans une installation électrique en bon état.

Les surcharges sont en général inférieures à 10 fois le courant nominal du circuit. Les courants de surcharges peuvent engendrer des dégâts dus à l'effet thermique.

Les causes susceptibles de produire un courant de surcharge :

- Utilisation (volontaire ou accidentelle) d'un appareil au-delà de sa puissance nominale
- Mauvais fonctionnement

Les conséquences provoquées par un courant de surcharge sont :

- Surintensité,
- Echauffement,
- Déséquilibre,
- Chute de fréquence.

### 1.5.5.3. Perturbations transitoires

Les perturbations transitoires pourraient être divisées en deux catégories:

#### a. Perturbations impulsives

Les perturbations impulsives sont des événements soudains à pic maximaux qui élèvent le niveau du courant ou de la tension en direction positive ou négative. Ces perturbations peuvent être des événements très rapides (5 nanosecondes) (Figure 1.7).

#### b. Perturbations oscillatoires

Une perturbation oscillatoire est un changement brusque dans la condition d'état stable de la tension ou le courant ou les deux signaux en même temps aux deux limites des composantes positive et négative qui oscillent à la fréquence du système naturel. Elle se produit suite à la mise en service ou en hors service des charges inductives ou capacitives car elles résistent au changement (Figure1.8).

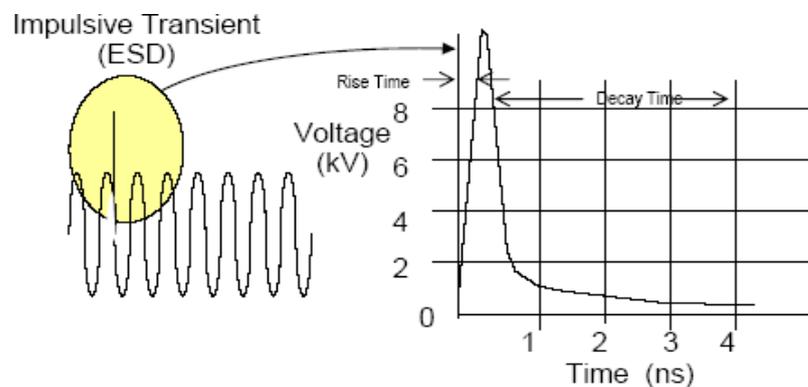


Figure 1.7. Perturbation impulsive positive

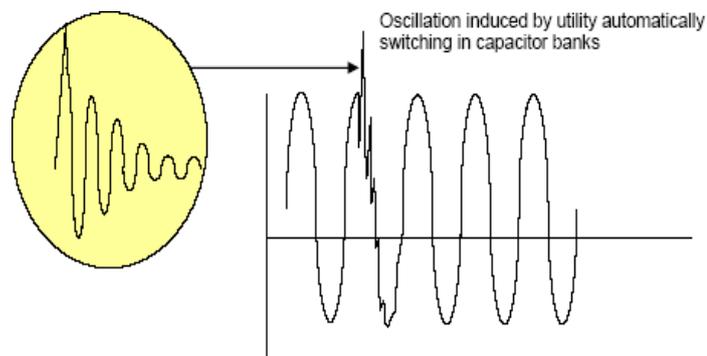


Figure 1.8. Perturbation oscillatoire

#### 1.5.5.4. Déséquilibre

Un système triphasé est déséquilibré lorsque les trois tensions ne sont pas égales en amplitude et/ou ne sont pas déphasées les unes par rapport aux autres de  $120^\circ$ . Le taux de déséquilibre est défini en utilisant la méthode des composantes symétriques par le rapport de la composante inverse (ou homopolaire) du fondamental à celui de la composante directe du fondamental.

Les causes susceptibles de produire un déséquilibre de tension sont :

- Courant de court-circuit
- Rupture de phases
- Mauvais fonctionnement du disjoncteur

Les conséquences occasionnées par un déséquilibre de tension sont :

- Echauffement
- Diminution du flux lumineux
- Vibration des moteurs

### 1.6. Conclusion

Ce chapitre présente des généralités et les anomalies qui peuvent survenir les réseaux électriques. Le chapitre prochain sera consacré à la présentation de la composition du système de protection.

# Chapitre 02

## COMPOSANTS D'UN SYSTEME DE PROTECTION

---

### 2.1. Introduction

Les défauts sur les réseaux électriques provoquent des perturbations affectant leur fonctionnement et la qualité d'alimentation des consommateurs. L'utilisation d'appareils de protection est donc très nécessaire pour minimiser les effets de défauts dans les systèmes électriques. La qualité d'élimination des défauts dépend directement des performances des systèmes de protection.

### 2.2. Protection des réseaux électriques

Le terme « protection » désigne l'ensemble d'organes destinés à protéger soit les équipements, soit le personnel. En règle générale, pour protéger une installation il faut :

- Surveiller le fonctionnement
- Détecter un état de dysfonctionnement

La protection fonctionne essentiellement en étapes :

1. Mesure : recevoir des valeurs analogiques.
2. Détection du type de défaut et sélection de l'algorithme correspondant pour des calculs détaillés.
3. Calcul de défaut
4. Décision : évaluation des conditions de défaut.
5. Déclenchement : envoyer un signal binaire pour ouvrir le disjoncteur correspondant.

### 2.3. Système de protection

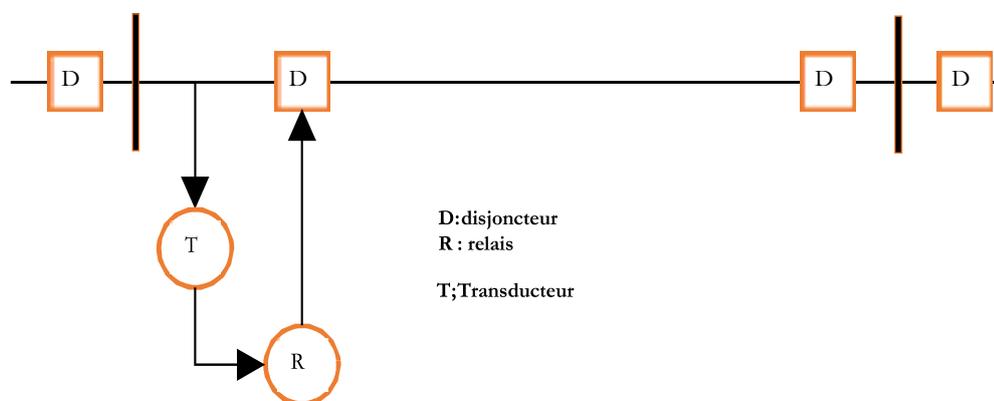
Un système de protection doit :

- Préserver la sécurité des personnes et des biens.
- Eviter la destruction partielle ou totale des équipements.
- Limiter les contraintes thermiques, diélectriques et mécaniques auxquelles sont soumis ces équipements,
- Assurer la meilleure continuité de service possible.

- Préserver la stabilité du réseau,
- Protéger les installations voisines (par exemple, réduire les tensions induites dans les circuits proches).

En général, trois types de composants constituent un système de protection : transducteurs, relais et disjoncteurs. En effet, quand un défaut apparaît sur le système, un signal de tension (ou de courant) est transmis à un relais via un transducteur. Le relais, à son tour, actionne un disjoncteur, et ainsi le défaut est éliminé.

La figure 2.1 montre un schéma unifilaire d'une partie d'un système d'énergie avec les composants de son système de protection.



**Figure 2.1.** Composants du système de protection

### 2.3.1. Transformateurs de protection

Un système de protection détecte des conditions de défaut en contrôlant d'une façon continue des variables ; telles que le courant, la tension, la puissance, la fréquence et l'impédance. Les mesures de courants et des tensions sont réalisées par l'intermédiaire de transformateurs de mesure ou de protection qui sont de deux types :

- Transformateur de tension (ou potentiel) (T.T ou TP)
- Transformateur de courant (T.C ou T.I).

Ces transformateurs de protection alimentent les variables mesurées au système du relais, qui à son tour suite à la détection d'un défaut, commande un disjoncteur qui déconnecte la section endommagée dans le système.

Les transformateurs de courant ou de tension sont nécessaires pour isoler l'appareil de protection, de contrôle et de mesure du circuit HT d'un système électrique et pour alimenter

l'équipement avec les valeurs appropriées du courant et de la tension, généralement de 1 A ou 5 A pour la bobine de courant et 100 V ou 120 V pour la bobine de tension.

### 2.3.1.1. Transformateurs de courant (TC)

#### a. Définition

Cet appareil est destiné à alimenter les protections, les équipements de mesure et de comptage. Il est utilisé pour :

- Ramener à une valeur facilement mesurable les courants très intenses des lignes HT ou BT.
- Isoler les appareils de mesure ou de protection des lignes à haute tension.

Le primaire de ce transformateur est monté en série dans la ligne où l'on veut mesurer le courant. Ils fournissent un courant proportionnel au courant traversant le circuit primaire. Les TC sont des transformateurs de haute précision dont le rapport de transformation demeure essentiellement constant même lorsque la charge au secondaire varie. Son symbole est illustré par la figure 2.2.



Figure 2.2. Symbole

#### b. Raccordement

Le primaire de ces transformateurs est monté en série avec la ligne dont on veut mesurer le courant. Comme pour les transformateurs conventionnels, le rapport de transformation du courant est inversement proportionnel au rapport des nombres de spires du primaire et du secondaire. Un TC ayant un rapport de  $150A/5A$  a donc 30 fois plus de spires au secondaire qu'au primaire. Le courant nominal du secondaire est généralement de 5 A ou 1 A.

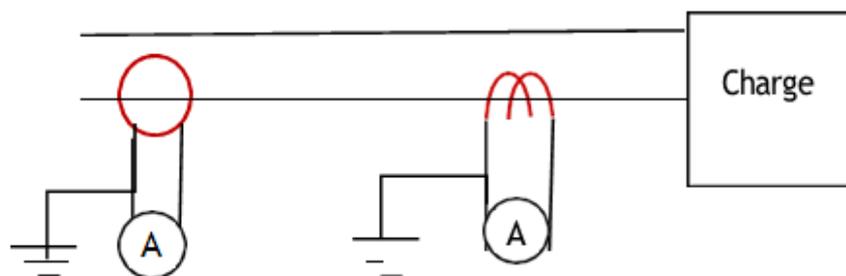


Figure 2.3. Raccordement d'un TC

**Remarque importante :**

Ne jamais ouvrir un circuit secondaire d'un TC sous tension. Conséquences : amorçage au niveau du secondaire et explosion au niveau du primaire.

**c. Constitution**

La constitution d'un TC est similaire à celle des transformateurs classiques. Il est constitué d'un circuit magnétique (en alliage de fer généralement) appelé noyau portant un enroulement primaire de  $n_1$  spires et un enroulement secondaire de  $n_2$  spires. Le nombre de spires au primaire est faible.

– **TC toroïdal**

Dans le cas des réducteurs en forme de tore, le circuit primaire est un conducteur qui traverse en ligne droite le circuit magnétique de forme torique, autour duquel est bobiné le circuit secondaire (Fig.2.4).

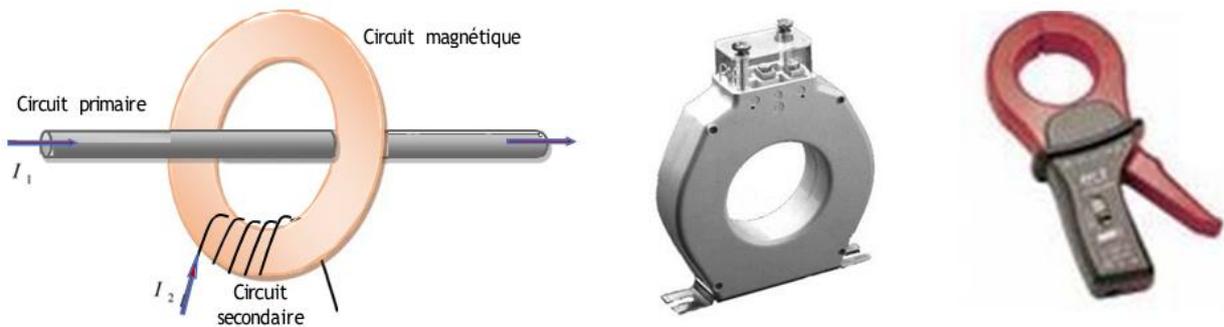


Figure 2.4. TC toroïdal (tore)

– **TC bobiné**

Dans ce TC, le primaire est un enroulement à  $n_1$  spires. Dans la pratique, les valeurs nominales de courant primaire vont de 100 A à 3000 A, et le courant nominal secondaire vaut 1 A ou 5 A.

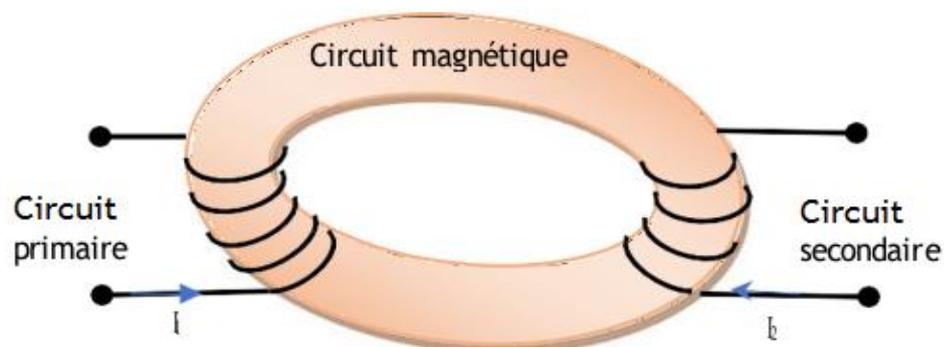


Figure 2.5. TC bobiné

#### **d. Caractéristiques générales d'un TC**

##### **– Courant assigné au primaire $I_{n1}$**

Le courant primaire assigné (nominal) dépend du réseau et est déterminé par l'utilisateur final. Il est défini par la norme et devrait être choisi parmi les valeurs: 10 – 12,5 - 15 - 20 - 25 - 30 - 40 - 50 - 60 - 75 et leurs facteurs multiples ou décimaux.

##### **– Courant assigné au secondaire $I_{n2}$**

Il est égal à 1 A ou 5 A.

##### **– Rapport de transformation $K_n$**

C'est le rapport entre le courant primaire assigné et le courant assigné secondaire.

Exemple : 100/5

##### **– Puissance de précision $S_n$**

C'est la puissance apparente (en VA à un facteur de puissance spécifié) que le transformateur peut fournir au secondaire. Elle est définie pour le courant secondaire nominal et la charge de précision sur laquelle sont basées les conditions de précision. Les valeurs normalisées sont : 1 – 2,5 – 5 – 10 – 15 - 30 VA.

##### **– Classe de précision**

Elle définit les limites d'erreurs garanties sur le rapport de transformation et sur le déphasage dans les conditions spécifiées de puissance et de courant.

##### **– Erreur sur le rapport de transformation**

C'est l'erreur en % que le transformateur introduit dans la mesure du courant :

$$\text{erreur de courant} = \frac{K_n I_2 - I_1}{I_1} \times 100\%$$

##### **– Erreur de phase ou déphasage**

C'est la différence de phase entre le courant primaire et le courant secondaire.

##### **– Courant de court-circuit thermique assigné (nominal) $I_{th}$**

C'est la valeur efficace maximale du courant primaire que le transformateur peut supporter pendant une seconde, son secondaire étant mis en court-circuit.

##### **– Courant dynamique assigné (nominal) $I_{dyn}$**

C'est la valeur crête maximale du courant primaire que le transformateur peut supporter, sans subir de dommages électriques ou mécaniques dû aux efforts électromagnétiques qui

en résultent, son secondaire étant mis en court-circuit. La valeur normale du courant dynamique assigné est :

$$I_{dyn} = 2.5I_{th}$$

– **Charge assignée  $Z_n$**

C'est l'impédance des appareils connectés au secondaire incluant toute la filerie, suivant laquelle le transformateur de mesure de courant doit respecter les limites de classes indiquées.

