

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

Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou



Faculté Du Génie Electrique Et De L'informatique
Département D'Electrotechnique

Mémoire de Fin d'Etudes De MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies
Filière : Electrotechnique
Spécialité : Réseaux Electriques

Présenté par
OUHADJ Hamza
MOUSSOUNI Amar

Mémoire dirigé par **M^r. Hamza BESSAI**

Thème

Etude et dimensionnement d'un réseau industriel.

Mémoire soutenu publiquement le 27/09/2018 devant le jury composé de :

Mr. Mustapha MOUDOUD

MCA, UMMTO, Président

Mr. Hamza BESSAI

MACA, UMMTO, Rapporteur

Mr. Azzouz MIOUAT

MACA, UMMTO, Examineur

Remerciements

Nous commençons à remercier DIEU le tout puissant de nous avoir accordé la possibilité, la patience et le savoir-faire d'accomplir et de réaliser ce modeste travail.

Ce travail est l'aboutissement d'un long cheminement au cours duquel nous avons bénéficié de l'encadrement, des encouragements et du soutien de plusieurs personnes, à qui nous tenons à dire profondément et sincèrement merci.

Nous voudrions adresser toute notre gratitude à notre promoteur M. BESSAI Hamza, 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.

Notre gratitude s'exprime pareillement pour le président des jurys et les membres de jury pour la pertinence de leurs remarques avisées, qui vont permettre l'amélioration de la qualité du manuscrit et l'essor vers de nouvelles perspectives.

Figure I.1 : Structure générale d'un réseau privé de distribution	4
Figure I.2 : Alimentation simple antenne d'un poste de livraison HTB	6
Figure I.3 : Alimentation double antenne d'un poste de livraison HTB	6
Figure I.4 : Alimentation double antenne - double jeu de barres d'un poste de livraison HTB	7
Figure I.5 : 1 jeu de barres, 1 source d'alimentation	9
Figure I.6 : 1 jeu de barres sans couplage, 2 sources d'alimentation	9
Figure I.7 : 2 demi-jeux de barres avec couplage, 2 sources d'alimentation	10
Figure I.8 : 1 jeu de barres sans couplage, 3 sources d'alimentation	10
Figure I.9 : Architecture générale d'un poste abonné HTA/BT	11
Figure I.10 : Poste abonné alimenté en coupure d'artère	12
Figure I.11 : Poste abonné alimenté en double dérivation	12
Figure I.12 : Exemple de poste de livraison HTA à comptage HT	13
Figure I.13 : 3 sections de barres avec couplages, 3 sources d'alimentation	14
Figure I.14 : Sources et départs en "duplex"	15
Figure I.15 : 2 jeux de barres, 2 attaches par départ, 2 sources d'alimentation	16
Figure I.16 : 2 doubles jeux de barres couplés entre eux	17
Figure I.17 : Réseau HTA radial en simple antenne	18
Figure I.18 : Réseau HTA radial en double antenne sans couplage	19
Figure I.19 : Réseau HTA radial en double antenne avec couplage	20
Figure I.20 : Réseau HTA en boucle ouverte	21
Figure I.21 : Réseau HTA en boucle fermée	22
Figure I.22 : Réseau HTA en double dérivation	23
Figure I.23 : Constitution d'une alimentation sans interruption (ASI)	24
Figure I.24 : Alimentation des tableaux BT avec une seule source d'alimentation	24
Figure I.25 : Alimentation des tableaux BT par une double alimentation sans couplage	25
Figure I.26 : Alimentation des tableaux BT par une double alimentation avec couplage	26
Figure I.27 : 1 transformateur et 1 alternateur	27
Figure II.1 : Logigramme de la détermination de la section d'une canalisation	29
Figure III.1 : Schéma TT	43
Figure III.2 : Schéma TN-C	44
Figure III.3 : Schéma TN-S	44
Figure III.4 : Schéma IT	45
Figure III.5 : Régime TT, lors d'un défaut d'isolement	47
Figure III.6 : Régime TNC, lors d'un défaut d'isolement	48
Figure III.7 : Régime IT, lors d'un défaut d'isolement	50
Figure III.8 : Régime IT, lors d'un double défaut d'isolement	51
Figure III.9 : Schématisation interne d'un DDR	53
Figure IV.1 : Eléments constitutifs d'un système de protection	56
Figure IV.2 : Transformateur de courant type tore	57












Figure IV.3 : <i>Transformateur de tension à double secondaire</i>	58
Figure IV.4 : <i>Les relais de protection</i>	58
Figure IV.5 : <i>Relais statiques</i>	59
Figure IV.6 : <i>Relais numérique</i>	60
Figure IV.7 : <i>Relais thermique</i>	60
Figure IV.8 : <i>Symbole de fusible</i>	61
Figure IV.9 : <i>Différentes classes de fusibles</i>	62
Figure IV.10 : <i>Courbe de fusion d'un fusible</i>	63
Figure IV.11 : <i>Disjoncteur à l'huile</i>	64
Figure IV.12 : <i>Disjoncteur pneumatique</i>	65
Figure IV.13 : <i>Disjoncteur a hexafluorure de soufre SF6</i>	65
Figure IV.14 : <i>Disjoncteur thermique</i>	66
Figure IV.15 : <i>Disjoncteur magnétique</i>	67
Figure IV.16 : <i>Disjoncteur magnétothermique</i>	67
Figure IV.17 : <i>Fonctionnement d'une sélectivité ampèremétrique</i>	69
Figure IV.18 : <i>Principe de la sélectivité chronométrique</i>	70
Figure IV.19 : <i>Principe de la sélectivité logique</i>	70
Figure IV.20 : <i>Fiabilité d'une protection</i>	72
Figure IV.21 : <i>Association de protection</i>	72
Figure IV.22 : <i>Chaîne principale de la protection électrique</i>	72
Figure V.1 : <i>Schéma unifilaire de l'installation</i>	76

Tableau I.1 : Niveaux de tension d'alimentation en fonction de la puissance souscrite.....	5
Tableau II.1 : Facteur de simultanéité pour bâtiment administratif	31
Tableau II.2 : Facteur de simultanéité pour armoires de distribution industrielle	31
Tableau II.3 : Détermination de la lettre de sélection	33
Tableau II.4 : Facteur de correction K1	34
Tableau II.5 : Facteur de correction K2	35
Tableau II.6 : Facteur de correction K3	35
Tableau II.7 : Facteur de correction K4	36
Tableau II.8 : Facteur de correction K5	36
Tableau II.9 : Facteur de correction K6	36
Tableau II.10 : Facteur de correction K7	37
Tableau II.11 : Courant IZ par les canalisations dans les conditions standard d'installation....	39
Tableau II.12 : Détermination de la chute de tension	40
Tableau II.13 : La chute de tension en ligne en régime permanent	41
Tableau III.1 : Caractéristiques des différents régimes de neutre.....	46
Tableau III.2 : Tableau des tensions limites supérieures (UL).....	52
Tableau V.1 : Caractéristiques des câbles utilisés	75
Tableau V.2 : Caractéristiques des disjoncteurs utilisés dans l'installation	77
Tableau V.3 : Caractéristique du transformateur MT/BT	77
Tableau V.4 : Caractéristique du transformateur BT/BT	78
Tableau V.5 : Caractéristique des câbles BT.....	78
Tableau V.6 : Résultat de calcul de section des câbles	82
Tableau V.7 : Section du conducteur PE en fonction de SPh	83
Tableau V.8 : Chute de tension introduite par les différents câbles.....	85
Tableau V.9 : Impédance du réseau MT rapportée au secondaire BT du transformateur MT/BT	86
Tableau V.10 : Valeurs des résistances, des réactances et des impédances pour un transformateur MT/BT standard de distribution 400 V avec primaire $\leq 20KV$	87
Tableau V.11 : Résultats de calcul des courants de court-circuit.....	88
Tableau V.12 : Choix de disjoncteur Q1	89

Abréviation

Indice	Mot clé	Unité
AC	Courant Alternatif	A
DC	Courant Direct	A
BT	Basse tension	A
HT ou HTB	Haute tension	V
MT ou HTA	Moyenne tension	V
kV	Kilo Volt	kV
TC	Transformateur de mesure de courant	-
TT	Transformateur de mesure de tension	-
JDB	Jeu de barre (noeud)	-
l	Longueur de la ligne ou câble	km
R_L	Résistance de la ligne ou câble	Ω/km
L	Inductance de ligne ou câble	H
$X_L = L \cdot \omega$	Réactance de la ligne ou câble	Ω/km
C	Capacité de la ligne ou câble	F/km
$Z_L = R_L + j X_L$	Impédance de la ligne	Ω/km
R_t	Résistance de terre	Ω
R_f	Résistance de défaut	Ω
S	Section de la ligne ou câble	mm ²
I_n	Courant nominal	A
U_n	Tension composé nominale	V
I_{max}	Courant maximal	A
I_{cc}	Courant de court-circuit	A
$I_{cc.min}$	Courant de court-circuit minimum	A
$I_{cc.max}$	Courant de court-circuit maximum	A
P	Puissance active	W
Q	Puissance réactive	Var
S	Puissance apparente	VA
U_{cc}	Tension de court-circuit d'un transformateur	%
f	Fréquence	Hz
I_{phase}	Courant de réglage phase	A
T	La terre	-

Symboles Graphiques

Symbole	Mot clé
	<i>Ligne ou câble triphasé</i>
	<i>La terre</i>
	<i>Arrivée HTA</i>
	<i>Départ HTA ou BT</i>
	<i>Court-circuit</i>
	<i>Disjoncteur</i>
	<i>Interrupteur fusible</i>
	<i>Transformateur de puissance</i>
	<i>Fusible</i>
	<i>Transformateur de courant</i>
	<i>Transformateur de tension (potentiel)</i>

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre I : Généralités sur les réseaux industriels

I.1. Les architectures des réseaux de distributions électriques	3
I.1.1. Structure générale d'un réseau privé de distribution	3
I.1.2. La source d'alimentation	5
I.1.3. Les postes de livraison HTB.....	5
I.1.4. Les réseaux HTA.....	8
I.1.5. Les postes de livraison HTA.....	11
I.1.6. Les réseaux HTA à l'intérieur du site.....	14
I.2. Les réseaux BT	23
I.3. Les tableaux BT secourus par des alternateurs.....	27

Chapitre II : Calcul des sections des conducteurs

II.1. Courant d'emploi IB.....	30
II.2. Courant absorbé IA	32
II.3. Courant admissible IZ.....	32
II.4. Températures de référence	33
II.5. Méthode de calcul des sections des conducteurs.....	33
II.6. Surintensité.....	40
II.7. Détermination de la chute de tension	40

Chapitre III : Régimes de neutre

III.1. Différents systèmes de distribution	42
III.1.1. Les trois régimes de neutre.....	43
III.1.2. Caractéristiques des différents régimes de neutre.....	46
III.2. Protection des installations et des personnes	47
III.2.1. Etude d'un défaut d'isolement en régime TT.....	47
III.2.2. Etude d'un défaut d'isolement en régime TN.....	48
III.2.3 Etude d'un défaut d'isolement en régime IT	50
III.3. Tableau des tensions et courant autorisées par la norme NFC.....	52
III.4. Dispositif de protection contre les courants de défauts.....	52

Chapitre IV : Protection des réseaux industriels

IV.1. Le système de protection	55
IV.1.1. Rôle d'une protection	55
IV.1.2. Schéma synoptique d'un système de protection	55
IV.1.3. Eléments constitutifs d'un système de protection	56
IV.2. Elimination des défauts.....	61
IV.2.1 Fusible.....	61
IV.2.2. Disjoncteur.....	63
IV.3. Qualités principales d'un système de protection	68
IV.3.1 Rapidité	68
IV.3.2 Sélectivité	68
IV.3.3 Sensibilité.....	71
IV.3.4 Fiabilité.....	71

IV.4. Chaîne générale d'un système de protection.....	72
IV.5. Contraintes liées à la protection	73

Chapitre V : Simulation avec Ecodial

V.1. Présentation du logiciel.....	74
V.2. Données de l'installation.....	75
V.3. Résultats de simulation	76
V.4. Calcul de l'installation en utilisant la méthode simplifiée	82
V.4.1. Section des conducteurs de phase en fonction des différents facteurs.....	82
V.4.2. Section des conducteurs de protection.....	83
V.4.3. Détermination de la chute de tension	83
V.4.4. Détermination des courants de court-circuit	85
V.4.5. Choix des dispositifs de protection	88
Conclusion générale.....	90
Bibliographie.....	91

INTRODUCTION GENERALE

Les réseaux électriques industriels sont le prolongement naturel du réseau du distributeur auquel ils se raccordent, pour assurer l'alimentation en énergie électrique des sites industriels.

Les moyens utilisés pour chaque processus de fabrication, principalement des machines et des équipements, assurent en permanence les fonctions particulières de chaque séquence du processus. L'idéal serait que son déroulement ne soit jamais perturbé par son alimentation électrique, en effet, une perturbation de la production est souvent générée par une interruption de l'alimentation électrique, due le plus souvent à des défauts aussi bien internes qu'externes, car il n'est pratiquement pas possible d'obtenir pour un réseau électrique le niveau de zéro défaut.

Pour bien cerner les conséquences économiques, entraînées par cette interruption (avaries de machine, pertes de produit, mévente, etc.) qui sont le souci majeur des industriels, il est indispensable d'appliquer, lors de la conception du réseau interne, des procédures rigoureuses d'ingénierie adaptées à chaque site, en fonction de la nature de l'industrie et de ses dimensions. Cela est nécessaire, mais le moyen d'y parvenir est loin d'être simple du fait de l'étendue du domaine et de la variété des processus, cette conception est un « art » qui doit être appliqué dans le respect des normes, de la réglementation et de l'environnement pour réaliser l'optimisation technico-économique de ce réseau.

Le dimensionnement d'une installation électrique est un art difficile dans la mesure où il nécessite de prendre en considération des impératifs techniques, normatifs, économiques, contractuels et stratégiques. Dans ce contexte, nous avons organisé notre travail comme suit :

Nous commençons dans le premier chapitre par la présentation des différents types de postes électriques et leurs caractéristiques, en particulier les postes sources (HTB/HTA) et les postes de distribution (HTA/BT), ensuite nous citerons les différents équipements et composant d'un poste électrique.

Le deuxième chapitre est consacré au calcul des sections des conducteurs en tenant compte des différents facteurs, mode de pose et température...etc.

Dans le troisième chapitre nous présentons les différents régimes de neutre utilisés dans les réseaux électriques.

Le quatrième chapitre sera consacré aux moyens de protection des réseaux électriques industriels.

Dans le dernier chapitre, nous présentons le logiciel Ecodial utilisé pour la conception des réseaux électriques industriels, suivi d'une application à un réseau de petite dimension.

Nous terminons notre mémoire par une conclusion générale.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LES RESEAUX INDUSTRIELS

La rentabilité d'une installation industrielle est directement liée à la disponibilité de l'outil de production. Les réseaux électriques livrent l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'outil de production. Ainsi la continuité d'alimentation des récepteurs est recherchée dès la conception du réseau en particulier lors des choix préliminaires du schéma unifilaire.

La conception d'un réseau électrique a pour objectif de déterminer l'installation électrique satisfaisant les exigences du processus industriel au moindre coût d'investissement, d'exploitation et de défaillance.

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, et la structure des réseaux HTA et BT.

La nouvelle norme en vigueur en France UTE C 18-510 définit les niveaux de tension alternative comme suit :

- HTB : Pour une tension composée supérieure à 50 kV.
- HTA : Pour une tension composée comprise entre 10 kV et 50 kV.
- BTB : Pour une tension composée comprise entre 500 V et 10 kV.
- BTA : Pour une tension composée comprise entre 50 V et 500 V.
- TBT : Pour une tension composée inférieure ou égale à 50 V.

I.1.1. Structure générale d'un réseau privé de distribution

Dans le cas général avec une alimentation en HTB, un réseau privé de distribution comporte :

- Un poste de livraison HTB alimenté par une ou plusieurs sources, il est composé d'un ou plusieurs jeux de barres et de disjoncteurs de protection.
- Une source de production interne.
- Un ou plusieurs transformateurs HTB / HTA.
- Un tableau principal HTA composé d'un ou plusieurs jeux de barres.
- Un réseau de distribution interne en HTA alimentant des tableaux secondaires ou des postes HTA / BT.

- Des récepteurs HTA.
- Des transformateurs HTA / BT.
- Des tableaux et des réseaux basse tension.
- Des récepteurs basses tensions.

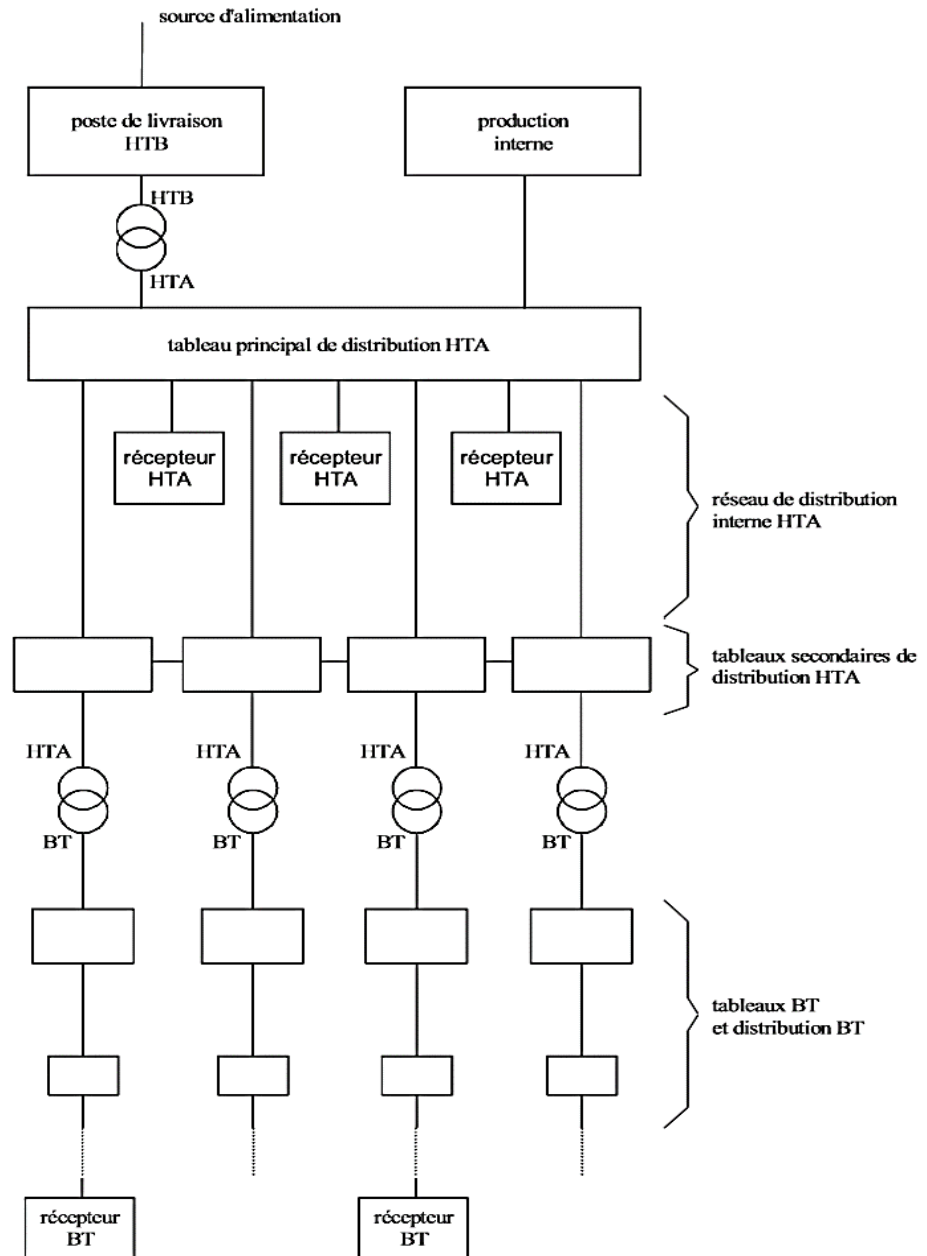


Figure I-1 : Structure générale d'un réseau privé de distribution

I.1.2 La source d'alimentation

L'alimentation des réseaux industriels peut être réalisée soit :

- En HTB, ce qui signifie que la tension est supérieure à 50 kV, en général 63 kV, 90 kV ou 225 kV.
- En HTA, ce qui signifie que la tension est comprise entre 1 kV et 50 kV, en général 5,5 kV, 10 kV, 15 kV, 20 kV ou 33 kV. En BTA, ce qui signifie que la tension est inférieure à 1 kV, en général 400 V.

La tension de la source d'alimentation est liée à la puissance de livraison. Le tableau 1-1 indique les niveaux de tensions d'alimentation usuellement choisis en France en fonction de la puissance souscrite.

Tension d'alimentation	Puissance de livraison			
	0	250 kVA	10000 kVA	40000 kVA
BTA	[Barre grise de 0 à 250 kVA]			
HTA	[Barre grise de 250 kVA à 10000 kVA]			
HTB 63 KV ou 90 kV	[Barre grise de 10000 kVA à 40000 kVA]			
HTB 225 kV	[Barre grise de 40000 kVA à +∞]			

Tableau I-1 : Niveaux de tension d'alimentation en fonction de la puissance souscrite

I.1.3 Les postes de livraison HTB [2]

Ils concernent généralement les puissances supérieures à 10 MVA. L'installation du poste de livraison est comprise entre :

- D'une part, le point de raccordement au réseau de distribution HTB.
- D'autre part, la borne aval du ou des transformateurs HTB / HTA.

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

1.1.3.1 Simple antenne

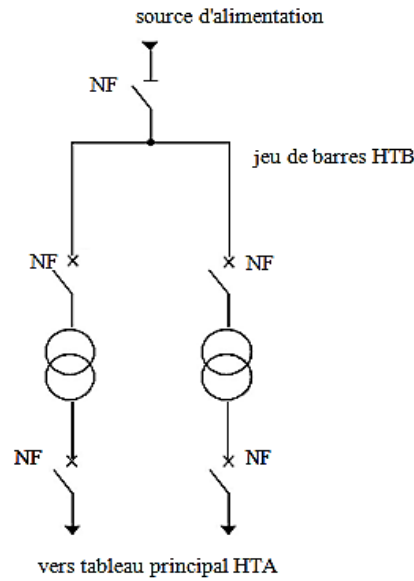


Figure I-2 : Alimentation simple antenne d'un poste de livraison HTB

Avantage : Coût minimal.

Inconvénient : Disponibilité faible.

1.1.3.2 Double antenne

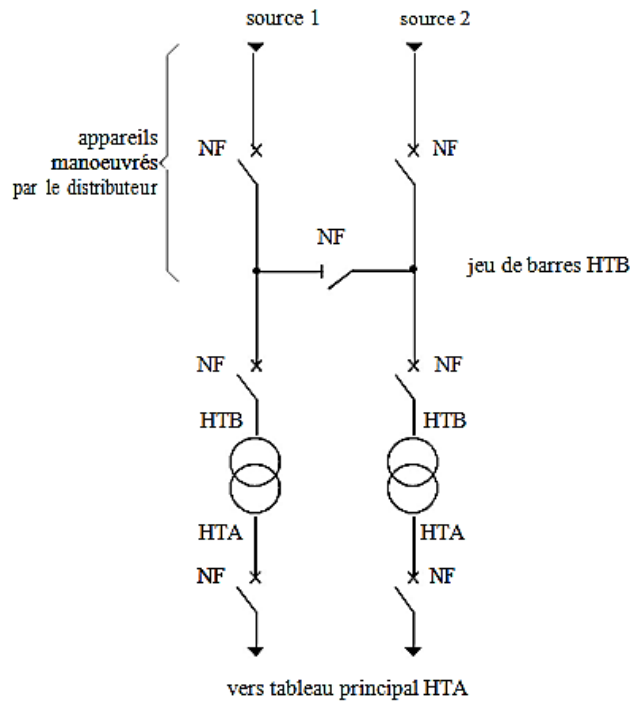


Figure I-3 : Alimentation double antenne d'un poste de livraison HTB

I.1.3.2.1 Mode d'exploitation

- **Normal** : Les deux disjoncteurs d'arrivée des sources sont fermés, ainsi que le sectionneur de couplage. Les transformateurs sont donc alimentés par les 2 sources simultanément.
- **Perturbé** : En cas de perte d'une source, l'autre source assure la totalité de l'alimentation.

I.1.3.2.2 Les Avantages

- Bonne disponibilité, dans la mesure où chaque source peut alimenter la totalité du réseau.
- Maintenance possible du jeu de barres, avec un fonctionnement partiel de celui-ci.

I.1.3.2.3 Les Inconvénients

- Solution plus coûteuse que l'alimentation simple antenne.
- Ne permet qu'un fonctionnement partiel du jeu de barres en cas de maintenance.

