



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE  
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم  
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem  
كلية العلوم و التكنولوجيا  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE



N° d'ordre : M...../GE/2025

## MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

### MASTER EN Electrotechnique

**Spécialité** : Electrotechnique Industrielle

Par

**MAGHMOUL Abdennasser**

**YESSAD Abdelmalik**

### Intitulé du sujet

**Méthodologie de dimensionnement d'un réseau industriel**

Soutenu le 22/09/ 2025 devant le jury composé de :

Président :	H.BENTOUNES	Pr	Université de Mostaganem
Examinatrice :	S. REZINI	MCA	Université de Mostaganem
Rapporteur :	B. BEKKOUCHE	Pr	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2024/2025

## *Dédicace*

*Nous dédions ce travail à nos chers parents, qui ont toujours cru en nous et nous ont soutenus à chaque étape de notre parcours.*

*À nos frères, sœurs et amis, pour leur présence et leurs encouragements constants.*

*À nos professeurs et encadrateurs, pour leur disponibilité et leurs précieux conseils.*

## *Remerciements*

*Avant tout, nous remercions ALLAH le tout puissant, le miséricordieux, qui nous a donné la force et le courage pour achever ce modeste travail.*

*Nous remercions tout particulièrement nos parents, pour leur soutien inconditionnel au cours de ces longues années d'études.*

*Nous voudrions adresser toute notre gratitude à notre encadreur M. **BEKKOUCHE Benaïssa**, nous avons eu le grand plaisir de travailler sous sa direction et nous avons trouvé auprès de lui, le conseil et le guide qui nous a reçu en toute circonstance avec sympathie et bienveillance.*

*Nos remerciements particuliers aux membres du jury, M. **H.BENTOUNES** pour avoir accepté de présider ce jury et M<sup>elle</sup> **S.REZINI**, pour l'honneur qu'ils ont fait accepter d'examiner notre travail et de fournir un avis, un commentaire ou des conseils à ce sujet.*

*Enfin, nous remercions vivement, toute personne qui nous a aidés, de près ou de loin, à élaborer et à réaliser ce mémoire.*

## *Résumé*

Cette étude a pour objectif de proposer une méthodologie complète pour la conception des réseaux électriques industriels. Elle commence par l'analyse de l'architecture des réseaux HT, MT et BT, en présentant les différents schémas de distribution ainsi que les postes de livraison. Ensuite, elle aborde le dimensionnement des conducteurs, en prenant en compte les critères de chute de tension et les régimes de neutre. L'étude traite également de la protection des installations à travers les dispositifs de coupure et de protection, tels que les disjoncteurs et les fusibles. Enfin, la partie pratique est consacrée à l'utilisation du logiciel Ecodial, qui permet de simuler le schéma unifilaire, de calculer les courants et les sections, et de valider la conception. Cette démarche associe ainsi une base théorique solide à une application pratique, afin de garantir la fiabilité et l'efficacité des réseaux industriels.

## *Abstract*

This study aims to propose a comprehensive methodology for the design of industrial electrical networks. It begins with the analysis of the architecture of HT, MT, and BT networks, presenting the different distribution schemes as well as the delivery substations. It then addresses the sizing of conductors, taking into account the criteria of voltage drop and neutral grounding systems. The protection of installations is also studied through switching and protection devices such as circuit breakers and fuses. The practical part is dedicated to the use of the Ecodial software, which makes it possible to simulate the single-line diagram, calculate currents and conductor sizes, and validate the design. Therefore, this methodology combines a solid theoretical foundation with practical application in order to ensure the reliability and efficiency of industrial networks.

## *ملخص*

تهدف هذه الدراسة إلى اقتراح منهجية شاملة لتصميم الشبكات الكهربائية الصناعية. تبدأ بتحليل بنية شبكات الجهد العالي، المتوسط والمنخفض، مع عرض مختلف مخططات التوزيع وكذلك محطات التسليم. بعد ذلك، تتناول عملية تحديد مقاطع الموصلات مع الأخذ بعين الاعتبار معايير الهبوط في الجهد وأنظمة التأسيس. كما تدرس حماية التركيبات الكهربائية من خلال أجهزة القطع والحماية مثل القواطع وصمامات الانصهار. أما الجزء التطبيقي فيخصص لاستخدام برنامج Ecodial، الذي يتيح محاكاة المخطط أحادي الخط، وحساب التيارات والمقاطع، والتحقق من صحة التصميم. وبهذا، تجمع هذه المنهجية بين الأساس النظري المثبت والتطبيق العملي لضمان موثوقية وكفاءة الشبكات الصناعية.

## *Liste des figures*

<b>Figure I-1 :</b> <i>Structure générale d'un réseau de distribution</i> .....	1
<b>Figure I-2 :</b> <i>Alimentation simple antenne d'un poste de livraison HTB</i> .....	2
<b>Figure I-3 :</b> <i>Alimentation double antenne d'un poste de livraison HT</i> .....	3
<b>Figure I-4 :</b> <i>Alimentation double antenne – double jeu de barres d'un poste de livraison HTB</i> .....	3
<b>Figure I-5 :</b> <i>1 jeu de barres, 1 source d'alimentation</i> .....	4
<b>Figure I-6 :</b> <i>1 jeu de barres sans couplage, 2 sources d'alimentation</i> .....	5
<b>Figure I-7 :</b> <i>2 demi-jeux de barres avec couplage, 2 sources d'alimentation</i> .....	5
<b>Figure I-8 :</b> <i>1 jeu de barres sans couplage, 3 sources d'alimentation</i> .....	6
<b>Figure I-9 :</b> <i>3 sections de barres avec couplage, 3 sources d'alimentation</i> .....	6
<b>Figure I-10 :</b> <i>Alimentation en simple dérivation d'un poste de livraison HTA(MT) à comptage BT</i> .....	7
<b>Figure I-11 :</b> <i>Poste abonné alimenté en coupure d'artère</i> .....	7
<b>Figure I-12 :</b> <i>Poste abonné alimenté en double dérivation</i> .....	7
<b>Figure I-13 :</b> <i>Exemple de poste de livraison HTA(MT) à comptage HT</i> .....	8
<b>Figure I-14 :</b> <i>Sources et départs en "duplex"</i> .....	9
<b>Figure I-15 :</b> <i>2 jeux de barres, 2 attaches par départ, 2 sources d'alimentation</i> .....	9
<b>Figure I-16 :</b> <i>2 doubles jeux de barres couplés entre eux</i> .....	10
<b>Figure I-17 :</b> <i>Réseau HTA(MT) radiale en simple antenne</i> .....	11
<b>Figure I-18 :</b> <i>Réseau HTA(MT) radial en double antenne sans couplage</i> .....	11
<b>Figure I-19 :</b> <i>Réseau HTA radial en double antenne avec couplage</i> .....	12
<b>Figure I-20 :</b> <i>Réseau HTA en boucle ouverte</i> .....	12
<b>Figure I-21 :</b> <i>Réseau HTA en boucle fermée</i> .....	13
<b>Figure I-22 :</b> <i>Réseau HTA en double dérivation</i> .....	13
<b>Figure I-23 :</b> <i>Constitution d'une alimentation sans interruption (ASI)</i> .....	14
<b>Figure I-24 :</b> <i>Alimentation des tableaux BT avec une seule source d'alimentation</i> .....	14
<b>Figure I-25 :</b> <i>Alimentation des tableaux BT par une double alimentation sans couplage</i> .....	15
<b>Figure I-26 :</b> <i>Alimentation des tableaux BT par une double alimentation avec couplage</i> .....	15
<b>Figure I-27 :</b> <i>Alimentation des tableaux BT par une triple alimentation sans couplage</i> .....	16
<b>Figure I-28 :</b> <i>1 Transformateur et 1 alternateur</i> .....	17
<b>Figure I-29 :</b> <i>Tableau BT secouru par un onduleur</i> .....	17
<b>Figure II-1 :</b> <i>L'algorithme de dimensionnement d'un réseau</i> .....	19
<b>Figure II-2 :</b> <i>Exemple des informations porté schéma unifilaire</i> .....	20
<b>Figure II-3 :</b> <i>Schéma équivalent d'un réseau</i> .....	22
<b>Figure II-4 :</b> <i>Montée en potentiel du point neutre</i> .....	23
<b>Figure II-5 :</b> <i>Défaut à la terre dans un réseau</i> .....	24
<b>Figure II-6 :</b> <i>Neutre isolé</i> .....	24
<b>Figure II-7 :</b> <i>Protection contre les défauts en schéma IT</i> .....	25
<b>Figure II-8 :</b> <i>Neutre directe à la terre</i> .....	25
<b>Figure II-9 :</b> <i>Protection contre les défauts en schéma TT</i> .....	26
<b>Figure II-10 :</b> <i>Neutre mise à la terre par résistance</i> .....	26

<b>Figure II-11</b> : Solutions de protection terre .....	27
<b>Figure II-12</b> : Neutre mise à la terre par réactance faible .....	27
<b>Figure II-13</b> : La protection directionnelle de terre .....	28
<b>Figure II-14</b> : Neutre mise à la terre par réactance de compensation .....	28
<b>Figure II-15</b> : Les deux modes de polarisation de la protection directionnelle de terre .....	29
<b>Figure II-16</b> : Contact direct .....	30
<b>Figure II-17</b> : Contact indirect .....	30
<b>Figure II-18</b> : Représentation de la tension de contact .....	30
<b>Figure II-19</b> : Le bilan de puissance .....	31
<b>Figure II-20</b> : Logigramme pour le choix d'une canalisation et de son dispositif de protection .....	35
<b>Figure III-1</b> : Constitution d'un système de protection .....	38
<b>Figure III-2</b> : Principe de relais électromagnétique .....	39
<b>Figure III-3</b> : Relais statique .....	40
<b>Figure III-4</b> : Relais numérique .....	40
<b>Figure III-5</b> : Relais Thermique .....	41
<b>Figure III-6</b> : Transformateur de courant type Tore .....	41
<b>Figure III-7</b> : Transformateur à double secondaire .....	42
<b>Figure III-8</b> : Courbe B de déclenchement de disjoncteur .....	43
<b>Figure III-9</b> : Courbe C de déclenchement de disjoncteur.....	44
<b>Figure III-10</b> : Courbe D de déclenchement de disjoncteur.....	44
<b>Figure III-11</b> : Disjoncteur pneumatique .....	45
<b>Figure III-12</b> : Disjoncteur hexafluorure de soufre SF6 .....	45
<b>Figure III-13</b> : Disjoncteur à l'huile .....	45
<b>Figure III-14</b> : Disjoncteur magnétique .....	46
<b>Figure III-15</b> : Disjoncteur Thermique .....	46
<b>Figure III-16</b> : Disjoncteur magnétothermique .....	47
<b>Figure III-17</b> : Symbole de fusible .....	47
<b>Figure III-18</b> : Différentes classe de fusibles .....	48
<b>Figure III-19</b> : Représente limité de sélectivité .....	48
<b>Figure III-20</b> : Fonctionnement d'une sélectivité ampérométrique .....	49
<b>Figure III-21</b> : Principe de sélectivité chronométrique .....	49
<b>Figure III-22</b> : Principe de sélectivité logique .....	50
<b>Figure III-23</b> : Organisation générale du système de protection électrique .....	50
<b>Figure IV-1</b> : Le schéma unifilaire de l'installation .....	54

## **Liste des tableaux**

<b>Tableau II-1</b> : Valeurs du facteur d'utilisation selon l'utilisation .....	32
<b>Tableau II-2</b> : Valeurs du facteur de simultanéité en fonction de l'utilisation .....	32
<b>Tableau II-3</b> : Valeurs du facteur de simultanéité en fonction du nombre des récepteurs .....	32
<b>Tableau II-4</b> : Détermination du courant admissible en fonction du type de protection .....	33
<b>Tableau IV-1</b> : Caractéristiques des câbles utilisés .....	53
<b>Tableau IV-2</b> : Caractéristiques des disjoncteurs utilisés dans l'installation .....	55
<b>Tableau IV-3</b> : Caractéristique du transformateur MT/BT .....	55
<b>Tableau IV-4</b> : Caractéristique du Transformateur BT/BT .....	55
<b>Tableau IV-5</b> : Caractéristique des câbles BT .....	55
<b>Tableau IV-6</b> : Résultat de de calcul de section des câbles .....	59
<b>Tableau IV-7</b> : Chute de tension introduire par les différents câbles .....	61
<b>Tableau IV-8</b> : Impédance du réseau MT rapporté au secondaire BT du transformateur MT/BT .....	62
<b>Tableau IV-9</b> : Les résultat de calcul des autres câbles .....	62
<b>Tableau IV-10</b> : Choix de disjoncteur D1.....	63

# **SOMMAIRE**

Dédicace .....	I
Remerciements .....	II
Resume .....	III
Liste des figures .....	IV
Liste des tableaux .....	VI
INTRODUCTION GÉNÉRALE .....	IX

## **Chapitre I : Généralités sur les réseaux industriels**

I.1. Les architectures des réseaux de distributions électriques .....	1
I.1.1. Structure générale d'un réseau privé de distribution .....	1
I.1.2. La source d'alimentation .....	1
I.1.3. Les postes de livraison HTB .....	2
I.1.4 Les réseaux MT .....	4
I.1.5 Les postes de livraison HTA(MT) .....	6
I.1.6 Les réseaux MT à l'intérieur du site .....	8
I.1.7 Structures des réseaux HTA(MT) .....	10
I.2 Les réseaux BT .....	14
I.2.1 Modes d'alimentation des tableaux BT .....	14
I.3 Les tableaux BT secourus par des alternateurs .....	16
I.3.1 Les tableaux BT secourus par une alimentation sans interruption (ASI) .....	17

## **Chapitre II : Méthodologie de dimensionnement des réseaux industriels**

II.1 Algorithme de dimensionnement d'un réseau .....	19
II.2 Le schéma unifilaire .....	20
II.2.1 Principaux éléments d'un schéma unifilaire industriel .....	20
II.3 Le régime de neutre .....	21
II.3.1 Schéma équivalent d'un réseau .....	21
II.3.2 Prise de terre et résistance de terre .....	22
II.3.3 Influence du régime du neutre .....	23
II.3.4 Les types de régime de neutre .....	24
II.3.5 Critères de choix du régime de neutre .....	29
II.3.6 Tensions de contact .....	29
II.4 Calcul des puissances .....	31
II.4.1 Calcul des sections des câbles .....	31

## **Chapitre III : Protection des réseaux industriels**

III.1 Les fonctions de protection .....	38
III.2 Système de protection .....	38
III.3 Éléments constitutifs d'un système de protection .....	38
III.3.1 Les relais de protection .....	38
III.3.2 Réducteurs de mesure .....	41
III.3.3 Eclateur .....	42
III.3.4 les parafoudres .....	43
III.3.5 Câbles de garde .....	43
III.3.6 Élimination des défauts .....	43
III.4 Caractéristiques essentielles d'un système de protection .....	48
III.4.1 Fiabilité .....	48
III.4.2 Disponibilité .....	48
III.4.3 Sélectivité .....	48
III.4.4 Sensibilité .....	50
III.5 Organisation générale du système de protection .....	50
III.6 Contraintes liées à la protection .....	51

## **Chapitre IV : Simulation en utilisant le logiciel ECODIAL**

IV.1 Présentation du logiciel .....	52
IV.1.1 Utilité du logiciel ECODIAL .....	52
IV.2 Données d'installation .....	53
IV.3 Résultats de simulation .....	54
IV.4 Calcul de l'installation .....	59
IV.4.1 Section des conducteurs de phase en fonction des différents facteurs .....	59
IV.4.2 Section des conducteurs de protection .....	60
IV.4.3 détermination de la chute de tension .....	60
IV.4.4 Détermination des courants de court-circuit .....	61
IV.5 Choix des dispositifs de protection .....	63

CONCLUSION GÉNÉRAL

BIBLIOGRAPHIE

## ***INTRODUCTION GENERALE***

Un réseau électrique industriel est une infrastructure qui achemine l'électricité depuis la source jusqu'aux consommateurs industriels à des niveaux de tension spécifiques, souvent plus élevés que pour les particuliers. Il s'agit d'un système interconnecté de lignes, de câbles souterrains et de transformateurs, qui transporte une grande puissance pour alimenter les machines, les processus des usines et des industries.

D'un point de vue économique, les machines et les équipements affectés à chaque étape de la production doivent fonctionner en continu. Par conséquent, le réseau d'alimentation électrique doit être aussi robuste et ininterrompu que possible. En effet, une coupure de courant entraîne souvent des dysfonctionnements dans la production, causés par des défauts internes ou externes, puisqu'il est quasiment impossible d'atteindre un réseau totalement exempt de pannes.

Afin d'éviter les conséquences économiques des coupures de service (dommages matériels, pertes de production, baisse des ventes, etc.), qui constituent une préoccupation majeure pour les industriels, des méthodes d'ingénierie rigoureuses doivent être appliquées lors de la conception des réseaux d'alimentation électrique des sites industriels. Le concepteur doit également tenir compte de toutes les caractéristiques et de toutes les tailles des sites industriels. C'est indispensable, mais y parvenir n'est pas chose facile en raison de l'ampleur du domaine et de la diversité des processus. Cette conception relève d'un véritable Art qui doit s'exercer dans le respect des normes, de la réglementation et de l'environnement afin d'assurer l'optimisation technico-économique de ce réseau. Généralement, le dimensionnement d'une installation électrique constitue un art complexe, car il nécessite de prendre en compte des impératifs techniques, normatifs, économiques, contractuels et stratégiques.

Dans ce contexte, nous avons organisé notre travail de la manière suivante :

Le premier chapitre, sera consacré aux différents types de postes électriques et leurs caractéristiques, en particulier les postes sources (HTB/HTA) nommés au niveau de la Sonelgaz par (HT/MT) et les postes de distribution (HTA/BT) nommés (MT/BT). Ensuite, nous mentionnerons les divers équipements et composants d'un poste électrique.

Le deuxième chapitre sera dédié à la méthodologie de dimensionnement des réseaux industriels et aux différents régimes de neutre utilisés dans les réseaux électriques, ainsi qu'au calcul des sections des conducteurs en tenant compte de divers facteurs, tels que le mode de pose et la température... etc.

Le troisième chapitre se concentrera sur la définition et la classification des moyens de protection des réseaux électriques industriels (relais, fusibles et disjoncteurs...). Le fonctionnement et la sélectivité seront dédiés.

Le dernier chapitre, présentera un aperçu sur le logiciel Ecodial, qui est utilisé pour la conception des réseaux électriques industriels. Par conséquent pour plus d'application une simulation sera exécutée pour un exemple de réseau industriel.

Enfin, nous terminerons notre travail par une conclusion générale.

# Chapitre I

## Généralités sur les réseaux industriels

## Introduction:

Le réseau électrique a pour rôle de transférer l'électricité des centrales aux consommateurs, en utilisant des lignes de différentes tensions et des transformateurs. Il contrôle la production, le transport et la consommation pour assurer la stabilité du système. La production est ajustée en temps réel selon la demande afin d'éviter les coupures, et cette gestion est réalisée par des centres de dispatching.

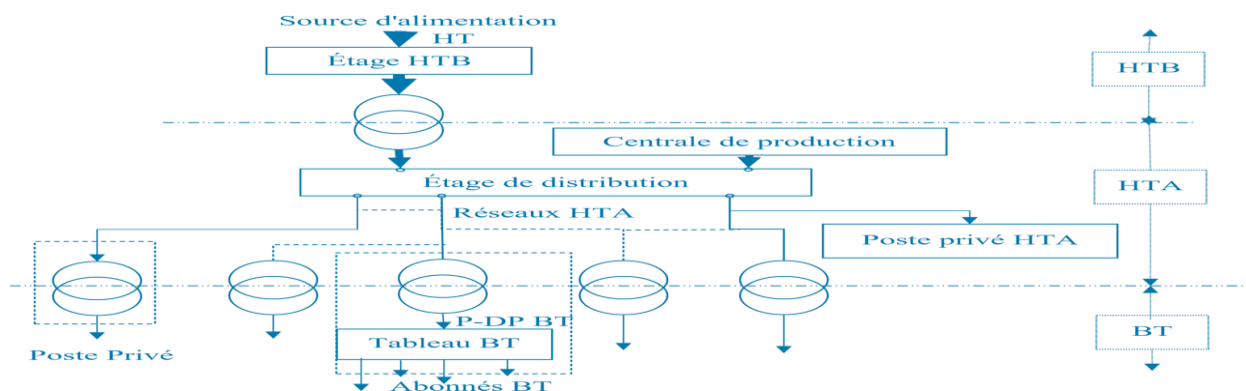
### I.1. Les architectures des réseaux de distributions électriques [1]

L'architecture d'un réseau de distribution électrique industriel est plus ou moins complexe suivant le niveau de tension, la puissance demandée et la sûreté d'alimentation requise. Nous allons identifier les différents postes de livraison HTB et HTA (MT), et la structure des réseaux HTA (MT) et BT.

#### I.1.1. Structure générale d'un réseau privé de distribution [5]

Dans le cas général d'une alimentation en haute tension, un réseau privé de distribution se compose de :

- Un poste de livraison haute tension alimenté par une ou plusieurs sources, comprenant un ou plusieurs jeux de barres ainsi que des disjoncteurs de protection.
- Une source de production interne.
- Un ou plusieurs transformateurs haute tension / moyenne tension.
- Un tableau principal haute tension alternative (moyenne tension) constitué d'un ou plusieurs jeux de barres.
- Un réseau de distribution interne en haute tension alternative (moyenne tension) qui alimente des tableaux secondaires ou des postes haute tension alternative (moyenne tension) / basse tension.
- Des récepteurs en haute tension alternative (moyenne tension).
- Des transformateurs haute tension alternative (moyenne tension) / basse tension.
- Des récepteurs en haute tension alternative (moyenne tension).
- Des transformateurs haute tension alternative (moyenne tension) / basse tension.
- Des tableaux et des réseaux de basse tension.



*Figure I-1 : Structure générale d'un réseau de distribution*

#### I.1.2. La source d'alimentation

L'alimentation des réseaux industriels peut être réalisée soit :

- En HTB (THT / HT) la tension est supérieure à 50 kV.
- En HTA (MT), la tension est comprise entre [ 1kV - 50 kV ] .

- En BT , la tension est inférieure à 1 kV, en général 400 V.

La tension de la source d'alimentation est liée à la puissance (S) de livraison.

- BT  $S \leq 250 \text{ KVA}$
- MT  $250 \text{ KVA} \leq S \leq 10000 \text{ KVA}$
- HT  $10000 \text{ KVA} \leq S \leq 40000 \text{ KVA}$
- THT  $S \geq 40000 \text{ KVA}$

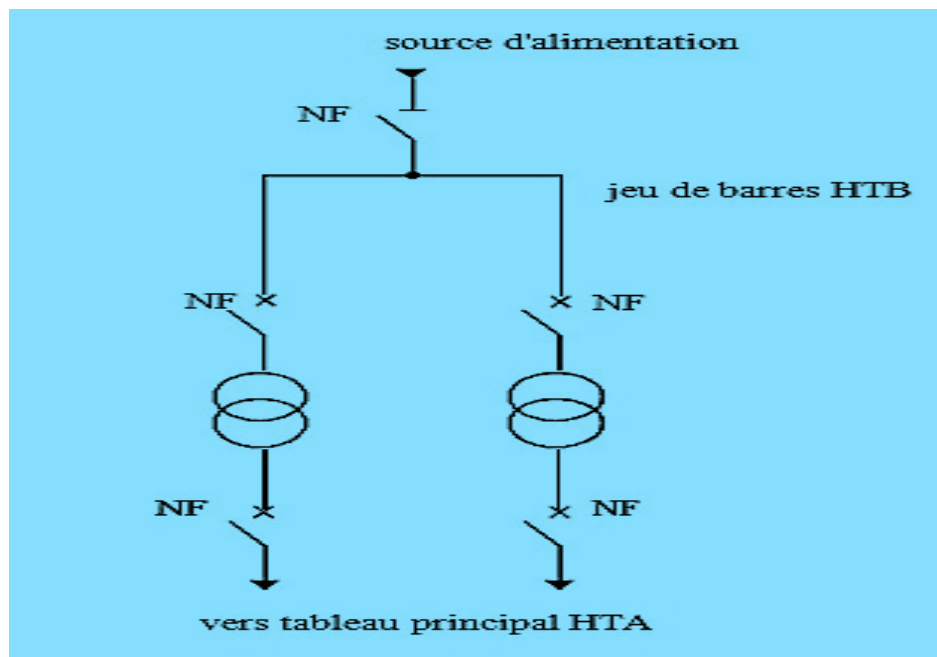
### I.1.3. Les postes de livraison HTB [2]

Ces installations concernent habituellement les fortes puissances, au-delà de 10 MVA. Le poste de raccordement se situe généralement :

- D'une part, il y a le point de connexion au réseau de distribution HTB.
- D'un autre côté, il y a la sortie des transformateurs HTB / HTA(MT).

Les schémas électriques des postes de livraison HTB les plus couramment rencontrés sont les suivants:

#### I.1.3.1. Simple antenne:



*Figure I-2 : Alimentation simple antenne d'un poste de livraison HTB*

#### ➤ Les avantages et les Inconvénients:

**Avantage :** Coût le plus bas.

**Inconvénient :** Disponibilité réduite.

#### I.1.3.2. Double antenne:

##### ➤ Mode d'exploitation:

- **Normal :** Les deux disjoncteurs des sources d'alimentation sont fermés, tout comme le sectionneur de couplage. Par conséquent, les transformateurs reçoivent de l'alimentation des deux sources en même temps.
- **Perturbé :** Si l'une des sources venait à être perdue, l'autre prendrait en charge l'intégralité de l'alimentation.

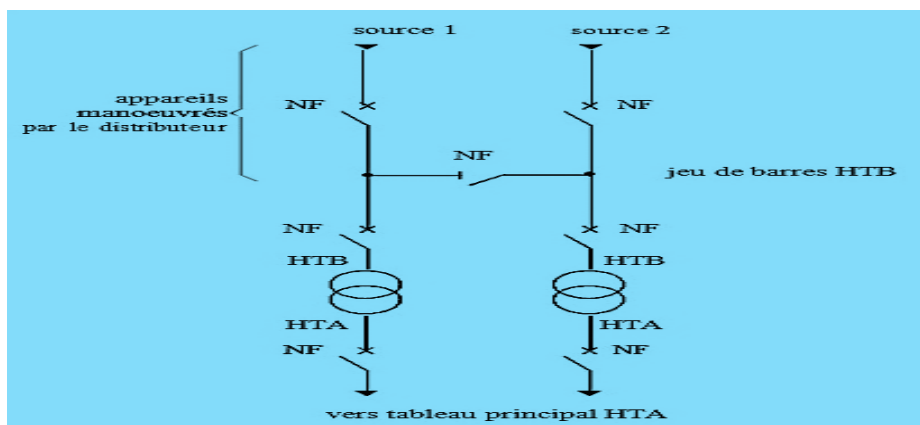


Figure I-3 : Alimentation double antenne d'un poste de livraison HT

➤ Les avantages et les Inconvénients

Avantages

- Disponibilité optimale, car chaque source est capable de fournir l'intégralité de l'alimentation du réseau.
- La maintenance du jeu de barres est possible, mais son fonctionnement sera partiellement affecté pendant cette période.

Inconvénients

- C'est une solution qui revient plus chère que l'alimentation d'une simple antenne.
- En cas de maintenance, cela ne permet qu'un fonctionnement partiel du jeu de barres.

I.1.3.3 Double antenne – Double jeu de barres

➤ Mode d'exploitation:

- **Normal** : La source 1 alimente le jeu de barres JDB1 et les départs Dep1 et Dep2. Elle alimente aussi le jeu de barres JDB2 avec les départs Dep3 et Dep4. Le disjoncteur de couplage peut être ouvert ou fermé.
- **perturbé**
  - En cas de perte d'une source, l'autre source assure la totalité de l'alimentation.
  - En cas de défaillance ou de maintenance d'un jeu de barres, le disjoncteur de couplage est ouvert, et l'autre jeu de barres prend en charge l'alimentation complète des départs.