**e. Différents types des TC selon son utilisation**

Selon l'utilisation des TC dans le réseau électrique, on distingue deux utilisations :

– **TC utilisés pour la mesure**

Les TC utilisés pour la mesure ont deux contraintes :

- Avoir une précision adaptée à l'application pour le courant normal d'utilisation : Les classes de précision normalisées sont : 0,1 – 0,2 - 0,5 – 1 - 3 - 5
- Protéger les appareils de mesures en cas de court-circuit sur le réseau.

Exemple : transformateur de courant utilisé pour la mesure

On considère un TC 500/1 A 15 VA cl 0.5. Que représentent ces données ?

- Courant primaire nominal : 500 A.
- Courant secondaire nominal : 1 A.
- Classe de précision: 0.5.
- Puissance de précision: 15 VA.

– **TC utilisés pour la protection**

Les TC utilisés pour la protection doivent avoir un facteur limite de précision et une classe de précision adaptés à l'utilisation. Le facteur limite de précision (FLP) est le rapport entre le courant limite de précision  $I_1$  pour lequel l'erreur est garantie inférieure à 5 ou 10% selon que la classe de précision est 5P ou 10 P, et le courant primaire nominal  $I_{1n}$

Exemple : transformateur de courant utilisé pour la protection

On considère un transformateur de courant dont les caractéristiques : 100/1A, 15VA, 5P10. Que représentent ces données ?

- Courant primaire nominal  $I_{1n}$  : 100A
- Courant secondaire nominal  $I_{2n}$  : 1A
- Puissance de précision 15VA
- Classe de précision 5P

- Facteur limite de précision FLP : 10

### 2.3.1.2. Transformateurs de tension

Le transformateur de tension (ou de potentiel) est un transformateur abaisseur. Il sert principalement à :

- Isoler les appareils de mesure pour permettre la lecture de tension des lignes à HT
- Alimenter des appareils de protection

#### a. Constitution

Les transformateurs de tension sont constitués d'un enroulement primaire, d'un circuit magnétique et d'un enroulement secondaire. Le principe de fonctionnement d'un TT est similaire à celui des transformateurs de puissance.

#### b. Symbole et raccordement

Suivant leur conception, les transformateurs de tension sont raccordés comme suit :

- Soit entre phase et terre (Fig.2.6a)
- Soit entre phases (Fig2.6b)

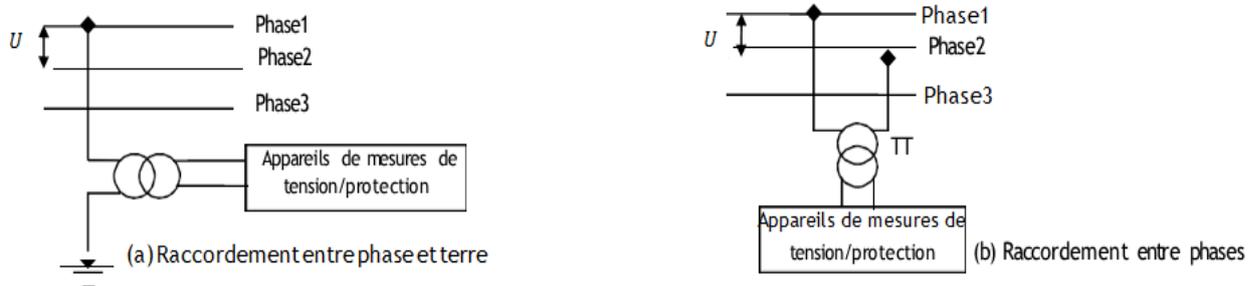


Figure 2.6. Raccordement du TT



Figure 2.7. Photos du TT

### c. Principe

Le transformateur de tension est destiné transformer une tension primaire  $U_1$  en une tension secondaire  $U_2$  proportionnelle avec un rapport de transformation. Il permet de mesurer une tension du domaine de la H.T avec une bonne précision et sans intervention sur l'installation haute tension. L'isolation galvanique réalisée par le transformateur isole et sécurise l'utilisateur et le matériel car la tension recueillie aux bornes du secondaire appartient au domaine B.T : 100 à 110V en général.

#### - Transformateur de tension inductif

La technologie transformateur inductif de tension : il s'agit en fait d'un transformateur à induction classique, mais prévu pour ne délivrer qu'un très faible courant et donc une très faible puissance au secondaire.

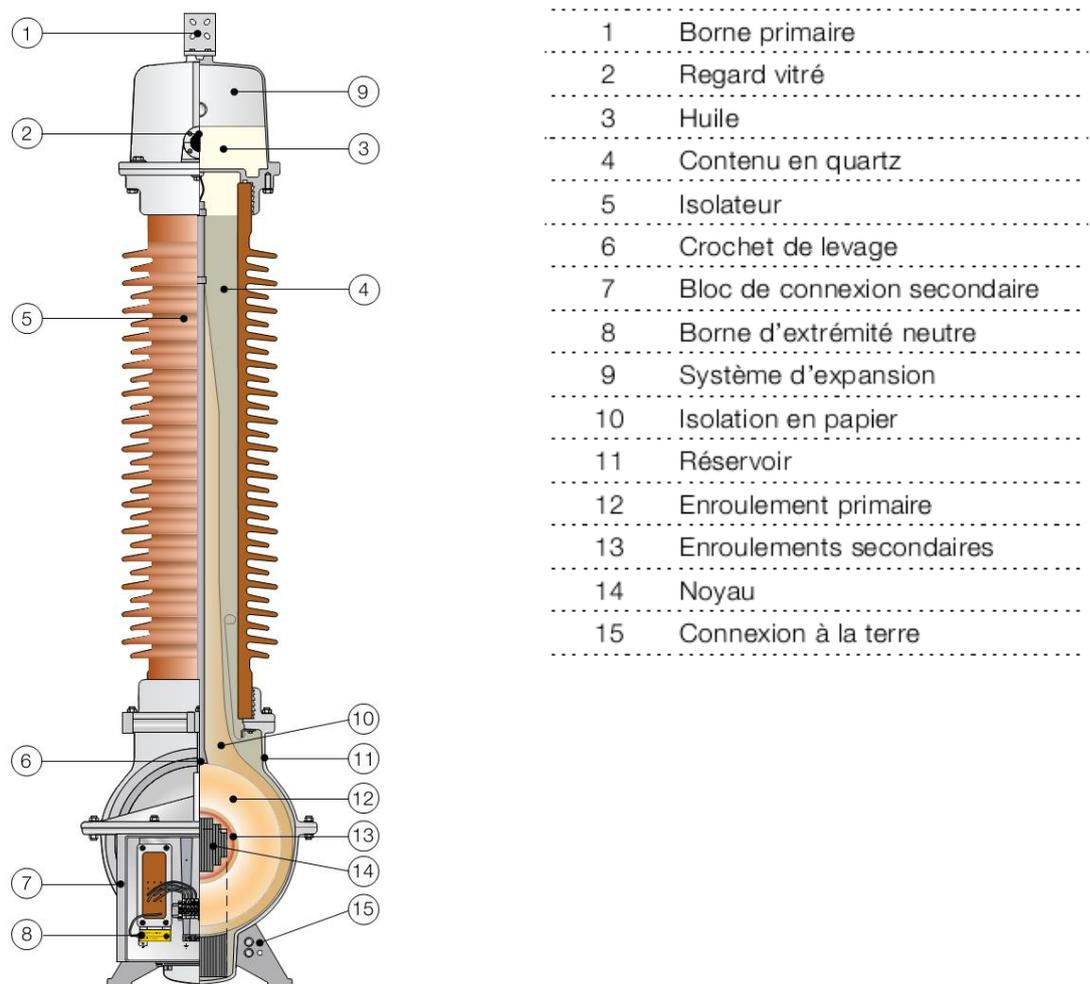
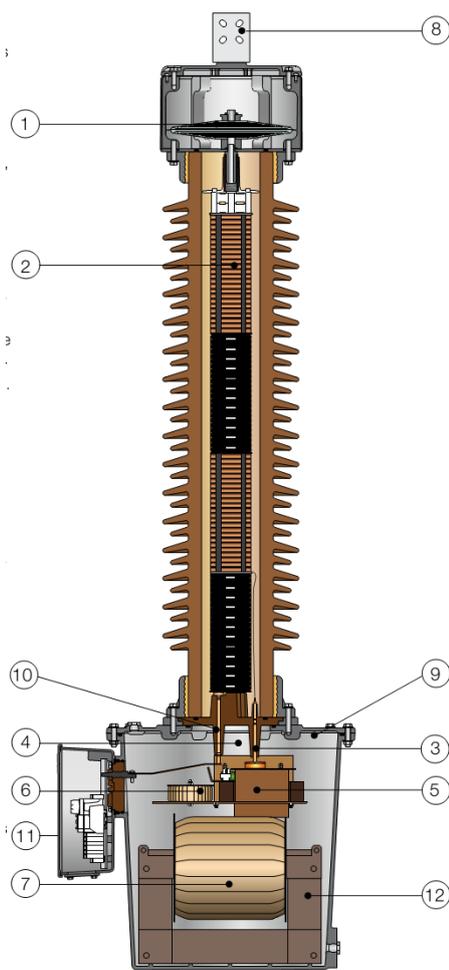
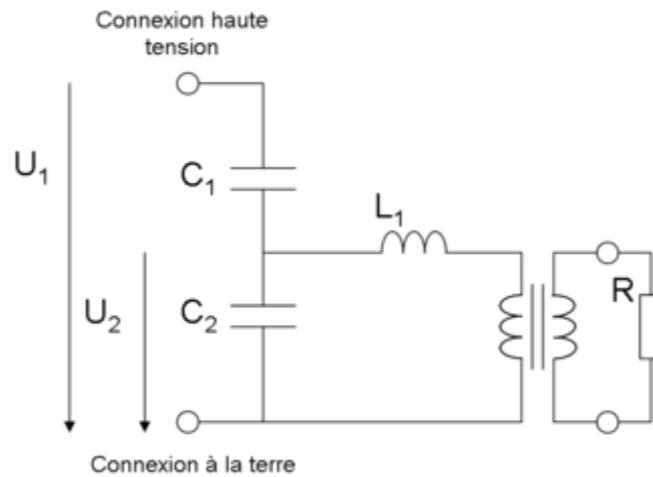


Figure 2.8. TT inductif

#### - Transformateur de tension capacitif

Pour de hautes tensions la technologie précédente mène à des noyaux de fer de taille trop importante. Une solution est la technologie transformateur capacitif de tension, qui fonctionne sur le principe du pont capacitif diviseur de tension.



**Diviseur de tension capacitif**

- 1 Système d'expansion
- 2 Éléments de condensateur
- 3 Traversée de tension intermédiaire
- 8 Borne primaire, coussinet al. plat à 4 trous
- 10 Borne basse tension (Pour utilisation de PLC)

**Unité électromagnétique**

- 4 Regard vitré
- 5 Réacteur de compensation
- 6 Circuit d'amortissement de la ferrorésonance
- 7 Enroulements primaire et secondaire
- 9 Coussin de gaz
- 11 Bloc de connexion
- 12 Noyau

Figure 2.9. TT capacitif

### 2.3.2. Appareil de coupure (Disjoncteur)

Un disjoncteur est un organe du réseau qui a pour fonction de conduire et de couper le courant qui circule entre deux portions du réseau (lignes ou transformateurs). C'est un appareil de coupure en charge, qui n'est pas considéré comme une coupure visible. Il est destiné aussi à protéger les circuits et les installations contre d'éventuels défauts. Il est caractérisé par son pouvoir de coupure. Un disjoncteur est principalement composé de deux parties :

#### 2.3.2.1. La commande (ou partie mécanique)

Le système de commande d'un disjoncteur peut être :

- A commande à ressort.
- A commande à air comprimé.
- A commande à huile.
- A commande combinée au gaz d'azote associé à l'huile.

#### 2.3.2.2. La chambre de coupure

La chambre de coupure est conçue pour éliminer l'arc électrique qui se produit lors de l'ouverture d'un circuit entre le contact fixe et le contact mobile (qui est actionné par la commande) qui relie deux portions du réseau. Dans une chambre de coupure, on trouve un élément qui a pour rôle l'extinction de l'arc électrique, cet élément peut être :

- De l'huile
- De l'air comprimé
- Du vide
- Du GAZ SF<sub>6</sub> (généralement utilisé dans les récents disjoncteurs)

Un disjoncteur peut être actionné par :

- Un opérateur (exploitant ou dispatcheur) localement ou à distance (Synoptique, CCN ou CRC), dans ce cas, on appelle ces opérations d'ouverture et de fermeture des manœuvres.
- Un ordre émanant d'un automate (ou protection) lorsque celui-ci entre en action lors de la détection d'un défaut (sur une ligne ou sur un transformateur) ou bien l'action d'un système de sauvegarde du réseau (délestage automatique par MIN f, MIN U), dans ces cas, on parle de déclenchement.

### 2.3.3. Relais de protection

#### 2.3.3.1. Evolution de la technologie des protections

La conception et la réalisation des relais de protections doivent tenir compte d'un certain nombre de critères qui concourent à la satisfaction des exigences des clients et du distributeur d'énergie, la qualité et la continuité d'alimentation. En revanche, les matériels développés par les constructeurs ont suivi l'évolution technologique afin d'améliorer les performances.

#### 2.3.3.2. Protections électromécaniques

Ces protections sont basées sur le principe d'un disque d'induction actionné par des bobines alimentées par des variables électriques du réseau via des transformateurs de courant et de tension. Un ressort de rappel réglable détermine la limite de l'action du disque sur un déclencheur (points de réglage).

Les équipements électromécaniques sont des assemblages de fonctions : détection de seuils et temporisation. Ils avaient l'avantage d'être robustes, de fonctionner sans source d'énergie auxiliaire et d'être peu sensibles aux perturbations électromagnétiques. Ces relais se démarquent par leur solidité et leur grande fiabilité, pour cette raison, leur entretien est minime. Ils sont réputés pour leur fiabilité dans les environnements de travail les plus délicats. Il est néanmoins souhaitable de les contrôler régulièrement, dont la périodicité d'inspection dépend des conditions d'exploitation.

Les inconvénients de ces dispositifs, qui demeurent néanmoins largement rencontrés, sont les suivants :

- Le risque d'être hors d'état de fonctionner entre deux périodes de maintenance.
- Le manque de précision, le dispositif étant sensible à son environnement et aux phénomènes d'usure.
- Il est aussi difficile d'obtenir des réglages adaptés aux faibles courants de défaut.
- Son coût de fabrication est élevé.
- Des performances insuffisantes et n'autorisent l'emploi que de fonctions élémentaires simples, en nombre limité et sans redondance.

A partir de ces inconvénients, ce type de protection tend à disparaître à l'heure actuelle.

#### 2.3.3.3. Protections statiques

Le développement de l'électronique a poussé les protections vers l'utilisation des composants électroniques discrets et les relais statiques. Ces protections, apparues sur le marché dans les années

1970, sont basées sur le principe de la transformation de variables électriques du réseau, fournies par des transformateurs de courant et de tension, en signaux électriques de faible voltage qui sont comparés à des valeurs de référence (points de réglage).

Les circuits de comparaison fournissent des signaux temporisations qui actionnent des relais de sortie à déclencheurs. Ces dispositifs nécessitent en général une source d'alimentation auxiliaire continue :

- Ils procurent une bonne précision et permettent la détection des faibles courants de défaut.
- Chaque unité opère comme une fonction unitaire et plusieurs fonctions sont nécessaires pour réaliser une fonction de protection complète.

Les inconvénients de ces dispositifs demeurent

- Le risque d'être hors d'état de fonctionner entre deux périodes de tests.
- La grande puissance consommée en veille
- La faible sécurité de fonctionnement (pas de fonction d'autocontrôle).

