

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE MOHAMED SEDDIK BENYAHIA JIJEL

Faculté des sciences et de la technologie

Département d'électrotechnique

N° :/2023

MEMOIRE DE MASTER

DOMAINE : Sciences et Technologies

FILIERE: Electrotechnique

SPECIALITE : Réseaux électriques

Thème

**Etude et Simulation des Régimes de
Neutre**

Présenté Par :

Bouchikhi Mohammed Bachir

Ahmed Ismail Ahmed mouloud

Encadré Par :

Dr. Makhlouf Chouki

Date de soutenance : 25/06/2023

Jury de Soutenance

Président : Mohamed Melit

Grade Professeur

Univ MSB jijel

Encadreur : Chouki Makhlouf

Grade MCB

Univ MSB jijel

Examineur 1 : Bouchra Khelifi

Grade MCB

Univ MSB jijel

Examineur 2 : Mohamed Melit

Grade Professeur

Univ MSB jijel

Promotion : 2022 /2023

Remerciements

Tout d'abord, Je remercie Allah le tout puissant, le Miséricordieux, pour ce qu'Il m'a appris ce que je ne savais pas, car Il m'a donné la santé et tout ce dont j'ai besoin pour accomplir cette thèse.

*De plus, je tiens à exprimer ma gratitude à l'honorable famille pour son indéfectible soutien tout au long du parcours académique, ainsi qu'au **Dr. Chouki Makhlouf** pour son encadrement, ses conseils et sa disponibilité. Je lui suis également reconnaissant pour ses conseils, sa patience et sa compréhension tout au long du travail de thèse.*

Je remercie également les autres membres du jury pour l'importance de leurs retours avisés, qui permettront d'améliorer la qualité du mémoire et d'évoluer vers de nouveaux horizons, et je remercie également tous les enseignants qui ont participé à ma formation.

Dédicaces

Dédicaces

Je dédie ce travail

A mes parents,

A toute ma famille,

A mes amis proches.

Sommaire

Sommaire

Introduction Générale.....	1
<u>Chapitre I : Généralités sur les installations électriques industrielles</u>	
Introduction.....	3
I.1 Les installations électriques.....	3
I.1.1 Domaines de tension	3
I.1.2 Exigences générales pour la conception électrique	3
I.2 Les sources d'énergie électrique.....	4
I.3 Distribution de l'énergie électrique.....	4
I.4 Les tableaux électriques	4
I.4.1 Types des tableaux de distribution.....	4
I.4.2 Modes d'alimentation des tableaux BT.....	5
I.4.2.1 Alimentation des tableaux BT avec une seule source d'alimentation.....	5
I.4.2.2 Alimentation des tableaux BT par double alimentation sans couplage.....	5
I.4.2.3 Alimentation des tableaux BT par une double alimentation avec couplage....	6
I.5. Fonctions de base de l'appareillage électrique.....	6
I.5.1 Le sectionnement	6
I.5.2 La commande.....	6
I.5.3 La protection	7
I.5.3.1 Rôle de la protection.....	7
I.5.3.2 Qualités fondamentales de la protection électrique.....	7
I.5.3.2.1 La sélectivité des protections	7

Sommaire

I.6.3.2.3 Protection contre les chocs électriques.....	8
Conclusion.....	8

Chapitre II : Schémas des Liaisons à la Terre (SLT)

Introduction.....	9
II.1 Schémas des Liaisons à la Terre (SLT)	9
II.2 Types de Neutre.....	10
II.2.1 Régime de neutre TT.....	10
II.2.1.1 Analyse d'un défaut d'isolement	10
II.2.1.2 Mise en œuvre.....	11
II.2.2 Mise au neutre ou schéma TN	12
II.2.2.1 Mise en œuvre.....	13
II.2.3 Neutre isolé ou impédant ou schéma IT.....	14
II.2.3.1 Comportement au premier défaut	15
II.2.3.2 Comportement au deuxième défaut	16
II.3 Appareillages liés au choix du SLT	18
II.3.1 SLT-TN- « Mise au neutre	18
II.3.2 SLT-TT- « Neutre à la terre	20
II.3.3 SLT-IT- « Neutre isolé de la terre	20
II.3.3.1 Principe de fonctionnement des CPI.....	21
II.3.3.2 Principe de fonctionnement des DLD	21
II.3.4 Protection du neutre selon le SLT.....	23
Conclusion	23

Sommaire

Chapitre III : Calcul de courant de court-circuit en BT

Introduction	24
III. Les courts-circuits.....	24
III.1 Définition	24
III.2 Les causes des courts-circuits	24
III.3 Les effets des courts-circuits.....	25
III.4 Méthode pour le calcul du courant de court-circuit.....	25
III.4.1 Calcul des courants de court-circuit par la méthode des impédances.	25
III.4.1.1 Définition	25
III.4.1.2 Les différents types de courant de court-circuit	25
III.5 Détermination des diverses impédances de court-circuit	28
III.5.1. Impédances du réseau	28
III.5.2 Impédance interne du transformateur	28
III.5.2.1 Expression des impédances en pour cent.....	28
III.5.3 Impédance des liaisons	29
III.5.4 Impédance des machines tournantes.....	30
III.5.4.1 Alternateurs synchrones.....	30
III.5.4.2 Moteurs et compensateurs synchrones.....	30
III.5.4.3 Moteurs asynchrones	31
III.6 Autres impédances.....	31
III.6.1 Condensateurs	31
III.6.2 Appareillage	32
Conclusion	32

Sommaire

Chapitre IV : Applications

Introduction.....	34
IV. Etude des régimes du neutre	34
IV.1. Régime du neutre TT.....	35
IV.1.2. Effet des prises de terre sur l'écoulement du courant de défaut	36
IV.2. Régime du neutre TN	37
IV.3. Régime du neutre IT.....	39
IV.4. Effet des sections des conducteurs sur le choix du DPCC dans un régime IT	40
IV.5 Calcul des courants de court-circuit et dispositifs de protection dans une installation BT par le logiciel Ecodial.....	41
IV.5.1. Présentation du réseau BT étudié	41
IV.5.2. Cas d'un schéma de liaison à la terre TT.....	43
IV.5.3. Cas d'un schéma de liaison à la terre TNC.....	46
IV.5.4. Cas d'un schéma de liaison à la terre IT.....	49
Conclusion	51
Conclusion générale	52
Références bibliographiques.....	54
Annexe A	57
Annexe B.....	60

LISTE DE FIGURES

LISTE DE FIGURES

CHAPITRE I : Généralités sur les installations électriques industrielles

Figure I.1 Alimentation des tableaux BT avec une seule source d'alimentation.....	5
Figure I.2 Alimentation des tableaux BT par double alimentation sans couplage.....	5
Figure I.3 Alimentation des tableaux BT par une double alimentation avec couplage.	6
Figure I.4 La sélectivité totale	7
Figure I.5 La sélectivité partielle.	8

CHAPITRE II :Schémas des Liaisons à la Terre (SLT)

Fig.II.1 Mode de raccordement, à la terre du neutre du transformateur	10
Fig. II.2 Un défaut franc apparaisse entre une phase (phase 3) et la masse en schéma TT	11
Fig.II.3 Boucle de défaut en schéma TN	13
Fig.II.4 Courant de premier défaut d'isolement en schéma IT	15
Fig.II.5 Courant de 2 ^{ème} défaut en schéma IT (neutre distribué)	17
Fig.II.6 Blocs vigi de Compact NS.....	20
Fig.II.7 Schémas fonctionnels d'un DDR	20
Fig.II.8 Schéma fonctionnel d'un contrôleur permanent d'isolement (CPI)	21
Fig.II.9 Localisation du défaut d'isolement par suivi du trajet d'une courante basse fréquence injectée à l'origine de l'installation.....	22
Fig.II.10 Principe de fonctionnement d'un DLD à mesure d'impédance en BF	22

Chapitre III : Calcule de courant de court-circuit en BT

Figure III.1 Courants de court-circuit en défaut triphasé.....	26
Figure III.2 Courants de court-circuit en défaut monophasé	27
Figure III.3 Courants de court-circuit en défaut biphasé	27
Figure III.4 Courants de court-circuit en à la terre	27

Chapitre VI : Applications

LISTE DE FIGURES

Fig.IV.1 Tensions d'alimentation triphasée.....	35
Fig.IV.2 Schéma général du régime TT	35
Fig.IV.3 Courant de défaut dans un régime de neutre TT	36
Fig.IV.4 Courant de défaut pour différentes prises de terre	37
Fig.IV.5 Schéma général du régime TN.....	38
Fig.IV.6 Courant de défaut dans un régime de neutre TN	38
Fig.IV.7 Schéma général du régime IT lors d'un deuxième défaut	39
Fig.IV.8 Courant du deuxième défaut dans un régime de neutre IT	39
Fig.IV.9 Calibres des dispositifs de protection en fonction des sections	40
Fig.IV.10 Installation étudiée en régime TT	42
Fig.IV.11 Caractéristiques électriques du tableau général	43
Fig.IV.12 Caractéristiques électriques du tableau de distribution	43
Fig.IV.13 Résultats détaillés affichés sur l'installation BT en régime TT	44
Fig.IV.14 Courbes de sélectivité entre disjoncteurs de protection.....	46
Fig.IV.15 Résultats détaillés affichés sur l'installation BT en régime TNC	48
Fig.IV.16 Courbes de sélectivité entre disjoncteurs de protection.....	49
Fig.IV.17 Résultats détaillés affichés sur l'installation BT en régime IT	50
Fig.IV.18 Courbes de sélectivité entre disjoncteurs de protection.....	51

Liste de tableau

Liste de tableau

CHAPITRE I : Généralités sur les installations électriques industrielles

TAB.I.1 Domaines de tension.....	3
----------------------------------	---

CHAPITRE II :Schémas des Liaisons à la Terre (SLT)

Tab.II.1 Limite supérieure de la résistance de la prise de terre des masses à ne pas dépasser en fonction de la sensibilité des DDR et de la tension limite UL	12
Tab.II.2 Temps de coupure en schéma TN	13
Tab.II.3. Temps de coupure maximaux spécifiés en schéma IT.....	18
Tab.II.4 Courant de déclenchement.....	19
Tab.II.5 Exemple des limites des seuils de fonctionnement des fusibles.....	19

Chapitre III : Calcule de courant de court-circuit en BT

Tab III.1 Valeurs de réactances d'alternateurs, en %	30
Tab.III.2 Réactances en % des moteurs et compensateurs synchrones	31

Chapitre VI : Applications

Tab.IV.1 Section des conducteurs par phase	34
Tab.IV.2Méthode de calcul des sections des conducteurs PE	34
Tab.IV.3. Résultats de calcul des courts circuits et des disjoncteurs de trois composantes	44
Tab.IV.4. Résultats de calcul des courts circuits et des disjoncteurs de trois composantes	47
Tab.IV.5. Résultats de calcul des courts circuits et des disjoncteurs de trois composantes	49

Liste des abréviations

SLT : Schéma des Liaisons à la Terre

TT : neutre a la terre

IT : neutre isolé

TN : mise au neutre

TN-S : mise au neutre séparé

TN-C : mise au neutre commun

DDR : Le dispositif différentiel résiduel

I_d : Courant de défaut

$I_{\Delta n}$: Courant différentiel résiduel

I_m : seuil de déclenchement magnétique

BT : basse tension

HT : haute tension

PE : protection Electrique

PEN : neutre lié à la protection électrique

CPI : contrôleur permanent d'isolement

U_0 : la tension simple du réseau

U_L : la tension de sécurité fixée

R_A : Résistance de la prise de Terre des masses d'utilisation des récepteurs

R_B : prise de terre du neutre

S_{ph} : section de conducteur de phase

S_{pe} : section de conducteur de protection

CEI : Commission Electrotechnique Internationale

CC : Court-Circuit

DPCC : disjoncteur protection de court-circuit

Bloc vigie compact : est un dispositif de protection électrique utiliser pour détecter les courants de fuite à la terre et assurer la securité des personne et des équipement

R_{ph} : résistance électrique par présente une phase du système

R_{pe}: résistance électrique mesurée entre la prise de terre équipotentialité

L_{max}: dans un régime de neutre est le distance maximale entre deux point d'un circuit électrique pour lequel le courant de défaut à la terre ne dépasse pas une valeur déterminé

Introduction générale

Introduction générale

De nos jours, l'électricité est devenue une énergie très répandue dans les milieux industriels que domestiques. Par contre, elle peut dans certaines circonstances compromettre la sécurité des consommateurs et mettre leur vie en danger. De ce fait, les schémas de liaisons à la terre (SLT) [1] ont été élaborés pour protéger les personnes et le matériel en maîtrisant les défauts d'isolement. Ces derniers, quelle que soit leurs causes, présentent des risques pour la sécurité des personnes, la sécurité des biens et la disponibilité de l'énergie électrique.

Le régime du neutre définit la manière dont le conducteur neutre est connecté par rapport à la terre dans un réseau électrique. Il existe différents régimes du neutre couramment utilisés, notamment le régime TT, le régime IT et le régime TN [2]. Chacun de ces régimes présente des caractéristiques distinctes en termes de sécurité et de fonctionnement.

Il est important de noter que le choix du régime du neutre dépend des besoins spécifiques de chaque installation électrique. Des normes et réglementations nationales peuvent également influencer le choix du régime pour assurer une sécurité optimale. Une compréhension claire du régime du neutre est essentielle pour garantir une distribution électrique sûre et efficace dans tous les types de bâtiments et d'installations.

L'utilisation du logiciel Ecodial [3] facilite la conception et l'analyse des réseaux électriques en permettant aux ingénieurs et aux professionnels de réaliser des calculs précis sur le régime du neutre. Ce logiciel est développé par Schneider Electric et est largement utilisé dans l'industrie pour garantir des installations électriques fiables et conformes aux normes.

Ecodial propose une variété de fonctionnalités pour analyser les paramètres du régime du neutre, tels que les courants de court-circuit, les tensions, les courants de défaut à la terre, les pertes d'énergie, etc. Il prend en compte les caractéristiques spécifiques de chaque installation, telles que la configuration du réseau, les types de charges connectées, la longueur des câbles, les protections utilisées, etc.

Notre travail consiste à étudier les courants des courts-circuits dans le réseau de distribution et de répartition moyenne et basse tension à l'aide du programme Ecodial en injectant les données nécessaires et le schéma unifilaire de l'étude afin de déduire les valeurs des courants et des

Introduction générale

protections nécessaires.

Le présent mémoire est structuré comme suit :

Le premier chapitre fournit une description générale des différents types des réseaux électriques, des généralités sur les défauts électriques, l'origine de ces défauts, leur types, leurs effets et leurs conséquences sur les réseaux, ainsi que les différentes fonctions de protection.

Le second chapitre est consacré à l'étude des différents types de schémas de liaisons à la terre, à savoir le TT, IT et TN [4].

Le troisième chapitre traite le calcul des courants de courts-circuits.

Le quatrième chapitre est dédié au calcul des courants de courts-circuits et la définition de l'appareillage de protection par le logiciel Ecodial.

Ce travail se termine par une conclusion générale dans laquelle on résume les principaux résultats obtenus.

*Chapitre I: Généralités sur les
installations électriques
industrielles*

Introduction

Dans ce chapitre et avant d'étudier et réaliser un projet d'installation électrique, il importe d'avoir à l'esprit un certain nombre des caractéristiques générales dont dépend à la conception de l'étude, et même des facteurs et exigences techniques à répondre.

I.1 Les installations électriques

Une installation électrique est un ensemble cohérent de circuits électriques et leurs canalisations, d'appareillages électriques associés réalisée suivant un schéma déterminé sert à alimenter et distribuer l'énergie électrique aux différents récepteurs et de liaison à la terre est aussi un élément central dans l'installation. Elle peut se situer dans un bâtiment ou a usage d'habilitation, industriel, commercial ou de bureaux. Elle doit être réalisée en conformément à la législation.

I.1.1 Domaines de tension

Selon la norme NF C 15-100, la basse tension couvre la plage de tension allant jusqu'à 1 kV en courant alternatif et 1.5 kV en courant continu.

TAB.I.1 Domaines de tension.

Domaine de tension		Tension nominale	
		Courant alternatif	Courant continu
Très basse tension	TBT	$U \leq 50V$	$U \leq 120V$
Basse tension	TBT	$50V < U \leq 500V$	$120V < U \leq 750 V$
	BTB	$500V < U \leq 1000V$	$750V < U \leq 1500V$

Dans une installation, lorsque deux domaines de tensions sont utilisés en voisinage, une séparation électrique et physique doit les isoler [5].

I.1.2 Exigences générales pour la conception électrique

Les topologies diffèrent d'un type de réseau à un autre. Cette topologie est dictée par : le niveau de fiabilité recherchée, la flexibilité et la maintenance, ainsi que les coûts d'investissement et d'exploitation. Les différentes topologies qu'on trouve usuellement sont illustrées dans ce qui va suivre.

Exigences architecturales : c'est la coordination avec l'architecte, ainsi que la connaissance de la fonction de chaque espace dans les plans.

Exigences mécaniques : elle correspond à la connaissance de toutes les charges mécaniques et leurs emplacements dans l'espace de construction.

Exigences électriques : c'est la définition des exigences du projet pour l'éclairage, pour les équipements et les systèmes qui fonctionnent en TBT comme les caméras de surveillance.

I.2 Les sources d'énergie électrique

Les sources d'énergie électrique sont définies par la qualité de fourniture requise pour les implémentations à alimenter. Elles sont divisées en : sources normales, sources de secours et sources sans interruption [6].

- La source normale : c'est la principale source d'énergie électrique. Elle doit alimenter les totalités des charges et les autres besoins du site.
- La source de secours : elle doit alimenter, en BT ou MT, les charges à secourir afin de garantir la continuité de service.
- La source sans interruption (ASI) : elles représentent des interfaces installées entre le réseau et les charges sensibles. La source de secours depuis chaque TGBT fournit son énergie électrique aux ASI afin de garantir leur permanence.

I.3 Distribution de l'énergie électrique

La norme NF C 15-100 recommande que toute installation doive être devisée en plusieurs circuits afin de minimiser les conséquences résultantes d'un défaut survenant dans un circuit. Cette division de l'installation dépend du mode de distribution utilisé. La distribution radiale est le mode de distribution le plus employé. Elle est conseillée systématiquement dans toute installation industrielle.

I.4 Les tableaux électriques

Ces tableaux présentent le point d'arrivée de l'énergie électrique d'une installation BT. En se divisant en plusieurs départs, chacun est commandé et protégé par l'appareillage installé. Chaque type de tableau de distribution doit être adapté à son application.

I.4.1 Types des tableaux de distribution

Les tableaux, ou ensemble d'appareillage à basse tension, se différencient selon le type d'application en :

- Tableau général basse tension (TGBT).
- Tableau secondaire.
- Tableau terminal.
- Tableau de contrôle-commande.

I.4.2 Modes d'alimentation des tableaux BT

I.4.2.1 Alimentation des tableaux BT avec une seule source d'alimentation

Dans ce cas, tous les départs bénéficient d'une seule source d'alimentation. En cas de défaut en T1 ou perte de la source, toute l'installation est mise hors service jusqu'à l'opération de réparation [7].

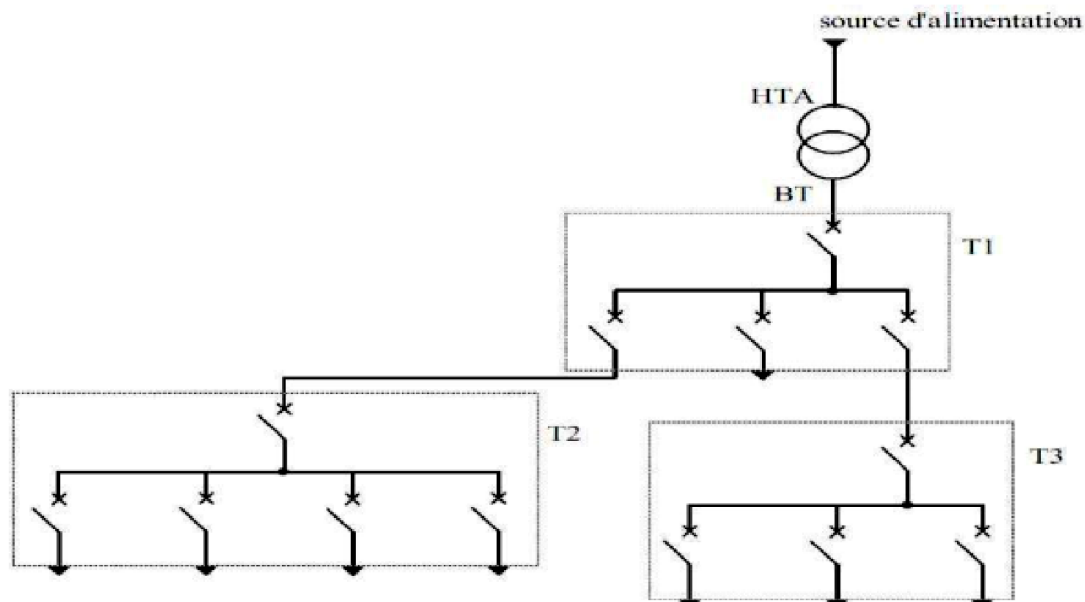


Figure I.1 Alimentation des tableaux BT avec une seule source d'alimentation.

I.4.2.2 Alimentation des tableaux BT par double alimentation sans couplage

Pour ce type d'alimentation, chaque tableau a sa propre source d'alimentation. En cas de défaut, T2 bénéficie de l'alimentation à partir de la seconde.

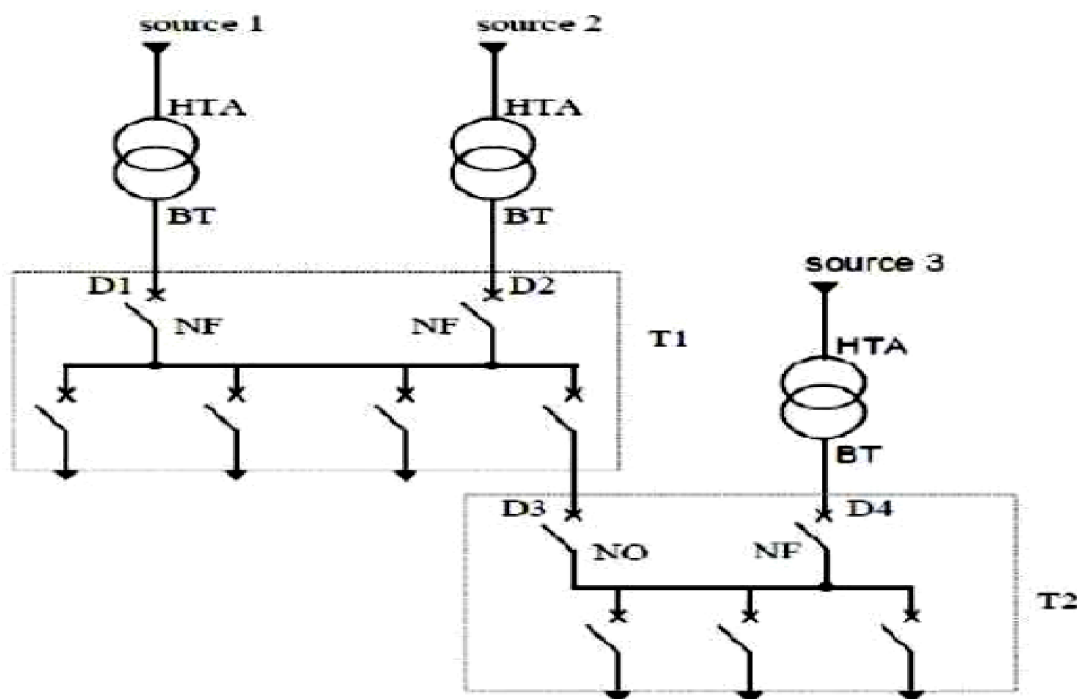


Figure I.2 Alimentation des tableaux BT par double alimentation sans couplage.

I.4.2.3 Alimentation des tableaux BT par une double alimentation avec couplage

Le tableau T1 bénéficie d'une double alimentation avec couplage par deux transformateurs. 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.