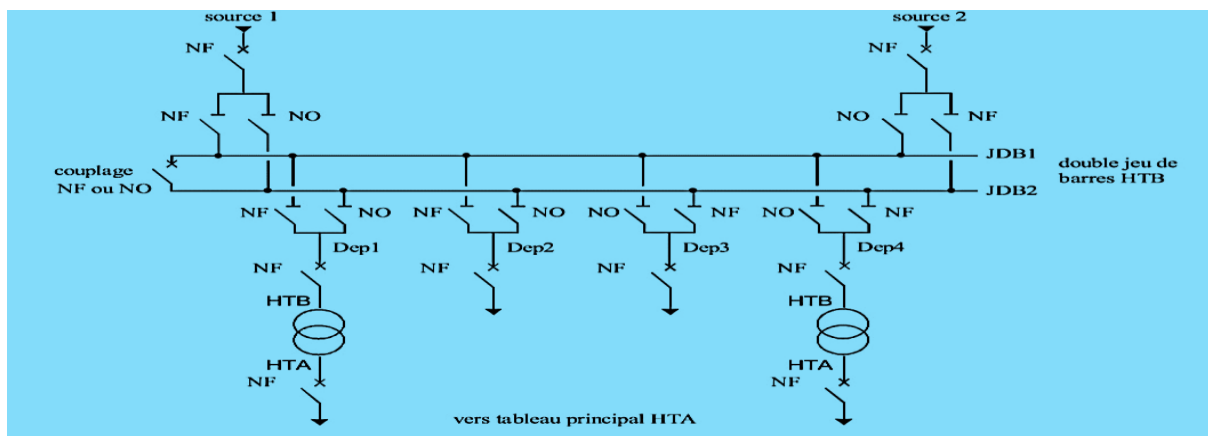


Figure I-4 : Alimentation double antenne – double jeu de barres d'un poste de livraison HTB

➤ **Les avantages et les Inconvénients:**

**Avantages**

- Une disponibilité optimale de l'alimentation.
- Une grande flexibilité dans l'affectation des sources et des charges, ainsi que pour la maintenance des jeux de barres.
- Il est possible de transférer le jeu de barres sans interruption. Lorsque les jeux de barres sont couplés, un sectionneur peut être manœuvré si le sectionneur adjacent est fermé.

**Inconvénients**

Surcoût important par rapport à la solution simple jeu de barres.

### I.1.4 Les réseaux MT [2]

Les réseaux MT comprennent des tableaux électriques et leurs connexions. Nous examinerons d'abord les façons d'alimenter ces tableaux. Ensuite, nous étudierons les différentes configurations de réseaux pour cette alimentation.

#### I.1.4.1 Modes d'alimentation des tableaux:

Nous allons explorer les options d'alimentation principales pour un tableau HTA (MT). L'emplacement de ce tableau dans le réseau n'est pas pris en compte ici. Le nombre de sources et la complexité du tableau changent. Cela dépend du niveau de fiabilité désiré. Les schémas sont montrés par ordre croissant. La fiabilité augmente ainsi. Le coût de l'installation suit cette tendance.

##### I.1.4.1.1 Un jeu de barres, une source d'alimentation

➤ **Fonctionnement:**

Si le courant est coupé, le jeu de barres ne fonctionne pas. Il reste inactif jusqu'aux réparations. Ceci est illustré dans la figure (I-4).

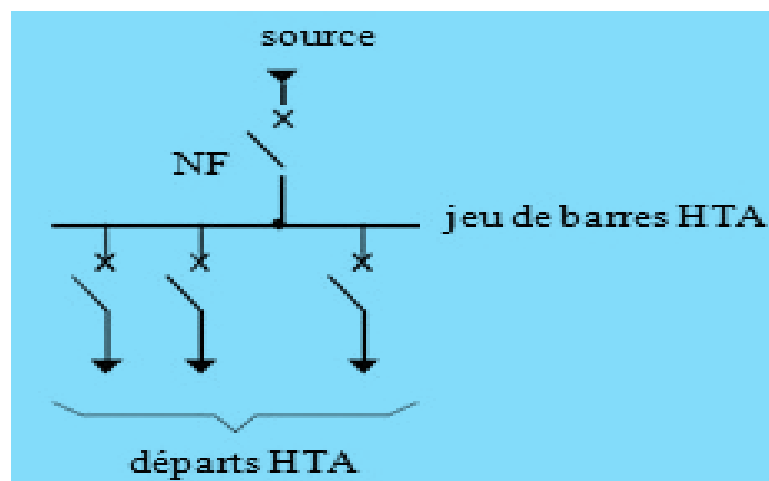
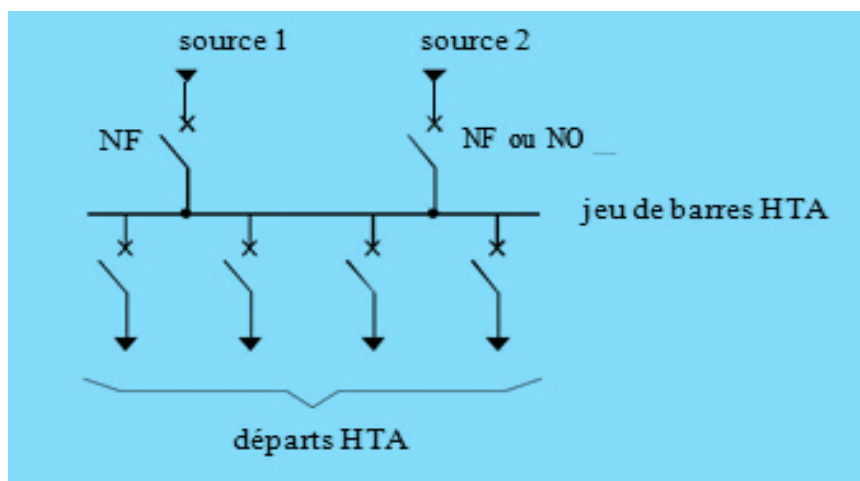


Figure I-5 : 1 jeu de barres, 1 source d'alimentation

### I.1.4.1.2 Un jeu de barres sans couplage, 2 sources d'alimentations:

#### ➤ Fonctionnement

Dans la figure (I-6) les deux alimentations peuvent marcher en même temps. L'une peut prendre la place de l'autre si besoin. Si la barre omnibus tombe en panne ou est en entretien, les départs ne reçoivent plus d'alimentation.

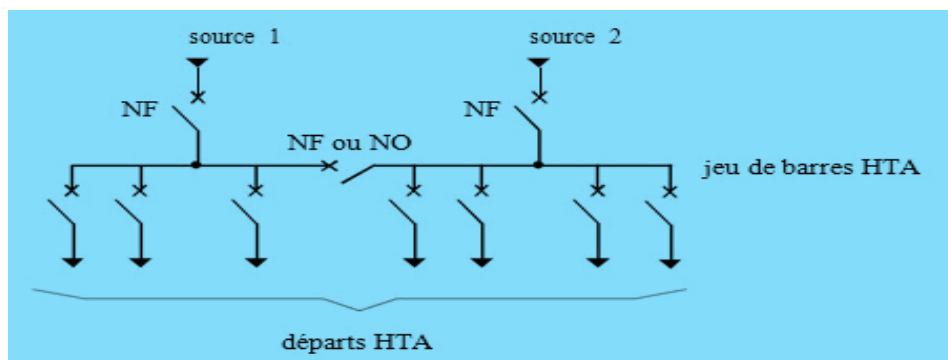


*Figure I-6 : 1 jeu de barres sans couplage, 2 sources d'alimentation*

### I.1.4.1.3 Deux demi-jeux de barres avec couplage, 2 sources d'alimentations

#### ➤ Fonctionnement :

Le disjoncteur de couplage peut être ouvert ou fermé. S'il est ouvert, chaque source alimente une moitié des barres omnibus. Si une source est perdue, le disjoncteur de couplage se ferme. L'autre source alimente alors les deux moitiés des barres omnibus. Si une moitié des barres omnibus a un problème ou est en entretien, seul un groupe de sorties cesse de recevoir du courant.



*Figure I-7 : 2 demi-jeux de barres avec couplage, 2 sources d'alimentation*

#### I.1.4.1.4 Un jeu de barres sans couplage, 3 sources d'alimentations :

##### ➤ Fonctionnement

La figure (I-8) représente les trois sources peuvent agir de concert, ou l'une peut remplacer les deux autres. Si le jeu de barres tombe en panne ou est en entretien, les sorties ne reçoivent plus d'énergie.

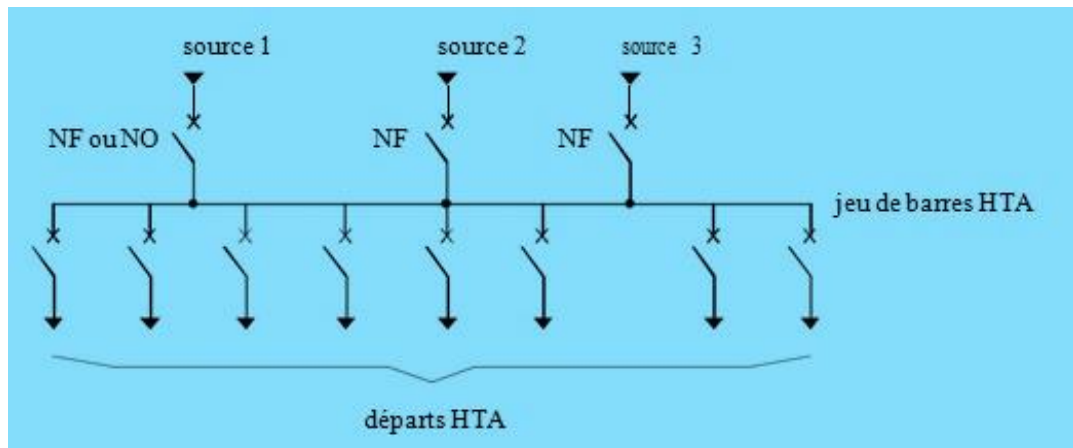


Figure I-8 : 1 jeu de barres sans couplage, 3 sources d'alimentation

#### I.1.4.1.5 Trois sections de barres avec couplage, 3 sources d'alimentations:

##### ➤ Fonctionnement

Les disjoncteurs de couplage peuvent rester ouverts ou fermés. Ouverts, ils isolent chaque source sur sa propre partie de barre. Si une source disparaît, le disjoncteur se ferme. Une source alimente alors deux parties de barre. L'autre source n'en alimente qu'une seule. Si une partie de barre a un problème, seul un groupe de départs perd son courant. Dans la figure (I-9) mentionnée.

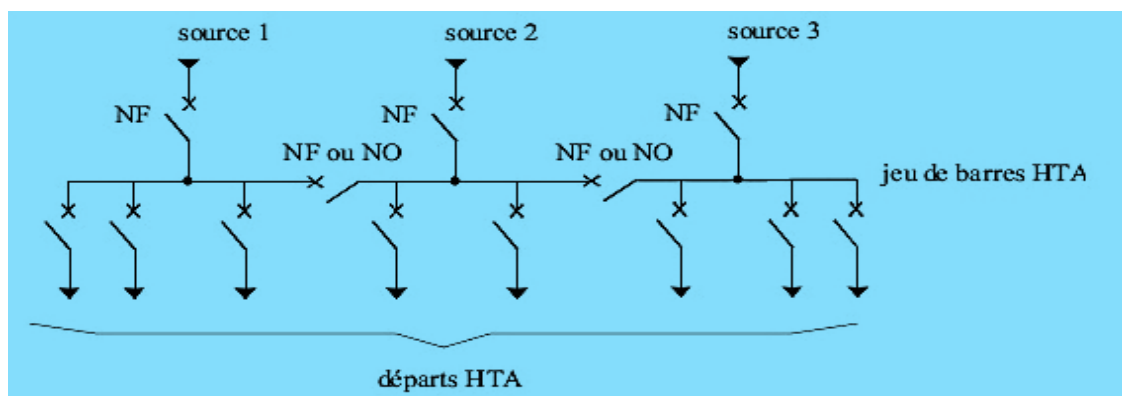


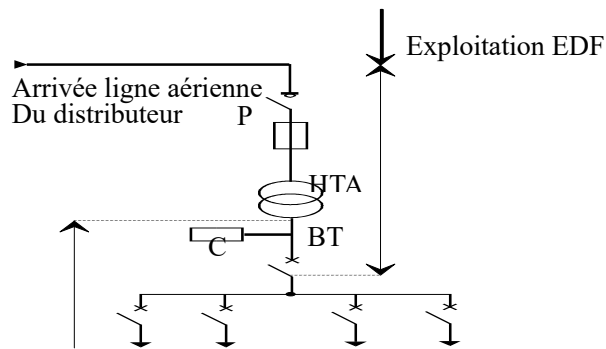
Figure I-9 : 3 sections de barres avec couplage, 3 sources d'alimentation

#### I.1.5 Les postes de livraison HTA(MT):

##### I.1.5.1 Les postes de livraison HTA(MT) à comptage BT: [3]

Ce type des postes HTA (MT)/BT sont caractérisé par:

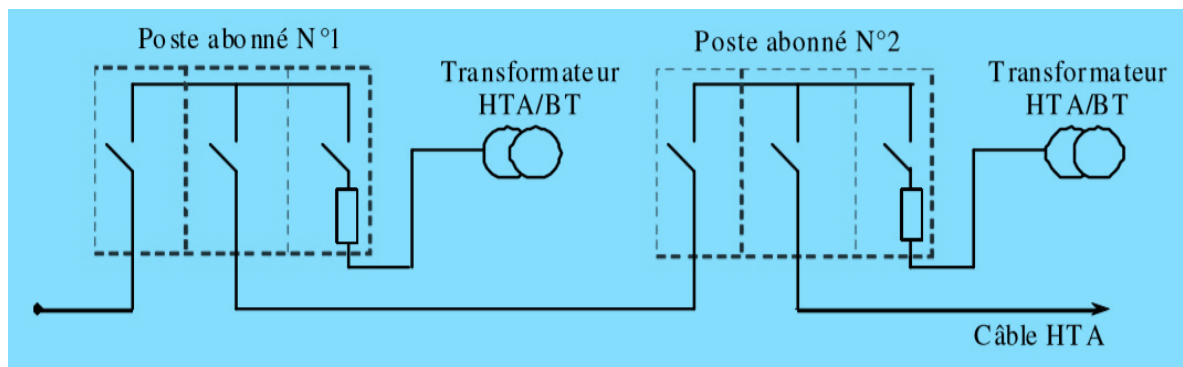
- Le courant secondaire  $I \leq 2000A$
- Les tensions composée 400 V.
- Puissance :  $S \leq 1250 KVA$
- Ce type de poste utilisé (figure I-10) en général pour la distribution publique HTA en lignes aériennes, il comporte une seule source d'alimentation possible par le distributeur
- Cellule de protection générale équipée d'un disjoncteur si le courant nominal  $I \geq 45A$ .



**Figure I-10 :** Alimentation en simple dérivation d'un poste de livraison HTA(MT) à comptage BT

### I.1.5.1.1 Alimentation en coupure d'artère: [3]

La distribution en coupure d'artère (figure I-11) est couramment utilisée. Le réseau de distribution traverse le poste de livraison de l'abonné, qui est équipé de deux cellules "arrivée". Les agents du service local de distribution se servent des interrupteurs de ces cellules pour isoler, en cas de travaux ou de défaillance, le tronçon situé entre deux postes.



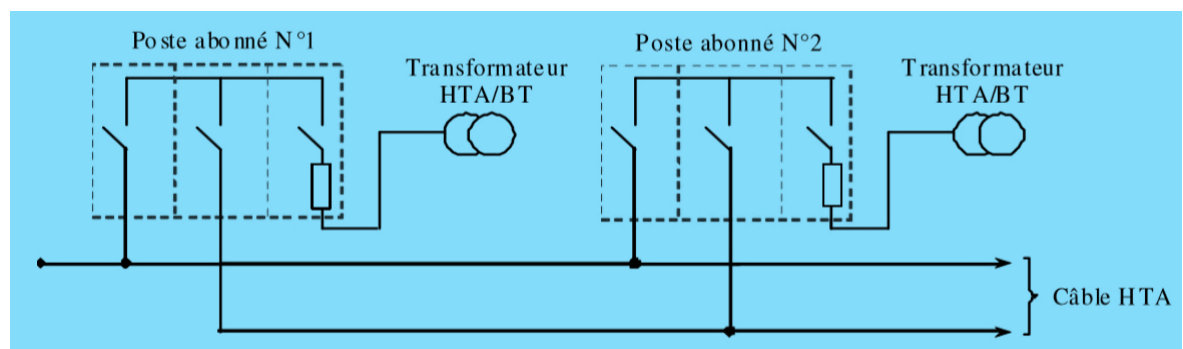
**Figure I-11 :** Poste abonné alimenté en coupure d'artère

### I.1.5.1.2 Alimentation en double dérivation : [3]

La distribution en double dérivation (figure I.12) permet de garantir un haut niveau de disponibilité de l'énergie électrique dans les zones à forte densité. Les postes de livraison sont reliés au réseau par des câbles et peuvent être permutés soit automatiquement en cas de défaut, soit à distance lors des travaux.

#### ➤ Domaines d'utilisation

- Réseaux de distribution souterrains dans les zones urbaines.
- Réseaux HT. d'activités tertiaires.



**Figure I-12 :** Poste abonné alimenté en double dérivation

### ➤ Domaines d'utilisation

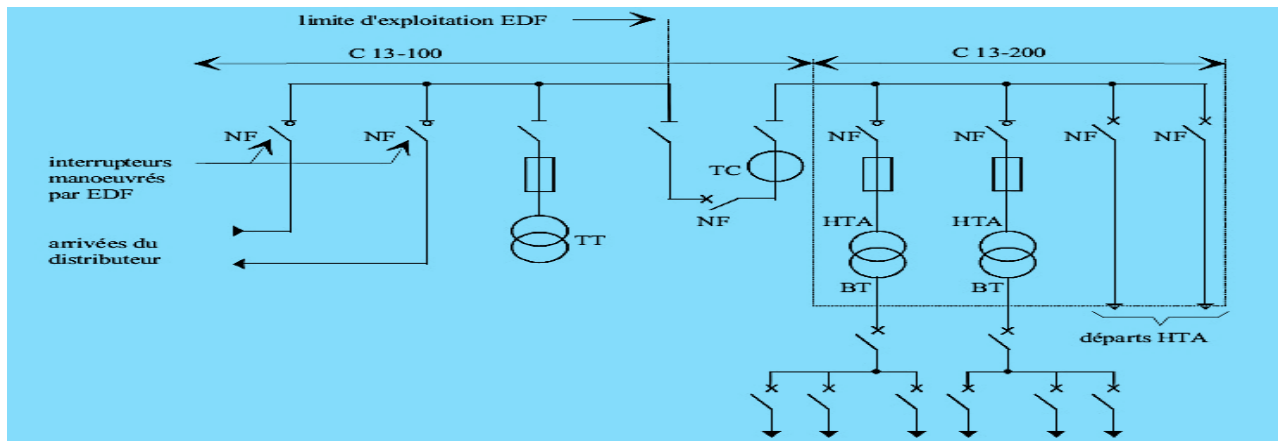
- Distributions aériennes rurales.
- Postes sur poteau.
- Réseaux dans les villes à forte densité ou en expansion.
- Distribution aérienne industrielle.

#### I.1.5.2 Les postes de livraison HTA( MT) à comptage HT [1]

Ces postes peuvent contenir plusieurs transformateurs. Un seul suffit si son courant secondaire dépasse 2000 A. Cela correspond à plus de 1250 kVA avec une tension de 400 V. Des départs HTA (MT) peuvent aussi être intégrés. La section allant du raccordement réseau HTA au sectionneur après le disjoncteur général suit la norme NF C 13-100. Les jeux de barres, le réseau HTA (MT) et les transformateurs respectent la norme NF C 13-200. L'alimentation du distributeur peut se faire en simple, coupure d'artère ou double dérivation.

### ➤ Exemple de schéma:

Poste de livraison avec une alimentation en coupure d'artère comportant 2 transformateurs et 2 départs HTA ( MT).



*Figure I-13: Exemple de poste de livraison HTA(MT) à comptage HT*

### ➤ Fonctionnement de la figure I-13 :

- Le comptage HT est réalisé grâce au TT (transformateur de tension) et au TC (transformateur de courant).
- Le transformateur de courant est généralement équipé d'un deuxième secondaire destiné à la protection contre les surintensités.

#### I.1.6 Les réseaux MT à l'intérieur du site [4]

Nous examinerons d'abord les manières dont les tableaux HTA sont alimentés. Ensuite, nous aborderons les différentes organisations des réseaux qui fournissent cette alimentation.

##### I.1.6.1 Sources et départs en "duplex":

### ➤ Fonctionnement

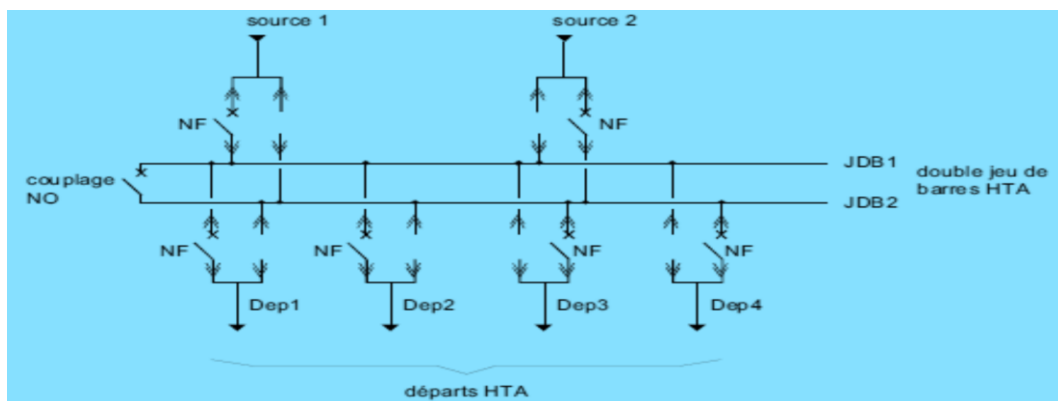
En mode normal, le disjoncteur de couplage demeure ouvert. Chaque source a la capacité d'alimenter l'un des jeux de barres via ses deux cellules de disjoncteur débouchables. Pour des raisons économiques,

un seul disjoncteur est utilisé pour les deux cellules, qui sont installées en opposition. Cette configuration facilite le transfert du disjoncteur d'une cellule à l'autre. Par exemple, pour que la source 1 alimente le jeu de barres JDB2, il suffit de repositionner le disjoncteur vers la cellule correspondante à la source 1. Le même concept s'applique aux départs, où chaque départ est relié à deux cellules débouchables ainsi qu'à un disjoncteur. En fonction de la position du disjoncteur, les départs peuvent être alimentés par l'un ou l'autre des jeux de barres. Par exemple, la source 1 alimente JDB1 ainsi que les départs Dep1 et Dep2, tandis que la source 2 est responsable de l'alimentation de JDB2 et des départs Dep3 et Dep4.

Lorsqu'une source d'alimentation est perdue, le disjoncteur de couplage se ferme, permettant à l'autre source de prendre en charge l'ensemble de l'alimentation.

En cas de défaillance ou de maintenance d'un jeu de barres, le disjoncteur de couplage s'ouvre, et chaque disjoncteur est alors configuré pour le jeu de barres opérationnel, assurant ainsi la continuité de l'alimentation pour tous les départs.

Cependant, le système "duplex" présente un inconvénient majeur : il ne permet pas d'effectuer des permutations automatiques. En cas de panne, chaque permutation nécessite plusieurs minutes et implique l'arrêt des jeux de barres.

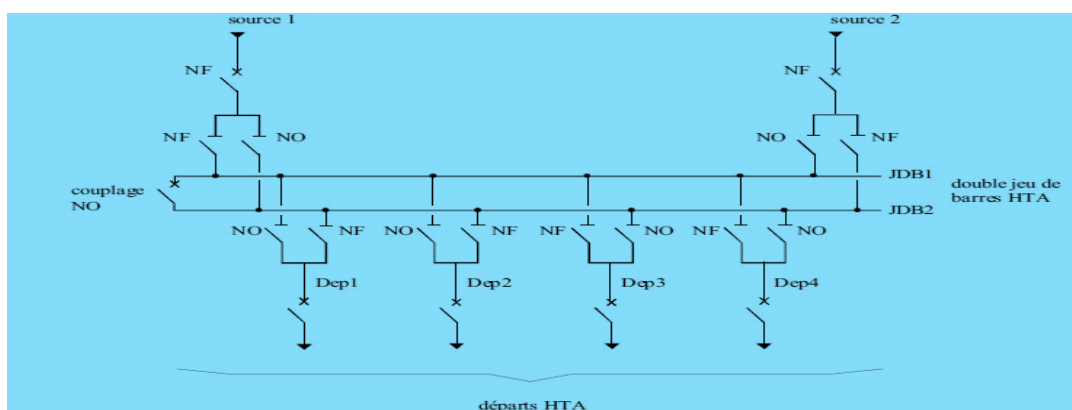


*Figure I-14 : Sources et départs en "duplex"*

### I.1.6.2 2 jeux de barres, 2 attaches par départ, 2 sources d'alimentation

#### ➤ Fonctionnement:

Durant un fonctionnement normal, le disjoncteur de couplage demeure ouvert. Chaque ligne peut recevoir son alimentation via un des deux jeux de barres. Cela dépend de la position des sectionneurs.



*Figure I-15 : 2 jeux de barres, 2 attaches par départ, 2 sources d'alimentation*

### I.1.6.3 2 Doubles jeux de barres couplées entre eux :

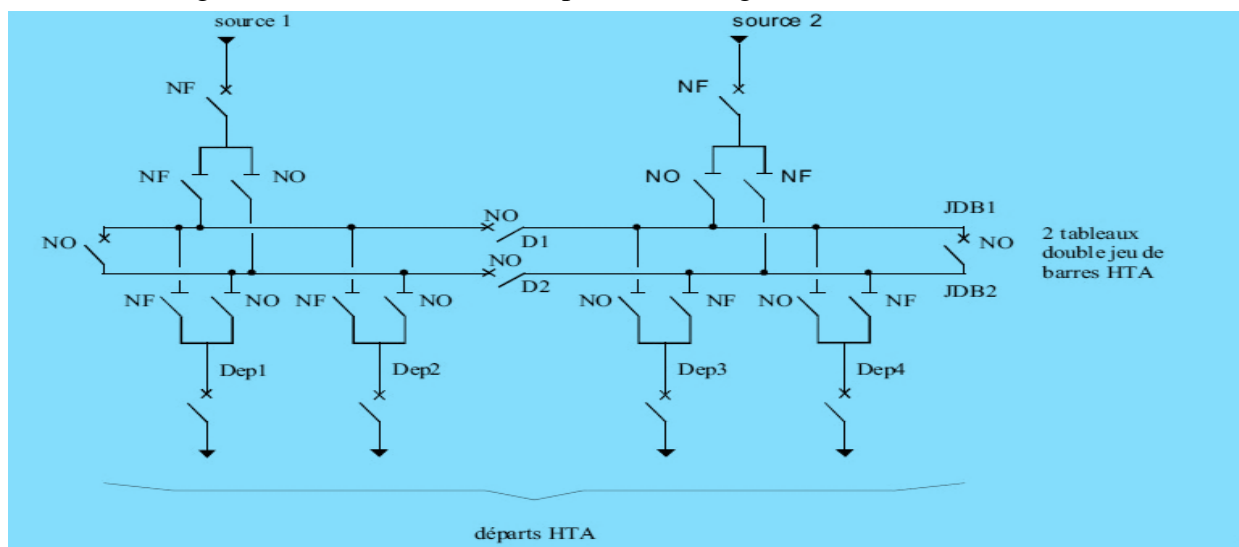
Chaque départ requiert un unique sectionneur fermé. La source 1 alimente JDB1, Dep1 et Dep2. La source 2 alimente JDB2, Dep3 et Dep4.

Si une source est perdue, le disjoncteur de couplage se ferme. L'autre source assure alors toute l'alimentation.

En cas de défaut ou de maintenance sur un jeu de barres, le disjoncteur de couplage s'ouvre. L'autre jeu de barres alimente alors tous les départs.