#### **2.3.3.4. Protections numériques**

La technologie numérique a fait son apparition au début des années 80. Avec le développement des micro-processeurs et des mémoires, les puces numériques ont été intégrées aux équipements de protection.

Les protections numériques, sont basées sur le principe de la transformation de variables électriques du réseau, fournies par des transformateurs de mesure, en signaux numériques de faible voltage. L'utilisation de techniques numériques de traitement du signal permet de décomposer le signal en vecteurs ce qui autorise un traitement de données via des algorithmes de protection en fonction de la protection désiré. En outre, ils sont équipés d'un écran d'affichage à cristaux liquides sur la face avant pour le fonctionnement local.

Ces dispositifs nécessitent une source auxiliaire, offrent un excellent niveau de précision et un haut niveau de sensibilité. Ils procurent de nouvelles possibilités, comme :

- Intégration de plusieurs fonctions pour réaliser une fonction de protection complète dans une même unité.
- Le traitement et le stockage de données,
- L'enregistrement des perturbations du réseau (perturbographe)

□ Le diagnostic des dispositifs connectés (disjoncteurs, etc.)

Ces modèles intègrent des possibilités d'autotest et d'autocontrôle qui augmente leur continuité de fonctionnement tout en réduisant la durée et la fréquence des opérations de maintenance. En plus des fonctions de protection, ces équipements disposent également de fonctions complémentaires facilitant leur fonctionnement. Les liaisons séries permettent de les paramétrer depuis un micro-ordinateur et de les connecter à un système de contrôle commande au niveau local et central. Ils permettent aussi de bénéficier des récentes découvertes dans le domaine De l'intelligence artificielle, comme les réseaux neuronaux et la logique floue.

#### **2.4. Conclusion**

Ce chapitre présente les composants d'un système de protection des réseaux électriques, tel que les réducteurs de mesures, l'organe de coupure et le relais de protection. Les fonctions et le principe de fonctionnement des protections seront discutés dans le prochain chapitre.

# Chapitre 03

## FONCTIONS ET PRINCIPES DE LA PROTECTION

### 3.1. Introduction

La fonction de la protection est de mettre hors service immédiate de tout élément d'une installation électrique en cas de court-circuit ou de fonctionnement anormal pouvant causer des dégâts ou nuire au bon fonctionnement du reste du système. Un relais de protection peut aussi indiquer le lieu et le type de défaut. Ce chapitre présente les fonctions et les principes de la protection.

### 3.2. Performances fonctionnelles

Un appareil de la protection doit avoir trois fonctions principales :

1. Sauvegarder le système entier pour maintenir la continuité de service
2. Minimiser les dégâts et les coûts de réparation à l'endroit du défaut
3. Assurer la sécurité du personnel.

### 3.3. Codes ANSI des relais de protection

La nomenclature et les fonctions des différents relais sont définies par des numéros normalisés selon la norme ANSI.

**Tableau 3.1.** Codes ANSI des relais de protection

Code ANSI	Fonction	Définition
12	Survitesse	Détection de survitesse des machines tournantes
14	Sous-vitesse	Détection de sous-vitesse des machines tournantes
21	Protection de distance	Détection de mesure d'impédance
21B	Minimum d'impédance	Protection de secours des générateurs contre les courts-circuits entre phases
27	Minimum de tension	Protection pour contrôle d'une baisse de tension
27TN	Minimum de tension résiduelle	Détection de défaut d'isolement à la terre d'enroulements statoriques (neutre impédant)
32P	Maximum de puissance active	Protection de contrôle de transfert maximal de puissance active
32Q	Maximum de puissance réactive	Protection de contrôle de transfert maximal de puissance réactive
37	Minimum de courant phase	Protection triphasée contre les minima de courant
37P	Minimum de puissance active	Protection de contrôle de transfert minimal de puissance active
37Q	Minimum de puissance réactive	Protection de contrôle de transfert minimal de puissance réactive
38	Surveillance de température de paliers	Protection contre les échauffements anormaux des paliers des machines tournantes
40	Perte d'excitation	Protection des machines synchrones contre défaut ou perte d'excitation

46	Maximum de composante inverse	Protection contre les déséquilibres des courants des phases
47	Maximum de tension inverse	Protection de tension inverse et détection du sens de rotation inverse de machine tournante
48 - 51LR	Démarrage trop long et blocage rotor	Protection des moteurs contre le démarrage en surcharge ou sous tension réduite, et pour charge pouvant se bloquer
49	Image thermique	Protection contre les surcharges
49T	Sonde de température	Protection contre les échauffements anormaux des enroulements des machines
50	Maximum de courant phase instantanée	Protection triphasée contre les courts-circuits entre phases
50N ou 50G	Maximum de courant terre instantanée	Protection contre les défauts à la terre : 50N : courant résiduel calculé ou mesuré par 3 TC 50G : courant résiduel mesuré directement par un seul capteur (TC ou tore)
50V	Maximum de courant phase à retenue de tension instantanée	Protection triphasée contre les courts-circuits entre phases, à seuil dépendant de la tension
51	Maximum de courant phase temporisée	Protection triphasée contre les surcharges et les courts-circuits entre phases
51N ou 51G	Maximum de courant terre temporisée	Protection contre les défauts à la terre : 51N : courant résiduel calculé ou mesuré par 3 TC 51G : courant résiduel mesuré directement par un seul capteur (TC ou tore)
59	Maximum de tension	Protection de contrôle d'une tension trop élevée ou suffisante
59N	Maximum de tension résiduelle	Protection de détection de défaut d'isolement
66	Limitation du nombre de démarrages	Protection contrôlant le nombre de démarrages des moteurs
67	Maximum de courant phase directionnelle	Protection triphasée contre les courts-circuits selon le sens d'écoulement du courant
67N/67 NC	Maximum de courant terre directionnelle	Protection contre les défauts à la terre selon le sens d'écoulement du courant (NC: Neutre Compensé)
78PS	Perte de synchronisme	Détection de perte de synchronisme des machines synchrones en réseau
81H	Maximum de fréquence	Protection contre une fréquence anormalement élevée
81L	Minimum de fréquence	Protection contre une fréquence anormalement basse
87B	Différentielle jeu de barres	Protection triphasée contre les défauts internes de jeu de barres
87G	Différentielle générateur	Protection triphasée contre les défauts internes d'alternateurs
87L	Différentielle ligne	Protection triphasée contre les défauts internes de ligne
87M	Différentielle moteur	Protection triphasée contre les défauts internes de moteur
87T	Différentielle transformateur	Protection triphasée contre les défauts internes de transformateur

### 3.4. Qualités de la protection

#### 3.4.1. Rapidité

La protection doit détecter rapidement les situations anormales de façon à isoler la zone ou le dispositif en défaut, dans la mesure où les dégâts causés par un défaut sont directement liés à la durée du défaut. La rapidité du relais est particulièrement importante lorsque l'installation protégée existe dans une zone sensible à la stabilité du réseau électrique. L'élimination plus rapide des défauts permet d'éviter que les générateurs puissent accélérer pendant le défaut et, par conséquent, améliore les marges de stabilité.

#### 3.4.2. Fiabilité

La fiabilité des protections est la probabilité qu'offre un système de fonctionner sans défaillance pendant un temps donné. Les constructeurs de dispositifs de protection ont un double objectif :

- Sécurité : c'est le degré de certitude qu'un relais ne fonctionnera pas de façon incorrecte.

L'appareil doit être sûr du déclenchement à sécurité.

- Disponibilité : c'est la capacité du système de protection à fonctionner correctement lorsque cela est nécessaire. L'appareil ne doit pas avoir de déclenchement intempestif.

### 3.4.3. Sensibilité

La sensibilité est la capacité de fonctionner avec un faible courant ou une faible puissance de court-circuit et avec un défaut très résistif. La protection doit être capable de détecter les défauts au tout début de leur apparition.

### 3.4.4. Sélectivité

La protection doit agir seulement en présence d'un véritable défaut et n'isoler que la partie d'installation concernée, de manière à maintenir la distribution électrique dans les parties saines.

## 3.5. Coordination des protections

Elle désigne la mise en harmonie le fonctionnement des dispositifs de protection, et plus précisément "veiller à leur sélectivité". Son étude se fait à partir :

- des courbes de fonctionnement des protections;
- des temps de déclenchement (sélectivité).

Une étude de coordination précise les temps d'élimination des défauts qui doivent être:

- satisfaisants pour la sécurité du personnel,
- conformes à la tenue du matériel (échauffement, tenue aux efforts électrodynamiques)
- sélectifs avec les installations voisines

## 3.6. Plan de protection

C'est l'organisation du système de protections pour protéger et préserver les éléments constituant d'un réseau contre les différents incidents, et pour but d'assurer une bonne continuité d'alimentation électrique de consommateurs. Le plan de protection dépend de plusieurs paramètres à savoir :

- Le type de réseau :
  - Interconnexion.
  - Répartition.
  - Distribution.
- La topologie du réseau :

- Ligne ordinaire dans un réseau maillé de transport ou de répartition.
  - Ligne longue reliant des postes disposant de lignes courtes.
  - Ligne en antenne.
  - Ligne en piquage.
  - Transformateurs d'interconnexion THT/HT.
  - Transformateurs HT/MT.
- Les types de protections :
- Protection de distance.
  - Protection différentielle.
  - Protection à maximum de courant.
  - Protection de surcharge thermique.
- La technologie des protections :
- Electromécanique
  - Statique
  - Numérique

### 3.7. Sélectivité des protections

Les protections constituent entre elles un ensemble cohérent dépendant de la structure du réseau et de son régime de neutre. Elles doivent donc être envisagées en tenant compte du principe de sélectivité.

La sélectivité consiste à isoler le plus rapidement possible la partie du réseau affectée par un défaut, et seulement cette partie, et à maintenir sous tension toutes les autres parties saines du réseau. Elle organise les déclenchements des différents dispositifs de protection phases et terre, qui doivent être les plus rapides possible.

Une protection est dite sélective si un défaut survenu en un point quelconque du circuit est éliminé par l'appareil de protection situé immédiatement en amont du défaut et lui seul.

Différents systèmes peuvent être mis en œuvre pour assurer une sélectivité dans la protection d'un réseau électrique :

### 3.7.1. Sélectivité ampèremétrique

Pour assurer cette sélectivité ampèremétrique, la grandeur contrôlée est le courant. Elle est basée sur le fait que, dans un réseau, plus le défaut est éloigné de la source, plus son intensité est faible.

#### 3.7.1.1. Avantages

Chaque protection ne fonctionne que pour les défauts situés immédiatement en aval de sa position, à l'intérieur de la zone surveillée. Elle est insensible aux défauts apparaissant au-delà.

#### 3.7.1.2. Inconvénients

La protection située en amont n'assure pas le secours de la protection située en aval. En pratique, il est difficile de définir les réglages de deux protections en cascade, lorsque le courant ne décroît pas de façon notable entre deux zones voisines.

### 3.7.2. Sélectivité chronométrique

Cette sélectivité associe une notion de temps à la grandeur contrôlée qu'est le courant. Elle consiste à affecter différentes temporisations aux réglages des diverses protections ampéremétriques échelonnées le long du réseau. Plus le relais est proche de la source, plus la temporisation est importante. Ce principe est utilisé dans les réseaux en antenne.

#### 3.7.2.1. Avantages

- Elle assure son propre secours (un non-déclenchement du disjoncteur aval provoque un déclenchement du disjoncteur amont après une temporisation).
- Elle est simple à mettre en œuvre.

#### 3.7.2.2. Inconvénients

Cependant, lorsqu'il y a un grand nombre de relais en cascade, le temps d'élimination du défaut est trop élevé et incompatible avec la tenue au court-circuit des équipements.

### 3.7.3. Sélectivité logique

Ce système a été conçu pour remédier aux inconvénients de la sélectivité chronométrique. Il est utilisé lorsque l'on souhaite obtenir un temps court d'élimination de défaut. L'échange

d'informations logiques entre protections successives permet la suppression des intervalles de sélectivité, et donc de réduire considérablement le retard de déclenchement des disjoncteurs situés les plus près de la source. Chaque protection sollicitée par un défaut envoie :

- un ordre d'attente logique à l'étage amont (ordre d'augmentation de la temporisation propre du relais amont),
- un ordre de déclenchement au disjoncteur associé sauf s'il a lui-même reçu un ordre d'attente de l'étage aval.

### **3.7.3.1. Avantages**

Le temps de déclenchement est indépendant de la position du défaut dans la cascade de sélectivité, et du nombre de protections en cascade. Ainsi il est possible d'obtenir la sélectivité entre une protection amont de temporisation faible et une protection aval de temporisation élevée ; on peut par exemple prévoir une temporisation plus réduite à la source que près des récepteurs. De plus, ce système intègre par conception un secours.

### **3.7.3.2. Inconvénients**

Ce dispositif nécessite la transmission des signaux logiques entre les différents étages de protection, donc l'installation de filerie supplémentaire ; cette contrainte est forte lorsque les protections sont éloignées, par exemple dans le cas de liaisons longues (plusieurs centaines de mètres).

### **3.7.3.3. Application**

Ce principe est souvent utilisé pour protéger des réseaux MT ayant des antennes avec de nombreux étages de sélectivité. Ce principe est utilisé lorsqu'un temps court d'élimination de défaut est exigé. L'échange de données logiques entre des protections consécutives élimine les intervalles de sélectivité. Dans des réseaux en antenne, les protections situées en amont du point de défaut sont activées alors que celles situées en aval ne le sont pas ; ceci permet de localiser clairement le point de défaut et le disjoncteur à déclencher.

### 3.8. Fonctions et principes de la protection

#### 3.8.1. Protection Contre les Surintensités

Les surintensités dans les systèmes électriques sont généralement provoquées par des défauts. Elles peuvent être utilisées pour déterminer la présence des défauts et actionner les dispositifs de protection. Les relais de surintensité sont utilisés pour éviter les surintensités dangereuses en valeur et en durée.

Le courant de seuil  $I_S$  est la valeur du courant minimal dans la bobine de relais en laquelle le relais commence à fonctionner. Tant que le courant dans le relais est inférieur au courant de seuil  $I_S$ , le relais ne fonctionne pas et le disjoncteur commandé par lui reste en position fermée. Cependant, quand le courant de la bobine du relais est supérieur ou égal au courant de seuil, le relais fonctionne et donne l'ordre d'ouverture au disjoncteur pour isoler le défaut.

##### 3.8.1.1. Protection à maximum de courant de phase

Son rôle est de détecter les surintensités monophasées, biphasées ou triphasées. La protection est activée si un, deux ou trois des courants concernés dépassent la valeur de consigne correspondant au seuil de réglage appelé aussi : seuil de fonctionnement. Cette protection peut être temporisée. Dans ce cas, elle ne sera activée que si le courant contrôlé dépasse le seuil de réglage pendant un temps au moins égal à la temporisation sélectionnée. Suivant leurs caractéristiques de fonctionnement, les relais de surintensité peuvent être classifiés en trois catégories :

- Relais à courant défini ou instantané,
- Relais à temps défini ou indépendant,
- Relais à temps inverse ou dépendant.

##### *a. Relais à courant défini (ou instantané)*

Ce type de relais fonctionne instantanément lorsque le courant atteint une valeur prédéterminée  $I > I_S$  (Fig.3.1). Le réglage est choisi de sorte que, dans la sous-station la plus éloignée de la source, le relais fonctionne pour une faible valeur de courant et les courants de fonctionnement du relais augmentent progressivement à chaque sous-station, en se dirigeant vers la source. Ainsi, le relais avec le réglage inférieur fonctionne d'abord et déconnecte la charge au point le plus proche du défaut.