I.1.3.3 Double antenne - double jeu de barres

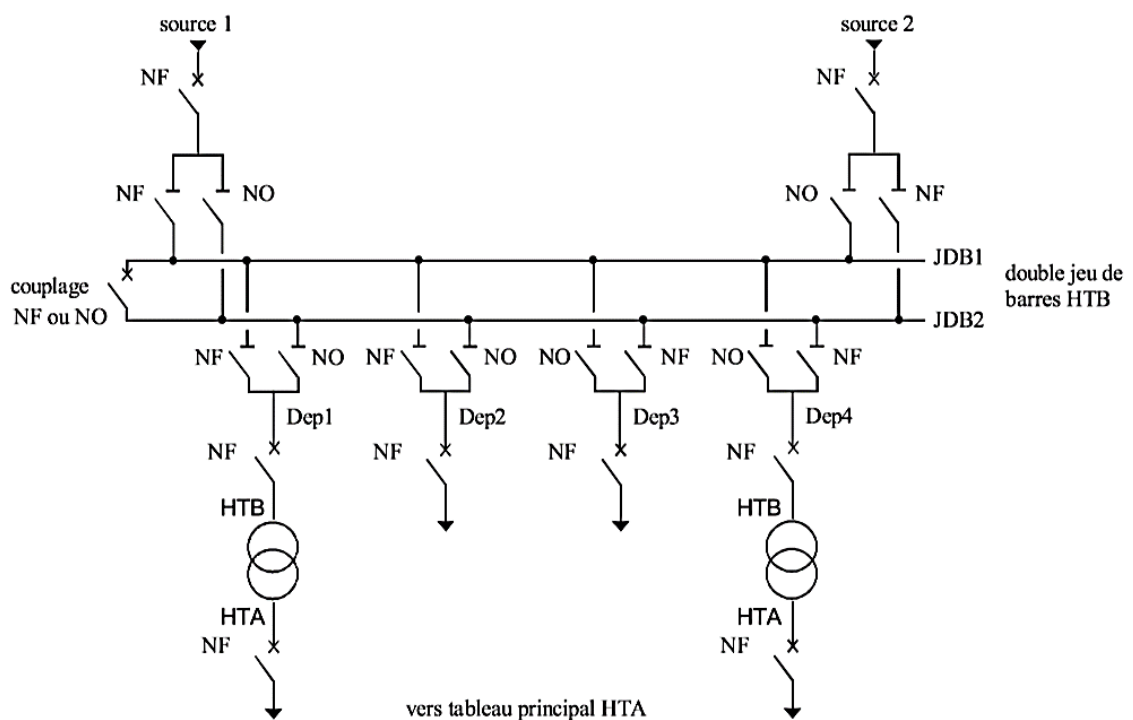


Figure I-4 : Alimentation double antenne - double jeu de barres d'un poste de livraison HTB

1.1.3.3.1 Mode d'exploitation

➤ **Normal :**

- La source 1 alimente, par exemple, le jeu de barres JDB1 et les départs Dep1 et Dep2.
- La source 2 alimente, par exemple, le jeu de barres JDB2 et les départs Dep3 et Dep4. Le disjoncteur de couplage peut être maintenu fermé ou ouvert.

➤ **Perturbé :**

- En cas de perte d'une source, l'autre source assure la totalité de l'alimentation.
- En cas de défaut sur un jeu de barres (ou maintenance de celui-ci), le disjoncteur de couplage est ouvert et l'autre jeu de barres alimente la totalité des départs.

1.1.3.3.2 Les Avantages

- ✓ Bonne disponibilité d'alimentation.
- ✓ Très grande souplesse d'utilisation pour l'affectation des sources et des charges, et pour la maintenance des jeux de barres.
- ✓ Possibilité de transfert de jeu de barres sans coupure (lorsque les jeux de barres sont couplés, il est possible de manœuvrer un sectionneur si son sectionneur adjacent est fermé).

1.1.3.3.3 Les Inconvénients

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

1.1.4 Les réseaux HTA [2]

Les réseaux HTA sont composés de tableaux et de liaisons alimentant ces tableaux. Nous allons d'abord étudier les différents modes d'alimentation des tableaux, puis les différentes structures des réseaux permettant d'alimenter ces tableaux.

1.1.4.1 Modes d'alimentation des tableaux HTA

Nous allons identifier les principales solutions d'alimentation d'un tableau HTA, indépendamment de son emplacement dans le réseau. Le nombre de sources et la complexité du tableau diffèrent suivant le niveau de sûreté de fonctionnement désiré. Les schémas sont classés dans un ordre tel que la sûreté de fonctionnement s'améliore tandis que le coût d'installation augmente.

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

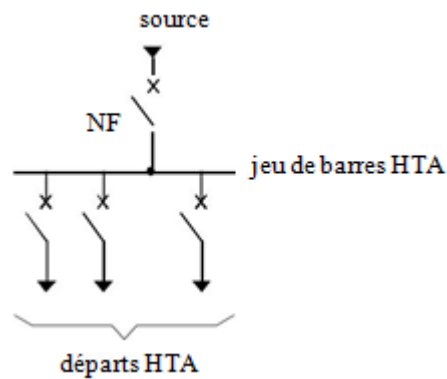


Figure I-5 : 1 jeu de barres, 1 source d'alimentation

- **Fonctionnement**

En cas de perte de la source d'alimentation, le jeu de barres est hors service jusqu'à l'opération de réparation.

I.1.4.1.2 Un jeu de barres sans couplage, 2 sources d'alimentation

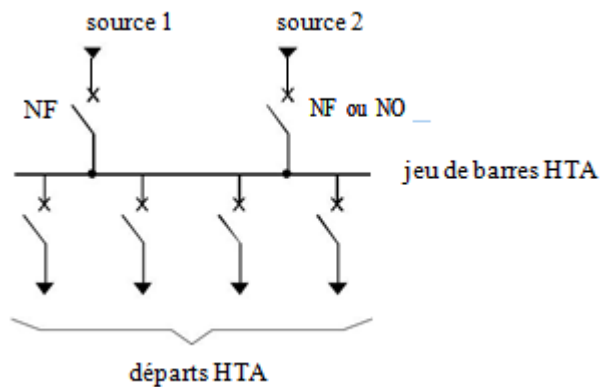


Figure I-6 : 1 jeu de barres sans couplage, 2 sources d'alimentation

- **Fonctionnement**

Les deux sources peuvent fonctionner en parallèle ou l'une en secours de l'autre. En cas de défaut sur le jeu de barres (ou maintenance de celui-ci), les départs ne sont plus alimentés.

1.1.4.1.3 Deux demi-jeux de barres avec couplage, 2 sources d'alimentations

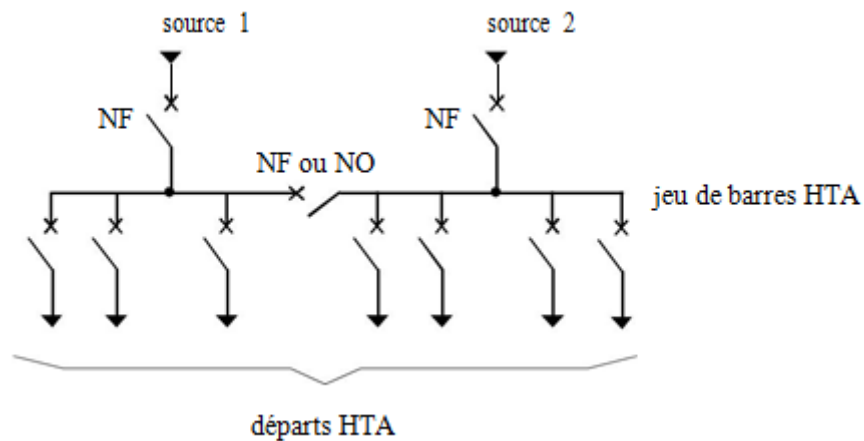


Figure I-7 : 2 demi-jeux de barres avec couplage, 2 sources d'alimentation

- **Fonctionnement**

Le disjoncteur de couplage peut être maintenu fermé ou ouvert.

S'il est ouvert, chaque source alimente un demi - jeu de barres. En cas de perte d'une source, le disjoncteur de couplage est fermé et l'autre source alimente les 2 demi-jeux de barres.

En cas de défaut sur un demi jeu de barres (ou maintenance de celui-ci), une partie seulement des départs n'est plus alimentée.

1.1.4.1.4 Un jeu de barres sans couplage, 3 sources d'alimentation

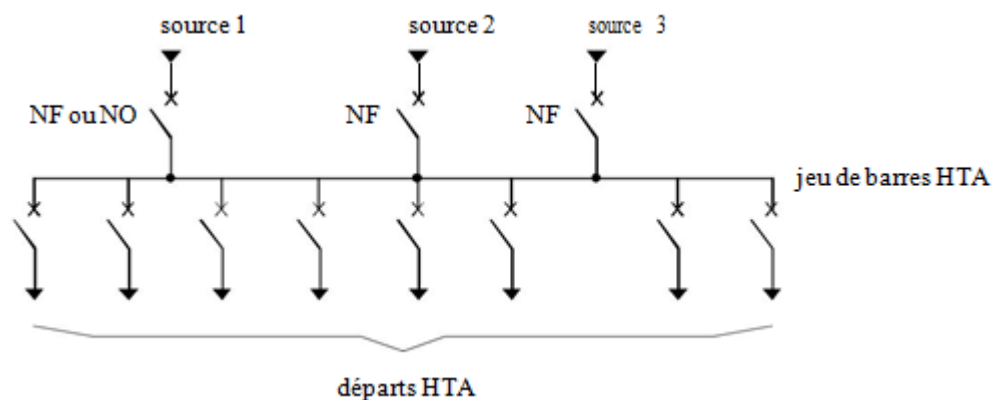


Figure I-8 : 1 jeu de barres sans couplage, 3 sources d'alimentation

- **Fonctionnement**

Les 3 sources peuvent fonctionner en parallèle ou l'une en secours des deux autres. En cas de défaut sur le jeu de barres (ou maintenance de celui-ci), les départs ne sont plus alimentés.

I.1.5. Les postes de livraison HTA [3]

I.1.5.1. Les postes de livraison HTA à comptage BT

Ce type des postes HTA/BT sont caractérisé par:

- Les tensions d'entrées sont : 10 ou 30 kV.
- Les tensions de sortie (utilisation) sont : 230/ 400 V.
- Section du câble d'alimentation est 120 mm².
- Puissance : $S > 630$ kVA.
- Mode d'alimentation :
 - Souterrain : Coupure d'artère.
 - Aérien : Dérivation.
- Une cellule de protection générale par disjoncteur HTA.
- Une cellule de comptage de l'énergie (tension et courant).
- Protection des transformateurs par fusible HTA.
- Tableau générale basse tension (TGBT).

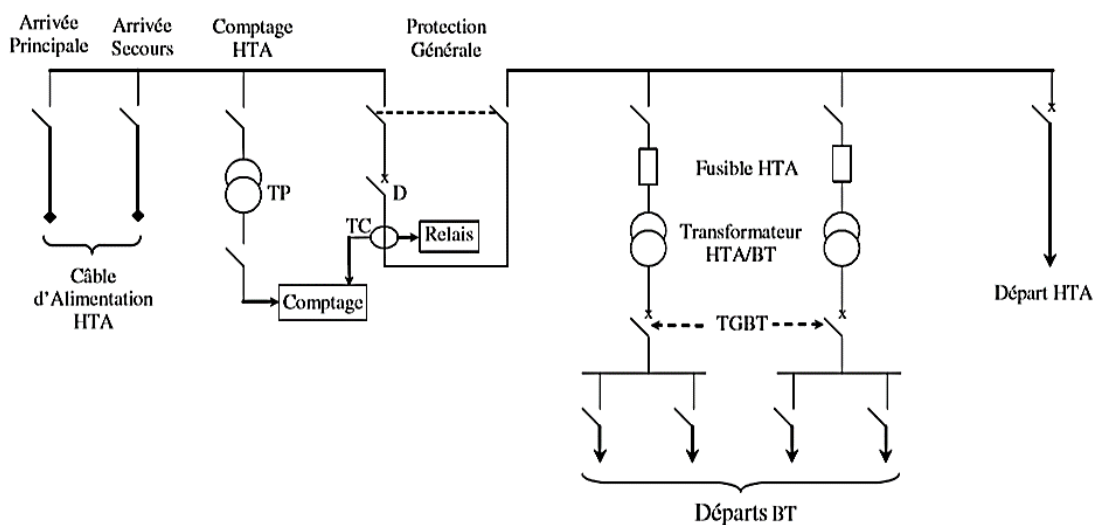


Figure I-9 : Architecture générale d'un poste abonné HTA/BT.

I.1.5.1.1 Alimentation en coupure d'artère

La distribution en coupure d'artère est très répandue. Le réseau de distribution passe par le poste de livraison de l'abonné, ce dernier étant équipé de deux cellules «arrivée». Les agents du service local de distribution utilisent les interrupteurs de ces cellules pour isoler, en cas de travaux ou de défaut, le tronçon situé entre deux postes.

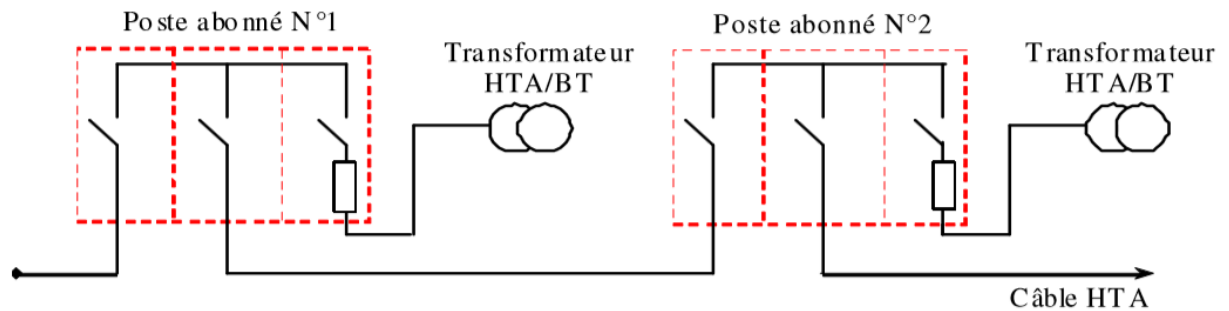


Figure I-10 : Poste abonné alimenté en coupure d'artère.

I.1.5.1.2 Alimentation en double dérivation

La distribution en double dérivation (figure.I.11) permet dans les zones de forte densité de maintenir un haut niveau de disponibilité de l'énergie électrique. Les postes de livraison sont connectés au réseau par leurs câbles et sont permutés soit automatiquement en cas de défaut, soit par télécommande en cas de travaux.

Domaines d'utilisation

- Distributions souterraines en zone urbaine.
- Réseaux HT. d'activités tertiaires.

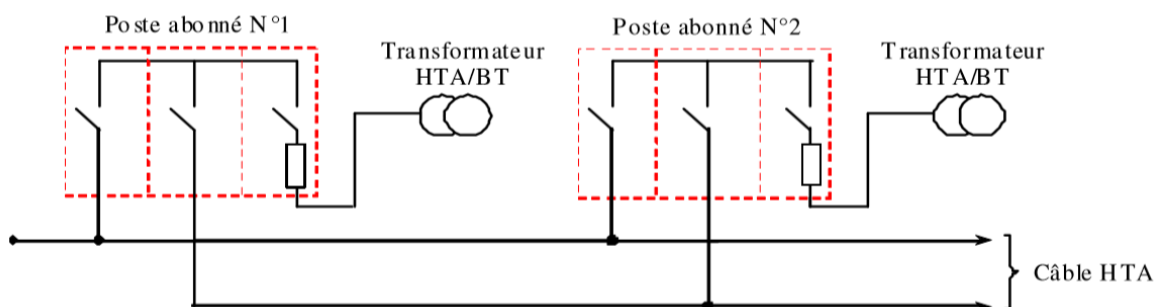


Figure I-11 : Poste abonné alimenté en double dérivation.

Domaines d'utilisation

- Distributions aériennes rurales.
- Postes sur poteau.
- Réseaux des villes à forte densité ou en extension.
- Distribution aérienne industrielle.

1.1.5.2 Les postes de livraison HTA à comptage HT [1]

Ils comportent plusieurs transformateurs ou un seul si son courant secondaire est supérieur à 2000 A (puissance supérieure à 1250 kVA pour une tension composée de 400 V), et peuvent comporter des départs HTA. La partie de l'installation allant du point de raccordement au réseau HTA jusqu'au sectionneur d'isolement situé en aval du disjoncteur général est régie par la norme NF C 13-100. Les jeux de barres, le réseau HTA et les transformateurs sont régis par la norme NF C 13-200. De façon identique aux postes de livraison à comptage BT, l'alimentation par le distributeur peut être en simple dérivation, 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.

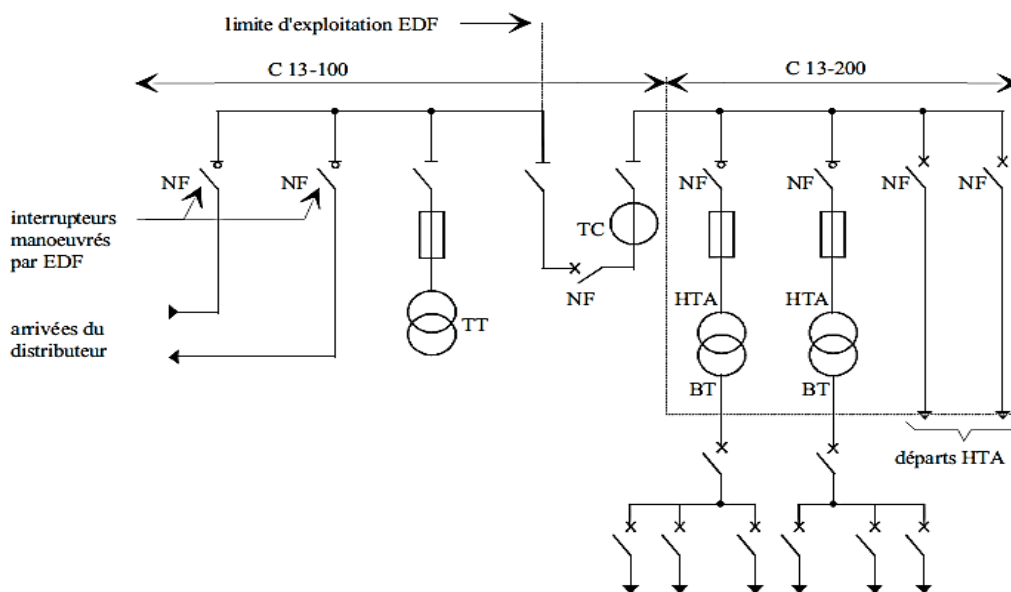


Figure I-12 : Exemple de poste de livraison HTA à comptage HT

Le comptage HT est réalisé grâce au TT (transformateur de tension) et au TC (transformateur de courant).

Le transformateur de courant possède généralement un deuxième secondaire utilisé pour la protection contre les surintensités.

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

Nous allons d'abord étudier les différents modes d'alimentation des tableaux HTA, puis les différentes structures des réseaux permettant d'alimenter ces tableaux.

➤ 3 sections de barres avec couplages, 3 sources d'alimentation

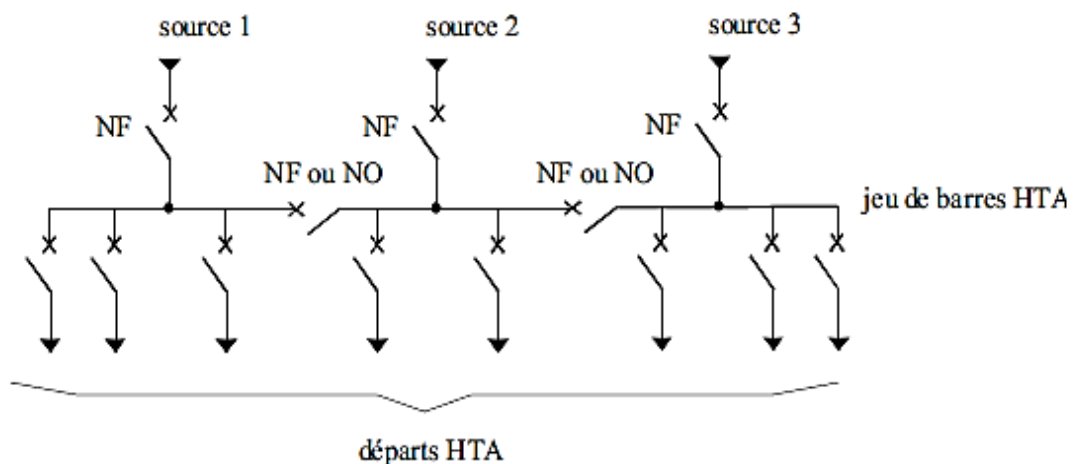


Figure I-13 : 3 sections de barres avec couplages, 3 sources d'alimentation

Fonctionnement

Les disjoncteurs de couplage peuvent être maintenus ouverts ou fermés.

S'ils sont ouverts, chaque source alimente sa section de barres. En cas de perte d'une source, le disjoncteur de couplage associé est fermé, une source alimente 2 sections de barres et l'autre 1 section de barres. En cas de défaut sur une section de barres (ou maintenance de celle-ci), une partie seulement des départs n'est plus alimentée.

➤ Sources et départs en "duplex"

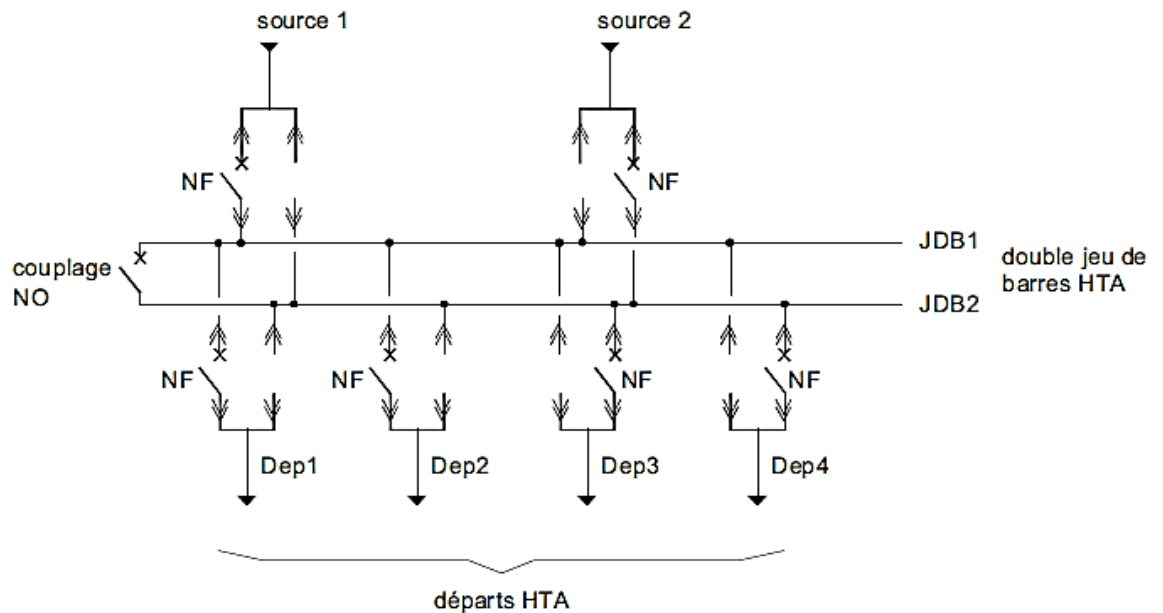


Figure I-14 : Sources et départs en "duplex"

Fonctionnement

Le disjoncteur de couplage est maintenu ouvert en fonctionnement normal.

Chaque source peut alimenter l'un ou l'autre des jeux de barres par ses deux cellules disjoncteur débrochables. Par souci d'économie, il n'y a qu'un seul disjoncteur pour les 2 cellules débrochables qui sont installées tête-bêche. On peut ainsi facilement déplacer le disjoncteur d'une cellule à l'autre. Ainsi, si l'on veut que la source 1 alimente le jeu de barres JDB2, on déplace le disjoncteur dans l'autre cellule associée à la source 1.

Le même principe est mis en place pour les départs. Ainsi, à chaque départ sont associées deux cellules débrochables et un seul disjoncteur. Chaque départ peut être alimenté par l'un ou l'autre des jeux de barres suivant l'emplacement du disjoncteur. Par exemple, la source 1 alimente le jeu de barres JDB1 et les départs Dep1 et Dep2. La source 2 alimente le jeu de barres JDB2 et les départs Dep3 et Dep4.

En cas de perte d'une source, le disjoncteur de couplage est fermé, l'autre source assure la totalité de l'alimentation.

En cas de défaut sur un jeu de barres (ou maintenance de celui-ci), le disjoncteur de couplage est ouvert et chaque disjoncteur est placé sur le jeu de barres en service, afin que tous les départs soient alimentés.

L'inconvénient du système "duplex" est qu'il ne permet pas les permutations automatiques. En cas de défaut, chaque permutation à effectuer dure plusieurs minutes et nécessite la mise hors tension des jeux de barres.

➤ **2 jeux de barres, 2 attaches par départ, 2 sources d'alimentation**

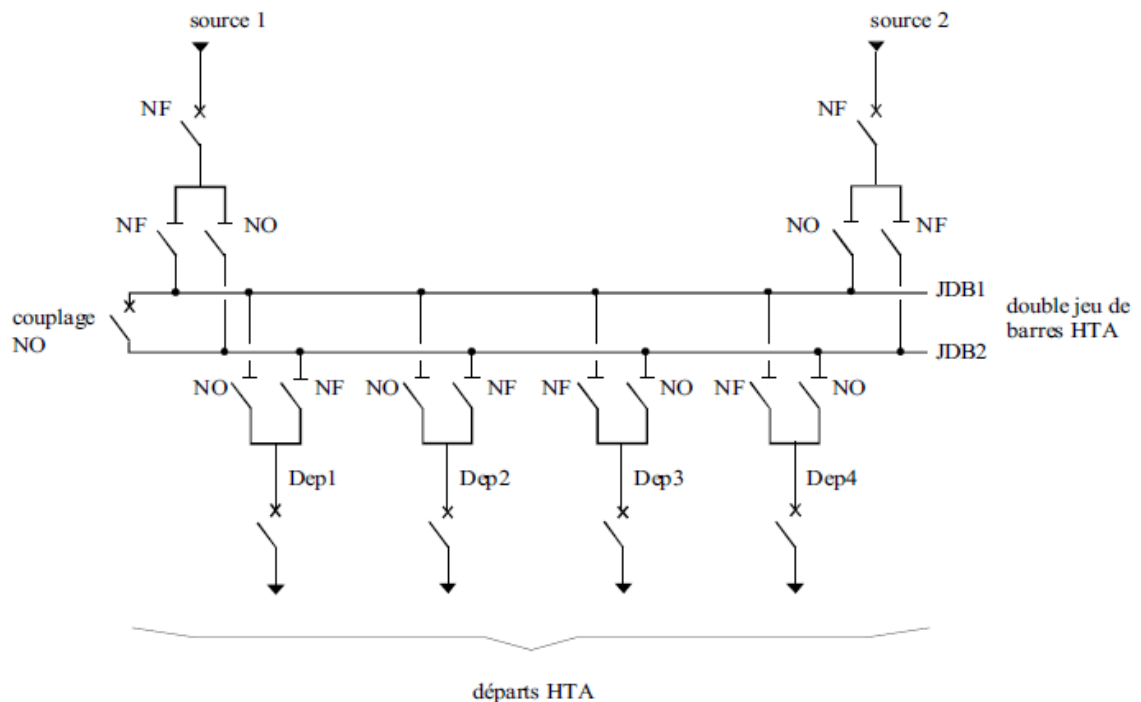


Figure I-15 : 2 jeux de barres, 2 attaches par départ, 2 sources d'alimentation

Fonctionnement

Le disjoncteur de couplage est maintenu ouvert en fonctionnement normal.