#### ➤ Fonctionnement

Le schéma présente une grande similitude avec le précédent (comportant 2 jeux de barres, 2 attaches par départ, et 2 sources d'alimentation). La séparation du double jeu de barres en 2 tableaux avec couplage (D1 et D2) permet une flexibilité accrue. En mode de fonctionnement normal, chaque jeu de barres fournit de l'énergie à un nombre limité de départs..sur la figure (I-16) mentionée .



*Figure I-16 : 2 doubles jeux de barres couplés entre eux*

### I.1.7 Structures des réseaux HTA(MT) [1]:

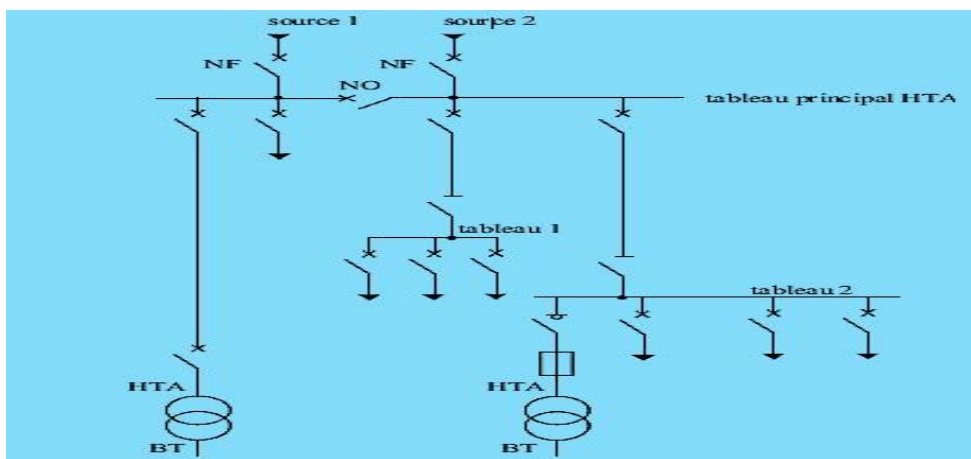
Nous allons analyser les principales configurations de réseaux HTA employées pour fournir de l'énergie aux tableaux secondaires ainsi qu'aux transformateurs HTA (MT) /BT. La complexité de la structure dépend du degré de fiabilité requis.

Les Schémas électriques des réseaux HTA que l'on rencontre le plus fréquemment sont les suivants :

#### I.1.7.1 Radiale en simple antenne :

##### ➤ Fonctionnement :

- Les tableaux 1 et 2, de même que les transformateurs, reçoivent leur alimentation d'une unique source, ce qui implique l'absence de solution de secours en cas de défaillance.
- Cette configuration est conseillée lorsque les besoins en disponibilité sont restreints, et elle est couramment employée dans les réseaux de cimenterie.

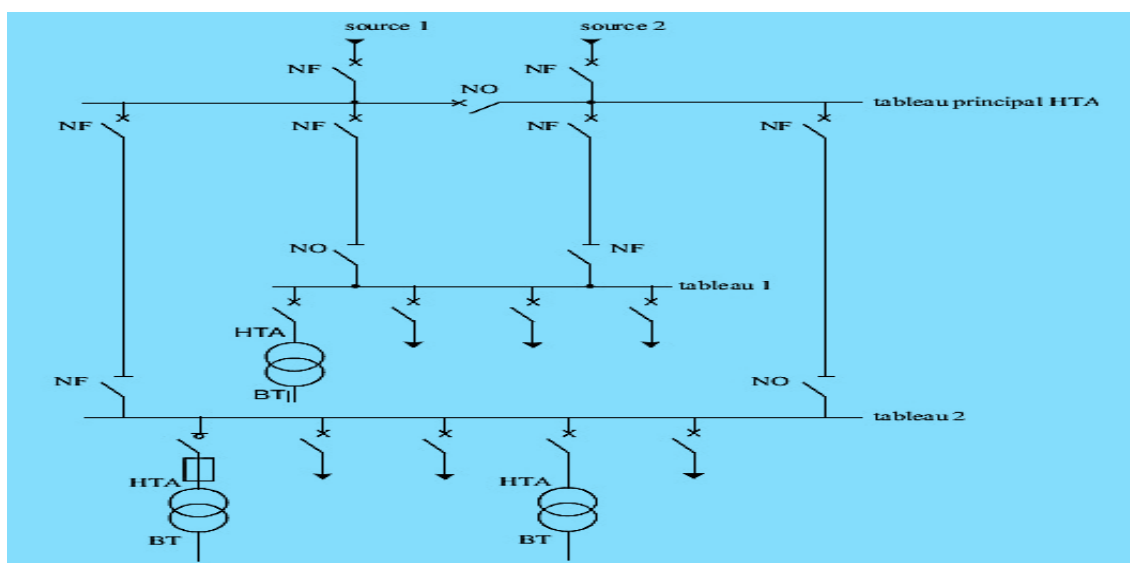


**Figure I-17 :** Réseau HTA(MT) radiale en simple antenne

### I.1.7.2 Radial en double antenne sans couplage

#### ➤ Fonctionnement:

- Les tableaux 1 et 2 proviennent de deux sources distinctes, chacune pouvant servir de secours à l'autre. La disponibilité est satisfaisante.
- Le fait que les sources des tableaux 1 et 2 ne soient pas interconnectées limite la flexibilité de leur exploitation.

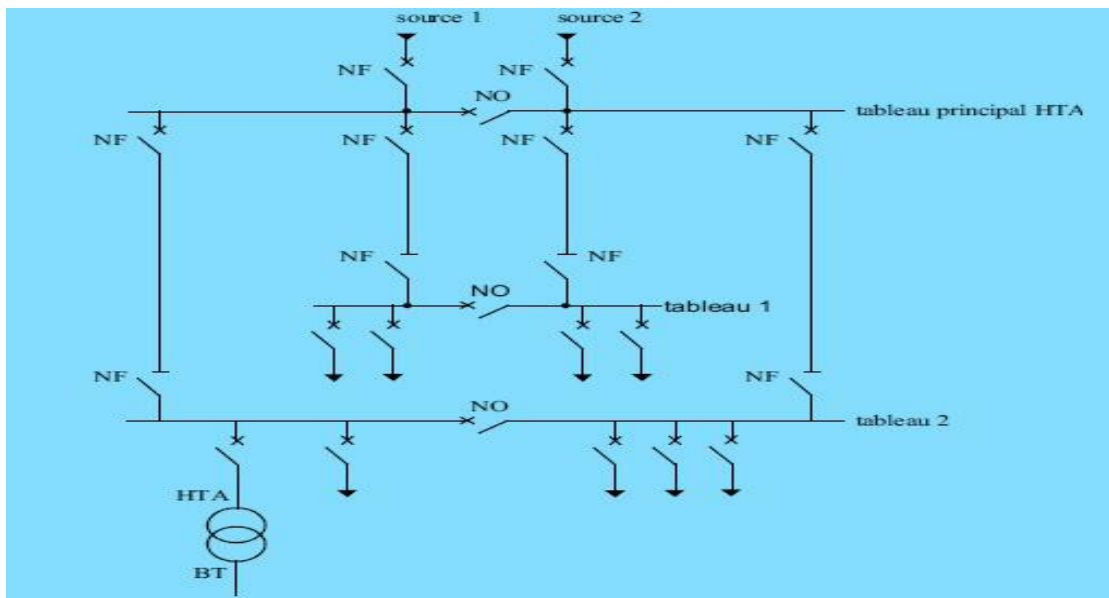


**Figure I-18 :** Réseau HTA(MT) radial en double antenne sans couplage

### I.1.7.3 Radial en double antenne avec couplage :

#### ➤ Fonctionnement

- Les tableaux 1 et 2 reçoivent leur alimentation de deux sources couplées, et en conditions normales, les disjoncteurs de couplage demeurent ouverts.
- Chaque demi-jeu de barres peut être réparé et alimenté par l'une ou l'autre des sources.
- Cette configuration est conseillée lorsque la disponibilité doit être optimale, et elle est couramment employée dans les domaines de la sidérurgie et de la pétrochimie.

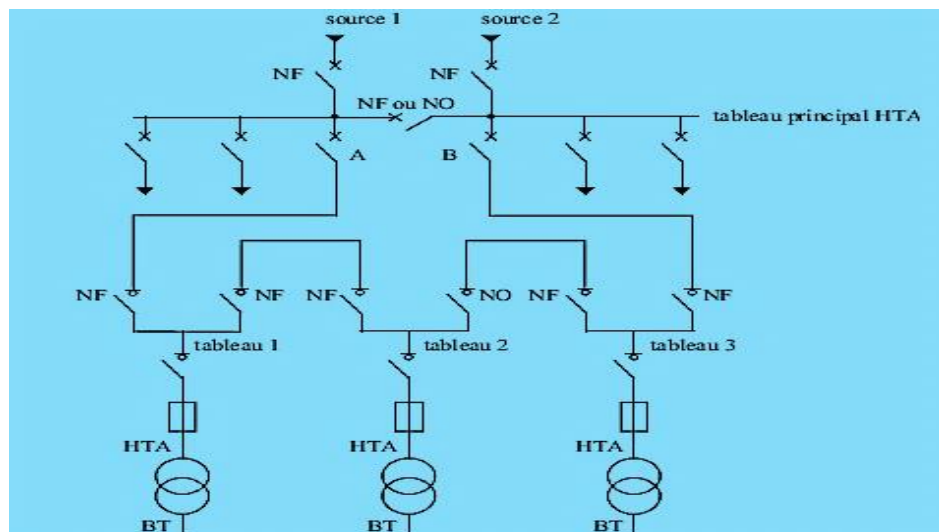


*Figure I-19 : Réseau HTA radial en double antenne avec couplage*

❖ **En boucle:**

Cette solution convient bien aux réseaux étendus avec des prévisions d'extensions importantes. Elle offre deux options, selon que la boucle soit ouverte ou fermée en fonctionnement normal.

a) **Boucle ouverte:**



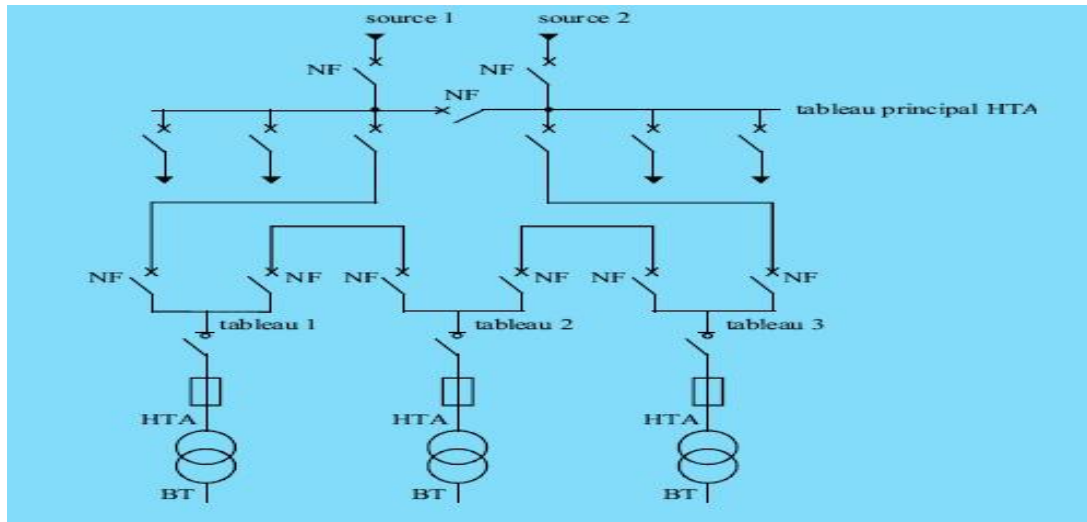
*Figure I-20 : Réseau HTA en boucle ouverte*

➤ **Fonctionnement:**

- Les têtes de boucle A et B sont dotées de disjoncteurs.
- Les dispositifs de coupure des tableaux 1, 2 et 3 sont des interrupteurs.
- En conditions normales, la boucle est ouverte au niveau du tableau 2.
- Les tableaux peuvent être alimentés par l'une des deux sources disponibles.
- En cas de défaillance sur un câble ou de perte d'une source, la boucle est reconfigurée pour remédier à la panne.

- La reconfiguration de la boucle entraîne une coupure de quelques secondes si un automatisme est en place. En revanche, si la reconfiguration est effectuée manuellement, la coupure peut durer plusieurs minutes, voire des dizaines de minutes.

### b) Boucle fermée:



*Figure I-21 : Réseau HTA en boucle fermée*

#### ➤ Fonctionnement de la figure I-21 :

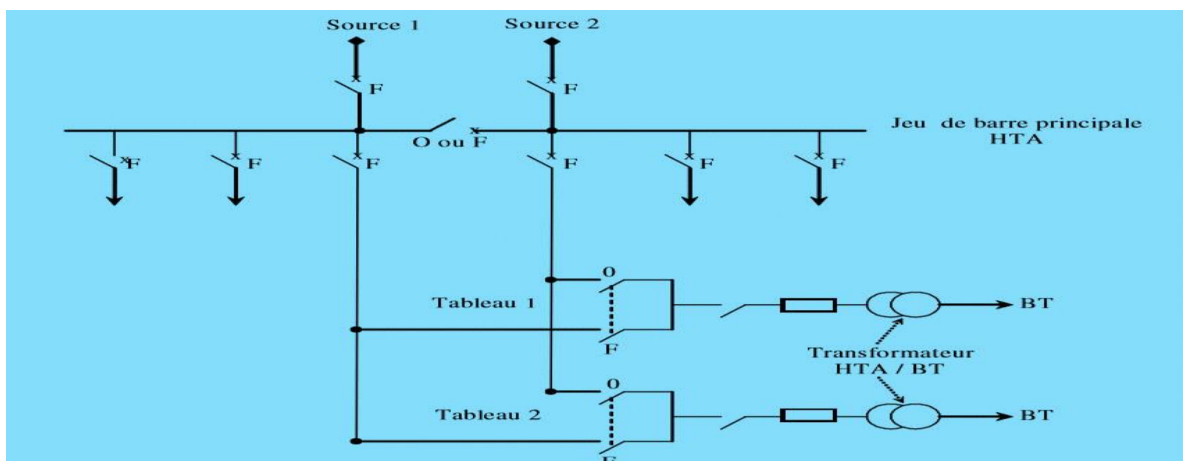
- Tous les appareils conçus pour interrompre le circuit sont des disjoncteurs.
- Dans des conditions normales, la boucle demeure fermée.
- Le système de protection prévient les coupures d'alimentation en cas de panne.

Cette approche fournit des performances supérieures par rapport à la boucle ouverte, car elle empêche les interruptions d'alimentation. Néanmoins, elle entraîne des coûts plus importants, car elle nécessite l'installation de disjoncteurs dans chaque tableau ainsi qu'un système de protection plus sophistiqué.

#### I.1.7.4 En double dérivation :

##### ➤ Fonctionnement:

- Les tableaux 1, 2 et 3 peuvent être réparés et alimentés indépendamment par l'une ou l'autre des sources.
- Cette configuration est particulièrement adaptée aux réseaux étendus, surtout en ce qui concerne des extensions futures limitées et une exigence de haute disponibilité. Dans la figure mentionnée (I-22)



*Figure I-22 : Réseau HTA en double dérivation*

## I.2 Les réseaux BT [4]:

Nous débuterons par une analyse des différents modes d'alimentation des tableaux basse tension. Ensuite, nous étudierons les schémas d'alimentation des tableaux qui sont alimentés par des groupes électrogènes ou par des systèmes d'alimentation sans interruption (ASI).

Les principaux composants d'une ASI sont présentés dans la figure ci-dessous.

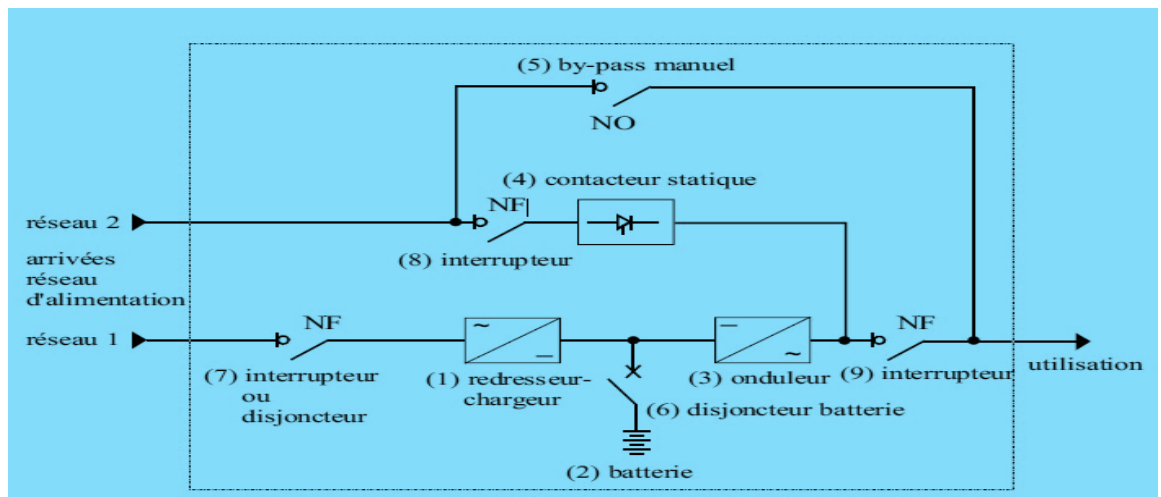


Figure I-23 : Constitution d'une alimentation sans interruption (ASI)

### I.2.1 Modes d'alimentation des tableaux BT:

Nous allons analyser les principales options d'alimentation pour un tableau basse tension, indépendamment de sa position dans le réseau. La quantité de sources d'alimentation disponibles ainsi que la complexité du tableau dépendent du niveau de fiabilité opérationnelle requis.

#### I.2.1.1 Alimentation des tableaux BT avec une seule source d'alimentation:

##### ➤ Fonctionnement

Dans ce contexte, tous les départs sont tributaires d'une unique source d'alimentation. En cas de défaillance de T1 ou de perte de cette source, l'intégralité de l'installation est mise à l'arrêt jusqu'à ce que la réparation soit effectuée.

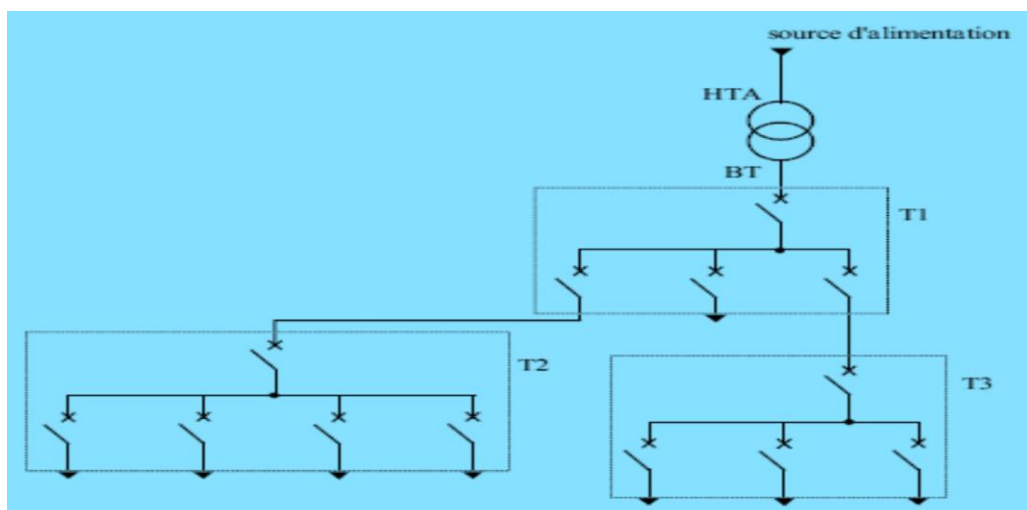


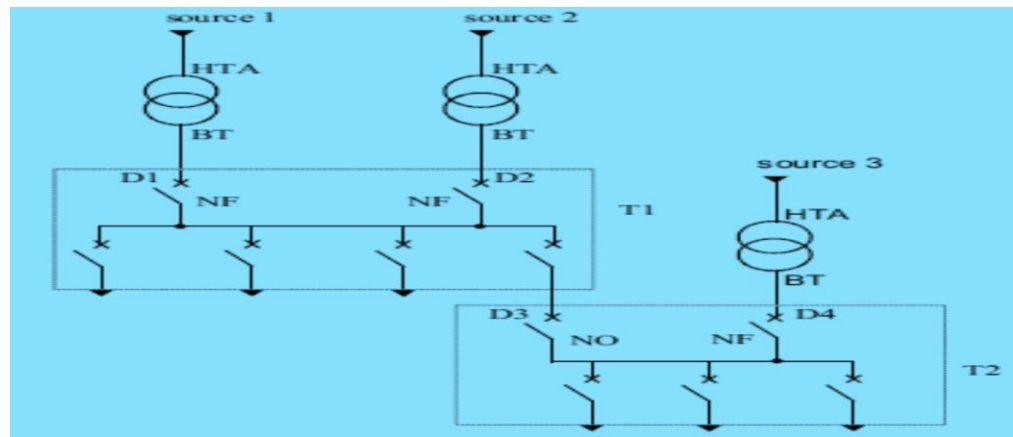
Figure I-24 : Alimentation des tableaux BT avec une seule source d'alimentation

### I.2.1.2 Alimentation des tableaux BT par une double alimentation sans couplage

#### ➤ Fonctionnement de la figure I-25 :

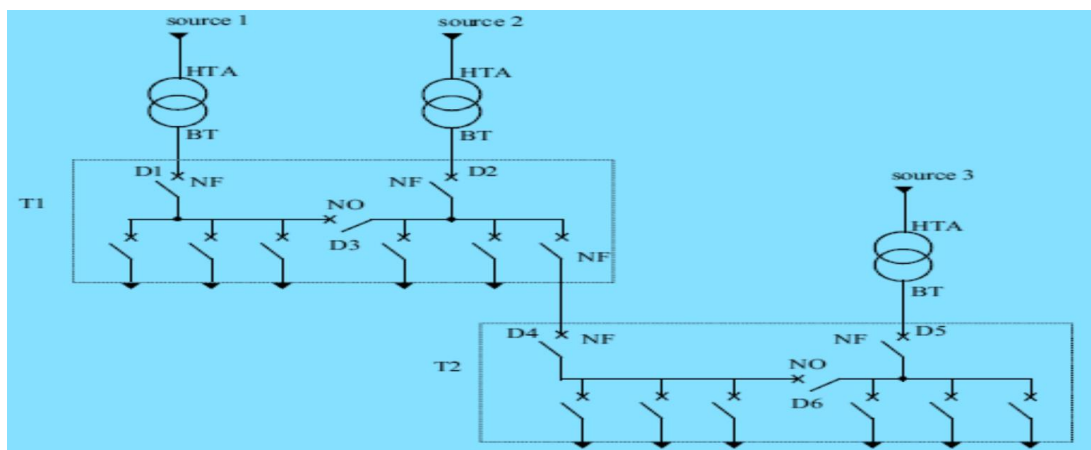
Dans ce modèle d'alimentation, chaque tableau possède sa propre source.

-En cas de panne, T2 est alimenté par la deuxième source.



*Figure I-25 : Alimentation des tableaux BT par une double alimentation sans couplage*

### I.2.1.3 L'alimentation des tableaux BT par une double alimentation avec couplage



*Figure I-26 : Alimentation des tableaux BT par une double alimentation avec couplage*

Le tableau T1 est alimenté de manière redondante grâce à un couplage de deux transformateurs HTA/BT.

#### ➤ Fonctionnement de l'alimentation de T1

Le tableau T1 reçoit son alimentation de deux sources, couplées par l'intermédiaire de deux transformateurs. Si l'une des sources venait à être perdue, le disjoncteur de couplage D3 se ferme, permettant ainsi à un seul transformateur de fournir l'alimentation à l'ensemble de T1.

#### ➤ Fonctionnement de l'alimentation de T2

Le tableau T2 est alimenté par un système double avec un couplage via deux départs. Dans des conditions normales, le disjoncteur de couplage D6 demeure ouvert, et chaque source fournit de l'énergie à une section de T2. En cas de perte d'une des sources, le disjoncteur de couplage D6 se ferme, permettant à l'autre source d'assurer l'alimentation totale de T2.

### I.2.1.4 L'alimentation des tableaux BT par une triple alimentation sans couplage

#### ➤ Le fonctionnement:

Le tableau T1 reçoit son alimentation de trois sources différentes, sans interconnexion, grâce à deux transformateurs HTA (MT)/BT et à une sortie d'un autre tableau BT.

- En fonctionnement normal, le tableau est alimenté par les deux transformateurs en parallèle. Si l'un ou les deux transformateurs tombent en panne, l'alimentation du tableau T1 est garantie par la sortie d'un autre tableau.

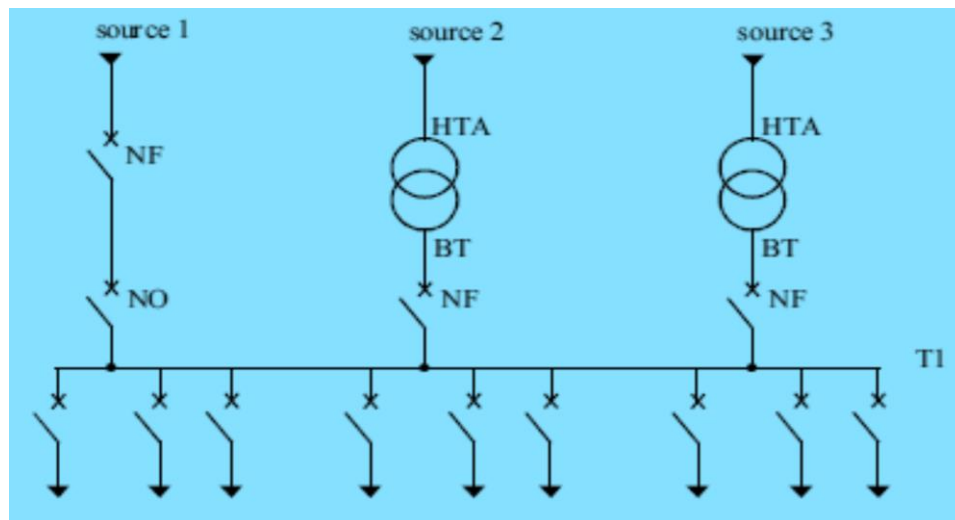


Figure I-27 : Alimentation des tableaux BT par une triple alimentation sans couplage

## I.3 Les tableaux BT secourus par des alternateurs [4]

### ➤ 1 Transformateur et 1 alternateur

#### ➤ Fonctionnement :

Dans des conditions de fonctionnement standard, D1 est en position fermée tandis que D2 est en position ouverte. Le tableau T2 reçoit son alimentation du transformateur. En cas de défaillance de la source normale, les étapes suivantes sont mises en œuvre :

1. Activation du dispositif normal/secours, ouverture de D1.
2. Délestage potentiel d'une partie des récepteurs des circuits prioritaires, afin de réduire l'impact de la charge sur l'alternateur.
3. Mise en marche de l'alternateur.
4. Fermeture de D2 lorsque la fréquence et la tension de l'alternateur se situent dans les plages requises.
5. Délestage des récepteurs qui ont été éventuellement délestés à l'étape 2.

Lorsque la source normale est rétablie, le dispositif normal/secours rétablit l'alimentation de T2 à partir de cette source et l'alternateur est arrêté.