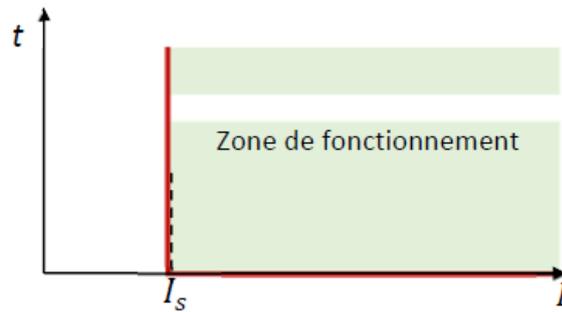


Figure 3.1. Protection à courant défini

### b. Relais à temps indépendant

La temporisation  $T$  est constante et indépendante de la valeur du courant mesuré pourvu que ce dernier soit supérieure au seuil de réglage :  $I > I_s, t > T$  (Figure 3.2). Le seuil de courant  $I_s$  et la temporisation  $T$  sont généralement réglables par l'utilisateur. Ce type de relais permet d'avoir des réglages variés pour faire face avec différents niveaux du courant en utilisant différents temps de fonctionnement.

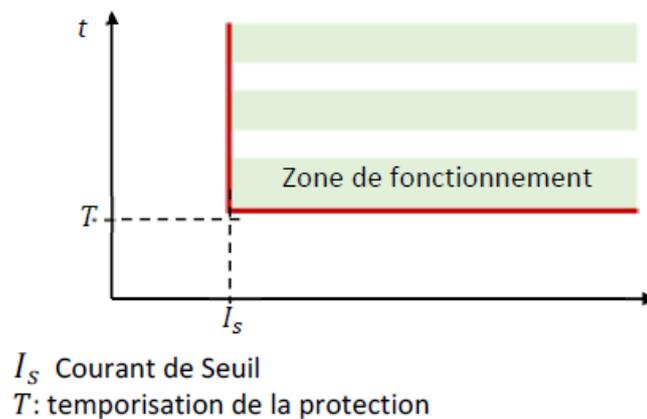


Figure 3.2. Relais à temps indépendant

### c. Relais à temps dépendant (ou inverse)

La temporisation dépend du rapport entre le courant mesuré et le seuil de fonctionnement. Plus le courant est élevé, plus la temporisation est faible (courte). Les réglages des temporisations sont déterminés de façon à obtenir l'intervalle de sélectivité  $\Delta t$  pour le courant maximum détecté par la protection avale. Ces relais fonctionnent dans un temps qui est inversement proportionnel au courant de défaut (Figure 3.3). Leur avantage par rapport au relais à temps indépendant est que, pour les courants très élevés, des temporisations plus courtes peuvent être obtenues sans risque à la sélectivité

de la protection. Selon leur courbe caractéristique, les relais à temps dépendant peuvent être : inverse, très inverse ou extrêmement inverse.

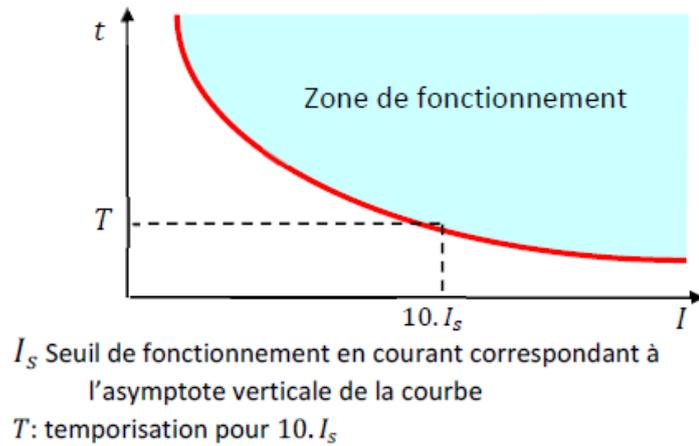


Figure 3.3. Relais à temps dépendant

### 3.8.1.2. Protection à maximum de courant de défaut à la terre

Elle a pour rôle de détecter les défauts à la terre. La protection est activée si le courant résiduel  $I_{res} = I_a + I_b + I_c$  dépasse le seuil de réglage pendant une durée égale à la temporisation choisie. En l'absence de défaut à la terre  $I_{res} = I_a + I_b + I_c = 0$ . Le courant résiduel peut être mesuré de deux façons :

- par un transformateur de courant (TC) type tore enserrant les trois conducteurs de phase (Fig. 3.4);
- par trois TC dont les neutres et les phases sont reliés (Fig. 3.5)

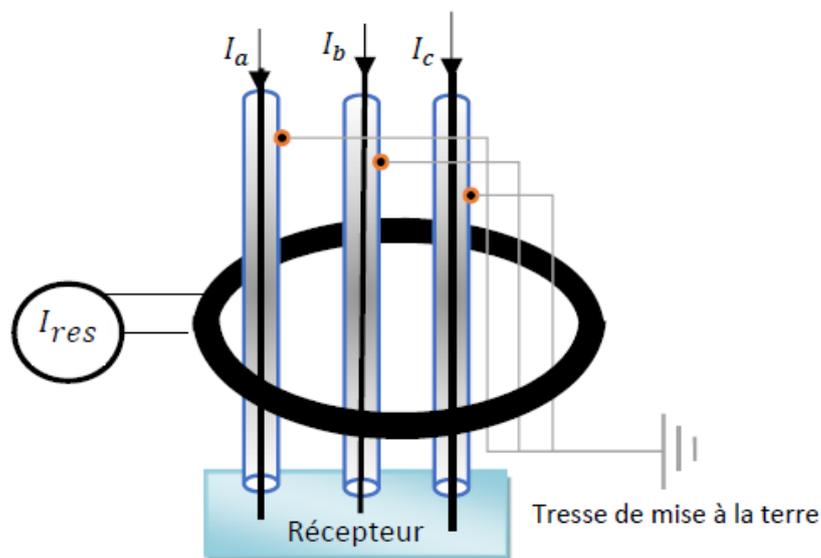


Figure 3.4. Mesure du courant résiduel par un tore

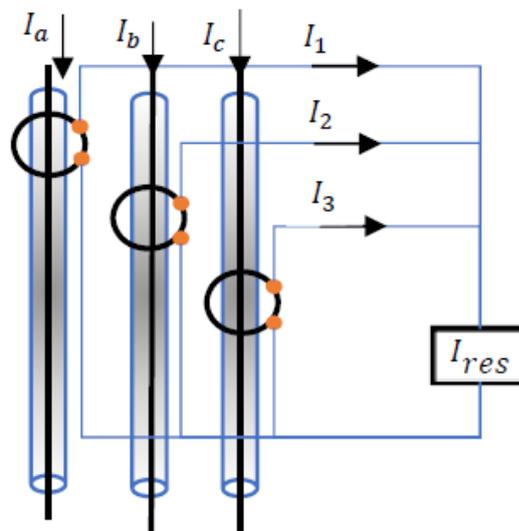


Figure 3.5. Mesure du courant résiduel par 3 TC

### 3.8.1.3. Protection directionnelle

Ce type de protection fonctionne à partir du courant, de la tension et du sens d'écoulement de l'énergie. Elle agit lorsque simultanément le courant ou la puissance dépasse un seuil et que l'énergie se propage dans une direction anormale. Il existe des protections directionnelles de :

- courant de phase,
- courant résiduel,
- puissance active,
- puissance réactive,
- puissance homopolaire

#### a. Protection directionnelle de courant de phase

Lorsque deux sources, deux liaisons, ou plus, fonctionnent normalement en parallèle, il y a un risque d'arrêt général de la distribution lors d'un défaut n'affectant qu'un de ces éléments. En effet tous ces éléments sont parcourus par le courant de défaut, avec un changement de sens du courant dans l'élément défectueux. Les protections directionnelles sont donc utilisées pour distinguer le seul élément défectueux et commander son isolement des autres éléments encore sains. Elle possède une fonction à maximum de courant de phase associé à une détection du « sens du courant ».

### ***b. Protection directionnelle de courant de défaut à la terre***

Si un réseau est alimenté par deux transformateurs ou plus (ou par des alternateurs) avec leurs points neutres simultanément reliés à la terre, lors d'un défaut à la terre sur une seule de ses sources, toutes sont parcourues par un courant résiduel. Seule celle qui est affectée par le défaut « voit » un courant résiduel de sens inverse des autres.

### ***c. Protection directionnelle de puissance active***

Ce type de protection est utilisé par exemple pour :

- découpler du réseau un alternateur qui absorbe de l'énergie (marche en moteur) suite à une défaillance de la source d'énergie mécanique,
- couper l'alimentation d'un moteur lors d'un creux de tension.

Outre la mesure de courants et de tensions, cette protection mesure aussi le déphasage pour déterminer la puissance :  $P = 3VI \cos\varphi$

### ***d. Protection directionnelle de puissance réactive***

Ce type de protection est utilisé par exemple pour couper l'alimentation d'une machine synchrone lors d'un manque d'excitation. En effet, l'énergie réactive de magnétisation du fait d'une excitation insuffisante sera apportée par le réseau vers la machine. Outre la mesure des courants et des tensions, cette protection mesure aussi le déphasage pour déterminer la puissance :  $Q = 3VI \sin\varphi$

## **3.8.2. Protection de distance**

Cette protection est l'équipement le plus utilisé dans le monde sur tous les réseaux THT et HT de transport et de répartition. Elle est caractérisée par leur autonomie, elle fait l'acquisition d'informations locales fournies par les transformateurs de mesures (TC, TP) installés aux extrémités de la ligne à surveiller.

Considérons un système radial simple, alimenté à partir d'une seule source. Permettons de mesurer l'impédance totale ( $V / I$ ) à l'extrémité. Pour le système sans charge,  $I = 0$ , l'impédance totale observée par le relais est infinie. À mesure que le système est chargé, l'impédance totale se réduit à la valeur ( $ZL + Zline$ ) où  $ZL$  est l'impédance de charge et  $Zline$  est l'impédance de ligne. En présence d'un défaut à une distance « $m$ » par unité, l'impédance observée par le relais tombe à un  $mZline$  comme le montre la figure 3.6 ci-dessous.

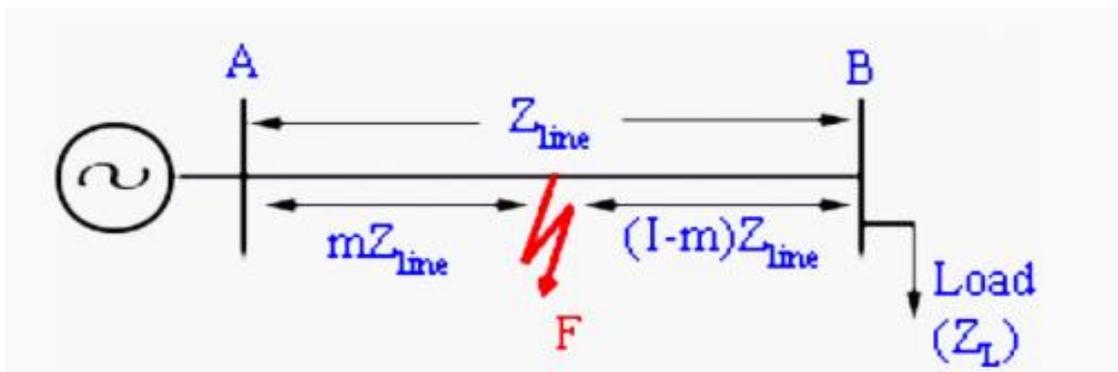


Figure 3.6. Ligne de transmission affectée par un défaut

Le principe de base du relais de distance est que l'impédance totale observée par le relais, qui est définie comme le rapport de la tension de phase au courant de ligne ( $Z_{app}$ ), diminue en présence d'un défaut de ligne. Un relais de distance compare ce rapport avec l'impédance de séquence positive ( $Z_1$ ) de la ligne de transmission. Si la fraction  $Z_{app} / Z_1$  est inférieure à l'unité, elle indique un défaut. Ce rapport indique également la distance du défaut.

### 3.8.3. Protection différentielle

En l'absence de défaut, les courants entrant dans chaque élément d'une installation de distribution électrique sont égaux, phase à phase, à ceux qui en sortent. La protection différentielle a pour rôle de contrôler ces égalités, de mesurer la différence éventuelle entre deux courants (due à un défaut), et pour un seuil prédéterminé de donner un ordre de déclenchement. L'élément défectueux est alors isolé du réseau (Fig. 4.8).

Cette protection permet de surveiller une zone bien délimitée par deux jeux de transformateurs de courant : elle est auto sélective et peut donc être instantanée. Cet avantage doit être conservé dans des périodes où se produisent des phénomènes transitoires ; mais sa sensibilité doit cependant être limitée aux phénomènes dus à des défauts, et non pas à d'autres qui sont normaux (courants d'enclenchement, courant de défauts traversant dont le siège est extérieur à la zone...). L'emploi de cette protection est limité car elle nécessite une filerie (fils pilotes ou raccordements de secondaires des TC), des réducteurs de courant, et des réglages particulièrement soignés pour garantir les non déclenchements intempestifs.

Les caractéristiques des «transitoires» sont particulières à chaque élément de réseau : les protections différentielles sont donc technologiquement «spécialisées», soit :

- Différentielle de lignes et câbles, Fig. 4.8a
- Différentielle de jeu de barres, Fig. 4.8b
- Différentielle de transformateur, Fig. 4.8c

- Différentielle de machine (moteur ou alternateur), Fig. 4.8d

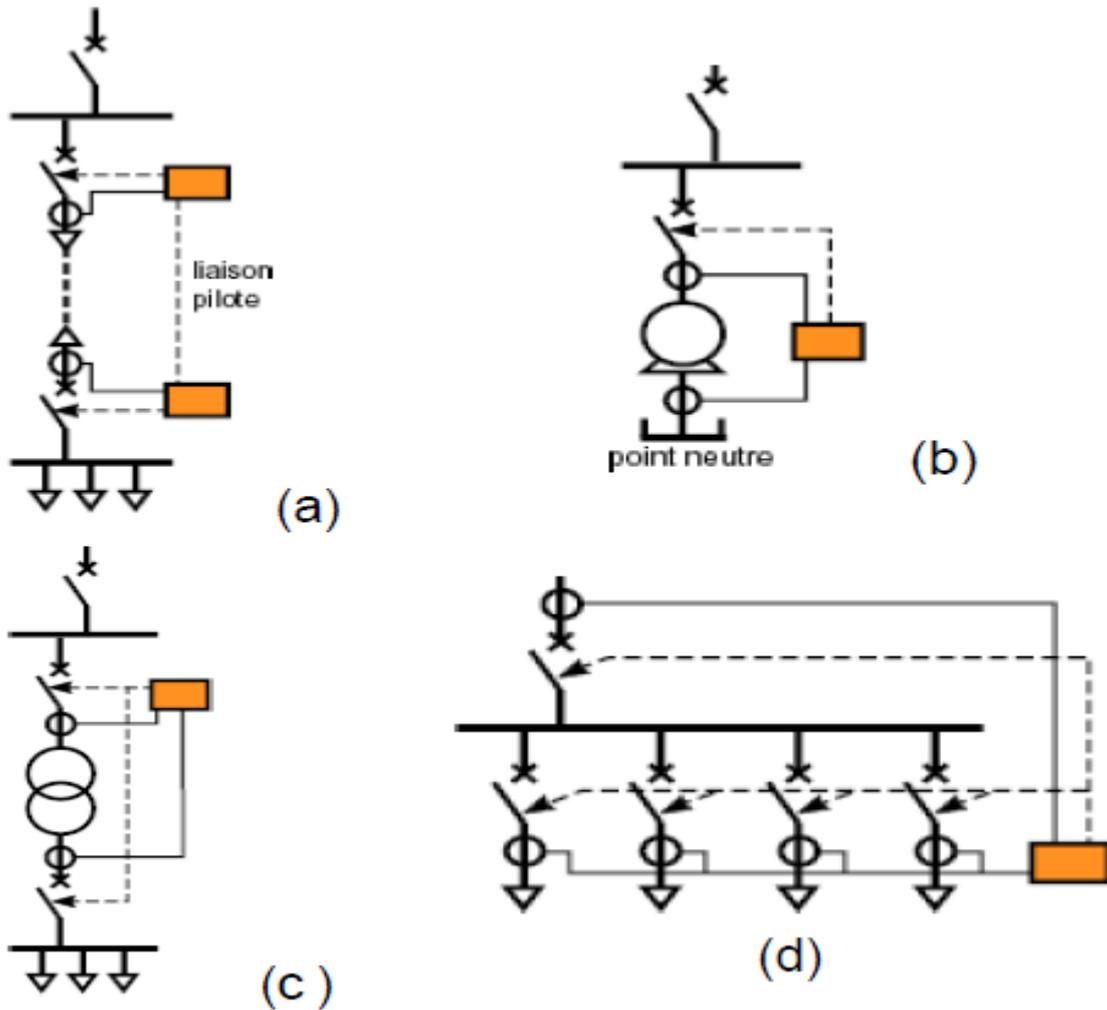


Figure 3.7. Exemples d'emploi de la protection différentielle

### 3.9. Conclusion

Ce chapitre présente les fonctions et le principe de fonctionnement des protections, tel que les protections contre les surintensités, protection de distance et la protection différentielle. La protection des éléments du réseau électrique seront présentés dans le dernier chapitre.