Pour le tableau T2, il profite d'une double alimentation avec couplage par deux départs. En fonctionnement normal, le disjoncteur de couplage D6 est ouvert et 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.

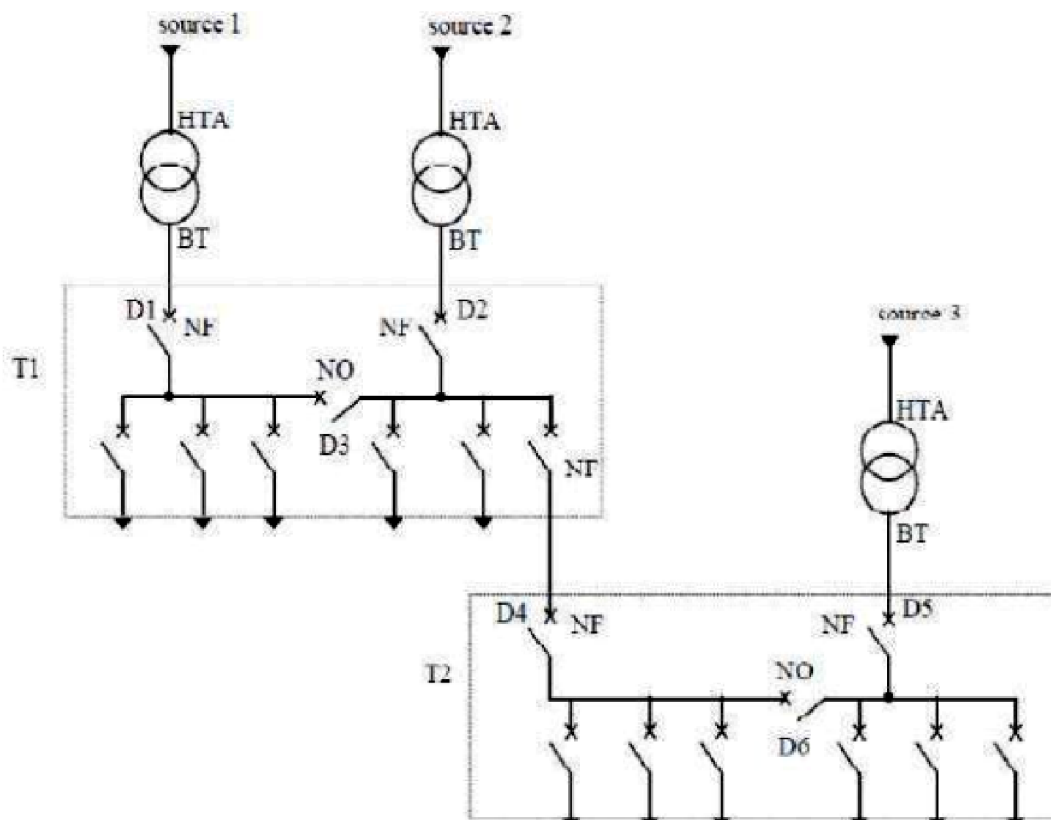


Figure I.3 Alimentation des tableaux BT par une double alimentation avec couplage.

I.5. Fonctions de base de l'appareillage électrique

L'appareillage électrique d'une installation électrique industrielle doit assurer trois fonctions : le sectionnement, la commande et la protection.

I.5.1 Le sectionnement

Pour des raisons de sécurité, cette fonction est destinée à assurer la mise hors tension de toute ou partie d'une installation électrique.

I.5.2 La commande

C'est l'action destinée à assurer la fermeture, l'ouverture ou la variation de l'alimentation en énergie électrique de tout ou partie d'une installation.

I.5.3 La protection

L'énergie électrique bien qu'utile, elle est dangereuse pour l'homme. Si un courant électrique, par exemple, traverse le corps humain, il y a un risque de mort. Par conséquent, Il est nécessaire de protéger les personnes et biens contre de tels dangers.

I.5.3.1 Rôle de la protection

Le rôle principal de la protection est d'assurer la continuité d'alimentation ainsi que la sécurité des personnes et des biens. Pour cela, elle doit assurer la protection contre :

- Les surintensités (surcharge et court-circuit).

I.5.3.2 Qualités fondamentales de la protection électrique

Une bonne protection électrique doit posséder les qualités suivantes : rapidité, sureté, sécurité, fiabilité, sélectivité et disponibilité.

I.5.3.2.1 La sélectivité des protections

La sélectivité est une technique consiste à coordonner les protections de manière à ce qu'un défaut sur un circuit ne fasse déclencher que la protection placée en tête de ce circuit, évitant ainsi la mise hors service du reste de l'installation. La sélectivité améliore la continuité de service et la sécurité de l'installation. Deux types sont distingués [8] :

a) La sélectivité totale

La sélectivité entre deux dispositifs de protection placés en série est dite totale lorsque le dispositif de protection aval assure la protection jusqu'à la valeur de court-circuit maximale présumée à l'endroit où il est installé sans provoquer le fonctionnement du dispositif de protection amont.

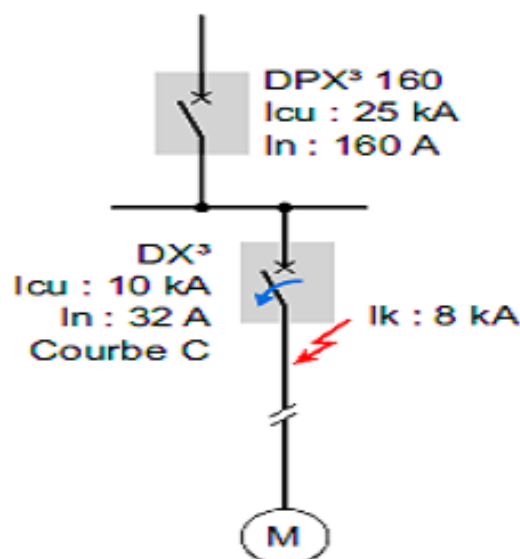


Figure I.4 La sélectivité totale

b) La sélectivité partielle

La sélectivité entre deux dispositifs de protection placés en série est dite partielle lorsque le dispositif de protection aval assure la protection jusqu'à un niveau donné de surintensité sans provoquer l'intervention du dispositif de protection amont. Au delà de ce niveau de surintensité, c'est le dispositif amont qui assurera la protection.

La quasi-totalité des défauts ayant lieu au niveau de l'utilisation, une sélectivité partielle peut d'avérer suffisante si la limite de sélectivité est supérieure à la valeur du court-circuit maximale pouvant survenir au point d'utilisation [ou en bout de canalisation], on parle alors de sélectivité d'exploitation. Cette technique est très souvent suffisante, plus économique et moins contraignante en termes de réalisation.

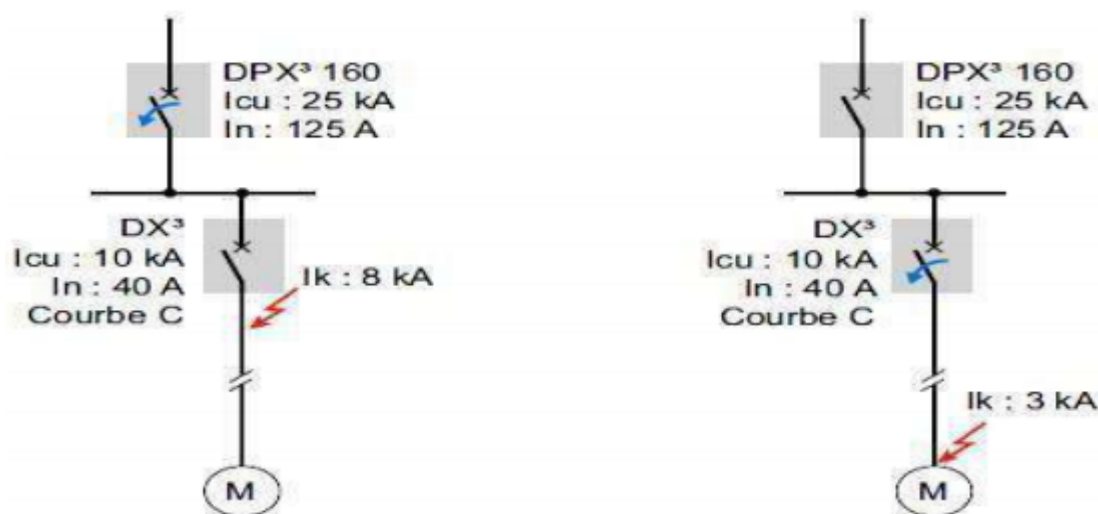


Figure I.5 La sélectivité partielle.

I.6.3.2.3 Protection contre les chocs électriques

- Protection contre les contacts directs : c'est le contact d'une personne avec une partie active normalement sous tension d'un matériel ou d'un équipement électrique (phase ou neutre) [9].

- Protection contre les contacts indirects : Un contact est dit indirect lorsqu'une personne vient de toucher une masse métallique mise accidentellement sous tension [9].

Conclusion

Les installations électriques industriels doivent assurer l'alimentation de tous les récepteurs en tenant compte des besoins à satisfaire tels que : la sécurité des personnes, la sécurité des biens, la continuité d'alimentation, la facilité d'exploitation du réseau, le coût minimale de prescriptions et usages locaux.

Vu que tous les besoins ne pourront pas être satisfaits de façon optimale, le concepteur doit rechercher, alors, le meilleur compromis en connivence avec les normes.

Chapitre II: Schémas de Liaisons à la Terre (SLT)

Introduction [10]

Les schémas de liaisons à la terre (SLT), longtemps appelés régimes du neutre tels que définis par les normes CEI 60364 et NF C 15-100, sont :

- La mise au neutre -TN-
- Le neutre à la terre -TT-
- Le neutre isolé (ou impédant) -IT-.

Symbolisent la situation d'une installation électrique par rapport au potentiel de la terre. La configuration des schémas des liaisons à la terre détermine un certain nombre de conditions concernant la conception, la mise en œuvre et l'exploitation des installations électriques. Ces trois schémas ont une même finalité en terme de protection des personnes et des biens : la maîtrise des effets des défauts d'isolement. Ils sont considérés comme équivalents sur le plan de la sécurité des personnes contre les contacts indirects. Il n'en n'est pas nécessairement de même pour la sûreté de l'installation électrique BT en ce qui concerne :

- La disponibilité de l'énergie
- La maintenance de l'installation.

Elle détermine les mesures de protection contre les contacts indirects dont les conditions d'application dépendent fondamentalement du schéma des liaisons à la terre. Les caractéristiques des dispositifs de protection dépendent en grande partie du schéma des liaisons à la terre. Dans ce qui suit, nous exposons les SLT : nous allons étudier le régime TT en détails et on se limite à une description succincte des deux autres régimes à savoir le TN et le IT. En fin, nous définissons les critères de choix des SLT, selon lesquels, leurs performances, seront définies.

II.1 Schémas des Liaisons à la Terre (SLT) [10], [11] ,[12]

Le SLT correspond au mode de liaison des masses, de la terre et du neutre, d'un réseau triphasé. La norme CEI 60364 et NF C 15-100, définit trois SLT qui sont caractérisés par deux lettres:

- La 1^{ère} lettre indique la situation du neutre par rapport à la terre:

T: liaison avec la terre.

I: isolation du neutre par rapport à la terre, ou liaison du neutre avec la terre à travers une Impédance.

- La 2^{ème} lettre indique la 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 relie à la terre.

Ainsi, la combinaison de ces deux lettres donne trois configurations possibles suivantes :

- la mise au neutre **TN** : neutre du transformateur **T** et masse **N**,
- le neutre à la terre **TT** : neutre du transformateur **T** et masse **T**,
- le neutre isolé (ou impédant) **IT** : neutre du transformateur **I** et masse **T**.

Selon les deux normes précédents, le schéma **TN** comporte plusieurs sous schémas :

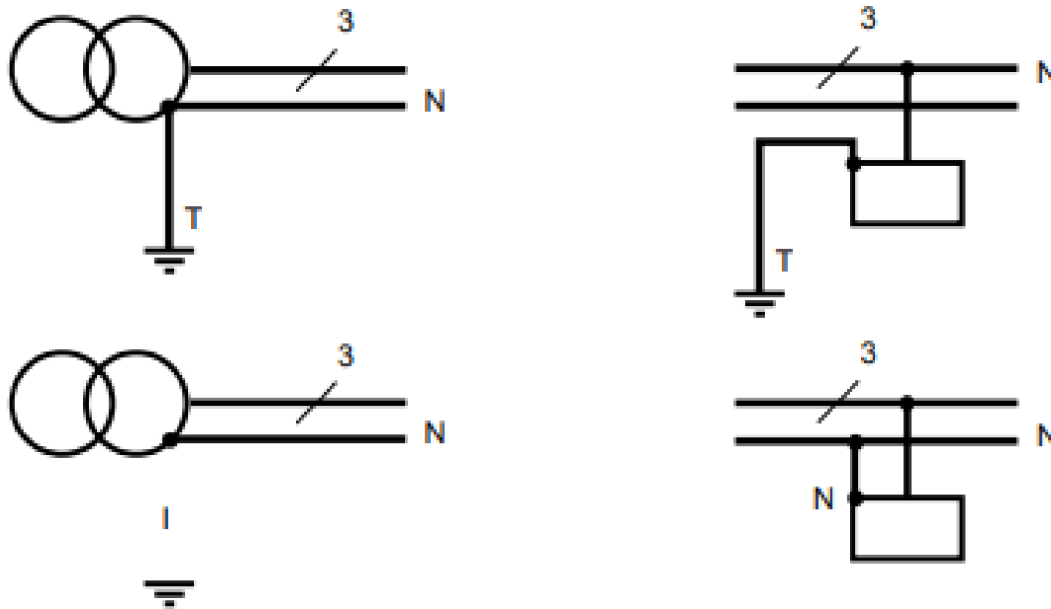


Fig.II.1 Mode de raccordement, à la terre du neutre du transformateur, et des masses des récepteurs électriques.

- **TN-C** : si les conducteurs du neutre **N** et du **PE** sont confondus (**PEN**),
- **TN-S** : si les conducteurs du neutre **N** et du **PE** sont distincts,
- **TN-C-S** : utilisation d'un **TN-S** en aval d'un **TN-C**, (l'inverse est interdit). A noter que le **TN-S** est obligatoire pour les réseaux ayant des conducteurs de section $10 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$.

II.2 Types de Neutre [10], [11], [12]

II.2.1 Régime de neutre TT

Le neutre de l'alimentation est relié à la terre. Les masses de l'installation sont aussi reliées à la terre. Cette solution simple à l'étude et à l'installation est celle qui est employée pour les réseaux de distribution basse tension, aussitôt qu'un défaut d'isolement survient, il doit y avoir coupure: C'est la coupure au défaut.

II.2.1.1 Analyse d'un défaut d'isolement

Supposons qu'un défaut franc apparaisse entre une phase (exemple : phase 3) et la masse au niveau d'un récepteur.

On appelle U_0 la tension simple du réseau.

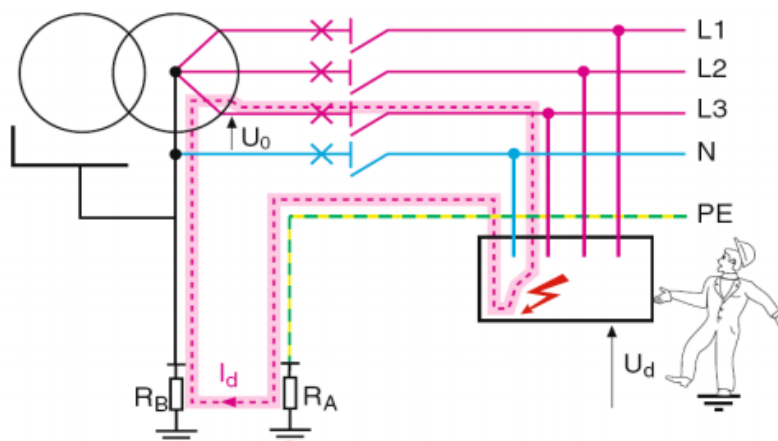


Fig. II.2 Un défaut franc apparaît entre une phase (phase 3) et la masse en schéma TT.

a) Calcul du courant de défaut :

Les prises de terre des masses d'utilisation et du poste présentent respectivement une résistance électrique R_A et R_B . Pour simplifier le calcul, nous négligeons les effets inductifs et capacitifs des câbles. L'impédance de boucle du défaut se ramène donc aux résistances R_A et R_B .

$$I_d = \frac{U_0}{R_A + R_B} \quad (\text{II.1})$$

b) Calcul de la tension de défaut :

Si une personne est en contact avec la masse métallique du récepteur défectueux, elle sera soumise à un potentiel U_d de valeur :

$$U_d = \frac{U_0}{R_A + R_B} \times R_A \quad (\text{II.2})$$

II.2.1.2 Mise en œuvre

Le courant de défaut au-delà duquel il y a risque :

$$I_{d0} = \frac{U}{R_A} \times \ell \quad (\text{II.3})$$

Étant très largement inférieur aux réglages des dispositifs de protection à maximum de courant, il est nécessaire de mettre en œuvre, en tête d'installation, au moins un Dispositif Différentiel Résiduel DDR. Pour améliorer la disponibilité de l'énergie électrique, l'emploi de plusieurs DDR permet de réaliser une sélectivité Ampèremétrique et chronométrique au déclenchement. Tous ces DDR auront un seuil de courant assigné $I_{\Delta n}$ inférieur à I_{d0} .

Tab.II.1 Limite supérieure de la résistance de la prise de terre des masses à ne pas dépasser en fonction de la sensibilité des DDR et de la tension limite UL, [$I_{\Delta n} = f(R_a)$].

$I_{\Delta n} \leq \frac{U_l}{R_a}$	Résistance maximale (Ω) de la prise de terre R_a pour $U_L =$	
	50 v	25 v
3 A	16	8
1A	50	25
500 ma	100	50
300 ma	166	83
100ma	1660	833

La mise hors tension, par intervention des DDR, doit se faire d'après la norme en moins de 1 s. A noter que la protection par DDR :

- ❖ est indépendante de la longueur des câbles
- ❖ Autorise plusieurs prises de terre R_a séparées (disposition non souhaitable car le PE n'est plus une référence de potentiel unique pour l'ensemble de l'installation).

II.2.2 Mise au neutre ou schéma TN

En présence d'un défaut d'isolement, le courant de défaut I_d n'est limité que par l'impédance des câbles de la boucle de défaut (Figure II.2)

$$I_d = \frac{U_0}{R_{ph1} + R_d + R_{pe}} \quad (\text{II. 4})$$

Pour un départ et dès que $R_d \approx 0$:

$$I_d = \frac{0,8U_0}{R_{ph1} + R_{pe}} \quad (\text{II. 5})$$

En effet, lors d'un court-circuit, il est admis que les impédances en amont du départ considéré provoquent une chute de tension de l'ordre de 20 % sur la tension simple U_0 , qui est la tension nominale entre phase et terre, d'où le coefficient de 0,8.

I_d induit donc une tension de défaut, par rapport à la terre :

$$U_d = R_{pe} \cdot I_d \quad (\text{II. 6})$$

$$U_d = 0,8U_0 \frac{R_{pe}}{R_{ph1} + R_{pe}} \quad (\text{II. 7})$$

Pour les réseaux 230/400 V, cette tension de l'ordre de $U_0/2$ (si $R_{PE} = R_{ph}$) est dangereuse car supérieure à la tension limite de sécurité, même en milieu sec ($U_L = 50$ V). Il est alors nécessaire d'assurer une mise hors tension automatique et immédiate de l'installation ou de la partie de l'installation (Tableau II.1).

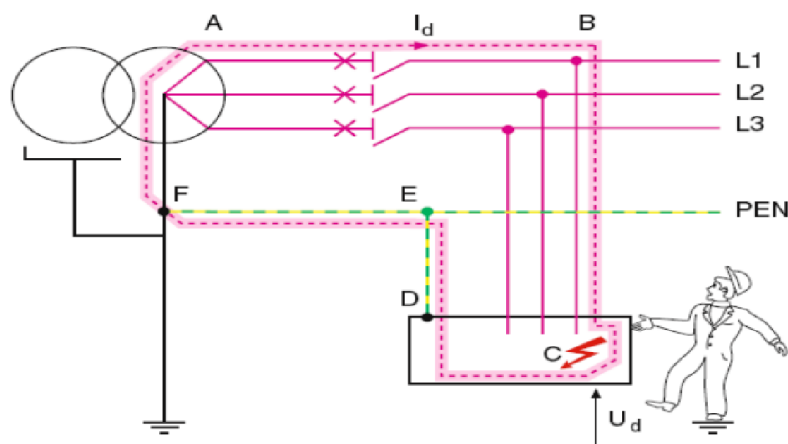


Fig.II.3 Boucle de défaut en schéma TN.

Tab.II.2 Temps de coupure en schéma TN normes CEI 60364 et NF C 15-100, tableaux 41 A et 48 A).

U _o (volts) tension phase/neuter	Temps de coupure (secondes) UL = 50 V	Temps de coupure (secondes) UL = 25 V
127	0.8	0.35
230	0.4	0.2
400	0.2	0.05
>400	0.1	0.02

Le défaut d'isolement étant similaire à un court-circuit phase-neutre, la coupure est réalisée par le Dispositif de Protection contre les Courts Circuits -DPCC- avec un temps maximal de coupure spécifié fonction de U_L .

II.2.2.1 Mise en œuvre

Pour être sûr que la protection est bien active il faut, quel que soit le lieu du défaut, que le courant I_d soit supérieur au seuil de fonctionnement de la protection I_a ($I_d > I_a$). Cette condition doit être vérifiée lors de la conception de l'installation par le calcul des courants de défaut, ceci pour tous les circuits de la distribution. Un même parcours du conducteur de protection -PE- et des conducteurs actifs facilite ce calcul et est recommandé par la norme (NF C 15-100 § 544-1).

Pour garantir cette condition, une autre approche consiste à imposer une valeur maximale d'impédance aux boucles de défaut en fonction du type et du calibre des DPCC choisis. Une telle démarche peut conduire à augmenter la section des conducteurs actifs et/ou de protection. Une autre façon de vérifier que le DPCC assurera la protection des personnes est de calculer la longueur maximale que chaque départ ne devra pas dépasser pour un seuil de

protection Iadonné. Pour calculer I_d et L_{max} , trois méthodes simples peuvent être utilisées (guide NF C 15-105) :

- ❖ La méthode des impédances
- ❖ La méthode de composition
- ❖ La méthode conventionnelle (guide NF C 15-105, partie C).

Cette dernière donne l'équation :

$$I_d = \frac{0,8U_0}{Z} = \frac{0,8U_0}{R_{ph} + R_{pe}} = \frac{0,8U_0 S_{ph}}{\rho(1+m)L} \quad (\text{II. 8})$$

Pour que la protection assure bien sa fonction, il faut $I_a < I_d$, d'où l'expression de L_{max} , longueur maximale autorisée par la protection ayant pour seuil I_a :

$$L_{max} = \frac{0,8U_0 S_{ph}}{\rho(1+m)I_a} \quad (\text{II. 9})$$

- ❖ L_{max} : longueur maximale en m ;
- ❖ U_0 : tension simple 230 V pour un réseau triphasé 400 V ;
- ❖ ρ : résistivité à la température de fonctionnement normal ;
- ❖ I_a : courant de coupure automatique : v pour un disjoncteur $I_a = I_m$ (I_m courant de fonctionnement du déclencheur magnétique ou court-retard) ;
- ❖ Pour un fusible, courant tel que le temps total de coupure du fusible (temps de préarc + temps d'arc) soit conforme à la norme (Tableau II.2) ;

$$m = \frac{S_{ph}}{S_{PE}} \quad (\text{II. 10})$$

Si la ligne est d'une longueur supérieure à L_{max} , il faut soit diminuer I_a , soit augmenter S_{PE} , soit mettre en œuvre un Dispositif Différentiel Résiduel (DDR) [10].