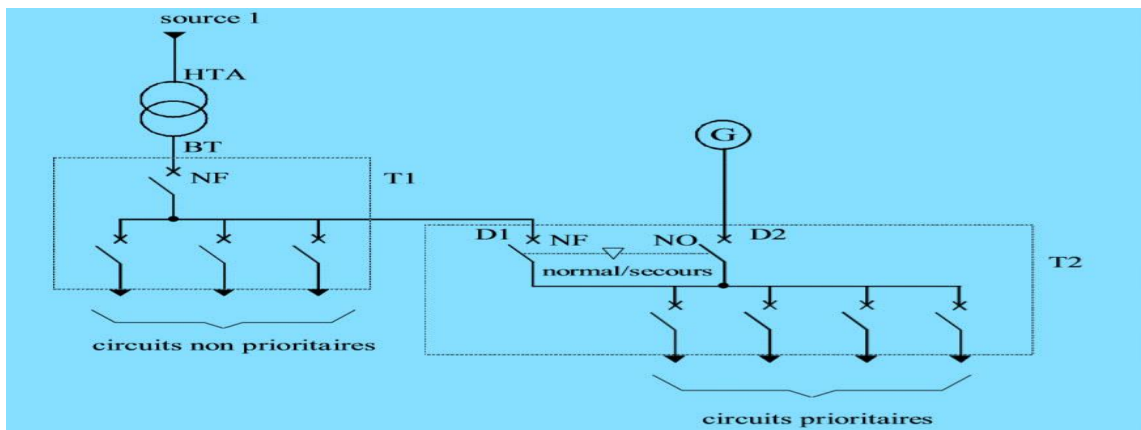


Figure I-28 : 1 Transformateur et 1 alternateur

### I.3.1 Les tableaux BT secourus par une alimentation sans interruption (ASI) [4]

Tableau BT assisté par un onduleur, avec un alternateur pour remédier à la durée limitée de la batterie (généralement autour de 15minutes)

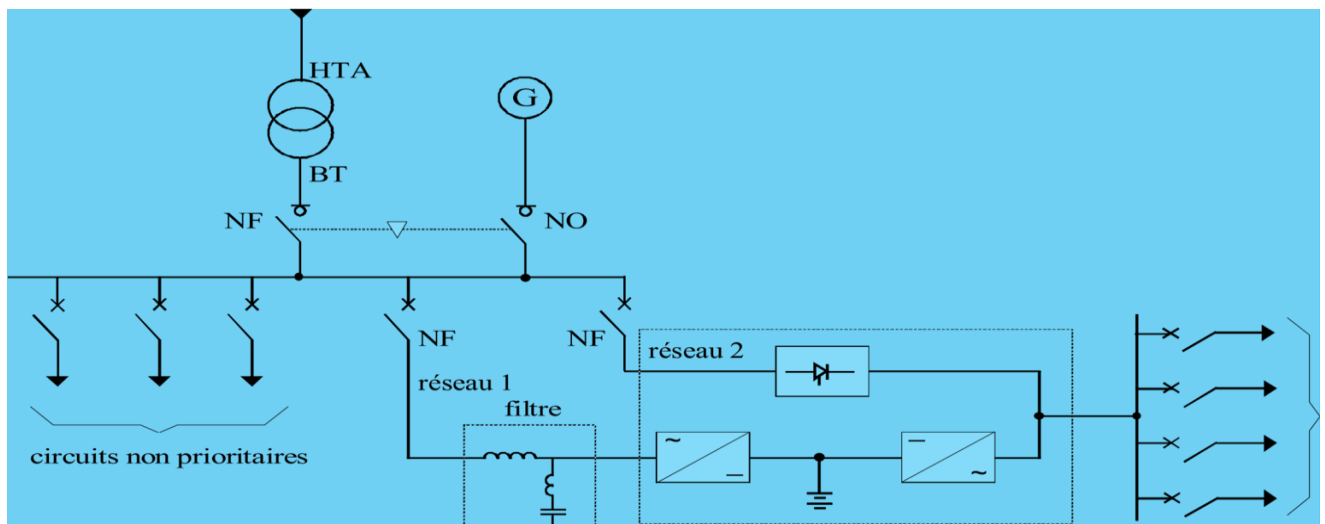


Figure I-29 : Tableau BT secouru par un onduleur

Le filtre contribue à réduire les courants harmoniques qui remontent dans le réseau d'alimentation .

### Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons examiné les structures des réseaux de distribution à moyenne tension ainsi que des postes HTA. Ces réseaux sont cruciaux pour le transport de l'électricité vers diverses régions. Néanmoins, ils sont vulnérables à plusieurs problèmes tels que les courts-circuits, les surtensions et les surintensités. Par conséquent, il est impératif d'utiliser des systèmes de protection efficaces pour détecter rapidement les anomalies. Ces systèmes permettent d'interrompre le courant dès qu'un problème se présente, ce qui réduit les dommages et renforce la stabilité du réseau. Il est essentiel de sélectionner des systèmes de protection appropriés pour chaque type de défaut. Ainsi, nous assurons une distribution d'électricité continue, sécurisée et fiable.

# Chapitre II

## Méthodologie de dimensionnement des réseaux industriels

## Introduction :

Le dimensionnement d'un réseau industriel est une étape essentielle dans le transport et la distribution de l'énergie électrique. Elle détermine la protection et la fiabilité du système ainsi que son efficacité énergétique et sa conformité aux normes en vigueur. Pour ces raisons, la conception nécessite un niveau élevé de connaissance des contraintes liées au fonctionnement du réseau, à son environnement et aux besoins spécifiques de l'industrie concernée.

Dans ce chapitre, nous présentons une méthodologie structurée de dimensionnement d'un réseau industriel, illustrée par un organigramme facilitant la prise de décision à chaque étape.

### II.1 Algorithme de dimensionnement d'un réseau :

➤ *Algorithme à suivre :*

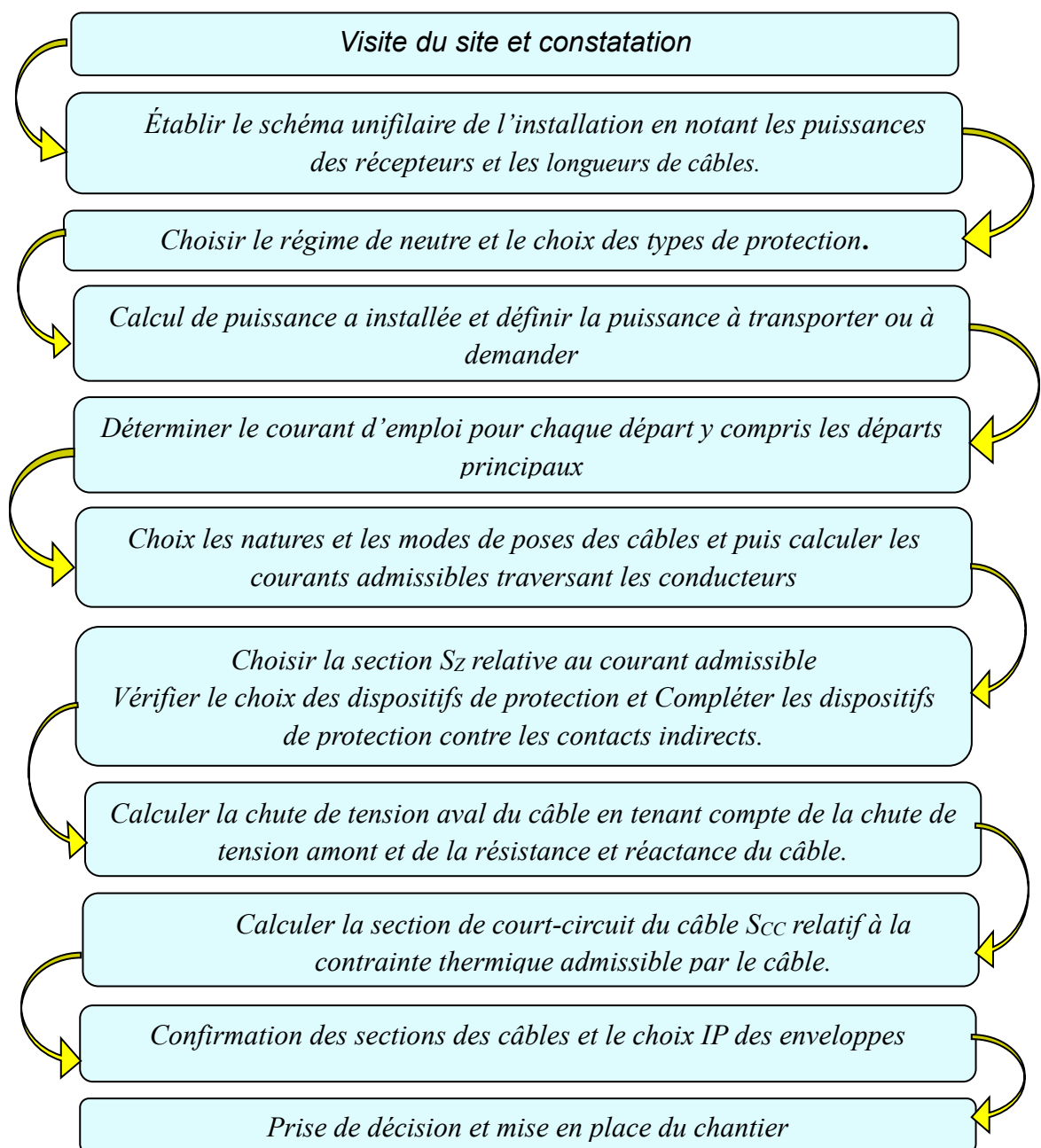


Figure II-1: L'algorithme de dimensionnement d'un réseau

## II.2 Le schéma unifilaire :

Un schéma unifilaire constitue une illustration graphique standardisée de l'intégralité d'une installation électrique, où chaque circuit est symbolisé par une unique ligne représentant l'ensemble des conducteurs de phase, de neutre et de protection. Ce format de schéma est couramment employé dans les installations industrielles afin de simplifier la conception, l'analyse, la conformité réglementaire, l'exploitation et la maintenance des réseaux électriques comme le montre la figure (II-2).

Il permet de :

- Visualiser l'architecture générale du réseau électrique.
- Identifier clairement les sources d'alimentation.
- Localiser les dispositifs de protection, de coupure, de mesure et de commande.
- Assurer la sélectivité et la coordination des protections.
- Faciliter la mise en conformité avec les normes (NF C15-100, UTE C13-100, etc.)
- Simplifier les opérations de maintenance, de diagnostic de défauts et d'intervention en cas d'urgence.

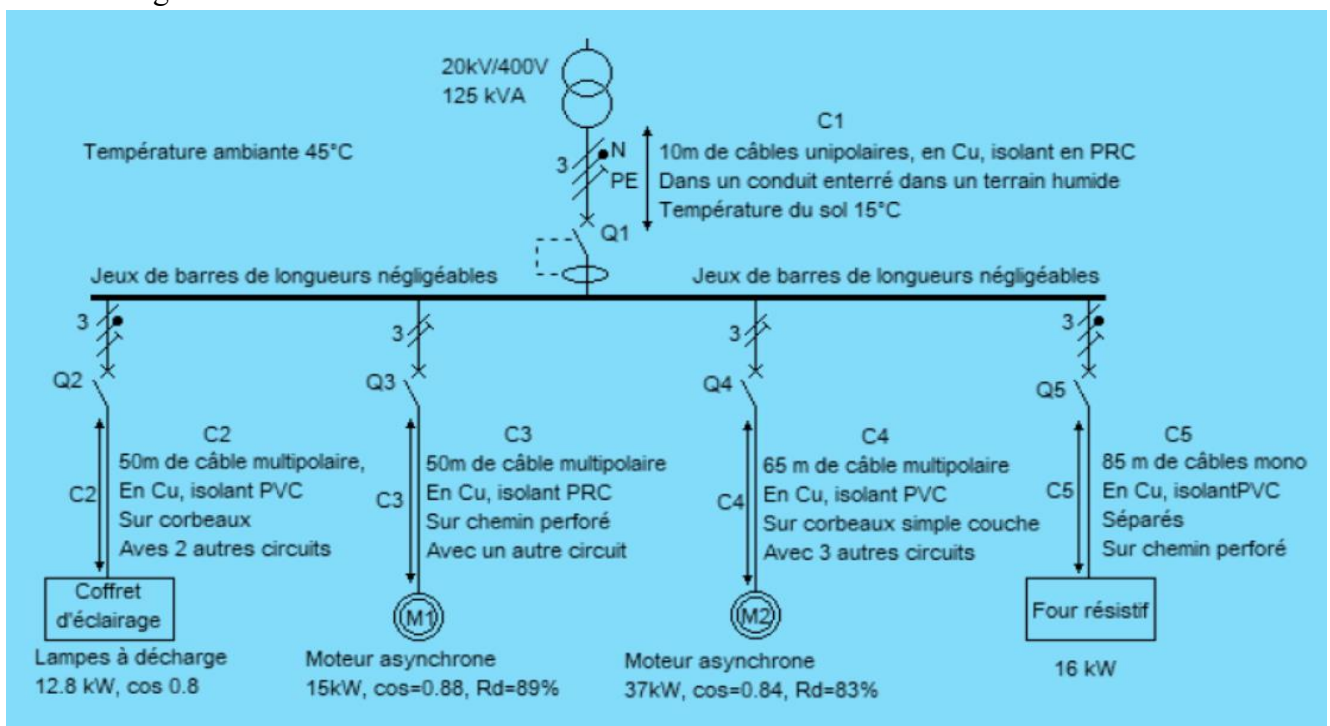


Figure II-2: Exemple des informations portés schéma unifilaire

### II.2.1 Principaux éléments d'un schéma unifilaire industriel :

#### ➤ Source d'énergie :

- Poste de livraison HT/BT, transformateurs de puissance, etc.
- Tension nominale, puissance apparente, impédance, schéma de couplage...

#### ➤ Tableaux de distribution :

- Tableaux principaux (TGBT), tableaux divisionnaires (TD), armoires locales.
- Présentation des jeux de barres, sections des câbles, chemins de câbles, etc.

- **Dispositifs de protection et de coupure :**
  - Disjoncteurs, fusibles, sectionneurs.
  - Appareils différentiels, relais de protection.
- **Équipements terminaux :**
  - Moteurs et machines.
  - Systèmes d'éclairage.
- **Systèmes de contrôle et de supervision :**
  - Contacteurs, relais de commande, automates programmables...
- **Terre et protection des personnes :**
  - Prise de terre, schéma de liaison à terre (TT, TN, IT)
  - Protection différentielle, disjoncteurs à haute sensibilité.
- **Les avantages et les Inconvénients du schéma unifilaire :**

#### Avantages

- Vision globale du système électrique.
- Facilite le dimensionnement des conducteurs, des protections et des équipements.
- Permet l'analyse de sélectivité et de sélectivité temporelle.
- Indispensable pour la documentation technique des installations.
- Facilite la coordination entre les corps de métier (électriciens, automaticiens...)

#### Inconvénients

- Il ne détaille pas les connexions physiques fil à fil.
- Moins adapté à la représentation des circuits de commande complexes
- Nécessite une mise à jour rigoureuse en cas de modification de l'installation

### **II.3 Le régime de neutre :**

Physiquement, le neutre est le point commun de trois enroulements montés en étoile. Il peut être sorti ou non, distribué ou non. Dans une installation haute ou basse tension, le neutre peut ou non être relié à la terre. On parle alors de régime du neutre. La connexion du neutre à la terre peut être réalisée directement, ou par l'intermédiaire d'une résistance ou d'une réactance. Dans le premier cas, on dit que l'on a un neutre direct à la terre et dans le second cas, que le neutre est impédant.

Lorsqu'il n'existe aucune liaison intentionnelle entre le point neutre et la terre, on dit que le neutre est isolé. Dans un réseau, le régime du neutre joue un rôle très important. Lors d'un défaut d'isolement, ou de la mise accidentelle d'une phase à la terre, les valeurs prises par les courants de défaut, les tensions de contact et les surtensions sont étroitement liées au mode de raccordement du neutre à la terre.

Le choix du régime du neutre, tant en basse tension qu'en haute tension, dépend à la fois de la nature de l'installation et de celle du réseau. Il est également influencé par la nature des récepteurs, la recherche de la continuité de service et la limitation du niveau de perturbation imposé aux équipements sensibles.

#### **II.3.1 Schéma équivalent d'un réseau : [4]**

En basse tension, comme en haute tension, un réseau présente toujours une résistance de fuite entre chacune de ses phases et la terre. En basse tension, pour une tension inférieure à 500 volts, on admet qu'un réseau est correctement isolé quand les résistances de fuite des phases par rapport à la terre ( $R_1, R_2, R_3$ ) sont au moins égales à 500 kW (norme C15-100).

Sur un réseau correctement isolé, on admet toujours que les résistances sont égales et on tient compte aussi de la capacité que présente chaque phase par rapport à la terre et on admet toujours que les capacités sont égales. La valeur de  $C$  est proportionnelle à la longueur des câbles constituant le réseau. En haute tension, la valeur de ces capacités dépend de la nature des câbles employés et de celle des isolants entrant dans leur composition. La figure (II-3) illustre le schéma équivalent d'un réseau électrique.

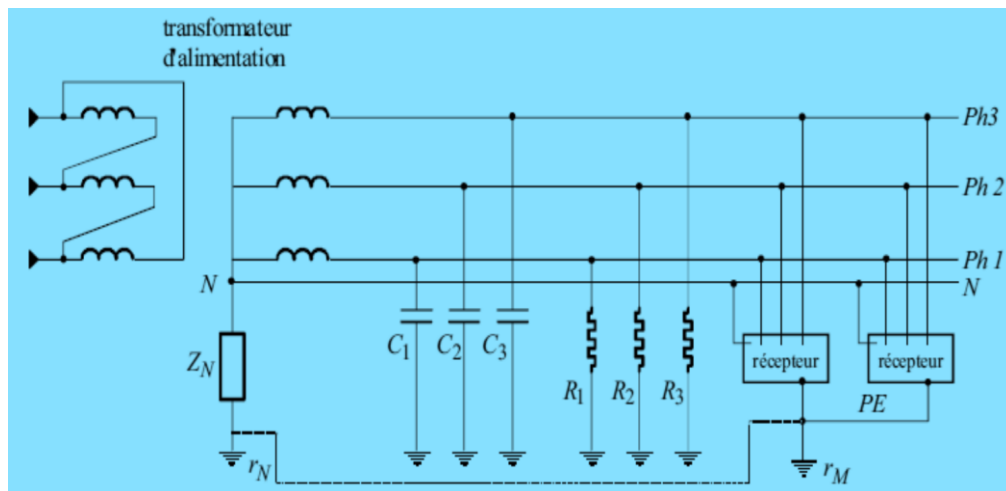


Figure II-3 : Schéma équivalent d'un réseau

**PE** : conducteur de protection

**$C_1, C_2, C_3$**  : capacités des conducteurs de phase par rapport à la terre

**$R_1, R_2, R_3$**  : résistances d'isolement, leur influence est toujours négligeable

**$Z_N$**  : impédance de mise à la terre du neutre

**$r_N$**  : résistance de la prise de terre du neutre

**$r_M$**  : résistance de la prise de terre des masses

**N** : neutre

### II.3.2 Prise de terre et résistance de terre :

Lorsque le neutre d'un réseau est mis à la terre, que ce soit directement ou par l'intermédiaire d'une impédance, il est relié à une prise de terre, appelée prise de terre du neutre, présentant une résistance  $r_N$  non nulle.

Dans toute installation électrique, basse ou haute tension, les masses métalliques des récepteurs sont généralement interconnectées. L'interconnexion peut être totale ou réalisée par groupes de récepteurs. Chaque groupe interconnecté est relié à une prise de terre de valeur  $r_M$ . Il est également possible qu'une ou plusieurs masses soient reliées individuellement à la terre. Les prises de terre des masses et du neutre

peuvent ou non être interconnectées et sont parfois communes. Le conducteur d'interconnexion des masses est appelé conducteur de protection et est noté PE ou PEN .

Un réseau basse ou haute tension est donc toujours caractérisé par :

- une résistance d'isolement R
- une capacité C entre chaque phase et la terre
- une prise de terre du neutre de valeur  $r_N$
- une ou plusieurs prises de terre des masses de valeur  $r_M$  .

### II.3.3 Influence du régime du neutre :

#### ➤ Régime du neutre et courant de défaut [4]

Considérons un réseau triphasé basse ou haute tension comme représenté sur la figure (II-4). Le neutre peut être ou non mis à la terre. Le régime du neutre dépend de la valeur et de la nature de l'impédance  $Z_N$ .

Si  $Z_N$  est nulle, le neutre est directement mis à la terre.

Si  $Z_N$  est de valeur très élevée, le neutre est isolé ou fortement impédant.

Si  $Z_N$  est différent de zéro, mais de faible valeur (de quelques dizaines à quelques centaines d'ohms en haute tension, suivant le niveau de tension et la nature du réseau), le réseau est dit à neutre impédant.

L'impédance  $Z_N$  peut être une résistance ou une réactance.

En l'absence de défaut, des courants circulent dans les résistances et les capacités de fuite du réseau.

Ces courants étant équilibrés, aucun ne circule dans l'impédance  $Z_N$  et le point neutre est au potentiel de la terre :

$$V_N = - Z_N I_N = 0$$

Lorsqu'une phase est mise en contact avec la terre, un courant  $I_f$  s'établit entre la phase en défaut et la terre, et se referme par l'impédance  $Z_N$  ainsi que par les capacités et résistances de fuite des phases saines :

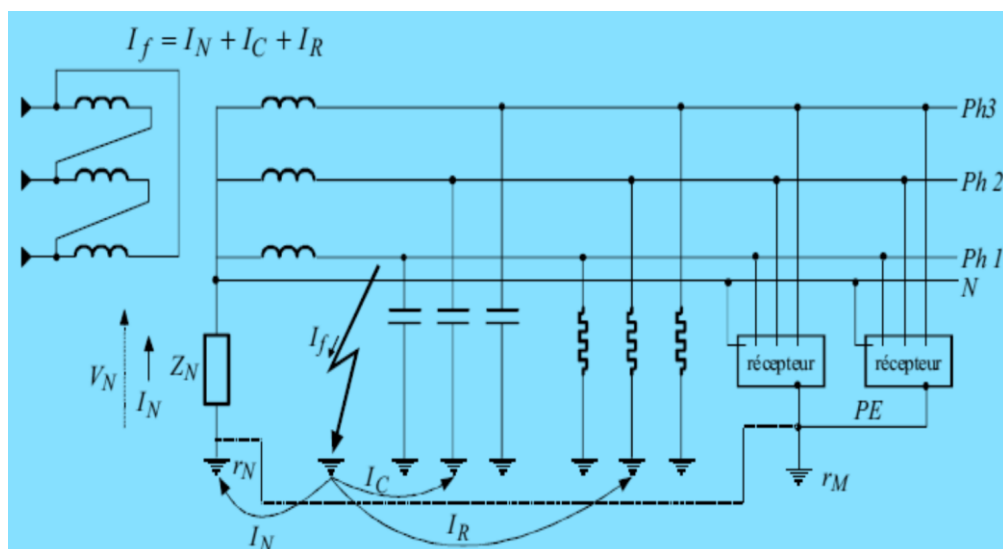


Figure II-4 : Montée en potentiel du point neutre

$I_f$ : courant de défaut

$I_N$ : courant se refermant par l'impédance de mise à la terre du neutre

$I_C$ : courant se refermant par les capacités phase-terre du réseau

$I_R$ : courant se refermant par les résistances d'isolement du réseau, ce courant est toujours négligeable

$V_N$ : montée en potentiel du point neutre

$Z_N$ : impédance de mise à la terre du neutre

❖ Le point neutre est alors porté à un potentiel :

$$V_N = - Z_N I_N$$

Le courant de fuite  $I_R$ , est toujours très faible, ce qui peut être négligé.

Si le neutre est mis directement à la terre, le courant  $I_N$  est très important et le courant  $I_C$  peut être négligé :

- si le neutre est isolé, on a :  $I_f = I_C$

- si le neutre est impédant, on a :  $I_f = I_N + I_C$

❖ La figure (II-5) illustre le cas généralement utilisé.

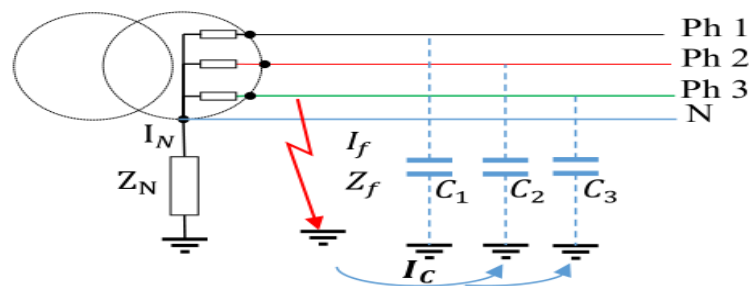


Figure II-5: Défaut à la terre dans un réseau

Où  $I_f = I_C + I_N$

$I_f$  : Courant de défaut ;

$Z_k$  : Impédance de défaut ;

$I_C$  : Courant capacitif ;

$I_N$ : Courant du neutre ;

### II.3.4 Les types de régime de neutre :

#### II.3.4.1 Neutre isolé :

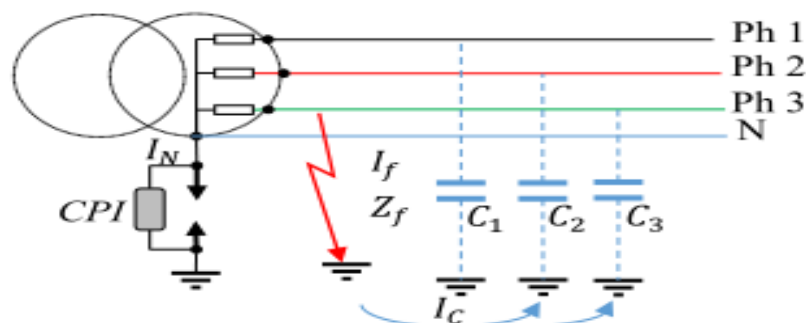


Figure II-6: Neutre isolé

Ce régime de neutre est utilisé lorsque la coupure au premier défaut d'isolement est préjudiciable au bon fonctionnement d'une exploitation ou à la sécurité des personnes.

- Il n'existe aucune liaison électrique entre le point neutre et la terre, à l'exception des appareils de mesure ou de protection.
- Une impédance de valeur élevée est intercalée entre le point neutre et la terre.

➤ **Les avantages et les Inconvénients : [5]**

**Avantages**

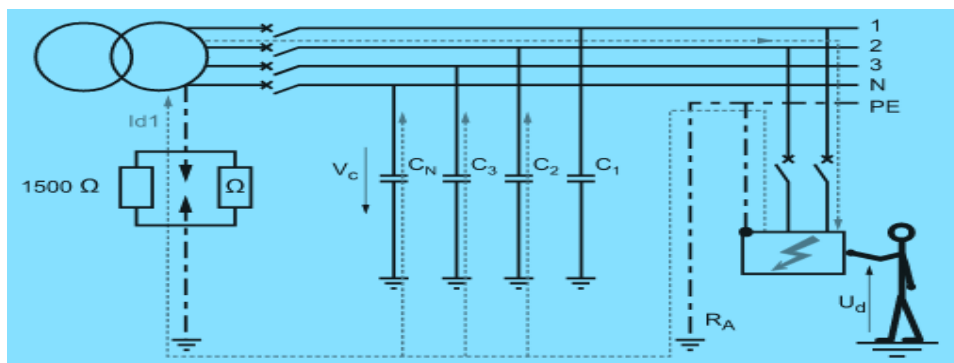
Le premier défaut ne présente aucun danger. Les courants phase-terre sont si faibles qu'il n'y a pas lieu de s'inquiéter des tensions dangereuses. Mais il faut le signaler, le trouver et l'éliminer.

**Inconvénients**

- La difficulté de la mise en œuvre de protection sélective au premier défaut
- Le 2ème défaut provoque un court-circuit entre phase.
- Des surtensions importantes et des phénomènes transitoires entraînant un surcoût de l'isolement ou un vieillissement prématuré des matériels.