# Chapitre 04

## PROTECTION DES ELEMENTS DU RESEAU ELECTRIQUE

---

### 4.1. Introduction

Les protections contre les situations anormales de réseau jouent un rôle primordial dans la prévention des effondrements de réseau. Ces différentes considérations montrent que l'activité "protections" du réseau électrique une activité stratégique. Dans ce chapitre, on décrit et on présente la protection de quelques éléments du réseau tel que, l'alternateur, le transformateur de puissance, le moteur et la ligne de transmission.

### 4.2. Protection des alternateurs

La protection d'un alternateur est très complexe par rapport à la protection des autres éléments du système électrique en raison des connexions de son système sur trois côtés différents. D'un côté, il est connecté au moteur d'entraînement et de l'autre côté, il doit fonctionner en synchronisme avec le réseau. Sur un autre côté, il est connecté à la source d'excitation. Un système de protection de générateur consiste à: protéger la machine et protéger le réseau.

#### 4.2.1. Types de défauts affectant l'alternateur

Certains des défauts importants qui peuvent se produire sur un alternateur sont les suivants:

##### 4.2.1.1. Défaut du moteur d'entraînement

Lorsque le moteur d'entraînement est défectueux, l'alternateur fonctionne comme un moteur synchrone et absorbe du courant du système électrique. Ces conditions de fonctionnement sont appelées : "marche inversée".

##### a. Cas d'un ensemble de turbo-alternateurs,

Une panne d'alimentation en vapeur peut provoquer un fonctionnement inversé :

- Si l'alimentation en vapeur est progressivement restaurée, l'alternateur récupérera la charge sans perturber le système.

- Si la panne de la vapeur est prolongée, la machine peut être isolée en toute sécurité par l'opérateur de la salle de contrôle car cette condition est relativement inoffensive. Donc, une protection automatique n'est pas nécessaire.

***b. Dans le cas d'un ensemble d'hydro-générateurs,***

Lorsque le débit d'eau baisse à un débit insuffisant pour maintenir la sortie électrique, l'alternateur est déconnecté du système. Dans ce cas, la protection électrique n'est pas nécessaire.

**4.2.1.2. Défaut interne entre phase et masse**

Les conséquences de ce défaut dépendent du régime de neutre adopté. Le régime de neutre peut être différent selon que le générateur est couplé ou découplé du réseau et les dispositifs de protection doivent être adaptés à ces 2 cas.

**4.2.1.3. Perte d'excitation**

Les probabilités de perte d'excitation des alternateurs sont très rares. La perte d'excitation d'un alternateur couplé au réseau provoque sa désynchronisation de ce réseau. Il fonctionne alors en asynchrone, en légère survitesse, et absorbe de la puissance réactive. Les conséquences sont un échauffement du stator car le courant réactif peut être élevé, et un échauffement du rotor car il n'est pas dimensionné pour les courants induits.

**4.2.1.4. Perte de synchronisme**

La désynchronisation du générateur survient lors d'une forte perturbation qui rompt l'équilibre du régime permanent : par exemple, un court-circuit dans le réseau a pour conséquence une chute de la puissance électrique fournie par le générateur, et l'accélération de ce dernier qui reste toujours entraîné par la machine d'entraînement.

**4.2.1.5. Fonctionnement en moteur**

Lorsque le générateur est entraîné comme un moteur par le réseau électrique auquel il est raccordé, il fournit de l'énergie mécanique sur l'arbre, cela peut provoquer de l'usure et des dégâts à la machine d'entraînement.

**4.2.1.6. Variations de tension et de fréquence**

Les variations de tension et de fréquence en régime établi sont dues au mauvais fonctionnement des régulateurs correspondants et elles provoquent les inconvénients suivants :

- Une fréquence trop élevée provoque un échauffement anormal des moteurs,

- Une fréquence trop faible provoque une perte de puissance des moteurs,
- Une variation de fréquence provoque une variation de vitesse des moteurs qui peut entraîner des dégradations mécaniques, ainsi que des dysfonctionnements des dispositifs électroniques,
- Une tension trop élevée contraint l'isolation de tous les éléments du réseau, cause un échauffement des circuits magnétiques et un endommagement des charges sensibles,
- Une tension trop faible provoque une perte de couple et une augmentation du courant et de l'échauffement des moteurs,
- Une fluctuation de tension entraîne une variation de couple des moteurs ; elle est à l'origine du flicker.

#### 4.2.1.7. Surintensité

Elle se produit principalement en raison de la rupture partielle de la ventilation de l'isolation de l'enroulement ou de la surcharge du système d'alimentation.

#### 4.2.1.8. Court-circuit externe entre phases

Lorsqu'un court-circuit survient sur un réseau proche d'un générateur, l'allure du courant de défaut est similaire à la Figure 4.1. La valeur maximum du courant de court-circuit doit être calculée en prenant en compte l'impédance subtransitoire  $X'_d$  de la machine.

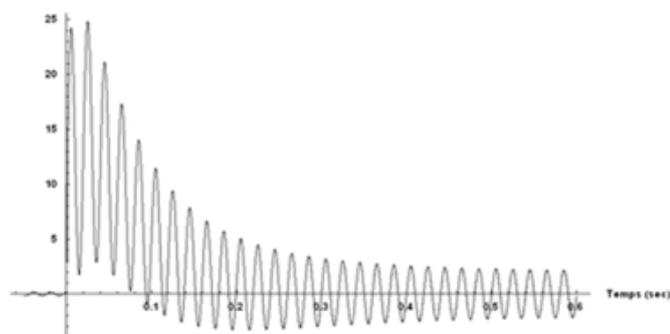


Figure 4.1. Court-circuit externe entre phase dans un alternateur

#### 4.2.1.9. Défauts d'enroulement statorique

Ces défauts, qui surviennent suite à un défaut d'isolation des enroulements statoriques, sont les plus dangereux et risquent d'endommager considérablement les machines coûteuses. On en distingue :

- Défaut entre phase et masse.
- Défaut entre phases
- Défaut entre spires d'un même enroulement de phase.

#### **4.2.1.10. Survitesse**

La principale cause de survitesse est la perte soudaine de la totalité ou de la majeure partie de la charge sur l'alternateur.

#### **4.2.1.11. Surtension**

Le système d'excitation des alternateurs modernes est conçu de telle sorte que les conditions de surtension à des vitesses de fonctionnement normales ne peuvent pas se produire.

#### **4.2.1.12. Déséquilibre**

Il provient des défauts à la terre ou des défauts entre phases sur le circuit externe à l'alternateur. Les courants déséquilibrés, s'ils persistent, peuvent endommager l'enroulement d'excitation.

### **4.2.2. Dispositifs de protection des générateurs**

#### **4.2.2.1. Protection contre la surintensité**

Les dispositifs de protection de surcharge du générateur sont les mêmes que ceux des moteurs :

- Maximum de courant à temps dépendant,
- Sondes de température.

#### **4.2.2.2. Protection contre le déséquilibre**

La Figure. 4.2 montre le schéma pour la protection de l'alternateur contre la charge déséquilibrée. Le schéma comprend trois TC montés dans chaque phase dont les secondaires connectés en parallèle et alimentent la bobine d'un relais. Dans des conditions de fonctionnement normales, des courants égaux traversent les phases de l'alternateur et leur somme algébrique est nulle. La somme des courants circulant dans les secondaires est également nulle et aucun courant ne traverse la bobine du relais. Cependant, en cas de déséquilibre, les courants induits dans les secondaires seront différents et un courant circulera dans le relais qui déclenche le disjoncteur pour déconnecter l'alternateur du système.

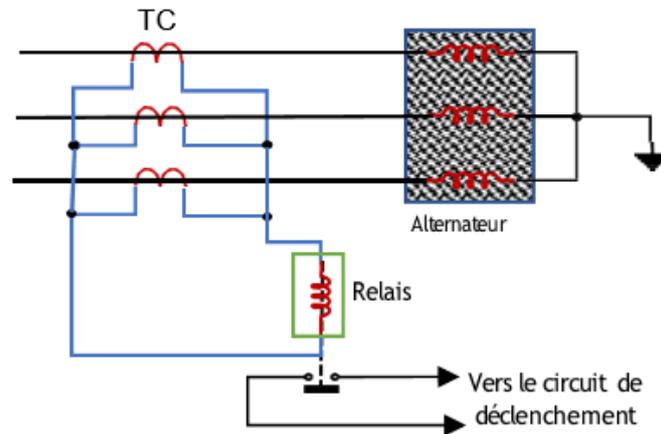


Figure 4.2. Protection contre le déséquilibre

#### 4.2.2.3. Protection contre la perte d'excitation

Elle est détectée, soit par une protection à maximum de puissance réactive temporisée pour les réseaux de forte puissance, soit par une surveillance directe du courant dans le circuit d'excitation s'il est accessible.

#### 4.2.2.4. Protection contre la perte de synchronisme

Elle est assurée par une protection spécifique de perte de synchronisme. Le principe de mesure du glissement est basé soit sur l'estimation de l'instabilité de la machine, soit sur la détection d'oscillations de puissance active; une protection à maximum de vitesse peut servir de secours.

#### 4.2.2.5. Protection différentielle des alternateurs

Dans ce schéma de protection, les courants aux deux extrémités de la section protégée sont comparés. En fonctionnement normal, ces courants sont égaux, mais peuvent devenir inégaux si un défaut apparaît dans la section protégée. La différence des courants passe à travers la bobine de fonctionnement du relais. Le relais ferme ses contacts pour isoler la section protégée du système. Cette protection est appelée : Schéma de protection de Merz-Price.

La Figure. 4.3 montre schéma de la protection différentielle de courant pour un alternateur triphasé. Les paires de TC identiques TC1 et TC2 sont placés de chaque côté de chaque phase des enroulements statoriques. Les secondaires de chaque ensemble de TC sont connectés en étoile. Les deux points neutres et les bornes correspondantes des deux groupes de TC sont connectés ensemble au moyen de fils pilote. Les relais, généralement de type électromagnétique, sont à action instantanée pour éliminer le défaut le plus rapidement possible.

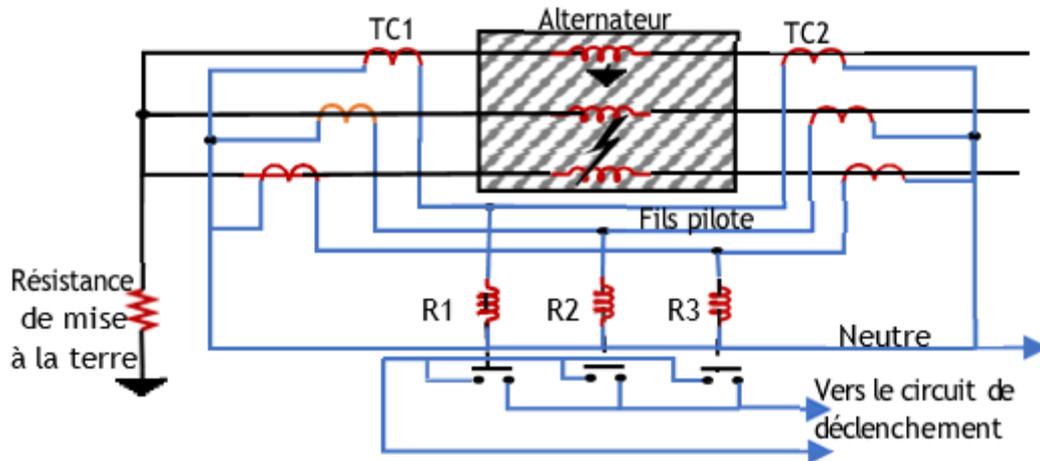


Figure 4.3. Protection différentielle de l'alternateur

#### 4.2.2.6. Protection contre le défaut équilibré à la terre

La Figure. 4.4 montre le schéma d'une protection équilibrée à la terre pour un alternateur triphasé. Il se compose de trois transformateurs de courant de ligne monté dans chaque phase, ayant leurs secondaires connectés en parallèle avec celui d'un seul TC dans le conducteur reliant le point étoile de l'alternateur à la terre. Un relais est connecté à travers les secondaires des transformateurs. La protection contre les défauts de terre est limitée à la zone entre les transformateurs de courant neutre et de ligne. Dans des conditions normales, la somme des courants circulant dans les phases de l'alternateur est égale à zéro et aucun courant ne circule dans le relais. Aussi, le courant dans le fil neutre est nul et aucun courant ne circule dans le relais.

Si un défaut de terre se développe en F2 (hors de la zone protégée), la somme des courants aux bornes de l'alternateur est exactement égale au courant dans la connexion neutre et donc aucun courant ne traverse le relais.

Si un défaut à la terre se produit en F1 (à l'intérieur de la zone protégée), ces courants ne sont plus égaux et un courant différentiel traverse la bobine du relais, et déconnecte l'alternateur du système.

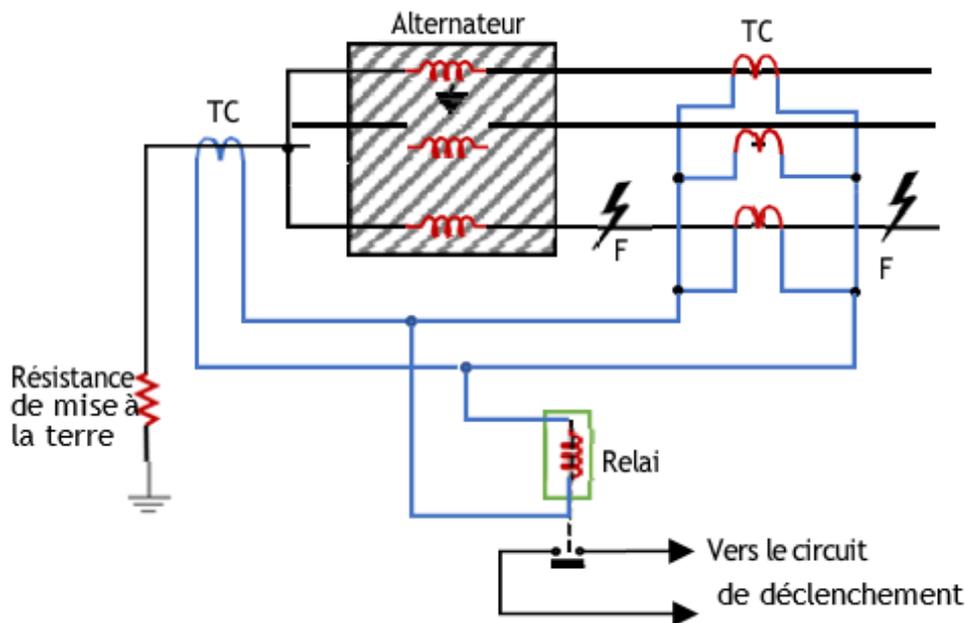


Figure 4.4. Protection contre les défauts équilibrés à la terre

#### 4.2.2.7. Protection contre le fonctionnement en moteur

Il est détecté par un relais de retour de puissance active absorbée par le générateur.