Chaque départ peut être alimenté par l'un ou l'autre des jeux de barres suivant l'état des sectionneurs qui lui sont associés, un seul sectionneur par départ doit être fermé.

Par exemple, la source 1 alimente le jeu de barres JDB1 et les départs Dep1 et Dep2. La source 2 alimente le jeu de barres JDB2 et les départs Dep3 et Dep4.

En cas de perte d'une source, le disjoncteur de couplage est fermé, l'autre source assure la totalité de l'alimentation.

En cas de défaut sur un jeu de barres (ou maintenance de celui-ci), le disjoncteur de couplage est ouvert et l'autre jeu de barres alimente la totalité des départs.

➤ **2 doubles jeux de barres couplés entre eux**

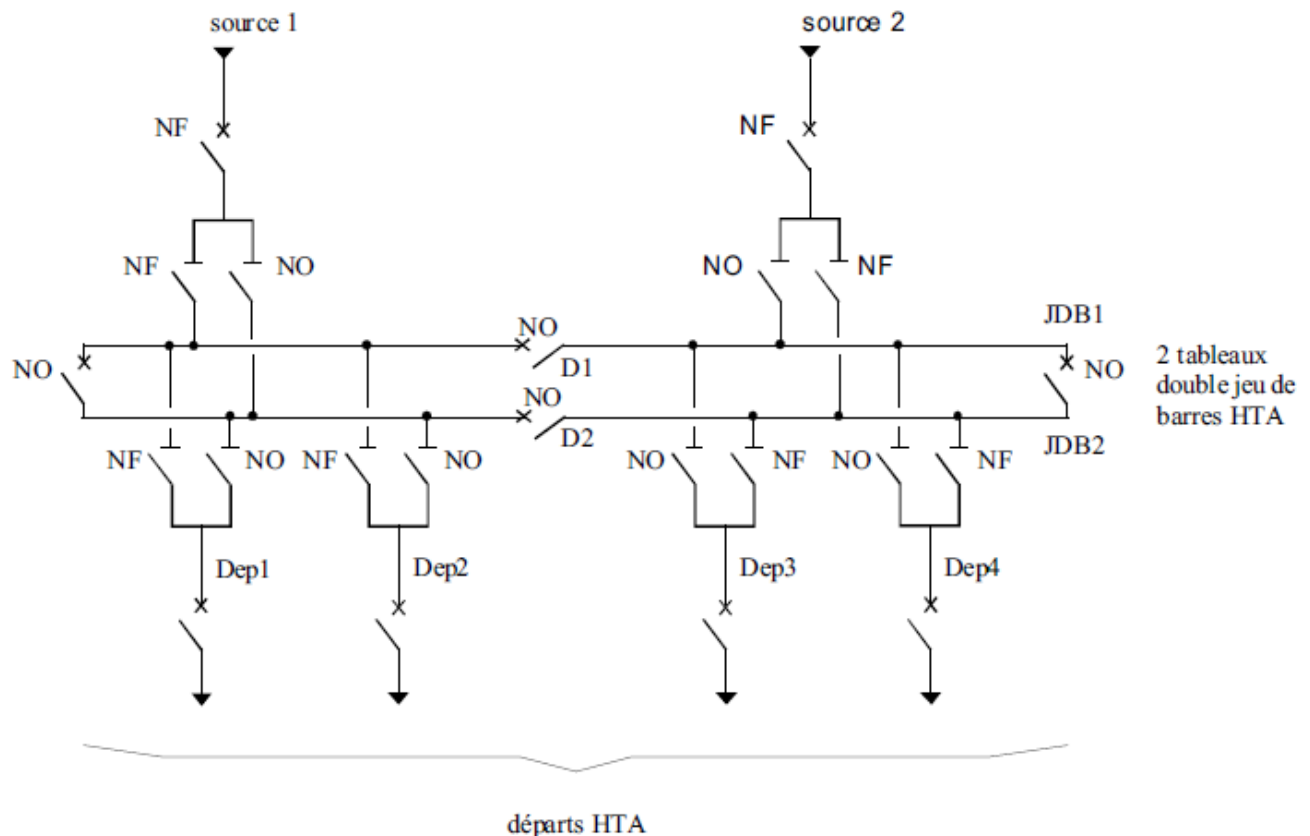


Figure I-16 : 2 doubles jeux de barres couplés entre eux

Fonctionnement

Il est presque identique au schéma précédent (2 jeux de barres, 2 attaches par départ, 2 sources d'alimentation). La décomposition du double jeu de barres en 2 tableaux avec couplage (par D1 et D2) permet une plus grande souplesse d'exploitation. Chaque jeu de barres alimente un nombre de départs moins important en fonctionnement normal.

➤ Structure des réseaux HTA [1]

Nous allons identifier les principales structures de réseaux HTA permettant d'alimenter les tableaux secondaires et les transformateurs HTA / BT. La complexité de la structure diffère suivant le niveau de sûreté de fonctionnement désiré.

Les schémas électriques des réseaux HTA les plus souvent rencontrés sont les suivants :

Radial en simple antenne

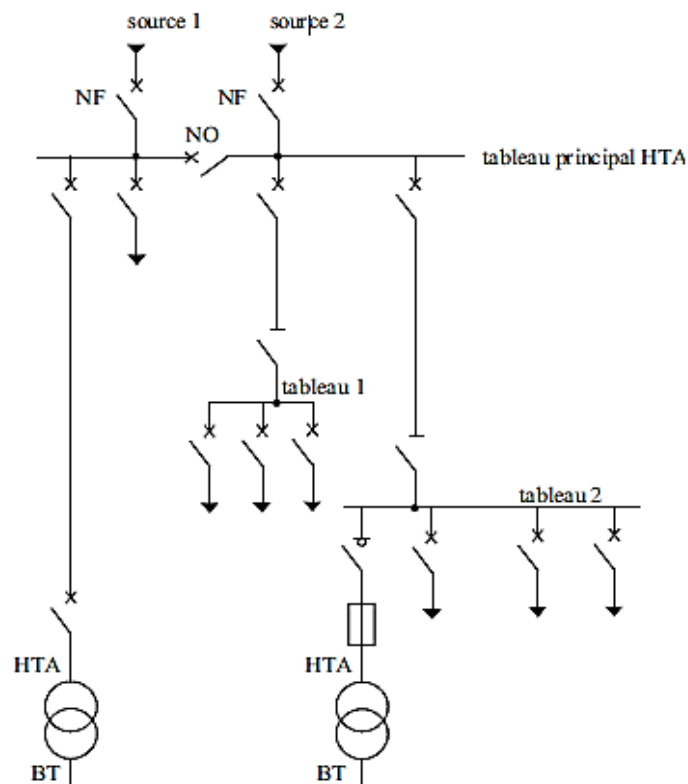


Figure I-17 : Réseau HTA radial en simple antenne

Fonctionnement

- Les tableaux 1 et 2 et les transformateurs sont alimentés par une seule source, il n'y a pas de solution de dépannage.
- cette structure est préconisée lorsque les exigences de disponibilité sont faibles, elle est souvent retenue pour les réseaux de cimenterie.

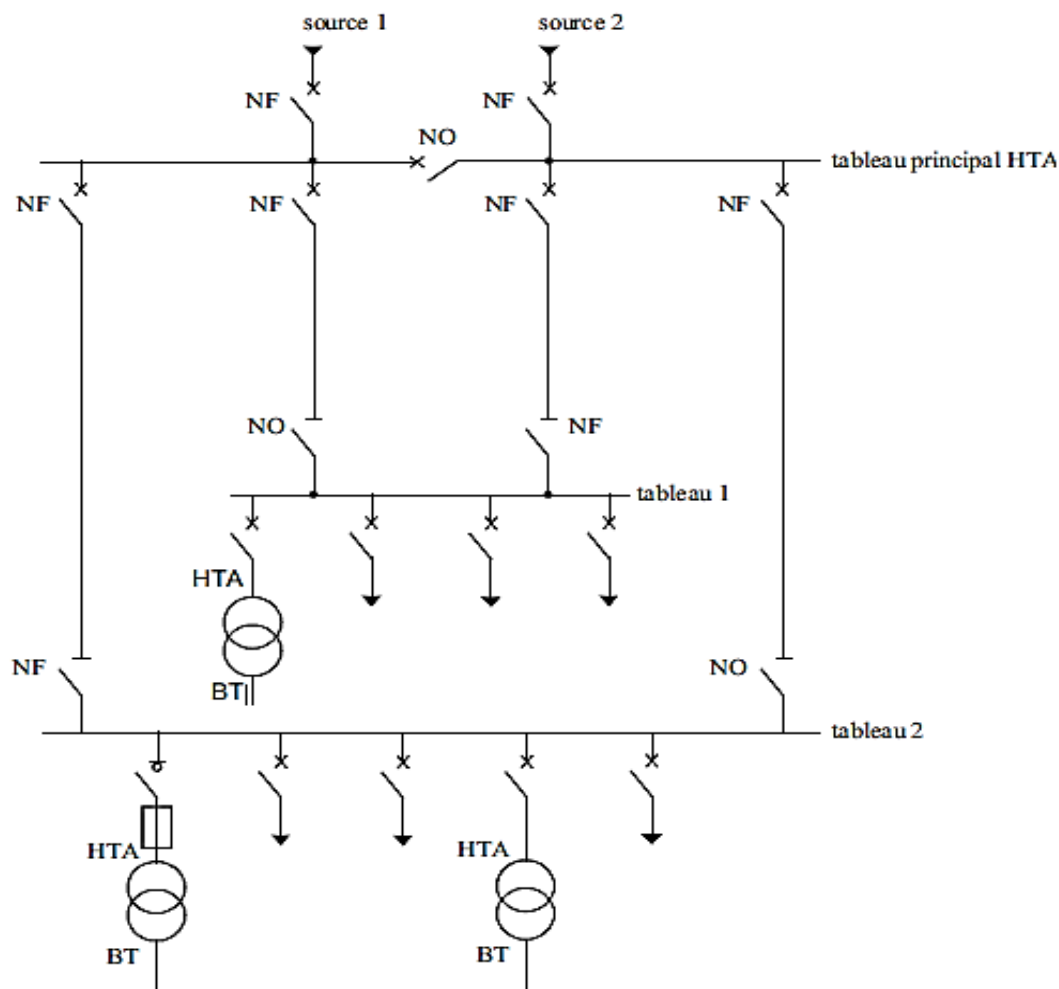
Radial en double antenne sans couplage

Figure I-18 : Réseau HTA radial en double antenne sans couplage

Fonctionnement

- Les tableaux 1 et 2 sont alimentés par 2 sources sans couplage, l'une en secours de l'autre.
- La disponibilité est bonne.
- L'absence de couplage des sources pour les tableaux 1 et 2 entraîne une exploitation moins souple.

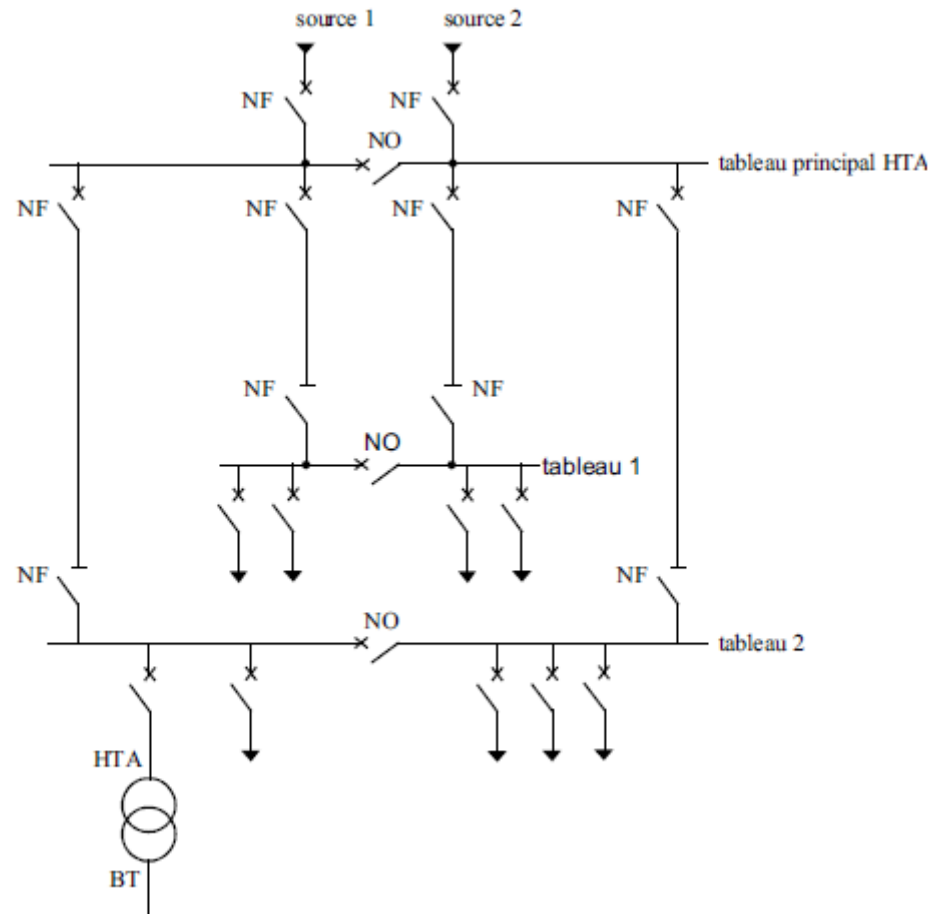
Radial en double antenne avec couplage

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

Fonctionnement

Les tableaux 1 et 2 sont alimentés par 2 sources avec couplage. En fonctionnement normal, les disjoncteurs de couplage sont ouverts.

- Chaque demi-jeu de barres peut être dépanné et être alimenté par l'une ou l'autre des sources.
- Cette structure est préconisée lorsqu'une bonne disponibilité est demandée, elle est souvent retenue dans les domaines de la sidérurgie et de la pétrochimie.

- **En boucle**

Cette solution est bien adaptée aux réseaux étendus avec des extensions futures importantes. Il existe deux possibilités suivant que la boucle est ouverte ou fermée en fonctionnement normal.

a) **Boucle ouverte**

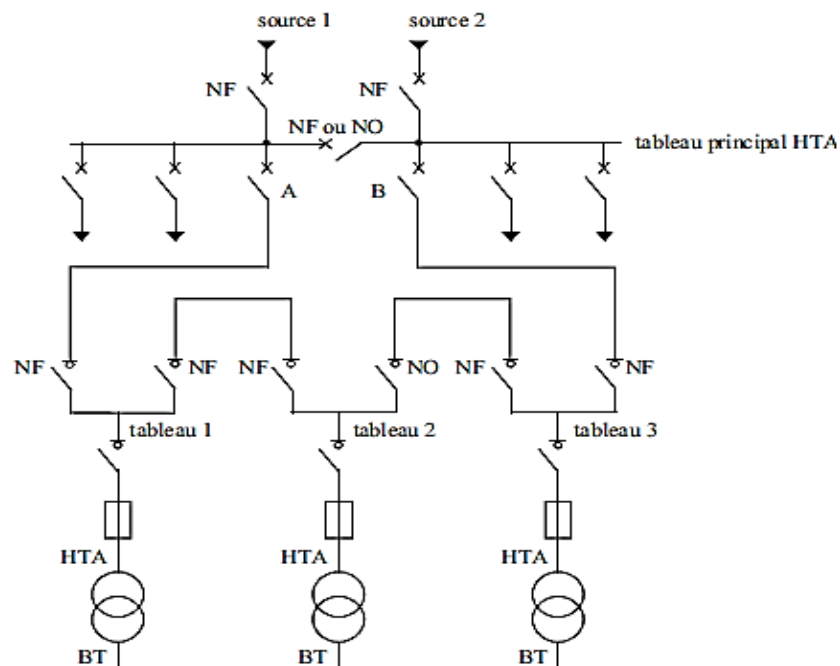
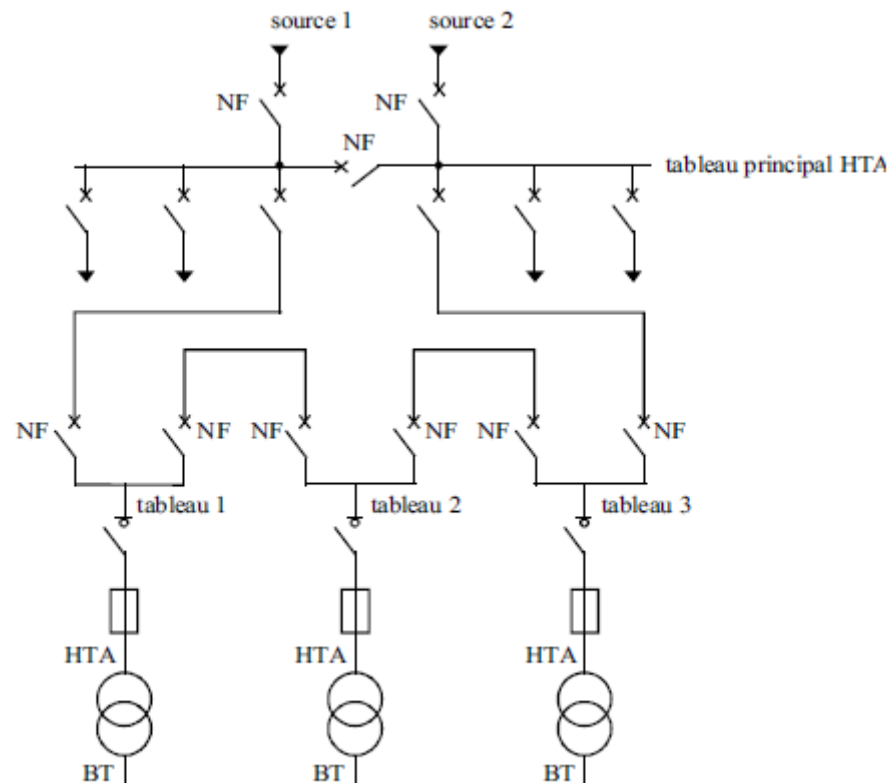


Figure I-20 : Réseau HTA en boucle ouverte

Fonctionnement

- Les têtes de boucle en A et B sont équipées de disjoncteurs.
- Les appareils de coupure des tableaux 1, 2 et 3 sont des interrupteurs.
- En fonctionnement normal, la boucle est ouverte (elle est ouverte au niveau du tableau 2).
- Les tableaux peuvent être alimentés par l'une ou l'autre des sources.
- Un défaut sur un câble ou la perte d'une source est pallié par une reconfiguration de la boucle.

Cette reconfiguration engendre une coupure d'alimentation de quelques secondes si un automatisme de reconfiguration de boucle est installé. La coupure est d'au moins plusieurs minutes ou dizaines de minutes si la reconfiguration de boucle est effectuée manuellement par le personnel d'exploitation.

b) Boucle fermée**Figure I-21 : Réseau HTA en boucle fermée****Fonctionnement**

- Tous les appareils de coupure de la boucle sont des disjoncteurs.
- En fonctionnement normal, la boucle est fermée.
- Le système de protection permet d'éviter les coupures d'alimentation lors d'un défaut.

Cette solution est plus performante que le cas de la boucle ouverte car elle évite les coupures d'alimentation. Par contre, elle est plus onéreuse car elle nécessite des disjoncteurs dans chaque tableau et un système de protection plus élaboré.

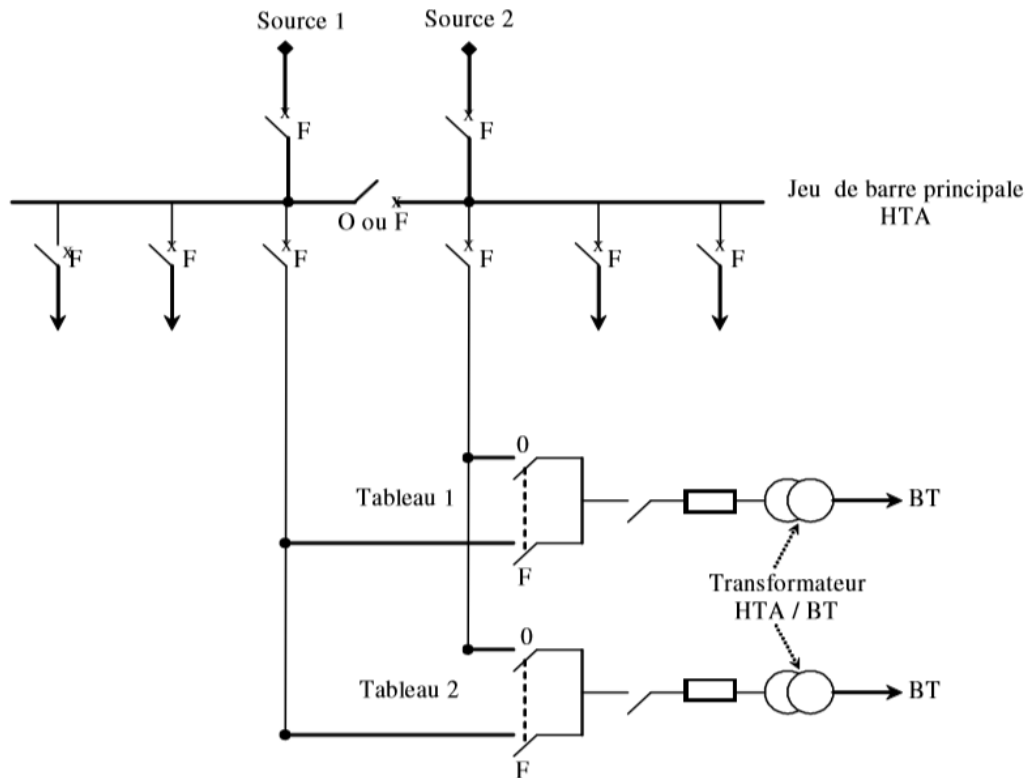
En double dérivation

Figure I-22 : Réseau HTA en double dérivation

Fonctionnement

- Les tableaux 1, 2 et 3 peuvent être dépannés et être alimentés par l'une ou l'autre des sources indépendamment.
- Cette structure est bien adaptée aux réseaux étendus avec des extensions futures limitées et nécessitant une très bonne disponibilité.

I.2. Les réseaux BT [4]

Nous allons d'abord étudier les différents modes d'alimentation des tableaux basse tension. Ensuite, nous étudierons les schémas d'alimentation des tableaux secourus par des groupes électrogènes ou par une alimentation sans interruption (ASI).

Les principaux éléments constituant une ASI sont indiqués sur la figure ci-dessous.

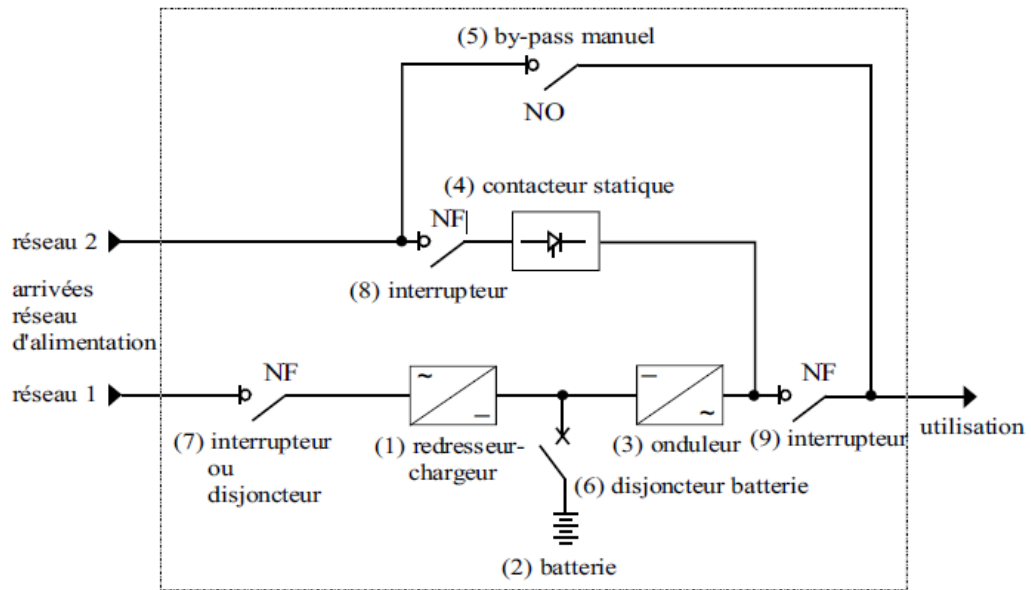


Figure I-23 : Constitution d'une alimentation sans interruption (ASI)

➤ **Modes d'alimentation des tableaux BT**

Nous allons identifier les principales solutions d'alimentation d'un tableau BT, indépendamment de son emplacement dans le réseau. Le nombre de sources d'alimentation possibles et la complexité du tableau différent suivant le niveau de sûreté de fonctionnement désiré.

- **Alimentation des tableaux BT avec une seule source d'alimentation**

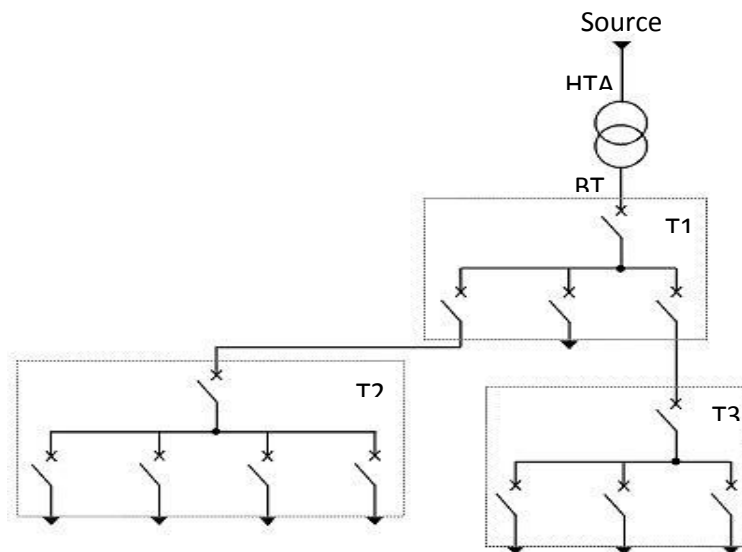


Figure I-24 : Alimentation des tableaux BT avec une seule source d'alimentation

Les tableaux T1, T2, T3 bénéficient d'une seule source d'alimentation. Le réseau est dit de type radial arborescent. En cas de perte de la source d'alimentation d'un tableau, celui-ci est hors service jusqu'à l'opération de réparation.