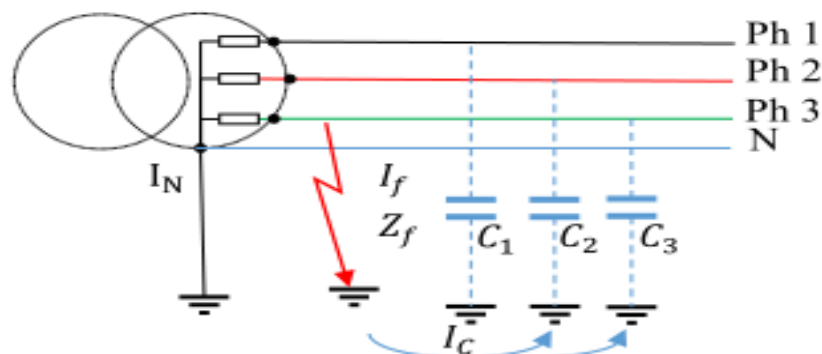
**Type de protection :**

- Contrôleur permanent d'isolement (CPI).
- Protection à maximum de tension résiduelle (ANSI 59).
- Protection maximum de courant terre directionnelle (ANSI 67N).



**Figure II-7:** Protection contre les défauts en schéma IT.

**II.3.4.2 Neutre directe à la terre : [5]**



**Figure II-8:** Neutre directe à la terre

Ce régime de neutre est employé pour les réseaux de distribution publique basse tension.

- Dans ce type de schéma: Le neutre de l'installation est directement relié à la terre

$$V_{NT}=0; I_f=I_N=V/Z_f;$$

➤ **Les avantages et les Inconvénients :**

**Avantages**

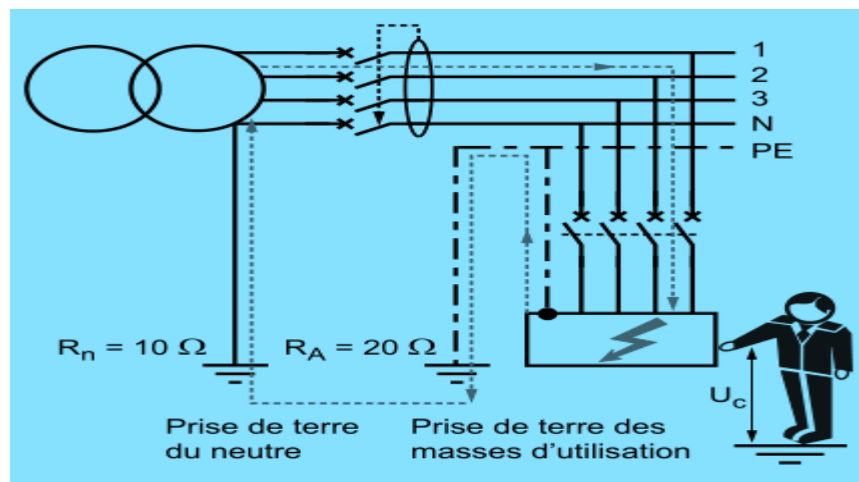
- Pas de surtension parce qu'il périmé leur écoulement
- Protection classique avec un simple relais de surtension.
- Compétence du personnel
- Phénomènes transitoires

**Inconvénients**

- Le courant de défaut est élevé ce qui peut entrainer maximum de perturbation et une dégradation de matériel.
- Il n'est pas de continuité de service au premier défaut.

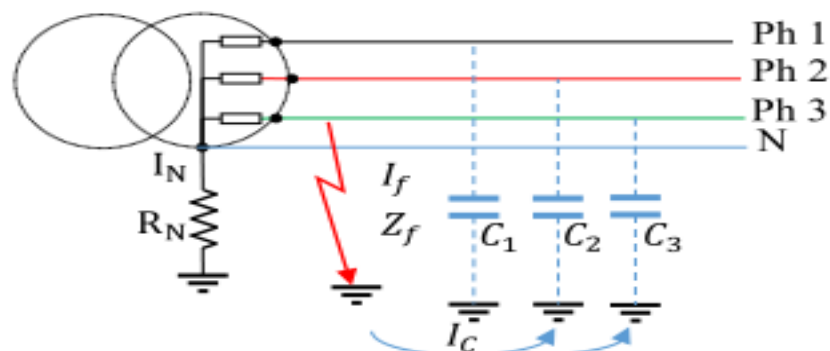
**Type de protection : [7]**

- Un relais à maximum de courant de terre temporisé.



**Figure II-9:** Protection contre les défauts en schéma TT.

**II.3.4.3 Neutre mise à la terre par résistance : [5]**



**Figure II-10:** Neutre mise à la terre par résistance

Ce régime est utilisé dans les réseaux HT de la distribution publique et industrielle.

- Une résistance est intercalée volontairement entre le point neutre et la terre.
- L'impédance résistive limite le courant de défaut à la terre  $I_K$ , tout en permettant un bon écoulement des surtensions.

➤ **Les avantages et les Inconvénients :**

**Avantages**

- Un bon compromis avec un courant de défaut modéré
- Des surtensions faibles.
- Les protections sont simples, sélectives.

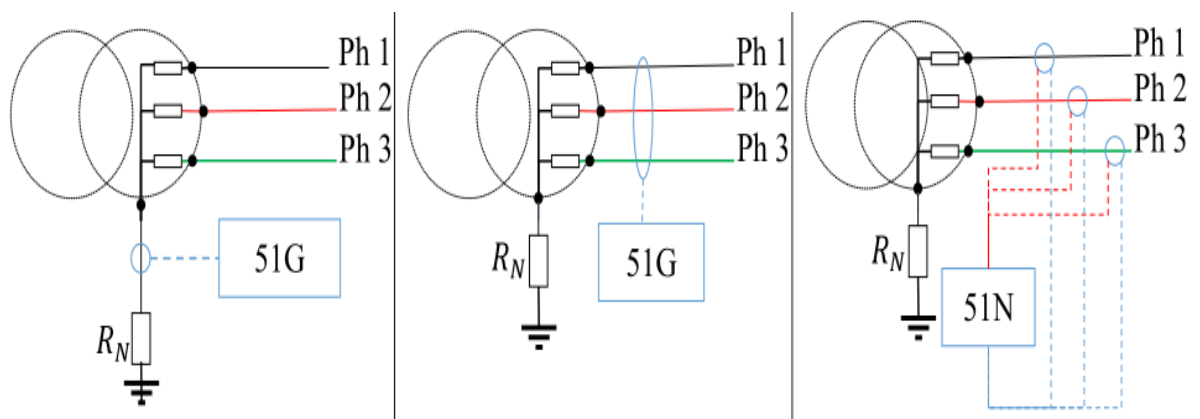
**Inconvénients**

- La continuité de service est dégradée, il y a une coupure de réseau dès le premier défaut.
- La résistance mise à la terre est onéreuse car la dissipation thermique de celle-ci est importante d'où un coût d'achat élevé.

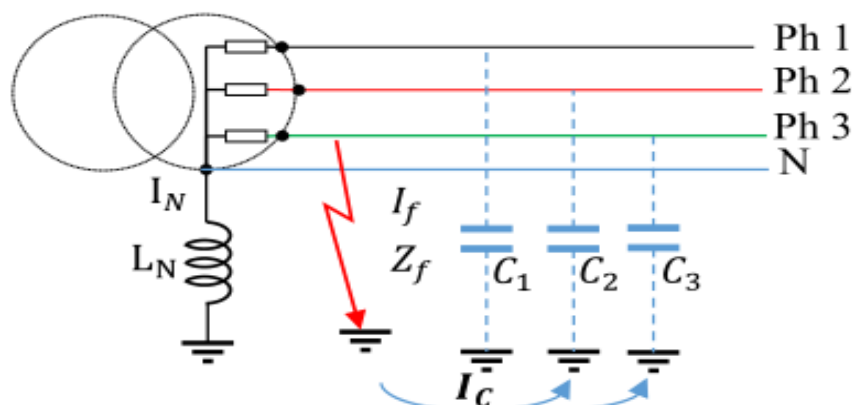
➤ **Type de protection : [5]**

La détection d'un courant de défaut  $I_k$  faible nécessite des protections différentes de celles de surintensité phases. Ces protections "de terre" détectent le courant de défaut :

- Soit directement dans la liaison du neutre à la terre
- Soit 3 capteurs (3TC) de courant de phase alimentant les protections
- Soit un capteur tore pour les mesures plus précises.



**Figure II-11:** Solutions de protection terre.

**II.3.4.4 Neutre mise à la terre par réactance faible : [5]**

**Figure II-12 :** Neutre mise à la terre par réactance faible

Ce régime est utilisé dans les réseaux de distribution publique HT > 40 kV

- Une réactance est intercalée volontairement entre le point neutre et la terre.

➤ **Les avantages et les Inconvénients :**

**Avantages**

- Simple à protéger
- Faible résistance

**Inconvénients**

- Une coupure de réseau dès le premier défaut qui peut causée des surtensions.

**Type de protection : [20]**

- Le type de protection utilisé est la directionnelle terre.
- Le réglage de la protection se situe au niveau de 10 à 20 % du courant de défaut maximum.

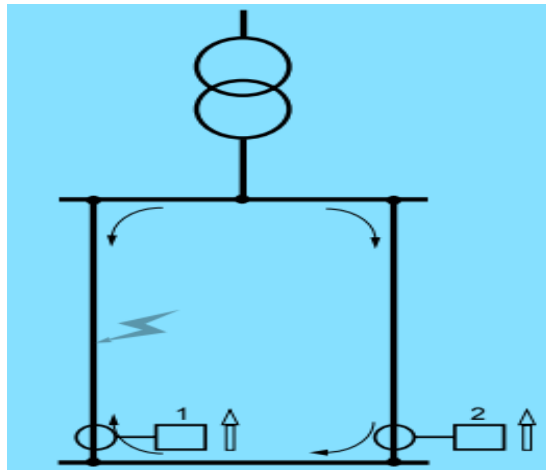


Figure II-13 : La protection directionnelle de terre.

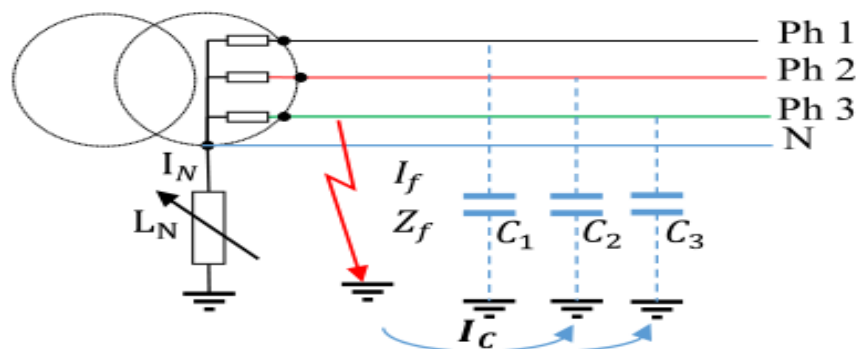
**II.3.4.5 Neutre mise à la terre par réactance accordée :**

Figure II-14 : Neutre mise à la terre par réactance de compensation

Ce régime est utilisé dans les réseaux MT de distribution publique avec un courant capacitif élevé

- Une réactance accordée sur les capacités du réseau est volontairement intercalée entre le point neutre et la terre de sorte qu'en présence d'un défaut à la terre, le courant dans le défaut est nul lorsque l'accord est parfait.

➤ **Les avantages et les Inconvénients :**

**Avantages**

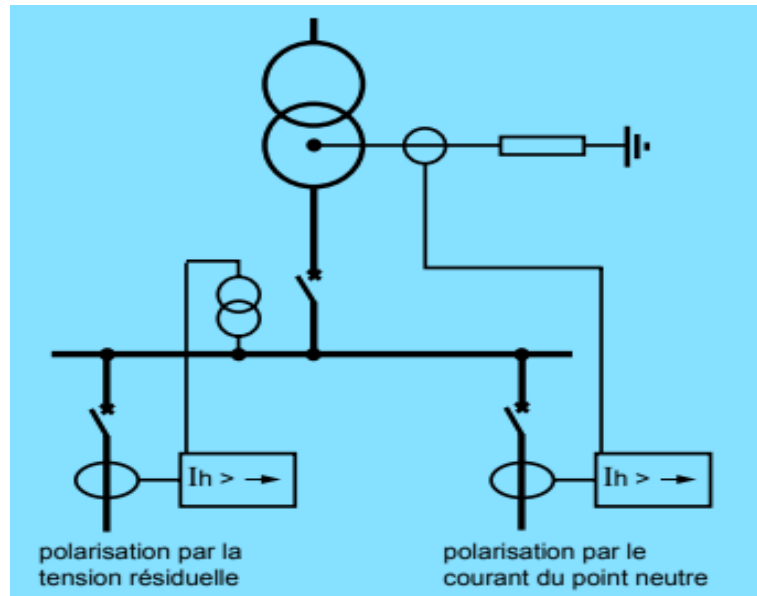
- Le courant de défaut est limité même si la capacité phase-terre est grande.
- La continuité de service est maintenue en cas de défaut permanent

**Inconvénients**

- Le coût élevé de la réactance
- Les risques de surtensions transitoires sur le réseau sont importants
- La mise en œuvre des protections sélectives est délicate.

**Type de protection : [20]**

- Protection à maximum de courant de terre directionnelle plus sophistiquée.



**Figure II-15 :** Les deux modes de polarisation de la protection directionnelle de terre.

### II.3.5 Critères de choix du régime de neutre :

Le choix du régime dépend de plusieurs facteurs :

- Type d'environnement (industriel, hospitalier, résidentiel...).
- Importance de la continuité de service,
- Coût d'installation et de maintenance
- Niveau de compétence du personnel de maintenance,
- Contraintes normatives et réglementaires.

### II.3.6 Tensions de contact :

➤ **Tension de contact - tension limite non dangereuse [4]**

Toute personne entrant en contact avec une pièce sous tension est soumise à une différence de potentiel : il y a donc pour elle un risque de recevoir un choc électrique, On distingue deux sortes de contacts : le contact direct et le contact indirect. Comme le montrent les figures (II-16) et (II-17) :

$$\text{On a } U_C = r_M I_f$$

Car l'impédance de corps humain est très élevée devant  $r_M$

$U_C$  : tension de contact

$I_f$  : courant de défaut,

$r_M$  : résistance de la prise de terre

Le risque pour les personnes n'est pas lié uniquement à la valeur de la tension appliquée au corps humain, mais aussi à celle du courant susceptible de le traverser et à la durée du contact. Le courant et la tension sont liés par la loi d'Ohm  $I = U / R$  où  $R$  est l'impédance du corps humain.

Cette impédance varie en fonction de la tension de contact, de l'état et de l'humidité de la peau, ainsi que du trajet du courant à l'intérieur du corps humain. La publication CEI 479 indique les valeurs de l'impédance du corps humain en fonction de la tension de contact à laquelle il est soumis.

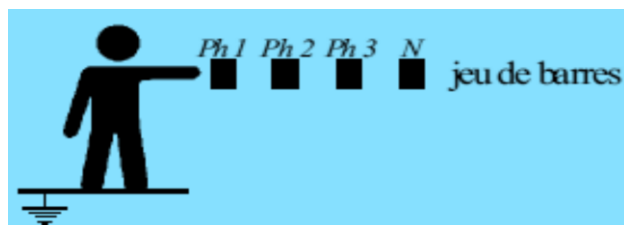


Figure II-16: Contact direct [4]

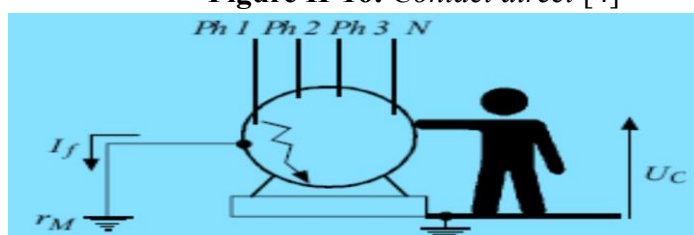


Figure II-17: Contact indirect [4]

➤ **Tension de contact lors d'un défaut d'isolement [4]**

Supposons que dans un réseau de la figure (II-18), à la suite d'un défaut d'isolement, une phase vienne accidentellement en contact avec la masse d'un récepteur, il s'établit alors un courant de défaut  $I_f$  entre la masse du récepteur et la terre, et toute personne entrant en contact avec cette masse est soumise à une différence de potentiel  $U_C$  appelée tension de contact :

$$U_C = r_M I_f$$

Comme pour le courant de défaut, la tension de contact est étroitement liée à la valeur de l'impédance  $Z_N$ , donc au régime du neutre. Si le neutre est isolé, les valeurs du courant de défaut  $I_f$  et de la tension de contact  $U_C$  sont très faibles. La coupure de l'alimentation n'est alors pas nécessaire. Elles sont par contre élevées si le neutre est mis directement à la terre et la coupure de l'alimentation devient impérative.

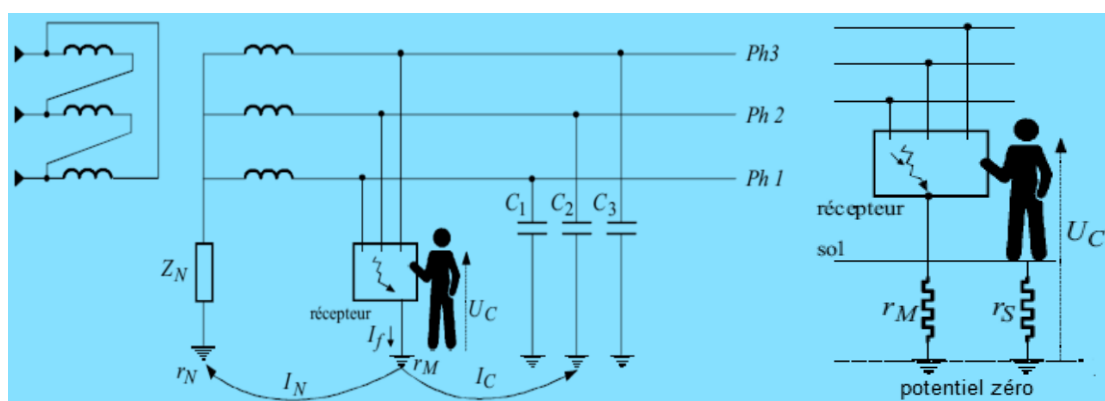


Figure II-18: Représentation de la tension de contact

$r_N$  : résistance de la prise de terre du neutre

$I_f$  : courant de défaut

$r_M$  : résistance de la prise de terre des masses

$U_C$  : tension de contact

$r_S$  : résistance du sol

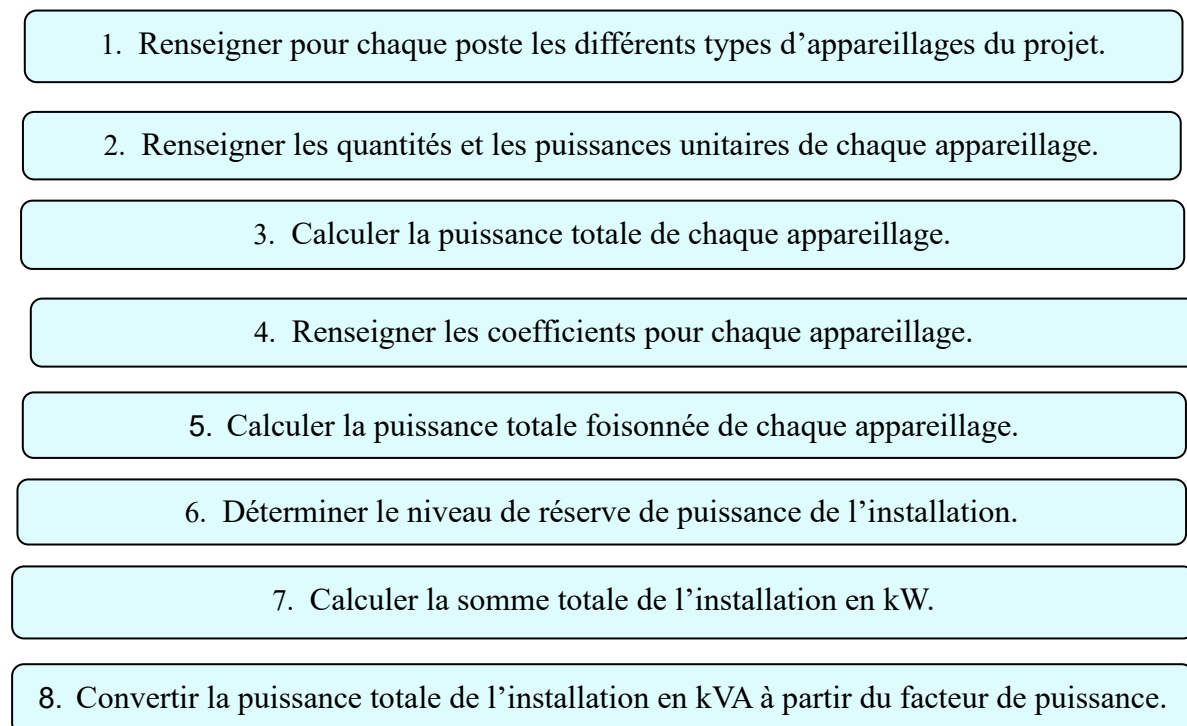
## II.4 Calcul des puissances :

Dans la conception d'une installation, il est nécessaire de connaître la puissance maximale que la source devra fournir. Pour l'optimiser, il faut tenir en compte de :

- La diversité d'utilisation des récepteurs installés.
- Le niveau d'utilisation réel des récepteurs installés.
- Le niveau d'utilisation prévisionnel des récepteurs installés.

Ces calculs de base, donne une valeur globale de la puissance d'utilisation de l'installation, sur laquelle peut être précisé le système de distribution en énergie.

➤ **Le bilan de puissance :**



*Figure II-19: Le bilan de puissance*

### II.4.1 Calcul des sections des câbles :

#### II.4.1.1 Le courant d'emploi : [19]

Le courant d'emploi  $I_b$  est le courant réellement transporté par les conducteurs actifs correspond à la plus grande puissance en service normale. Le calcul du courant d'emploi nécessite la connaissance du courant et le corrigé selon plusieurs facteurs.

$$I_b = \frac{P_n * e * K_u * K_s * K_e}{\eta * \cos\varphi}$$

➤  $P_n$  : puissance utile nominale du récepteur

- $\eta$ : rendement du récepteur
- $\cos\varphi$ : facteur de puissance du récepteur
- **Facteur de conversion des puissances en intensité :**

Ce facteur permet de transformer la puissance active en intensité.

$$e = \frac{1}{220} v \text{ (en monophasé)}$$

$$e = \frac{1}{\sqrt{3} * 380} \text{ (en triphasé)}$$

- **Facteur d'utilisation  $K_u$**

En général, les récepteurs électriques ne fonctionnent pas à leurs puissances nominales d'où l'introduction du facteur d'utilisation pour le calcul de la puissance absorbée. Sachant que pour chaque type de récepteur est associé à un facteur d'utilisation bien déterminé.

*Tableau II-1 : Valeurs du facteur d'utilisation selon l'utilisation*

Utilisation	Facteur d'utilisation
Eclairage	1
Chauffage et conditionnement d'air	1
Prises de courant	0.6 si $n < 6$
	$0.1 + (0.9/n)$ si $n > 6$
Moteurs	75

- **Facteur simultanéité  $K_s$  :**

Les récepteurs d'une installation ne fonctionnent pas simultanément. La détermination de ce facteur nécessite la connaissance détaillée de l'installation considérée et l'exploitation des conditions d'exploitation.

*Tableau II-2 : Valeurs du facteur de simultanéité en fonction de l'utilisation*

Utilisation	Facteur de simultanéité $K_s$
Eclairage	1
Chauffage et conditionnement d'air	1
Prise de courant	0.1 à 0.2 (pour nombre $> 20$ )

*Tableau III-3 : Valeurs du facteur de simultanéité en fonction du nombre des récepteurs*

Nombre de circuits de courants nominaux voisins	Facteur de simultanéité $K_s$
2 à 3	0.9
4 à 5	0.8
6 à 9	0.7
10 et plus	0.6

- **Facteur d'extension  $K_e$ :**

Le rôle du facteur d'extension est de prévoir une augmentation de la puissance de la puissance absorbée. Le coefficient varie de 1 à 1.5, la valeur 1.2 est souvent utilisée.

#### II.4.1.2 Le courant admissible : [19]

Le courant admissible est la valeur maximale du courant qui peut parcourir en permanence, dans des conditions données, un conducteur, sans que sa température de régime permanent soit supérieure à la valeur assignée en fonction du dispositif de protection.

**Tableau II-4 : Détermination du courant admissible en fonction du type de protection**

Type d'isolation	Température maximale de fonctionnement des conducteurs (°C)
Polychlorure de vinyle (PVC)	70
Polyéthylène réticulé (PR)	90
Ethylène-propylène (EPR)	90

- La valeur du courant  $I_z$  est déterminée à partir des tableaux normalisés, tels que ceux définis par les normes (notamment la NF C 15-100), qui indiquent les courants admissibles pour chaque section de conducteur en fonction de plusieurs facteurs :
  - du matériau (cuivre ou aluminium),
  - du type d'isolant (PVC, EPR, XLPE, etc.),
  - du mode d'installation (en goulotte, enterré, en nappe, etc.),
  - de la température ambiante.
- Le courant  $I_z$  sera calculé à partir du courant  $I_b$  et de différents coefficients pour tenir compte des éléments vus au dessus. On obtient donc la formule suivante :

$$I_z = \frac{I_b}{K} \quad \text{Avec} \quad K = K1 \cdot K2 \cdot K4$$

**K1** : modes de poses

**K2** : températures

**K4** : nombre de conducteurs

D'autres coefficients existent pour avoir un résultat plus précis.

### 1. L'origine de la température dans une canalisation :

Un conducteur a une résistance, le passage du courant d'emploi  $I_b$  produit donc des pertes joules.

Ces pertes sont aggravées ou maintenues par :

- La température ambiante qui porte un conducteur à une température de base minimale.
- Les différents modes de poses qui permettent ou pas de dissiper la chaleur.
- La proximité d'autres conducteurs surtout dans un câble qui produit un chauffage mutuel.

### 2. Impact des conditions d'installation sur le courant admissible :

Les conditions d'installation jouent un rôle crucial dans le courant admissible d'un conducteur. En effet, un même conducteur peut supporter des courants différents selon qu'il soit :

- Installé en libre air ou encastré,
- Installé seul ou groupé avec d'autres câbles,
- Soumis à une température ambiante normale ou élevée.