II.2.3 Neutre isolé ou impédant ou schéma IT

Le neutre est isolé, non relié à la terre. Les prises de terre des masses sont normalement interconnectées (comme pour le SLT TN ou TT). En fonctionnement normal (sans défaut d'isolement) le réseau est mis à la terre par l'impédance de fuite du réseau. Pour mémoire, l'impédance naturelle de fuite à la terre d'un câble triphasé, de longueur 1 km, est caractérisée par les valeurs typiques [11]:

- ❖ $C = 1 \mu F / km$
- ❖ $R = 1 M\Omega / km$

Qui donnent (en 50 Hz) :

❖ $Z_{cf} = 1 / jC\omega = 3\,200 \, \Omega$

❖ $Z_{rf} = R_f = 1 \, M\Omega$

donc $Z_f \approx Z_{cf} = 3\,200 \, \Omega$

Pour bien fixer le potentiel d'un réseau en IT par rapport à la terre, il est conseillé, surtout s'il est court, de placer une impédance ($Z_n \approx 1\,500 \, \Omega$) entre le neutre du transformateur et la terre, c'est le schéma IT dit à neutre impédant.

II.2.3.1 Comportement au premier défaut

a) Neutre isolé

Le courant de défaut s'établit comme suit (valeur maximale en cas de défaut franc et neutre non distribué).

$I_f = I_{c1} + I_{c2}$ avec : $I_{c1} = j C_f \omega V_{13}$ et $I_{c2} = j C_f \omega V_{23}$ D'où: $I_d = U_{o3} C_f \omega$.

Pour 1 km de réseau 230/400 V, la tension de défaut sera égale à :

$U_c = R_b * I_d$, soit 0,7 V si $R_b = 10 \, \Omega$.

Cette tension est non dangereuse, donc l'installation peut être maintenue en service. Si le neutre est distribué, le décalage du potentiel du neutre par rapport à la terre ajoute un courant $I_{cn} = U_o C_f \omega$ et $I_d = U_o 4 C_f \omega$ (Figure II.4).

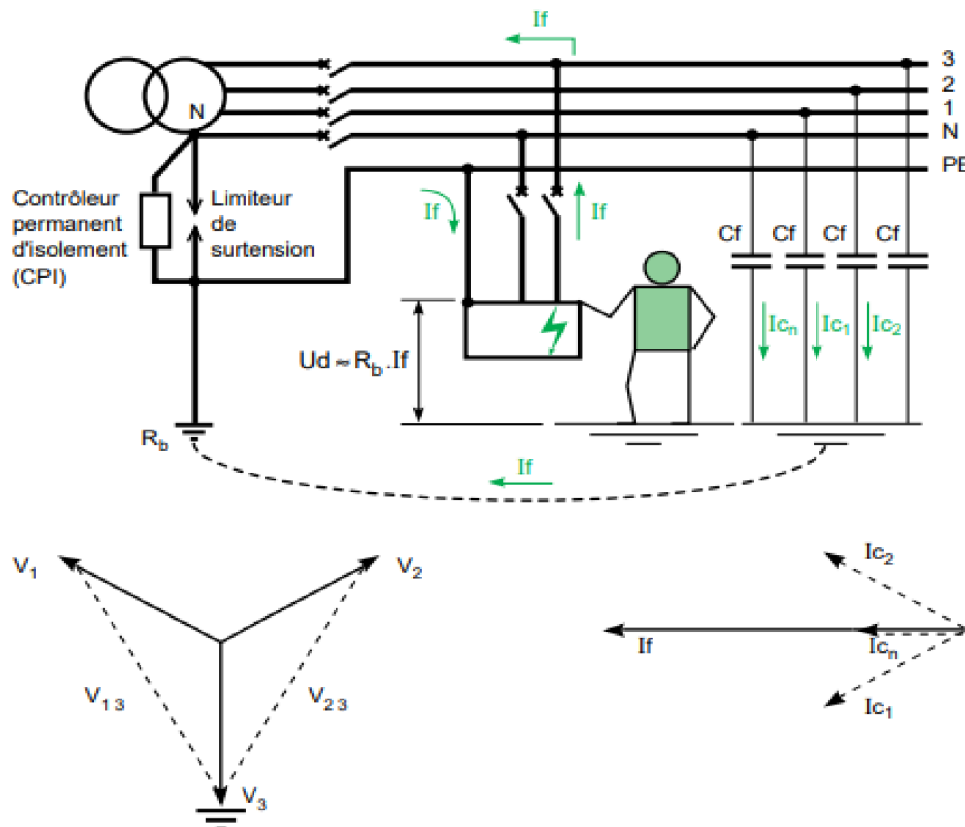


Fig.II.4 Courant de premier défaut d'isolement en schéma IT.

b) Neutre impédant

Courant de premier défaut :

$$I_d = \frac{U}{Z_{eq}} \quad (\text{II. 11})$$

$$\frac{1}{Z_{eq}} = \frac{1}{Z_n} + 3j c_f w \quad (\text{II. 12})$$

La tension de défaut correspondante reste faible et non dangereuse, l'installation peut être maintenue en service.

Continuer l'exploitation, sans danger, est fort intéressant, mais il faut :

- ✓ savoir qu'il y a un défaut
- ✓ le rechercher rapidement, et l'éliminer, ceci avant qu'un deuxième défaut ne survienne.

Pour répondre à cette attente :

- ✓ l'information « défaut présent » est donnée par un Contrôleur Permanent d'Isolement (CPI) qui surveille tous les conducteurs actifs, y compris le neutre (il est obligatoire selon la norme NF C 15-100)
- ✓ la recherche est réalisée à l'aide de localisateurs de défaut.

II.2.3.2 Comportement au deuxième défaut

Lorsqu'un deuxième défaut apparaît et que le premier défaut n'a pas été éliminé, trois cas sont à examiner :

- ❖ le défaut concerne le même conducteur actif : rien ne se passe et l'exploitation peut continuer.
- ❖ le défaut concerne deux conducteurs actifs différents : si toutes les masses sont interconnectées, le défaut double est un court-circuit (via le PE).

Le risque d'électrisation est similaire à celui rencontré avec le SLT TN. Les conditions les plus défavorables pour les DPCC (I_d le plus faible) sont obtenues dans le cas où les deux défauts se produisent sur des départs ayant les mêmes caractéristiques (sections-longueurs) (Figure II.5).

Les DPCC doivent respecter les relations :

- Si le neutre est distribué, l'un des deux conducteurs en défaut étant le neutre :

$$I_a \leq \frac{0.8U_0}{2Z} \quad (\text{II. 13})$$

- Ou si le neutre n'est pas distribué :

$$I_a \leq \frac{0,8 U_0 \sqrt{3}}{2 Z} \quad (\text{II. 14})$$

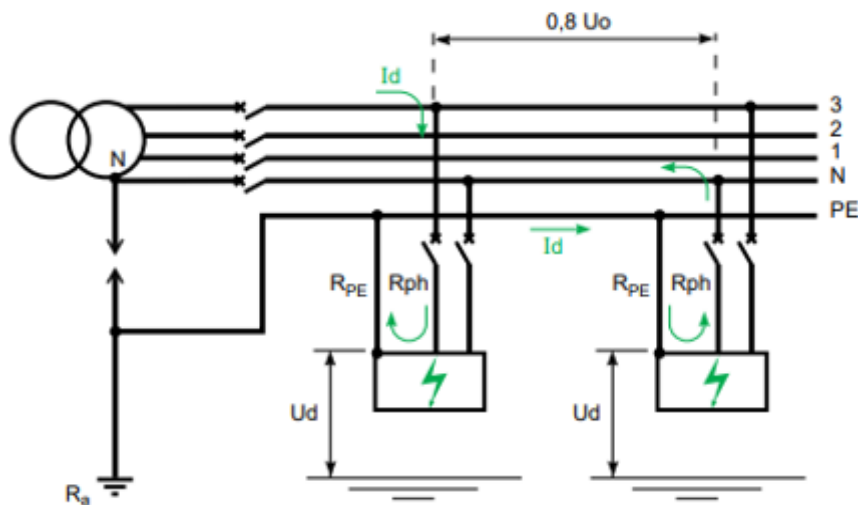


Fig.II.5 Courant de 2^{ème} défaut en schéma IT (neutre distribué) et départs concernés de même section et même longueur.

A noter que dans le cas où l'un des deux défauts est sur le neutre, le courant de défaut et la tension de défaut sont deux fois plus faibles qu'en schéma TN. Ceci a incité le normalisateur à autoriser des temps de fonctionnement des DPCC plus longs (Tableau II.2). Comme en SLT TN, la protection par DPCC n'est valable que pour des longueurs maxi de câbles :

- **Neutre distribué :**

$$L_{\max} = \frac{1}{2} \frac{0,8 U_0 S_{ph}}{\rho (1 + m) I_a} \quad (\text{II. 15})$$

- **Neutre non distribué :**

$$L_{\max} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{0,8 U_0 S_{ph}}{\rho (1 + m) I_a} \quad (\text{II. 16})$$

Ceci à condition que le neutre soit protégé et que sa section soit égale à la section des phases...C'est essentiellement pour cette raison que la norme NF C 15-100 déconseille de distribuer le neutre.

❖ le défaut concerne deux conducteurs actifs différents mais toutes les masses ne sont pas interconnectées.

Pour des masses mises à la terre individuellement ou par groupe, chaque circuit ou chaque groupe de circuits doit être protégé par un DDR. En effet, en cas de défaut d'isolement au niveau des groupes raccordés à deux prises de terre différentes, le comportement du schéma des liaisons à la terre par rapport au défaut d'isolement (I_d , U_d) est analogue à celui d'un

schéma en TT (le courant de défaut passe par la terre). La protection des personnes contre les contacts indirects est alors assurée de la même manière $I\Delta n \leq \frac{U_I}{R_a}$ selon le tableau de (Tableau II.3). A noter que les temps prescrits par la norme permettent une sélectivité chronométrique horizontale pour privilégier la continuité de service sur certains départs.

Tab.II.3 Temps de coupure maximaux spécifiés en schéma IT (selon les normes CEI 60364 et NF C 15-100, tableaux 41 B et 48 A)

U_0/U (volts)	$U_L = 50 \text{ V}$			$U_L = 25 \text{ V}$	
	Temps de coupure (secondes)			Temps de coupure (secondes)	
U_0 : tension phase/neutre	Neutre non distribué neutre distribué			Neutre non distribué neutre distribué	
127/220	0.8	5		0.4	1.00
230/400	0.4	0.8		0.2	0.5
400/690	0.2	0.4		0.06	0.2
580/1000	0.1	0.2		0.02	0.08

Pour protéger un réseau BT isolé de la terre (IT) contre les élévations de tension (amorçage dans le transformateur MT/BT, contact accidentel avec un réseau de tension plus élevée, foudre sur le réseau MT), la norme NF C 15-100 impose qu'un limiteur de surtension soit installé entre le point neutre du transformateur MT/BT et la terre (Rb).

II.3 Appareillages liés au choix du SLT [12]

Le choix d'un SLT a des conséquences en termes de sûreté (au sens large), mais aussi en termes d'installation, particulièrement en ce qui concerne l'appareillage à mettre en œuvre.

II.3.1 SLT-TN- « Mise au neutre »

Dans ce schéma, ce sont les DPCC (disjoncteur ou fusibles) qui assurent en général la protection contre les défauts d'isolement, avec un déclenchement automatique suivant un temps de coupure maximal spécifié (fonction de la tension simple U_0 (Tableau II.1)).

Avec disjoncteur le déclenchement se fait dans un seuil déterminé par le type de déclencheur (Tableau II.4) dès que le courant de défaut dépasse le seuil du déclencheur de protection contre les courts-circuits (en général « instantané »), il y a ouverture dans un temps nettement inférieur au temps de coupure maximal spécifié, par exemple 5 s pour les circuits de distribution (norme NF C 15-100 § 413.1.3.3) et 0,4 s pour les circuits terminaux.

Tab.II.4 Courant de déclenchement (magnétique ou court retard) des disjoncteurs BT

	Type de déclencheur	Seuil de fonctionnement
Domestique (EN 60898)	B	$3 I_n \leq I_a \leq 5 I_n$
	C	$5 I_n \leq I_a \leq 10 I_n$
	D	$10 I_n \leq I_a \leq 20 I_n$
Industriel (norme CEI 60947-2)	G (seuil bas)	$2 I_n \leq I_a \leq 5 I_n$
	D	$5 I_n \leq I_a \leq 10 I_n$
	MA (pour démarreur-moteur)	$6.3 I_n \leq I_a \leq 12.5 I_n$

Quand l'impédance de la source et des câbles a une valeur élevée, il faut utiliser des déclencheurs à seuil bas, sinon associer des DDR aux DPCC. Ces DDR peuvent être des relais différentiels séparés ou associés aux disjoncteurs (disjoncteurs différentiels) de basse sensibilité. Leur seuil doit être :

$$I\Delta n < \frac{0,8 U_0}{R_{ph} + R_{PE}} \quad (\text{II. 17})$$

Les fusibles employés pour la protection contre les courts-circuits sont de type gG, et leurs caractéristiques temps/courant (Tableau II.5) sont définies par des normes (fusibles domestiques : CEI 60241, fusibles industriels : CEI 60269). Vérifier l'adéquation avec le temps de coupure maximal spécifié impose donc une validation individuelle des calibres prévus pour chaque protection.

S'il n'y a pas adéquation il faut, soit diminuer l'impédance de la boucle de défaut (augmentation des sections), soit remplacer le fusible par un disjoncteur à seuil bas ou par un disjoncteur différentiel.

Tab.II.5 Exemple des limites des seuils de fonctionnement des fusibles (selon la norme CEI 60269 § 5-6-3)

I_n gG (A)	I_{min.} 10 s	I_{max.} 5 s	I_{min.} 0,1 s	I_{max.} 0,1 s
63	160	320	450	820
80	215	425	610	110
100	290	580	820	1450

Avec ce schéma, la faible valeur des courants de défaut ne permet pas aux DPCC d'assurer

la protection des personnes contre les contacts indirects. Il faut employer des DDR associés à des disjoncteurs (Figure II.6 et II.7) ou à des interrupteurs (cf. CEI 60364 - § 413.1.4.2 et NF C 15-100).

II.3.2 SLT-TT- « Neutre à la terre »

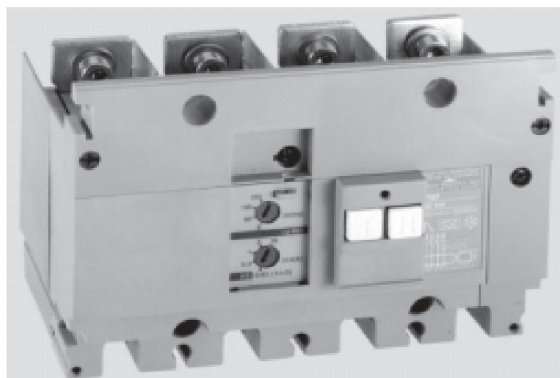


Fig.II.6 Blocs vigi de Compact NS[13].

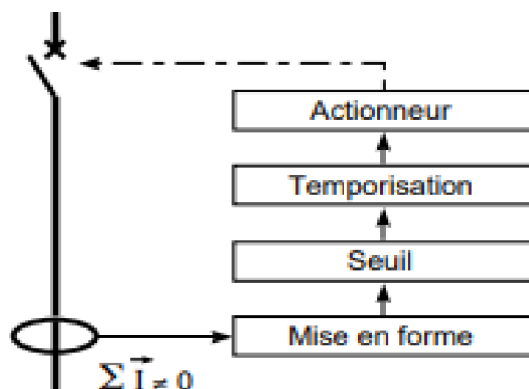


Fig.II.7 Schémas fonctionnels d'un DDR[13].

Leur mise en œuvre doit satisfaire aux objectifs :

- de protection des personnes soit :
 - ❖ seuil $I\Delta n \leq UL/Ra$
 - ❖ temps de coupure ≤ 1 s
- de continuité de service avec seuils et temporisations permettant la sélectivité ampèremétrique et chronométrique.
- de protection incendie avec $I\Delta n \leq 500$ ma

II.3.3 SLT-IT- « Neutre isolé de la terre »

Rappelons qu'en cas de défaut double, la sécurité des personnes est assurée par les DPCC. Lors du premier défaut d'isolement, le calcul nous a montré qu'il n'y avait pas de danger (tension de contact bien inférieure à la tension limite de sécurité). La mise hors tension automatique n'est donc pas obligatoire : c'est l'avantage essentiel de ce schéma.

Pour conserver cet avantage, les normes préconisent (CEI 60364 - § 413.1.5.4) ou imposent (NF C 15 -100) la mise en œuvre d'un Contrôleur Permanent d'Isolement -CPI- et la recherche du premier défaut. En effet, si un deuxième défaut survient, la coupure automatique est indispensable puisqu'il y a le risque d'électrisation, c'est alors le rôle des DPCC éventuellement complétés de DDR.

La recherche du premier défaut pour réparation (maintenance curative) est grandement facilitée par l'emploi d'un Dispositif de Localisation de Défaut -DLD-. Une maintenance prédictive, basée sur le suivi (enregistrement) des variations des impédances d'isolement de chaque circuit, est également possible.

II.3.3.1 Principe de fonctionnement des CPI

Un défaut sur un circuit, se traduit au niveau du réseau par une baisse d'isolement, plus exactement de résistance du réseau par rapport à la terre. Les CPI et les DLD doivent répondre à la norme de fabrication UTE 63080. Les CPI ont donc comme fonction de surveiller la valeur de cette résistance.

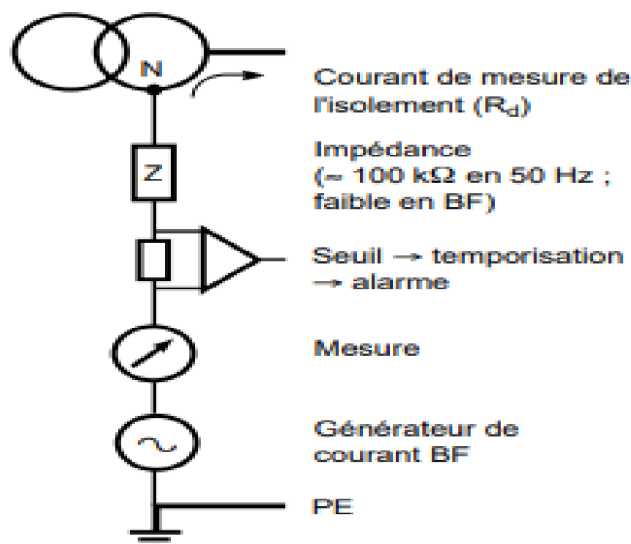


Fig.II.8 Schéma fonctionnel d'un contrôleur permanent d'isolement (CPI).

En général, ils fonctionnent sur le principe d'une injection, entre le réseau et la terre, d'un courant, alternatif ou continu, dont ils mesurent la valeur (Figure II.8). L'injection d'un courant continu permet de connaître en permanence la résistance d'isolement du réseau. Si celle-ci passe en dessous d'un seuil préétabli, le CPI signale le défaut.

L'injection de courant alternatif basse fréquence ($F \approx$ quelques hertz) permet le contrôle de la résistance de défaut, mais avec une distorsion due à la présence des capacités de fuite du réseau. Cet inconvénient mineur, vu la fréquence d'injection, est compensé par un avantage au niveau de la recherche du premier défaut (un seul dispositif d'injection).

II.3.3.2 Principe de fonctionnement des DLD

La solution la plus fréquemment employée consiste à injecter un courant identifiable (de fréquence différente de celle du réseau). Le générateur peut être le CPI. Puis au moyen de capteurs magnétiques (transformateurs toriques et/ou pince Ampèremétrique) associés à un amplificateur accordé à la fréquence du courant injecté, de suivre son parcours jusqu'au point de défaut (Figure II.9). Enfin une autre solution est aussi exploitée. Elle consiste à comparer, en permanence et pour chaque départ, la valeur de sa résistance à une valeur de seuil prédéfinie ou programmable.

Cette dernière solution exploitée par des moyens informatiques permet tout à la fois, en local et à distance, de :

- ❖ signaler le premier défaut (CPI)

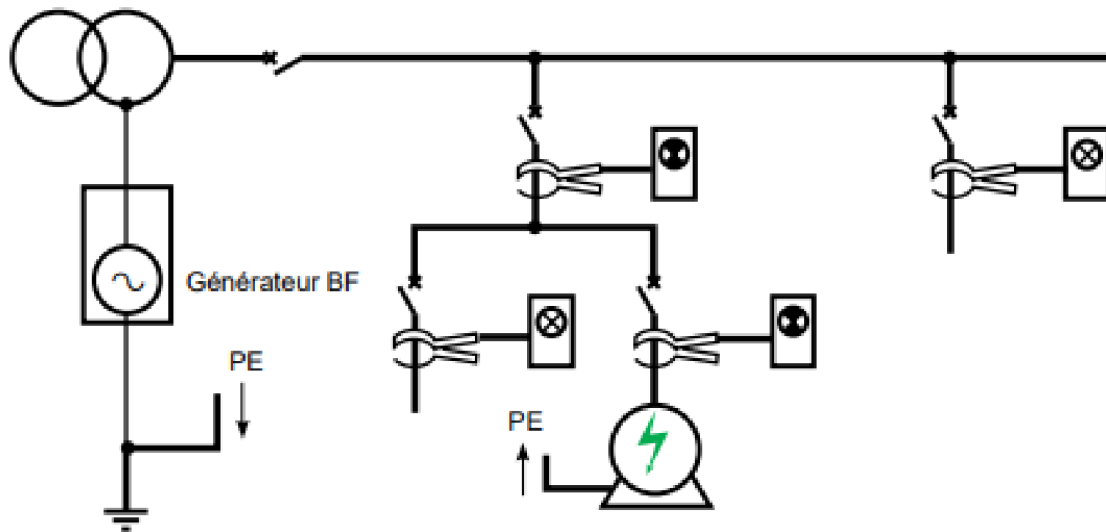


Fig.II.9 Localisation du défaut d'isolement par suivi du trajet d'une courante basse fréquence injectée à l'origine de l'installation.

- ❖ Puis de le repérer (DLD) pour réparation (maintenance curative) (Figure II.10)
- ❖ et de connaître l'évolution de l'isolement dans le temps, départ par départ, pour intervenir sur les départs dont l'isolement baisse anormalement (maintenance prédictive).

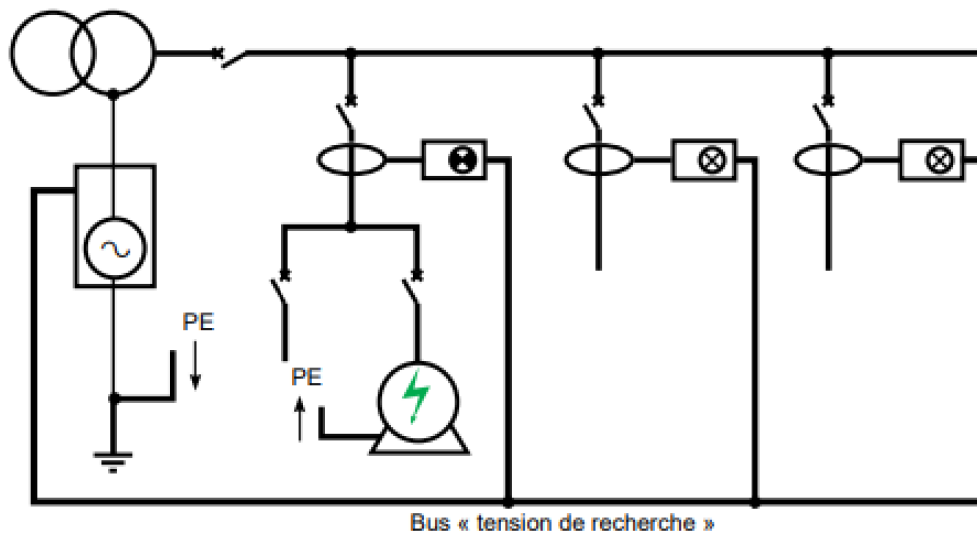


Fig.II.10 Principe de fonctionnement d'un DLD à mesure d'impédance en BF.