- **Alimentation des tableaux BT par une double alimentation sans couplage**

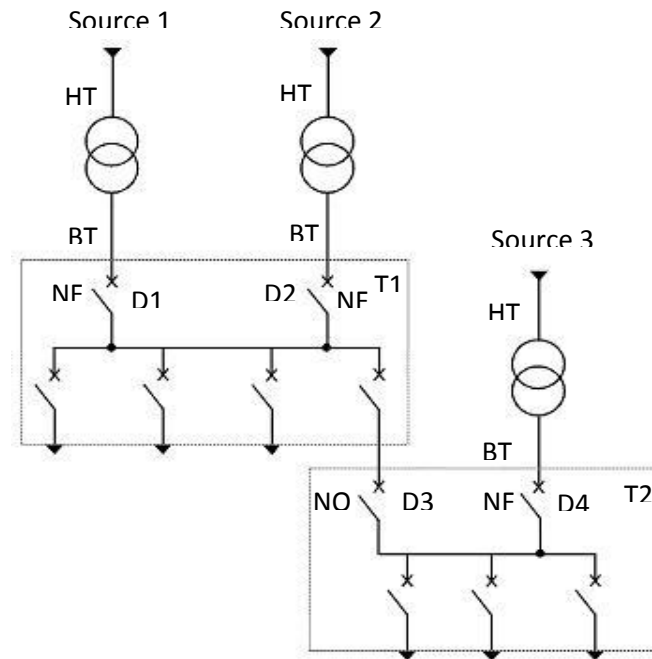


Figure I-25 : Alimentation des tableaux BT par une double alimentation sans couplage

Le tableau T1 bénéficie d'une double alimentation sans couplage par 2 transformateurs HTA/BT.

Fonctionnement de l'alimentation de T1

- Les deux sources alimentent T1 en parallèle.
- En fonctionnement normal, les deux disjoncteurs sont fermés (D1 et D2).

Le tableau T2 bénéficie d'une double alimentation sans couplage par un transformateur HTA/BT et par un départ issu d'un autre tableau BT.

Fonctionnement de l'alimentation de T2

- Une source alimente le tableau T2, la seconde assure le secours.
- En fonctionnement normal, un seul disjoncteur est fermé (D3 ou D4).

▪ L'alimentation des tableaux BT par une double alimentation avec couplage

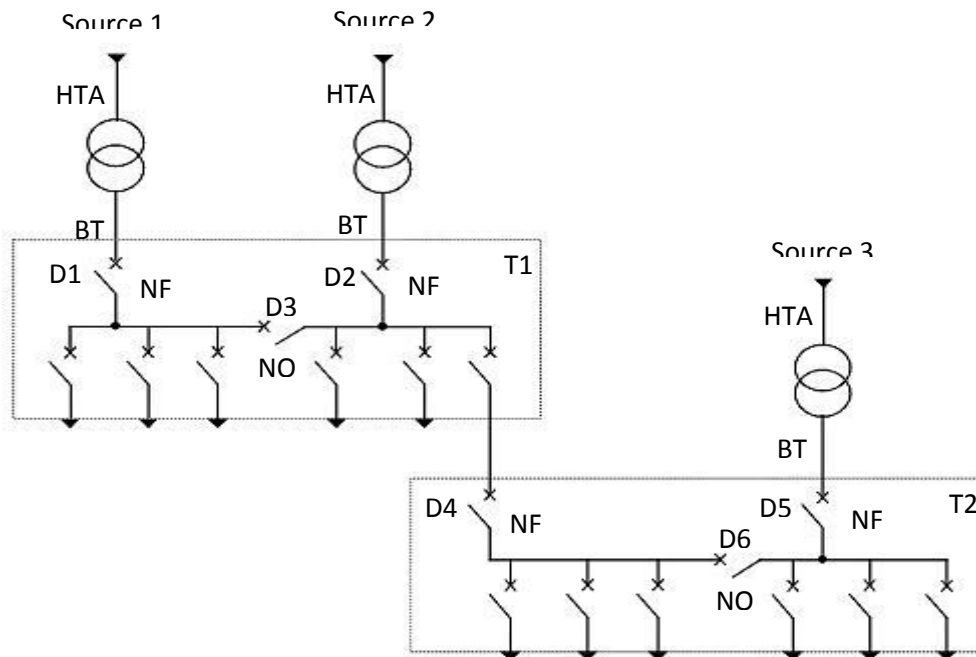


Figure I-26 : Alimentation des tableaux BT par une double alimentation avec couplage

Le tableau T1 bénéficie d'une double alimentation avec couplage par 2 transformateurs HTA/BT.

Fonctionnement de l'alimentation de T1

En fonctionnement normal, le disjoncteur de couplage D3 est ouvert. Chaque transformateur alimente une partie de T1. En cas de perte d'une source d'alimentation, le disjoncteur de couplage D3 est fermé et un seul transformateur alimente la totalité de T1. Le tableau T2 bénéficie d'une double alimentation avec couplage par un transformateur HTA/BT et par un départ issu d'un autre tableau BT.

Fonctionnement de l'alimentation de T2

En fonctionnement normal, le disjoncteur de couplage D6 est ouvert. Chaque source alimente une partie de T2. En cas de perte d'une source, le disjoncteur de couplage D6 est fermé et l'autre source alimente la totalité de T2.

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

1 transformateur et 1 alternateur

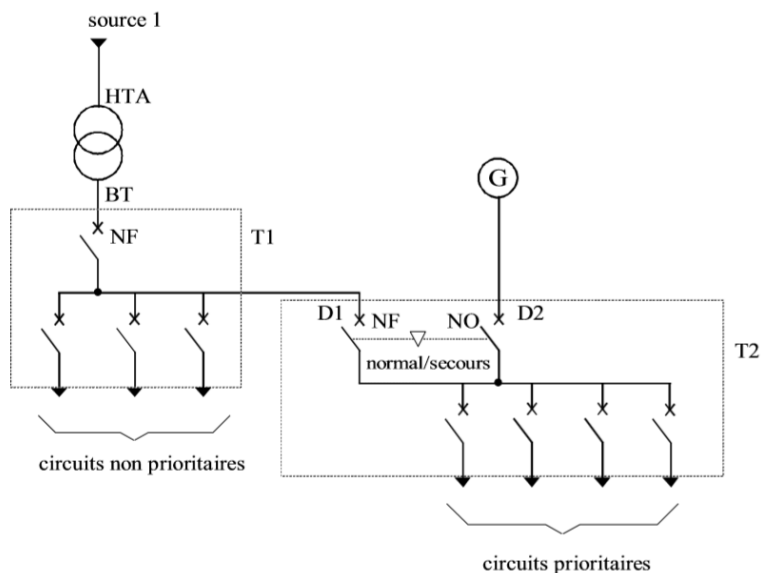


Figure I-27 : 1 transformateur et 1 alternateur

Fonctionnement

En fonctionnement normal, D1 est fermé et D2 est ouvert. Le tableau T2 est alimenté par le transformateur. En cas de perte de la source normale, on réalise les étapes suivantes :

1. Fonctionnement du dispositif normal/secours, ouverture de D1.
2. Délestage éventuel d'une partie des récepteurs des circuits prioritaires, afin de limiter l'impact de charge subi par l'alternateur.
3. Démarrage de l'alternateur.
4. Fermeture de D2 lorsque la fréquence et la tension de l'alternateur sont à l'intérieur des plages requises.

5. Délestage des récepteurs éventuellement délestés à l'étape 2.

Lorsque la source normale est de nouveau en état de marche, le dispositif normal/secours bascule l'alimentation de T2 sur cette source et l'alternateur est arrêté.

CHAPITRE II

CALCUL DES SECTIONS DES CONDUCTEURS

Il est important de calculer correctement la section du câble utilisé lors de vos installations électriques. En effet un câble trop faible va entraîner un échauffement dû à la résistance du câble (ce qui peut créer un incendie) et une perte de tension, une section trop importante peut entraîner un problème de poids et de coût.

Méthodologie [5]

L'ensemble d'un circuit électrique (conducteurs et protections associées) est déterminé de manière à satisfaire à toutes les contraintes de fonctionnement.

L'étude de l'installation consiste à déterminer précisément les canalisations et leurs protections électriques en commençant à l'origine de l'installation (source) pour aboutir aux circuits terminaux (récepteurs).

Chaque ensemble constitué par la canalisation et sa protection doit répondre simultanément à plusieurs conditions qui assurent la sûreté de l'installation :

- Véhiculer le courant d'emploi permanent et ses pointes transitoires normales.
- Ne pas engendrer de chutes de tension susceptibles de nuire au fonctionnement de certains récepteurs (période de démarrage d'un moteur par exemple).

En outre, la protection (disjoncteur ou fusible) doit :

- Protéger la canalisation pour toutes les surintensités.
- Assurer la protection des personnes contre les contacts indirects.

Le logigramme de la figure II-1 résume le principe de la méthode de calcul de section des conducteurs qui peut être décrite par les étapes suivantes :

1^{ère} étape [4]

Connaissant la puissance d'utilisation, on détermine le courant maximal d'emploi I_B et on en déduit le courant assigné I_n du dispositif de protection.

On calcule le courant de court-circuit maximal I_{cc} à l'origine du circuit et on en déduit le pouvoir de coupure PdC du dispositif de protection.

2^{ème} étape

Selon les conditions d'installation (mode de pose, température ambiante, ...), on détermine le facteur global de correction k , on choisit la section adéquate du conducteur.

3^{ème} étape

- Vérification de la chute de tension.

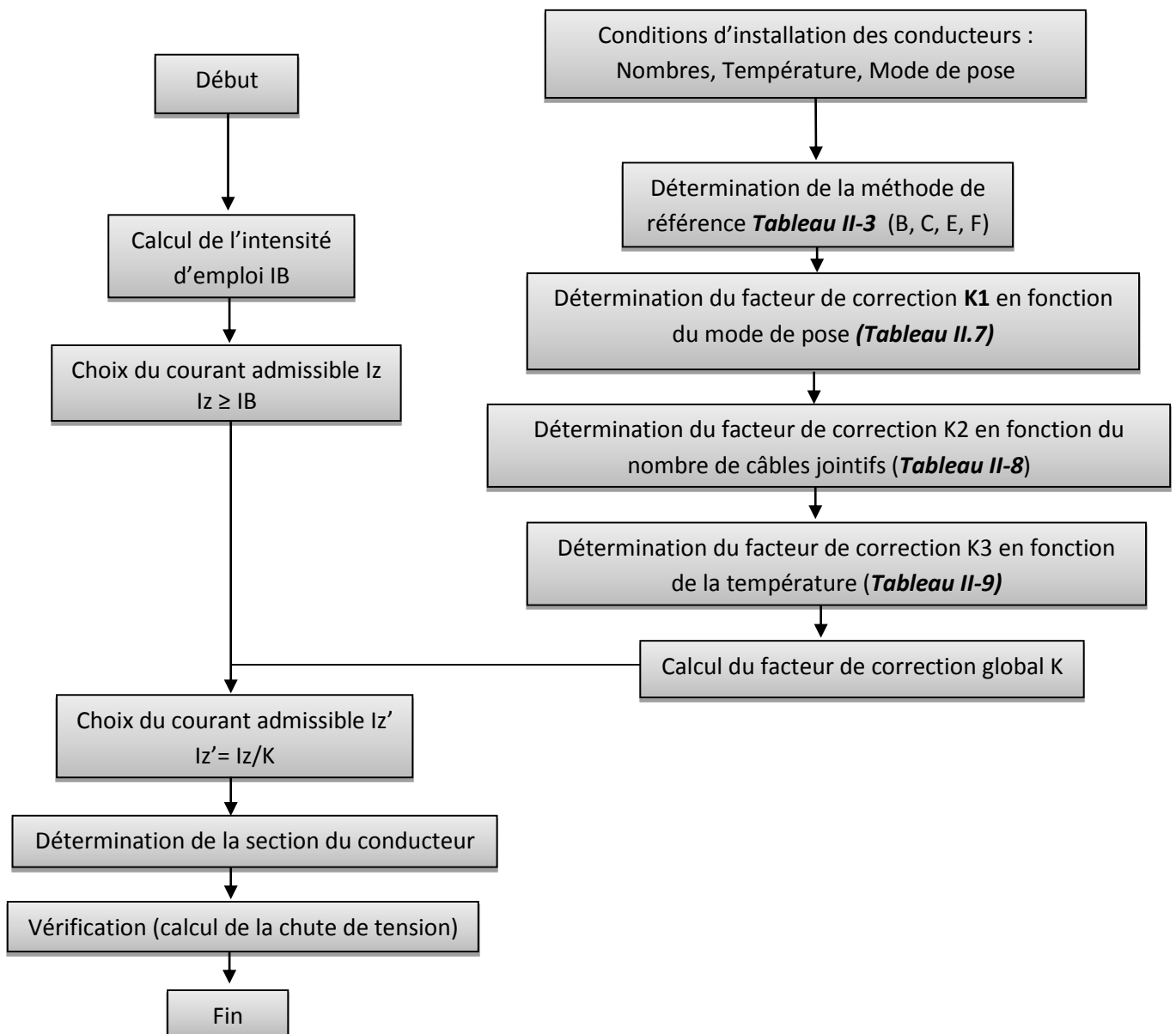


Figure II-1 : Logigramme de la détermination de la section d'une canalisation [6]

II.1. Courant d'emploi IB [7]

Le courant d'emploi IB est le courant correspondant à la plus grande puissance transportée par le circuit en service normal. Ce courant dépend directement de la puissance des appareils alimentés par le circuit, il est déterminé à partir du courant absorbé et corrigé selon plusieurs facteurs.

- Au niveau des circuits terminaux, c'est le courant qui correspond à la puissance apparente des récepteurs.
- Au niveau des circuits de distribution, c'est le courant correspondant à la puissance d'utilisation à laquelle tient compte des coefficients de simultanéité et d'utilisation.

Le courant d'emploi est calculé à l'aide de la formule pratique suivante:

$$I_B = P_n \times a \times b \times c \times d \times e$$

a : Facteur tenant compte du facteur de puissance et du rendement des récepteurs.

b : Facteur d'utilisation des appareils.

c : Facteur de simultanéité.

d : Facteur tenant compte des prévisions d'extension.

e : Facteur de conversion des puissances en intensités.

➤ **Le Facteur a**

Ce facteur tient compte du facteur de puissance et du rendement des récepteurs : $a = \frac{1}{r \cos \varphi}$ pour les appareils de chauffage par résistance, **a = 1**, pour les autres appareils est déterminé avec les indications des constructeurs.

➤ **facteur d'utilisation des appareils b [7]**

Le facteur d'utilisation concerne surtout les installations industrielles et plus particulièrement les moteurs qui fonctionnent en régime variable, la puissance absorbée peut varier de **0,3 à 0,9** de la puissance nominale. En l'absence d'indications plus précises on adopte la valeur de **0,75**. Pour les appareils d'éclairage et de chauffage le facteur d'utilisation est toujours égal à **1**.

➤ **facteur de simultanéité c [4]**

Dans une installation industrielle, les récepteurs (d'un atelier par exemple) alimentés par une même canalisation, ne fonctionnent pas simultanément dans tous les cas. Pour tenir compte de ce phénomène, qui reste lié aux conditions d'exploitation de l'installation, dans le dimensionnement des liaisons, on applique à la somme des puissances des récepteurs le facteur de simultanéité.

En l'absence d'indications précises résultant de l'expérience d'exploitation d'installations type, les valeurs des deux tableaux suivants peuvent être utilisées :

Utilisation	Facteur de simultanéité c
Eclairage	1
Chauffage et conditionnement d'air	1
Prise de courant	0.1 à 0.2 (pour un nombre sup 20)

Tableau II-1 : Facteur de simultanéité pour bâtiment administratif

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

Tableau II-2 : Facteur de simultanéité pour armoires de distribution industrielle

➤ **facteur tenant compte des prévisions d'extension d**

La valeur du facteur d doit être estimée suivant les conditions prévisibles d'évolution de l'installation, il est au moins égal à **1**. A défaut de précision, la valeur **1,2** est souvent utilisée.

➤ **facteur de conversion des puissances en intensités e [7]**

Le facteur de conversion de la puissance exprimée en kW ou en kVA, en intensité exprimée en ampères.

- $e = 7,7$ en monophasé 130 V

- $e = 4,16$ en monophasé 240 V

- $e = 2,4$ en triphasé 240 V

- $e = 1,4$, en triphasé 400 V

Ces valeurs sont calculées selon la relation, $e = \frac{P}{U}$

II.2 Courant absorbé (IA) [7]

En courant alternatif, le courant absorbé par un récepteur est donné par les relations :

$$I_A = \frac{P_A}{U \cdot \cos\varphi} \quad \text{En monophasé} \quad ; \quad I_A = \frac{P_A}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} \quad \text{En triphasé}$$

Avec :

U : Tension entre conducteur **Ph/N** en monophasé, et tension entre phases en triphasé.

I_A : Courant absorbé par le récepteur.

P_A : Puissance absorbée du récepteur en Watts.

II.3 Courant admissible IZ [5]

C'est le courant maximal que la canalisation peut véhiculer en permanence sans préjudice pour sa durée de vie. Ce courant pour une section donnée dépend de plusieurs paramètres :

- Constitution du câble (cuivre, aluminium, isolation PVC ou PR, nombre de conducteurs actifs).
- Température ambiante.
- Mode de pose.
- Influence des circuits voisins (effets de proximité).

Lorsqu'un conducteur est parcouru par un courant électrique, il s'échauffe selon la loi de Joule:

$$W = RI^2t$$

W : Energie en Joule.

R : Résistance du conducteur en Ω .

t : Temps en secondes.

Dans les conducteurs isolés, placés sous conduit, la chaleur produite par le passage du courant est dissipée dans le milieu ambiant. Cette dissipation dépend de :

- La méthode de référence liée au mode de pose.
- La température que peut supporter l'isolant.
- Nombre de conducteurs actifs du câble ou de la canalisation.

II.4 Températures de référence [7]

a) Températures ambiantes

Les échanges thermiques s'opèrent avec le milieu ambiant, les valeurs ont été calculées pour des températures de :

- 30 °C dans l'air, pour tous les modes de pose.
- 20 °C dans le sol, pour les câbles enterrés ou placés dans des conduits enterrés.

b) Température des conducteurs isolés

En fonction de la nature de l'isolant, l'âme conductrice peut être portée à une température maximale fixée par la norme :

- 70 °C isolant en polychlorure de vinyle (PVC).
- 90 °C isolant en polyéthylène réticulé (PR).
- 105 °C isolant minéral.

II.5. Méthode de calcul des sections des conducteurs [7]

Pour déterminer une section de conducteur à partir d'une intensité d'emploi, on doit tenir compte du mode de pose. A chaque mode de pose correspond une méthode de référence désignée par une lettre majuscule : B, C, E, F, D.

Les tableaux ci-dessous permettent de déterminer la section des conducteurs d'un circuit. Ils ne sont utilisables que pour des canalisations non enterrées et protégées par disjoncteur.

Type d'éléments conducteurs	Mode de pose	Lettre de sélection
Conducteurs et câbles multiconducteurs	Sous conduit, profité ou goulotte, en apparent ou encastré. Sous vide de construction. faux plafond. Sous caniveau. Moulures. plinthes. Chambranles.	B
	En apparent contre mur ou plafond. Sur chemin de câbles ou tablettes non perforées.	C
Câbles multiconducteurs	Sur échelles. corbeaux. Chemin de câbles perforés. Fixes en apparent. Espacé de la paroi. Câblés suspendus.	E
Câbles monoconducteurs	Sur échelles. Corbeaux. Chemin de câbles perforés. Fixes en apparent. Espacé de la paroi. Câblés suspendus.	F

Tableau II-3 : Détermination de la lettre de sélection [8]

- a) **Méthode B** : Les conducteurs sont enfermés dans des enceintes non ventilées, la dissipation de la chaleur est mauvaise.
- b) **Méthode C** : Les câbles sont à l'air libre, mais disposés contre des parois qui limitent la dissipation de la chaleur.
- c) **Méthode E** : Câbles multiconducteurs à l'air libre.
- d) **Méthode F** : Câbles mono conducteurs à l'air libre.

La section d'un conducteur de phase dépend du mode de pose et d'un coefficient d'influence noté K. Le coefficient K caractérise l'influence des différentes conditions de l'installation, $K = K1 \times K2 \times K3 \times Kn \times Ks$. Les valeurs des coefficients K1, K2, K3 sont déterminés à partir des tableaux suivants.

➤ **Facteur de correction K1 [8]**

Le facteur K1 mesure l'influence du mode de pose.

Lettre de sélection	Cas d'installation	K1
B	- Câbles dans des produits encastrés directement dans des matériaux thermiquement isolants.	0.70
	- Conduits encastrés dans des matériaux thermiquement isolants.	0.77
	- Câbles multiconducteurs.	0.90
	- Vides de construction et caniveaux.	0.95
C	- Pose sous plafond.	0.95
B.C.E.F	- Autres cas.	1

Tableau II.4 : Facteur de correction K1

➤ **Facteur de correction K2 [8]**

Le facteur K2 mesure l'influence mutuelle des circuits placés côte à côte. Une pose est jointive lorsque la distance entre 2 conducteurs est inférieure au double du diamètre d'un conducteur.

Lettre de sélection	Disposition des câbles jointifs	Facteur de correction K2									
		Nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12
B .C	Encastres ou noyés dans les parois	1.00	0.80	0.70	0.65	0.60	0.57	0.54	0.52	0.50	0.45
C	Simple couche sur les murs ou les planchers ou tablettes non perforées	1.00	0.85	0.79	0.75	0.73	0.72	0.72	0.71	0.70	0.70
	Simple couche au plafond	0.95	0.81	0.72	0.68	0.66	0.64	0.63	0.62	0.61	0.61
E.F	Simple couche sur des tablettes horizontales perforées ou tablettes verticales sur des tablettes	1.00	0.88	0.82	0.77	0.75	0.73	0.73	0.72	0.72	0.72
	Simple couche sur des échelles à câble. corbeaux etc.	1.00	0.87	0.82	0.80	0.80	0.79	0.79	0.78	0.78	0.78

Tableau II-5 : Facteur de correction K2

Lorsque les câbles sont disposés en plusieurs couches, on applique en plus un facteur de correction de :

- 0,80 pour deux couches.
- 0,73 pour trois couches.
- 0,70 pour quatre ou cinq couches.

➤ **Facteur de correction K3 [8]**

Le facteur de correction K3 prend en compte la température ambiante et la nature de l'isolant.

Températures ambiantes (°C)	Isolation		
	Elastomère (caoutchouc)	Polychlorure de vinyle (PVC)	Polyéthylène réticulé(PR) butyle, éthylène, propylène(EPP)
10	1.29	1.22	1.15
15	1.22	1.17	1.12
20	1.15	1.12	1.08
25	1.07	1.07	1.04
30	1.00	1.00	1.00
35	0.93	0.93	0.96
40	0.82	0.87	0.91
45	0.71	0.79	0.87
50	0.58	0.71	0.82
55	-	0.61	0.76
60	-	0.50	0.71

Tableau II-6 : Facteur de correction K3

e) Méthode D : Concerne uniquement les câbles enterrés [8].

Les tableaux ci-dessous permettent de déterminer la section des conducteurs de phase d'un circuit pour des canalisations enterrées.

Pour obtenir la section des conducteurs de phase pour la lettre de sélection D il faut déterminer un coefficient K qui caractérise l'influence des différentes conditions d'installation, et ce dernier s'obtient en multipliant les facteurs de correction, K4, K5, K6, K7, Kn et Ks.

➤ **Facteur de correction K4**

Le facteur de correction K4 prend en compte le mode de pose.

<i>Lettre de sélection</i>	<i>Mode de pose</i>	<i>K4</i>	<i>Numéro de référence de mode de pose</i>
D	Pose sous fourreaux, conduits ou profilés	0,80	61
	Autre cas	1	62, 63

Tableau II-7 : Facteur de correction K4

➤ **Facteur de correction K5**

Le facteur K5 prend en compte l'influence mutuelle des circuits placés côte à côte.

<i>Influence mutuelle des circuits dans un même conduit</i>	<i>Disposition des câbles jointifs</i>	<i>Nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs</i>										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16
	Enterrés	1	0,71	0,58	0,50	0,45	0,41	0,38	0,35	0,33	0,29	0,25

Tableau II-8 : Facteur de correction K5

➤ **Facteur de correction K6**

Le facteur de correction K6 prend en compte l'influence de la nature du sol.

<i>Nature du sol</i>	<i>K7</i>
<i>terrain très humide</i>	1,21
<i>humide</i>	1,13
<i>normal</i>	1,05
<i>sec</i>	1
<i>très sec</i>	0,86

Tableau II-9 : Facteur de correction K6

➤ **Facteur de correction K7**

Le facteur K7 prend en compte la température ambiante et la nature de l'isolant.

Température du sol (C°)	Isolation	
	Polychlorure de vinyle PVC	Polyéthylène réticule éthylène, propylène
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
20	1,00	1,00
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,80
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65

Tableau II-10 : Facteur de correction K7

➤ **Facteur de correction Kn (conducteur Neutre chargé) [8]**

Selon la norme NF C 15-100 § 523.5.2 :

$$K_n = 0,84$$

$$K_n = 1,45$$

Par principe, le neutre doit avoir la même section que le conducteur de phase dans tous les circuits monophasés.

Dans les circuits triphasés de section supérieure à 16 mm² (25 mm² en aluminium), la section du neutre peut être réduite jusqu'à S/2.

Toutefois cette réduction n'est pas autorisée si :

- les charges ne sont pas pratiquement équilibrées
- le taux de courants harmoniques de rang 3 est supérieur à 15%

Si ce taux est supérieur à 15%, la section des conducteurs actifs des câbles multipolaires est choisie en majorant le courant IB par un coefficient multiplicateur de 0,84.

Si ce taux est supérieur à 33%, la section des conducteurs actifs des câbles multipolaires est choisie en majorant le courant IB par un coefficient multiplicateur de 1,45.

➤ **Facteur de correction Ks (dit de symétrie) [8]**

Selon la norme NF C 15-105 § B.5.2 et le nombre de câbles en parallèle.