#### II.4.1.3 La section $S_z$ relative au courant admissible :

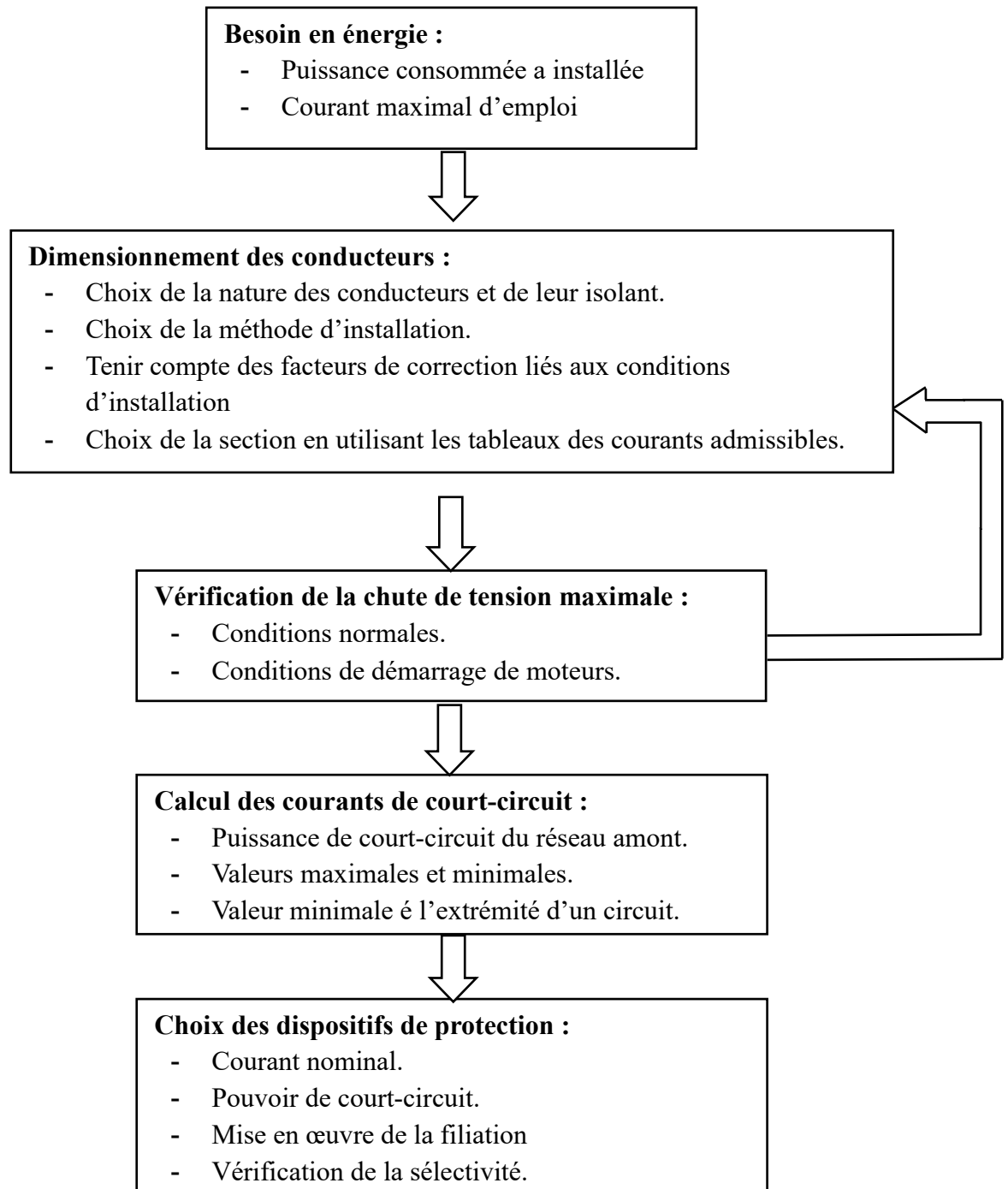
La dimension d'un conducteur électrique constitue un facteur crucial dans la conception d'une installation électrique. Mesurée en millimètres carrés ( $\text{mm}^2$ ), elle indique la surface transversale qui permet la circulation du courant électrique à travers le câble. Cette dimension influence directement le courant maximal que le conducteur peut supporter en régime permanent sans dépasser la température limite de son isolant. Sur le plan thermique, une section de conducteur plus large favorise une dissipation thermique plus efficace de la chaleur générée par l'effet Joule, augmentant ainsi la capacité de transport du courant sans compromettre l'intégrité de l'isolant ni engendrer de risques de surchauffe. À l'inverse, une section trop petite peut entraîner un échauffement excessif, réduisant ainsi la durée de vie du câble et menaçant la sécurité de l'installation.

### **1. Simplification du calcul et de sélection de la section :**

En résumé le processus de sélection de la section d'un conducteur suit généralement une approche méthodique, comprenant les étapes suivantes :

1. Calcul du courant d'emploi à partir de la puissance des récepteurs du circuit.
2. Choix du dispositif de protection adéquat, avec un courant de réglage approprié.
3. Sélection de la section du conducteur, de manière à ce que le courant admissible corrigé soit supérieur ou égal au courant d'emploi.

Il est essentiel de noter que cette décision doit également assurer le respect d'autres critères de dimensionnement, tels que les de chute de tension admissibles, la capacité à résister aux courants de court-circuit, ainsi que les contraintes mécaniques associées à l'installation. le Logigramme de la figure (II-20) explique l'approche méthodique, pour le choix d'une canalisation et de son dispositif de protection.



**Figure II-20 :** Logigramme pour le choix d'une canalisation et de son dispositif de protection

#### II.4.1.4 La chute de tension aval du câble :

Dans une installation électrique industrielle, le calcul exact de la chute de tension représente une étape cruciale pour assurer la performance, la sécurité et le respect des normes réglementaires du réseau. En particulier, il est nécessaire d'évaluer la chute de tension en aval en prenant en considération divers facteurs, y compris la chute de tension en amont, ainsi que les propriétés impédantielles du câble.

- **La chute de tension ( $\Delta U$ )** : est la diminution de la tension électrique entre deux points d'un circuit sous l'effet du passage du courant dans une impédance linéique. Elle est exprimée en volts (V) ou en pourcentage de la tension nominale.

Elle peut être formulée par l'expression suivante :

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

- **Prise en compte de la chute de tension amont :**

La chute de tension amont correspond aux pertes de tension déjà enregistrées dans les tronçons situés avant le câble étudié. Elle doit être connue ou calculée au préalable, car elle affecte directement la tension d'entrée au câble étudié.

Ainsi, la tension disponible en amont du câble constitue le point de départ pour le calcul de la chute de tension aval. Il convient donc de soustraire la chute amont à la tension nominale pour déterminer la tension d'entrée réelle au câble, avant d'évaluer la chute de tension aval.

- **Impact des caractéristiques du câble :**

Le câble est modélisé par une impédance composée de :

- Résistance (R) : elle dépend de la nature du conducteur (cuivre, aluminium), de la section du câble, et de la température de fonctionnement.
- Réactance (X) : principalement inductive dans les réseaux basse et moyenne tension, elle dépend de la disposition géométrique des conducteurs et de leur environnement.

Ces deux paramètres influencent la chute de tension de manière différente selon le facteur de puissance de la charge. Une charge fortement inductive ( $\cos\varphi$  faible) accentuera l'effet de la réactance.

- **Méthodologie de calcul aval :**

1. Détermination de la tension disponible à l'entrée du câble.
2. Calcul de la chute de tension sur le câble en fonction du courant de charge, de la longueur du câble et de ses caractéristiques impédantielles (R et X).
3. Vérification que la chute de tension totale (amont + aval) ne dépasse pas les seuils réglementaires.

#### II.4.1.5 Calcul des courants de court-circuit :

La protection de l'installation électrique contre les courts-circuits est essentielle, sauf dans certaines exceptions. Chaque fois qu'une discontinuité électrique se produit, généralement due à un changement de section des conducteurs, il est nécessaire de calculer l'intensité du courant de court-circuit à chaque niveau de l'installation, en tenant compte des différentes configurations possibles du réseau. Cela permet de définir les spécifications du matériel devant supporter ou interrompre ce courant de défaut.

➤ Pour choisir convenablement les appareils de coupure et régler les fonctions de protection, trois valeurs du courant de court-circuit doivent être connues :

**1. La valeur efficace du courant de court-circuit maximal :**

- ❖ Elle correspond à un court-circuit à proximité immédiate des bornes aval de l'appareil de coupure.
- ❖ Elle doit être calculée avec une bonne marge de sécurité.
- ❖ Elle détermine :
  - Le pouvoir de coupure des disjoncteurs et fusibles.
  - La contrainte thermique que doivent supporter les matériels.

**2. La valeur crête du courant de court-circuit maximal :**

- ❖ Elle détermine :
  - Le pouvoir de fermeture des disjoncteurs et des interrupteurs.
  - La tenue électrodynamique des canalisations et de l'appareillage.

**3. Le courant de court-circuit minimal :**

- ❖ Il est indispensable au :
  - Choix de la courbe de déclenchement des disjoncteurs et des fusibles.
  - Réglage des seuils des protections à maximum de courant.

**Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons posé les bases conceptuelles du dimensionnement d'un réseau industriel en présentant les définitions principales et les principes fondamentaux : la puissance apparente et le courant d'utilisation, l'importance de l'étude des régimes de neutre, le rôle du schéma unifilaire pour représenter l'architecture électrique, ainsi que les critères de choix des sections de conducteurs et des dispositifs de protection. Ces éléments, conformes aux normes NF C15-100 et UTE C13-100, forment un cadre théorique solide qui servira de référence pour les applications pratiques et les calculs à venir.



# Chapitre III

## Protection des réseaux industriels

## Introduction :

Les dispositifs de protection surveillent en permanence l'état électrique des éléments d'un réseau et provoquent leur mise hors tension (par exemple l'ouverture d'un disjoncteur), lorsque ces éléments sont le siège d'une perturbation indésirable: court-circuit, défaut d'isolement, surtension,...etc. Le choix d'un dispositif de protection n'est pas le fruit d'une réflexion isolée, mais une des étapes les plus importantes de la conception d'un réseau électrique.

A partir de l'analyse du comportement des matériels électriques (moteurs, transformateurs, câbles, ...etc.) sur défauts et des phénomènes qui en découlent, on choisit les dispositifs de protection les mieux adaptés. C'est ce que l'on va présenter dans ce chapitre.

### III.1 Les fonctions de protection : [9]

En générale pour protégé une installation il faut:

- Détecté un état de dysfonctionnement
- Surveille le fonctionnement.

### III.2 Système de protection : [8]

Le principe essentiel d'un système de protection dans un réseau électrique est de détecter les anomalies potentielles et de désactiver la protection des réseaux touchés par ces anomalies. Quelle que soit la technologie utilisée, le système de protection se compose de trois éléments fondamentaux:

- Un système de relais de protection (relais).
- Un appareillage de coupure (un ou plusieurs disjoncteurs).
- Des capteurs ou réducteurs de mesure qui abaissent les valeurs à surveiller à des niveaux utilisable par les protections.

Jeu de barres

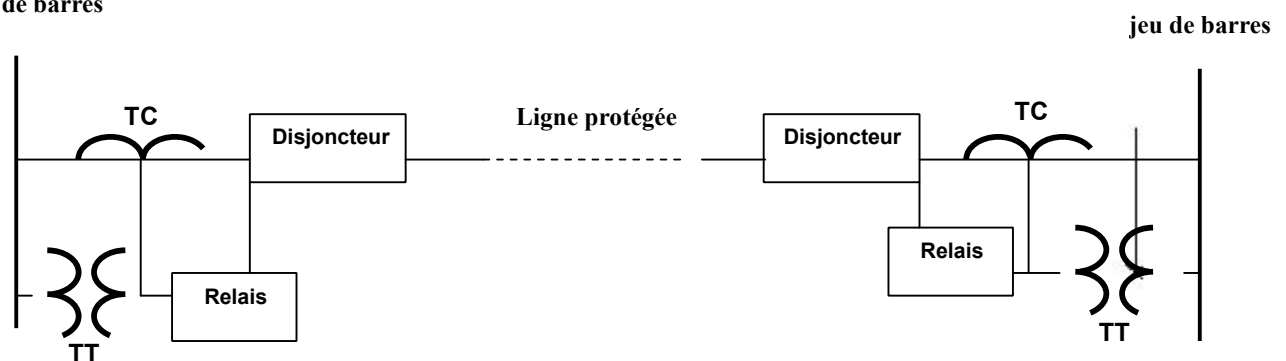


Figure III-1 : Constitution d'un système de protection

### III.3 Éléments constitutifs d'un système de protection :

#### III.3.1 Les relais de protection:[12]

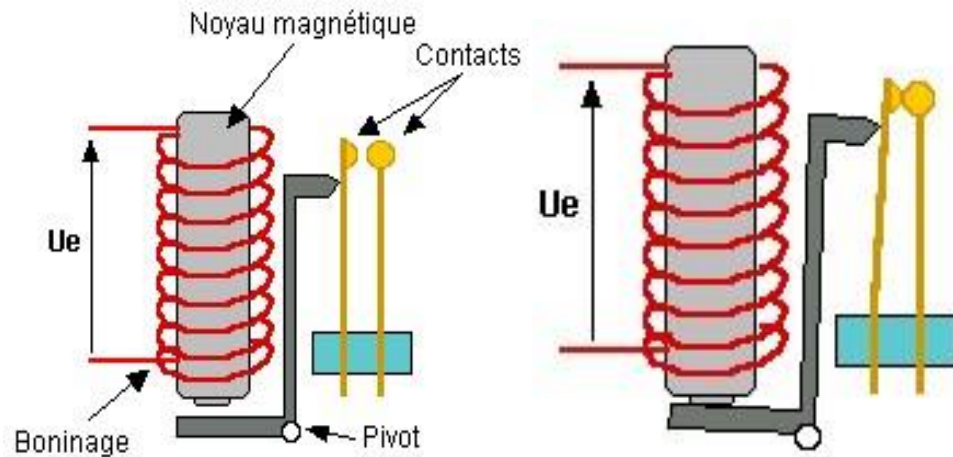
Les relais de protection sont des appareils qui reçoivent une ou plusieurs informations, qu'elles soient analogiques ou numériques, comme le courant, la tension ou la puissance. Ils envoient une commande pour ouvrir ou fermer un circuit de contrôle lorsque ces informations dépassent ou tombent en dessous de valeurs prédéfinies. Leur rôle principal est de repérer tout problème inhabituel dans un réseau

électrique, comme un court-circuit. Ils agissent en détectant et en répondant rapidement aux défauts pour protéger le système.

➤ **Les différents types de relais :**

**III.3.1.1 Les relais électromagnétiques:[9]**

Un relais électromagnétique se compose d'une armature ou d'un mécanisme mobile actionné par des bobines, des aimants, en fonction de la conception du circuit



**Figure III-2 : Principe de relais électromagnétique**

➤ **Fonctionnement:**

Lorsqu'un courant traverse la bobine, cela entraîne l'aimantation du circuit magnétique, ce qui provoque le déplacement de la partie mobile. La force d'attraction exercée sur cette partie mobile sera d'autant plus importante que l'intensité du courant est élevée et que l'entrefer est réduit.

➤ **Les avantages et les Inconvénients : [8]**

❖ **Avantages**

- Les relais électromagnétiques sont des dispositifs simples et spécialisés, utilisés pour le contrôle des courants, des tensions et des fréquences.
- Bonne durée de vie (plus 25 ans)
- Le fonctionnement constitue une source d'énergie auxiliaire.
- Robustes

❖ **Inconvénients**

- Le danger d'être inopérant entre deux intervalles de maintenance
- Il est également complexe d'obtenir des ajustements appropriés pour les faibles courants de court-circuit.
- Son Coût de fabrications et élevé

**III.3.1.2 Les relais statiques : [13]**

Ces dispositifs de protection reposent sur le principe de la conversion des variables électriques du réseau, fournies par des transformateurs de courant et de tension, en signaux électriques de faible tension qui sont ensuite comparés à des valeurs de référence (points de réglage). Les circuits de comparaison génèrent des signaux de temporisation qui activent des relais de sortie à déclenchement. En général, ces dispositifs requièrent une source d'alimentation auxiliaire continue.



**Figure III-3:** Relais statique

➤ **Les Avantages et les inconvénients du relais statiques : [2]**

❖ Avantages

- Ils offrent une excellente précision et facilitent la détection des faibles courants de court-circuit.
- Chaque unité fonctionne comme une entité distincte, et plusieurs de ces entités sont requises pour assurer une protection intégrale.

❖ Inconvénients

- Le danger de se retrouver dans l'incapacité de fonctionner entre deux phases d'évaluation.
- La grande puissance consommée en elle
- Le fonctionnement n'est pas très faible car il n'y a pas de système d'autocontrôle.

**III.3.1.3 Relais numériques :**

Les systèmes de protection numérique reposent sur le principe de la conversion des variables électriques du réseau, fournies par des transformateurs de mesure, en signaux numériques à faible tension. L'application de techniques numériques pour le traitement du signal permet de décomposer le signal en vecteurs, facilitant ainsi le traitement des données à l'aide d'algorithmes de protection adaptés aux besoins spécifiques. De plus, ces dispositifs sont dotés d'un écran LCD à l'avant pour une utilisation locale.



**Figure III-4:** Relais numérique

➤ **Les avantages de relais numériques : [2]**

- Incorporation de diverses fonctionnalités pour établir une protection intégrale au sein d'une seule unité.
- La gestion et l'entreposage des données
- Le diagnostic des dispositifs connectés (disjoncteurs.....)

### III.3.1.4 Relais thermiques : [14]

Les relais thermiques, également connus sous le nom de relais de surcharge, sont des dispositifs de sécurité qui agissent en ouvrant ou en fermant leurs contacts lorsque la chaleur générée par le passage d'un courant dépasse un seuil défini. Leur fonctionnement est soumis à un délai, car la température ne peut pas réagir immédiatement aux fluctuations du courant. Dans (la figure III-5) mentionnée



Figure III-5: Relais Thermique

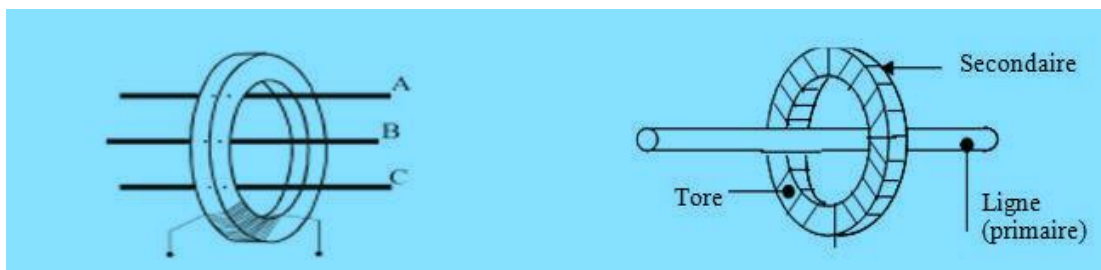
### III.3.2 Réducteurs de mesure : [12]

Pour des raisons de dimensionnement et de coût, les relais de protection sont conçus pour des courants et des tensions de faible valeur. De plus, afin de garantir la sécurité des opérateurs, il est nécessaire d'établir une séparation galvanique entre le réseau surveillé à haute tension et le circuit de mesure à basse tension, qui est mis à la terre à un point spécifique. À cet effet, des transformateurs de courant (TC) et des transformateurs de tension (TT) sont utilisés. Pour assurer une protection efficace contre les défauts, la précision est une caractéristique essentielle d'un réducteur de mesure.

#### III.3.2.1 Transformateur de courant TC : [2]

Un transformateur de courant se compose d'un circuit primaire et d'un circuit secondaire, reliés par un circuit magnétique et un revêtement isolant.

- Enroulé, lorsque le circuit magnétique comprend un bobinage primaire et secondaire
- Un conducteur non isolé de l'installation constitue le primaire traversant.
- Tore, primaire constitué par un câble isolé.



Mesure courant homopolaire

Mesure courant phase

Figure III-6: Transformateur de courant type Tore

#### ➤ Fonction de TC : [2]

La figure (III-6) représente le rôle d'un transformateur de courant de phase est de délivrer à son enroulement secondaire ( $I_s$ ) un courant qui est proportionnel au courant primaire ( $I_p$ ) mesuré.

### III.3.2.2 Transformateur de Tension TT : [2]

Le transformateur de tension, aussi appelé transformateur de potentiel (TP), est un transformateur de mesure utilisé pour adapter de hautes tensions (jusqu'à plusieurs centaines de kilovolts) à des niveaux compatibles avec les appareils de mesure ou de protection. Il fournit une tension secondaire proportionnelle à la tension primaire, avec un déphasage quasi nul. Sa caractéristique essentielle est le rapport de transformation, comme 400 000 V / 100 V.

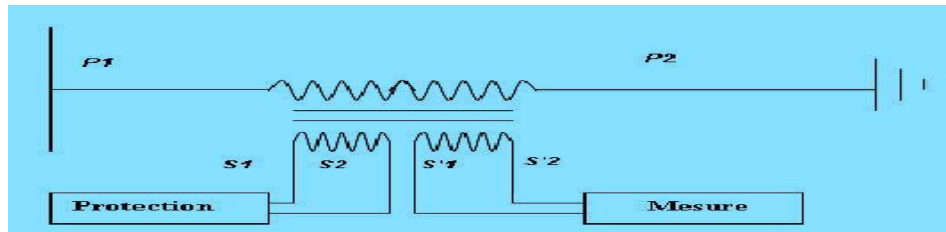


Figure III-7: Transformateur à double secondaire

#### ➤ Fonction de TT :

La figure (III-7) représente le rôle d'un transformateur de tension est de délivrer au circuit secondaire une tension proportionnelle à celle appliquée au circuit primaire. Son utilisation s'étend à la fois à la mesure et à la protection. Les transformateurs de tension (TT ou TP) se composent de deux enroulements, primaire et secondaire, qui sont interconnectés par un circuit magnétique, et les connexions peuvent être établies entre les phases ou entre une phase et la terre.

### III.3.3 Eclateur :

En (MT/HT), ces dispositifs sont installés aux points sensibles du réseau et à l'entrée des postes MT/BT. Leur rôle est de créer un point faible maîtrisé dans l'isolement du réseau pour canaliser tout amorçage éventuel. Le plus ancien de ces dispositifs est l'éclateur à pointes, constitué de deux électrodes opposées : l'une reliée au conducteur à protéger et l'autre à la terre.

#### ➤ Les différents types d'Éclateurs :

- Eclateurs à deux électrodes
- Eclateurs à trigger

#### ➤ Les avantages et les inconvénients des éclateurs :

##### ❖ Avantages

- Leur faible prix
- Leur simplicité
- La possibilité de réglage de la tension d'amorçage.

##### ❖ Inconvénients

- Les propriétés d'amorçage de l'éclateur présentent une variabilité significative (jusqu'à 40%) selon les conditions atmosphériques (température, humidité, pression) qui influencent l'ionisation du milieu diélectrique (air) entre les électrodes.
- Le niveau d'amorçage dépend de la valeur de surtension
- L'amorçage de l'éclateur provoque un court-circuit phase terre

### III.3.4 les parafoudres :

Un parafoudre, également connu sous le nom de para sur tenseur, est un dispositif conçu pour protéger les équipements électriques contre les surtensions transitoires, qui peuvent être causées par la foudre ou certains appareils industriels. Son fonctionnement repose sur l'établissement d'une connexion entre les conducteurs actifs et la terre lors d'une surtension due à une décharge. L'impédance du parafoudre doit être très faible pendant la surtension et élevée en conditions normales. Il agit comme une varistance, dont l'impédance varie en fonction de la tension. Ces dispositifs sont utilisés dans les réseaux (HT) et (MT).

### III.3.5 Câbles de garde :

Les câbles de garde n'ont pas pour fonction de transporter le courant. Ils sont positionnés au-dessus des conducteurs et agissent comme des paratonnerres, attirant les éclairs et protégeant ainsi les conducteurs des impacts de foudre.

Généralement, ils sont fabriqués en (almélec-acier). Parfois, un câble de fibre optique est intégré au centre du câble de garde pour faciliter la communication de l'exploitant. En cas d'ajout de fibre optique sur un câble de garde déjà en place, un robot est utilisé pour enrouler la fibre optique en spirale autour du câble de garde.

### III.3.6 Élimination des défauts : [15]

#### III.3.6.1 Disjoncteur : [12]

Un disjoncteur a pour fonction d'établir, de maintenir et d'interrompre des courants à sa tension nominale, tant dans des conditions normales qu'anormales du réseau. Il est généralement lié à un système de protection (relais) qui identifie les défauts et envoie des instructions au disjoncteur pour supprimer automatiquement le défaut ou pour rétablir un circuit une fois le défaut corrigé.

Sa fonction essentielle consiste à couper le courant lorsqu'un défaut est détecté.

#### III.3.6.1.1 Les différents types de courbes de déclenchement des disjoncteurs : [8]

##### 1. La courbe B de déclenchement de disjoncteur :

Le niveau de réglage du déclencheur magnétique qui leur est lié (voir figure III-8).(Fonctionnement du magnétique): 3 à 5 fois  $I_n$ .

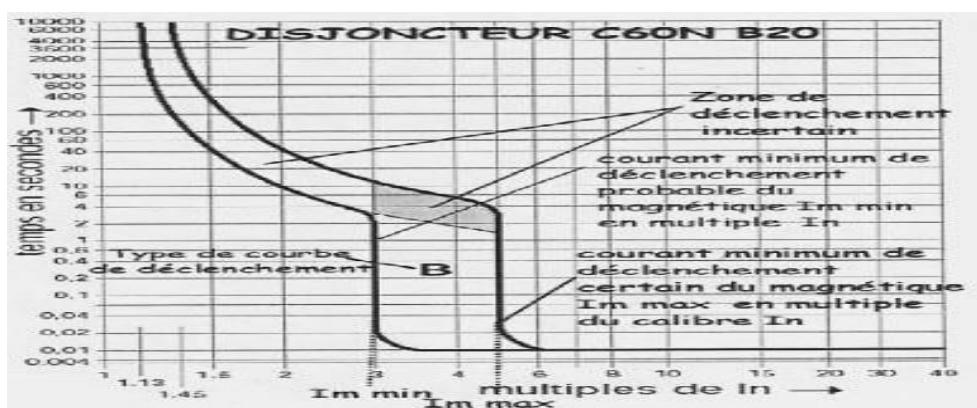


Figure III-8: Courbe B de déclenchement de disjoncteur

➤ **Analyse de la courbe B de déclenchement :**

❖ L'élément thermique tolère

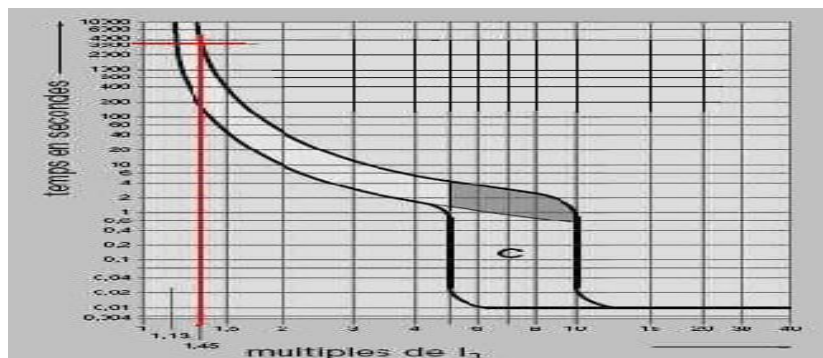
- 1,5.In durant 3mn
- 2. In durant 30 s

❖ L'élément magnétique provoque la coupure pour 8.In au bout de 10ms

- Le disjoncteur possède un déclenchement magnétique peu élevé, ce qui lui permet d'intervenir rapidement contre les courts-circuits très faibles. Il offre ainsi une protection efficace pour les générateurs, les personnes et les câbles longs sous régime TN ou IT.
- Le déclencheur courbe B est également employé pour la protection des circuits résistifs.

**2. La courbe C de déclenchement de disjoncteur :**

Le niveau de réglage du déclencheur magnétique qui leur est lié (voir figure III-9) (fonctionnement du magnétique): 5 à 10 fois In.



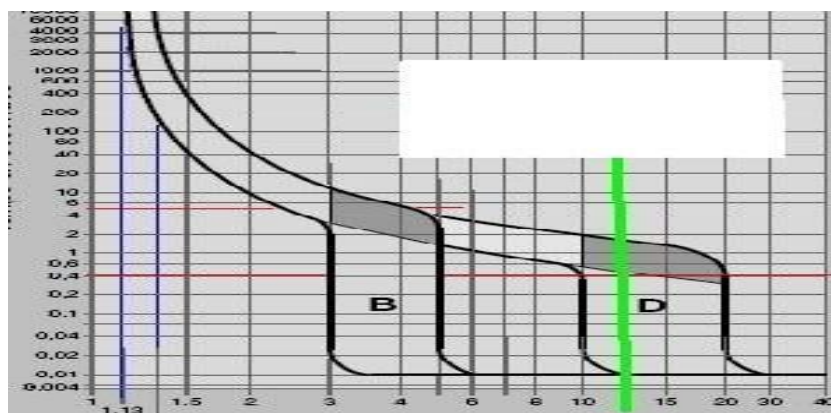
**Figure III-9 :** Courbe C de déclenchement de disjoncteur

❖ Protection des circuits à fort appel de courant

❖ Elle assure la protection des câbles alimentant des récepteurs classiques (installations domestiques).

**3. La courbe D de déclenchement de disjoncteur :**

Le niveau de réglage du déclencheur magnétique qui leur est lié (voir figure III-10.)(Fonctionnement du magnétique): 10 à 20 fois In.



**Figure III-10 :** Courbe D de déclenchement de disjoncteur

❖ Protection des circuits à fort appel de courant

❖ Elle garantit la sécurité des circuits et des câbles soumis à de fortes surtensions lors de la mise sous tension.