Le passage dans les conducteurs du courant de recherche est détecté par des capteurs magnétiques (tores). Chaque récepteur qui comporte un amplificateur sélectif (calé sur la fréquence et la phase du courant de recherche) calcule la résistance et la capacité du circuit

(avec la tension et la phase dont il a la référence par un bus) et signale la présence du défaut.

II.3.4 Protection du neutre selon le SLT

Le neutre doit être coupé par un dispositif omnipolaire :

- En régime TT et TN si la section du neutre est inférieure à la section des phases
- En distribution terminale vu le risque d'inversion neutre/phase.

Le neutre doit être protégé et coupé :

- En régime IT pour intervention de la protection au défaut double, l'un des défauts pouvant être sur le neutre
- En régime TT et TN-S si la section du neutre est inférieure à la section des phases
- Quel que soit le SLT si l'installation génère des courants harmoniques de rang 3 et multiples (surtout si la section du neutre est réduite).

En TN-C le neutre, qui est aussi le PE, ne peut être coupé, ce qui est dangereux du fait de ses variations de potentiel, dus aux courants de charge et aux courants de défaut d'isolement.

Pour éviter les risques, il est nécessaire d'avoir, pour chaque zone/abonné, une équipotentialité locale et une prise de terre.

Conclusion

Ce chapitre traite les différents types de régime du neutre en BT et comment calculer les courants de défauts et la tension de contact pour chaque type de régime du neutre.

La deuxième partie met en évidence comment choisir le DDR selon les normes internationales et les différents type des appareille de protection et le principe de fonctionnement de chaque type.

*Chapitre III: Calcul des courants
de court-circuit en BT*

Introduction

Le calcul de court-circuit est un processus essentiel dans le domaine de l'électrotechnique et de l'ingénierie électrique. Il s'agit d'une méthode permettant de déterminer les courants qui se produisent lorsqu'un court-circuit se produit dans un système électrique. Les court-circuits, souvent causés par des défauts d'isolement ou des défaillances des équipements, peuvent entraîner des dommages importants aux équipements électriques, voire mettre en danger la sécurité des personnes. Ce chapitre se concentre sur les principes et les méthodes utilisés pour le calcul de court-circuit. Nous examinerons les différentes étapes impliquées dans le processus, tels que les impédances, et l'application des lois de Kirchhoff pour résoudre les équations de courant.

III. Les court-circuit [14], [15], [16]

III.1 Définition

Un court-circuit est un phénomène électrique qui se produit notamment lorsqu'un conducteur sous tension se trouve mis en contact accidentellement avec un conducteur de tension différente ou avec une pièce conductrice reliée à la terre (bâti de machine, support de ligne...), ou avec la terre elle-même. Il se traduit par une augmentation brusque de l'intensité du courant qui peut aller jusqu'à provoquer un incendie.

III.2 Les causes des courts-circuits

Un court-circuit peut apparaître de 2 manières différentes :

➤ Contact direct :

- Contacte entre 2 conducteurs lors des balancements (vents violents),
- Chut d'un corps étranger sur les lignes aériennes

➤ Contact indirect :

- Casse d'un isolateur,
- Claquage de l'huile isolante d'un transformateur.

✚ La dégradation des isolants due à :

- Une dégradation de la qualité de surface (pollution).
- Une température excessive.
- Une décharge partielle dans les vacuoles (micropoches) à l'intérieur des isolants.

✚ La diminution accidentelle des distances d'isolement (présence d'animaux, branches D'arbre,).

✚ La destruction pour cause extérieure.

- ✚ Les surtensions entraînant le claquage de l'isolation des matériels (surtension de manœuvre ou coup de foudre).

III.3 Les effets des courts-circuits

Les courts-circuits peuvent avoir plusieurs effets :

➤ Échauffement des conducteurs

L'échauffement des conducteurs est l'augmentation de la température des matériaux conducteurs lorsqu'un courant électrique les traverse.

➤ Ramollissement ou carbonisation des matières isolantes

Lorsque les matériaux utilisés pour protéger les conducteurs électriques sont exposés à des températures élevées, ils se ramollissent ou carbonisent.

➤ Érosion des conducteurs et isolateurs

L'usure des matériaux utilisés dans les systèmes électriques est connue sous le nom d'érosion des conducteurs et des isolateurs, qui peut entraîner des problèmes de transmission de l'électricité et augmenter les risques de court-circuit, des mesures d'entretien et le choix de matériaux résistants sont nécessaires pour prévenir l'érosion.

➤ Courant et tension dangereux au sol

La présence d'un courant ou d'une tension dangereux sur la terre indique qu'il peut y avoir un courant ou une tension dangereux, les mesures de prévention et de sécurité comprennent un isolement adéquat des équipements, des inspections régulières et des mesures appropriées en cas de problème.

III.4 Méthode pour le calcul du courant de court-circuit[14], [15], [16] et [17]

III.4.1 Calcul des courants de court-circuit par la méthode des impédances

III.4.1.1 Définition

La méthode des impédances permet de calculer avec précision les courants de défaut en tout point d'une installation BT. Cette impédance est calculée en totalisant séparément les différentes résistances et réactances. Cette méthode vise à fournir tous les éléments nécessaires pour calculer les différents courts-circuits.

III.4.1.2 Les différents types de courant de court-circuit

- ❖ Triphasé.
- ❖ Monophasé isolé.
- ❖ Biphasé isolé.

❖ Biphase terre.

Pour obtenir le courant de court-circuit I_{cc} en appliquant la loi d'Ohm dans chaque type de court-circuit.

I_{cc} : selon les différents types de court-circuit.

➤ **Court-circuit triphasé**

La valeur du courant de court-circuit triphasé I_{cc3} est alors :

$$I_{CC3} = \frac{U}{\sqrt{3} Z_{CC}} \tag{III.1}$$

U : Tension composée entre phases,

Z_{CC} : impédance équivalente à l'ensemble des impédances parcourues par le courant de court-circuit. Il est égal selon la relation suivante :

$$Z_{CC} = \sqrt{(\sum R)^2 + (\sum X)^2} \tag{III.2}$$

$\sum R$ = la somme des résistances en série.

$\sum X$ = la somme des réactances en série.



Figure III.1 Courants de court-circuit en défaut triphasé [12].

Le défaut triphasé est généralement considéré comme celui provoquant les courants de défaut les plus élevés. En effet, le courant de défaut dans le schéma équivalent d'un système polyphasé, n'est limité que par l'impédance d'une phase sous la tension simple du réseau. Le calcul d' I_{cc3} est donc indispensable pour choisir les matériels (intensités et contraintes électrodynamiques maximales à supporter) [12].

➤ **Court-circuit monophasé isolé**

Il correspond à un défaut entre une phase et le neutre, alimenté sous une tension simple :

$$V = \frac{U}{\sqrt{3}} \tag{III.3}$$

L'intensité I_{cc1} débitée est alors :

$$I_{CC1} = \frac{U/\sqrt{3}}{Z_{CC} + Z_{LN}} \tag{III.4}$$

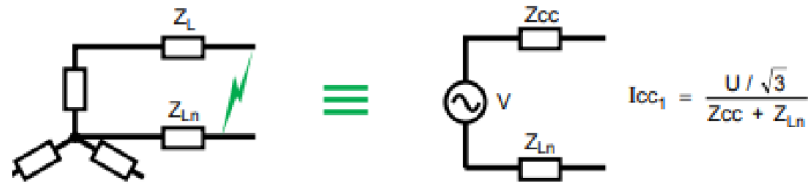


Figure III.2 Courants de court-circuit en défaut monophasé.

Dans certains cas particuliers de défaut monophasé l'impédance homopolaire de la source est plus faible que Z_{cc} (par exemple aux bornes d'un transformateur à couplage étoile-zig zag ou d'un alternateur en régime subtransitoire). L'intensité monophasée peut être alors plus élevée que celle du défaut triphasé.

➤ **Court-circuit biphasé isolé**

Il correspond à un défaut entre deux phases, alimenté sous une tension composée U . L'intensité I_{cc} débitée est alors inférieure à celle du défaut triphasé:

$$I_{cc2} = \frac{U}{2 \cdot Z_{cc}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{cc3} \approx 0.86 I_{cc3} \tag{III.5}$$

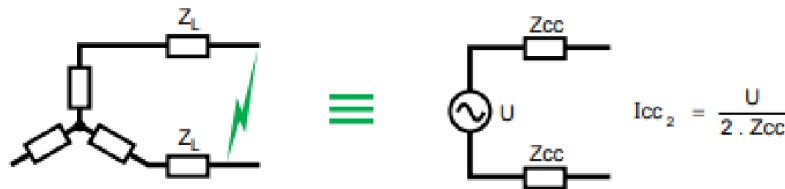


Figure III.3 Courants de court-circuit en défaut biphasé.

Dans le cas d'un défaut proche des machines tournantes, les impédances de celles-ci sont telles que I_{cc2} est proche de I_{cc3} .

➤ **Court-circuit à la terre (monophasé ou biphasé)**

Ce type de défaut fait intervenir l'impédance homopolaire Z_0 . Sauf en présence de machines tournantes où l'impédance homopolaire se trouve réduite, l'intensité I_{cc0} débitée est alors inférieure à celle du défaut triphasé. Son calcul peut être nécessaire, selon le régime du neutre (schéma de liaison à la terre), pour le choix des seuils de réglage des dispositifs de protection homopolaire (HT) ou différentielle (BT).

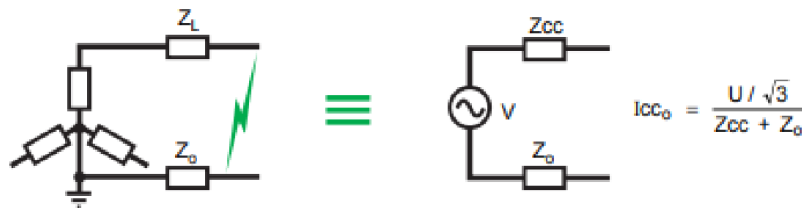


Figure III.4 Courants de court-circuit en à la terre.

III.5 Détermination des diverses impédances de court-circuit

La connaissance du réseau amont se limite généralement aux indications fournies par le distributeur, à savoir uniquement la puissance de court-circuit S_{cc} (en MVA).

III.5.1 Impédances du réseau [16], [17]

- **Impédance du réseau amont :**

L'impédance équivalente du réseau amont est :

$$Z_a = \frac{U^2}{S_{CC}} \quad (\text{III. 6})$$

U : est la tension composée du réseau nonchargé.

III.5.2 Impédance interne du transformateur

L'impédance se calcule à partir de la tension de court-circuit U_{cc} exprimée en % :

- **Impédance interne du transformateur :** L'impédance se calcule à partir de la tension de court-circuit U_{cc} exprimée en % :

$$Z_T = U_{cc} \left(\frac{U^2}{S_n} \right) \quad (\text{III. 7})$$

Avec:

U : tension composée à vide du transformateur,

S_n : puissance apparente du transformateur.

U_{cc} : tension de court-circuit du transformateur. En général $R_T \ll X_T$, de l'ordre de 0,2 X_T , et l'impédance interne des transformateurs peut être assimilée à la réactance X_T . Avec la prise en compte de l'impédance amont au transformateur et de l'impédance interne du transformateur, le courant de court-circuit s'exprime par:

$$I_{CC} = \frac{U}{\sqrt{3}(Z_a + Z_T)} \quad (\text{III. 8})$$

III.5.2.1 Expression des impédances en pour cent

Une impédance Z a une valeur de $P\%$ si la chute de tension due au passage du courant nominal dans cette impédance, rapportée à la tension nominale, a une valeur de $P\%$:

$$P/100 = \frac{Z \cdot I_N}{V_N} \quad (\text{III. 9})$$

V_N : est la tension étoilée nominale.

I_N : est le courant nominal.

On peut transformer la formule précédente en introduisant la puissance apparente nominale

triphasee S_N de l'appareil considéré ainsi que sa tension composée nominale:

$$P/100 = \frac{(Z \cdot I_N)}{V_N} = \frac{(\sqrt{3}Z \cdot I_N V_N \sqrt{3})}{3U_N^2} \quad (\text{III. 10})$$

$$P/100 = \frac{(\sqrt{3}Z \cdot I_N U_N)}{U_N^2} = \frac{Z \cdot S_N}{U_N^2} \quad (\text{III. 11})$$

Cette relation se rencontre souvent sous la forme:

$$Z = (P/100) \times \frac{U_N^2}{S_N} \quad (\text{III. 12})$$

La tension de court-circuit et l'impédance s'exprime en pour cent par le même nombre $P/100$.

III.5.3 Impédance des liaisons

L'impédance des liaisons Z_L dépend de leur résistance et réactance linéiques, et de leur longueur. la résistance linéique R_L des lignes aériennes, des câbles et des jeux de barres se calcule avec l'équation :

$$R_L = \frac{\rho}{S} \quad (\text{III. 13})$$

S = section du conducteur ;

ρ = sa résistivité,

Les résistances kilométriques par phase d'un conducteur de section S est donnée par les expressions approximatives suivantes:

-Cuivre : $R (\Omega) = 18/S (\text{mm}^2)$,

-Aluminium : $R (\Omega) = 30/S (\text{mm}^2)$,

-Almelec : $R (\Omega) = 33/S (\text{mm}^2)$,

- Aluminium Acier : $R (\Omega) = 36/S (\text{mm}^2)$.

La réactance linéique des lignes aériennes, descâbles et des jeux de barres se calcule par :

$$X_l = L \cdot w = \left[15.7 + 144.44 \cdot \log_{10} \left(\frac{d}{t} \right) \right] \quad (\text{III. 14})$$

Exprimée en $\text{m}\Omega / \text{km}$ pour un système de câblesmonophasé ou triphasé, avec en mm r = rayon des âmes conductrices ;

d = distance moyenne entre les conducteurs.

La valeur de la réactance kilométrique par phase est approximativement:

- $X (\Omega/\text{km}) = 0.4$ pour les lignes aériennes.

- $X (\Omega/\text{km}) = 0.1$ environ pour les câbles souterrains.

III.5.4 Impédance des machines tournantes

III.5.4.1 Alternateurs synchrones

Les impédances des machines sont généralement exprimées en pourcentage de la manière suivante :

$$\frac{X}{100} = \frac{I_N}{I_{cc}} \quad (\text{III. 15})$$

(X est l'équivalent de U_{cc} des transformateurs).

Soit :

$$Z = \frac{X}{100} \cdot \frac{U^2}{S_N} \quad (\text{III. 16})$$

Avec :

U : Tension composée à vide de l'alternateur.

S_N : Puissance apparente (VA) de l'alternateur.

De plus, l'impédance Z est confondue avec la réaction X car R/X est faible, de l'ordre de 0,05 à 0,1 en cc A et 0,1 à 0,2 en BT.

Le tableau III.1 indique des valeurs de x pour les turbo-alternateurs à rotor lisse et les alternateurs "hydrauliques" à pôles saillants (faibles vitesses).

Tab.III.1 Valeurs de réactances d'alternateurs, en % [12].

	Réactance subtransitoire	Réactance transitoire	Réactance synchrone
Turbo-alternateur	10-20	15-25	150-230
Alternateurs à pôles saillants	15-25	25-35	70-120

On peut être surpris de voir que les réactances synchrones de court-circuit dépassent 100 % à la lecture de ce tableau. Mais l'intensité nominale véhicule principalement la puissance active fournie par la turbine ($\cos \varphi$ de 0,8 à 1), tandis que l'intensité de court-circuit est essentiellement selfique et fait appel à toute l'énergie réactive que peut fournir l'inducteur même surexcité.

III.5.4.2 Moteurs et compensateurs synchrones

Ces machines ont un comportement similaire à celui des alternateurs : elles débitent une intensité dans le réseau en fonction de leur réactance en %.

Tab.III.2 Réactances en % des moteurs et compensateurs synchrones [12].

	Réactance subtransitoire	Réactance transitoire	Réactance synchrone
Moteurs grandes vitesses	15	25	80
Moteurs petites vitesses	35	50	100
Compensateurs	25	40	160

III.5.4.3 Moteurs asynchrones

Un moteur asynchrone qui est soudainement séparé du réseau maintient une tension à ses bornes qui s'amortit en quelques centièmes de seconde. Lorsqu'il y a un court-circuit à ces bornes, le moteur produit une intensité qui s'annule encore plus rapidement avec une constante de temps d'environ :

- ❖ 20 ms pour les moteurs à simple cage jusqu'à 100 kW.
- ❖ 30 ms pour les moteurs à double cage, et ceux de plus de 100 kW.
- ❖ 30 à 100 ms pour les très gros moteurs HT(1000 kW) à rotor bobiné.

En cas de court-circuit, le moteur asynchrone agit comme un générateur avec une impédance (seulement subtransitoire) de 20 à 25 %. Étant donné qu'il est difficile de prévoir le nombre moyen de moteurs en service qui vont débiter dans le défaut au moment d'un court-circuit, le grand nombre de moteurs BT de faible puissance unitaire présents dans les installations industrielles est un sujet de réflexion. Ainsi, le calcul du courant de retour de chaque moteur en tenant compte de son impédance de liaison est laborieux et inutile. Cela signifie que la contribution au courant de défaut de tous les moteurs asynchrones BT d'une installation doit être prise en compte en général .

III.6 Autres impédances [18]

III.6.1 Condensateurs

Une batterie de condensateurs shunt à proximité du point de défaut se décharge, augmentant ainsi l'intensité du court-circuit. Bien que sa fréquence soit très supérieure à celle du réseau, cette décharge oscillante amortie a une première crête de valeur élevée qui se superpose à la première crête d'intensité de court-circuit. Deux cas extrêmes peuvent être envisagés selon la coïncidence de l'instant initial du défaut avec l'onde de tension :

- Le courant de décharge de court-circuit est asymétrique et a une première crête d'amplitude maximale si cet instant coïncide avec un zéro de tension.
- En revanche, parce que la batterie est symétrique, si cet instant coïncide avec un maximum de

tension, elle débite une intensité supérieure à la première crête du courant de défaut de faible valeur. Ainsi, il est peu probable que cette superposition provoque une première crête plus importante que le courant de crête d'un défaut asymétrique, sauf pour des batteries très puissantes.

Il n'est donc pas nécessaire de prendre en compte les batteries de condensateurs pour calculer le courant maximum de court-circuit. Mais lors du choix de la technologie des disjoncteurs, il est important de prendre en compte ces considérations. En effet, elles réduisent considérablement la fréquence propre du circuit lors de l'ouverture, ce qui a un impact sur la coupure.

III.6.2 Appareillage

Il est possible de prendre en compte l'impédance de certains appareils tels que les disjoncteurs, les contacteurs à bobine de soufflage et les relais thermiques directs. Lors du calcul de l' I_{cc} , cette impédance ne doit être prise en compte que pour les appareils qui se trouvent en amont de celui qui doit ouvrir sur le court-circuit envisagé et qui restent fermés (disjoncteurs sélectifs). Les appareils de coupure doivent être distingués en fonction de la rapidité de leur ouverture :

- ❖ Certains appareils, tels que les disjoncteurs appelés « rapides limiteurs », ouvrent très rapidement et réduisent considérablement les courants de court-circuit. En conséquence, les efforts électrodynamiques et les contraintes thermiques pour la partie concernée de l'installation sont très inférieurs aux maxima théoriques.
- ❖ Les disjoncteurs à déclenchement retardé ne présentent pas cet avantage.

Conclusion

Le calcul de court-circuit est une étape cruciale dans la conception et l'exploitation des systèmes électriques. Il permet d'évaluer les courants qui se produiraient en cas de défaut, tels que les courts-circuits, et d'assurer la sécurité des installations électriques.

Le calcul de court-circuit permet de déterminer les courants maximums qui circuleraient dans les différents composants du système en cas de défaut. Ces informations sont essentielles pour la sélection des dispositifs de protection appropriés, tels que les disjoncteurs et les fusibles, afin de limiter les dommages causés par les courts-circuits.

De plus, le calcul de court-circuit permet de dimensionner les conducteurs, les transformateurs et les autres éléments du réseau électrique en fonction des courants de court-circuit prévus. Cela garantit que les composants sont capables de supporter les charges électriques auxquelles ils seront soumis, évitant ainsi les surchauffes et les défaillances potentielles.

Chapitre IV: Applications

Introduction

Le choix du régime de neutre est une étape essentielle dans la conception et la mise en place d'un système électrique. Les régimes de neutre les plus couramment utilisés sont le régime de neutre **TT**, le régime de neutre **TN** et le régime de neutre **IT**.

Chacun de ces régimes présente des caractéristiques spécifiques en termes de sécurité, de fiabilité et de protection des personnes et des équipements électriques.

Dans ce chapitre, nous aborderons la réalisation de quelques applications sur les concepts fondamentaux des régimes de neutre **TT**, **TN** et **IT**, ainsi que leur application pratique. Nous utiliserons également le logiciel **Ecodial** [3] pour illustrer les différentes étapes de conception et de calcul associées à chaque régime de neutre.

En conclusion, ce chapitre d'application vise à fournir aux professionnels de l'électricité une compréhension approfondie des régimes de neutre **TT**, **TN** et **IT**, ainsi que des outils pratiques pour leur mise en œuvre à l'aide du logiciel **Ecodial**[3]. Une bonne connaissance de ces régimes de neutre est essentielle pour garantir des installations électriques sûres, fiables et conformes aux normes en vigueur.

IV. Etude des régimes du neutre

Cette étude sera consacrée à l'analyse des différents régimes du neutre dans les installations **BT** d'où la mise à la terre prend plusieurs formes topologiques pour voir leurs effets sur l'écoulement du courant de défaut. Pour se faire, nous allons considérer les sections des phases suivantes pour les régimes **TN** et **IT**:

TAB.IV.1 Section des conducteurs par phase.

S_{PH} (mm²)	8	16	25	35	50	65
--	---	----	----	----	----	----

A partir de ce Tableau nous pouvons calculer les sections des conducteurs de protection.

TAB.IV.2 Méthode de calcul des sections des conducteurs PE.

	Section des conducteurs de phase S _{PH} (mm ²)		Section du Conducteur PE
	Cu	Alu	
Méthode simple	<=16	<=16	S _{PE} =S _{PH}
	25	25	S _{PE} =16
	35	35	
	>35	>35	S _{PE} =S _{PH} /2

L'alimentation de l'installation est considérée comme une source triphasée **BT** qui prend la forme de la Figure IV.1 et s'écrit comme suit:

$$V1(t) = 230\sqrt{2}\sin(\omega t)$$

$$V2(t) = 230\sqrt{2}\sin(\omega t - 2\pi/3)$$

$$V3(t) = 230\sqrt{2}\sin(\omega t + 2\pi/3)$$

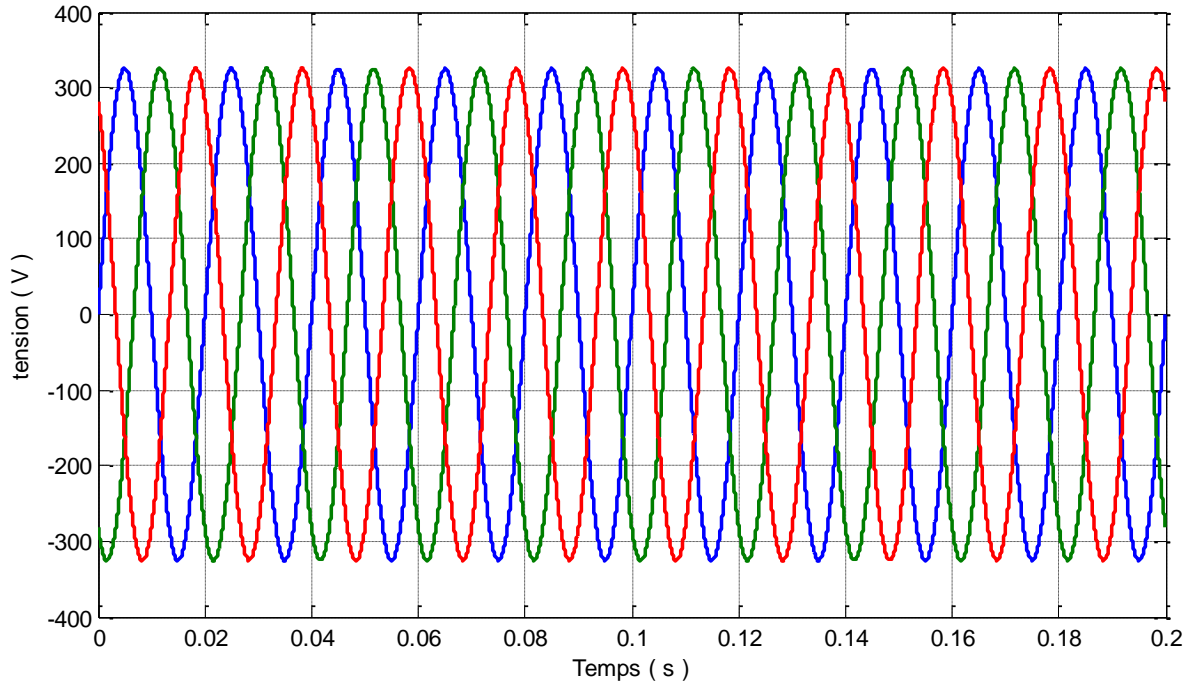


Fig.IV.1 Tensions d'alimentation triphasées.