- Ks = 1 pour 2 et 4 câbles par phase avec le respect de la symétrie.
- Ks = 0,8 pour 2, 3 et 4 câbles par phase si non-respect de la symétrie.

On effectue le produit :

- K = K1 x K2 x K3 x Kn x Ks, pour les lettres de sélection B, C, E, F.
- K = K4 x K5 x K6 x Kn x Ks pour la lettre de sélection D.

On calcule l'intensité fictive I'_Z donné par la loi au-dessous, et grâce au **tableau II.11**, on détermine la section du conducteur. $I'_Z = \frac{I_Z}{K}$

Isolant et nombre de conducteurs chargés (3 ou 2)														
Lettre de sélection	B	PVC3	PVC2		PR3		PR2							
	C		PVC3		PVC2	PR3		PR2						
	D									PVC3	PVC2	PR3	PR2	
	E			PVC3		PVC2	PR3		PR2					
	F				PVC3		PVC2	PR3		PR2				
Section cuivre (mm ²)	1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26		26	32	31	37
	2,5	21	24	25	27	30	31	33	36		34	42	41	48
	4	28	32	34	36	40	42	45	49		44	54	53	63
	6	36	41	43	48	51	54	58	63		56	67	66	80
	10	50	57	60	63	70	75	80	86		74	90	87	104
	16	68	76	80	85	94	100	107	115		96	116	113	136
	25	89	96	101	112	119	127	138	149	161	123	148	144	173
	35	110	119	126	138	147	158	169	185	200	147	178	174	208
	50	134	144	153	168	179	192	207	225	242	174	211	206	247
	70	171	184	196	213	229	246	268	289	310	216	261	254	304
	95	207	223	238	258	278	298	328	352	377	256	308	301	360
	120	239	259	276	299	322	346	382	410	437	290	351	343	410
	150		299	319	344	371	395	441	473	504	328	397	387	463
	185		341	364	392	424	450	506	542	575	367	445	434	518
	240		403	430	461	500	538	599	641	679	424	514	501	598
300		464	497	530	576	621	693	741	783	480	581	565	677	
400					656	754	825		940					
500					749	868	946		1 083					
630					855	1 005	1 088		1 254					
Section aluminium (mm ²)	2,5	16,5	18,5	19,5	21	23	25	26	28					
	4	22	25	26	28	31	33	35	38					
	6	28	32	33	36	39	43	45	49					
	10	39	44	46	49	54	58	62	67		57	68	67	80
	16	53	59	61	66	73	77	84	91		74	88	87	104
	25	70	73	78	83	90	97	101	108	121	94	114	111	133
	35	86	90	96	103	112	120	126	135	150	114	137	134	160
	50	104	110	117	125	136	146	154	164	184	134	161	160	188
	70	133	140	150	160	174	187	198	211	237	167	200	197	233
	95	161	170	183	195	211	227	241	257	289	197	237	234	275
	120	186	197	212	226	245	263	280	300	337	224	270	266	314
	150		227	245	261	283	304	324	346	389	254	304	300	359
	185		259	280	298	323	347	371	397	447	285	343	337	398
	240		305	330	352	382	409	439	470	530	328	396	388	458
	300		351	381	406	440	471	508	543	613	371	447	440	520
400					526	600	663		740					
500					610	694	770		856					
630					711	808	899		996					

Tableau II.11 : Courant IZ en (A) par les canalisations dans les conditions standard d'installation [9]

II.6 Surintensité [4]

Il y a surintensité chaque fois que le courant traversant un circuit est supérieur à son intensité admissible. On distingue 2 types de surintensité :

- **Les surcharges** : Surintensités se produisant dans un circuit électriquement sain (courant de démarrage d'un moteur asynchrone, surabondance momentanée des récepteurs en fonctionnement).
- **Les courants de court-circuit** : Ils sont consécutifs à un défaut dans un circuit entre plusieurs conducteurs.

II.7 Détermination de la chute de tension [5]

La norme **NFC15-100** impose que la chute de tension entre l'origine de l'installation BT et tout point d'utilisation n'excède pas les valeurs suivantes :

	Eclairage	Autres usages (forces motrices)
Alimentation par le réseau BT de distribution publique	3 %	5%
Alimentation par poste prive HT/BT	6%	8%

Tableau II-12 : Détermination de la chute de tension

Cette chute de tension s'entend en service normal (en dehors des appels de courant au démarrage des moteurs) et lorsque les appareils susceptibles de fonctionner simultanément sont alimentés. Lorsque la chute de tension est supérieure à ces valeurs, il sera nécessaire d'augmenter la section de certains circuits jusqu'à ce que l'on arrive à des valeurs inférieures à ces limites. Il est recommandé de ne pas atteindre la chute de tension maximale autorisée pour les raisons suivantes :

- ✓ Le bon fonctionnement des moteurs est garanti pour leur tension nominale (plus ou moins 5 % en régime permanent).
- ✓ La chute de tension peut être importante lors du démarrage d'un moteur (si l'intensité de démarrage est importante).

- ✓ La chute de tension est synonyme de pertes en ligne, ce qui va à l'encontre des économies d'énergie.

Le tableau ci-dessous donne la chute de tension par **km** de câbles pour un courant de **1A** en fonction :

- **Du type d'utilisation** : force motrice avec $\cos \varphi$ voisin de 0,8 ou éclairage avec $\cos \varphi$ voisin de 1.
- Du type de câble monophasé ou triphasé.

La chute de tension dans un circuit s'écrit alors :

$$\Delta U (\text{Volt}) = B \times IB \times L$$

B : Donné par le tableau.

IB : Courant d'emploi en A.

L : Longueur du câble en km.

Section mm ²		Circuit monophasé			Circuit triphasé équilibre		
		Force motrice		Eclairage	Force motrice		Eclairage
Cuivre	Aluminium	Service normal $\cos\Phi=0.8$	Démarrage $\cos\Phi=0.35$	$\cos\Phi=1$	Service normal $\cos\Phi=0.80$	Démarrage $\cos\Phi=0.35$	$\cos\Phi=1$
1.5	-	24	10.6	30	20	9.4	25
2.5	-	14.4	6.4	18	12	5.7	15
4	-	9.1	4.1	11.2	8	3.6	9.5
6	10	6.1	2.9	7.5	5.3	2.5	6.2
10	16	3.7	1.7	4.5	3.2	1.5	3.6
16	25	2.36	1.15	2.8	2.05	1	2.4
25	35	1.5	0.75	1.8	1.3	0.65	1.5
35	50	1.15	0.6	1.29	1	0.52	1.1
50	70	0.86	0.47	0.95	0.75	0.41	0.77
70	120	0.64	0.37	0.64	0.56	0.32	0.55
95	150	0.48	0.3	0.47	0.42	0.26	0.4
120	185	0.39	0.26	0.37	0.34	0.23	0.31
150	240	0.33	0.24	0.3	0.29	0.21	0.27
185	300	0.29	0.22	0.24	0.25	0.19	0.2
240	400	0.24	0.2	0.19	0.21	0.17	0.16
300	500	0.21	0.19	0.15	0.18	0.16	0.13

Tableau II-13 : La chute de tension en ligne en régime permanent

CHAPITRE III

REGIMES DE NEUTRE

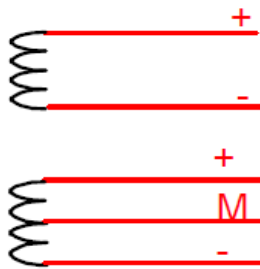
L'énergie électrique, bien qu'utile, est dangereuse pour l'homme. Si un courant traverse le corps humain, il y a risque de lésions voir de mort. Il est donc nécessaire de protéger les personnes contre de tels dangers (la sécurité de première).

Les réseaux de distribution sont caractérisés essentiellement par la nature du courant et le nombre de conducteurs actifs, ainsi que par la liaison à la terre ou régimes de neutre. La sécurité des personnes et du matériel est assurée différemment en fonction du régime de neutre utilisé dans une installation électrique.

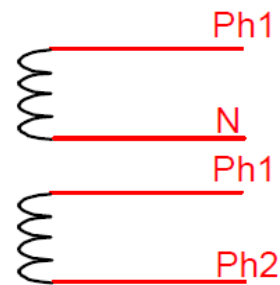
III.1. Différents systèmes de distribution

Les systèmes de distribution sont caractérisés par la nature du courant et le nombre de fils.

A. Circuit monophasé

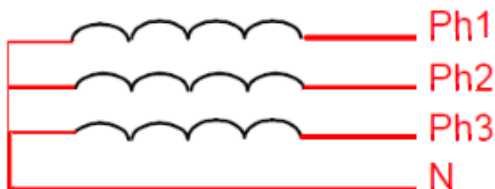


a) Courant continu



b) Courant alternatif monophasé

B. Circuit triphasé



a) Montage étoile 4 fils en alternatif



b) Montage triangle 3 fils en alternatif

III.1.1. Les trois régimes de neutre [10]

La norme **NF C 15.100** définit trois régimes de neutre qui sont caractérisés par deux lettres :

1^{ère} Lettre

Situation de l'alimentation par rapport à la terre.

T : liaison d'un point avec la terre ;

I : isolation de toutes les parties actives par rapport à la terre ou liaison d'un point avec la terre à travers une impédance.

2^{ème} Lettre

Situation des masses de l'installation par rapport à la terre.

T : masses reliées directement à la terre.

N : masses reliées au neutre de l'installation, lui-même relié à la terre.

III.1.1.1. Régime TT

Le système de distribution TT est le régime de neutre employé pour toute la distribution d'énergie publique du réseau basse tension. Dans ce système de distribution :

- Le neutre de la source d'alimentation est mis à la terre.
- Les masses de l'installation sont mises à la terre.

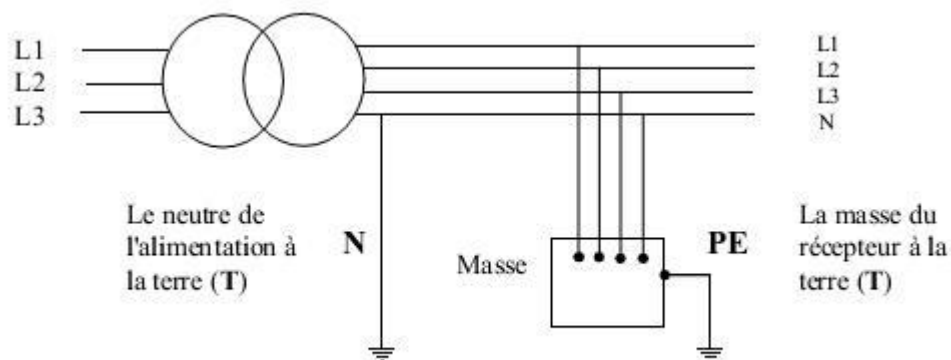


Figure III-1 : Schéma TT [11]

III.1.1.2 Régime TN [11]

Dans ce régime le neutre est mis à la terre et les masses sont reliées au neutre par un conducteur de protection. Deux cas qui se présentent :

A. Régime TN-C

Le conducteur de protection de PE et le conducteur N de l'alimentation peuvent être confondus en un seul conducteur PEN.

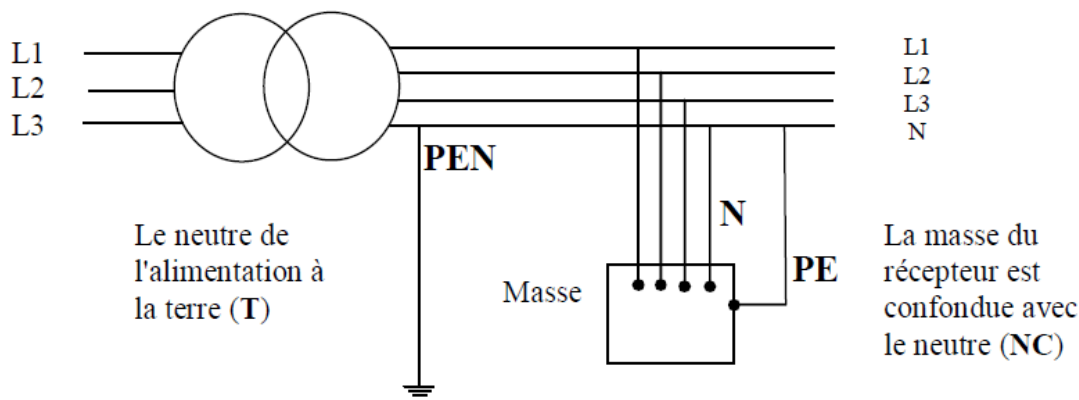


Figure III-2 : Schéma TN-C

B. Régime TN-S

Le conducteur de protection PE et le conducteur N du côté de l'alimentation peuvent être séparés. Dans les deux cas, la protection doit être assurée par coupure au premier défaut.

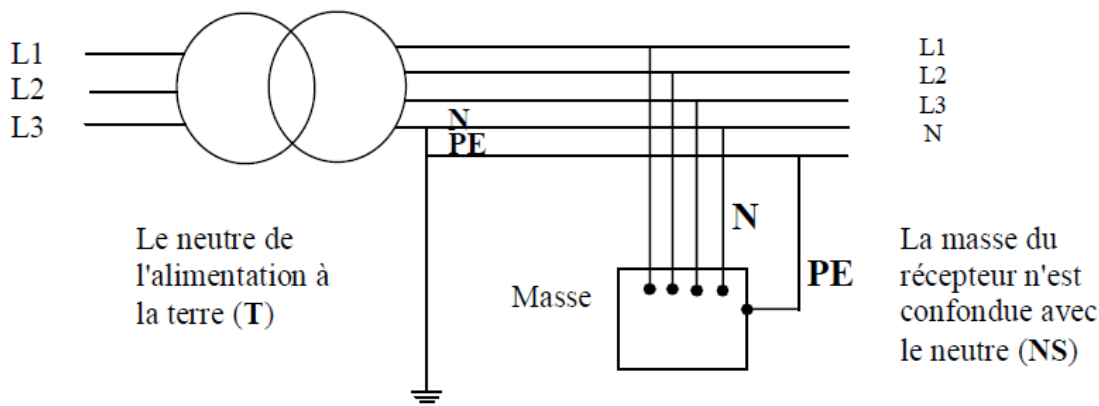


Figure III-3: Schema TN-S

III.1.1.3 Régime IT [11]

Le neutre de la source de tension est isolé ou relié à la terre par une forte impédance, les masses d'installation sont reliées à la terre comme l'indique la figure suivante. Le premier défaut ne présente pas de danger, la coupure est obligatoire au deuxième défaut.

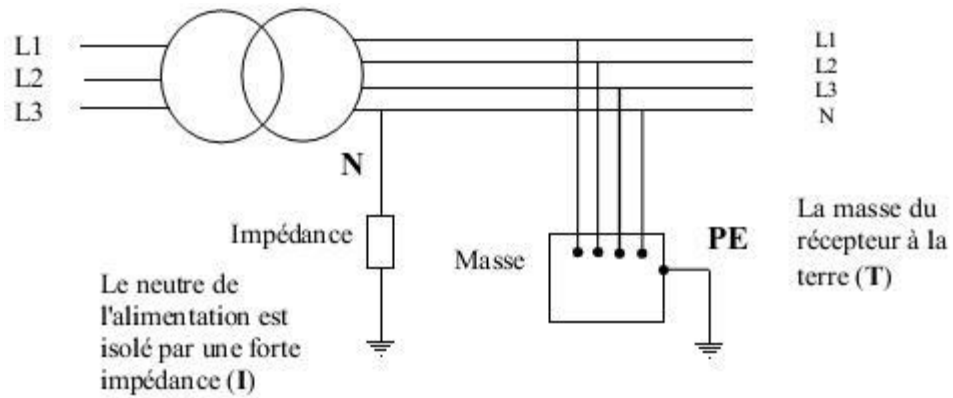


Figure III-4 : Schéma IT

III.1.2. Caractéristiques des différents régimes de neutre [11]

Le tableau suivant récapitule selon la norme CEI les montages de chaque régime de neutre, ainsi les précautions pour assurer la protection des appareils et personnes.

RÉGIME	TECHNIQUES S'EXPLOITATION	TECHNIQUES DE PROTECTION DES PERSONNES	PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES
TT	<ul style="list-style-type: none"> - Coupure au premier défaut d'isolement 	<ul style="list-style-type: none"> - Mise à la terre des masses associées à l'emploi obligatoire de dispositifs différentiels 	<ul style="list-style-type: none"> - La présence de différentiels permet la prévention des - risques d'incendie pour une sensibilité égale ou supérieure à 300mA. - Chaque défaut d'isolement entraîne une coupure du circuit protégé.
TN	<ul style="list-style-type: none"> - Coupure au premier défaut d'isolement 	<ul style="list-style-type: none"> - Interconnexion et mise à la terre des masses et du neutre obligatoires. - Coupure par protection contre les surintensités par fusibles ou disjoncteurs. 	<ul style="list-style-type: none"> - Il nécessite un personnel d'entretien très compétent. - Les risques d'incendie sont accentués du fait de l'importance des courants de défaut. - Le schéma TNS est obligatoire pour les sections de conducteurs inférieures à 10mm².
IT	<ul style="list-style-type: none"> - Signalisation du défaut simple d'isolement. - Recherche et élimination obligatoire du défaut. - Coupure en cas de défaut double. 	<ul style="list-style-type: none"> - Interconnexion et mise à la terre des masses. - Coupure par protection de surintensité (fusibles disjoncteur) en cas de défaut double. 	<ul style="list-style-type: none"> - Il nécessite un personnel pour la surveillance. - Il nécessite un bon niveau d'isolement des réseaux.

Tableau III-1 : Caractéristiques des différents régimes de neutre

III.2. Protection des installations et des personnes [11]

III.2.1. Etude d'un défaut d'isolement en régime TT

III.2.1.1. Présentation du défaut

Soit l'installation suivante présente un défaut d'isolement qui peut être dangereux en cas de contact avec un organe d'un être humain.

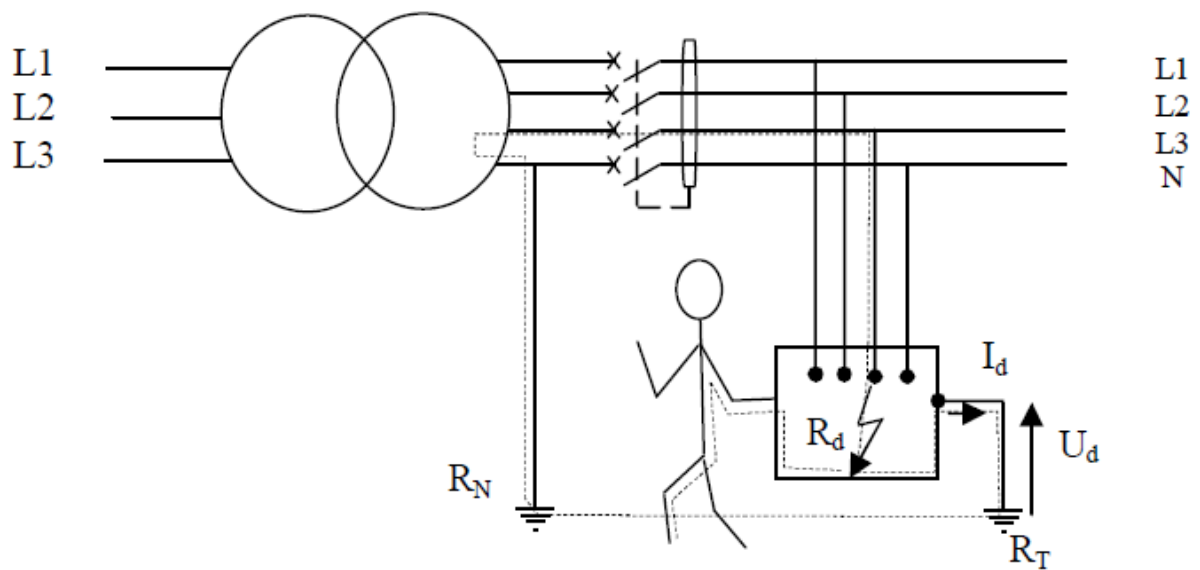


Figure III-5 : Régime TT, lors d'un défaut d'isolement

Où :

R_T : Résistance de prise des masses.

R_n : Résistance de la prise de terre neutre.

R_d : Résistance de défaut (cas le plus défavorable $R_d = 0\Omega$).

I_d : Courant de défaut.

$$I_d = \frac{U_n}{\sum R_i} = \frac{U_n}{R_T + R_n + R_d}$$

U_d : Tension de défaut.

III.2.1.2. Tension de défaut

La tension de défaut U_d , c'est la différence de potentiel appliquée à une personne.

$$U_d = R_d * I_d$$

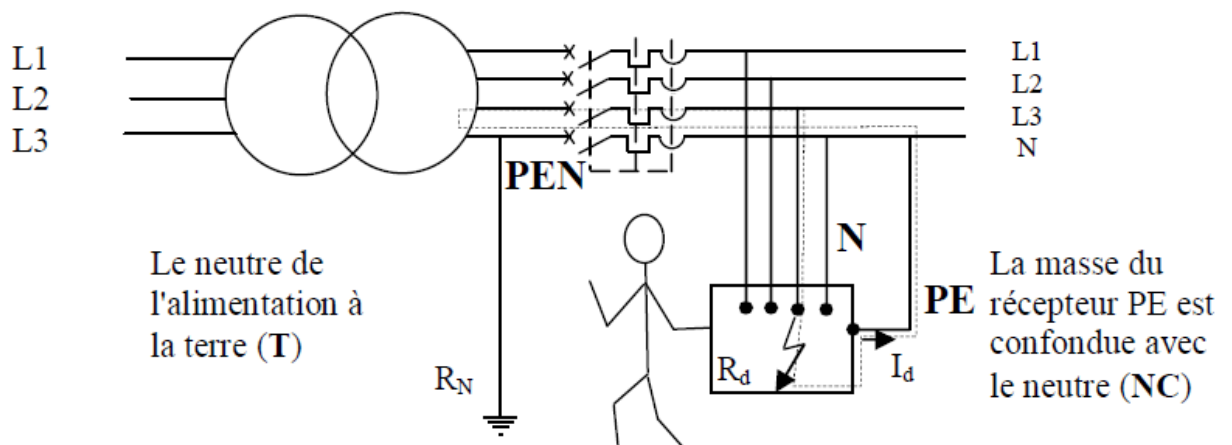
Cette tension peut être dangereuse pour les personnes, donc il faut prévoir un appareillage de déclenchement différentiel au premier défaut, on utilise généralement le DDR (Dispositif à courant différentiel résiduel).

III.2.2. Etude d'un défaut d'isolement en régime TN

III.2.2.1. Présentation

Dans ce régime le neutre est mis à la terre et les masses sont reliées au neutre par un conducteur de protection. On distingue les régimes TNC et TNS :

- ✓ Le régime TNS (Conducteur Terre et conducteur Neutre Séparé) est choisi lorsque les conducteurs sont inférieurs à 10mm².
- ✓ Le régime TNC (Conducteur Terre et Neutre Confondus) est choisi lorsque les conducteurs sont supérieurs à 10 mm² en cuivre et 16 mm² en aluminium, lors d'un défaut d'isolement le courant suit le sens de parcours comme l'indique la figure



suivante.

Figure III-6 : Régime TNC, lors d'un défaut d'isolement

III.2.2.2. Courant du défaut

- Dans les deux cas cités ci-dessus le courant de défaut n'est plus limité que par l'impédance des câbles et de la source de tension, ce qui donne un courant de défaut très élevé :

$$I_d = \frac{U_n}{Z_d}$$

Où :

U_n : Tension simple.

I_d : Courant de défaut.

Z_d : Impédance des câbles et de la source, telle que Z_d est la somme de :

- La résistance de défaut d'isolement.
- La résistance du câble du circuit.
- L'impédance de l'enroulement secondaire du transformateur.

III.2.2.3. Dispositifs de sécurité

On utilise généralement :

- Des dispositifs à déclenchement magnétique (contre le courant de court-circuit), tel que le courant de réglage magnétique soit inférieur à :

$$I_d \rightarrow I_{rm} \leq I_d$$

- Des dispositifs à déclenchement thermique (contre les faibles surcharges), tel que le courant de réglage thermique soit inférieur à :

$$I_d \rightarrow I_{rth} \leq I_d$$

III.2.3 Etude d'un défaut d'isolement en régime IT [11]

III.2.3.1. Présentation

Dans ce régime le neutre est isolé, les masses sont reliées à la terre, c'est le cas de certaines installations où l'utilisateur possède son propre transformateur HT/BT, puisque le neutre isolé. Il faut prévoir un appareil de contrôle et d'écoulement de toute sorte de surtension ou de coup de foudre. Ce dispositif est un limiteur de surtension d'impédance Z .

III.2.3.2. Défaut simple

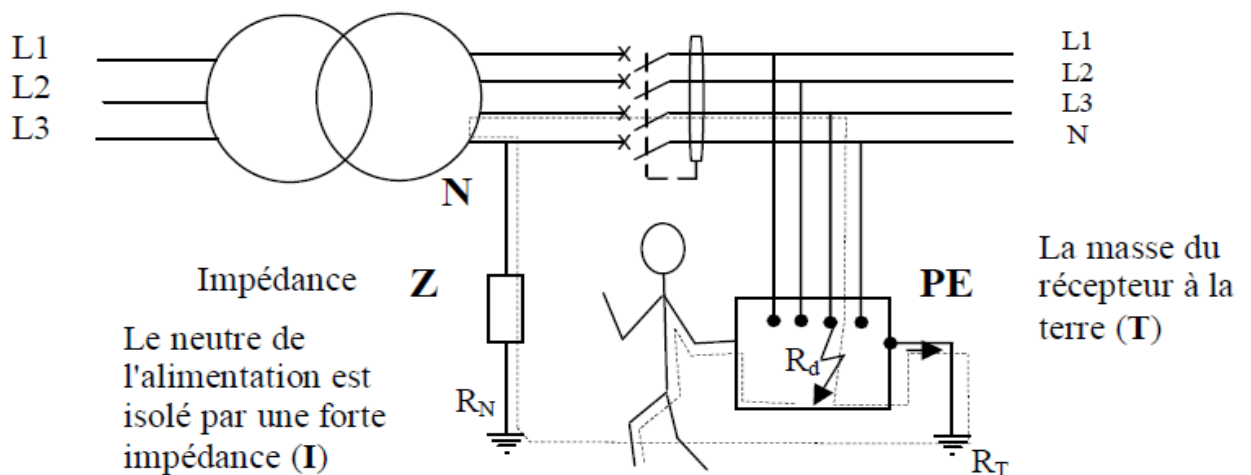


Figure III-7 : Régime IT, lors d'un défaut d'isolement

On constate que le courant de défaut I_d est faible, en effet :

$$I_d = \frac{V_n}{R_d + R_T + R_N + Z_i}$$

R_T : Résistance de prise des masses.