### III.3.6.1.2 Classification des disjoncteurs :

#### 1. Disjoncteur pneumatique:[11]

Le gaz présent dans les disjoncteurs à air comprimé est maintenu à une pression élevée (entre 20 et 35 bars) grâce à un compresseur (figure III-11). Cette pression élevée garantit l'isolation diélectrique et favorise l'extinction de l'arc lors de la coupure.



**Figure III-11:** Disjoncteur pneumatique

#### ➤ Inconvénients de la figure (III-11) : [11]

- Nécessité d'une station d'air comprimé
- Appareil plus cher
- Bruit violent

#### 2. Disjoncteur SF6 (Hexafluorure de soufre) : [16]

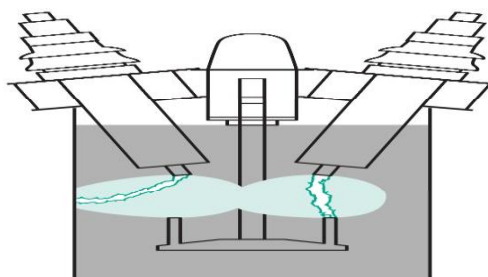
Ces disjoncteurs fonctionnent selon le même principe que les disjoncteurs à air comprimé (Figure III-12) à la seule différence qu'ils utilisent de l'hexafluorure de soufre pour éteindre l'arc.



**Figure III-12:** Disjoncteur hexafluorure de soufre SF6

#### 3. Disjoncteur à l'huile: [18]

Dans ces disjoncteurs, le contact mobile est isolé du contact fixe par un milieu diélectrique, qui est l'huile (figure III-13). Lorsqu'un défaut se produit, le disjoncteur s'active, générant un arc électrique entre les deux contacts. Sous l'effet de la chaleur, l'huile se décompose, produisant des gaz qui augmentent la pression et la résistance.



**Figure III-13:** Disjoncteur à l'huile

### III.3.6.1.3 Différents types de disjoncteurs : [16]

Les disjoncteurs fonctionnent suivant différentes techniques.

#### 1. Magnétique :

Un court-circuit entraîne une élévation soudaine du courant, et cette variation intense, en traversant la bobine, génère un champ magnétique puissant qui provoque l'ouverture du circuit. Les disjoncteurs magnétiques jouent un rôle crucial en protégeant les circuits électriques contre ces incidents de court-circuit.

Pour des courants de court-circuit relativement faibles, ces dispositifs réagissent plus rapidement que les fusibles. En fonction du disjoncteur sélectionné, l'utilisateur a la possibilité de régler le seuil de déclenchement. Dans la figure (III-14) motionnée.



Figure III-14: Disjoncteur magnétique

#### 2. Thermique :

Le disjoncteur est équipé d'un bilame. Lorsque le courant passe, il produit un effet Joule sur les fils des spires, ce qui provoque le réchauffement du bilame. À une température spécifique, ce bilame se déforme et, grâce au contact électrique associé, le circuit de commande se déclenche, ouvrant ainsi le contact et interrompant le circuit.

Ce modèle de disjoncteur est destiné à protéger les conducteurs contre les surchauffes causées par des surcharges. À travers la figure (III-15) précédent



Figure III.15: Disjoncteur Thermique

#### 3. Magnétothermique :

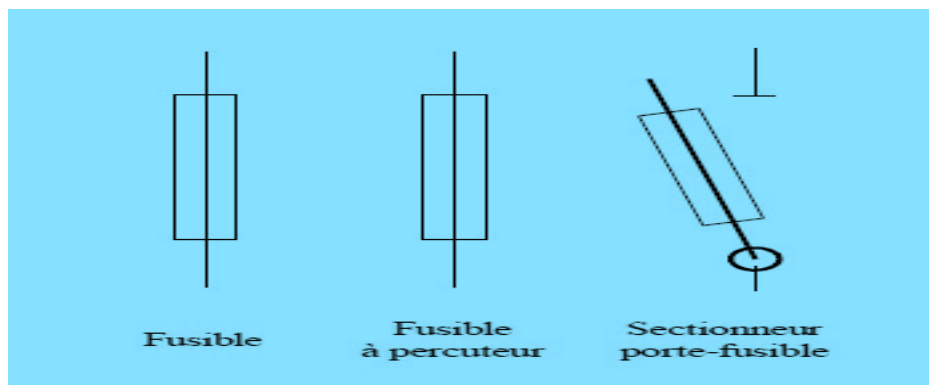
Ce modèle de disjoncteur combine les deux méthodes évoquées antérieurement, ce qui est perçu comme un atout, car il offre la possibilité de surveiller simultanément plusieurs paramètres.



**Figure III-16:** Disjoncteur magnétothermique

### III.3.6.2 Fusibles : [15]

Le fusible est un dispositif de sécurité dont la fonction est de couper le circuit dans lequel il est installé en fondant, afin d'interrompre le courant lorsque celui-ci dépasse une certaine valeur pendant une durée spécifique. Son appellation provient de son fonctionnement basé sur la fusion d'un filament.



**Figure III-17:** Symbole de fusible

#### ➤ Fonctionnement des fusibles :

Le courant qui circule dans le circuit passe intégralement à travers le fusible. Lorsque le courant excède la limite (valeur définie pendant une durée déterminée), la partie conductrice du fusible se liquéfie et interrompt le circuit. (La figure III-17)

#### III.3.6.2.1 Différentes classes de fusibles :

Il existe trois types de fusibles

- Fusible polyvalent assurant une protection contre les surcharges et les courts-circuits.
- Fusible de protection pour moteur (aM) : il est spécifiquement destiné à la protection contre les courts-circuits.
- Fusible à fusion rapide : conçu pour assurer la protection des dispositifs semi-conducteurs.



**Figure III-18:** Différentes classe de fusibles

### III.4 Caractéristiques essentielles d'un système de protection :

#### III.4.1 Fiabilité : [8]

La fiabilité d'un système de protection repose sur deux points clés : éviter les déclenchements intempestifs (sûreté) et garantir une réaction efficace en cas de défaut (sécurité). Selon le rôle de la protection dans le réseau, des objectifs de sûreté, sécurité et disponibilité sont définis. L'objectif est d'assurer un bon équilibre entre prévention des erreurs et efficacité d'intervention.

- Être sûr un déclenchement à sécurité
- Éviter tout déclenchement inopportun tout en assurant la disponibilité

#### III.4.2 Disponibilité : [9]

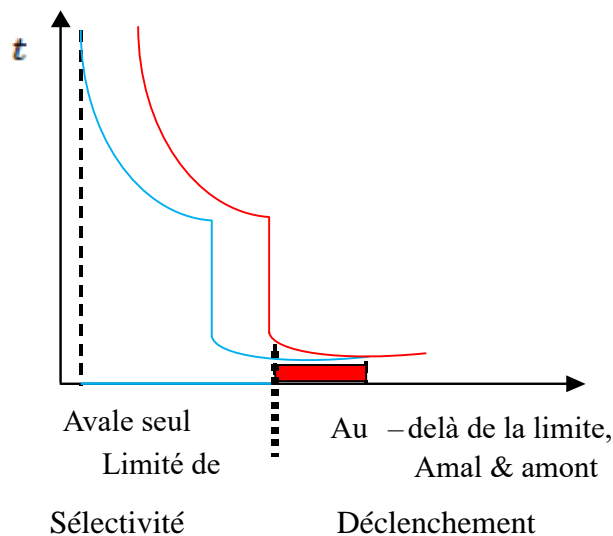
Il s'agit de la capacité à opérer en cas de défaillance, ce qui nécessite l'implémentation de différentes procédures ou dispositifs afin de garantir que la protection reste opérationnelle.

#### III.4.3 Sélectivité : [2]

La sélectivité désigne la capacité d'un ensemble de dispositifs de protection à différencier les situations dans lesquelles une protection doit s'activer de celles où elle ne doit pas intervenir.

#### ➤ Principe : [10]

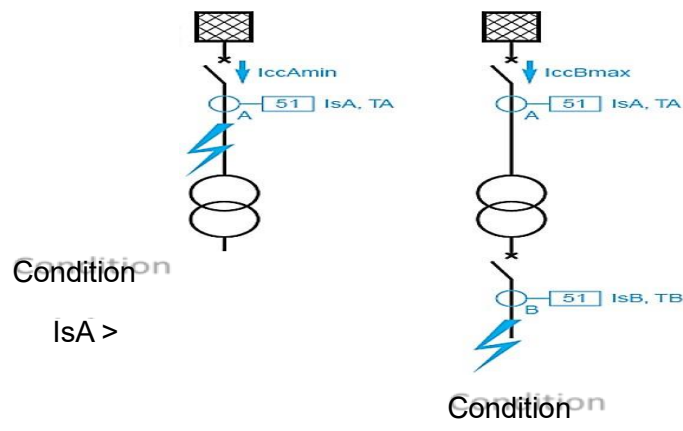
Un défaut à un point d'installation doit être corrigé par le dispositif de protection situé juste en amont de ce défaut, et si possible, uniquement par celui-ci.



**Figure III-19:** Représente limité de sélectivité

### 1. Sélectivité ampérométrique : [7]

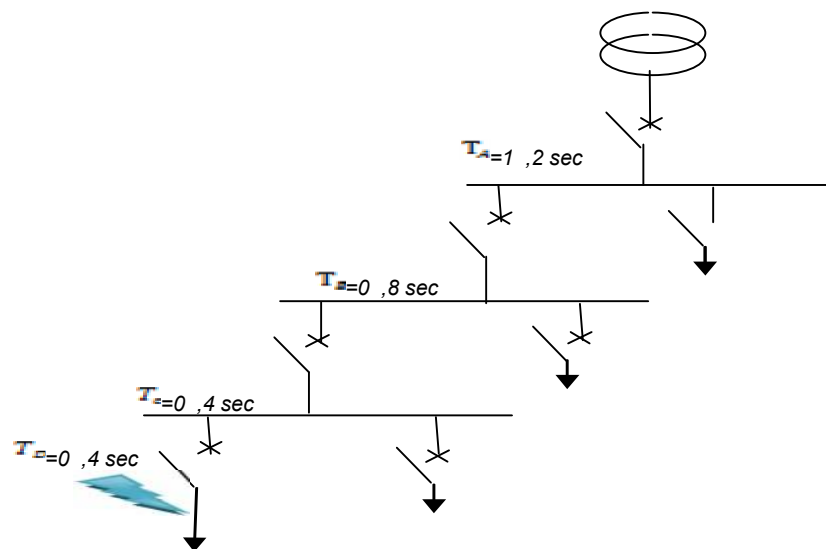
Une protection ampérométrique est installée au début de chaque segment : son seuil est ajusté à une valeur inférieure à la valeur de défaut minimale causée par un court-circuit sur la section surveillée, tout en étant supérieure à la valeur maximale du courant généré par un court-circuit en aval (au-delà de la zone surveillée).



**Figure III-20:** *Fonctionnement d'une sélectivité ampérométrique*

### 2. Sélectivité chronométrique : [2]

La sélectivité est un processus par lequel les dispositifs de protection sont agencés pour agir de manière décalée dans le temps. La protection la plus proche de la source est dotée d'un délai d'activation plus long. Par conséquent, dans le schéma (Fig. II-14.), le court-circuit est détecté par toutes les protections (A, B, C et D). La protection D, qui est temporisée, réagit plus rapidement que celle en C, qui à son tour est plus rapide que celle en B.

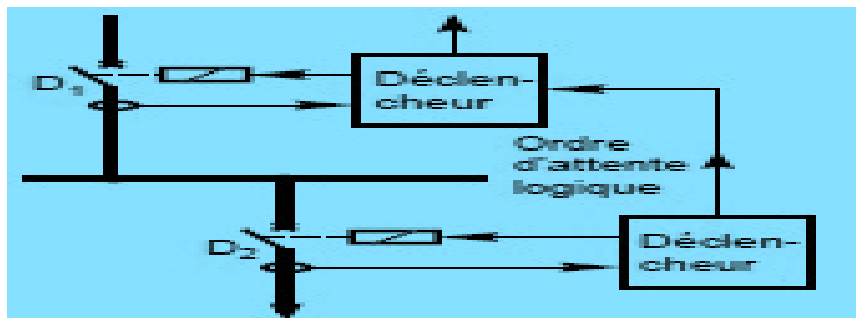


**Figure III-21:** *Principe de sélectivité chronométrique*

### 3. Sélectivité logique : [17]

Il est nécessaire d'effectuer un transfert d'informations entre les dispositifs de déclenchement des disjoncteurs situés à différents niveaux de la distribution. Lorsqu'un déclencheur détecte un courant dépassant son seuil de fonctionnement, il transmet un signal logique de temporisation au déclencheur

du disjoncteur qui se trouve juste en amont. La temporisation appliquée sera celle indiquée sur le déclencheur.



**Figure III-22:** Principe de sélectivité logique

➤ **Avantages de sélectivité :**

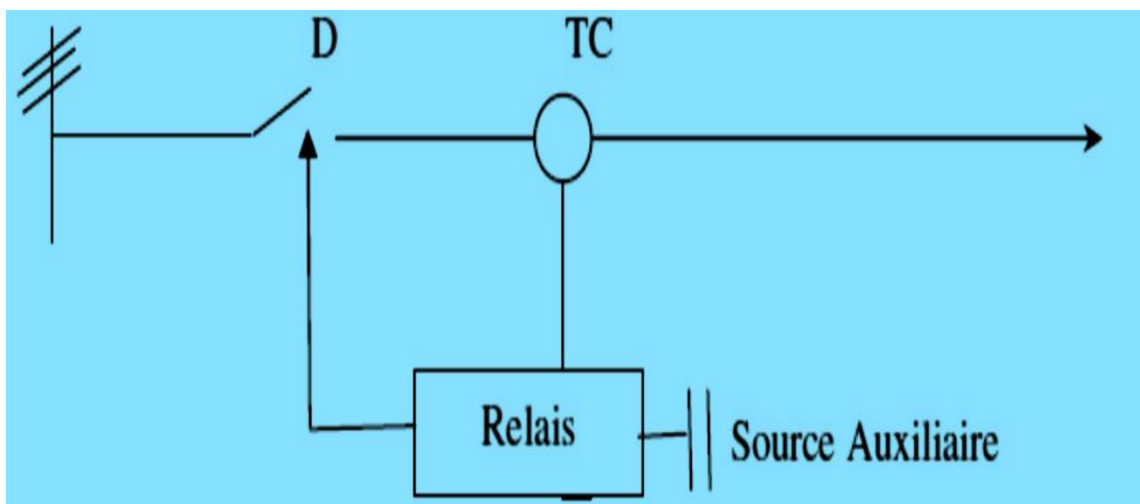
- Pas de respire de procédure de démarrage
- Pas d'arrêt inopiné et dangereux des machines ou système
- Pas de rupture de fabrication
- Disponibilité permanent l'énergie

**III.4.4 Sensibilité : [9]**

- La protection doit opérer dans un large éventail de courants de courts-circuits.
- Le courant maximal déterminé par la conception des installations est donc parfaitement établi.
- Le fonctionnement inopiné, qui se définit comme un fonctionnement non justifié, que ce soit en l'absence de défaut ou en présence d'un défaut pour lequel la protection n'aurait pas dû s'activer.
- Le concept de sensibilité d'une protection est souvent évoqué en lien avec le courant de court-circuit minimal permettant à la protection d'opérer.

**III.5 Organisation générale du système de protection : [7]**

Il s'agit de la sélection des dispositifs de protection et de la configuration générale de l'ensemble, de manière cohérente et appropriée au réseau (Fig. III-22). Le système de protection est constitué d'une série d'éléments suivants.



**Figure III-23:** Organisation générale du système de protection électrique

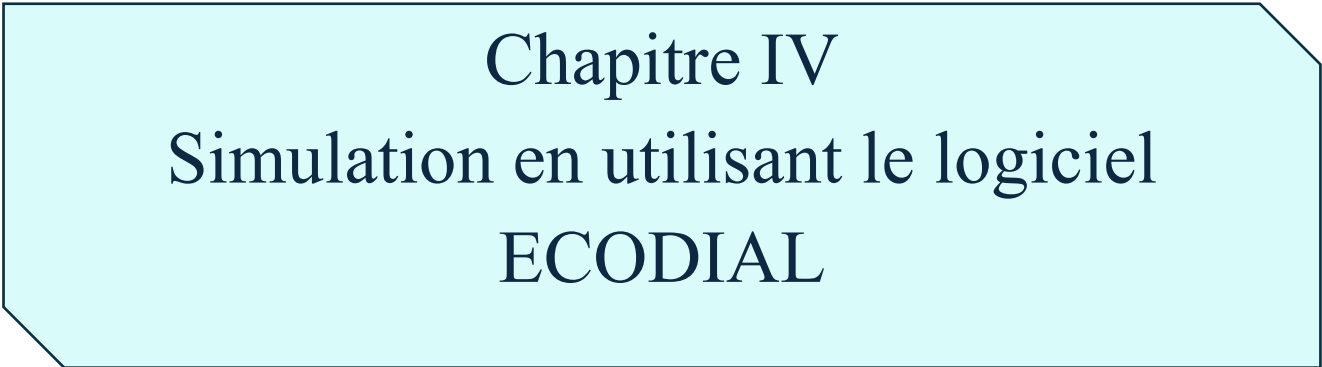
### **III.6 Contraintes liées à la protection : [12]**

Les protections électriques ne doivent en aucun cas limiter le fonctionnement normal des réseaux électriques. En particulier :

- ❖ Elles ne doivent pas restreindre la souplesse d'exploitation du réseau protégé, notamment en n'interdisant pas certains schémas comme les réseaux bouclés, maillés ou radiaux.
- ❖ Elles doivent rester stables face à des phénomènes non liés à des défauts, tels que :
  - Les manœuvres d'exploitation
  - Les régimes transitoires liés à la mise sous/hors tension à vide des lignes ou transformateurs
  - Les variations admissibles de tension et de fréquence
  - Les surcharges et déséquilibres tolérés dans les marges normales de fonctionnement
  - Les oscillations dues aux régimes transitoires des alternateurs
  - Les anomalies dans les circuits de mesure.

#### **Conclusion :**

Dans ce chapitre, il nous a paru importante présenter des renseignements approfondis sur la protection ainsi que sur les multiples composants d'un système de protection. Ces composants ont une importance capitale, sont très sensibles et doivent être soigneusement sélectionnés et précisément réglés pour garantir une protection efficace contre les différentes anomalies qui peuvent apparaître sur le réseau électrique.



**Chapitre IV**  
**Simulation en utilisant le logiciel**  
**ECODIAL**

## **Introduction:**

Ce chapitre est consacré à l'application du logiciel Ecodial pour le dimensionnement et la vérification d'une installation électrique industrielle en basse tension. Après avoir défini les données de base de l'installation (sources, charges, transformateurs et câbles), le logiciel a permis de générer le schéma unifilaire et de réaliser les principaux calculs : sections des conducteurs, choix des dispositifs de protection, évaluation des chutes de tension et détermination des courants de court-circuit.

En parallèle, une méthode simplifiée de calcul a été appliquée afin de confronter et valider les résultats obtenus. L'objectif de ce travail est de garantir la conception d'un réseau électrique industriel fiable et sécurisé, en assurant la protection des équipements et en vérifiant l'efficacité des dispositifs contre les défauts électriques.

### **IV.1 Présentation du logiciel :**

ECODIAL est un programme conçu pour assister la création de réseaux électriques de distribution basse tension, élaboré par Schneider Électrique. Il comprend un éditeur de schémas qui utilise des composants normalisés ainsi que des fonctions de calcul respectant les normes électrotechniques NFC 15 100 et UTE-C 15 500.

ECODIAL propose plusieurs fonctionnalités complémentaires : gestion des projets, résultats détaillés des calculs, configuration de l'impression, recherche de produits dans la base de données, association de disjoncteurs en sélectivité ou en filiation, comparaison de courbes de déclenchement. Il permet également d'importer une étude réalisée avec un autre logiciel (format XML) et d'exporter les schémas et les calculs dans divers formats. Les fichiers exportés peuvent être utilisés dans d'autres applications telles que des traitements de texte ou des logiciels de dessin.

ECODIAL permet d'identifier tous les scénarios d'extension, de modification et de mise en conformité des installations électriques. Utilisé par les organismes de contrôle, il est particulièrement bien adapté pour effectuer des simulations multiples.

ECODIAL peut être employé pour élaborer des réseaux de distribution ayant les caractéristiques générales suivantes :

- Tension 220 à 690 v
- Fréquence 50 ou 60 HZ
- Schéma de liaison à la terre TT, IT, TN.

#### **IV.1.1 Utilité du logiciel ECODIAL:**

Il permet de réaliser les opérations suivantes :

- Dessiner le schéma unifilaire d'un réseau électrique .
- Calcul le bilan de puissance de l'installation .
- Détermination les section des conducteurs pour les câbles .
- Détermination de la chute de tension .
- Détermination des courants de court-circuit .

- Choix des dispositifs de protection .
- Sélectivité des protections .
- Vérification de la protection des personnes .

## IV.2 Données d'installation :

### ➤ Les câbles :

*Tableau IV-1: Caractéristiques des câbles utilisés*

Longueur (m)	Repère câbles	Mode de pose
10	C1	Câble en cuivre mono-conducteur PVC sur chemin de câbles
25	C2	Câble en cuivre mono-conducteur PVC sur chemin de câbles
10	C3	Câble en cuivre mono-conducteur PVC sur chemin de câbles
10	C4	Câble en cuivre mono-conducteur PVC sur chemin de câbles
10	C5	Câble en cuivre multiconducteur PR sur chemin de câbles
10	C6	Câble en cuivre mono-conducteur PVC sur chemin de câbles
10	C7	Câble en cuivre mono-conducteur PVC sur chemin de câbles
10	C8	Câble en cuivre mono-conducteur PVC sur chemin de câbles
10	C9	Câble en cuivre mono-conducteur PVC sur chemin de câbles
10	C10	Câble en cuivre mono-conducteur PVC sur chemin de câbles

- **Source:** Deux sources de 1000 kVA, 50 Hz.
- **Générateur de secours :** Deux sources de 800 kVA ,50 Hz.
- **Transformateur T1 :** Deux transformateurs MT/BT (30 kV/400 V).
- **Transformateur T2 :** Deux transformateurs BT/BT (400 V/400 V) avec une puissance de 500 KVA.
- **Les Charges :** L'installation comporte 4 charges et une compensation.

❖ La figure ci-dessous représente le schéma unifilaire d'installation :

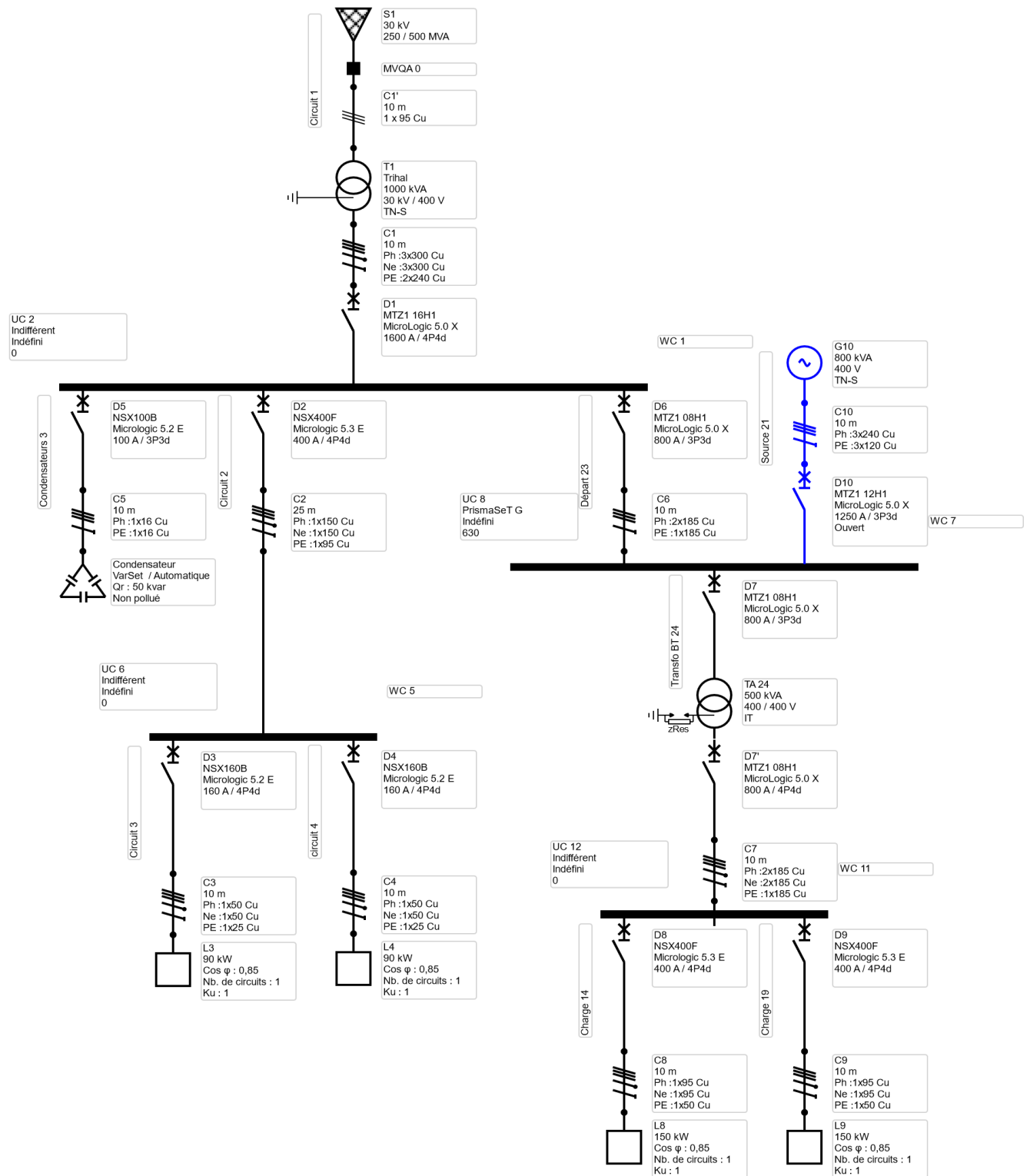


Figure IV-1: Le schéma unifilaire de l'installation

IV.3 Résultats de simulation:

Les résultats de simulation sont illustrés comme suit:

- **Disjoncteur :** le tableau ci-dessous illustre les différents gammes des disjoncteurs de protection utilisés automatiquement par le logiciel par rapport aux sections utilisés et leurs caractéristiques, pouvoir de coupure, calibre des disjoncteurs... etc.

**Tableau IV-2 : Caractéristiques des disjoncteurs utilisés dans l'installation**

Nom	Type de norme	Gamme	Disjoncteur	Calibre (A)	P <sub>dc</sub> (kA)	Pôles	Déclencheur / courbe	Calibre déclencheur (A)	Long retard (A)	Court retard (A)	Débrochabilité	Motorisation
D1	Industriel	Masterpack MTZ1	MTZ116H1	1600	42	4P4d	Micrologic 5.0 X	1600	1472	11776	Possible	Possible
D2	Industriel	Compact NSX	NSX400F	400	36	4P4d	Micrologic 5.3E	400	306	3060	Possible	Possible
D3	Industriel	Compact NSX	NSX160B	160	25	4P4d	Micrologic 5.2E	160	153	1530	Possible	Possible
D4	Industriel	Compact NSX	NSX160B	160	25	4P4d	Micrologic 5.2E	160	153	1530	Possible	Possible
D5	Industriel	Compact NSX	NSX100B	100	25	3P3d	Micrologic 5.2E	100	99	990	Possible	Possible
D6	Industriel	Compact NSX	NSXMTZ10 8H1	800	42	3P3d	Micrologic 5.0X	800	736	7360	Possible	Possible
D7	Industriel	Masterpack MTZ1	MTZ1 08H1	800	42	3P3d	Micrologic 5.0X	800	736	2208	Possible	Possible
D7'	Industriel	Masterpack MTZ1	MTZ 08H1	N800	42	4P4d	Micrologic 5.0X	800	736	1104	Possible	Possible
D8	Industriel	Compact NSX	NXS 400F	400	36	4P4d	Micrologic 5.3E	400	255	1148	Possible	Possible
D9	Industriel	Compact NXS	NSX400F	400	36	4P4d	Micrologic 5.3E	400	255	1148	Impossible	Impossible

- **Transformateur MT/BT** : Le tableau ci-dessous regroupe les différentes caractéristiques de transformateur MT/BT utilisés (la puissance apparente, la tension, le courant...etc).