Les résistivités du cuivre et de l'aluminium à 25°C est égale à $22.5 \cdot 10^{-9} \Omega \cdot m$ et $36 \cdot 10^{-9} \Omega \cdot m$ respectivement. Il faut noter aussi que dans cette étude on néglige les réactances de la ligne.

Le défaut d'isolement est supposé se produire à l'instant 0.04s tout au long de cette étude.

IV.1 Régime du neutre TT

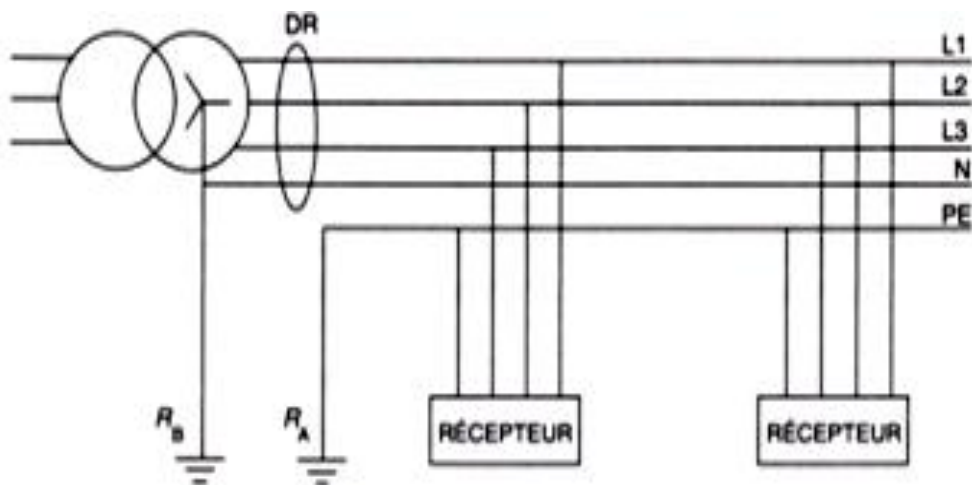


Fig.IV.2 Schéma général du régime TT.

Le schéma de liaison à la terre illustré sur la Figure IV.2 est constitué de deux récepteurs métalliques ayant ensemble une résistance $R_{\text{récp}}$ égale à 80Ω . Les résistances de mise à la

terre du neutre de transformateur et des masse métallique des récepteurs ont des valeurs $R_A=15 \Omega$ et $R_B=12 \Omega$. (Figure IV.3) montre l'évolution du courant de défaut dans un régime de neutre **TT** lorsque le défaut apparaît à l'instant 0.04s.

Le courant est donnée par la relation suivante:

- Sans défaut:

$$I = \frac{V1(t)}{R_{\text{récp}}} \tag{IV.1}$$

- Avec défaut :

$$I_d = \frac{V1(t)}{R_a + R_b} \tag{IV.2}$$

D'après la Figure IV.3 nous constatons que le courant de défaut augmente vers une valeur de 12A en comparaison à celle du courant de l'avant défaut qui est à environ 4 A ce qui nécessite l'intervention du dispositif différentiel.

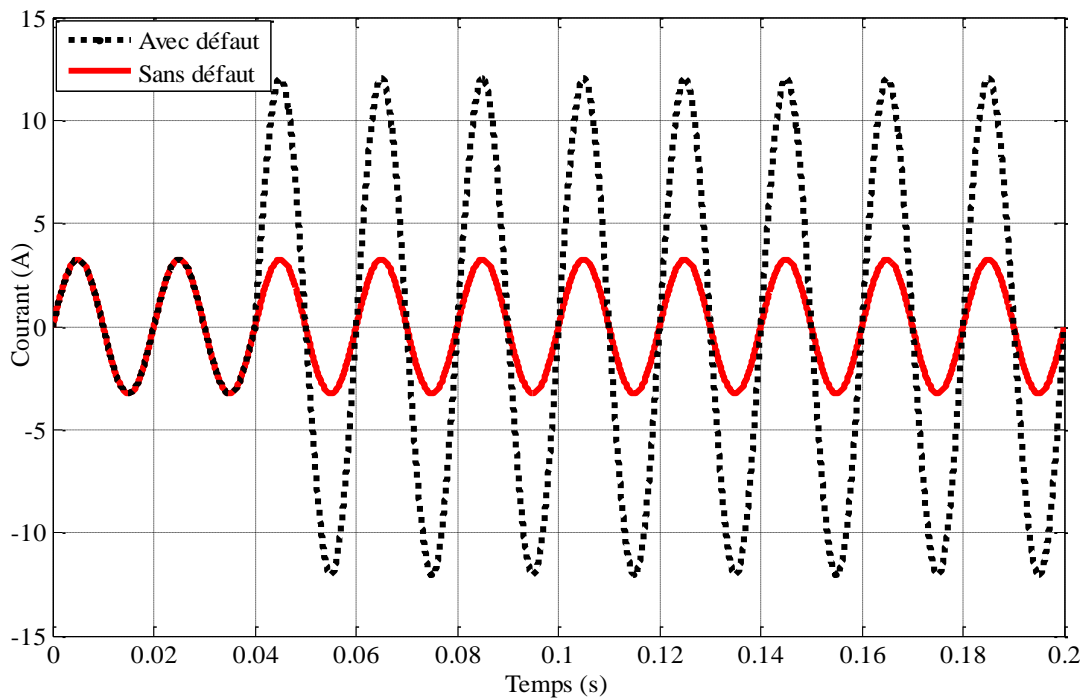


Fig.IV.3 Courant de défaut dans un régime de neutre TT.

IV.1.2 Effet des prises de terre sur l'écoulement du courant de défaut

La prise de terre des installations électrique BT joue un rôle primordial dans l'écoulement rapide des courants de défaut d'isolement par la diminution de la résistance du sol et par la suite la protection des personnes contre les contacts indirects en évitant une tension de contact entre la personne et la masse métallique (carcasse) .

Dans ce qui va suivre, nous allons tester des mises à la terre à topologies distinctes pour distinguer la mieux adaptée dans les installations électriques. Pour cet effet, nous allons considérer trois types de mise à la terre.

- 1- Mise à la terre en boucle de fouille en cuivre dont la longueur L est égale à 100 m.
- 2- Mise à la terre sous forme de 3 piquets verticaux en cuivre de longueur 3 m chacun.
- 3- Mise à la terre sous forme de plaque verticale en cuivre de 1 m de longueur.

Il faut noter qu'on a pris les dimensions minimales de chaque prise de terre pour que la comparaison soit pratique. La résistivité du sol est prise égale pour les trois types soit $\rho = 100 \Omega.m$. Les méthodes de calcul des résistances équivalentes des mises à la terre sont résumées dans l'annexe B.

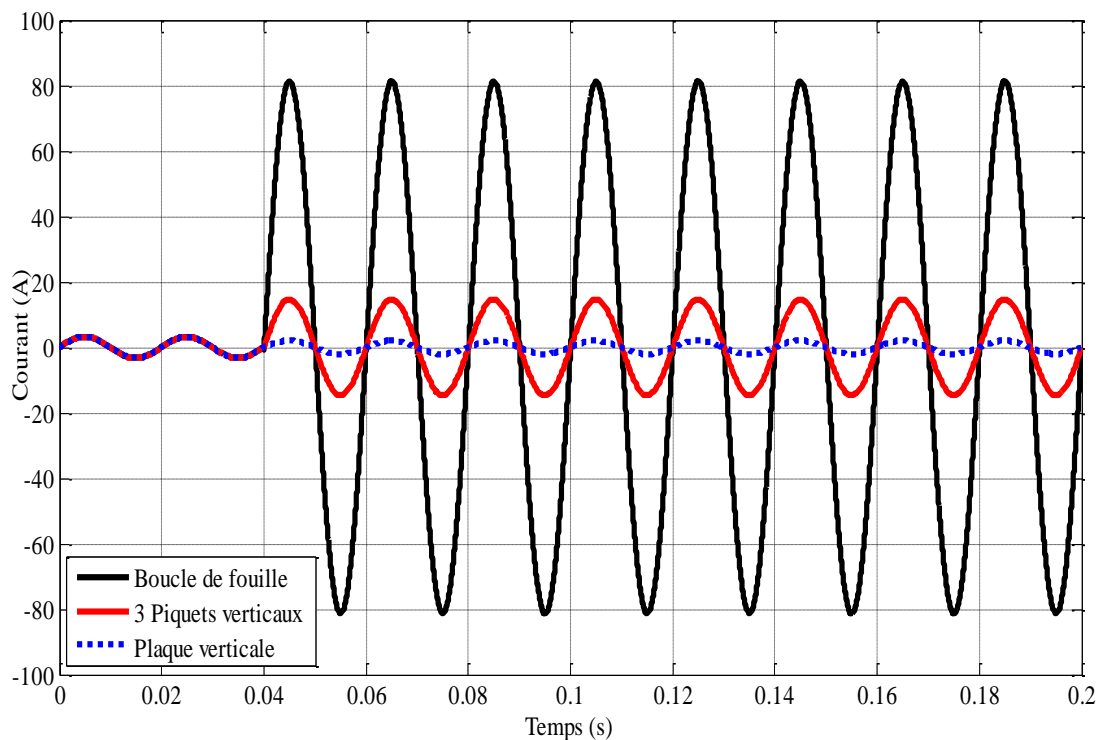


Fig. IV.4 Courant de défaut pour différentes prises de terre.

La Figure IV.4 montre bien que la prise de terre en forme de boucle de fouille est bien meilleure que les piquets et les plaques verticales et ce par offrir au courant de défaut de s'écouler plus facilement d'où la grande valeur enregistrée par rapport à celles associées aux deux autres prises de terre.

IV.2 Régime du neutre TN

Le schéma de liaison à la terre illustré sur la Figure IV.5 est constitué d'un carcasse connecté à trois phases, un neutre, et un conducteur de protection PE. La longueur de liaison L entre l'installation et le récepteur est de 45 m.

Avec:

$$I_d = \frac{0.8 V_1(t)}{R_{ph} + R_{pe}} \tag{IV.3}$$

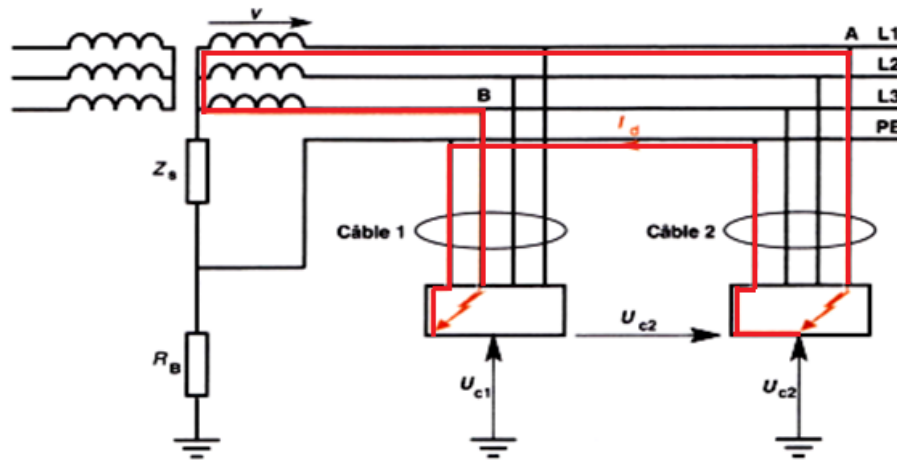


Fig.IV.5 Schéma général du régime TN.

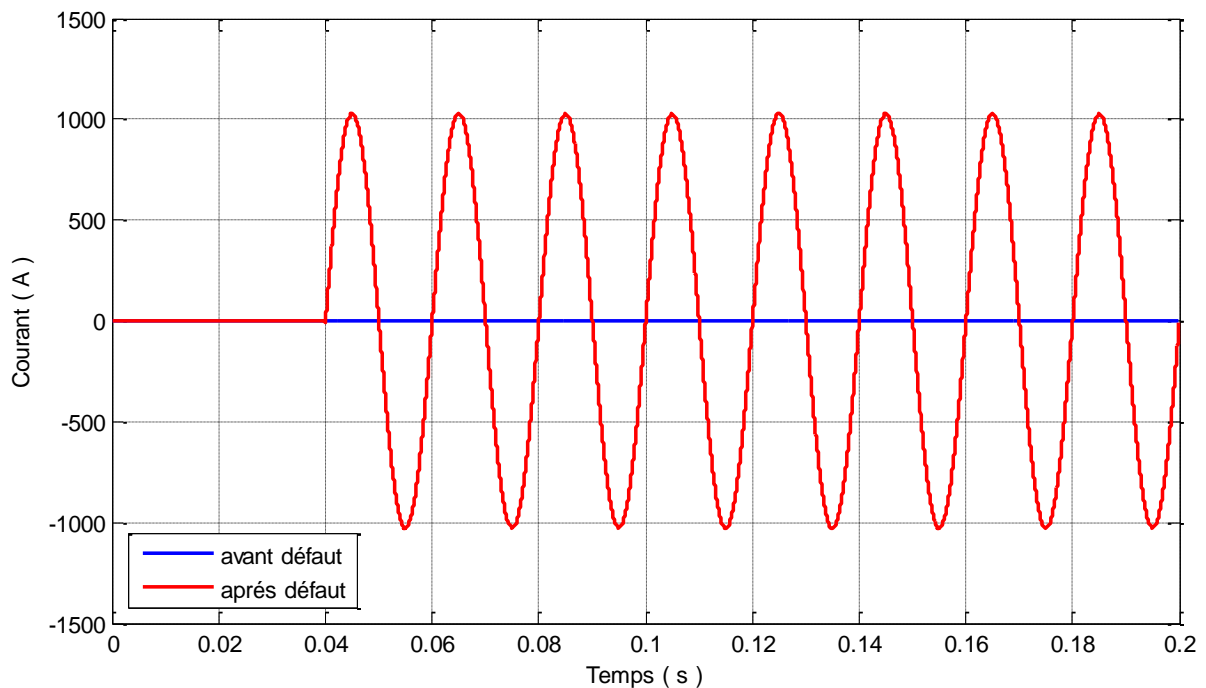


Fig.IV.6 Courant de défaut dans un régime de neutre TN.

La Figure IV.6 montre l'évolution du courant de défaut dans un régime de neutre TN lorsque le défaut apparaît à l'instant 0.04s. D'après la Figure IV.5 nous constatons que le courant de défaut est plus élevé et donc plus dangereux en comparaison avec celui du régime du neutre TT.

L'ordre de grandeur du courant de défaut de régime du neutre TN dont elle est supérieure à 1 kA indique que l'utilisation d'un dispositif de protection contre les courts circuits DPCC tel que le disjoncteur où le fusible est de plus en plus primordial.

IV.3. Régime du neutre IT

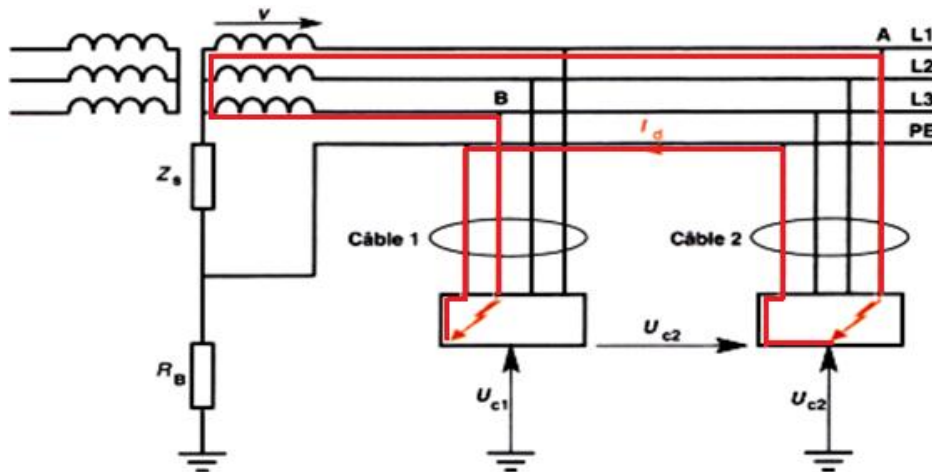


Fig.IV.7 Schéma général du régime IT lors d'un deuxième défaut.

Cette étude sera consacrée à l'analyse du cas d'un deuxième défaut en se référant aux données de la section IV. Le cas du premier défaut n'est pas considéré vu qu'il n'a pas des effets néfastes sur la continuité de service.

La longueur des câbles 1 et 2 entre l'installation et le récepteur est de 35 m et 45 m respectivement.

Avec:

$$I_d = \frac{0.8 \sqrt{3} V_1(t)}{R_{ph1} + R_{pe1} + R_{ph2} + R_{pe2}} \tag{IV.4}$$

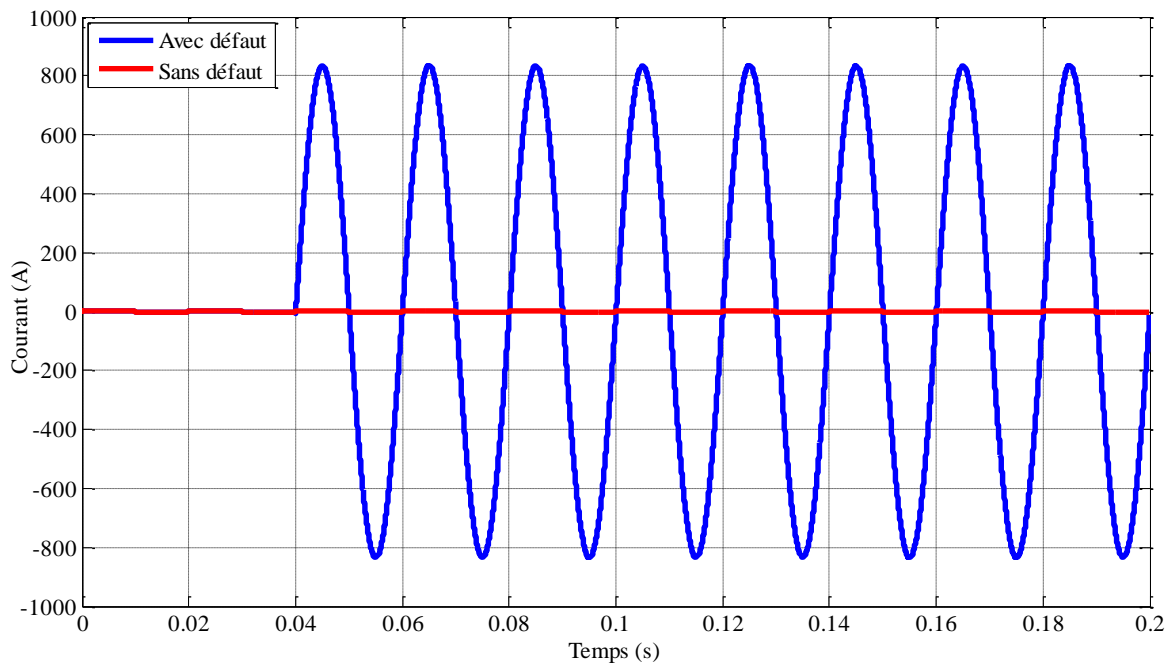


Fig.IV.8 Courant du deuxième défaut dans un régime de neutre IT.

Le courant du deuxième défaut d'isolement montré en Figure IV.8 met en évidence que le deuxième défaut d'un régime IT demeure encore dangereux de même degré que celui du régime TN d'où la nécessité d'installation des appareils de protection DPCC tel que le disjoncteur ou le fusible.

IV.4. Effet des sections des conducteurs sur le choix du DPCC dans un régime IT

L'ordre de grandeur des courants de défaut enregistrée lors des études des régimes de neutre TN et IT a été importante à tel point qu'ils représentent un danger pour les personnes avoisinant et le matériel connecté ou avoisinant.

La protection contre ces défauts de types TN et IT nécessite avant tout un raccordement obligatoire des récepteurs aux mises à la terre appropriées pour faciliter l'écoulement rapide des courants de défaut vers la terre, ainsi que l'installation des dispositifs de protections contre les courts circuits DPCC tels que les disjoncteurs ou les fusibles avec des réglages et coordinations des dispositifs appropriés.

Dans cette étude paramétrique nous allons tester l'effet des sections des conducteurs sur le paramétrage des dispositifs de protections en l'occurrence le choix approprié des calibres de ces derniers pour mieux protéger les personnes et les installations. Dans le deuxième chapitre nous avons décrit la relation qui relie le calibre du dispositif de protection aux sections des conducteurs.

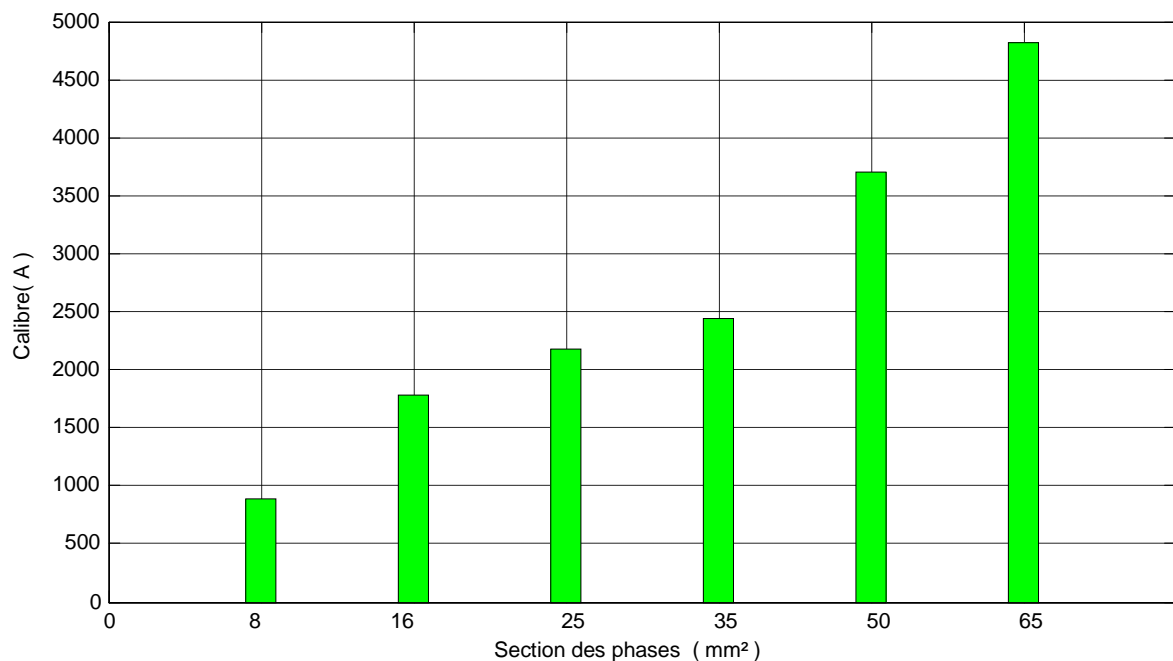


Fig.IV.9 Calibres des dispositifs de protection en fonction des sections.