#### 4.2.2.8. Protection contre la variation de tension et de fréquence

Elle est surveillée par une protection à maximum et à minimum de tension d'une part, et par une protection à maximum et à minimum de fréquence d'autre part. Ces protections sont temporisées.

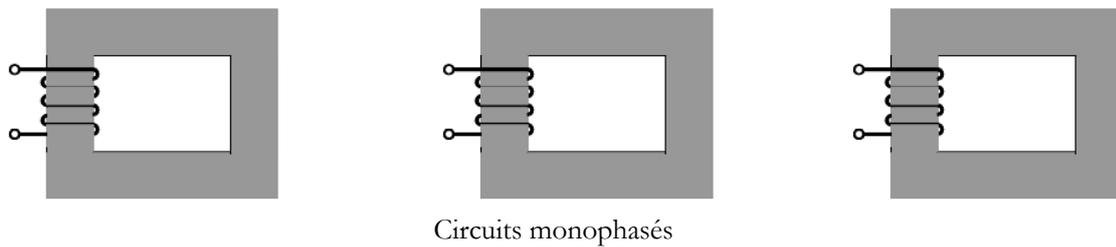
#### 4.2.2.9. Protection contre le défaut à la masse du rotor

Lorsque le circuit d'excitation est accessible, le défaut à la masse est surveillé par un contrôleur permanent d'isolement.

### 4.3. Protection des transformateurs de puissance

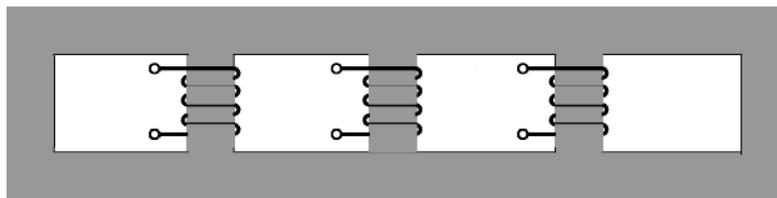
#### 4.3.1. Généralités

Un transformateur triphasé peut être constitué par trois transformateurs monophasés (dans le cas de très grosses puissances) et les circuits sont alors distincts. On peut aussi juxtaposer les 3 circuits magnétiques et confondre en une seule branche les 3 circuits servant de retour au flux, comme sur la figure 4.5. On obtient alors un circuit magnétique dit à « flux libre ».



**Figure 4.5.** Circuit magnétique à trois noyaux bobinés

Pour plus de symétrie, on utilise des circuits à 5 noyaux dont 3 sont bobinés (figure 4.6)



**Figure 4.6.** Circuit magnétique à cinq noyaux bobinés

### 4.3.2. Constitution des transformateurs

La figure 4.7 présente une photo d'un transformateur de puissance de 120MVA. Les principales caractéristiques industrielles d'un transformateur de puissance sont les suivantes :

- Puissance nominale en Kilo Volt Ampère (KVA) ou MVA.
- Rapport de transformation en charge et chute de tension.
- Rapport du courant à vide au courant de pleine charge.
- Tension de court-circuit et impédance de court-circuit.
- Pertes à vide et rendement.

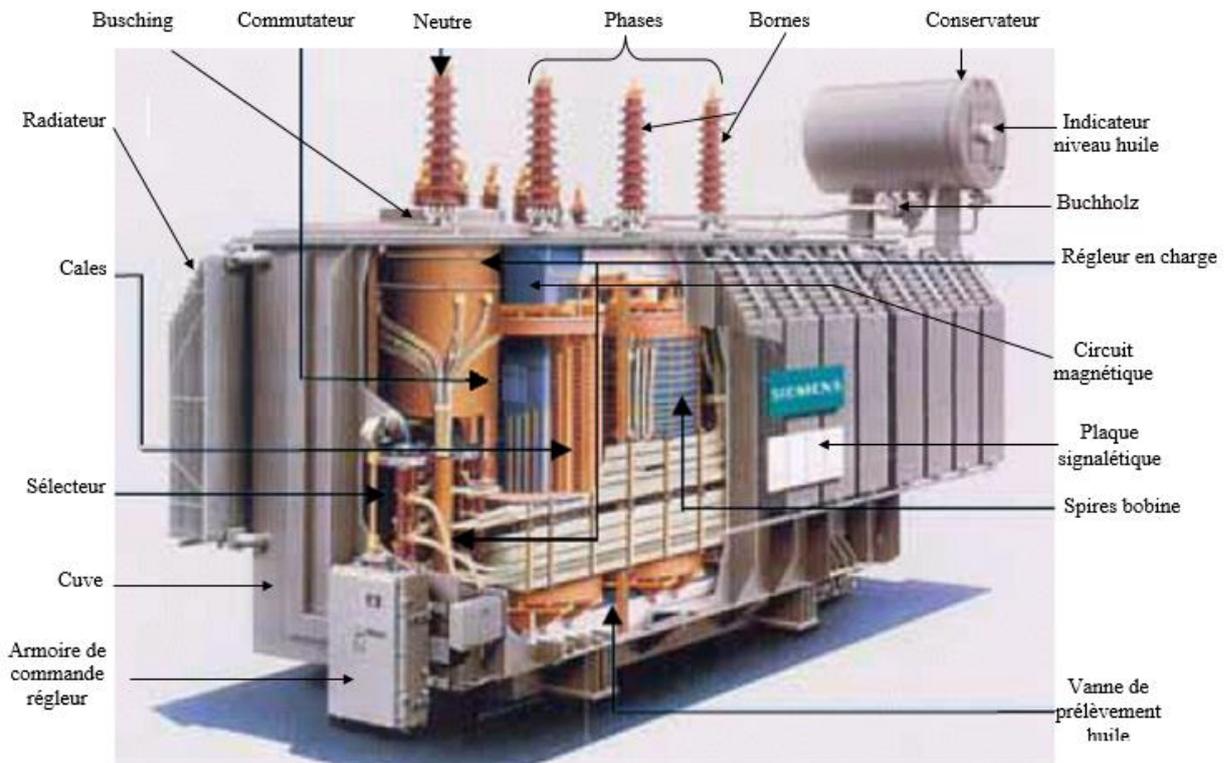


Figure 4.7. Constitution d'un transformateur de puissance

### 4.3.3. Protection des transformateurs de puissance

Les protections d'un transformateur peuvent avoir pour but, soit de soustraire le transformateur à une contrainte excessive, soit de limiter les conséquences d'un défaut interne. Certaines d'entre elles sont susceptibles de remplir l'un ou l'autre de ces deux rôles, selon les circonstances. Le choix des protections dépend de la puissance nominale du transformateur à protéger : les transformateurs de distribution ne comportent que les protections minimales. Les principaux défauts qui peuvent affecter un transformateur de puissance sont :

- La surcharge.
- Le court circuit.
- Le défaut à la masse.

#### 4.3.3.1. Protections internes

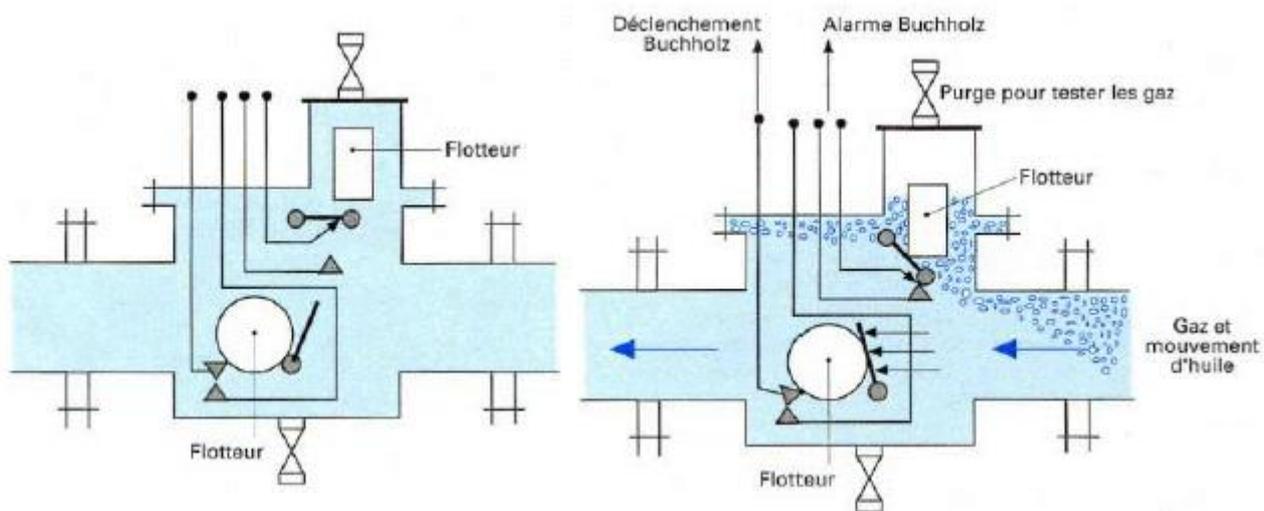
##### a. Relais buchholz (ou dispositif de protection par détection d'émission de gaz)

Le relais buchholz ne peut être monté (sauf dispositions particulières) que sur les transformateurs dont la cuve est entièrement remplie d'huile (ou d'un autre diélectrique liquide). Il est généralement placé en série sur la tuyauterie qui relie la cuve au conservateur. Il a pour but de limiter les

conséquences d'un éventuel défaut interne au transformateur, et son fonctionnement s'appuie sur le fait que tout défaut de ce type provoque un point excessivement chaud ou un arc électrique qui décompose une partie des isolants solides ou liquides à son contact en donnant naissance à des gaz.

Si le défaut est peu grave, la quantité de gaz ainsi produits est faible. Ils sont recueillis en un point haut du relais (sommet de la vérine, sous le robinet de purge) et leur accumulation fait basculer un flotteur solidaire d'un interrupteur à mercure actionnant une alarme.

Si le défaut est grave, les gaz produits en grande quantité refoulent brutalement une partie de l'huile de la cuve vers le conservateur. Un second flotteur du relais est entraîné par le flux d'huile, et l'interrupteur à mercure qui en est solidaire donne l'ordre de mise hors service du transformateur.



Conduite d'huile en absence de défaut

Conduite d'huile en présence d'un défaut au transformateur relais

**Figure 4.8.** Relais Buchholz

### ***b. Le relais de protection du changeur de prises en charge***

Placé en série sur la tuyauterie qui relie le compartiment commutateur du changeur de prises en charge à son conservateur d'huile, ce relais commande l'ouverture des disjoncteurs lorsqu'un défaut de commutation provoque, dans le compartiment commutateur, la formation d'une quantité anormale de gaz donnant naissance à un mouvement d'huile vers le conservateur, son conception est comme suit :

- **Boîtier :** (figure 4.9), le boîtier moulé en métal léger résistant à la corrosion est muni de brides pour le raccordement des tuyaux de liaisons vers la tête du changeur de prises en charge et vers le conservateur d'huile. On peut contrôler la position du clapet grâce au regard situé sur la face avant du boîtier. Les bornes de raccordement de l'interrupteur sont placées dans la boîte à bornes séparée de façon étanche à l'huile du compartiment à huile du relais. La boîte à bornes est aérée par une ouverture couverte. Deux boutons poussoirs d'essai logés dans la

boîte à bornes sont destinés au contrôle du bon fonctionnement de l'appareil et à son réarmement. Les bornes de raccordement sont protégées par une coiffe en plastique transparent.

- Relais (figure boîtier ouvert) : l'organe actif du relais comprend un clapet muni d'un alésage à aimant permanent. L'aimant permanent sert à actionner l'interrupteur et au maintien du clapet en position « REARMEMENT ». une position intermédiaire n'est pas possible.
- Fonctionnement : le fonctionnement du relais de protection ne peut être provoqué que par un flux d'huile depuis la tête du changeur de prises en charge vers le conservateur d'huile. Ce flux pousse sur le clapet et le fait basculer en position « DECLENCHEMENT ». De ce fait, l'interrupteur est actionné, il fait déclencher les disjoncteurs et met le transformateur hors tension.

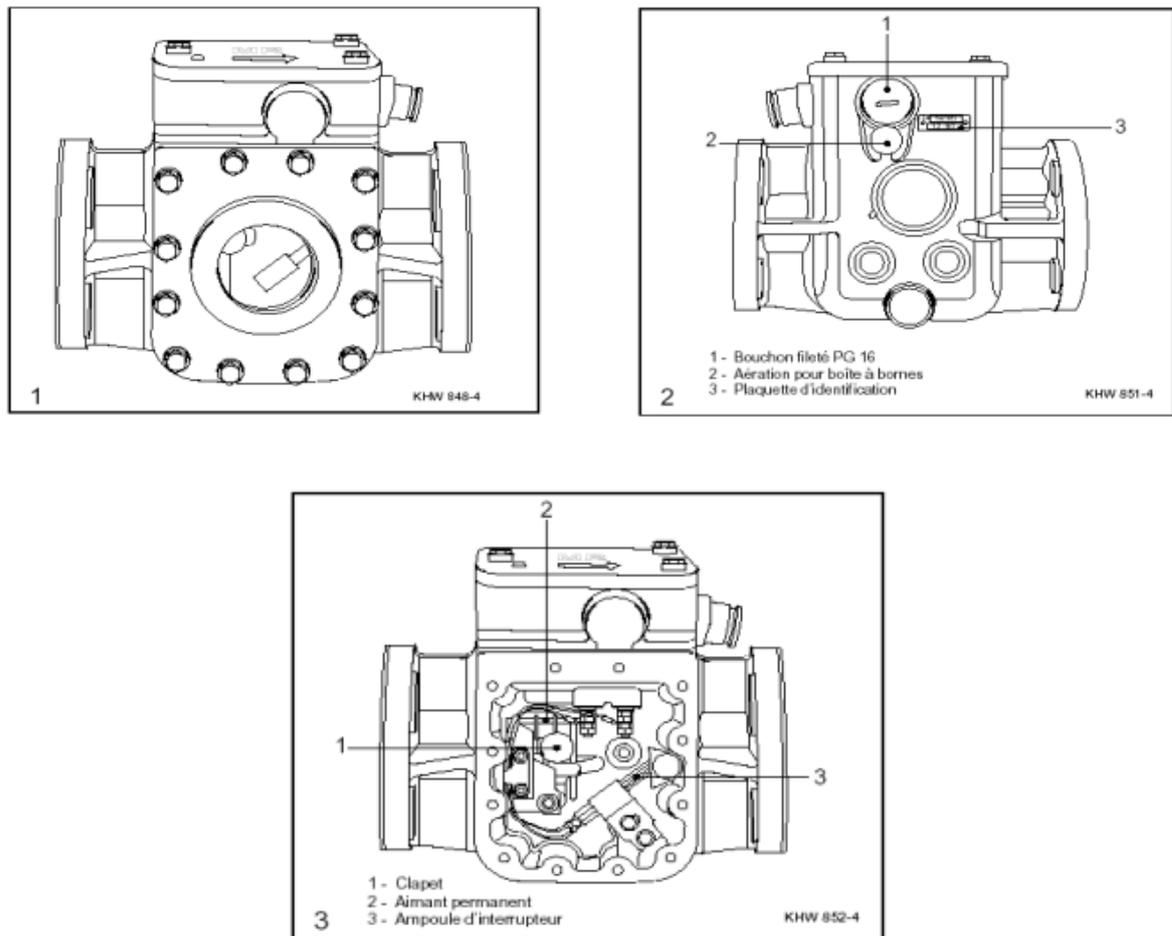


Figure 4.9. Relais de protection de changeur de prise en charge

**c. Le relais de blocage de la commande électrique du changeur de prise en charge**

Ce relais empêche le fonctionnement du commutateur lorsque l'intensité du courant excède la surcharge autorisée.