R_N : Résistance de la prise de terre neutre.

R_d : Résistance de défaut (cas le plus défavorable $R_d = 0\Omega$).

Z_i : Impédance d'isolement.

I_d : Courant de défaut.

V_n : Tension de défaut.

Notons que, R_d peut être nulle, R_T est très faible ; $R_N \ll Z_i$, avec Z_i (impédance du câble + impédance de la sortie du transformateur et la capacité de ceux entre phase et terre).

Exemple : Soient :

$V_n = 220 \text{ V}$, $R_d = 0 \Omega$, $R_T = 0 \Omega$, $R_N = 0 \Omega$ et $Z_i = 10 \text{ K}\Omega$.

$$I_d = \frac{V_n}{R_d + R_T + R_N + Z_i} = \frac{220}{10000} = 2,2 \text{ mA et } V_d = I_d R_d$$

Dans ce cas, il se présente un courant de défaut très faible. Ce dernier n'est pas dangereux pour l'utilisateur, mais il faut être vigilant devant un deuxième défaut.

III.2.3.3. Double défaut

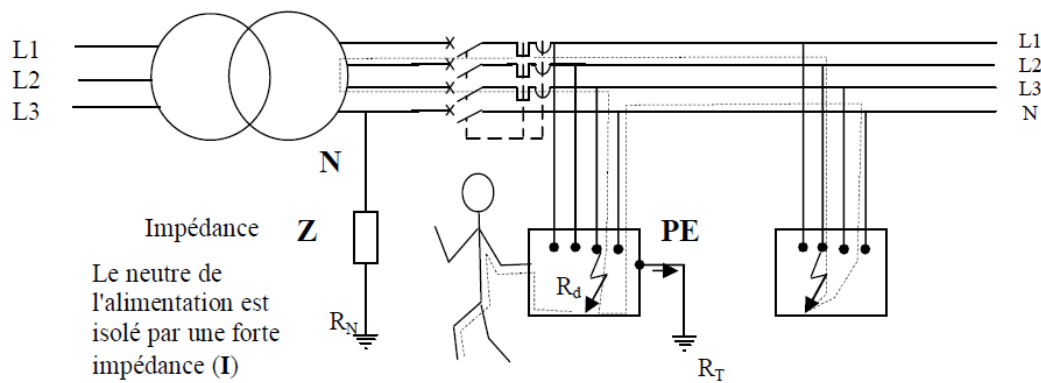


Figure III-8 : Régime IT, lors d'un double défaut d'isolement

Le courant de défaut dans ce cas :
$$I_d = \frac{0,8 U_n}{2Z_L}$$

Z_L : Impédance d'une ligne.

U_n : Tension composée.

I_d : Courant de défaut.

- Notons que, $Z_L = \frac{\rho l}{S}$ où :

ρ : Résistivité du conducteur ;

S : Section du conducteur ;

l : Longueur du conducteur.

Exemple : Soient :

$$U_n = 380 \text{ V}, Z_l = 27 \text{ m}\Omega$$

$$I_d = \frac{0,8 U_n}{2Z_L} = \frac{0,8 * 380}{2 * 0,027} = 5629 \text{ A}$$

III.3. Tableau des tensions et courant autorisées par la norme NFC [11]

Ce tableau récapitule les tensions de défauts tolérées par la norme NFC en fonction des lieux d'application.

Tension limite UL	Alternatif U efficace (V)	Continu	Exemples
U2	50	120	Locaux d'habitation, de bureaux, industriels non mouillés
U3	25	50	Locaux mouillés. Chantiers
U4	12	25	Piscines. Volume enveloppé des salles d'eau

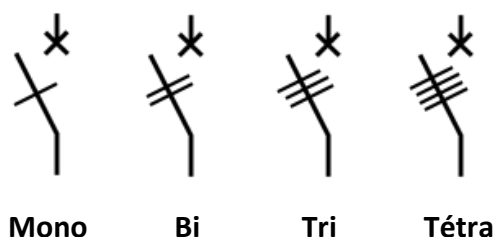
Tableau III-2 : Tableau des tensions limites supérieures (UL)

III.4. Dispositif de protection contre les courants de défauts [12]

Dans les installations électriques, les contacts directs et indirects sont toujours associés à un courant de défaut qui ne revient pas à la source par les conducteurs actifs. Ils représentent un danger pour les personnes et pour les biens.

C'est pourquoi les DDR « Dispositifs Différentiels Résiduels », dont la fonction de base est de détecter les courants différentiels résiduels, sont très utilisés. De plus, les DDR surveillent l'isolement des câbles et des récepteurs électriques. D'où leur emploi fréquent pour signaler une baisse d'isolement, ou réduire les effets destructeurs d'un courant de défaut conséquent.

Symbolisation



Principe de fonctionnement [13]

Le dispositif différentiel comporte un circuit magnétique en forme de tore sur lequel sont bobinés le ou les circuits des phases et du neutre.

En l'absence de fuite ou de courant résiduel de défaut, les flux produits par les bobines s'annulent, il ne se passe rien.

Si un défaut survient, le courant résiduel de défaut produit un déséquilibre des flux dans les bobines et un flux magnétique dans le tore apparaît.

La bobine de mesure est le siège d'une force électromotrice (fem) qui alimente un petit électro-aimant provoquant le déverrouillage du disjoncteur.

Disposition schématique

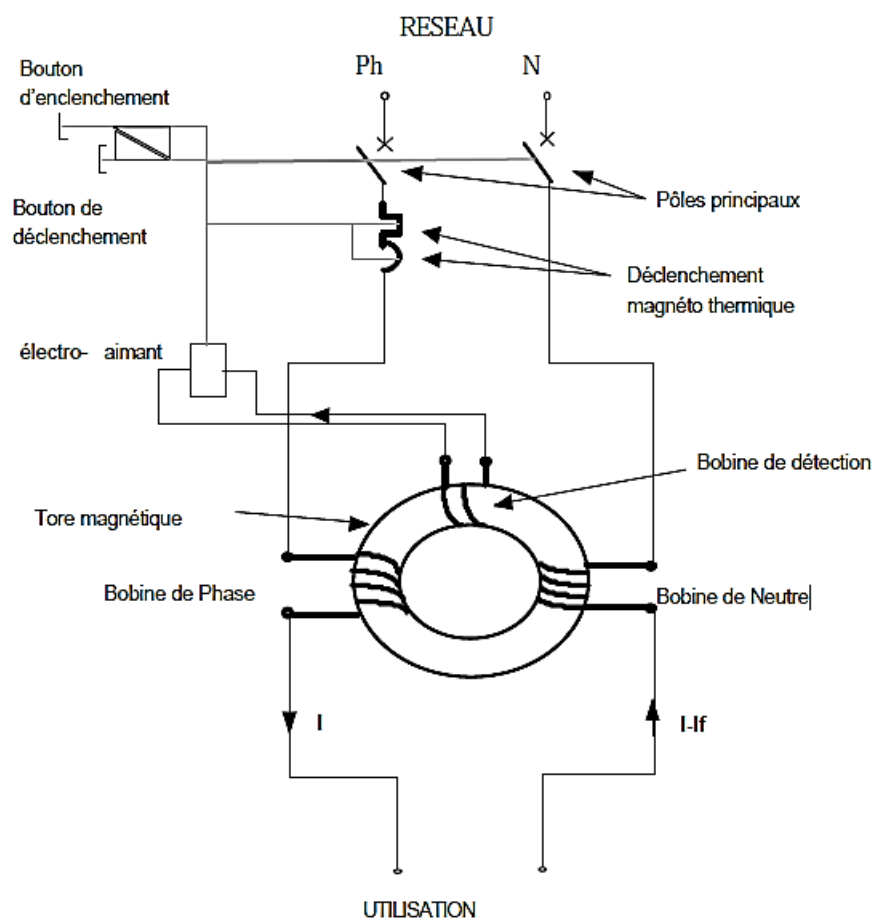


Figure III-9 : Schématisation interne d'un DDR

Le disjoncteur différentiel a pour rôle d'assurer :

- La protection des circuits contre les surintensités dues aux surcharges ou aux courts-circuits.
- La protection des personnes contre les contacts indirects (fuite de courant à la terre).

Le choix d'un dispositif de protection différentiel, s'effectue en fonction des paramètres suivants :

- Fonction assurée (interrupteur, disjoncteur).
- Intensité nominale du circuit à protéger.
- Tension du réseau et nombre de phase.
- Tension limite de sécurité : 12, 25 ou 50 V suivant les locaux.
- Valeur de la résistance de terre des masses métalliques.

A l'aide de ces dernières valeurs, on peut calculer la sensibilité du dispositif différentiel résiduel (DDR), avec la relation :

$$I\Delta_n = \frac{UL}{R_a}$$

$I\Delta_n$: Sensibilité du DDR en mA.

UL : Tension limite de sécurité en volts.

R_a : Résistance de la prise de terre des masses en ohms.

CHAPITRE IV

PROTECTION DES RESEAUX INDUSTRIELS

La fonction d'un réseau de transport d'énergie électrique consiste à assurer le mouvement de l'énergie en la transitant par des lignes HT ou THT entre les différentes sources de production et les postes de distribution. Tandis que la fonction d'un réseau BT consiste à distribuer cette énergie aux clients.

La protection des lignes de transport contre les défauts est faite d'une manière régulière à l'aide d'une chaîne de protection que nous allons présenter. Et dans les mesures d'assurer d'une part la continuité de service d'alimentation en énergie électrique et d'autre part la fonction secours entre les protections, on est amené à associer une sélectivité appropriée. Dans cette première partie, on va étudier les différentes fonctions de protection.

IV.1. Le système de protection [14]

Un système de protection est constitué d'un ensemble de dispositifs destinés à la détection des défauts et des situations anormales des réseaux afin de commander le déclenchement d'un ou de plusieurs éléments de coupures.

Le rôle d'un système de protection peut être assuré :

- Soit directement à partir d'éléments incorporés au dispositif de coupure (par exemple le relais magnétothermique dans les disjoncteurs).
- Soit indirectement à partir d'ensembles extérieurs aux dispositifs de coupures.

IV.1.1. Rôle d'une protection

Lorsqu'un défaut ou une perturbation se produit sur un réseau électrique, il est indispensable de mettre hors tension la partie en défaut à l'aide d'un système de protection. Ce dernier aura pour rôle de limiter les dégâts qui peuvent être causés par le défaut.

IV.1.2. Schéma synoptique d'un système de protection

Quelque soit la technologie, le système de protection est composé de trois parties fondamentales :

- Des capteurs ou réducteurs de mesure qui abaissent les valeurs à surveiller (courant, tension...) à des niveaux utilisables par les protections.

- Des relais de protection.
- Un appareillage de coupure (un ou plusieurs disjoncteurs).

Un exemple d'un système de protection pour une ligne HT est montré sur la Figure IV-1, l'autre extrémité de la ligne possède un système de protection similaire. Dans le cas d'un défaut, les deux relais ont besoin de fonctionner, donc les deux disjoncteurs s'ouvrent et la ligne est mise hors service.

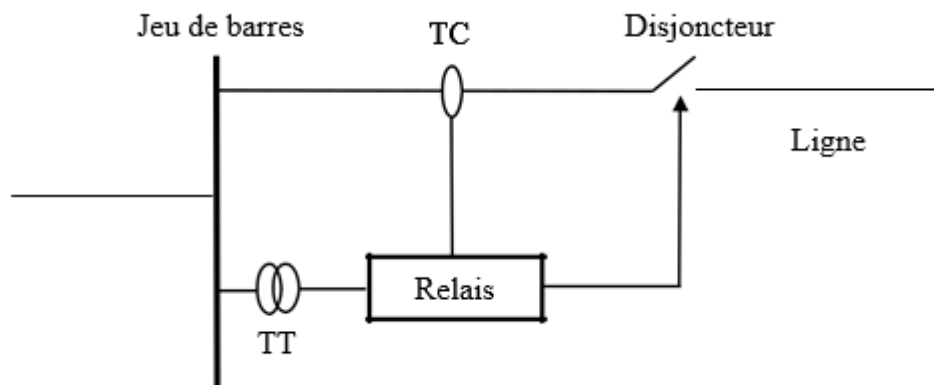


Figure IV-1 : *Eléments constitutifs d'un système de protection.*

Les relais de protection sont connectés aux transformateurs de mesure (TC et TT) pour recevoir des signaux d'entrée et aux disjoncteurs pour délivrer des commandes d'ouverture ou de fermeture. Donc en cas de défaut, la tâche du disjoncteur consiste à éliminer le défaut tandis que la tâche du de relais de protection est de détecter ce défaut en HT, les relais sont situés dans des sous stations. Le temps d'élimination de défauts comprend :

- Le temps de fonctionnement des protections (détection du défaut).
- Le temps d'ouverture des disjoncteurs (élimination du défaut).

IV.1.3. Eléments constitutifs d'un système de protection

IV.1.3.1. Réducteurs de mesure [14]

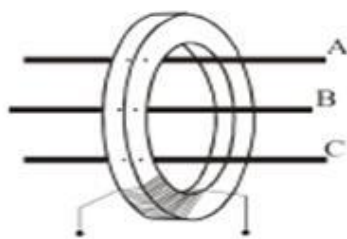
Pour des raisons de dimensionnement et de coût, les relais de protection sont prévus pour des courants et des tensions de valeurs réduites. De plus, pour assurer la sécurité des opérateurs, il faut interposer une séparation galvanique entre le réseau surveillé qui se trouve à tension élevée et le circuit de mesure à tension réduite mis à la terre en un point. On utilise

pour cela des transformateurs de courant (TC) et des transformateurs de tension (TT). Afin d'assurer une bonne protection contre les défauts, la caractéristique essentielle d'un réducteur de mesure est sa précision.

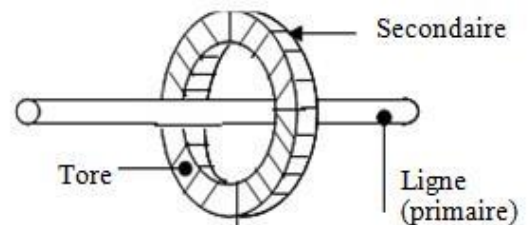
IV.1.3.1.1. Transformateur de courant

Du point de vue électrique, les TC ont plusieurs rôles :

- Délivrer à leur secondaire une image fidèle de l'intensité qui circule dans la ligne concernée.
- Assurer l'isolement galvanique entre la ligne et les circuits de mesure et de protection.
- Protéger les circuits de mesure et de protection de toute détérioration lorsqu'un défaut survient sur la ligne.



Mesure courant homopolaire



Mesure courant phase

Figure IV-2 : Transformateur de courant type tore

Les transformateurs de courant utilisés permettent de réduire le niveau des courant de milliers d'Ampères vers des sorties standards de 5 A ou 1 A. Durant le défaut, le niveau du courant du transformateur augmente qui rend leur choix critique pour un fonctionnement correct du relais.

Avec cette image de l'intensité, le relais élabore à son tour un ordre de déclenchement en fonction du type de protection qu'il réalise et des valeurs auxquelles il a été pré-réglé (seuil, temporisation). Cet ordre est transmis à un ou plusieurs appareils de coupure (disjoncteur, contacteur, interrupteur). Suivant le type de protection à réaliser, les TC sont associés et utilisés selon des schémas différents, ils peuvent être isolés ou intégrés dans le disjoncteur.

IV.1.3.1.2. Transformateur de tension

Le réducteur de tension TT est un véritable transformateur, dont le primaire reçoit la tension du réseau, et le secondaire restitue une tension image (Figure IV.3). Puisque les niveaux de tension dans le réseau sont de l'ordre de kilovolts, les transformateurs de tension sont utilisés pour abaisser les tensions à des niveaux acceptables par les relais.

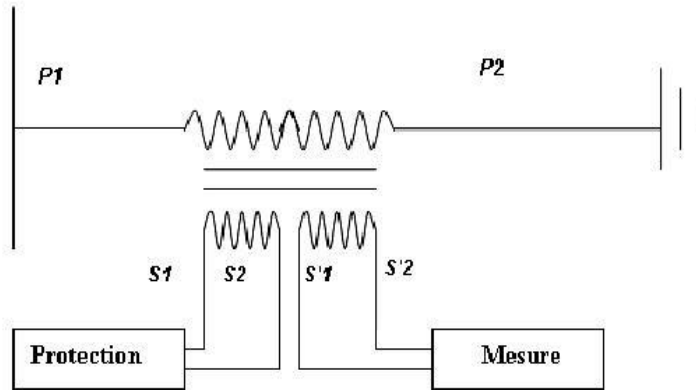


Figure IV-3 : Transformateur de tension à double secondaire.

IV.1.3.2. Relais de protection [14]

Les relais de protection sont des appareils qui reçoivent un ou plusieurs informations à caractère analogique ou numérique (courant, tension, puissance,... etc.) et le transmettent à un ordre de fermeture ou ouverture d'un circuit de commande lorsque ces informations reçues atteignent des valeurs supérieures ou inférieures à certaines limites qui sont fixées d'avance. En effet, le rôle des relais de protection consiste à détecter tout phénomène anormal pouvant se produire sur un réseau électrique tel que les défauts de court-circuit.

Les relais peuvent être classés comme suit :

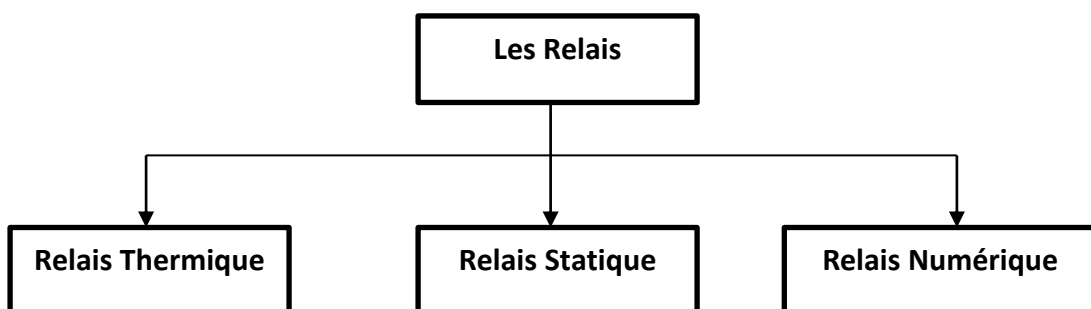


Figure IV-4 : Les relais de protection.

IV.1.3.2.1 Relais statiques [15]

Le relais statique, aussi nommé contacteur statique ou SSR (Solid State Relay) est l'équivalent électronique du contacteur de puissance électromécanique. Le circuit d'entrée est isolé électriquement du circuit de puissance par un opto-coupleur, aussi nommé photocoupleur) composé d'une LED et d'un phototransistor.

Ce composant électronique miniature permet de séparer deux circuits électroniques ou électriques dont les masses ne sont pas au même potentiel. La commande du circuit d'entrée est en général réalisée par des impulsions de basse tension en courant continu. Ce circuit d'entrée commande un circuit de puissance en général constitué de triacs ou thyristors.



Figure IV-5 : Relais statiques

IV.1.3.2.2. Relais numériques [14]

La technologie numérique a fait son apparition au début des années 1980. Avec le développement des microprocesseurs et des mémoires, les puces numériques ont été intégrées aux équipements de protection.

Les protections numériques, sont basées sur le principe de la transformation de variables électriques du réseau, fournies par des transformateurs de mesure, en signaux numériques de faible tension. Ces dispositifs nécessitent une source auxiliaire, offrent un excellent niveau de précision et un haut niveau de sensibilité.



Figure IV-6 : Relais numérique

IV.1.3.2.3. Relais thermique [16]

Les relais thermiques (ou relais de surcharge) sont des dispositifs de protection dont les contacts s'ouvrent ou se ferment lorsque la chaleur créée par le passage d'un courant dépasse une limite prédéterminée. Leur fonctionnement est temporisé car la température ne peut pas suivre instantanément les variations du courant.



Figure IV-7 : Relais thermique

IV.2. Elimination des défauts [17]

IV.2.1 Fusible

Le fusible est un organe de sécurité dont le rôle est d'ouvrir, par fusion, le circuit dans lequel il est inséré et d'interrompre le courant lorsque celui-ci dépasse pendant un temps déterminé une valeur donnée. Son nom découle du fait qu'il fonctionne par fusion d'un filament.

Symbole

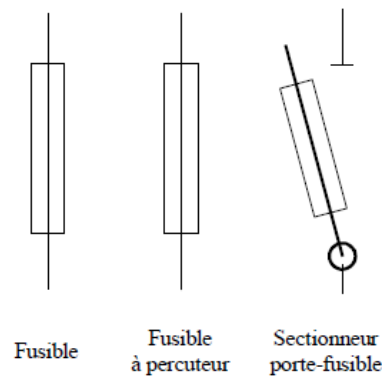


Figure IV-8 : Symbole de fusible

Constitution

Il est constitué de :

- Socle : qui permet le raccordement à l'installation.
- Un port fusible : support de l'élément de remplacement.
- Une cartouche fusible cylindrique (utilisée dans le domaine domestique ou industriel) ou à couteaux (utilisée dans le domaine industriel seulement).

Fonctionnement

Le courant circule dans le circuit traverse entièrement le fusible. Lorsque le courant dépasse le calibre (valeur spécifiée pendant un temps précis). La partie conductrice du fusible fond et ouvre le circuit.

IV.2.1.1. Différentes classes de fusibles

Il existe trois types de fusible :

- 1- Fusible à usage générale (fusible gG) offrant une protection contre les surcharges et les courts-circuits.
- 2- Fusible accompagnement moteur (aM) : il est utilisé pour la protection contre les courts-circuits uniquement.
- 3- Fusible à fusion ultra rapide : utilisé pour la protection des semi-conducteurs.



Fusible ultra rapide

Fusible gM

Fusible aM

Figure IV-9 : Différentes classes de fusibles

IV.2.1.2. Caractéristiques des fusibles [17]

Les caractéristiques des fusibles sont :

- Tension nominale (U_n) : 250, 400, 500, 660 V.
- Courant nominale (I_n) : C'est le calibre du fusible ou de la cartouche de remplacement.
- Courant de non fusion (I_{nf}) : C'est la valeur du courant qui peut être supportée par l'élément fusible pendant un temps conventionnel sans fondre.
- Courant de fusion (I_f) : C'est la valeur du courant qui provoque la fusion.
- Durée de coupure : C'est le temps qui s'écoule entre le moment où commence à circuler un courant suffisant pour provoquer la fin de fusion.

- Pouvoir de coupure P_{dc} : C'est l'intensité maximale du courant de court-circuit que puisse interrompre le dispositif de protection sans se détériorer et sans mettre en danger l'entourage.
- Courbe de fonctionnement d'un fusible : On exprime le temps de fusion en fonction de l'intensité, ce qui se traduit par la courbe suivante :

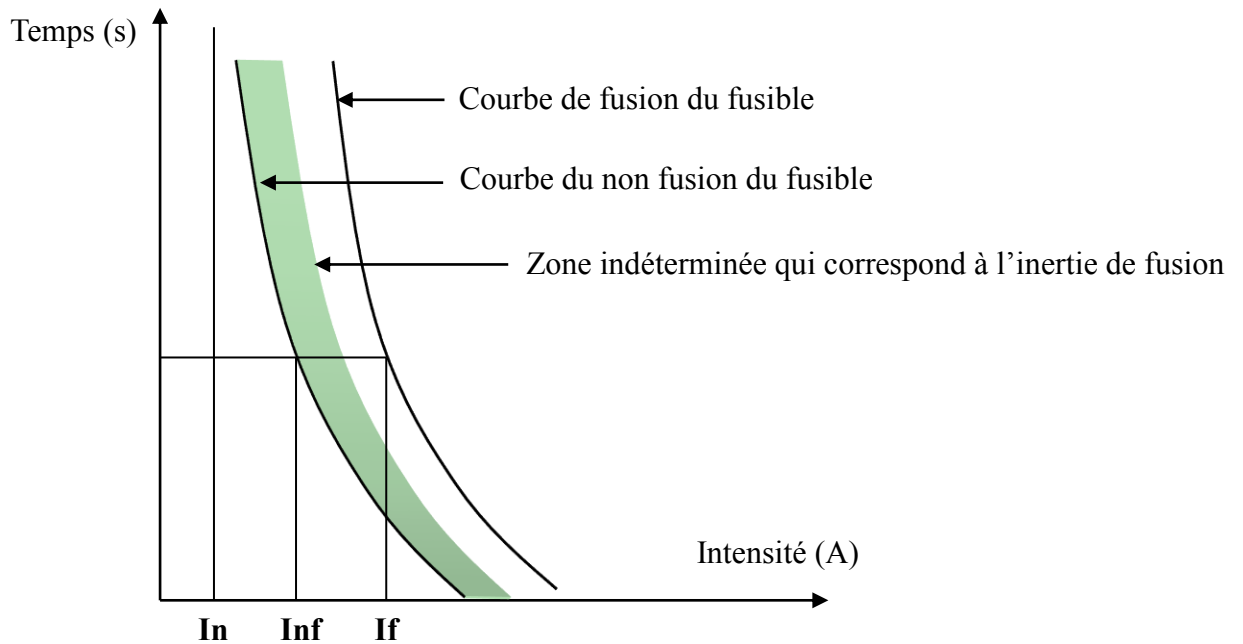


Figure IV-10 : Courbe de fusion d'un fusible

IV.2.1.3. Choix des fusibles

Le choix d'un fusible est déterminé selon plusieurs paramètres :

- **L'emploi** : On détermine la classe du fusible gG ou Am.
- **Le calibre du fusible I_n** : Déterminé à partir du courant d'emploi de la partie protégée (I_b).

IV.2.2. Disjoncteur [14]

Un disjoncteur est destiné à établir, supporter et interrompre des courants, sous sa tension assignée dans les conditions normales et anormales du réseau. Il est très généralement associé à un système de protection (relais), qui détecte le défaut et envoie des ordres au disjoncteur

pour éliminer automatiquement le défaut ou pour remettre en service un circuit lorsque le défaut a été éliminé.