**Tableau IV-3 : Caractéristique du transformateur MT/BT**

Nom	Gamme	SrT (kVA)	UkrT (%)	PkrT (kW)	UrT20 (V)	UiT0 (kV)	Ir (A)
T1	Trihal	1000	6.5	9.9	420	36	1443

**Tableau IV-4: Caractéristique du Transformateur BT/BT**

Nom	SrT (kVA)	UkrT (%)	PkrT (kW)	UrT20 (V)	UiT0 (V)
T2	500	5	9	420	1000

- **Câble BT** : le tableau suivant récapitule les caractéristiques des câbles BT de l'installation et de nombre des conducteurs par phase ainsi que les sections des conducteurs et les valeurs des courants maximale accessible dans chaque canalisation .

**Tableau IV-5 : Caractéristique des câbles BT**

Nom	Tenant	Aboutissant	Nb par phase	Section phase (mm <sup>2</sup> )	Nb neutre	Section du neutre (mm <sup>2</sup> )	Nombre PE	Section PE (mm <sup>2</sup> )	Nb PEN	Section PEN (mm <sup>2</sup> )	Iz (A)
C1	D1	T1	3	300	3	300	2	240	N/A	N/A	587
C5	Compensation	D5	1	16	N/A	N/A	1	16	N/A	N/A	100
C2	WC 5	D2	1	150	1	150	1	95	N/A	N/A	319
C6	WC7	D6	2	185	N/A	N/A	1	185	N/A	N/A	4 27
C7	WC11	D7'	2	185	2	185	1	185	N/A	N/A	427
C4	L4	D4	1	50	1	50	1	25	N/A	N/A	174
C8	L8	D7	1	95	1	95	1	50	N/A	N/A	275
C3	L3	D3	1	50	1	50	1	25	N/A	N/A	174
C9	L9	D9	1	95	1	95	1	50	N/A	N/A	275

- ❖ Après avoir reproduit l'étude de cas, nous avons extrait du logiciel Ecodial les calculs détaillés. Ces données comprennent les factures de correction, les sections de câbles, les courants admissible et les disjoncteurs choisis. Elles couvrent l'ensemble de l'installation, et les résultats se présentent comme suit:

## 1. Pour le circuit C1:

Arrivée MT	S1
Puissance de court-circuit Max.	500 MVA
Puissance de court-circuit Min.	250 MVA
Câble MT	C1'
Paramètres	
Longueur	10 m
Type de câble	Mono-conducteur
Ib	19 A
Nb. de conducteurs par phase	1
Section	1 x 95 Cu mm <sup>2</sup>
Âme	Cuivre
Tenue au court-circuit	13,2 kA
Tension de service	30 kV
Tension d'isolement	36 kV
Transformateur MT/BT	T1
Gamme	Trihal
Technologie	Sec
SrT	1000 kVA
ukrT	6,5 %
Type de pertes	AoAk
PkrT	9900 W
Schéma de liaisons à la terre (BT)	TN-S
Couplage MT	D
Couplage BT	yn
UrT0 BT	420V
Ur BT	400V
Rb (mise à la terre du neutre)	NA
Ra (mise à la terre des masses)	NA
Informations de dimensionnement	UkrT et PkrT calculés automatiquement

Câble	C1
Paramètres	
Longueur	10 m
Longueur maximale	NA
Mode de pose	31 F
	Câbles monoconducteurs sur des chemins de câbles ou tablettes perforés, en parcours horizontal
Type de câble	Monoconducteur
Nb de circuits jointifs supplémentaires	NA
Isolant	PVC 70°
Température ambiante	30 °C
THDI de rang 3 dans le neutre	NA %
Ib	1443 A
Contrainte de dimensionnement	Iz
Information de dimensionnement	Dimensionné avec Ir
Facteurs de correction	
Facteur de température	1
Tableau de référence normatif	B-52-14
Facteur de résistivité thermique du sol	1
Tableau de référence normatif	B-52-16
Facteur de neutre chargé	1
Tableau de référence normatif	E-52-1
Facteur de coefficient fusible	0,87
Tableau de référence normatifn	B-52-21
Facteur de correction	1
Facteur global	0,87
Phase choisie	
Section	3x300 mm <sup>2</sup>
Ame	Cuivre
Iz	1532 A
Iz'	1761 A
Neutre choisi	
Section	3x300 mm <sup>2</sup>
Ame	Cuivre
Iz	1532 A
Iz'	1761 A
PE choisi	
Section	2x240 mm <sup>2</sup>
Ame	Cuivre

**2. Pour le circuit C2:**

<b>Disjoncteur D2</b>	
Ib	306 A
Distance depuis l'origine	NA
Informations de dimensionnement	Dimensionné par le système
Gamme	ComPacT NSX
Désignation	NSX400F
Calibre disjoncteur	400 A
Pouvoir de coupure	36 kA
Pouvoir de coupure unipolaire TNS	36 kA
Pouvoir de coupure unipolaire IT	NA
Pouvoir de coupure renforcé	NA
Pôles & pôles protégés	4P4d
Déclencheur	Micrologic 5.3 E
Calibre déclencheur	400 A
<b>Réglages long retard</b>	
Ir	306 A
Tr	4 s
<b>Réglages court retard</b>	
Isd current	3060 A
Tsd	0,4 s
<b>Réglages instantané</b>	
Ii current	4800 A
Ti current	0,05 s
<b>Câble C2</b>	
<b>Paramètres</b>	
Longueur	25 m
Longueur maximale	NA
Mode de pose	31 E
	Câbles multiconducteurs sur des chemins de câbles ou tablettes perforés, en parcours horizontal
Type de câble	Multiconducteur
Nb de circuits jointifs supplémentaires	NA
Isolant	PVC 70°
Température ambiante	30 °C
THDI de rang 3 dans le neutre	NA %
Ib	306 A
Contrainte de dimensionnement	Iz
Information de dimensionnement	Dimensionné avec Ir
<b>Phase choisie</b>	
Section	1x150 mm <sup>2</sup>
Ame	Cuivre
Iz	319 A
Iz'	319 A

<b>Facteurs de correction</b>	
Facteur de température	1
Tableau de référence normatif	B-52-14
Facteur de résistivité thermique du sol	1
Tableau de référence normatif	B-52-16
Facteur de neutre chargé	1
Tableau de référence normatif	E-52-1
Facteur de coefficient fusible	1
Tableau de référence normatif	B-52-20
Facteur de correction	1
Facteur global	1

<b>Neutre choisi</b>	
Section	1x150 mm <sup>2</sup>
Ame	Cuivre
Iz	319 A
Iz'	319 A

<b>PE choisi</b>	
Section	1x95 mm <sup>2</sup>
Ame	Cuivre

<b>Courants de court-circuit</b>							
Ik3max	Ik2max	Ik1max	Ik2min	Ik1min	Iefmin	Ief2min	Iefmax
<b>Mode d'exploitation NORMAL</b>							
(kA)	17,08	14,79	13,88	12,30	11,39	10,95	NA 8

<b>Courants d'emploi</b>				
IL1	IL2	IL3	IN	
<b>Mode d'exploitation NORMAL</b>				
(A)	305,656	305,656	305,656	0

<b>Synthèse pour tous les modes d'exploitation</b>				
(A)	305,656	305,656	305,656	NA

<b>Mode d'exploitation NORMAL</b>		
U <sub>3L</sub> (%)	0,786	0,556
U <sub>L1L2</sub> (%)	0,907	0,642
U <sub>L2L3</sub> (%)	0,907	0,642
U <sub>L3L1</sub> (%)	0,907	0,642
U <sub>L1N</sub> (%)	0,786	0,556
U <sub>L2N</sub> (%)	0,786	0,556
U <sub>L3N</sub> (%)	0,786	0,556

### 3. Pour le circuit C3:

Disjoncteur D4	
Ib	153 A
Distance depuis l'origine	NA
Informations de dimensionnement	Dimensionné par le système
Gamme	ComPacT NSX
Désignation	NSX160B
Calibre disjoncteur	160 A
Pouvoir de coupure	25 kA
Pouvoir de coupure unipolaire TNS	25 kA
Pouvoir de coupure unipolaire IT	NA
Pouvoir de coupure renforcé	NA
Pôles & pôles protégés	4P4d
Déclencheur	Micrologic 5.2 E
Calibre déclencheur	160 A
Réglages long retard	
Ir	153 A
Tr	0,5 s
Réglages court retard	
Isd current	1530 A
Tsd	0,4 s
Réglages instantané	
Ii current	2400 A
Ti current	0,05 s
Câble C4	
Paramètres	
Longueur	10 m
Longueur maximale	71 m
Mode de pose	31
Type de câble	Monoconducteur
Nb de circuits jointifs supplémentaires	NA
Isolant	PVC 70°
Température ambiante	30 °C
THDI de rang 3 dans le neutre	NA %
Ib	153 A
Contrainte de dimensionnement	Iz
Information de dimensionnement	Dimensionné avec Ir
Facteurs de correction	
Facteur de température	1
Tableau de référence normatif	B-52-14
Facteur de résistivité thermique du sol	1
Tableau de référence normatif	B-52-16
Facteur de neutre chargé	1
Tableau de référence normatif	E-52-1
Facteur de coefficient fusible	0,98
Tableau de référence normatif	B-52-21
Facteur de correction	1
Facteur global	0,98

Phase choisie								
Section	1x50 mm <sup>2</sup>							
Ame	Cuivre							
Iz	171 A							
Iz'	174 A							
Neutre choisi								
Section	1x50 mm <sup>2</sup>							
Ame	Cuivre							
Iz	171 A							
Iz'	174 A							
PE choisi								
Section	1x25 mm <sup>2</sup>							
Ame	Cuivre							
Courants de court-circuit								
Ik3ma x	Ik2ma x	Ik1ma x	Ik2mi n	Ik1mi n	Iefmi n	Ief2mi n	Iefma x	
Mode d'exploitation NORMAL								
(kA)	14,70	12,73	10,59	10,36	8,38	6,87	NA	7,96
Synthèse pour tous les modes d'exploitation								
(kA)	14,70	12,73	10,59	10,36	8,38	6,87	NA	7,96
Charge L4								
Tension du réseau	400 V							
Tension des composants	400 V							
S	106 kVA							
P	90 kW							
I	153 A							
cosφ	0,85							
Polarité	3Ph+N							
Nombre de circuits	1							
Ku (mode NORMAL)	1							
Générateur d'harmoniques	Non							
THDI3 de rang 3 généré	NA %							
Sensibilité à la surtension	NA							
Courants d'emploi								
IL1	IL2	IL3	IN					
Mode d'exploitation NORMAL								
(A)	152,828	152,828	152,828	0				

Synthèse pour tous les modes d'exploitation			
(A)	152,828	152,828	152,828
NA			
Chutes de tension			
Cumulées depuis l'amont			Circuit
Mode d'exploitation NORMAL			
U <sub>3L</sub> (%)		1,067	0,281
U <sub>L1L2</sub> (%)		1,232	0,325
U <sub>L2L3</sub> (%)		1,232	0,325
U <sub>L3L1</sub> (%)		1,232	0,325
U <sub>L1N</sub> (%)		1,067	0,281
U <sub>L2N</sub> (%)		1,067	0,281
U <sub>L3N</sub> (%)		1,067	0,281
Synthèse pour tous les modes d'exploitation			
U <sub>3L</sub> (%)		1,067	
U <sub>L1L2</sub> (%)		1,232	
U <sub>L2L3</sub> (%)		1,232	
U <sub>L3L1</sub> (%)		1,232	
U <sub>L1N</sub> (%)		1,067	
U <sub>L2N</sub> (%)		1,067	
U <sub>L3N</sub> (%)		1,067	

## IV.4 Calcul de l'installation:

### IV.4.1 Section des conducteurs de phase en fonction des différents facteurs :

Pour choisir la section des conducteurs, il est primordial de commencer Par déterminer la lettre de sélection, qui est influencée par la nature du câble et le mode de pose prévu. Cette étape initiale est essentielle pour assurer la conformité et la sécurité de l'installation électrique.

- Pour le câble C1 ( câble monoconducteur PVC sur chemin de câbles perforés ou tablette), la lettre sélection (F) ).
- Le facteur de correction k1, qui tient compte du mode d'installation, est ici fixé à 1.
- Le facteur K2 est calculé. Il reflète l'effet d'autres circuits. Pour ce cas, K2 = 0,82 .
- Le facteur K3 tient compte de la température et de l'isolant. Pour ce cas, K3 = 1. La température est de 30°C. L'isolant est fait de PVC.
- On effectue le produit :

$$K = k_1 * k_2 * k_3 * k_e * k_s = 0.82$$

On calcule l'intensité fictive I'Z

$$I'Z = IZ/K$$

- Iz représente le courant maximum toléré dans le câble. C'est le calibre du disjoncteur qui le protège.
- I'Z Ce courant fictif traverse cette conduite. Il prend en compte tous les paramètres.

Dans ce cas  $I'Z = 1532/0.82 = 1868 \text{ A}$

**Tableau IV.6:** Résultat de de calcul de section des câbles

Câbles	Lettre de sélection	K1	K2	K3	K	Courant IZ (A)	I'z=Iz/k	Section cuivre (mm <sup>2</sup> )
C1	F	1	0.82	1	0.82	1532	1868.3	3*300
C2	E	1	1	1	1	319	319	150
C4	F	1	1	1	1	171	171	50

#### IV.4.2 Section des conducteurs de protection:

La méthode compare la section du conducteur de terre (PE) à celle des conducteurs de phase du circuit. Cela suppose que les conducteurs sont du même matériau. La section du conducteur PE est déterminée par la section des conducteurs de phase (*SPH*) comme suit :

$$\begin{aligned} \mathbf{Sph} \leq 16\text{mm}^2 & / \quad \mathbf{Spe=Sph} \\ 16 \text{ mm}^2 < \mathbf{Sph} \leq 35 \text{ mm}^2 & / \quad \mathbf{Spe=16 mm}^2 \\ \mathbf{Sph} > 35 \text{ mm}^2 & / \quad \mathbf{Spe = Sph/2} \end{aligned}$$

- Pour le câble C1, les fils de phase ont une section  $S_{ph} \geq 35\text{mm}^2$ . Cela signifie que le fil de protection PE doit avoir une section égale à la moitié de celle des fils de phase  $S_{pe}=S_{ph}/2$ .

$$\mathbf{Spe= Sph/2} \qquad \mathbf{Spe= 3*300/2=450\text{mm}^2}$$

Un conducteur de  $150 \text{ mm}^2$  est largement suffisant pour d'autres usages, comme protéger les gens.

#### IV.4.3 détermination de la chute de tension :

Un câble présente une faible résistance au passage du courant. Quand le courant passe, la tension diminue de l'origine à la fin. Pour qu'un appareil fonctionne bien, la tension à ses bornes doit être juste. Il faut donc contrôler cette perte de tension. Un bon dimensionnement des câbles d'alimentation est essentiel.

Cette partie aide à calculer les pertes de tension dans les lignes. Elle permet de s'assurer qu'elles respectent les limites :

- Conformes aux exigences et dispositions actuelles.
- Ce que le destinataire accepte.
- Conformes aux besoins opérationnels

❖ On détermine les chutes de tension avec cette formule:

$$\mathbf{u = b(\rho 1. L/S. \cos\varphi + \lambda. L. \sin\varphi)I_B}$$

**u** : la chute de tension en (V)

**λ** : la réactance linéique des conducteurs

**IB** : le courant d'emploi en (A)

**L** : la longueur en (m)

**S** : la section des conducteurs en ( $\text{mm}^2$ )

**ρ1** : la résistivité des conducteurs

**cosφ**: le facteur de puissance

$$\mathbf{\Delta U= 100*u/ U_o}$$

**Uo** : la tension entre phase et neutre

**ΔU** : la chute de tension en (%)

➤ **Câble C1:**

$$\mathbf{1) u = b(\rho 1. L/S. \cos\varphi + \lambda. L. \sin\varphi)I_B}$$

$$= 1*(0.023*10(-3)*10/(3*300*0.85)+0.08*10(-3)*10*0.526)*1443$$

$$= 0.61$$

$$\mathbf{2) \Delta U=100*u/230 = 0.26 \%}$$

➤ **Câble C2:**

$$\begin{aligned}
 1) \quad u &= b(\rho 1. L/S. \cos\varphi + \lambda. L. \sin\varphi)IB \\
 &= 1*(0.023*10(-3)*25/(150*0.85)+0.08*10(-3)*25*0.526)*306 \\
 &= 0.32
 \end{aligned}$$

$$2) \quad \Delta u = 100*u/230 = 0.14 \%$$

➤ **Câble C4**

$$\begin{aligned}
 1) \quad u &= b(\rho 1. L/S. \cos\varphi + \lambda. L. \sin\varphi)IB \\
 &= 1*(0.023*10(-3)*10/(50*0.85)+0.08*10(-3)*10*0.526)*153 \\
 &= 0.64
 \end{aligned}$$

$$2) \quad \Delta u = 100*u/230 = 0.278 \%$$

❖ Les résultats sont résumés dans la figure suivante :

*Tableau IV-7: Chute de tension introduire par les différents câbles*

	<b>Câble C1</b>	<b>Câble C2</b>	<b>Câble C4</b>
<b>Courant de charge (A)</b>	1443	306	153
<b>Longueur (m)</b>	10	25	10
<b>Chute de tension (v)</b>	0.61	0.32	0.065
<b>Chute de tension (%)</b>	0.26	0.14	0.028

#### IV.4.4 Détermination des courants de court-circuit:

Le calcul du courant de court-circuit triphasé pour tout emplacement dans un réseau BT suit cette méthode :

$$I_{cc} = U_{20} / \sqrt{3 * Z_T}$$

**U<sub>20</sub>**: la tension à vide par phases au secondaire d'un transformateur HTA/BT en (V)

**Z<sub>T</sub>**: Impédance totale par phase du réseau avant le défaut en (Ω) .

#### ➤ **Courant de court-circuit triphasé au secondaire du transformateur MT/BT .**

Transformateur de 1000 KVA à vide

$$I_n = S_{cc} / U_{20} * \sqrt{3} \quad I_n = 1000 * 10(3) / 400 * \sqrt{3} = 1443.4 \text{ A}$$

$$I_{cc} = 100 * I_n / U_{cc} \quad I_{cc} = 100 * 1443.4 / 6.5 = 22.206 \text{ KA}$$

#### ➤ **Courant de court-circuit dans le câble C1**

Pour déterminer le courant de court-circuit, il faut d'abord trouver l'impédance totale Z<sub>T</sub>. Chaque pièce d'un réseau a une impédance Z. Celle-ci combine une partie résistante (R) et une partie inductive (X), nommée réactance. La méthode consiste à diviser le réseau en sections. On calcule ensuite le R et le X pour chaque section.

L'impédance totale (Z<sub>T</sub>) de tous les éléments du réseau, une fois connectés, est calculée comme suit :

$$Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2}$$

❖ L'impédance de réseau avant de transformateur HTA//BT pour une P<sub>cc</sub>= 500 MVA est :

$$Z = \sqrt{R_a^2 + X_a^2} = \sqrt{(0.031^2 + 0.31^2)} = 0.32 \text{ m}\Omega$$

**Tableau IV-8: Impédance du réseau MT rapporte au secondaire BT du transformateur MT/BT**

Pcc	U <sub>0</sub> (V)	Ra (mΩ)	Xa (mΩ)
250 MVA	420	0.063	0.63
500 MVA	420	0.031	0.31

❖ Impédance de transformateur MT/BT de 1000KVA, ΔV=6.5% est :

$$Z_{tr} = \sqrt{(R_{tr}^2 + X_{tr}^2)}$$

$$R_{tr} = 1.58 \text{ m}\Omega \text{ et } X_{tr} = 10.28 \text{ m}\Omega$$

$$Z = \sqrt{(1.58^2) + (10.28^2)}$$

❖ Impédance du câble C1 :

$$Z_{c1} = \sqrt{(R_{c1}^2 + X_{c1}^2)}$$

On calcul R<sub>c1</sub> et X<sub>c1</sub>:

$$R_{c1} = \rho * L/S \quad X_{c1} = 0.08 * L$$

ρ : 22.5 mΩ.mm<sup>2</sup>/m pour le cuivre .

L: Longueur de câble en (m)

S: section du câble en (mm<sup>2</sup>)

$$R_{c1} = 22.5 * 10 / 300 = 25 \text{ m}\Omega \quad N \quad X_{c1} = 0.08 * 10 = 0.8 \text{ m}\Omega$$

$$Z = \sqrt{(25^2 + 0.8^2)} = 25.012 \text{ m}\Omega$$

La réactance des câbles peut-être donnés avec précision pa les fabricats, En l'absence d'autres renseignements, on pourra prendre : X<sub>c</sub> = 0.08

$$R_{c1} = 22.5 * 10 / (3 * 300) = 25 \text{ m}\Omega \quad X_{c1} = 0.08 * 10 = 0.8 \text{ m}\Omega$$

$$Z = \sqrt{(25^2 + 0.8^2)} = 25.012 \text{ m}\Omega$$

❖ Impédance total de tronçon :

$$Z_t = \sqrt{(R_t^2 + X_t^2)} = \sqrt{(26.58^2 + 11.07^2)} = 28.8 \text{ m}\Omega$$

❖ Donc le courrat I<sub>cc</sub> est :

$$I_{cc} = \frac{400}{\sqrt{3} * 28.8 * 10^{(-3)}} \quad I_{cc} = 8.02 \text{ KA}$$

**Tableau IV-9 : Les résultat de calcul des autres câbles**

Composants	R (mΩ)	X (mΩ)	Z (mΩ)	I <sub>Kmax</sub> (KA)
Réseau amont P <sub>cc</sub> 500 MVA	0.031	0.31	0.32	
T1 1000KVA DU=6.5%	1.58	10.28		
C1	25	0.8	25.012	
Sous total	26.58	11.07	28.8	8.02
C2	3.75	2	4.25	
Sous total	30.33	13.07	33.02	7
C4	4.5	0.8	4.57	
Sous total	34.83	13.87	37.49	6.2

## IV.5 Choix des dispositifs de protection :

Pour choisir la protection deux éléments sont à prendre en compte:

- Calibre de la protection .
- Pouvoir de coupure de la protection .

### 1) Choix de calibre de protection :

Soit  $I_b$  le courant normal du conducteur. Soit  $I_n$  le calibre du dispositif de protection. Soit  $I_z$  le courant fictif dans le conduit :

- Il faut avoir :

$$I_b < I_n < I'_z$$

### 2) Choix du pouvoir de coupure :

La protection doit pouvoir couper le courant d'une valeur en ampères. Cette valeur doit être plus grande que le courant de court-circuit  $I_{cc}$  de l'installation.

D'après les calculs précédents de circuit C1 :

$$I_b = 1443 \text{ A} \quad \text{et} \quad I'_z = 1868.3 \text{ A}$$

$$\text{Donc : } 1443\text{A} < I_n < 1868.3$$

Dans notre cas on a choisir pour le câble C1 un disjoncteur a les caractéristiques suivantes.

*Tableau IV.10 : Choix de disjoncteur D1*

<i>Disjoncteur</i>	<i>D1</i>
<i>I<sub>b</sub></i>	1443 A
<i>Informations de dimensionnement</i>	<i>Dimensionné par le système</i>
<i>Gamme</i>	<i>Master Pact MTZ1 MicroLogic X</i>
<i>Désignation</i>	<i>MTZ1 16H1</i>
<i>Calibre disjoncteur</i>	1600 A
<i>Pouvoir de coupure</i>	42 kA
<i>Pouvoir de coupure unipolaire TNS</i>	42 kA
<i>Pouvoir de coupure unipolaire IT</i>	NA
<i>Pouvoir de coupure renforcé</i>	NA
<i>Pôles &amp; pôles protégés</i>	4P4d
<i>Déclencheur</i>	<i>Micro Logic 5.0 X</i>
<i>Calibre déclencheur</i>	1600 A

### Conclusion:

En effectuant la simulation avec le logiciel ECODIAL, nous avons pu concevoir et dimensionner un réseau électrique de manière plus efficace. Cette approche nous a permis de choisir correctement les câbles, de définir les dispositifs de protection adaptés et d'évaluer avec précision la puissance nécessaire des transformateurs.

Elle met en évidence l'importance de la simulation comme un outil essentiel pour optimiser la conception, améliorer la fiabilité du système et réduire les coûts de réalisation.

## ***CONCLUSION GENERALE***

Notre travail porte sur l'étude et le dimensionnement des réseaux électriques industriels.

Le dimensionnement des réseaux électriques industriels implique plusieurs étapes, notamment l'architecture du réseau selon le niveau de tension, la puissance requise et la fiabilité de l'alimentation, le mode d'alimentation, le régime de neutre et le plan de protection.

Chaque composant du réseau doit être défini de manière à répondre aux exigences immédiates et futures, ce qui nécessite une optimisation fondée sur un calcul technico-économique à long terme.

L'utilisation de logiciels de conception de réseaux électriques simplifie le travail du concepteur. Dans notre cas, nous avons choisi le logiciel Ecodial, développé par Schneider Electric, qui permet de réaliser plusieurs études de conception pour les réseaux industriels tout en étant facile à utiliser.

L'application étudiée avec Ecodail est un réseau électrique basse tension de petite dimension présent dans le secteur industriel.

L'utilisation du logiciel nous a permis de dimensionner les différents composants du réseau (disjoncteurs, câbles, transformateurs...etc.) en parallèle un calcul manuel a été réalisé dans le but de vérifier les résultats obtenus par le logiciel de simulation Ecodial.

Cette étude nous a permis d'approfondir nos connaissances dans un domaine aussi complexe que les réseaux industriels.

## ***BIBLIOGRAPHIE***

- [1] C. PREVE « Les réseaux industriels », Tome 1, Edition lavoier 2005.
- [2] M. ZELLAGUI, « Etude des protections des réseaux électriques MT (30 & 10 kV) » Université MENTOURI Constantine, 2010.
- [3] Ph. CARRIVE, « Réseaux de Distribution - Structure et Planification », Techniques de l'Ingénieur, Traité Génie électrique D 4210, 2006.
- [4] C. PREVE et R. JEANOTE, `` Guide de conception des réseaux électriques industriels``, Rapport technique, Schneider Electric N°6883 427/A, Février 1997.
- [5] ABDERRAHMANI Abdesselam « Réseaux électriques industriels » Université TAHRI Mohammed Béchar, 2018
- [6] AFNOR. NF C 15-100 – Installations électriques à basse tension. Association Française de Normalisation, 2015.
- [7] Scheider Electric « La protection contre les chocs électrique».
- [8] M. TOLBA Amrane « coordination orientée objet de la protection des réseaux Électriques »
- [9] Dr. BENACHAIBA Chellali « protections des réseaux électrique »
- [10] « cahier technique n 200 sélectivités de protection ».
- [11] M.BAHIDDINE « Protection des réseaux électriques MT et HT » 2012.
- [12] M. BOUGHEZA, « Etude et simulation d'un coupleur de signaux HF pour réseaux d'énergie électrique » 2013.
- [13] J.JUMEAU « Introduction to the use of solid state relays SSR »,Edition 2012.
- [14] T. Wildi, Gilbert Sybille, « Commande Industrielle des Moteurs » 2005.
- [15] A. CHIBAH, « Etude de la protection du réseau moyenne tension de L'ENEL » 2008.
- [16] P. LAGONOTTE « Installations électriques ».Edition HERMES, 2000.
- [17] JP. Nereau, « Sélectivité avec les disjoncteurs de puissance basse tension », Cahier technique n°201 - Schneider Electric, Edition mars 2001.
- [18] S. THEOLEYRE, « Les Techniques de Coupure en MT », Cahier technique N°193, Schneider Electric.
- [19] BENZAOUI Khaled M. Said « Etude et conception d'une installation électrique industrielle » Université KASDI MERBAH OUARGLA ,2020
- [20] Cahier Technique Merlin Gerin n° 181, « Les protections directionnelles » édition juillet 1996