**d. La cheminée d'explosion, le diaphragme d'explosion, ou la soupape de sécurité**

Ont pour but d'éviter la déformation de la cuve du transformateur sous l'effet d'une surpression due à un défaut interne.

**e. L'assécher d'air**

Il limite la reprise d'humidité des isolants solides et liquides du transformateur.

**f. La protection incendie**

**g. Niveau d'huile transformateur**

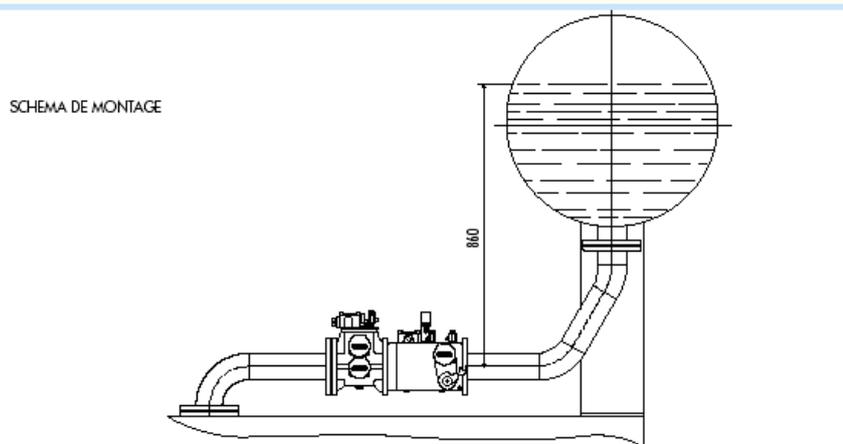
**h. Niveau d'huile régleur**

**i. Température d'huile**

**j. Température d'enroulement**

**k. Daroc**

La fonction de l'obturateur(DAROC), qui est monté en série entre le relais Buchholz, le conservateur et la cuve du transformateur (figure 4.9), est de bloquer le flux d'huile vers la cuve en cas de grosses pertes ou de graves accidents ou incendies. Le fonctionnement de l'obturateur est basé sur la poussée dynamique que l'huile en mouvement exerce sur une soupape placée à l'intérieur du dispositif. Quand le débit du fluide dépasse une certaine valeur, la poussée exercée sur la soupape aura pour résultat d'effectuer la fermeture de la soupape, bloquant ainsi le flux d'huile.



**Figure 4.10.** Fonctionnement de l'obturateur (DAROC)

### **4.3.3.2. Protections externe**

#### ***a. Fusibles à haut pouvoir de coupure ou relais à maximum de courant agissant sur les disjoncteurs***

Cette protection a le double rôle de protéger le transformateur dans le cas de surintensités du courant de forte amplitude, ou de limiter les conséquences d'un défaut interne. D'une façon très générale, le transformateur sera plutôt protéger contre les surcharges excessives par l'action des relais sur le disjoncteur basse tension, tandis que les fusibles ou le disjoncteur placé en amont de l'enroulement à haute tension ont plutôt pour but de protéger le réseau contre les conséquences d'un défaut interne du transformateur. Les capacités de surcharge d'un transformateur doivent faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'utilisateur. Pour les grands transformateurs de réseau, le lecteur se reportera à la publication 354 de la CEL et [I. b. 5] concrétise sa politique de surcharge des transformateurs du réseau de transport d'énergie.

Il faut noter que les possibilités de surcharges de courte durées d'un transformateur sont souvent limitées par des accessoires tels que les traversées, les commutateurs de prises hors tension, ou les changeurs de prises en charge, qui doivent donc être dimensionnés en conséquence.

Enfin, une surintensité transitoire du courant apparaît au moment de l'enclenchement sous pleine tension. Elle est caractérisée par une composante continue importante et une durée relativement courte. Des roulais spéciaux, insensibles à ces surintensités, permettent d'éviter mise hors circuit systématique.

#### ***b. Thermostats ou images thermiques***

Ils sont sensibles respectivement à la température de l'huile et à la température des enroulements. Ils ne peuvent pas limiter les conséquences d'un défaut interne, mais protègent le transformateur contre les surchargent de relativement faible amplitude et de longue durées.

#### ***c. Parafoudres et éclateurs de protection***

Le rôle des parafoudres et des éclateurs de protection est de protéger le transformateur contre les surtensions excessives dont l'origine peut être :

- Soit les manœuvres de disjoncteurs dans des circonstances particulières.
- Soit les coups de foudre en ligne.
- Soit un défaut d'isolement en ligne, etc.

Les parafoudres doivent être choisis, ou l'écartement des éclateurs réglé, de façon telle que la tension maximale qui atteint le transformateur soit, au plus, égale à 80% de la tension d'essai

correspondante. Leur efficacité n'est garantie que s'ils sont placés à proximité immédiate du transformateur à protéger : les éclateurs sont généralement disposés sur les traversées elles-mêmes du transformateur, les parafoudres sont parfois accrochés à la cuve du transformateur. Dans le cas contraire, en effet, des réflexions d'ondes sur les lignes avec formation de nœuds et ventres peuvent réduire très sensiblement leur efficacité.

Les éclateurs de protection sont moins fidèles que les parafoudres, en ce sens que la dispersion des tensions d'amorçage en fonction des conditions atmosphériques, ou de la forme de l'onde, est bien supérieure à celle des parafoudres. En outre, un arc amorcé entre les électrodes d'un éclateur ne s'éteint pas toujours de lui-même lorsque la tension appliquée redevient normale. Les éclateurs doivent donc être utilisés conjointement avec un dispositif de protection contre les défauts la terre extérieure à la cuve du transformateur.

#### ***d. Protection de masse cuve et protection différentielle***

Ces protections ont pour but de mettre le transformateur hors service lorsqu'un arc s'amorce entre une partie sous tension et la terre, que ce soit à l'extérieur de la cuve (amorçage d'un éclateur) ou à l'intérieur (défaut interne à la masse).

La première consiste à isoler la cuve de la terre, et à l'y relier par une seule connexion passant à travers un transformateur de courant. Lorsque le courant entre phase et terre atteint quelques centaines d'ampères, le transformateur est mis hors service.

La seconde est sensible à la somme géométrique (généralement nulle) des ampères-tours primaires et secondaires de chaque phase du transformateur.

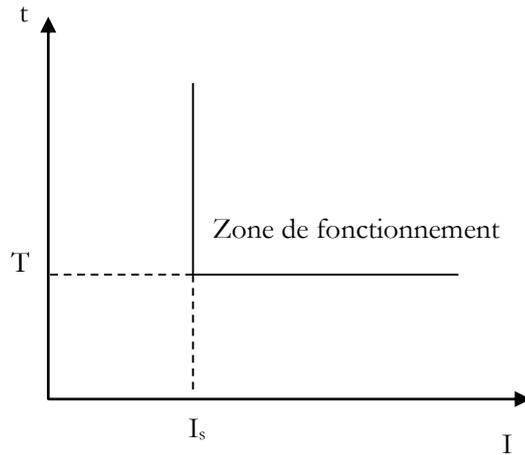
#### ***e. Protection à maximum de courant phase***

Elle a pour fonction de détecter les surintensités monophasées, biphasées ou triphasées. La protection est activée si un, deux ou trois des courants concernés dépassent la consigne correspondant au seuil de réglage appelé aussi seuil de fonctionnement.

Cette protection peut être temporisée, dans ce cas elle ne sera activée que si le courant contrôlé dépasse le seuil de réglage pendant un temps au moins égal à la temporisation sélectionnée. Cette temporisation peut être à temps indépendante ou à temps dépendant.

##### ***- Protection à temps indépendant***

La temporisation est constante, elle est indépendante de la valeur de la valeur du courant mesuré. Le seuil de courant et la temporisation sont généralement réglables par l'utilisateur.



**Figure 4.11.** Protection à temps indépendant

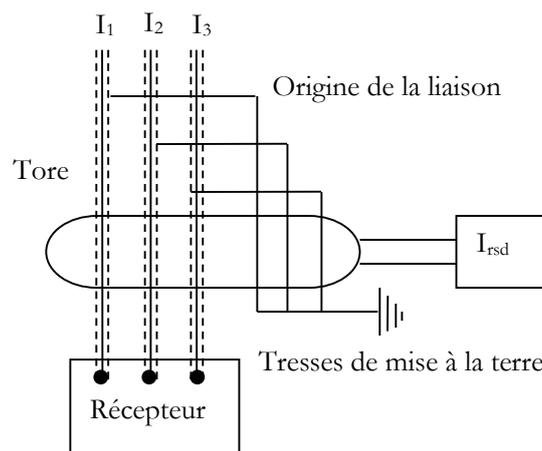
$I_s$  : seuil de fonctionnement en courant (seuil de courant).

$T$  : retard de fonctionnement de la protection (temporisation).

- **Protection à temps dépendant**

La temporisation dépend du rapport entre le courant mesuré et le seuil de fonctionnement. Plus le courant est élevé et plus la temporisation est faible (figure 4.12).

Le fonctionnement de la protection à temps dépendant est défini par les normes CEI 255-3 et 142. Elles définissent plusieurs types de protection à temps dépendant qui se différencient par la pente de leurs courbes : protection à temps inverse, très inverse ou extrêmement inverse. Par exemple, le Sepam 2000 de Schneider propose les courbes pour une temporisation réglée à 1 seconde (implicitement, une temporisation de 1 seconde pour  $I=10I_s$ ).



**Figure 4.12.** Protection à temps dépendant

### f. Protection à maximum de courant terre

Elle est utilisée pour détecter les défauts à la terre. La protection est activée si le courant résiduel  $I_{rsd} = I_1 + I_2 + I_3$  dépasse le seuil de réglage pendant une durée égale à la temporisation choisie. En l'absence du défaut à la terre, la somme des trois courants des trois phases est toujours nulle. Le courant résiduel donne la mesure du courant passant par la terre lors d'un défaut. La protection peut être à temps indépendante ou à temps dépendant de façon identique à la protection à maximum de courant de phase.

### g. Mesure de courant résiduel

La mesure du courant résiduel peut être obtenue de deux façons :

- ❑ Par un transformateur de courant de type tore enserrant les trois conducteurs de phases. Les spires de secondaire de transformateur de courant embrassent un flux magnétique  $\phi_{rsd} = \phi_1 + \phi_2 + \phi_3$ ,  $\phi_1$ ,  $\phi_2$  et  $\phi_3$  (figure 4.13) sont proportionnels aux courants de phases  $I_1$ ,  $I_2$  et  $I_3$ ,  $\phi_{rsd}$  est alors proportionnel au courant résiduel. La tresse de mise à la terre des écrans des câbles indiquée sur la figure doit passer à l'intérieur du tore, afin qu'un défaut interne au câble (phase écran) soit détecté. En effet, dans le cas contraire, il n'est donc pas détecté par le tore.
- ❑ Par trois transformateurs de courant dont les neutres et les phases sont reliés (figure 4.13)

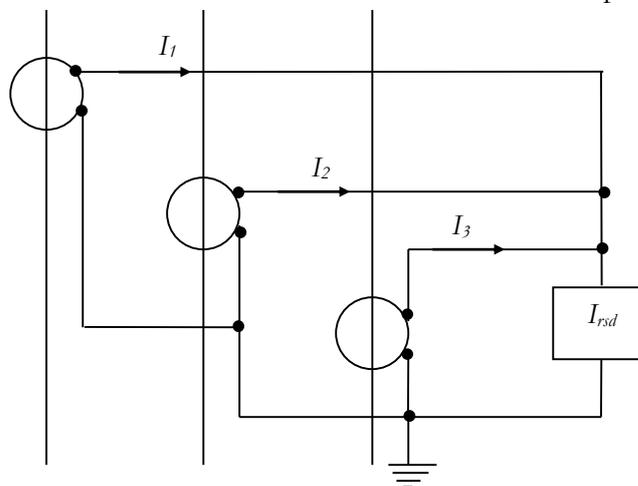


Figure 4.13. Mesure de courant résiduel par trois transformateurs de courant

## 4.4. Protection des lignes

On entend par liaison les éléments qui sont chargés de véhiculer l'énergie électrique entre points géographiquement plus ou moins éloignés, de quelques mètres à plusieurs kilomètres : ce sont en général des lignes aériennes à conducteurs nus ou **des câbles à conducteurs isolés**. Les liaisons doivent être protégées de façon suivante :

- protection contre les courts circuits.
- protection contre les surintensités.
- protection mécanique.

#### **4.4.1. Protection à minimum d'impédance (de distance)**

Elle surveille les variations d'impédance de la ligne concernée par la mesure des tensions et courants. Si la valeur atteint un seuil prédéterminé selon une caractéristique de fonctionnement, la protection démarre, mesure la distance et isole le défaut.

Les protections de distance sont généralement caractérisées par un démarrage et une mesure de distance et de direction dont les réglages sont calculés compte tenu des caractéristiques de construction de la ligne et des rapports de transformation des réducteurs de mesure.

Parmi toutes les protections de distance des réseaux de répartition, de transport et d'interconnexion on rencontre trois types de démarrage:

- Le démarrage ampère métrique
- Le démarrage impédance
- Le démarrage de type combiné  $U = f(I)$

##### **4.4.1.1. Première zone de mesure**

La protection de distance n'est pas une protection sélective à 100 % comme c'est le cas d'une protection différentielle longitudinale. Les erreurs dues à la méconnaissance exacte des caractéristiques de la ligne, aux réducteurs de mesure (IT et TC) et à la mesure de la protection elle-même, sont à l'origine d'une zone morte qui ne permet pas de régler la totalité de la ligne en première zone.

Les réglages peuvent être choisis, pour le cas d'une ligne ordinaire, entre 80 % et 90 % de la longueur de la ligne. L'action des protections, en première zone de mesure est instantanée (il dépend des performances de la protection)

##### **4.4.1.2. Deuxième zone de mesure**

Le réglage classique de la deuxième zone est de 120 % de la longueur de la ligne. Dans des situations exceptionnelles comme le cas d'une ligne longue suivie d'une ligne courte le réglage de cette zone est réduit pour éviter les fonctionnements non sélectifs dus au dépassement de zone. Le fonctionnement en deuxième zone est un secours qui élimine les défauts situés dans la zone morte de la ligne et au-delà du poste opposé pour le cas des réseaux maillés. Il permet par ailleurs la détection des défauts internes au transformateur dans le cas des alimentations en antenne. L'action de déclenchement en deuxième zone est temporisée.

#### **4.4.1.3. Troisième zone de mesure**

La portée de la troisième zone de mesure est habituellement réglée égale à la portée de l'élément de démarrage. Le réglage adopté en troisième stade est 140% de longueur de la ligne.

#### **4.4.2. Protection de réserve des lignes**

Cette protection existe uniquement dans quelques postes en attendant sa mise en parallèle avec la protection principale. La protection de réserve de distance est utilisée pour pallier à une défaillance de la protection principale. Elle améliore la fiabilité de fonctionnement du matériel.

#### **4.4.3. Protection complémentaire**

La protection complémentaire a pour rôle l'élimination des défauts très résistants pour lesquels les protections de distance sont insensibles. Elle fonctionne souvent sous l'allure d'une courbe de puissance résiduelle (parfois de courant résiduel directionnel) à temps inverse, choisie parmi un faisceau de courbes plus ou moins rapides. Pour éviter de devancer les protections principales et de réserve et en raison de son action triphasée sur le disjoncteur, cette protection est temporisée et agit dans tous les cas après les deuxièmes stades des protections de distance.