Sa fonction principale est d'interrompre le flux de courant détecté lors d'un défaut. Le principe de base de tous les disjoncteurs est d'essayer de détecter le passage du courant par la valeur zéro et d'interrompre le flux de courant à ce moment.

IV.2.2.1 Classification des disjoncteurs [18]

Les disjoncteurs sont classés suivant le mode d'extinction de l'arc électrique qui s'établit lors de leur fonctionnement :

- **Disjoncteur à l'huile**

Dans ces disjoncteurs, le contact mobile et le contact fixe sont séparés par un milieu diélectrique qui est l'huile. Au cours d'un défaut, le disjoncteur se déclenche, un arc électrique s'établit entre les deux contacts et l'huile sous l'effet de la température se décompose créant des gaz qui montent en pression et augmentent la résistance.



Figure IV-11 : Disjoncteur à l'huile

- **Disjoncteur pneumatique**

Dans ce type de disjoncteur, l'extinction de l'arc s'effectue par un très puissant jet d'air comprimé. L'écoulement de ce dernier provoque le refroidissement de l'arc ainsi que son extinction.



Figure IV-12 : Disjoncteur pneumatique

- **Disjoncteur a hexafluorure de soufre SF6**

Ces disjoncteurs ont le même principe que les disjoncteurs à air comprimé à la seule différence que pour ces disjoncteurs, on utilise hexafluorure de soufre pour l'extinction de l'arc.



Figure IV-13 : Disjoncteur a hexafluorure de soufre SF6

IV.2.2.2 Différents types des disjoncteurs [18]

Les disjoncteurs fonctionnent suivant différentes techniques :

➤ **Thermique**

Le disjoncteur est muni d'un bilame. Le passage du courant engendre un effet joule sur les files des spires qui entraîne l'échauffement de ce bilame. A une certaine température, ce dernier se déforme et à l'aide du contact électrique associé, le circuit de commande se déclenche, ouvrant le contact et interrompant le contact.

Les disjoncteurs thermiques sont assez simples et robustes. Par contre, ils ne sont pas très précis et leurs temps de réaction sont relativement longs.

Ce type de disjoncteur est utilisé pour la protection des conducteurs contre les échauffements dus aux surcharges.



Figure IV-14 : Disjoncteur thermique

➤ **Magnétique**

Le court-circuit provoque une brusque augmentation du courant, cette forte variation en passant à travers la bobine engendre un fort champ magnétique et ce dernier va faire ouvrir le circuit. Les disjoncteurs magnétiques, assurent la protection des circuits électriques contre ces courts - circuits.

Pour des courants de court-circuit peu élevés, ils réagissent plus rapidement que les fusibles selon le disjoncteur choisi, le seuil de déclenchement peut être réglé par l'utilisateur.



Figure IV-15 : Disjoncteur magnétique

➤ **Magnétothermique**

Ce type de disjoncteur rassemble les deux techniques décrites précédemment et cela est considéré comme un avantage car il permet de contrôler plusieurs paramètres à la fois :

- Surcharge.
- Court-circuit.



Figure IV-16 : Disjoncteur magnétothermique

IV.3 Qualités principales d'un système de protection [14]

IV.3.1. Rapidité

Les court-circuits sont donc des incidents qu'il faut éliminer le plus vite possible, c'est le rôle des protections dont la rapidité de fonctionnement est prioritaire. Le temps d'élimination des court-circuits comprend deux composantes principales :

- Le temps de fonctionnement des protections (quelques dizaines de milli secondes).
- Le temps d'ouverture des disjoncteurs, avec les disjoncteurs modernes (SF6 ou à vide), ces derniers sont compris entre 1 et 3 périodes.

IV.3.2. Sélectivité

La sélectivité est une capacité d'un ensemble de protections à faire la distinction entre les conditions pour lesquelles une protection doit fonctionner de celles où elle ne doit pas fonctionner. Les différents moyens qui peuvent être mis en œuvre pour assurer une bonne sélectivité dans la protection d'un réseau électrique, les plus importants sont les trois types suivants :

- Sélectivité ampèremétrique par les courants.
- Sélectivité chronométrique par le temps.
- Sélectivité logique.

IV.3.2.1. Sélectivité ampèremétrique [2]

Une protection ampèremétrique est disposée au départ de chaque tronçon : son seuil est réglé à une valeur inférieure à la valeur de défaut minimal provoqué par un court-circuit sur la section surveillée, et supérieure à la valeur maximale du courant provoqué par un court-circuit situé en aval (au-delà de la zone surveillée).

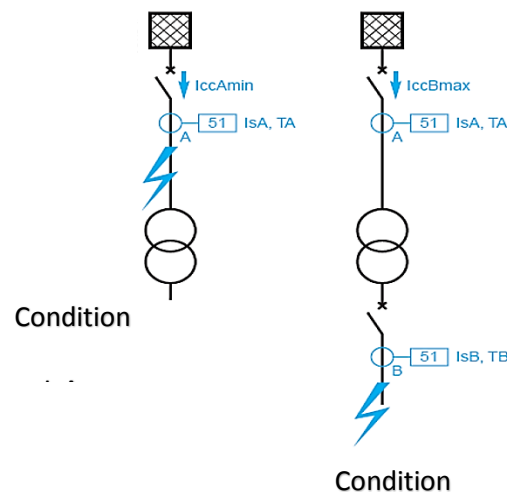


Figure IV-17 : Fonctionnement d'une sélectivité ampèremétrique.

Ainsi réglée, chaque protection ne fonctionne que pour les court-circuits situés immédiatement en aval de sa position, à l'intérieur de la zone surveillée, elle est insensible aux court-circuits apparaissant au-delà.

IV.3.2.2. Sélectivité chronométrique

Sélectivité dans laquelle les protections sollicitées sont organisées pour fonctionner de manière décalée dans le temps. La protection la plus proche de la source a la temporisation la plus longue.

Ainsi, sur le schéma (Figure IV-18), le court-circuit représenté est vu par toutes les protections (en A, B, C). La protection temporisée C ferme ses contacts plus rapidement que celle installée en B, elle-même plus rapide que celle installée en A.

Après l'ouverture du disjoncteur C et la disparition du courant de court-circuit, les protections A, B, qui ne sont plus sollicitées, reviennent à leur position de veille.

La différence des temps de fonctionnement entre deux protections successives est l'intervalle de sélectivité.

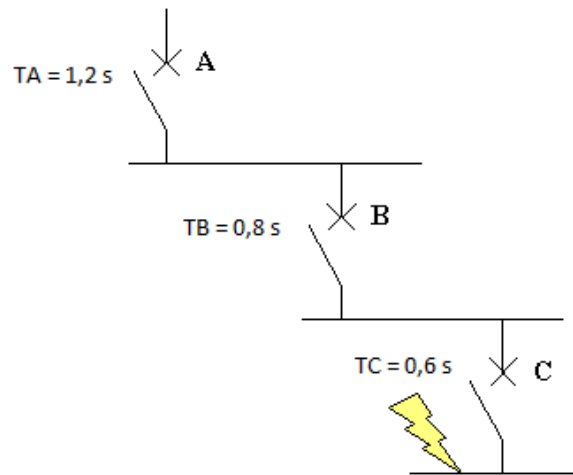


Figure IV-18 : Principe de la sélectivité chronométrique.

IV.3.2.3. Sélectivité logique [19]

Elle nécessite un transfert d'informations entre les déclencheurs des disjoncteurs des différents étages de la distribution.

Un déclencheur qui voit un courant supérieur à son seuil de fonctionnement envoie un ordre logique de temporisation au déclencheur du disjoncteur qui est juste en amont. La temporisation sera celle affichée sur le déclencheur.

Le déclencheur du disjoncteur situé immédiatement en amont du court-circuit ne recevant pas d'ordre d'attente agit immédiatement, quelle que soit sa temporisation affichée.

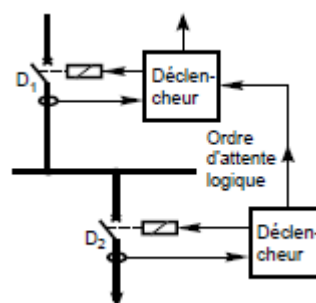


Figure IV-19 : Principe de la sélectivité logique.

IV.3.3. Sensibilité [2]

La protection doit fonctionner dans un domaine très étendu de courants de courts-circuits entre :

- Le courant maximal qui est fixé par le dimensionnement des installations et est donc parfaitement connu.
- Un courant minimal dont la valeur est très difficile à apprécier et qui correspond à un court-circuit se produisant dans des conditions souvent exceptionnelles.

La notion de sensibilité d'une protection est fréquemment utilisée en référence au courant de court-circuit le plus faible pour lequel la protection est capable de fonctionner.

IV.3.4. Fiabilité

Les définitions et les termes proposés ici, sont dans la pratique, largement utilisés au plan international. Une protection a un fonctionnement correct lorsqu'elle émet une réponse à un court-circuit sur le réseau en tout point conforme à ce qui est attendu. A l'inverse, pour un fonctionnement incorrect, elle comporte deux aspects :

- Le défaut de fonctionnement ou non-fonctionnement lorsqu'une protection, qui aurait dû fonctionner, n'a pas fonctionné.
- Le fonctionnement intempestif, qui est un fonctionnement non justifié, soit en l'absence de défaut, soit en présence d'un défaut pour laquelle la protection n'aurait pas dû fonctionner.

La fiabilité d'une protection, qui est la probabilité de ne pas avoir de fonctionnement incorrect (éviter les déclenchements intempestifs), est la combinaison de :

- ✓ **La sûreté** : Qui est la probabilité de ne pas avoir de défaut de fonctionnement.
- ✓ **La sécurité** : Qui est la probabilité de ne pas avoir de fonctionnement intempestif.

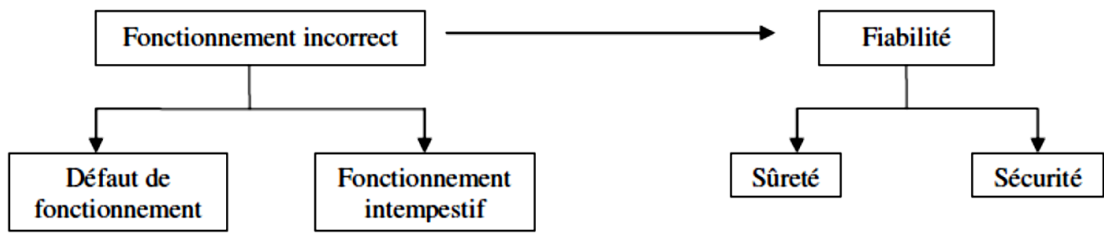
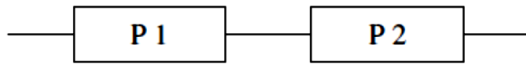


Figure IV-20 : Fiabilité d'une protection.

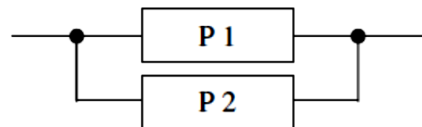
On peut améliorer la fiabilité en associant plusieurs protections, mais comme on peut le voir sur la figure IV-21, sûreté et sécurité sont deux exigences contradictoires.

Association en série



Sécurité augmente, Sûreté moindre.

Association en parallèle



Sécurité moindre, Sûreté augmente.

Figure IV-21 : Association de protection.

IV.4. Chaîne générale d'un système de protection [2]

C'est le choix des éléments de protection et de la structure globale de l'ensemble, de façon cohérente et adaptée au réseau (Fig. IV-22). Le système de protection se compose d'une chaîne constituée des éléments suivants :

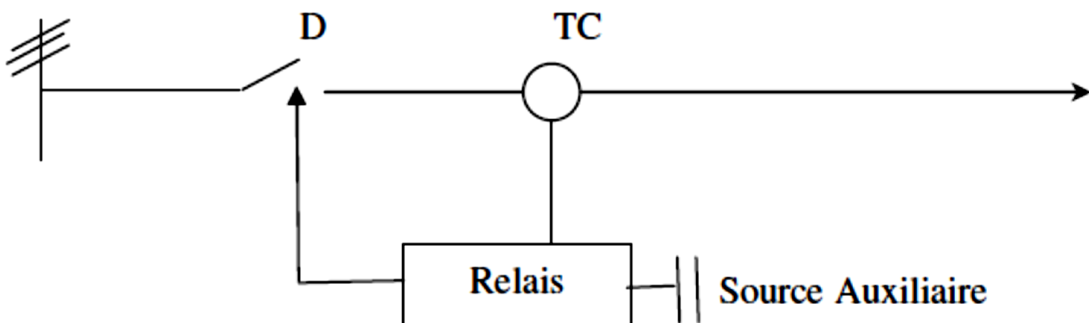


Figure IV-22 : Chaîne principale de la protection électrique.

IV.5. Contraintes liées à la protection [14]

Les protections électriques ne doivent pas apporter de limitation au fonctionnement normal des réseaux électriques, en particulier :

- ✓ Elles ne doivent pas limiter la souplesse d'utilisation du réseau protégé en interdisant certains schémas d'exploitation : réseaux bouclés, ... etc.
- ✓ Elles doivent rester stables en présence de phénomène autre que les défauts : lors de manœuvres d'exploitation, pendant les régimes transitoires consécutifs à la mise sous tension ou hors tension à vide des transformateurs. Egalement, lors de variations admissibles de la tension et des fréquences et en présence de surcharges et de déséquilibres entrant dans la marge de fonctionnement des réseaux électriques. Elle doit être aussi insensible aux oscillations résultant du régime transitoire des alternateurs.

CHAPITRE V

SIMULATION AVEC ECODIAL

L'objet de ce chapitre consiste en première partie à la présentation du logiciel de simulation Ecodial, puis dans la deuxième partie nous présentons une application sur un réseau industriel.

V.1. Présentation du logiciel

Ecodial est un logiciel d'aide à la conception de réseaux électriques de distribution basse tension développé par Schneider électrique, incluant un éditeur de schéma utilisant des composants normalisés et des fonctions de calcul conformes aux normes électrotechniques NF-C 15 100 et UTE-C 15 500.

Ecodial offre plusieurs fonctions 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 plusieurs formats. Les fichiers exportés peuvent être utilisés dans d'autres applications telles que des traitements de textes ou des logiciels de dessin.

Ecodial permet de déterminer tous les cas d'extension, modification et mise en conformité des installations électriques. Utilisé par les organismes de contrôle, il est particulièrement adapté pour des simulations multiples.

Ecodial peut être utilisé pour concevoir des réseaux de distribution dont les caractéristiques générales sont les suivantes :

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

L'étude d'une installation électrique se fait méthodiquement en respectant les étapes suivantes :

- Détermination des calibres In des déclencheurs des disjoncteurs.
- Détermination des sections de 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.

Pour mieux comprendre le fonctionnement de ce logiciel on se propose d'étudier l'installation suivante en régime de neutre TN. Tous les câbles sont en cuivre et la température ambiante est de 30 °C. Les résultats de simulations sont illustrés dans des tableaux ci-dessous.

V.2. Données de l'installation

- **Les câbles :**

Longueur (m)	Repère câble	Mode de pose
5	C1	Câble en cuivre monoconducteur PVC sur chemin de câbles
20	C2	Câble en cuivre multiconducteur PVC sur chemin de câbles
5	C3	Câble en cuivre monoconducteur PVC sur chemin de câbles
5	C4	
5	C5	Câble en cuivre multiconducteur PR sur chemin de câbles
5	C6	Câble en cuivre monoconducteur PVC sur chemin de câbles
5	C7	
5	C8	
5	C9	
5	C10	

Tableau V.1 : Caractéristiques des câbles utilisés

- **Source** : Deux sources de 630 kVA, 50 Hz.
- **Générateur de secours** : Deux sources de 250 kVA ,50 Hz.
- **Transformateur T1** : Deux transformateurs MT/BT (20 kV/400 V).
- **Transformateur T2** : Deux transformateurs BT/BT (400 V/400 V) avec une puissance de 125 KVA.
- **Les Charges** : L'installation comporte 5 charges et une compensation.

La figure ci-dessous représente le schéma de principe de l'installation.

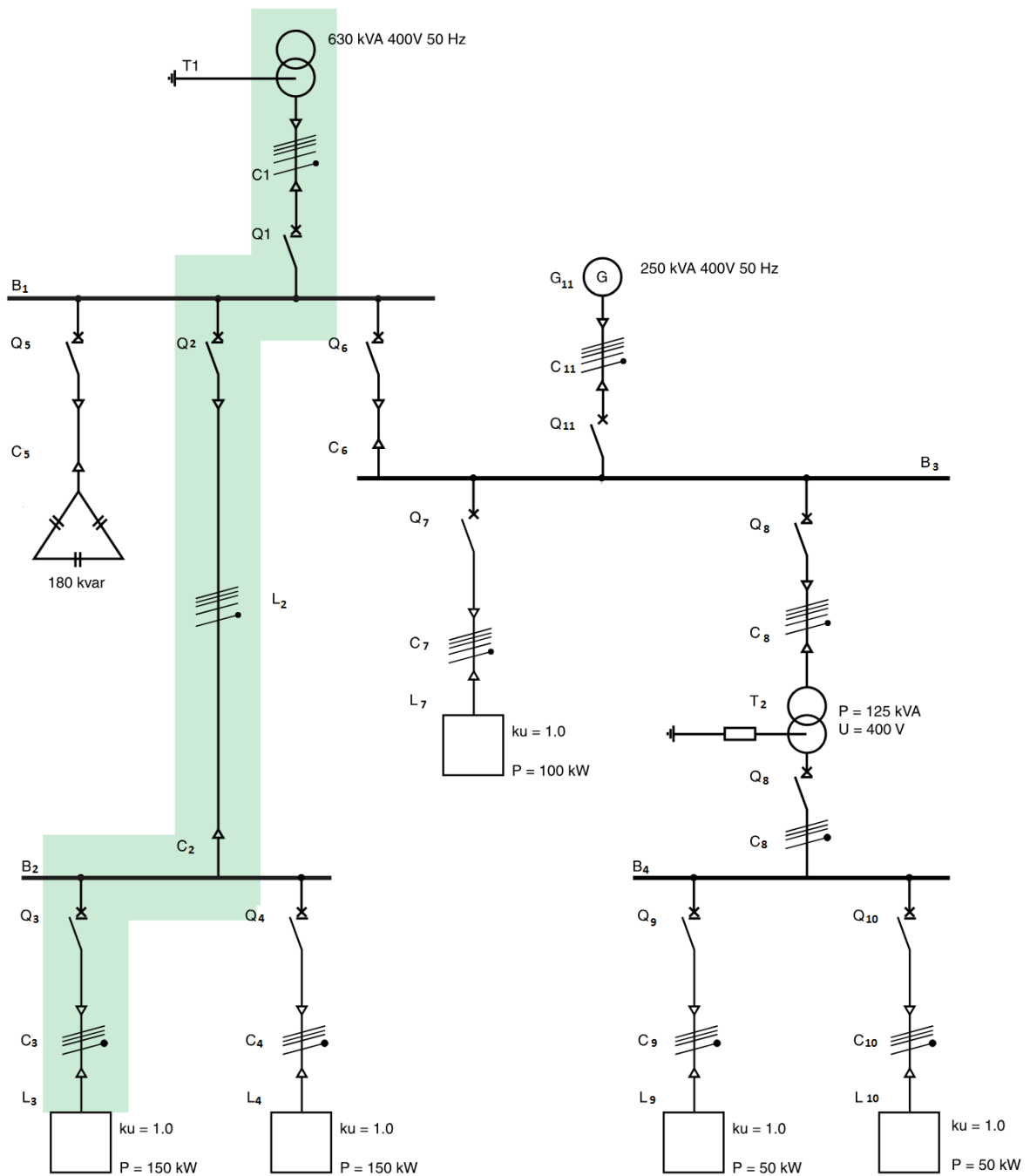


Figure V.1 : Schéma unifilaire de l'installation [5]

V.3. Résultats de simulation

Les résultats de simulation sont illustrés comme suit :

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

Nom	Type de norme	Gamme	Disjoncteur	Calibre (A)	Pdc (kA)	Pôles	Déclencheur / courbe	Calibre déclencheur (A)	Long retard (A)	Court retard (A)	Débrochabilité	Motorisation
Q1	Industriel	Masterpact MTZ1	MTZ1 10H1	1000	42	4P3d	Micrologic 5.0 X	1000	920	9200	Possible	Possible
Q5	Industriel	Compact NSX	NSX400N	400	50	3P3d	Micrologic 2.3	400	400	4000	Possible	Possible
Q2	Industriel	Compact NSX	NSX630N	630	50	4P3d	Micrologic 2.3	630	513	5130	Possible	Possible
Q3	Industriel	Compact NSX	NSX400N	400	50	4P3d	Micrologic 2.3	400	258	2576	Possible	Possible
Q4	Industriel	Compact NSX	NSX400N	400	50	4P3d	Micrologic 2.3	400	258	2576	Possible	Possible
Q6	Industriel	Compact NSX	NSX400N	400	50	4P3d	Micrologic 2.3	400	353	3528	Possible	Possible
Q7	Industriel	Compact NSX	NSX250F	250	36	4P3d	Micrologic 2.2	250	172	1715	Possible	Possible
Q8	Industriel	Compact NSX	NSX250F	250	36	3P3d	Micrologic 2.2	250	184	1840	Possible	Possible
Q8'	Industriel	Compact NSX	NSX250F	250	36	4P4d	Micrologic 2.2	250	184	920	Possible	Possible
Q9	Industriel	Acti9 C120	C120N	100	10	4P4d	C	100	100	N/A	Impossible	Impossible
Q10	Industriel	Acti9 C120	C120N	100	10	4P4d	C	100	100	N/A	Impossible	Impossible

Tableau V.2 : Caractéristiques des disjoncteurs utilisés dans l’installation

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

Nom	Gamme	SrT (kVA)	UkrT (%)	PkrT (kW)	UrT20 (V)	UiT0 (kV)	Ir (A)
T1	Trihal	630	4	6,7	400	24	909

Tableau V.3 : Caractéristique du transformateur MT/BT

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

Nom	SrT (kVA)	UkrT (%)	PkrT (kW)	UrT20 (V)	UiT0 (V)
T2	125	4,7	3,77	420	1000

Tableau V.4 : Caractéristique du transformateur BT/BT

- **Câble BT** : Le tableau suivant récapitule les caractéristiques des câbles BT de l'installation et le nombre de conducteurs par phase ainsi la section du conducteur de (phase/protection et neutre), et les valeurs des courants maximale accessible dans chaque canalisation.

Nom	Tenant	Aboutissant	Nb par phase	Section phase (mm ²)	Nb neutre	Section du neutre (mm ²)	Nombre PE	Section PE (mm ²)	Nb PEN	Section PEN (mm ²)	Iz (A)
C1	Q1	T1	3	185	3	185	1	95	N/A	N/A	392
C5	Charge 6	Q5	1	185	N/A	N/A	1	185	N/A	N/A	450
C2	WC 5	Q2	2	150	2	150	2	150	N/A	N/A	319
C3	Charge 1	Q3	1	95	1	95	1	50	N/A	N/A	258
C4	Charge 2	Q4	1	95	1	95	1	50	N/A	N/A	258
C6	WC 10	Q6	1	185	1	185	1	95	N/A	N/A	392
C7	Charge 5	Q7	1	70	1	70	1	50	N/A	N/A	213
C8	T2	Q8	1	70	N/A	N/A	1	35	N/A	N/A	213
C9	Charge 3	Q9	1	25	1	25	1	16	N/A	N/A	101
C10	Charge 4	Q10	1	25	1	25	1	16	N/A	N/A	112

Tableau V.5 : Caractéristique des câbles BT

Après avoir simulé l'exemple étudié nous avons exportés les calculs détaillés effectués par le logiciel Ecodial incluant (les facteurs de correction, sections des conducteur, les courant admissibles, les disjoncteurs utilisés...etc) pour toute l'installation et ces résultats sont donnés comme suit :

➤ **Pour le circuit C1**

Arrivée HT	W 0
Puissance de court-circuit Max.	500 MVA
Puissance de court-circuit Min.	250 MVA
MV Câble	MVWD 0
Parameters	
Longueur	5 m
Type de câble	Mono-conducteur
Ib	18 A
Nb de conducteurs par phase	1
Cross zone de section	1 x 120 Cu mm ²
Noyau	Cuivre
Court-circuit avec la dent	16,7 kA
Tension assignée	20 kV
Tension d'isolement	24 kV
Transformateur HT/BT	T1
Gamme	Trihal
Technologie	Sec
SrT	630 kVA
UkrT	4 %
Type de pertes	AoAk
PkrT	6,7 kW
Schéma de liaison à la terre (BT)	TN-S
Couplage HT	WC
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
Information de dimensionnement	UkrT et PkrT issus de la base de données
Câble	C1
Paramètres	
Longueur	5 m
Longueur maximum	NA
Mode de pose	13
	F
	Câbles monoconducteurs sur des chemins de câbles ou tablettes perforés,
Type de câble	Monoconducteur
Nb de circuits jointifs supplémentaires	0
Isolant	PVC
Température ambiante	30 °C
THDI de rang 3 dans le neutre	0 %
Ib	909 A
Contrainte de dimensionnement	Iz
Information de dimensionnement	Dimensionné avec Ir
Facteurs de correction	
Facteur de mode de pose	1
Tableau de référence normatif	52G
Facteur de température	1
Tableau de référence normatif	52K
Facteur de résistivité thermique du sol	1
Tableau de référence normatif	52M
Facteur de neutre chargé	1
Tableau de référence normatif	D-52-1
Facteur de groupement	0,82
Tableau de référence normatif	52N4, 52O
Facteur de symétrie	1
Facteur de coefficient fusible	1
Facteur de correction	1
Facteur global	0,82

Phase choisie								
Section	3x185 mm ²							
Ame	Cuivre							
Iz	964 A							
Neutre choisi								
Section	3x185 mm ²							
Ame	Cuivre							
Iz	964 A							
PE choisi								
Section	1x 95 mm ²							
Ame	Cuivre							
Courants de court-circuit								
Ik3mx	Ik2mx	Ik1mx	Ik2min	Ik1min	Iefmin	Ief2min	Iefmx	
(k)	20,69	17,92	20,39	15,72	17,87	18,15	0,00	20,06
Résultats de calculs sur base du rapport technique Cenelec TR50480 (IEC 60364 / HD384) et conforme aux dispositions du RGIE.Hypothèse et choix appareillage sous la responsabilité de l'utilisateur.								
Disjoncteur		Q1						
Ib	909 A							
Informations de dimensionnement		Dimensionné par le système						
Gamme		Masterpact MTZ1						
Désignation		MTZ1 10H1						
Calibre disjoncteur		1000 A						
Pouvoir de coupure		42 kA						
Pouvoir de coupure unipolaire IT		NA						
Pouvoir de coupure renforcé		NA						
Pôles & pôles protégés		4P3d						
Déclencheur		Micrologic 5.0 X						
Calibre déclencheur		1000 A						
Réglages long retard								
Ir	920 (Réglage: 0,92) A							
Tr	24 s							
Réglages court retard								
Tsd	0,4 s							
Réglages instantané								
Ii	15000 (Réglage:15A)							
Courants d'emploi								
	IL1	IL2	IL3	IN				
Mode d'exploitation Normal								
(A)	859,658	859,658	859,658	0				
Synthèse pour tous les modes d'exploitation								
(A)	859,658	859,658	859,658	0				
Chutes de tension								
Mode d'exploitation Normal								
□U3L (%)	0,095							0,095
□UL1L2 (%)	0,109							0,109
□UL2L3 (%)	0,109							0,109
□UL3L1 (%)	0,109							0,109
□UL1N (%)	0,095							0,095
□UL2N (%)	0,095							0,095
□UL3N (%)	0,095							0,095

➤ **Pour le circuit C2**

Disjoncteur	Q2
Ib	509 A
Informations de dimensionnement	Dimensionné par le système
Gamme	Compact NSX
Désignation	NSX630N
Calibre disjoncteur	630 A
Pouvoir de coupure	50 kA
Pouvoir de coupure unipolaire IT	NA
Pouvoir de coupure renforcé	NA
Pôles & pôles protégés	4P3d
Déclencheur	Micrologic 2.3
Calibre déclencheur	630 A

Réglages long retard	
Ir	513 A
Tr	16 s

Réglages court retard	
I _{sd}	
T _{sd}	0,02 s

Réglages instantané	
Ii	6900 A

Câble	C2
Paramètres	
Longueur	20 m
Longueur maximum	NA
Mode de pose	13 E Câbles multiconducteurs sur des chemins de câbles ou tablettes perforés, en parcours horizontal
Type de câble	Multiconducteur
Nb de circuits jointifs supplémentaires	0
Isolant	PVC
Température ambiante	30 °C
THDI de rang 3 dans le neutre	0 %
Ib	509 A
Contrainte de dimensionnement	Iz
Information de dimensionnement	Dimensionné avec Ir

Facteurs de correction	
Facteur de mode de pose	1
Tableau de référence normatif	52G
Facteur de température	1
Tableau de référence normatif	52K
Facteur de résistivité thermique du sol	1
Tableau de référence normatif	52M
Facteur de neutre chargé	1
Tableau de référence normatif	D-52-1
Facteur de groupement	0,88
Tableau de référence normatif	52N4, 52O
Facteur de symétrie	1
Facteur de coefficient fusible	1
Facteur de correction	1
Facteur global	0,88

Phase choisie	
Section	2x150 mm ²
Ame	Cuivre
Iz	561 A

Neutre choisi	
Section	2x150 mm ²
Ame	Cuivre
Iz	561 A

PE choisi	
Section	2x150 mm ²
Ame	Cuivre

Courants de court-circuit	
Ik3max Ik2max Ik1max Ik2min Ik1min Iefmin Ief2min Iefmax	

Mode d'exploitation Normal	
(kA) 18,85 16,33 17,01 14,28 14,80 15,01 0,00 16,59	

Résultats de calculs sur base du rapport technique Cenelec TR50480 (IEC 60364 / HD384) et conforme aux dispositions du RGIE.