Pour cet effet nous allons considérer les sections des conducteurs citées dans la section IV afin de paramétrer les calibres des déclencheurs magnétiques des disjoncteurs ou des fusibles

associés. Les longueurs des câbles de liaison sont considérées maximales et égales à $L_{max}=45$ m pour les deux récepteurs.

Les calibres associés à chaque section des conducteurs de phase et de protection montrés en Figure IV.9 indiquent qu'ils sont proportionnels avec l'augmentation des sections des conducteurs. Ceci est prévisible car l'augmentation des sections des conducteurs mène à une diminution de leurs résistances et par la suite une élévation des courants circulant dans les conducteurs donc les courants de défaut seront plus dangereux.

IV.5 Calcul des courants de court-circuit et dispositifs de protection dans une installation BT par le logiciel Ecodial

Cette étude va aborder le dimensionnement d'une installation électrique BT y compris l'analyse des courants de court-circuit, les sections des conducteurs appropriées, ainsi que le paramétrage et le choix des dispositifs de protection capables d'éliminer le défaut.

Pour ce faire nous avons recours au logiciel **Ecodial V3.38** qui se dispose d'une interface qui permet à la conception de réseaux électriques BT, il permet de :

- ✓ Dessiner le schéma unifilaire d'un réseau électrique.
- ✓ Calculer le bilan de puissance d'un réseau électrique.
- ✓ Définir les différents éléments constituant ce réseau, c'est-à-dire :
 - ❖ calculer les sections des conducteurs pour les câbles.
 - ❖ déterminer les dispositifs de protection à installer, en prenant en compte I_n , I_{cc} , la température, la sélectivité et la filiation.
 - ❖ vérifier la protection des personnes.
- ✓ Calculer, en tout point du réseau, les valeurs de la résistance R , la réactance X , le courant de court-circuit I_{cc} et la chute de tension ΔU .

IV.5.1. Présentation du réseau BT étudié

L'installation qui sera l'objet de notre étude dans cette deuxième partie d'application est montrée sur le schéma de la Figure IV.10.

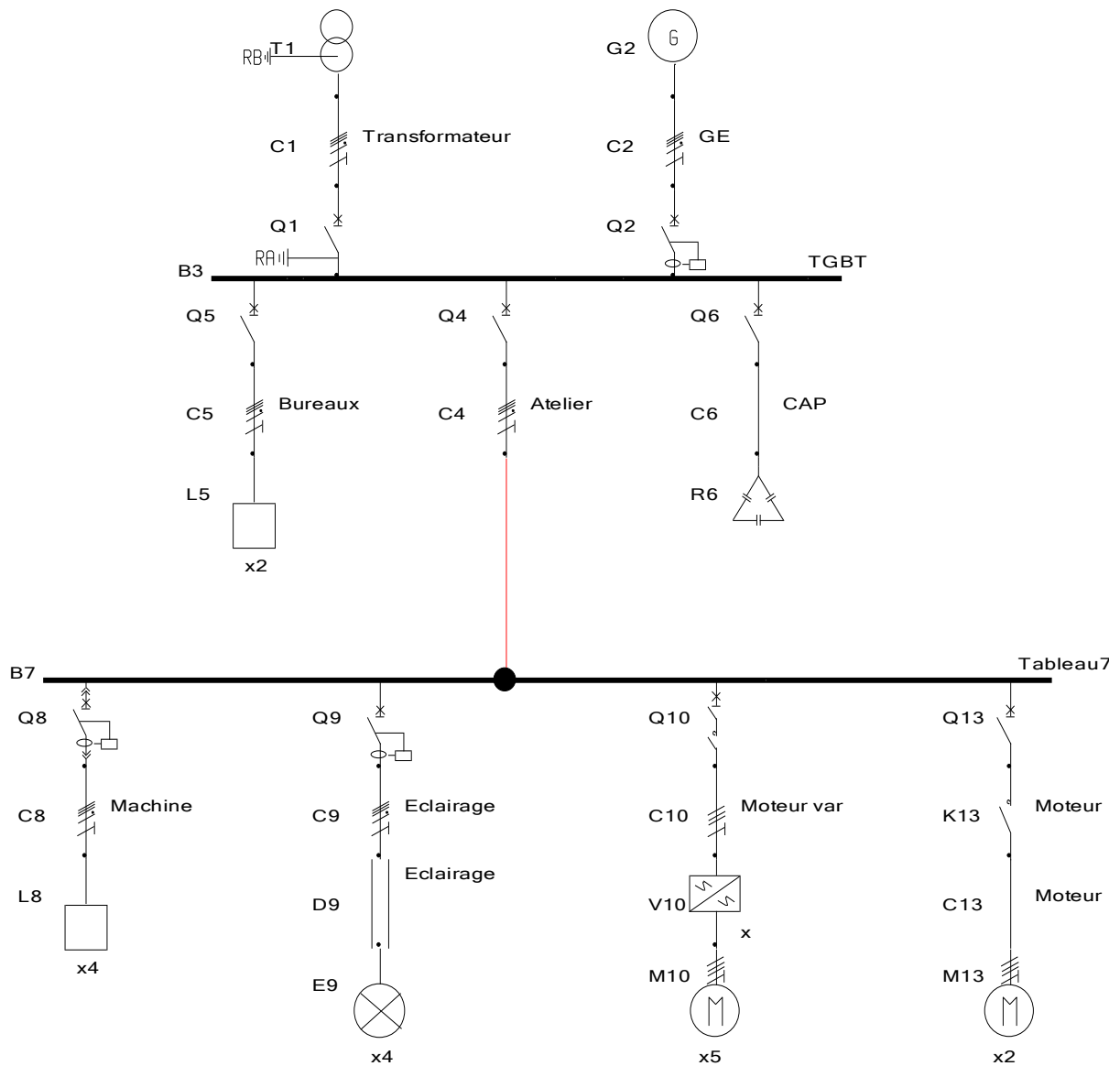
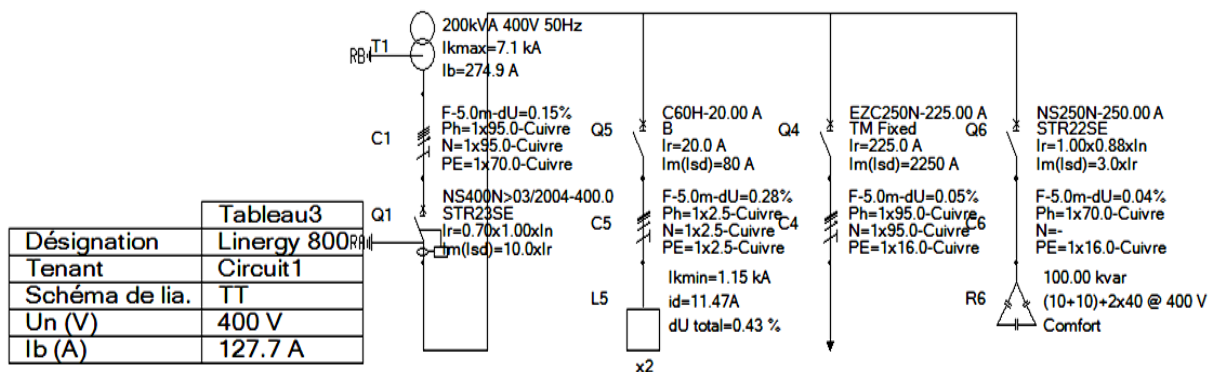


Fig.IV.10 Installation étudiée en régime TT.

Cette installation est composée d'une source de 400 V et d'un générateur en régime TT qui alimente un tableau général d'où se dérive un bureau, une batterie de condensateur(CAP), un atelier et un autre tableau de distribution où se connectent des circuits d'éclairage, des machines et des moteurs.



	Circuit1	Circuit5	Circuit4	Circuit6
Métal conducteur Ph	T1-C1-Q1	Q5-C5-L5	Q4-C4	Q6-C6-R6
Métal conducteur PE	Cuivre	Cuivre	Cuivre	Cuivre
Métal conducteur Neutre	Cuivre	Cuivre	Cuivre	Cuivre
Ib (A)		16.98	93.71	
Puissance (kW)		10.00	54.28	

Fig.IV.11 Caractéristiques électriques du tableau général.

Les caractéristiques électriques du tableau général BT et de distribution dont le bilan de puissance et les types de matériaux utilisés sont montrées respectivement dans les (Figures IV.11 et IV.12) .

Il faut noter que les cos (phi) de chaque élément du bureau jusqu'à moteur sont par ordre : 0.85, 0.65, 0,68, 0.85, 0.95, 0.83 et 0.83 respectivement, tandis que les longueurs sont prises égales à 5 m pour tous les éléments.

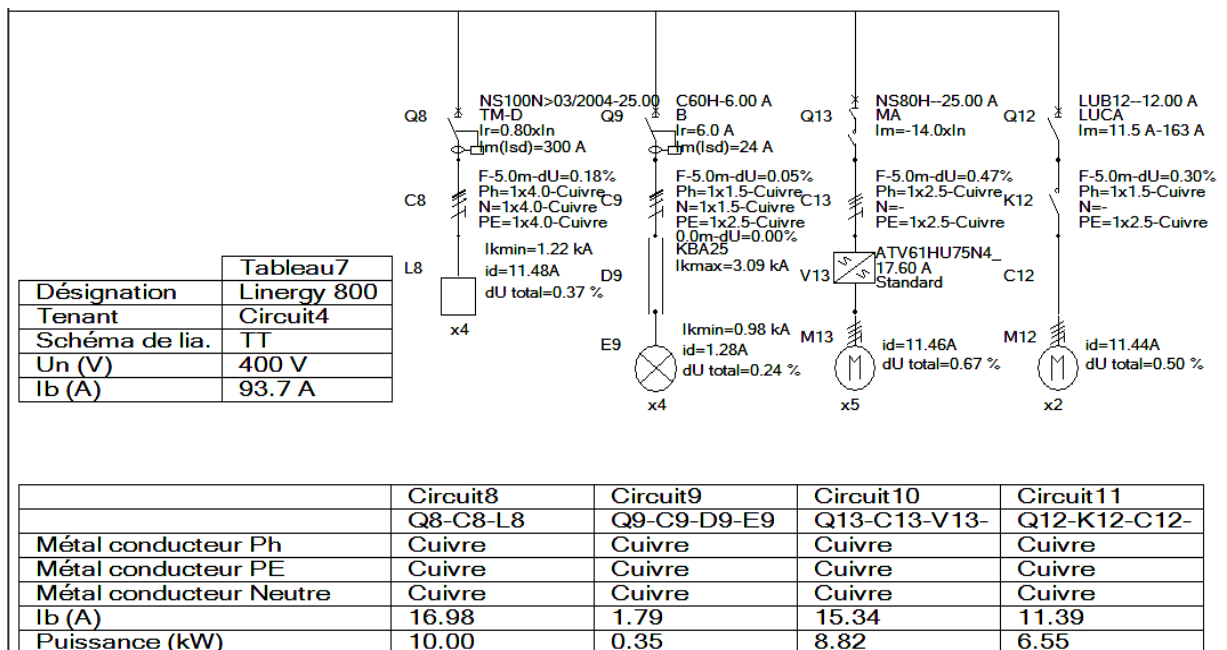


Fig.IV.12 Caractéristiques électriques du tableau de distribution.

Ces données et paramètres sont utilisés pour le calcul du dimensionnement de cette installation pour les trois types de liaison à la terre.

IV.5.2 Cas d'un schéma de liaison à la terre TT

Afin de faire une étude comparative entre les trois schémas de liaisons à la terre, nous allons exécuter le calcul pas à pas détaillé pour définir les courants de court-circuit dans l'installation et les dispositifs de protections ainsi que leurs courants magnétique de fonctionnement et de réglage Im et Ir.

Il faut noter que le calcul pas à pas par Ecodial est lancé après calcul du bilan de puissance et les données du calcul pas à pas sont prises par défaut [3].

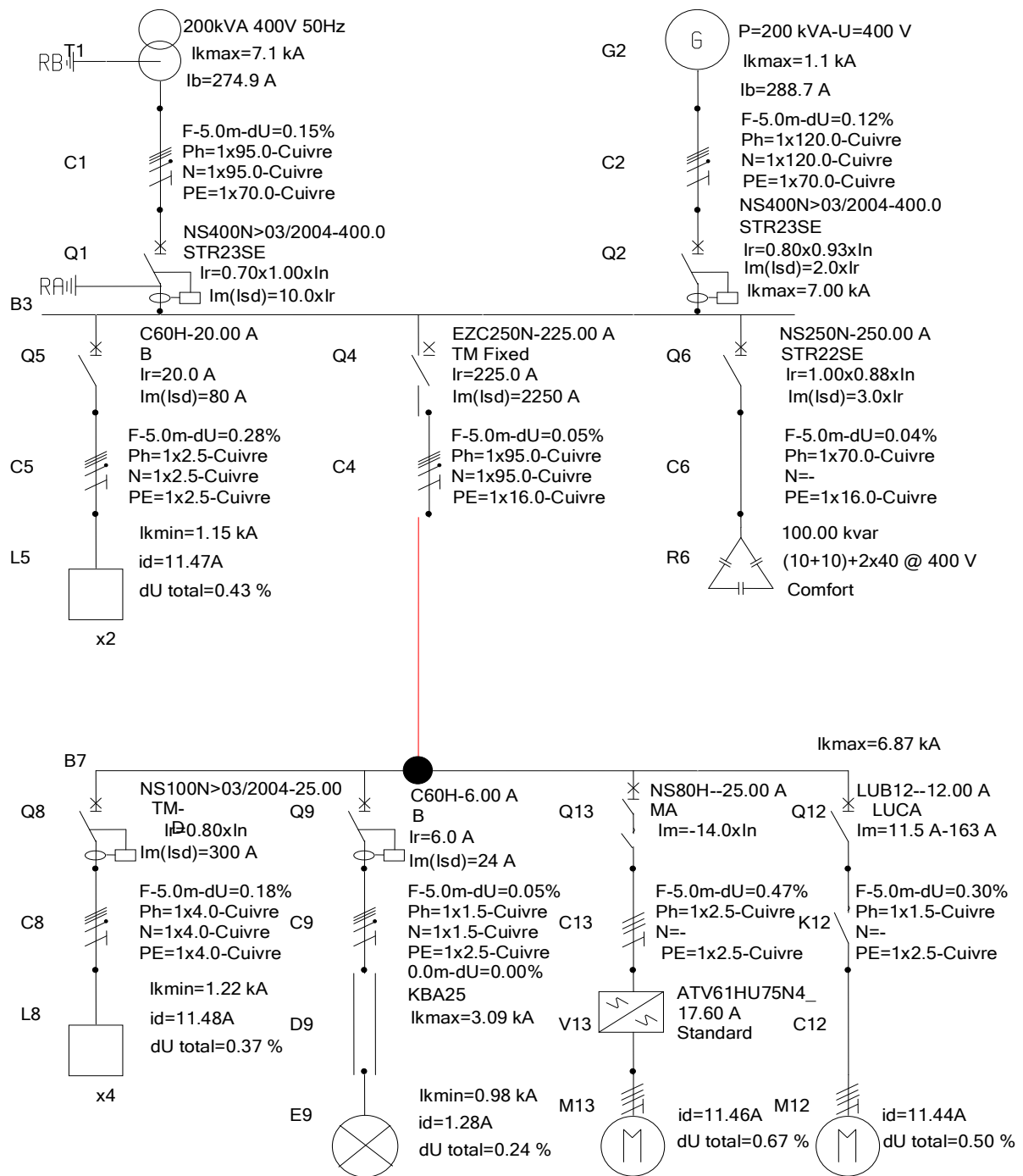


Fig.IV.13 Résultats détaillés affichés sur l'installation BT en régime TT.

TAB.IV.3 Résultats de calcul des courts circuits et des disjoncteurs de trois composantes.

Source							
	$I_{ccamont}$	I_{k3max}	I_{k2max}	I_{k1max}	I_{k2min}	I_{k1min}	$I_{défaut}$
(kA)		7.0022	6.0621	6.0682	5.4769	6.1839	0.015
Disjoncteur	Nom	Déclencheur	Calibre(In)	DDR		Ir	Im

	NS400N>0 3/2004- 50.0 KA	STR23SE	400.00 A	Vigi MB 3000 mA	280 A	2800 A	
Bureau							
	$I_{ccamont}$	I_{k3max}	I_{k2max}	I_{k1max}	I_{k2min}	I_{k1min}	$I_{défaut}$
(kA)	7.0022	4.2288	3.6623	2.6986	0.8133	1.1522	0.0115
Disjoncteur	Nom	Déclencheur	Calibre(In)	DDR		I_r	I_m
	C60H- 15.0KA	B	20 A	NON		20 A	-
Moteur var							
	$I_{ccamont}$	I_{k3max}	I_{k2max}	I_{k1max}	I_{k2min}	I_{k1min}	$I_{défaut}$
(kA)	6.8688	4.1675	3.6091	-	0.8113	-	0.0115
Disjoncteur	Nom	Déclencheur	Calibre(In)	DDR		I_r	I_m
	NS80H- 70.0 KA	MA	25A	NON		-	350A

Le Tableau IV.3 récapitule les résultats de calcul des courants de courts circuits par la méthode des impédances détaillée dans le chapitre 3 et le choix des disjoncteurs ainsi que leurs réglages appropriés dont le courant I_m du déclencheur magnétique contre les courts circuits et le courant de réglage I_r du déclencheur thermique contre les surcharges.

D'après ces résultats, le régime du neutre TT impose l'installation d'un dispositif différentiel résiduel DDR dans la source de type VigiMB et d'une sensibilité de 3000mA pour la protection des personnes contre les contacts indirects. Dans le Tableau IV.3 nous avons résumé les résultats pour trois composantes dans un ordre décroissant (Source, Bureau et Moteur var) pour voir la variation des courants de court-circuit maximaux (I_{k3max} , I_{k2max} , et I_{k1max}) et de court-circuit minimaux (I_{k2min} , I_{k1min} , et $I_{défaut}$) et on s'aperçoit que plus l'élément est éloigné de la source plus les courants de courts circuits diminuent où ils prennent une valeur de $I_{k3max}=7.0022$ kA pour la source à $I_{k3max}=4.1580$ kA pour le moteur var ce qui nécessite des disjoncteurs de protection et de coupure ayant des calibres aussi décroissant $I_r=280$ A et $I_m=2800$ A pour la source passant par $I_r=20$ A et $I_m=non$ défini pour le bureau jusqu'à $I_r=non$ défini et $I_m=350$ A pour le moteur var).

La Figure IV.14 montre les courbes de sélectivités entre les trois disjoncteurs de la source, du bureau et du moteur var. On constate d'après la Figure IV.14.a qu'il y a une sélectivité totale entre le **C60H-B-20A** du bureau et celui de la source **NS400N>03/2004- STR23SE-**

400A. Ce constat est différent d’après la Figure IV.14.b pour **NS80H-MA-25A** du moteur var et celui de la source où il n’existe pas de sélectivité.

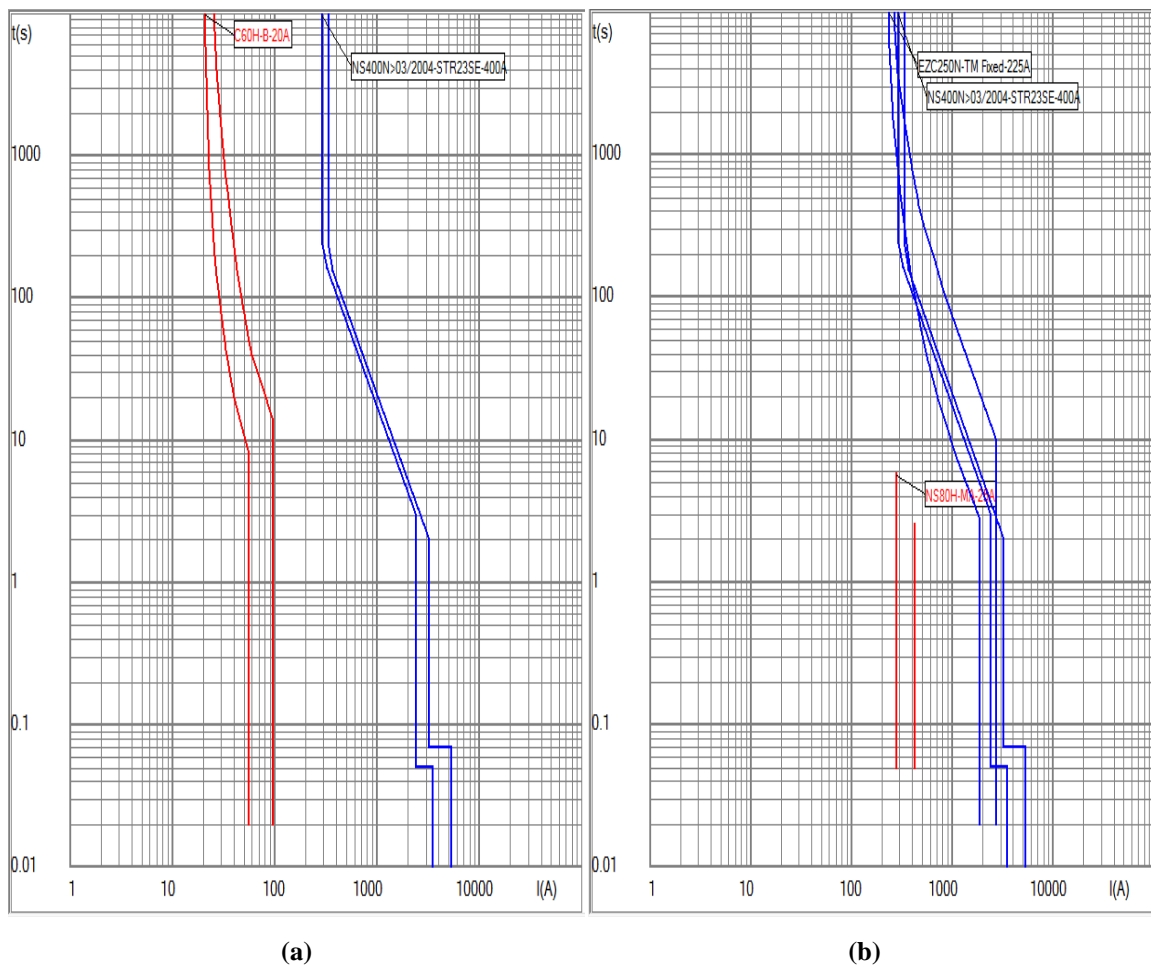


Fig.IV.14 Courbes de sélectivité entre disjoncteurs de protection.

IV.5.3 Cas d’un schéma de liaison à la terre TNC

L’installation est la même que celle de la Figure IV.13 sauf que le schéma de liaison à la terre est de type TNC. Il faut noter que dans l’installation de la Figure IV.15, le schéma de liaison à la terre de l’éclairage est converti vers le TNS par respect aux normes et conditions de sécurité qui exige la disponibilité du conducteur PE et du Neutre N séparés ce qui est n’est pas le cas avec le TNC.

Les résultats de calculs détaillés sont représentés sur la Figure IV.15 et le Tableau IV.4 où sont récapitulés les courants de court-circuit et les protections avec leurs réglages appropriés.

D’après la Figure IV.16, les sections de phases ont changés de valeurs par rapport au schéma de liaison TT ainsi que les sections des conducteurs commun PEN sont augmentées à cause de la doublure de ce conducteur entre le PE et le N ce qui exige une section élevée pour supporter les contraintes électrodynamiques et thermiques que peut causer un courant élevé.

TAB.IV.4 Résultats de calcul des courts circuits et des disjoncteurs de trois composantes.