#### **4.4.4. Protection de secours des lignes**

La protection de secours des lignes HT est réalisée par l'intermédiaire d'un relais à maximum de courant triphasé à temps constant. Son rôle est d'assurer en premier lieu le secours des protections principales et complémentaires contre les courts-circuits de nature quelconque, mais aussi de déclencher les surcharges inadmissibles sur la ligne.

#### **4.4.5. Dispositif de reencenchement automatique**

Les statistiques annuelles des incidents montrent que près de 75 % des défauts sur les lignes aériennes sont monophasés fugitifs. A cet effet, et dans le souci d'assurer la continuité d'alimentation, il est associé aux protections principales un dispositif de réencenchement automatique du disjoncteur qui assure:

- En monophasé:
  - Un réencenchement pour les défauts fugitifs (DR).
  - Un réencenchement suivi d'un déclenchement triphasé définitif lorsque le défaut est permanent (DRD).
- En triphasé:

- Un déclenchement définitif sur les lignes du réseau maillé.

En ce qui concerne les lignes réalisées en antenne, il est exceptionnellement permis de faire le réenclenchement triphasé, quel que soit le type de défaut.

La fonction de réenclenchement n'est pas appliquée sur les liaisons souterraines, sachant que les défauts de câbles sont toujours permanents.

## 4.5. Protection des moteurs

### 4.5.1. Types de défauts affectant le moteur électrique

Le moteur assure l'interface entre le domaine électrique et le domaine mécanique. Il est situé dans un environnement qui est lié à la charge entraînée. D'autre part, le moteur peut être soumis à des contraintes mécaniques internes du fait qu'il comporte des pièces mobiles.

Les moteurs sont affectés par :

- Les défauts liés à la charge entraînée
  - Les démarrages trop longs et trop fréquents
  - Le blocage
  - La perte de charge
- Les défauts de l'alimentation
  - La perte d'alimentation
  - La baisse de tension
  - Le déséquilibre
  - La réalimentation de tension
- Les défauts internes du moteur
  - Le court-circuit entre phases
  - Le défaut à la masse du stator
  - Le défaut à la masse du rotor (pour les moteurs à rotor bobiné)
  - La perte d'excitation
  - La perte de synchronisme

### 4.5.2. Dispositifs de protections

#### 4.5.2.1. Les défauts liés à la charge entraînée

Pour les défauts liés à la charge entraînée, on utilise les protections suivantes :

- Protection à maximum de courant
- Protection de surcharge thermique
- La protection à maximum de vitesse

#### **4.5.2.2. Les défauts de l'alimentation**

Pour les défauts de l'alimentation on utilise les protections à maximum ou à minimum de tension (MIN U ou MAX U)

#### **4.5.2.3. Les défauts internes du moteur**

Pour les défauts internes du moteur on utilise :

- Protection à maximum de courant
- Protection différentielle

### **4.6. Conclusion**

Ce chapitre présente la protection de quelques éléments du réseau électrique tel que l'alternateur, le transformateur de puissance, la ligne de transmission et le moteur.

# CONCLUSION

---

## 1. Introduction

L'évolution rapide de la technologie, les réseaux d'énergie électrique devient de plus en plus complexe. Les alternateurs, les transformateurs de puissance et les lignes de transmission sont un lien vital dans les systèmes de transmission de puissance. Les défauts issus des lignes (court-circuit, foudre ...) ou proviennent de l'équipement (les opérations de commutation) se propage d'une partie du système d'alimentation à une autre à travers des conducteurs.

Pour protéger les systèmes contre de telle situation, on doit prévoir des dispositifs de protection fiables tel que le fusible, les disjoncteurs. Pour cela et aussi d'autre raison, il est nécessaire de mettre des plans de protection efficace contre les situations anormale du fonctionnement du réseau électrique dont le but de préserver le matériel.

Les protections électriques sont des éléments clés pour assurer continuité d'alimentation fiable et bonne qualité d'énergie électrique, qui est un vecteur indispensable aux activités humaines et un facteur essentiel de développement pour les pays. Ce document s'adresse principalement aux étudiants de troisième année préparant un diplôme licence Electrotechnique. Il répond également aux besoins des lecteurs qui veulent acquérir une bonne compréhension des principes la protection électrique.

## 2. Chapitres présentés

Cet ouvrage constitue un recueil enrichi et détaillé de l'ensemble des parties importantes caractérisant la protection des réseaux électriques. Ce document est le fruit de plusieurs années de travail dédié aux étudiants de troisième année électrotechnique. Cette contribution apportera complètement au besoin de la formation master réseau électrique.

Ce cours de protection de réseau électrique est destiné aux étudiants en troisième année Licence électrotechnique, il est axé sur des généralités sur les réseaux électriques, les composants d'un système de protection, les fonctions et le principe des protections et la protection de quelques éléments du réseau.

## *Références Bibliographiques*

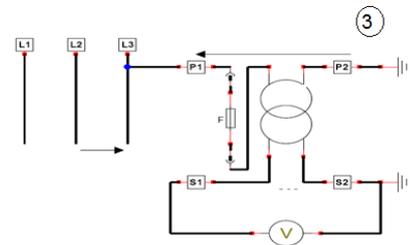
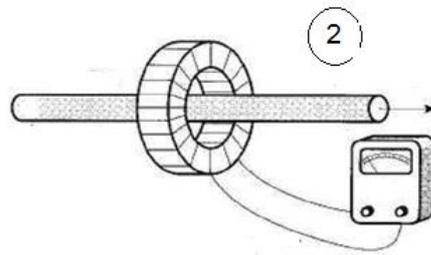
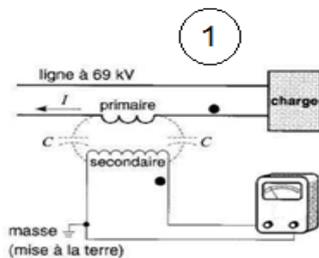
---

- [1] 1. HadiSaadat, "Power system analysis", Edition 2, 2004.
- [2] 2. Furan Gonon, "Electric Power distribution system engineering", Edition, 1980.
- [3] 3. Christophe Prévé, "Protection des réseaux électriques", Hermes Paris, 1998.
- [4] 4. S. H. Horowitz, A. G. Phadke, "Power System Relaying", second edition, John Wiley & Sons, 1995.
- [5] 5. L. Féchant, "Appareillage électrique à BT, Appareils de distribution", Techniques de l'Ingénieur, traité Génie électrique, D 4 865.
- [6] 6. S. Vacquié, A. Lefort, "Étude physique de l'arc électrique, L'arc électrique et ses applications", Tome 1, éd du CNR, S 1984.

## Annexe A. Examen de l'année universitaire 2020/2021

Réponds aux questions suivantes :

- 1- Quels sont les différents types des transformateurs de courant ainsi que les transformateurs de tension ?
- 2- Donner le schéma de la chaîne de protection.
- 3- Pour régler la fréquence d'un réseau, on agit sur la puissance consommée par les consommateurs par la gestion de la charge. Quelles sont les actions qu'on adapte pour régler la fréquence ?
- 4- Quelles sont les buts visés par les dispositifs de protection ?
- 5- Donner un titre pour chaque figure 1, 2 et 3 :

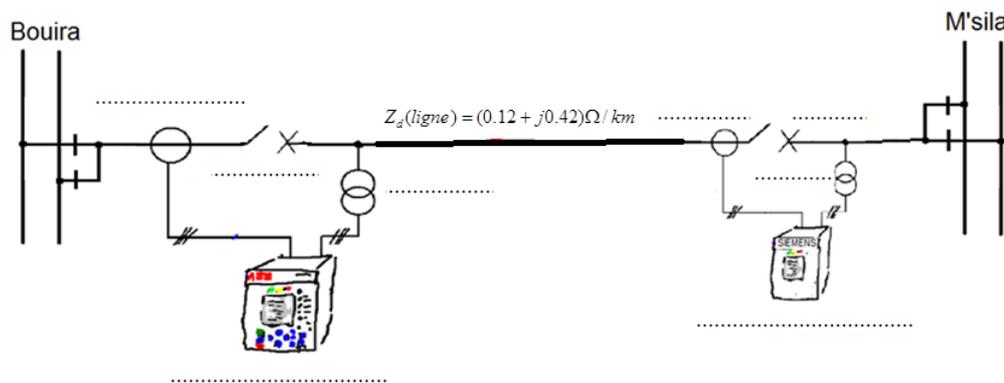


- 6- Citer les différents problèmes de conduite de réseau électrique :
- 7- Citer les deux étapes de l'étude des protections d'un réseau électrique :
- 8- Quelle sont les parties constructive d'un relais de protection ?
- 9- Quelles sont les exigences de conduite des réseaux électriques ?
- 10- Citer les dispositifs de protection des générateurs
- 11- Quels sont les principaux défauts qui peuvent affecter un transformateur de puissance ?

## Annexe B. Examen de l'année universitaire 2015/2016

Réponds aux questions suivantes :

- 1- Quels sont les différents types des transformateurs de courant ainsi que les transformateurs de tension ? (1pt)
- 2- Mettre vrai ou faux : (NB : -0.25 pts pour réponse fausse et +0.25 pts pour réponse juste) (1.5pt)
  - L'action de protection est d'ouvrir le sectionneur pour éliminer le défaut ( )
  - Il est normal de mettre le secondaire d'un transformateur de courant ouvert ( )
  - L'ouverture des circuits alimentés par le secondaire d'un transformateur de courant, dont le primaire est sous tension, est rigoureusement interdite ( )
  - Déclenchement, enclenchement et réenclenchement sont des actions réservés aux manœuvres automatiques d'interrupteurs ou de disjoncteurs sous l'action de relais ( )
  - La protection différentielle est temporisée ( )
  - La protection différentielle dans le transformateur est une protection externe ( )
- 3- Donner le schéma de la chaîne de protection. (1pt)
- 4- Pour régler la fréquence d'un réseau, on agit sur la puissance consommée par les consommateurs par la gestion de la charge. Quelles sont les actions qu'on adapte pour régler la fréquence ? (1pt)
- 5- Citer 06 protections internes du transformateur de puissance. (1.5pt)
- 6- Quelles sont les buts visés par les dispositifs de protection? (1pt)
- 7- Un transformateur de courant 1200/1\_1\_1 A. Donner les caractéristiques suivantes : (1pt)  
Type de transformateur, nombre de secondaire, la valeur réelle du courant lorsque la protection affiche 0.2A
- 8- Dans un busching d'un autotransformateur, on trouve les indications suivantes : Cl. 0.5-30VA et 5P20-30VA. Donner les explications de ces deux indications. (1pt)
- 9- Une ligne 220kV Bouira -M'sila de 158km ayant les caractéristiques suivante : (2.75pt)

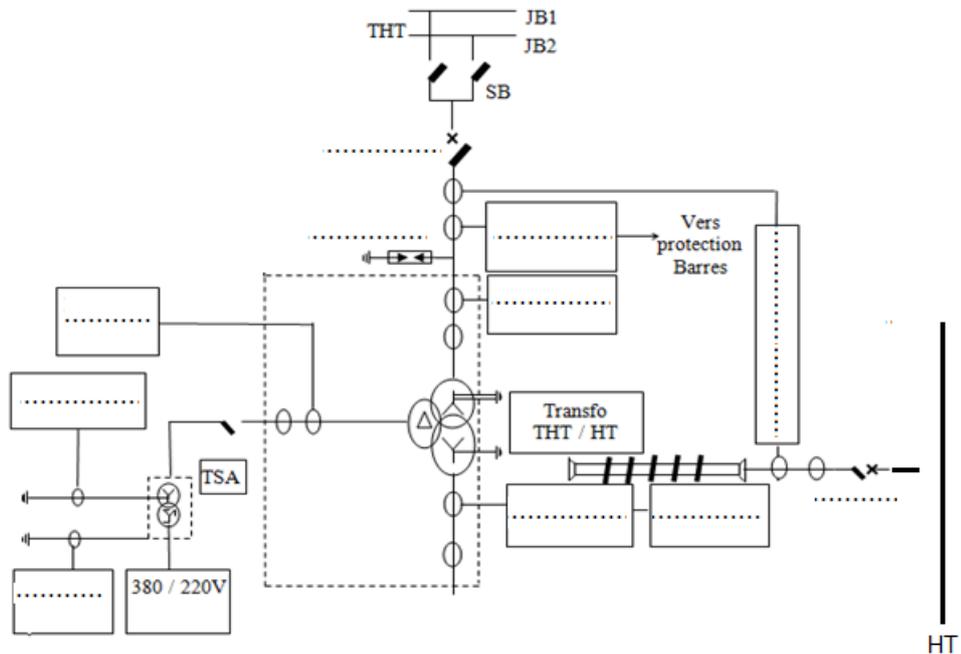


- Compléter la figure ci-contre.
- Déterminer l'impédance de la ligne avec son angle.
- Compléter le tableau suivant :

	80% (AV)	120%(AV)	140%(AV)	40%(AM)
<b>R(Ω)</b>	.....	.....	.....	.....
<b>X(Ω)</b>	.....	.....	.....	.....

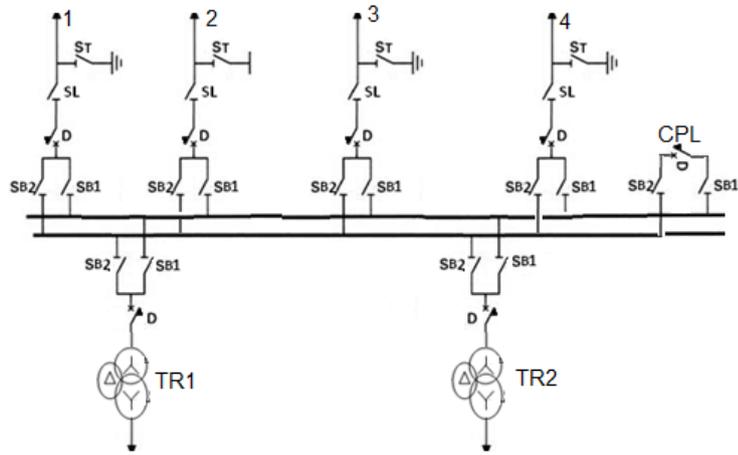
- Un défaut est survenu sur la ligne Bouira-M'sila, la protection installée au niveau de poste Bouira affiche l'impédance de défaut suiv:  $Z_{defaut} = (8.4 + j29.4)\Omega$  . . Calculer la distance de défaut.

**10-** Citer les différentes protections externes du transformateur THT/HT présenté par la figure suivante : (1pt)



- 11-** Citer les différents problèmes de conduite de réseau électrique : (1pt)
- 12-** Citer les deux étapes de l'étude des protections d'un réseau électrique : (1pt)
- 13-** Quelle sont les parties constructive d'un relais de protection ? (1pt)
- 14-** Donner avec schéma le principe de fonctionnement d'une protection différentielle et déterminer le courant différentiel ( $I_{diff}$ ) et le courant stabilisant ( $I_{stab}$ ) dans une situation saine. (1pt)
- 15-** Citer les différents types de démarrage d'une protection de distance: (0.75pt)
- 16-** Citer les différents types de sélectivité avec exemple. (1pt)
- 17-** Citer les différents paramètres de réglage des lignes électriques. (1pt)
- 18-** La figure suivante présente l'étage 220kV d'un poste électrique 220/60/30kV. (1.5pt)

Départ	1	2	3	4	TR1	TR2
Aiguillage	SB2	SB1	SB2	SB1	SB1	SB2



- Un défaut est survenu au départ N°1, la protection de distance a envoyé un ordre de déclenchement au disjoncteur de la travée. Vu le manque d'entretien, le disjoncteur n'a pas pu d'ouvrir pour éliminer le défaut. Quelle est la protection qui fonctionne dans cette situation ?
- Quelles sont les départs affectés ?
- Dans le cas où le disjoncteur le couplage CPL n'a pas pu d'ouvrir, quelle est la situation de poste ?