Hypothèse et choix appareillage sous la responsabilité de l'utilisateur.

Courants d'emploi	
IL1 IL2 IL3 IN	

Mode d'exploitation Normal	
(A) 509,427 509,427 509,427 0	

Synthèse pour tous les modes d'exploitation	
(A) 509,427 509,427 509,427 0	

Chutes de tension	
Cumulées depuis l'amont	Circuit

Mode d'exploitation Normal		
ΔU _{3L} (%)	0,465	0,371
ΔU _{L1L2} (%)	0,537	0,428
ΔU _{L2L3} (%)	0,537	0,428
ΔU _{L3L1} (%)	0,537	0,428
ΔU _{L1N} (%)	0,465	0,371
ΔU _{L2N} (%)	0,465	0,371
ΔU _{L3N} (%)	0,465	0,371

➤ **Pour le circuit C3**

Disjoncteur	Q3
Ib	255 A
Informations de dimensionnement	Dimensionné par le système
Gamme	Compact NSX
Désignation	NSX400N
Calibre disjoncteur	400 A
Pouvoir de coupure	50 kA
Pouvoir de coupure unipolaire IT	NA
Pouvoir de coupure renforcé	NA
Pôles & pôles protégés	4P3d
Déclencheur	Micrologic 2.3
Calibre déclencheur	400 A
Réglages long retard	
Ir	258 A
Tr	16 s
Réglages court retard	
Isd	
Tsd	0,02 s
Réglages instantané	
Ii	4800 A
Câble	C3
Paramètres	
Longueur	5 m
Longueur maximum	100 m
Mode de pose	13 F Câbles monoconducteurs sur des chemins de câbles ou tablettes perforés
Type de câble	
Nb de circuits jointifs supplémentaires	0
Isolant	PVC
Température ambiante	30 °C
THDI de rang 3 dans le neutre	0 %
Ib	255 A
Contrainte de dimensionnement	Iz
Information de dimensionnement	Dimensionné avec Ir
Facteurs de correction	
Facteur de mode de pose	1
Tableau de référence normatif	52G
Facteur de température	1
Tableau de référence normatif	52K
Facteur de résistivité thermique du sol	1
Tableau de référence normatif	52M
Facteur de neutre chargé	1
Tableau de référence normatif	D-52-1
Facteur de groupement	1
Tableau de référence normatif	52N4, 52O
Facteur de symétrie	1
Facteur de coefficient fusible	1
Facteur de correction	1
Facteur global	1
Phase choisie	
Section	1x95 mm ²
Ame	Cuivre
Iz	258 A
Neutre choisi	
Section	1x95 mm ²
Ame	Cuivre
Iz	258 A
PE choisi	
Section	1x50 mm ²
Ame	Cuivre

Courants de court-circuit								
	Ik3max	Ik2max	Ik1max	Ik2min	Ik1min	Iefmin	Ief2min	Iefmax

Mode d'exploitation Normal
(kA) 17,84 15,45 15,30 13,45 13,18 12,90 0,00 14,26

Synthèse pour tous les modes d'exploitation
(kA) 17,84 15,45 15,30 13,45 13,18 12,90 0,00 14,26

Résultats de calculs sur base du rapport technique Cenelec TR50480 (IEC 60364 / HD384) et conforme aux dispositions du RGIE.

Hypothèse et choix appareillage sous la responsabilité de l'utilisateur.

Charge	Charge 1
U	400 V
S	176 kVA
P	150 kW
I	255 A
cosφ	0,85
Polarité	3Ph+N
Phase(s) d'alimentation	
Nombre de circuits	1
Ku (mode Normal)	1
Générateur d'harmoniques	Non
THDI3 de rang 3 généré	0 %

Courants d'emploi				
	IL1	IL2	IL3	IN

Mode d'exploitation Normal
(A) 254,713 254,713 254,713 0

Synthèse pour tous les modes d'exploitation
(A) 254,713 254,713 254,713 0

Chutes de tension		
	Cumulées depuis l'amont	Circuit

Mode d'exploitation Normal		
ΔU _{3L} (%)	0,598	0,133
ΔU _{L1L2} (%)	0,691	0,153
ΔU _{L2L3} (%)	0,691	0,153
ΔU _{L3L1} (%)	0,691	0,153
ΔU _{L1N} (%)	0,598	0,133
ΔU _{L2N} (%)	0,598	0,133
ΔU _{L3N} (%)	0,598	0,133

Synthèse pour tous les modes d'exploitation		
ΔU _{3L} (%)	0,598	
ΔU _{L1L2} (%)	0,691	
ΔU _{L2L3} (%)	0,691	
ΔU _{L3L1} (%)	0,691	
ΔU _{L1N} (%)	0,598	
ΔU _{L2N} (%)	0,598	
ΔU _{L3N} (%)	0,598	

V.4. Calcul de l'installation en utilisant la méthode simplifiée

V.4.1. Section des conducteurs de phase en fonction des différents facteurs

Pour choisir la section des conducteurs il faut, tout d'abord, déterminer la lettre de sélection qui est liée à la nature du câble et au mode de pose :

- 1) Pour le câble C1 (câble monoconducteur PVC sur chemin de câbles perforés ou tablette), la lettre sélection (F).
- 2) On détermine le facteur de correction K1 qui prend en compte le mode de pose, dans ce cas $K1 = 1$ (lettre F - autres cas).
- 3) On détermine, le facteur de correction K2 qui prend en compte l'influence mutuelle d'autres circuits, dans ce cas $K2 = 0,82$.
- 4) On détermine, le facteur de correction K3 qui prend en compte la température ambiante et la nature de l'isolant, dans ce cas $K3 = 1$ (température ambiante de 30°C et isolant en PVC).
- 5) On effectue le produit :
- 6) $K = K1 \times K2 \times K3 \times Kn \times Ks$, dans ce cas $K = 1 \times 0,82 \times 1 = 0,82$, on calcule l'intensité fictive $I'z$:
 $I'z = Iz / K$ où :
 - Iz correspond au courant admissible dans la canalisation (calibre du disjoncteur de protection).
 - $I'z$ correspond au courant fictif traversant cette canalisation (tenant compte des différents paramètres). Dans ce cas $I'z = 964 / 0,82 = 1175,6$ A.
- 7) Enfin, on choisit à l'aide du **Tableau II.14** la section de conducteur C1.

Pour les autres câbles on a récapitulé tous les résultats dans le tableau suivant :

Câbles	Lettre de sélection	K1	K2	K3	K	Courant Iz en A	$I'Z = Iz / K$ en A	Section cuivre en mm^2
C1	F	1	0,82	1	0,82	964	1175,6	185 mm^2
C3	E	1	1	1	1	561	561	150 mm^2
C7	F	1	1	1	1	258	258	95 mm^2

Tableau V.6 : Résultat de calcul de section des câbles

V.4.2. Section des conducteurs de protection

La méthode est basée sur une section du conducteur PE rapportée à celles des conducteurs de phase du circuit correspondant, en faisant l'hypothèse que les conducteurs utilisés sont de même nature. La section du conducteur PE en fonction de la section des conducteurs de phase S_{PH} est donnée comme suit :

$S_{PH} \leq 16 \text{mm}^2$	$S_{PH} = S_{PE}$
$16 < S_{PH} \leq 35 \text{mm}^2$	$S_{PE} = 16 \text{mm}^2$
$S_{PH} > 35 \text{mm}^2$	$S_{PH} / 2$

Tableau V-7 : Section du conducteur PE en fonction de S_{PH}

Pour le câble C1 les conducteurs de phase ont une section $S_{PH} \geq 35 \text{mm}^2$, donc la section minimale pour le conducteur de protection PE sera de $S_{PH} / 2$.

D'où :

$$S_{PE} = \frac{S_{PH}}{2} \qquad S_{PE} = \frac{185}{2} = 92.5 \text{mm}^2$$

Un conducteur unique dimensionné à 95mm^2 pour d'autres raisons (protections des personnes contre les contacts indirects) est largement suffisant.

V.4.3. Détermination de la chute de tension

L'impédance d'une canalisation est faible mais non nulle, lorsqu'elle est traversée par le courant d'emploi, il y a chute de tension entre son origine et son extrémité. Le bon fonctionnement d'un récepteur (moteur, éclairage) est conditionné par la valeur de la tension à ses bornes, Il est donc nécessaire de limiter les chutes de tension en ligne par un dimensionnement correct des canalisations d'alimentation.

Cette section permet de déterminer les chutes de tension en ligne afin de vérifier qu'elles soient :

- Conformes aux normes et règlements en vigueur.
- Acceptables par le récepteur.
- Adaptées aux impératifs d'exploitation.

Les chutes de tension sont calculées à l'aide de la formule :

$$u = b(\rho_1 \cdot L/S \cdot \cos\varphi + \lambda \cdot L \cdot \sin\varphi)I_B$$

u : La chute de tension en volts.

b : Un coefficient multiplicateur égal à 1 pour les circuits triphasés et à 2 pour les circuits monophasés.

ρ_1 : La résistivité des conducteurs en service normal (0,023 m Ω pour le Cu et 0,037 m Ω pour l'Al).

L : La longueur simple de la canalisation en mètres.

S : La section des conducteurs en mm².

cos φ : Le facteur de puissance (en l'absence d'indications précise, **cos φ = 0,8**).

λ : La réactance linéique des conducteurs (0,08 x 10⁻³ pour les câbles en trèfle, 0,09 x 10⁻³ pour les câbles monoconducteurs jointifs en nappe, 0,13x10⁻³ pour les câbles espacés).

I_B : Le courant d'emploi en ampères.

$$\Delta U = 100 \times u / U_0$$

ΔU : La chute de tension en %.

U_0 : La tension entre phase et neutre en volts.

➤ **Câble C1**

$$u = b(\rho_1 \cdot L/S \cdot \cos\varphi + \lambda \cdot L \cdot \sin\varphi)I_B$$

$$u = 1 \times (0,023 \times 5/(3 \times 185) \times 0,8 + 0,08 \times 10^3 \times 5 \times 0,6) \times 909 = \mathbf{0,2354 V}$$

$$\Delta U = 100 \times \frac{0,2354}{230} = \mathbf{0,1\%}$$

➤ **Câble C3**

$$u = b(\rho_1 \cdot L/S \cdot \cos\varphi + \lambda \cdot L \cdot \sin\varphi)I_B$$

$$u = 1 \times (0,023 \times 20/(2 \times 150) \times 0,8 + 0,08 \times 10^3 \times 20 \times 0,6) \times 509 = \mathbf{0,9755 V}$$

$$\Delta U = 100 \times \frac{0,9755}{230} = \mathbf{0,42\%}$$

➤ **Câble C7**

$$u = b(\rho_1 \cdot L/S \cdot \cos\varphi + \lambda \cdot L \cdot \sin\varphi) I_B$$

$$u = 1 \times (0,023 \times 5/95 \times 0,8 + 0,08 \times 10^3 \times 5 \times 0,6) \times 255 = \mathbf{0,3858 V}$$

$$\Delta U = 100 \times \frac{0,3858}{230} = \mathbf{0,16\%}$$

Les résultats sont résumés dans la figure suivante :

	Câble C1	Câble C2	Câble C3
Courant de charge (A)	909	509	255
Longueur (m)	5	20	5
Chute de tension (V)	0,23	0,97	0,38
Chute de tension (%)	0,1	0,42	0,16

Figure V-8 : Chute de tension introduite par les différents câbles

V.4.4. Détermination des courants de court-circuit

Le courant de court-circuit triphasé en tout point d'une installation BT est calculé comme suit :

$$I_{CC} = \frac{U_{20}}{\sqrt{3} \times Z_T} \text{ en (A)}$$

U_{20} = Tension entre phases à vide au secondaire d'un transformateur HT / BT (en V)

Z_T = Impédance totale par phase du réseau en amont du défaut (en Ω).

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

Transformateur de 630 kVA 400 V à vide

$$U_{cc} = 4\%$$

$$I_n = \frac{P \times 10^3}{\sqrt{3} U_{20}}$$

$$I_n = \frac{630 \times 10^3}{400 \times \sqrt{3}} = \mathbf{909 A}$$

$$I_{CC} = \frac{100 \times I_n}{U_{cc}}$$

$$I_{CC} = \frac{100 \times 909}{4} = \mathbf{22,72 KA}$$

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

Pour calculer le courant de court-circuit il faut calculer l'impédance totale Z_T , chaque constituant d'un réseau se caractérise par une impédance Z composée d'un élément résistif (R) et d'un élément inductif (X) appelé réactance. La méthode consiste à décomposer le réseau en tronçons et à calculer, pour chacun d'eux les R et X .

L'impédance (Z_T) de tous les constituants du réseau connectés ensemble est donnée par :

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

- L'impédance du réseau amont de transformateur MT/BT pour une $P_{cc} = 500$ MVA est :

$$Z = \sqrt{Ra^2 + Xa^2}$$

D'après le tableau ci-dessous : $R = 0.035$ mΩ et $X = 0.351$ mΩ

$$Z = \sqrt{0.035^2 + 0.351^2}$$

$$Z = 0,352 \text{ m}\Omega$$

P_{cc}	U_0 (v)	R_a (m Ω)	X_a (m Ω)
250MVA	420	0.07	0.7
500MVA	420	0.035	0.0351

Tableau V-9 : Impédance du réseau MT rapportée au secondaire BT du transformateur MT/BT

- L'impédance du transformateur MT/BT de 630 KVA, $\Delta U = 4\%$ est :

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

$R_{tr} = 2.9$ mΩ et $X_{tr} = 10.8$ mΩ, (donné par le tableau V-2)

$$Z_{tr} = \sqrt{2.9^2 + 10.8^2}$$

$$Z_{tr} = 11,18 \text{ m}\Omega$$

Puissance (KVA)	Type immergé dans un diélectrique liquide				Type sec enrobé dans résine			
	USC(%)	Rtr(mΩ)	Xtr(mΩ)	Ztr(mΩ)	USC(%)	Rtr(mΩ)	Xtr(mΩ)	Ztr(mΩ)
100	4	37.9	59.5	70.6	6	37.0	99.1	105.8
160	4	16.2	41.0	44.1	6	18.6	63.5	66.2
200	4	11.9	33.2	35.3	6	14.1	51.0	52.9
250	4	9.2	26.7	28.2	6	10.7	41.0	42.3
315	4	6.2	21.5	22.4	6	8.0	32.6	33.6
400	4	5.1	16.9	17.6	6	6.1	25.8	26.5
500	4	3.8	13.6	14.1	6	4.6	20.7	21.2
630	4	2.9	10.8	11.2	6	3.5	16.4	16.8
800	4	2.9	12.9	13.2	6	2.6	13.0	13.2
1000	4	2.3	10.3	10.6	6	1.9	10.4	10.6
1250	4	1.8	8.3	8.5	6	1.5	8.3	8.5
1600	4	1.8	6.5	6.6	6	1.1	6.5	6.6
2000	4	1.8	5.2	5.3	6	0.9	5.2	5.3

Tableau V-10 : Valeurs des résistances, des réactances et des impédances pour un transformateur MT/BT standard de distribution 400 V avec primaire ≤ 20 KV

- L'impédance du câble C1 :

$$Z_{C1} = \sqrt{R_{C1}^2 + X_{C1}^2}$$

On calcul R_{C1} et X_{C1} :

$$R_{C1} = \rho \times \frac{L}{S}$$

$$X_{C1} = 0.08 \times L$$

ρ : 22, 5 mΩ.mm²/m pour le cuivre.

ρ : 36 mΩ.mm²/m pour l'aluminium.

L : Longueur du câble en m.

S : Section du câble en mm².

La réactance des câbles peut être donnée avec précision par les fabricants. En l'absence d'autres renseignements, on pourra prendre : $X_C = 0,08 \text{ m}\Omega$

$$R_{C1} = \frac{22.5}{3} \times \frac{5}{185} = 20 \text{ m}\Omega$$

$$X_{C1} = 0.08 \times 5 = 0,4 \text{ m}\Omega$$

$$Z = \sqrt{0.20^2 + 0.4^2}$$

$$Z = 0,44 \text{ m}\Omega$$

- Impédance total de tronçon :

$$Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2} = \sqrt{3.135^2 + 11.551^2}$$

$$Z_T = 11.96 \text{ m}\Omega$$

- Donc le courant ICC est :

$$I_{CC} = \frac{400}{\sqrt{3} \times 11.96 \times 10^{-3}}$$

$$I_{CC} = 19.31 \text{ KA}$$

- Les résultats de calcul des autres câbles sont donnés par le tableau suivant :

Composants	R (mΩ)	X (mΩ)	Z (mΩ)	I_{kmax} (KA)
Réseau amont P _{cc} 500 MVA	0.035	0.351		
T1 630KVA DU=4%	2.9	10.8		
C1	0.20	0.4		
Sous total	3.135	11.551	11.96	19.31
C3	1.5	1.6		
Sous total	4.635	13.151	13.94	17.39
C7	1.18	0.4		
Sous total	5.815	13.551	14.74	16.45

Tableau V-11 : Résultats de calcul des courants de court-circuit

V.4.5. Choix des dispositifs de protection

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

- Le calibre de la protection.
- Le pouvoir de coupure de la protection.

a) Choix de calibre de protection

Soit I_b le courant d'emploi de conducteur, I_n le calibre de la protection et I'_z courant fictif traversant cette canalisation.

- Il faut toujours avoir :

$$I_b < I_n < I'_z$$

b) Choix du pouvoir de coupure

C'est la valeur du courant en A que peut couper la protection, il faut donc qu'elle soit supérieure au courant de court-circuit I_{cc} de l'installation.

D'après les calculs précédents de circuit C1 on a :

$$\left. \begin{array}{l} I_b = 909 \text{ A} \\ I'_z = 1175,6 \text{ A} \end{array} \right\} \text{Donc : } 909 \text{ A} < I_n < 1175,6 \text{ A}$$

Dont notre cas on a choisi pour le câble C1 un disjoncteur a les caractéristiques suivantes.

Disjoncteur	Q1
Ib	909 A
Informations de dimensionnement	Dimensionné par le système
Gamme	Masterpact MTZ1
Désignation	MTZ1 10H1
Calibre disjoncteur	1000 A
Pouvoir de coupure	42 kA
Pouvoir de coupure unipolaire IT	NA
Pouvoir de coupure renforcé	NA
Pôles & pôles protégés	4P3d
Déclencheur	Micrologic 5.0 X
Calibre déclencheur	1000 A

Tableau V-12 : Choix de disjoncteur Q1

CONCLUSION GENERALE

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

Le dimensionnement des réseaux électriques industriels nécessite plusieurs étapes à savoir, l'architecture du réseau suivant le niveau de tension, la puissance demandée et la sûreté d'alimentation requise, mode d'alimentation, régime de neutre et le plan de protection.

Chaque composant du réseau doit être défini de façon à lui permettre de répondre aux contraintes immédiates mais aussi futures, ce qui suppose une optimisation basée sur un calcul technico-économique à long terme.

Le recours à des logiciels de conception de réseaux électriques facilite la tâche du concepteur, dans notre cas nous avons choisi le logiciel Ecodial développé par Schneider électrique, il permet de faire plusieurs études de conception des réseaux industriels tout en étant facile d'utilisation.

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), mémoire de magistère en électrotechnique, 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. PRÉVÉ & R. JEANNOT, « Guide de conception des réseaux électriques industriels », Schneider Electric, n° : 6 883 427/A, Février 1997
- [5] E. TISON, « Guide de l'installation électrique », Schneider Electric, 2010.
- [6] Merlin Gerin, « Installation basse tension », Guide Schneider Electric, Edition 2015.
- [7] J. Laroche, « section des conducteurs », cours d'électrotechnique - Chapitre 12, document internet, 2000.
- [8] Schneider Electric, « Guide de la distribution électrique basse tension et HTA », 2009.
- [9] Legrand « distribution et puissance jusqu'à 4000 A », guide puissance Edition 2007.
- [10] R. Calvas & B. Lacaroix « Les schémas des liaisons a la terre en BT (régime du neutre », Cahier technique n° 172, Schneider Electric, Edition décembre 2004.
- [11] H. BEN AMMAR, « Support de cours Electricité Générale », INSTITUT SUPERIEUR DES ETUDES TECHNOLOGIQUES DE NABEUL, 2010-2011.
- [12] R. Calvas « Les dispositifs différentiels résiduels en BT », Cahier technique n° 114, Schneider Electric, Edition février 1998.
- [13] H. NEY, « Le disjoncteur différentiel » Catalogue de distribution basse tension Schneider Electric, Edition NATHAN Technique, mai 2012
- [14] M. BOUGHEZA, « Etude et simulation d'un coupleur de signaux HF pour réseaux d'énergie électrique », mémoire de magistère, Université Mohamed Khider Biskra, 2013.

- [15] J.JUMEAU, « *Introduction to the use of solid state relays SSR* », *Ultimheat University, Edition 2012.*
- [16] T. Wildi, Gilbert Sybille, « *Électrotechnique - 4ème édition* » [*Commande Industrielle des Moteurs*], *Série de Boeck, 2005*
- [17] A. CHIBAH, « *Etude de la protection du réseau moyenne tension de L'ENEL* », *mémoire d'ingénieur d'état en électrotechnique, U.M.M.T.O, 2008.*
- [18] P. LAGONOTTE « *Installations électriques* ».Edition HERMES, 2000.
- [19] JP. Nereau, « *Sélectivité avec les disjoncteurs de puissance basse tension* », *Cahier technique n 201 - Schneider Electric, Edition mars 2001.*

Résumé :

L'énergie électrique est distribuée localement en HTA (15~20kV) selon plusieurs schémas de distribution correspondants à diverses contraintes de continuité de service et de coût. Selon la puissance de l'installation, plusieurs type de livraison (HT ou BT) sont possibles avec des contrats tarifaires adaptés. Ces schémas de distribution sont réalisés au moyen de cellules HTA utilisant une technologie spécifique et assurant outre le raccordement, le sectionnement, la protection et le comptage de l'énergie. La norme internationale IEC 60 204-1 et celle d'installations propres à chaque pays définissent des règles précises sur les sections, la qualité de l'isolant et le repérage par des couleurs normalisées. La plupart de ces liaisons sont réalisées par des câbles unitaires souples de section comprises entre 1.5 et 2.5mm². Les moyens utilisés pour chaque processus de fabrication, principalement des machines et des équipements, assurent en permanence les fonctions particulières de chaque séquence du processus. L'idéal serait que son déroulement ne soit jamais perturbé par son alimentation électrique : en effet, une perturbation de la production est souvent générée par une interruption de l'alimentation électrique, due le plus souvent à des défauts aussi bien internes qu'externes, car il n'est pratiquement pas possible d'obtenir pour un réseau électrique le niveau de zéro défaut.

Mots clés : Protection, Distribution électrique, Moyenne tension, section des conducteurs, schémas de liaison, disjoncteur.