Source							
	$I_{ccamont}$	I_{k3max}	I_{k2max}	I_{k1max}	I_{k2min}	I_{k1min}	$I_{défaut}$
(kA)		8.7225	7.5539	8.4695	6.8252	7.6272	7.6272
Disjoncteur	Nom	Déclencheur	Calibre(In)	DDR		Ir	Im
	NS400N>0 3/2004- 50.0 KA	STR23SE	400 A	NON		352 A	3520A
Bureau							
	$I_{ccamont}$	I_{k3max}	I_{k2max}	I_{k1max}	I_{k2min}	I_{k1min}	$I_{défaut}$
(kA)	8.7275	3.3306	2.8843	2.9377	0.6432	0.9632	0.9696
Disjoncteur	Nom	Déclencheur	Calibre(In)	DDR		Ir	Im
	C60N-10.0 KA	C	10 A	NON		10 A	
Moteur var							
	$I_{ccamont}$	I_{k3max}	I_{k2max}	I_{k1max}	I_{k2min}	I_{k1min}	$I_{défaut}$
(kA)	8.4695	4.5776	3.9643	-	0.6541		0.9559
Disjoncteur	Nom	Déclencheur	Calibre(In)	DDR		Ir	Im
	GV2L- 50.0 KA	L22	25 A	NON			325 A

Le Tableau IV.4, nous indique que ce type de schéma ne nécessite pas l'installation d'un DDR dans tout le réseau. On peut aussi remarquer que les courants de défauts sont augmentés et prennent des valeurs dangereuses de **7.6272 kA**, **0.9682kA**, et **0.9549 kA**, respectivement, pour la source, le bureau et le moteur var, ce qui est convenable avec l'étude réalisée dans la section I et le chapitre 2 qui montre que le défaut dans le SLT TNC est parcouru un trajet qui ne contient que les résistances d'une phase et du conducteur PE.

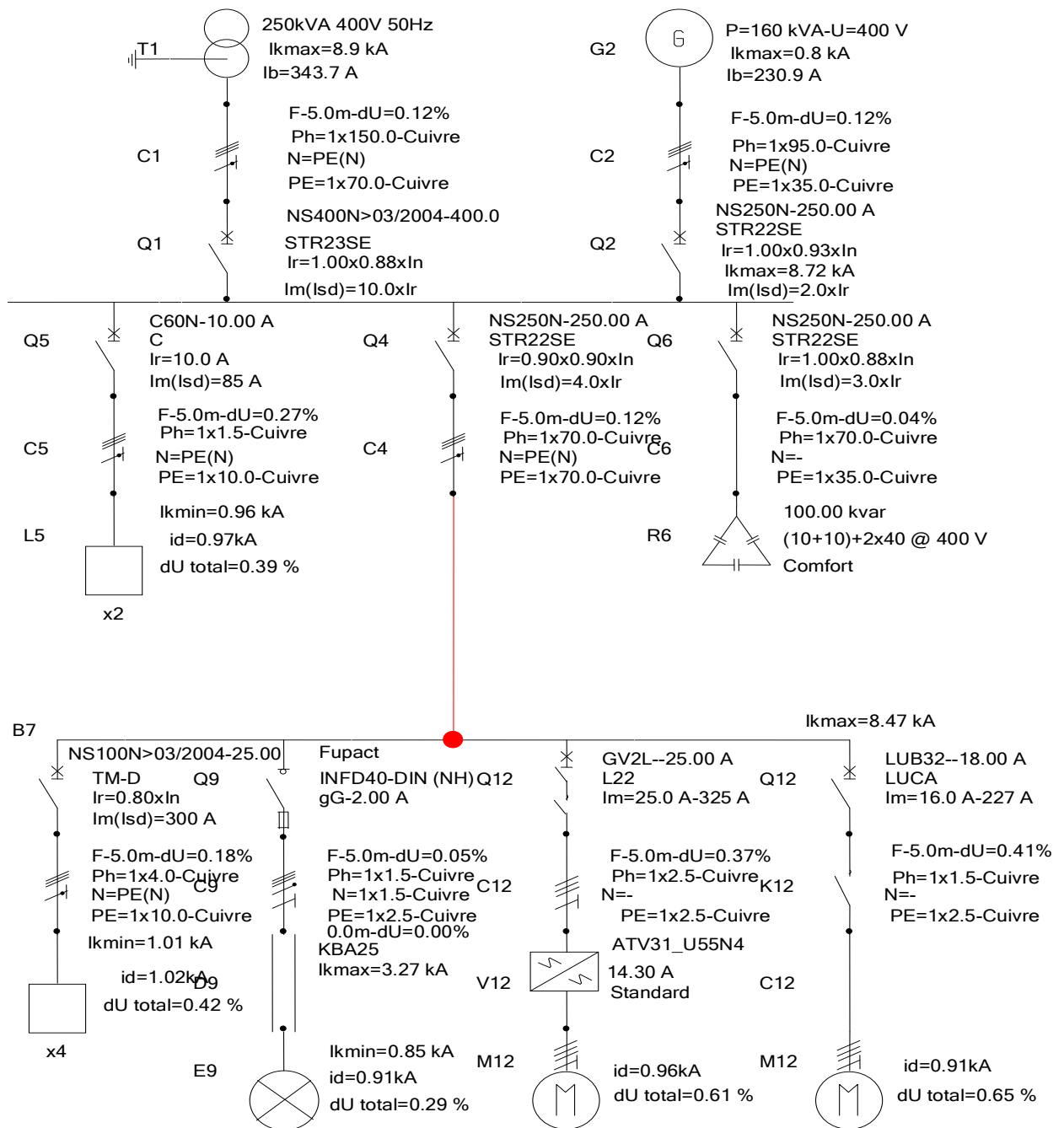


Fig.IV.15 Résultats détaillés affichés sur l'installation BT en régime TNC.

La Figure IV.16 montre les courbes de sélectivités entre les trois disjoncteurs de la source, du bureau et du moteur var. On constate d'après la Figure IV.16.a qu'il y a une sélectivité totale entre le **C60N-C-10A** du bureau et celui de la source **NS400N>03/2004- STR23SE-400A**. Ce constat est différent d'après la Figure IV.16.b pour **GV2L-L22-25A** du moteur var et celui de la source où il n'existe pas de sélectivité.

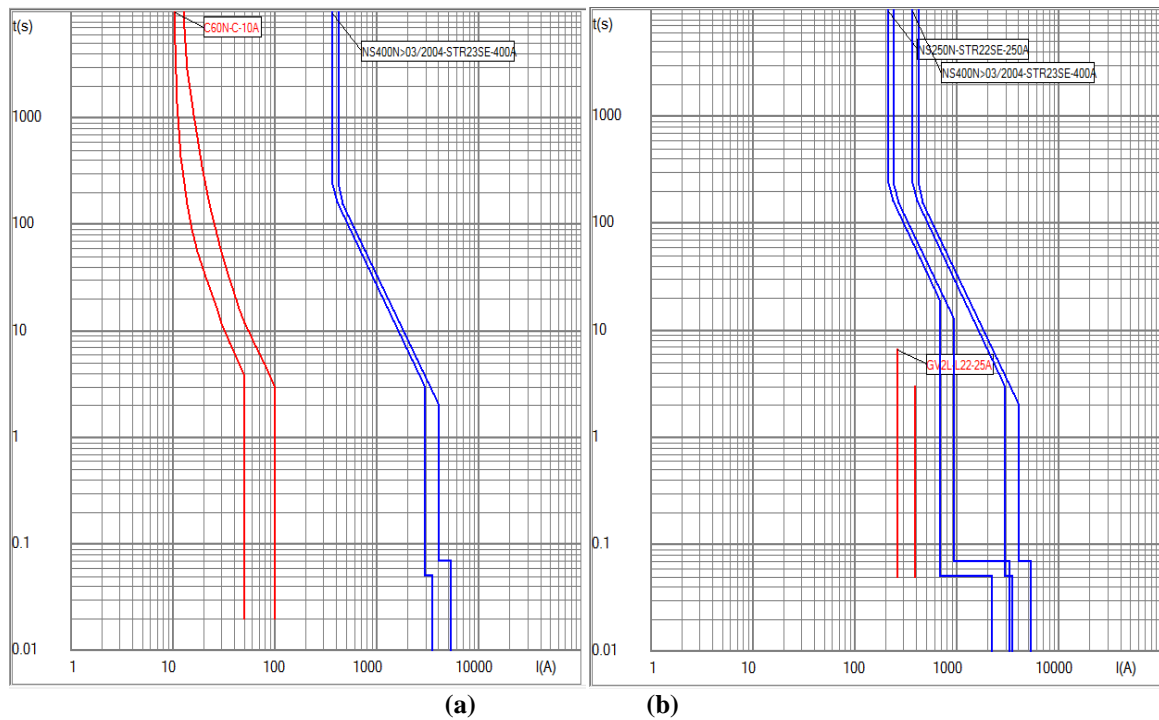


Fig.IV.16 Courbes de sélectivité entre disjoncteurs de protection.

IV.5.4. Cas d'un schéma de liaison à la terre IT

Dans cette étude, l'installation est raccordée selon un schéma de liaison à la terre de type IT et le transformateur est changé à un schéma de liaison à la terre IT.

TAB.IV.5 Résultats de calcul des courts circuits et des disjoncteurs de trois composants.

Source							
	$I_{ccamont}$	I_{k3max}	I_{k2max}	I_{k1max}	I_{k2min}	I_{k1min}	$I_{défaut}$
(kA)		8.7225	7.5539	8.5388	6.8252	7.7040	3.8136
Disjoncteur	Nom	Déclencheur	Calibre(In)	DDR		I_r	I_m
	NS400N>03/2004-50.0 KA	STR23SE	400.00 A	NON		352 A	3520 A
Bureau							
	$I_{ccamont}$	I_{k3max}	I_{k2max}	I_{k1max}	I_{k2min}	I_{k1min}	$I_{défaut}$
(kA)	8.7275	3.3306	2.8843	1.8649	0.6432	0.8596	0.4578
Disjoncteur	Nom	Déclencheur	Calibre(In)	DDR		I_r	I_m
	C60N-10.0KA	C	10A	NON		10.0 A	-
Moteur var							
	$I_{ccamont}$	I_{k3max}	I_{k2max}	I_{k1max}	I_{k2min}	I_{k1min}	$I_{défaut}$
(kA)	8.4695	4.5776	3.9643	-	0.6541	-	0.4767
Disjoncteur	Nom	Déclencheur	Calibre(In)	DDR		I_r	I_m
	GV2L-50.0 KA	L22	25 A	NON			325 A

La Figure IV.17 indique que les sections des phases et par la suite celles des conducteurs de protections PE sont quasiment identiques par rapport aux ceux du régime du neutre TNC étudiée précédemment et ceci est prévisible car les courants de défauts et de courts circuits ont presque les mêmes ordres de grandeurs. Le disjoncteur de protection est devenu **NS400N>03/2004- STR23SE** de calibre 400 A pour la source d'après le Tableau IV.5. De même les valeurs du courant de défaut I_d ont pris des valeurs de **3.8136 kA**, **0.4572 kA** et **0.4762 kA**, respectivement, pour la source, le bureau et le moteur var ce qui représentent un danger pour les personnes et les matériels.

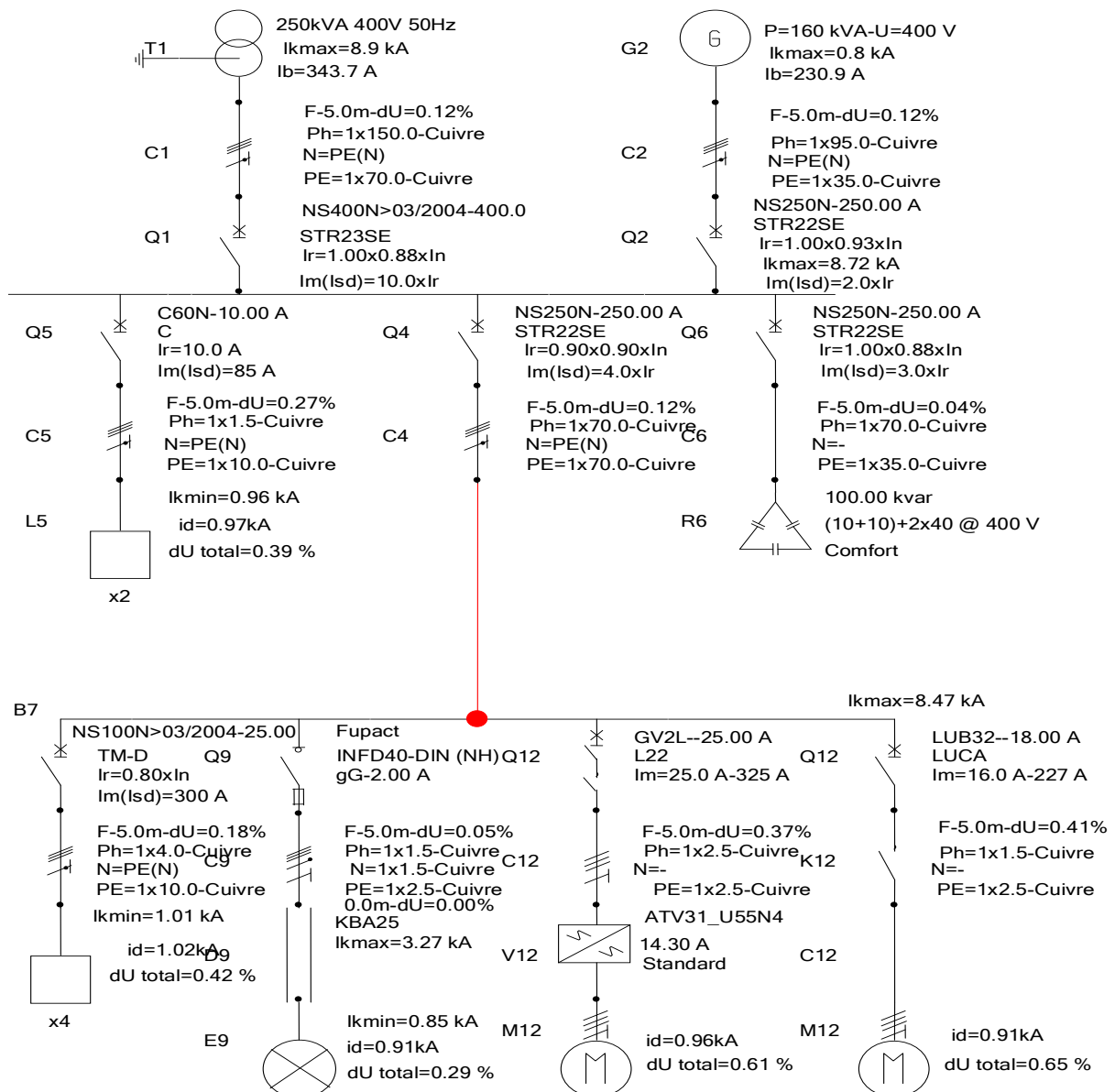


Fig.IV.17 Résultats détaillés affichés sur l'installation BT en régime IT.

La Figure IV.18 montre les courbes de sélectivités entre les trois disjoncteurs de la source, du bureau et du moteur var. On constate d'après la Figure IV.18.a qu'il y a une sélectivité totale entre le **C60N-C-10A** du bureau et celui de la source **NS400N>03/2004- STR23SE-**

400A. Ce constat est différent d'après la Figure IV.18.b pour GV2L-L22-25A du moteur var et celui de la source où il n'existe pas de sélectivité.

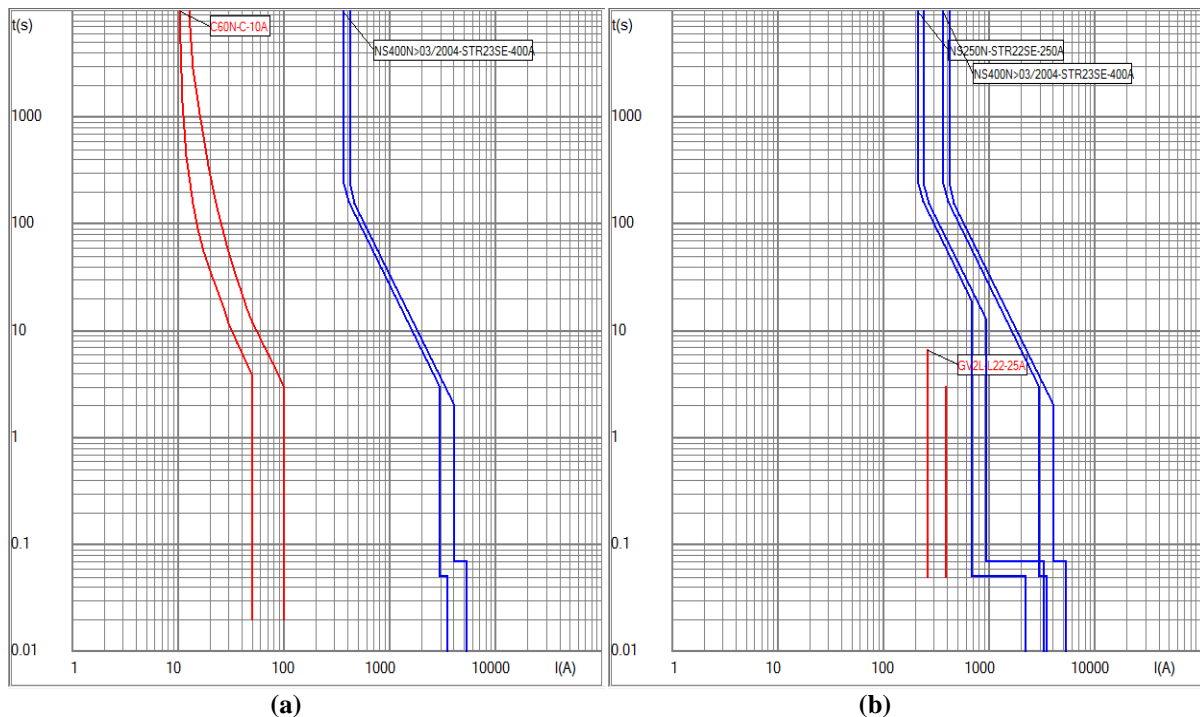


Fig.IV.18 Courbes de sélectivité entre disjoncteurs de protection.

Conclusion

Les résultats de calcul affichés manuellement dans la première partie de ce chapitre ont abouti à un constat que les régimes du neutre TN et IT sont plus dangereux par rapport à celui du TT et que les calibres des dispositifs de protection augmentent avec les sections des conducteurs. L'utilisation de l'outil Ecodial facilite l'évaluation des paramètres électriques et des configurations du réseau pour déterminer le régime de neutre le plus approprié. Cela permet de dimensionner correctement les protections, d'évaluer les courants de défaut, de vérifier la sélectivité des dispositifs de protection de l'installation. En conclusion, le choix du régime de neutre dans une installation électrique est crucial pour assurer la sécurité des personnes, la protection des équipements et la continuité de l'alimentation. L'utilisation de l'outil Ecodial facilite cette sélection en fournissant des informations précises et en aidant à prendre les décisions appropriées pour une installation électrique fiable et efficace. En effet, les courants de défaut dans les régimes TN et IT s'aperçoivent plus élevés que ceux du régime TT ce qui consolide nos résultats de la partie 1 de ce chapitre et les concepts théoriques du chapitre 2. Enfin la sélectivité entre les protections choisies au hasard est de type total entre la source et le bureau ce qui est optimale pour la continuité de service, contrairement à celle entre le moteur var et la source de l'installation et ce pour les trois types de schémas de liaison à la terre.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de notre travail est la maîtrise du régime de neutre, pour cela nous avons, d'abord, fait une étude théorique des différents types de schémas de liaisons à la terre à savoir TT, TNC, TNS et IT [4].

Les trois Schémas de Liaison à la Terre mondialement utilisés et normalisés par la CEI364 [10] ont pour objectif commun la recherche de la meilleure sûreté.

Pour arriver à mettre en œuvre une protection des différents récepteurs d'une installation électrique, il faut bien choisir quel type de schémas de liaisons à la terre doit -on utiliser. Le choix des schémas des liaisons à la terre se fait selon les critères suivants:

- la protection contre les chocs électriques.
- la protection contre l'incendie d'origine électrique.
- la continuité d'alimentation.
- la protection contre les surtensions.
- la protection contre les perturbations électromagnétiques.

N'utiliser qu'un seul Schéma de Liaison à la Terre n'est pas toujours le meilleur choix, Il convient donc, dans beaucoup de cas de mettre en œuvre plusieurs SLT dans une même installation, ce qui est une garantie pour obtenir la meilleure réponse aux besoins de sécurité et de disponibilité.

D'après les résultats obtenu dans le dernier chapitre, on peut déduire que:

Les régimes de neutre et les schémas de liaison à la terre sont des concepts importants dans les systèmes électriques pour assurer la sécurité et la stabilité des installations. L'utilisation d'un régime de neutre approprié et d'un schéma de liaison à la terre adéquat permet de minimiser les risques d'électrocution, d'incendie et de dommages aux équipements électriques.

Un régime de neutre se réfère à la manière dont le conducteur neutre d'un système électrique est connecté à la terre ou à une référence de potentiel. Il existe plusieurs types de régimes de neutre couramment utilisés, tels que le régime de neutre à la terre (TT), le régime de neutre à l'impédance (TN) et le régime de neutre à l'isolement (IT). Chaque régime de neutre présente des

Conclusion générale

avantages et des inconvénients en termes de sécurité, de coût et de continuité de service, et le choix du régime approprié dépend des besoins spécifiques de l'installation électrique.

Quant au schéma de liaison à la terre, il définit comment les masses des équipements électriques et les parties conductrices accessibles sont reliées à la terre. Les schémas de liaison à la terre les plus couramment utilisés comprennent la mise à la terre du neutre (TN-C, TN-S, TN-C-S), la mise à la terre séparée (TT) et la mise à la terre directe (IT). Chaque schéma de liaison à la terre a des implications en termes de sécurité, de protection contre les défauts électriques et de continuité de service.

L'utilisation du logiciel Ecodial [3] pour but de maîtriser les techniques de dimensionnement des installations BT, les calculs des courants de courts circuits ainsi que l'appareillage de protection associé, car pour les réseaux complexes ces calculs s'avèrent de plus en plus compliqués manuellement d'où la nécessité des outils informatique pour mener des études plus approfondies en un temps de calcul réduit. Les résultats de notre étude consolident les fondements théoriques présentés dans les chapitres 1 et 2 où les régimes du neutre TN et IT se montrent plus dangereux que le régime TT à cause de leurs courants de défauts très importants pour les personnes et le matériel avoisinant malgré que le régime IT présente un avantage de continuité de service contrairement aux deux autres régimes du neutre dont la coupure est obligatoire dès le premier défaut.

En conclusion, les régimes de neutre et les schémas de liaison à la terre sont des éléments essentiels dans la conception des installations électriques. Le choix approprié de ces configurations dépend des exigences de sécurité, de continuité de service et des normes applicables. L'utilisation d'outils de calcul tels qu'Ecodial peut faciliter le processus de conception et aider à garantir des installations électriques sûres et fiables.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

[1] Bernard Lacroix et Roland Calvas, « Les schémas des liaisons à la terre en BT (régimes du neutre) », 32p, Aout 2003.

[2] B.lacroix,R.calvas«Les schémas de liaisons à la terre dans le monde et évolutions»cahier technique n°173.

[3] Schneider Electric,« Ecodial Logiciel (CAO) Electric » ,2015.

[4] Schneider Electric « Architecteur de Réseau de Distribution » 2007.

[5] J. Marie BROUST, `` Appareillages et installations électriques industriels``, Dunod, Paris, 2008.

[6] A. BIANCOTE et P. BOYE, `` La construction normalisée en électrotechnique``, Tome 1, Delagrave, Juillet 1997.

[7] C. PREVE et R. JEANOTE, `` Guide de conception des réseaux électriques industriels``, Rapport technique, Schneider Electric N°68883 427/A, Février 1997.

[8] Le Grand, Guide technique, `` Coordination entre les dispositifs de protection``, Rapport technique, Janvier 2015.

[9] Schneider Electric, `` Guide de la distribution BT et HTA``, Rapport technique, 2012.

[10] Normes et décrets :

- CEI 60241 : Coupe-circuit à fusibles pour usages domestiques ou analogues.
- CEI 60269 : Coupe-circuit à fusibles à basse tension.
- CEI 60364 : Installation électriques des bâtiments.
- CEI 60479 : Effets de courant passant par le corps humain.
- CEI 60755 : Règles générales pour les dispositifs de protection à courant différentiel résiduel.
- CEI 60947-2 : Appareillage à Basse Tension - 2ème partie : Disjoncteurs.
- NF C 15-100 : Installations électriques à basse tension.
- NF C 63-150 : Limiteurs de surtension : règles.
- Décret français du 14.11.88.

[11] Cahiers Techniques

- Mise à la terre du neutre dans un réseau industriel HT, Cahier Technique n° 62 F. SAUTRIAU
- Les dispositifs différentiels résiduels en BT, Cahier Technique n° 114 R. CALVAS

Références bibliographiques

- Protection des personnes et alimentations statiques, Cahier Technique n° 129 J.-N. FIORINA
- Les perturbations électriques en BT, Cahier Technique n° 141 R. CALVAS
- Introduction à la conception de la sûreté, Cahier Technique n° 144 P. BONNEFOI
- Surtensions et coordination de l'isolement en HT, Cahier Technique n° 151 D. FULCHIRON
- La foudre et les installations électriques HT, Cahier Technique n° 168 B. DE METZ NOBLAT.
- Les schémas des liaisons à la terre dans le monde et évolutions, Cahier Technique n° 173 B. LACROIX et R. CALVAS
- Le schéma IT (à neutre isolé) des liaisons à la terre en BT, Cahier Technique n° 178, F. JULLIEN et I. HERITIER

[12] Publications diverses

- Guide de l'installation électrique Ed. CITEF S.A.S. Paris - 2003.
- Electrical installation guide Ed. CITEF S.A.S. Paris - 2005.
- Guide de l'ingénierie électrique, Ed. ELECTRA 1986.
- Electrical Review novembre 1991 - octobre 1992.
- La protection différentielle Cahier Technique J3E - 02/90

[13] Bernard Lacroix, Roland calvas, "Earthing systems in LV", Cahier technique no. 172, 2002.

[14] Patrick Lagonotte, « Les installations électriques », Hermes Science Publications, Paris, 2000

[15] M. Aguet et J-J Morf, «Énergie Électrique», Traité d'électricité de l'EPFL, volume XII, Lausanne, 1990

[16] Cahiers Techniques Schneider Electric :

Analyse des réseaux triphasés en

- Régime perturbé à l'aide des composantes symétriques, Cahier Technique n° 18 - B. DE METZ-NOBLAT.
- Mise à la terre du neutre dans des réseaux industriels haute tension, Cahier Technique n° 62 - F. SAUTRIAU.
- Techniques de coupure des disjoncteurs Basse Tension, Cahier Technique n° 154 - R. MOREL.
- Les calculs sur les réseaux électriques BT et HT. Cahier Technique n° 213 - B. DE METZ-NOBLAT.

Références bibliographiques

• Publications diverses :

- Guide de l'installation électrique (en français, selon NF C 15-100 : édition 2004 ; en anglais selon CEI 60364 : édition 2005), Réalisation Schneider Electric, (Institut Schneider Formation).

- Les réseaux d'énergie électrique (2^e partie),

[17] : Normes :

➤ CEI 60909 : Calcul des courants de court-circuit dans les réseaux triphasés à courant alternatif.

- Partie 0 : Calcul des courants.

- Partie 1 : Facteurs pour le calcul des courants de court-circuit.

- Partie 2 : Matériel électrique - Données pour le calcul des courants de court-circuit.

- Partie 3 : Courants durant deux courts circuits monophasés simultanés séparés à la terre et courants de court-circuit partiels s'écoulant à travers la terre.

- Partie 4 : Exemples pour le calcul des courants de court-circuit.

➤ NF C 15-100 : Installations électriques à basse tension.

➤ UTE C 15-105 : Guide pratique. Détermination des sections de conducteurs et choix des dispositifs de protection.

[18] METZ, NOBLAT, DUMAS, Frédéric et POULAIN, Christophe. « Calcul des courants de court-circuit », Cahier Technique Schneider Electric, septembre 2005. CT 158 édition N°158.

Annexes

Annexe A

Ecodial

A. Ecodial

A.1 Définition

Ecodial est un logiciel de conception électrique développé par Schneider Electric, il est spécifiquement conçu pour la conception et le calcul des installations électriques basse tension. Le logiciel fournit aux ingénieurs, électriciens et consultants en électricité des outils et des fonctionnalités pour concevoir efficacement et avec précision des installations électriques tout en garantissant la conformité aux normes et réglementations de l'industrie.

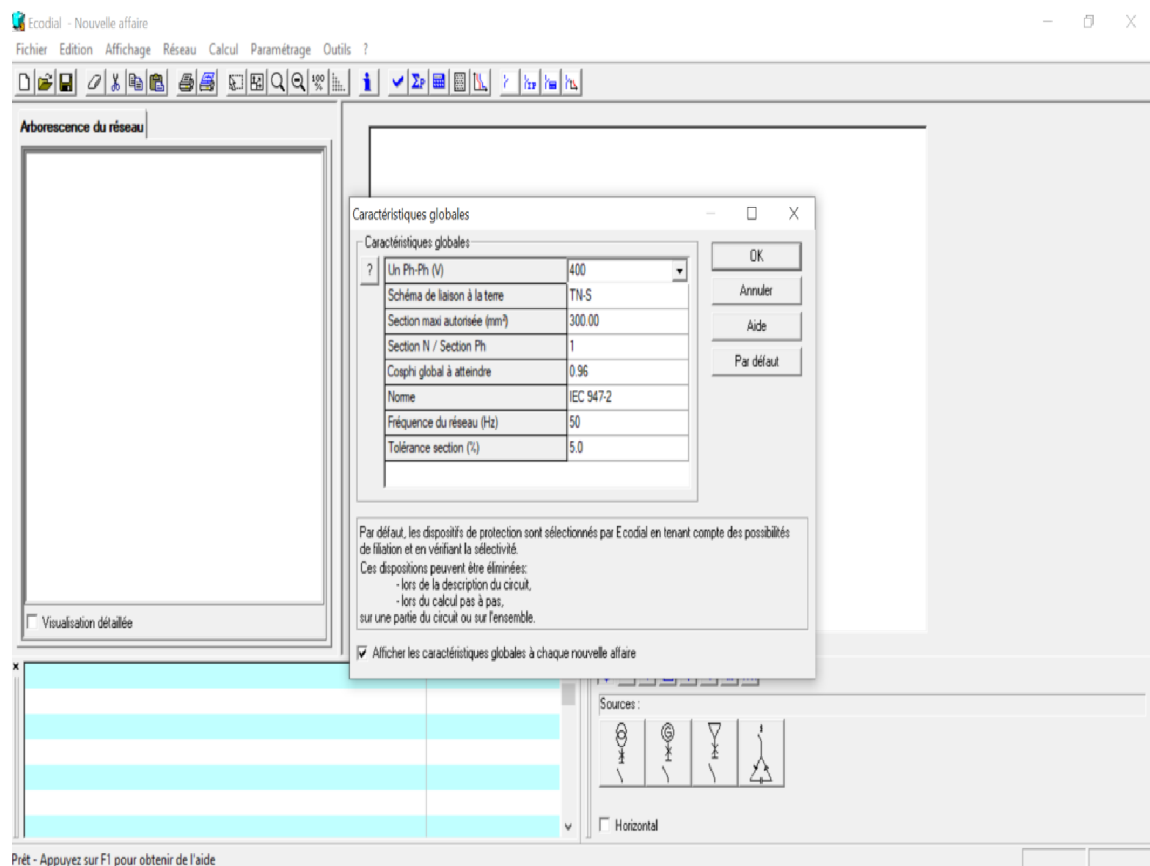


Figure A.1 Page générale de l'application Ecodial.

A.2 Utilisation de Ecodial

Ecodial est utilisé pour concevoir des installations électriques en suivant les étapes suivantes :

1. Configuration du projet : Définir les paramètres de base du projet.
2. Schéma électrique : Dessiner le schéma électrique de l'installation.

3. Chargement électrique : Spécifier les charges électriques de l'installation.
4. Sélection des câbles : Choisir les câbles appropriés pour l'installation.
5. Coordination des protections : Coordonner les dispositifs de protection.
6. Analyse de la sélectivité : Vérifier la sélectivité des protections.
7. Rapports et documentation : Générer des rapports détaillés pour la documentation du projet.

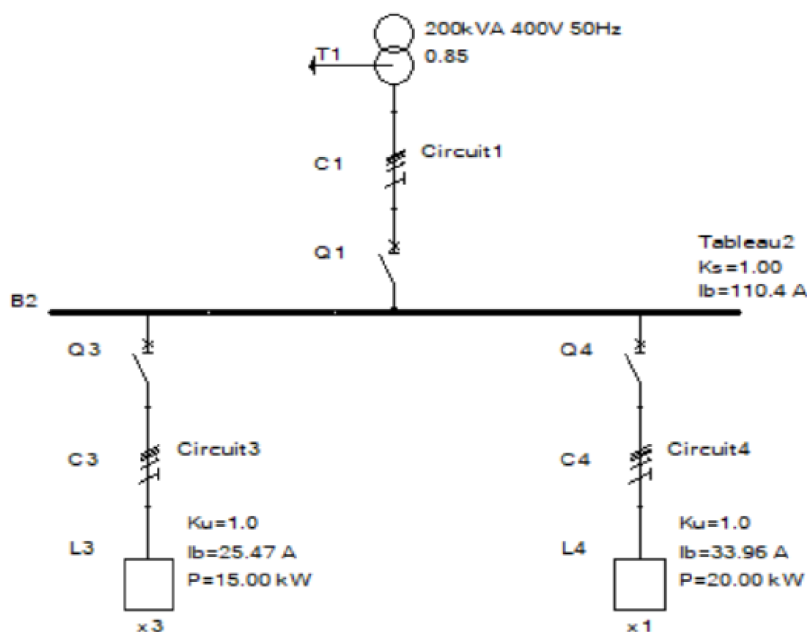


Figure A.2 schéma simple d'un circuit électrique.

A.3 Les caractéristiques de l'Ecodial

Distingué par plusieurs caractéristiques clés. Il offre des fonctionnalités avancées telles que le calcul précis des charges électriques, la sélection optimisée des câbles, la coordination des protections, la vérification de la sélectivité, la conformité aux normes internationales et la génération de rapports détaillés. L'interface conviviale facilite la conception et la documentation des installations électriques, garantissant ainsi la sécurité, l'efficacité et la conformité des conceptions électriques.

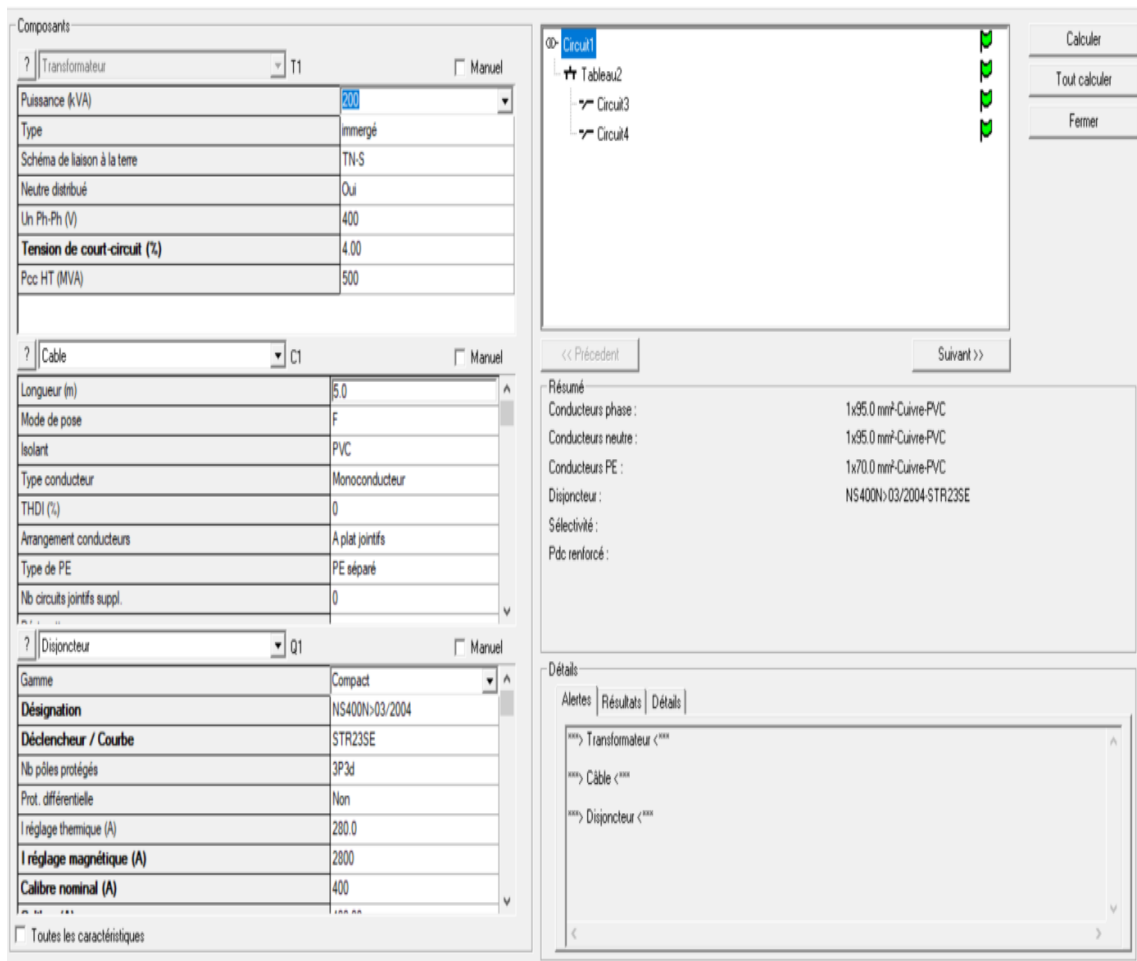


Figure A.3 Une image exprime le calcul d'un circuits pas à pas.

Annexe B

Les méthodes de calcul des résistances équivalentes des mises à la terre

B. Différentes prise de terre

L'efficacité des mises à la terre dépend des conditions du terrain et la valeur de la résistance de prise de terre. La prise de terre peut être constituée :

- Soit par des conducteurs nus ;
- Soit par des piquets verticaux ;
- Soit par des plaques verticales ;
- Soit par un ceinturage à fond de fouille, enfouis dans le sol, de dimensions suffisantes et de nature choisie pour résister à l'action destructive de ce milieu.

Il est interdit d'utiliser comme prise de terre :

- Les canalisations de gaz ;
- Les canalisations de chauffage central ;
- Les conduits d'évacuation d'eau, de fumée ou d'ordures ménagères.

B.1 Conducteurs enfouis horizontalement

Cette disposition est à conseiller pour toute construction nouvelle. Elle consiste à placer sous le béton de propreté, ou contre les murs extérieurs à au moins un mètre de profondeur, avec généralement un câble en cuivre nu de 25 mm² de section (ou 95 mm² en acier galvanisé). Pour calculer sa résistance on fait appel à la formule suivante :

$$R = 2 \frac{\rho}{L} \quad (\text{B.1})$$

L : longueur de la boucle (m) ;

ρ : résistivité du sol ($\Omega \cdot \text{m}$).

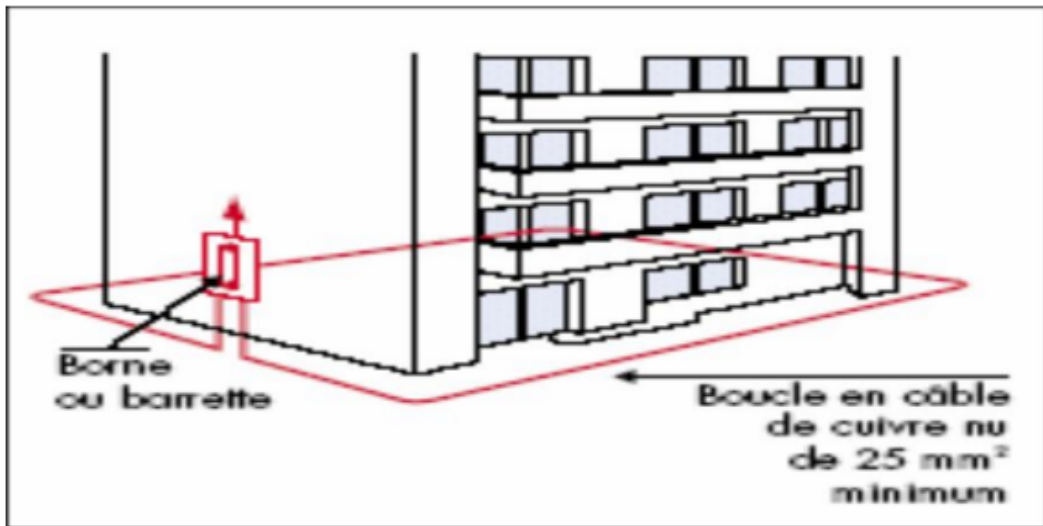


Figure B.1 Une boucle à fond de fouille.

B.2 Piquets verticaux

L'enfoncement des piquets doit être réalisé dans un endroit abrité de la sécheresse et du gel, à une profondeur d'au moins deux mètres. Les piquets verticaux peuvent être constitués de :

- ❖ tubes en acier galvanisé d'au moins 25mm de diamètre extérieur ;
- ❖ profilé en acier doux galvanisé d'au moins 60mm de côté ;
- ❖ barres en cuivre ou en acier, recouverte de cuivre de moins 15mm de diamètre.

Il est possible de diminuer la valeur de la résistance de la prise de terre posant plusieurs piquets verticaux, reliés en parallèle et éloignés d'au moins leur longueur en cas de deux piquets et d'avantage s'il y en a plus. Pour la détermination sa résistance on fait appel à la formule suivante:

$$R = \left(\frac{1}{n}\right) \frac{\rho}{L} \quad (\text{B.2})$$

L : longueur du piquet ; (m)

n : nombre de piquets

ρ : résistivité du sol ;($\Omega \cdot m$).

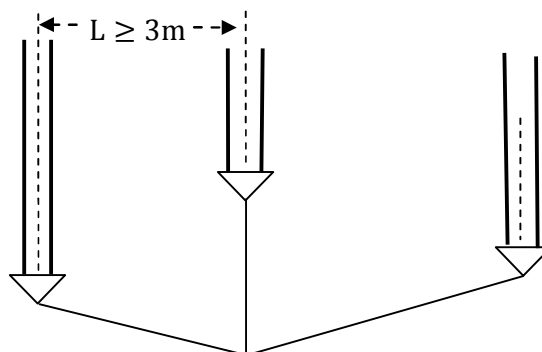


Figure B.2 Piquets reliés en parallèle.

I.5.3. Plaque verticale

Ces plaques sont soit carrés, soit rectangulaires ($l > 0.5$ m). Elles doivent être enterrées de telle façon que leur centre soit au moins 1 m de la surface.

Les plaques peuvent être :

- en cuivre de 2 mm d'épaisseur;
- en acier galvanisé de 3 mm d'épaisseur;

La résistance obtenue est :

$$R = 0.8 \frac{\rho}{L} \quad (\text{B.3})$$

L : périmètre de la plaque ; (m).

ρ : résistivité du sol. ($\Omega \cdot \text{m}$).

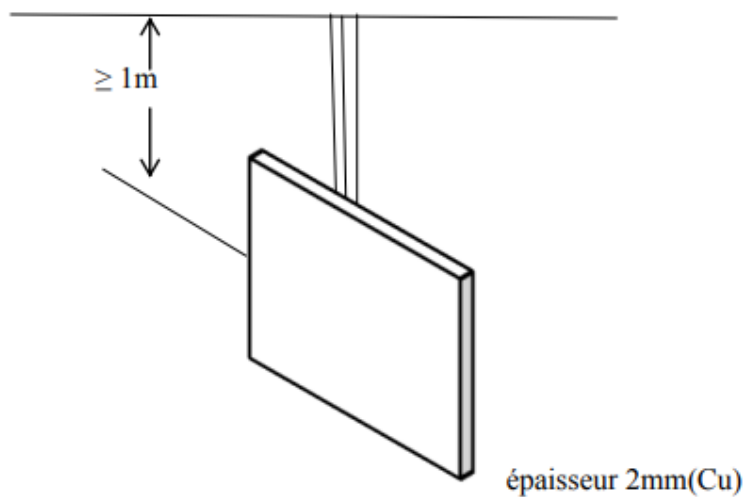


Figure B.3 Plaque vertical.

Résumé :

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre d'étude des Schémas des Liaisons à la Terre (SLT) ou le régime du neutre (TT, IT, TN).

La protection des réseaux et de ses équipements (générateurs, transformateurs, lignes, Jeux de barres...etc.) Nécessite d'une part la connaissance de l'architecture du réseau et d'autre part le régime du neutre. Ce dernier décide fortement quel type de protection à prévoir contre les surintensités ou les défauts d'isolement, car selon le régime du neutre adopté, le réseau aura besoin d'être protégé en premier lieu soit contre les surintensités (courts-circuits) soit contre les défauts d'isolement et assurer la protection des personnes et des biens l'étude théorique de ce mémoire a porté sur l'organisation des réseaux une description succincte des schémas de liaison à la terre. Dans la partie expérimentale, on utilise la programmation de matlab et logiciel ecodial de la firme Schneider Electric.

Mots clés: Réseaux électriques. Protection, les schémas de liaisons à la terre (SLT) TN, TT et IT, le dispositif différentiel résiduel (DDR), Contrôleur Permanent d'Isolement (CPI), détecteur automatique, Courant de défaut, courant différentiel résiduel, tension limite, tension de défaut.

Abstract:

This thesis is part of the study of ear thing arrangements (TT, IT, TN) .

The protection of networks and their equipment (generators, transformers, lines, bus bars, etc.) requires knowledge of the network architecture on the one hand and the neutral system on the other. The latter strongly decides what type of protection to provide against overcurrent or insulation faults, because depending on the ear thing system adopted, the network will need to be protected in the first place either against overcurrent or against insulation faults and ensure the protection of people and property.

The theoretical study of this thesis focused on the organization of electrical networks and a brief description of the earth connection diagrams in practical use Matlab programming and ecodial software from Schneider electric.

Keywords: Electrical networks. Protection, TN, TT and IT ear thing arrangements, residual current device (DDR), Permanent Insulation Controller (CPI), automatic detector, Fault current, residual differential current, limit voltage, voltage fault.

ملخص

يدرس مشروع التخرج المخاطر المرتبطة بأعطال العزل لسلامة الأشخاص والممتلكات ويؤكد على دور أنواع أنظمة التأريض الكهربائية في حماية الأشخاص والممتلكات وكذلك في مدي توفير الطاقة الكهربائية في حالة وجود عطب.

هناك أنواع مختلفة لأنظمة التأريض واختيار أي نظام منها هو ما يحدد نوع او متطلبات الحماية اللازمة للنظام الكهربائي وكيفية توصيله بالأحمال وتدرج هذه الأنواع المختلفة تحت ثلاث أنواع رئيسية مختلفة عن بعضها ويقوم مصمم الشبكة باختيار أي منها اثناء تصميمه لنظام التوزيع الكهربائي حسب احتياجاته ووفقا للمعايير والاشتراطات المتبعة في بلاده، تم التطرق خلال الدراسة النظرية لهذه المذكرة الى أنظمة التأريض الكهربائي الثلاث TN ; IT ; TT ثم بعد هاتمعرضونا مناقشة النتائج التطبيقية للدراسة المنجزة لنظام التأريض الثلاث TN ; TT ; IT علي MATLAB واستخدمنا ايضا ECODIAL التابع لشركة Schneider Electric.

الكلمات الدالة: الشبكات الكهربائية مخططات التاريز SLT, TN, TT, IT جهاز التفاضلية المتبقية (DDR)

جهاز التحكم في العزل الدائم (CPI) تيار الخلل، التيار التفاضلي المتبقي، الحد من الجهد.